



Université 8 Mai 1945
Faculté des sciences et de la technologie
Département d'architecture



Polycopie de cours

Performance environnementale et innovations technologiques dans le bâtiment

Cours destiné aux étudiants d'architecture

Niveau : 2^{ème} année Master

Option : Architecture, Environnement et Technologie AET

Élaborée par :

Dr. Dechaicha Assoule

Département d'architecture

Faculté des ST

Université 8 mai 1945 - Guelma

Année de publication : 2022

Polycopies de cours
Performance environnementale et innovations
technologiques dans le bâtiment

Niveau : 2^{ème} année Master

Option : Architecture, Environnement et Technologie AET

Présentation de la matière

Extrait du canevas de la formation

Domaine : Architecture, Urbanisme et Métiers de la ville AUMV

Filière : Architecture

Spécialité : Architecture

Parcours : Master

Semestre : S3, cycle Master.

Unité d'enseignement : UEF 3

Thématique : Architecture, Environnement et Technologie AET

Matière d'appui 1 : Performance environnementale et innovations technologiques dans le bâtiment

Crédit : 3

Coefficient : 2

Volume Horaire total : 45 H

Objectif général de la matière d'enseignement

Acquisition des informations complémentaires nécessaire à l'élaboration d'un savoir cohérent dans la thématique.

Objectifs spécifiques /thématiques

Sensibilisation à l'apport des innovations technologiques à l'architecture.

Initiation aux performances énergétiques et à l'éco-conception

Contenu de la matière d'enseignement

Le contenu de cette matière comprend deux parties :

- La première partie est dédiée à la performance environnementale de l'environnement bâti (high performig built environment) : Changement climatique, empreinte écologique, urbanisation et risques environnementaux, îlot de chaleur urbain, Urbanisme durable, écoquartiers,
- La seconde concerne les innovations technologiques dans le bâtiment : Les nouveaux matériaux et systèmes constructifs ; Bâtiments et techniques bioclimatiques ; Espaces, ambiances et modélisation (sonore, lumière...).

REFERENCES & BIBLIOGRAPHIE

- Jourda, F. (2009). Petit manuel de la conception durable. Archibooks.
- Wines, J. (2002). L'Architecture verte. Taschen.
- Association européenne de fabricant de laines minérales, www.eurima.org
- Centre de la construction durable - Cedubo, 2003
- Écoquartiers en Europe, Éd.: Terre vivant (2009).
- Dominique Gauzin-Müller L'architecture écologique du voralberg,., Éd.: Le Moniteur (2009)
- Brigitte Vu Le guide de l'habitat passif, Éd.: Eyrolles
- Bellin Pierre-Gilles, (2008), L'habitat bioéconomique, éditions Eyrolles.
- Boutté Franck et al., (2003), Bâtir la qualité environnementale : ouvrage de base, éditions Weka.
- Carcano Emmanuel, (2007), Bâtir écologique- Chronique d'une construction en bois, éditions Terre Vivante.
- Charlot-Valdieu, Outrequin Philippe, (2009), L'urbanisme durable : Concevoir un éco quartier,
- ourrier M. Vincent, (2006), Construire Sain et Naturel- Guide Matériaux écologiques, éditions Ouest-France.
- Gauzin-Müller Dominique, (2001), L'Architecture Ecologique, éditions du Moniteur, Paris.
- (2006), 25 Maisons écologiques, éditions du Moniteur
- Gilles Bellin Pierre, (2008), L'habitat bioéconomique : isolation- -chauffage-électricité-eau, éditions Eyrolles.
- Claude Aubert . « Maisons écologiques d'aujourd'hui » ; Terre vivante 2002.
- Alain Maugard , Jean-Pierre Cuisinier. « Regard sur la ville durable - Vers de nouveaux modes de vie » .CSTB 2011,.
- Dimitris Kottas, « Matériaux - Impact et innovation ».Links 2011
- Alain Liébard, « Architectures Solaires » ; EYROLLES 2009.
- Dominique Pipard et Jean-Pierre Gualezzi, « La Lutte contre le bruit » LE MONITEUR 2002
- Dominique Gauzin-Müller. « Architecture écologique » LE MONITEUR 2001
- Nelly Olin. « Construire ou rénover en respectant la Haute Qualité Environnementale » EYROLLES 2006.

Table des matières

Présentation de la matière	2
Table des matières	4
Liste des figures	8
Liste des tableaux	9
Avant-propos	10
Chapitre I. Des enjeux environnementaux au développement durable	11
Introduction.....	11
I.1. Notions et concepts liés à la protection de l’environnement	11
I.1.1. Environnement	11
I.1.2. Nature, Environnement et Écologie : des notions en confusion.....	13
I.1.3. Ressources naturelles	13
I.1.4. Biodiversité	13
I.1.5. Écosystème.....	14
I.1.6. Urbanisation et déséquilibre des écosystèmes.....	16
I.2. Des enjeux environnementaux.....	17
I.3. La pollution.....	17
I.3.1. Définition	17
I.3.2. Principales causes de la pollution.....	17
I.3.3. Deux grandes catégories de polluants	17
I.3.4. Les principaux polluants	18
I.4. Le changement climatique.....	19
I.5. L’effet de serre.....	20
I.5.1. Principales sources GES.....	21
I.5.2. Principaux risques	22
I.5.3. Des COP pour la lutte contre le réchauffement climatique.....	22
Conclusion	23
Travaux dirigés N° 01 : Les risques environnementaux en Algérie : des phénomènes à appréhender et à prévenir.	23
Chapitre II. L’architecture écologique et la durabilité des constructions	25
Introduction.....	25
II.1. Le développement durable : concepts et évolution	25
II.1.1. Définition	25
II.1.2. Un concept en évolution	25

II.2. L'architecture et le développement durable	26
II.2.1. L'architecture comme un levier de durabilité des sociétés	26
II.2.2. L'Agenda 21 à différentes échelles.....	26
II.2.3. La Charte d'Aalborg	27
II.2.4. Le Grenelle de l'Environnement.....	28
Conclusion	29
Bibliographie du chapitre.....	29
Chapitre III. L'architecture écologique : fondements et principes théoriques	30
Introduction.....	30
III.1. L'architecture est de nature écologique, un débat sur les pratiques	30
III.2. L'environnement en architecture : un souci en évolution	31
III.3. L'architecture vernaculaire ou l'adaptation de l'homme à son environnement.....	32
III.4. Le secteur de la construction actuellement : un levier stratégique de protection de l'environnement	32
III.5. Principes généraux	33
Chapitre IV. Écoconception et performance environnementale des bâtiments	34
Introduction.....	34
IV.1. Des générations en évolution.....	34
IV.1.1. Les bâtiments à efficacité énergétique.....	35
IV.1.2. Les bâtiments verts ou écologiques	36
IV.1.3. Les bâtiments régénérateurs : les bâtiments à impact positif	36
IV.2. Des aspects à retenir	36
IV.2.1. Un bâtiment passif : écoconception.....	37
IV.2.2. Des paramètres écologiques à intégrer en amont	38
IV.2.3. Un choix énergétique renouvelable	39
IV.2.4. Les énergies renouvelables	39
Conclusion	41
Travaux dirigés N° 02 : Des techniques bioclimatiques innovantes.....	41
Bibliographie du chapitre.....	42
Chapitre V. L'évaluation environnementale dans le secteur du bâtiment.....	43
Introduction.....	43
V.1. L'évaluation environnementale des bâtiments.....	43
V.1.1. L'évaluation comme nécessité procédurale	43

V.2. Les méthodes d'évaluation environnementale	44
V.2.1. L'empreinte écologique	44
V.2.2. L'Étude d'Impacts sur l'Environnement EIE	45
V.2.3. Les systèmes de classification ou de certification	47
V.2.4. L'Analyse du cycle de vie ACV	48
Travaux dirigés N° 03 : L'EIE en Algérie	49
Chapitre VI. L'Analyse de Cycle de Vie ACV comme méthode d'évaluation environnementale multicritères	50
Introduction.....	50
VI.1. Définition de l'approche « Analyse du Cycle de Vie ACV »	51
VI.2. Historique de l'ACV	53
VI.3. Dimensions de l'Analyse de Cycle de Vie	54
VI.3.1. La Technosphère	54
VI.3.2. L'Écosphère.....	54
VI.4.1. Processus élémentaire.....	55
VI.4.2. Base de données d'inventaire ACV	56
VI.4.3. Méthodes d'évaluation de l'impact du cycle de vie	56
VI.5. Types d'approches en ACV	57
VI.5.1. L'ACV attributionnelle	57
VI.5.2. L'ACV conséquentielle	58
VI.5.3. L'ACV dynamique	58
VI.5.4. L'ACV durable.....	58
VI.5.5. L'ACV simplifiée.....	58
Chapitre VII. L'Analyse de Cycle de Vie appliquée dans le secteur de bâtiment	60
VII.1. L'ACV comme réflexion environnementale dans la production du cadre bâti	60
VII.2. Des opportunités pour la maîtrise des charges environnementales des bâtiments	61
VII.2.1. L'ACV appliquée pour l'évaluation du cadre bâti	62
VII.2.2. L'ACP comme outil d'aide à l'évaluation	63
VII.3. Le bâtiment comme produit complexe : éléments de composition et typologie	64
VII.3.1. L'étape préproduction	64
VII.3.2. L'étape construction ou réalisation	64
VII.3.3. L'étape exploitation ou occupation.....	65
VII.3.4. L'étape « fin de vie ».....	65
VII.4. Méthodologie de L'ACV des bâtiments.....	66
VII.4.1. Objectifs et Champs d'études de l'ACV	66

VII.4.2. Analyse de l'inventaire de cycle de vie.....	68
VII.4.3. Évaluation de l'impact du cycle de vie	69
VII.4.4. Interprétation des résultats	70
VII.4.5. Des indicateurs environnementaux pour une ACV des bâtiments	71
VII.4.6. Les outils d'analyse ACV des bâtiments.....	72
Conclusion	76
Travaux dirigés N° 04 : Analyse d'exemples d'ACV des bâtiments.....	76
Bibliographie du chapitre.....	76
Chapitre VIII. Des stratégies de conception environnementale des bâtiments	78
Introduction.....	78
VIII.1. Des stratégies environnementales à intégrer en amont	78
VIII.1.1. L'étape programmation et lancement du projet.....	78
VIII.1.2. La phase conception et élaboration du projet d'exécution.....	78
VIII.2. Des aspects conceptuels à prendre en compte pour un bâtiment performant.....	80
VIII.3. Le management environnemental du bâtiment : système de gestion du bâtiment	81
VIII.3.1. Étape de mise en œuvre d'un bâtiment de qualité environnementale.....	81
VIII.4. Intégration de l'ACV dans le choix des matériaux et les choix énergétiques	87
VIII.4.1. Favoriser les éco-matériaux de construction.....	87
Travaux dirigés N° 05 : Présentation des Logiciels d'ACV des bâtiments	88
VIII.5. Conclusion	88
Bibliographie du chapitre.....	89
Conclusion générale	90
Bibliographie générale	92

Liste des figures

Figure 1 : Échelles des vivants	15
Figure 2 : Évolution de la température terrestre depuis 1880.....	19
Figure 3 : L'effet de serre : schéma de principe.....	20
Figure 4 : Évolution des émissions CO2 (courbe de Keeling)	21
Figure 5 : Part du secteur de la construction en matière de consommation énergétique et des émissions des CO2	33
Figure 6 : Évolution des battements performants.....	35
Figure 7 : Catégorisation des bâtiments selon la RT 2020.....	36
Figure 8 : Ordre de priorité pour un bâtiment performant.....	37
Figure 9 : Principes d'un bâtiment passif.....	38
Figure 10 : Démarche d'écoconception.....	39
Figure 11 : Carte de l'irradiation solaire globale en Algérie.....	40
Figure 12 : Le bâtiment objet et système de flux.	44
Figure 13 : Processus et phases de vie d'un produit.....	51
Figure 14 : Les phases de vie d'un produit.....	52
Figure 15 : Aperçu historique de l'ACV	54
Figure 16 : Schéma des liens entre 2 processus élémentaires	55
Figure 17 : Relation entre les catégories d'impact intermédiaires et des dommages selon IMPACT 2002+	57
Figure 18 : Flux entrants et sortants le long de cycle de vie d'un bâtiment	60
Figure 19 : Différence entre évaluation restreinte et évaluation globale (vision ACV).....	62
Figure 20 : Principe d'une ACV bâtiment.....	64
Figure 21 : Caractéristiques principales d'un modèle pour l'ACV des bâtiments	73
Figure 22 : Logiciels pour l'ACV des bâtiments.....	75

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les principaux polluants et leurs descriptions.....	18
Tableau 2 : Principaux polluants et leurs sources	21
Tableau 3 : Principales étapes du cycle de vie d'un bâtiment	66
Tableau 4 : Exemple de facteurs limitants le champ d'application d'une ACV bâtiment.....	67
Tableau 5 : Les indicateurs environnementaux évalués	72
Tableau 6 : Caractéristiques distinctives des bâtiments écologiques	81
Tableau 7 : Thèmes sur la Qualité environnementale des Bâtiments	82
Tableau 8 : Aspects bioclimatiques	83
Tableau 9 : Exigences constructives	84
Tableau 10 : Matériaux et techniques de construction	84
Tableau 11 : Aspects confort.....	85
Tableau 12 : Nuisances du chantier.....	85
Tableau 13 : Aspects gestion et contrôle.....	86

Avant-propos

Le présent cours porte, d'une part, sur la compréhension des interactions des projets de construction avec leurs environnements et, d'autre part, sur l'estimation et l'évaluation des charges environnementales que peut coûter un projet d'architecture le long de son cycle de vie.

Ce cours est destiné aux étudiants d'architecture, qui sont en fin du 2^{ème} cycle de formation, notamment l'option Architecture, Environnement et technologie AET. L'objectif principal est de transmettre aux étudiants architectes les connaissances de base et les compétences relatives à maîtrise des impacts environnementaux des projets de construction et d'aménagement aussi bien lors de la phase de conception que dans les phases de réalisation, exploitation et fin d'exploitation.

En se basant sur les directives du canevas de formation, ce cours est structuré en quatre parties :

- Une première partie introductive (chapitre I) consacrée aux définitions et explications des différentes notions, concepts et thématique liés à la question environnementale dans la production du cadre bâti.
- Une deuxième partie (les chapitres II, III et IV) portant sur l'architecture écologique et les principes de la durabilité architecturale. L'écoconception architecturale et les critères d'évaluation environnementale des bâtiments sont mis en évidence après la présentation des fondements et l'historique de l'architecture dite durable ;
- La troisième partie (chapitre V) est principalement focalisée sur les méthodes d'évaluation environnementale des bâtiments avec une focalisation sur les principales méthodes à savoir : l'empreinte écologique, l'étude d'impact sur l'environnement (EIE), les systèmes de certification et de classification (comme le LEED, BREAM, HQE, etc.) ; l'analyse de cycle de vie ACV.
- La dernière partie (les chapitres VI, VII et VIII) explique avec plus de détails l'ACV comme méthode largement généralisée dans le monde, en abordant en premier lieu son historique et ses principaux concepts, puis la démarche à suivre pour entamer une ACV d'un bâtiment, et au final, et en position de designer, les caractéristiques d'une démarche environnementale qui conduit à assurer une meilleure qualité environnementale des projets de construction.

Des travaux dirigés et des recherches thématiques sont proposés pour chaque partie de cours dans le but d'impliquer les étudiants dans le développement des acquis conceptuels et méthodologiques leur permettant d'approfondir leurs connaissances et d'améliorer leurs compétences pour la conception et l'évaluation des bâtiments performants.

Chapitre I. Des enjeux environnementaux au développement durable

Introduction

Les couts du développement humain sur notre biosphère sont constatés assez lourds. Les bilans environnementaux se consentent sur un constat alarmant : une perpétuelle dégradation de l'environnement et des ressources naturelles. De grands problèmes persistent actuellement et constituent des défis majeurs auxquels la communauté scientifique et professionnelle s'est engagée pour faire face. Cette première partie du cours est consacrée à la compréhension de ces nouveaux problèmes et la mise en évidence de l'importance du secteur de la construction et d'aménagement pour la mise en œuvre d'un développement respectueux de l'environnement. Les architectes quant à eux sont appelés à prendre leurs parts pour la préservation et même la promotion des écosystèmes et de la biodiversité à différents niveaux d'intervention.

I.1. Notions et concepts liés à la protection de l'environnement

Depuis l'histoire, l'homme a vécu en harmonie avec la nature jusqu'à l'introduction des procédés mécaniques de production et dans la vie communautaire en général. L'anthropisation non responsable des territoires, due notamment à de l'urbanisation galopante et à l'essor technologique et industriel caractérisant notre ère, est accompagnée par des effets néfastes menaçant principalement l'équilibre et le fonctionnement de notre biosphère. La prise de conscience généralisée sur la communauté scientifique et professionnelle a conduit à la mise en avant des principaux concepts liés à la protection de l'environnement.

I.1.1. Environnement

I.1.1.1. Un concept complexe et multidimensionnel

L'environnement est une notion complexe qui accepte plusieurs définitions selon les points de vue, les domaines disciplinaires, les pays, etc. Elle peut réunir les aspects physiques, naturels et humains.

Étymologiquement, cette notion a connu une évolution :

- Dans le dictionnaire français de 1265, on trouve le terme « environemenz » signifie circuit, contour.
- À partir de 1487 : le terme a pris le sens de l'action « environner » : action d'entourer, ce qui correspond aux alentours.
- Vers la fin du dernier siècle, notamment avec la multiplication des questions relatives à l'impact de l'activité humaine sur la nature, la notion d'environnement s'est développée pour englober l'étude des milieux naturels et des impacts de l'activité anthropique sur l'environnement, ainsi

que les actions volontaristes engagées pour abaisser les couts environnementaux du développement.

I.1.1.2. Des définitions officielles

I.1.1.2.1. En France :

« L'ensemble des éléments biotiques ou abiotiques, dont certains, contribuent directement à subvenir à ses besoins. L'ensemble de conditions naturelles (physiques, chimiques, biologiques) et culturelles (sociologiques) susceptibles d'agir sur les organismes vivants et les activités humaines ».

I.1.1.2.2. Au Canada :

« L'environnement est l'ensemble de conditions naturelles ou artificielles et culturelles (sociologiques) dans lesquelles les organismes vivants se développent (dont l'homme, les espèces animales et végétales) ».

I.1.1.2.3. En Algérie :

La réglementation algérienne définit l'environnement comme : *« les ressources naturelles abiotiques et biotiques telles que l'air, l'atmosphère, l'eau, le sol et le sous-sol, la faune et la flore y compris le patrimoine génétique, les interactions entre lesdites ressources, ainsi que les sites, les paysages et les monuments naturels. »* (Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003, JORADP, n° 43, 2003).

I.1.1.3. Définition synthétique

D'un point de vue synthétique, l'environnement correspond à **l'ensemble des éléments naturels et artificiels constituant le milieu de vie d'un être ou d'une communauté vivante. Quant à l'être humain, l'environnement se rapporte au cadre de vie réunissant les éléments naturels et construits qui sont en interaction avec l'homme, en lui fournissant les ressources nécessaires à ces besoins et son bien-être et en recevant en même temps les réactions et les effets générés par ses activités. Ces effets sont souvent néfastes et remettent en question les rapports de l'homme avec son environnement.**

Il ressort que la signification générique de l'environnement rassemble une diversité de thèmes (eau, air, sols, déchets, milieux naturels, paysage, bruit, énergie, ménagement de l'espace, sécurité...), et concerne plusieurs secteurs (industrie, agriculture, collectivités locales, santé publique), avec différents modes et niveaux d'actions (étude, conseil, expertise, contrôle, exploitation, ingénierie, maîtrise d'œuvre...).

Il importe de souligner également que l'appréhension de l'environnement est liée à l'échelle spatiale. Il s'agit donc d'une notion multiscalaire, elle peut s'étendre jusqu'à l'échelle planétaire pour couvrir

toute notre biosphère, comme elle peut se limiter à un niveau d'une forêt ou d'une ville ou même d'un quartier.

I.1.2. Nature, Environnement et Écologie : des notions en confusion

Trois notions similaires sont à distinguer : nature, environnement et écologie.

- **La nature** désigne l'ensemble des éléments naturels, biotiques et abiotiques, considérés seuls.
- **L'environnement** s'intéresse à la nature au regard des activités humaines, et aux interactions entre l'homme et la nature.
- **L'écologie** est la science ayant pour objet les relations des êtres vivants avec leurs environnements, ainsi qu'avec les êtres vivants, c'est-à-dire l'étude des écosystèmes.

I.1.3. Ressources naturelles

Notre planète Terre est particulièrement distinguée par l'existence de la vie sur sa biosphère en raison de la disponibilité des ressources naturelles qui assurent la nourriture de toutes les espèces vivantes. Les ressources naturelles correspondent aux matières stockées dans la nature sous différentes formes et natures, et qui sont nécessaires à la vie humaine et à son développement. Ces matières sont utiles et exploitables d'une manière directe ou indirecte (après transformation) pour des fins de consommation et développement. La surexploitation de ces ressources (limitées en matière de stock) constitue actuellement un problème majeur que rencontre notre biosphère.

Les inquiétudes liées aux ressources naturelles sont liées principalement à leurs abondances, leurs cycles de reconstitution (ou renouvellement), leurs répartitions géographiques. L'importance économique et géostratégique que présentent ces ressources, autant pour les grandes compagnies que pour les pays, a fait de ces matières premières des objets de conflits géopolitiques.

I.1.4. Biodiversité

La biodiversité, ou la diversité biologique, correspond à la diversité des organismes vivants et des milieux de vie. Au sens étymologique, la biodiversité évoque la diversité du vivant, c'est-à-dire tous les processus, les modes de vie ou les fonctions qui conduisent à maintenir un organisme à l'état de vie. Cette diversité biologique est une des caractéristiques de la vitalité de notre biosphère. Le maintien des conditions d'épanouissement est nécessaire pour la préservation et la protection de la biodiversité.

Quoique le concept « Biodiversité » soit récent, la biodiversité elle-même est très ancienne et liée au début de la vie sur notre planète. Ce concept a commencé à prendre de l'intérêt juste avant le sommet

de Rio, avec la succession des publications et des conférences portant sur la valorisation de la diversité biologique et du potentiel naturel.

La protection et la valorisation de la biodiversité constituent actuellement un enjeu majeur pour tous les pays du monde. La mise en œuvre de programmes de développement soutenable fait appel aux approches écologiques pour une meilleure appréhension des processus écologiques et des conditions d'équilibre des écosystèmes. L'écologie urbaine et l'écologie du paysage se manifestent comme des disciplines pertinentes permettant la spatialisation et l'évaluation des impacts écologiques des projets de construction et d'aménagement sur les paysages locaux. Des concepts sont omniprésents ce contexte : Biotope, Biocénose, Écosystème, Paysage, Continuité écologique, Connectivité écologique, etc.

I.1.5. Écosystème

I.1.5.1. Biotope

Un biotope « lieu de vie » correspond à un milieu de vie délimité géographiquement dans lequel les conditions écologiques (température, humidité, etc.) sont homogènes, bien définies, et suffisent à l'épanouissement des êtres vivants qui y résident (appelés biocénose), avec lesquels ils forment un écosystème. Une mangrove, un étang, une dune, une haie, une plage sont autant de biotopes.

Ce milieu héberge un ensemble de formes de vie composant la biocénose : flore, faune, fange (champignons), et des populations de micro-organisme.

Comme définition, un biotope est un « *Milieu défini par des caractéristiques physicochimiques stables et abritant une communauté d'êtres vivants (ou biocénose). (Le biotope et sa biocénose constituent un écosystème.)* » (Larousse).

I.1.5.2. Biocénose

Une Biocénose correspond à l'« *Ensemble des êtres vivants qui occupent un milieu donné (le biotope), en interaction les uns avec les autres et avec ce milieu. (La biocénose forme, avec son biotope, un écosystème.)* » (Larousse). Ces espèces vivantes, appelées aussi « populations », sont en interaction entre elles-mêmes et avec leurs milieux de vie « le biotope ».

I.1.5.3. Écosystème

Un écosystème est un système au sein duquel il existe des échanges cycliques de matières et d'énergie, dus aux interactions entre les différents organismes présents (biocénose) et leur environnement (biotope) : « *Système formé par un environnement (biotope) et par l'ensemble des*

espèces (biocénose) qui y vivent, s’y nourrissent et s’y reproduisent. » (Larousse). Un écosystème se rapporte donc à l’association d’une communauté d’espèces vivantes et d’un environnement physique qui fournit l’eau, l’air et les autres éléments dont elles ont besoin pour vivre. C’est une unité écologique fonctionnelle formée par le biotope et la biocénose, en constante interaction.

I.1.5.4. Échelles d’écosystèmes

Les dimensions des écosystèmes peuvent varier considérablement ; ils peuvent être très petits, comme une mare ou un arbre mort, ou être gigantesques, comme la terre. Un écosystème peut aussi se définir en fonction principalement de la végétation, d’une espèce animale ou du relief, par exemple.

I.1.5.5. La biosphère (Symbiosphère)

Les êtres vivants qui occupent une mince pellicule à l’interface entre la lithosphère et l’atmosphère.

La Biosphère est le système écologique global, autoentretenu (« autocatalytique »), qui intègre tous les êtres vivants et les relations qu’ils tissent entre eux et avec les compartiments que sont la lithosphère (les sols), l’hydrosphère (l’eau), et l’atmosphère (air), dans un métabolisme qui transforme sans cesse la surface de la Terre en recyclant ou stockant les éléments et en créant de la complexité et néguentropie là où sans la vie, il n’y aurait que de l’entropie.

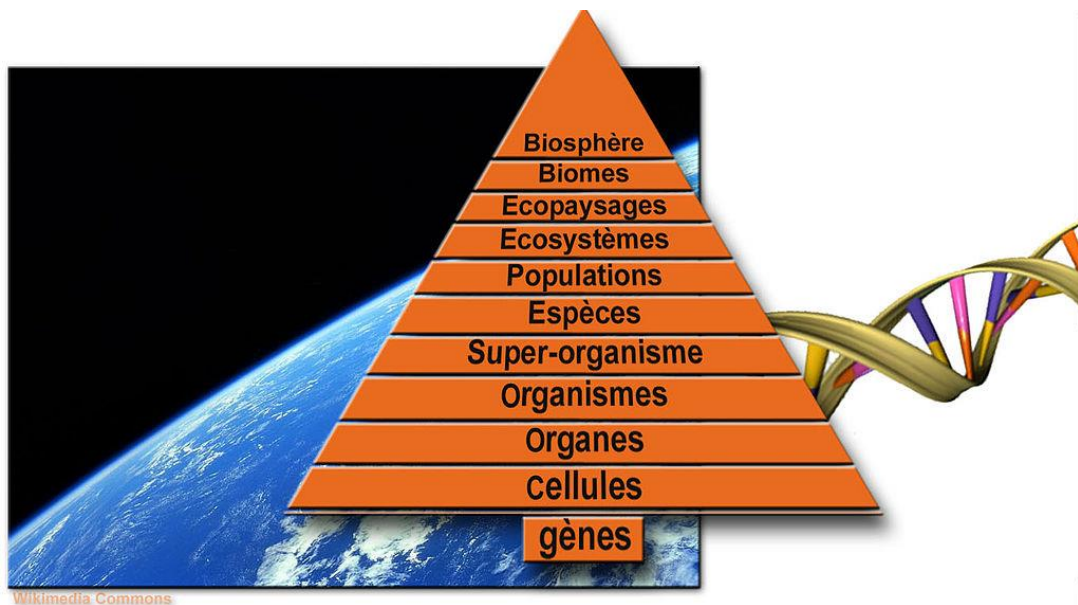


Figure 1: Échelles des vivants
Source : (Lamiotnnel, 2011)¹

¹ <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17051769>

Une perturbation de l'écosystème est une modification rapide d'un ou plusieurs paramètres conduisant à une rupture dans l'équilibre écologique. Ces variations peuvent être :

- Biologiques : apport ou disparition importante d'organismes constituant la biocénose.
- Physiques : modification de facteurs abiotiques tels que le pH, la température.
- Chimiques : pollutions diverses.

I.1.5.6. Principaux perturbateurs

Les hydrocarbures, les antibiotiques, les détergents, les pesticides (organochlorés, organophosphorés, carbamates), les matières minérales, les métaux lourds, etc.

I.1.6. Urbanisation et déséquilibre des écosystèmes

Des siècles durant, l'homme a vécu en harmonie avec son milieu. Mais durant ce dernier siècle, la surexploitation des ressources naturelles pour répondre aux besoins de l'explosion industrielle et démographique a provoqué des dégradations de l'environnement en risquant la continuité et le fonctionnement des écosystèmes.

Actuellement, il y a plus de six milliards d'hommes qui se concentrent dans des villes dont la plupart des régions sont surpeuplées et victimes d'un ensemble complexe de pollutions et de nuisances. En effet, de nombreux facteurs qui ont participé à l'amplification de cette crise des villes d'aujourd'hui, à l'enlaidissement et la détérioration de l'environnement urbain.

L'urbanisation effrénée accompagnée d'une croissance inédite des zones bâties et d'une « artificialisation » non responsable des territoires a conduit à l'altération des paysages naturels et des écosystèmes ce qui a impacté négativement les processus écologiques et la dégradation progressive de la biodiversité locale et même régionale.

Il est nécessaire donc de prendre en compte la biodiversité et les particularités écologiques des milieux de vie et des écosystèmes locaux dans la production du cadre bâti.

I.2. Des enjeux environnementaux

La dernière moitié du dernier siècle a été marqué par un « Boom » économique et technologique conduisant d'une part à l'essor du fait urbain et l'explosion des villes et d'autre part à l'étalement spatial et fonctionnel des agglomérations urbaines. En concomitance à cette considérable évolution, les études environnementales n'ont pas manqué de souligner les conséquences négatives de ces modalités inédites de développement sur l'environnement à différentes échelles. De véritables problèmes persistent actuellement et occupent une place centrale dans les réflexions portant sur la protection de l'environnement.

I.3. La pollution

I.3.1. Définition

La pollution est une contamination d'un milieu (continental, aquatique ou atmosphérique) par des particules chimiques, de provenance anthropique, nocives qui présentent un danger pour la santé et la vie des espèces vivantes. Il s'agit donc d'une forme d'altération de l'environnement par des substances (solides, liquides ou gazeuses) appelées polluants qui peuvent générer des nuisances et des gênes affectant la qualité des milieux de vie et risquant le fonctionnement et l'équilibre naturel des écosystèmes.

I.3.2. Principales causes de la pollution

D'une manière générale, les différentes sortes de pollution sont dues aux trois facteurs principaux :

- L'utilisation des combustibles fossiles dans la production industrielle et la consommation énergétique ;
- L'utilisation des procédés chimiques dans les chaînes de production industrielle et agricole ;
- L'utilisation des produits chimiques en agriculture (pesticides, engrais, etc.).

I.3.3. Deux grandes catégories de polluants

Les polluants, particulièrement atmosphériques, sont classés en polluants primaires et polluants secondaires.

I.3.3.1. Les polluants primaires

Des polluants émis directement de la source et qui se localisent dans la zone d'émission. Le Monoxyde du carbone (CO) est un exemple de polluant primaire.

I.3.3.2. Les polluants secondaires

Ce type de polluant n'a pas de sources directes, mais il se produit dans l'atmosphère à la suite des interactions des polluants primaires. À titre d'exemple : l'Ozone (O₃) se forme à partir des réactions chimiques combinant les Azotes et les Composantes organiques volatiles (COV).

I.3.4. Les principaux polluants

Il existe plusieurs types de polluants, ils peuvent être classés selon :

1. La nature chimique ;
2. Le milieu contaminé : sol, air, eau ;
3. La source d'émission (provenance) ;
4. L'organisme ciblé : le type d'espèces et organisme vivants (humain, végétaux et animaux).

Les principaux polluants sont illustrés dans le tableau qui suit (tableau1) :

	Substance	Symbole	Description
Composés carbonés	Monoxyde de carbone	CO	Un gaz toxique, inodore et sans couleur, émis principalement par les véhicules à moteurs à combustion interne (ou à explosion).
	Dioxyde de carbone	CO₂	Un gaz résultant naturellement des combustions et qui participe activement au réchauffement climatique.
Composés azotés	Les oxydes d'azote (NO, NO ₂ , N ₂ O, NH ₃)	NO_x	Des gaz provenant essentiellement des installations de combustion et des véhicules motorisés.
Composés soufrés	Les oxydes du soufre (SO ₂ , SO ₃)	SO₂ SO₃	Le SO ₂ résulte de la combustion des carburants soufrés au moment du raffinage du pétrole et des fusions des métaux. Le SO ₂ est un précurseur conduisant à la formation du SO ₃ .
Composés organiques	Les hydrocarbures		Proviennent à la suite de la combustion incomplète des moteurs produisant des vapeurs d'hydrocarbure. Elles proviennent aussi à la suite de l'utilisation de quelques solvants.
	Le Méthane	CH₄	Polluant volatil, et un des principaux gaz à effet de serre.
Les Métaux lourds			Des polluants résultant principalement de l'incinération des déchets et des carburants. Parmi ces substances, on trouve : le Plomb, le Cadmium, l'Arsenic, le Mercure, etc.
La poussière			Des particules solides ou en suspension dans l'air, fines et ultrafines selon leurs tailles, et qui forment des polluants non gazeux.
	Acide chlorhydrique	HCL	Résulte de la combustion des PVC et PCV (Polychlorovinyle) qui sont omniprésents dans la vie quotidienne.
	Chlorofluorocarbure	CFC	Les CFC rentrent dans la production des réfrigérants et des propulseurs. L'émission des CFC est un facteur principal de la dégradation de la couche d'Ozone.

Tableau 1 : Les principaux polluants et leurs descriptions

Source : d'après (Hadj Braim, 2011)

I.4. Le changement climatique

Le réchauffement climatique (ou changement climatique) correspond à l'augmentation de la température de la planète Terre constatée ces dernières décennies. Cette augmentation est principalement due au phénomène de l'effet de serre. L'évaluation de toutes les données relatives au changement climatique est effectuée par le Groupement d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC). Selon leur dernier rapport de 2013, le réchauffement climatique est « sans équivoque », car il apparaît avec évidence dans l'observation de l'accroissement des températures moyennes mondiales terrestres, des mers et des océans, la fonte généralisée de la neige, des glaciers, de la banquise et l'élévation du niveau moyen de la mer notamment. Le 21^e siècle compte 13 des 14 années les plus chaudes jamais observées depuis les premiers relevés météorologiques en 1850.

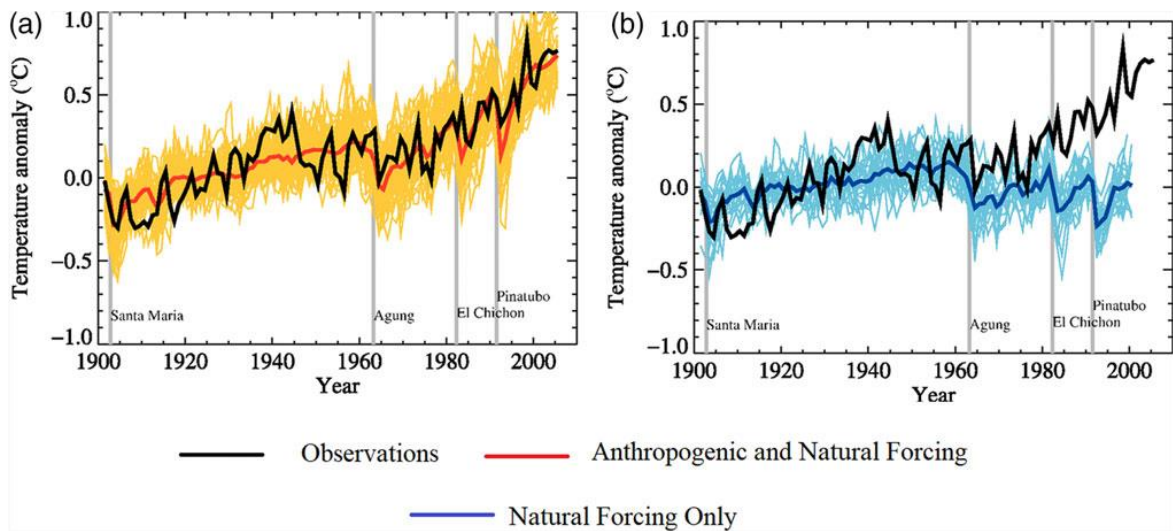


Figure 2 : Évolution de la température terrestre depuis 1880

Source : (Al-Ghussain, 2019)

L'activité humaine fait subir au climat des bouleversements importants. L'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre émis par les activités humaines provoque le réchauffement de la planète. Une hausse des températures à la surface de la Terre, des mers et des océans, à l'échelle planétaire sur une période continue est unanimement constatée par les climatologues.

Selon le GIEC, les températures de surface (terres et océans) ont augmenté de 1,2 °C au cours de la période 1880-2020 ; les prévisions d'augmentations des températures à l'horizon 2100 varient entre 2,6°C à 4,8°C, mais cette augmentation peut être abaissée à un intervalle de 0.3 à 1.7°C en cas d'actions de lutte contre les émissions des GES.

I.5. L'effet de serre

L'effet de serre est tout d'abord un phénomène naturel qui consiste en maintien d'une température vitale de l'ordre de 15°C. Grâce à une couche de Gaz atmosphériques appelée Gaz à Effet de Serre (GES), une part de 70 % des rayons solaires reçus sur notre planète Terre se trouve transformée en infrarouge et maintenue dans l'atmosphère pour réchauffer donc la terre. L'activité humaine non responsable a conduit à l'intensification de ces gaz dans l'atmosphère, ce qui a contribué à l'augmentation de la quantité des ondes infrarouges retenue et en conséquence l'augmentation de la température terrestre.

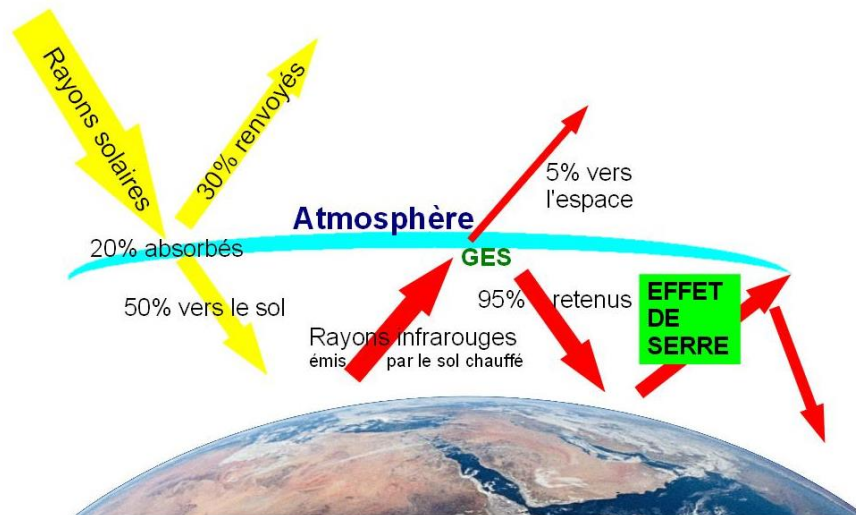


Figure 3 : L'effet de serre : schéma de principe
 Source : (DREAL Auvergne-Rhône-Alpes, 2017)²

Un Gaz à Effet de Serre est un Gaz ou particule gazeux qui a la capacité d'absorber les radiations infrarouges émises par la surface terrestre et les retourner à la terre. Ce processus thermique est appelé « effet de serre ». Les principaux GES sont : Le dioxyde de carbone CO₂, le Méthane CH₄, la vapeur d'eau H₂O, le protoxyde d'azote N₂O, et l'ozone O₃.

² <http://www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/presentation-de-l-effet-de-serre-a11529.html> consulté le 26/07/2021 à 10h41

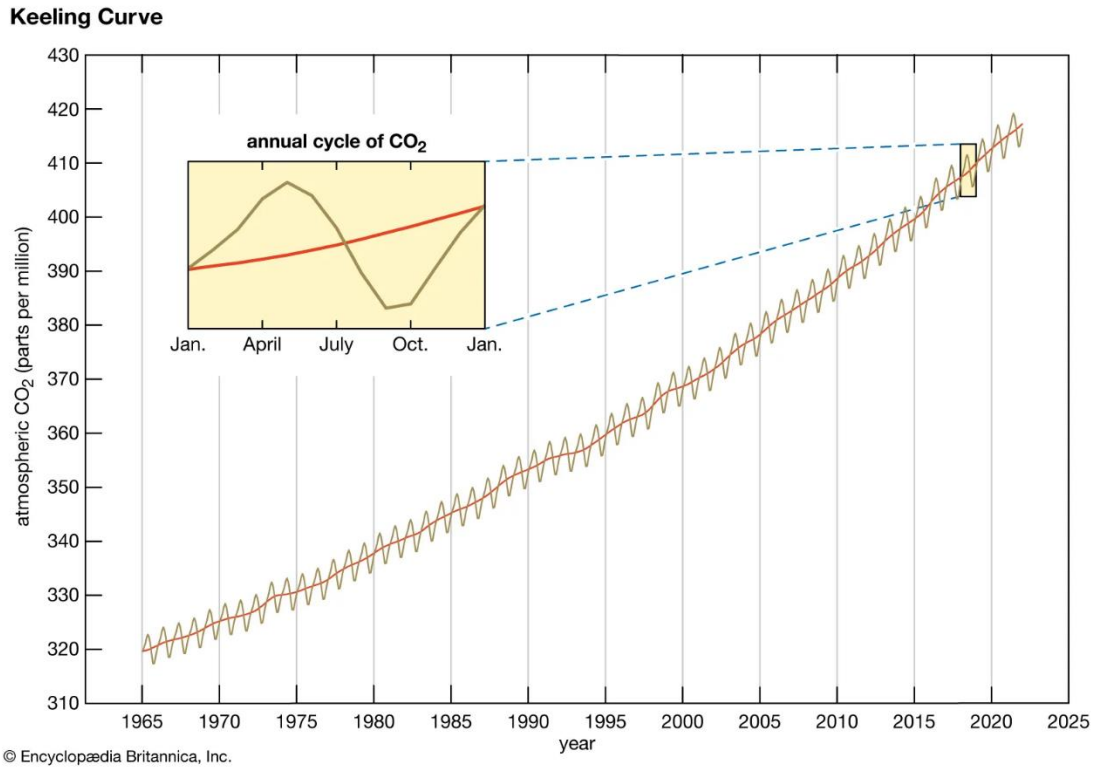


Figure 4 : Évolution des émissions CO2 (courbe de Keeling)

Source : (Mann, 2021)³

I.5.1. Principales sources GES

Un Gaz à Effet de Serre est un gaz ou particule gazeux qui a la capacité d'absorber les radiations infrarouges émises par la surface terrestre et les retourner à la terre. Ce processus thermique est appelé « effet de serre » est la source de plusieurs perturbations environnementales telles que le changement climatique. Les principaux GES sont illustrés dans le tableau qui suit (tableau 2).

Gaz à effet de serre	Source naturelle	Source humaine
Vapeur d'eau (H₂O)	Évaporation de l'eau surtout au-dessus des océans	Centrales électriques — Irrigation
Dioxyde de carbone (CO₂)	Respiration des êtres vivants — Feux de forêt - Volcans...	Utilisation massive d'énergies fossiles pour les transports, les bâtiments et l'agriculture, Déforestation
Le Méthane (CH₄)	Digestion des herbivores — Décomposition des végétaux — Volcans	Intensification des élevages (bovin) et des cultures (riz) Décharge d'ordures
Protoxyde d'azote (N₂O)	Marécages	Utilisation d'engrais azotés
Ozone de basse atmosphère (O₃)	Foudre	Industrie — Circulation automobile
Les gaz fluorés (CFC, HFC, PFC)	N'existent pas dans la nature	Gaz des bombes aérosols et des climatiseurs

Tableau 2 : Principaux polluants et leurs sources

Source : (Hadj Braim, 2011 ; Mann, 2021)

³ Encyclopedia Britannica : <https://www.britannica.com/science/greenhouse-gas>. Consulté le 11 janvier 2021.

I.5.2. Principaux risques

- Une hausse du niveau des mers plus importante (océans : Entre 1870 et 2000, le niveau des océans s'est élevé de 18 cm en moyenne, dont 6 cm au cours des 20 dernières années), ainsi que son acidification : Le pH est passé de 8,25 à 8,14 depuis le 17^e siècle.
- Des événements climatiques extrêmes (sécheresses, pluies diluviennes, tempêtes...) plus violents et plus fréquents (risques naturels imprévus).
- Un chamboulement écologique de la flore et la faune et bouleversement des écosystèmes fragiles.

I.5.3. Des COP pour la lutte contre le réchauffement climatique

Pour agir positivement contre ce phénomène climatique, des conférences mondiales appelées COP (*Conference of Partner*) ont été tenues dans e but de réduire les impacts négatifs et d'engager des actions et des stratégies dans cette même optique. Parmi ces conférences, on peut citer :

- **2001 (COP7) :** Accords de Marrakech. Pour lutter contre le changement climatique, cet accord prévoit une aide des pays développés vers les pays en développement.
- **2005 (COP11) :** le Protocole de Kyoto entre en vigueur. Puisque 55 pays ont ratifié ce traité et que tous les pays engagés émettent au total au moins 55 % des émissions de CO₂ de 1990, ce Protocole est effectif.
- **2007 (COP13) :** le Plan d'action de Bali. C'est le début des négociations post 2012, c'est-à-dire post protocole de Kyoto.
- **2008 (COP14) :** Conférence de Poznan. Les 27 pays de l'Union européenne sous présidence française s'entendent sur les moyens de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre de 20 % en 2020 par rapport à 1990.
- **2009 (COP15) :** Accord de Copenhague. Les leaders mondiaux se sont mis d'accord sur un objectif de limitation du changement climatique à 2 °C et une aide des pays développés de 30 milliards de dollars sur 2010-2012, porté à 100 milliards de dollars par an en 2020.
- **2015 (COP15) :** Accord de Paris sur le climat, dont l'objectif principal est de limiter la hausse des températures mondaines à moins de 1.5°C par an, et d'engager des programmes de soutien pour es pays en voie de développement.
- **2021 (COP26) : Conférence de Glasgow** sur le climat. En continuation avec l'accord de paris 2015, 22 décisions ont été accordées à l'issue de cette conférence. Ces décisions seront évaluées annuellement. Cependant, des études (Web Climate Action Tracker, 2021) estiment que l'augmentation de la température pourrait atteindre 2.4°C par an avec ces 22 décisions et non celle définie dans la COP 15 qui est de l'ordre de 1.5°C/an.

Conclusion

La communauté mondiale est actuellement confrontée à de multiples problèmes environnementaux : pollution, effet de serre, changement climatique, surconsommation des ressources naturelles, dégradation de la biodiversité, etc. Les modèles progressistes sont principalement à l'origine des maux qui risquent de plus en plus l'équilibre de notre biosphère. Le secteur de la construction en est l'un des principaux générateurs de ces nuisances. Son impact sur l'environnement est constaté à différentes échelles :

- À l'échelle planétaire : changement climatique, GES, etc.
- À une échelle régionale : surconsommation des ressources épuisables, pollution, biodiversité, risques, etc.
- À l'échelle même du bâtiment : santé des occupants, fonctionnement des écosystèmes locaux, altération des paysages, consommation d'énergie polluante, etc.

Il peut, compte tenu de son importance, contribuer à la réduction des charges environnementales et à la promotion d'une vie propre et saine respectueuse de l'environnement à travers la mise en avant des approches écologiques lors de la production du cadre bâti.

Travaux dirigés N° 01 : Les risques environnementaux en Algérie : des phénomènes à appréhender et à prévenir.

Recherches thématiques :

- Les risques urbains ;
- La pollution urbaine ;
- L'effet de serre ;
- Le changement climatique ;
- La lutte contre le réchauffement climatique et les risques environnementaux dans les politiques nationales.

Bibliographie du chapitre

- Ahnia, F. (2016). *Environnement et Développement Durable*. Univ. Béjaia. 61p. [https://elearning.univ-bejaia.dz/pluginfile.php/512843/mod_resource/content/0/Cours_AHNIA_Fatma_Environnement et Développement Durable.pdf](https://elearning.univ-bejaia.dz/pluginfile.php/512843/mod_resource/content/0/Cours_AHNIA_Fatma_Environnement_et_Developpement_Durable.pdf)
- Cole, R. J. (2004). Changing context for environmental knowledge. *Building Research & Information*, 32(2), 91-109. <https://doi.org/10.1080/0961321042000211396>
- Delbard, O. (2011). *Dictionnaire de l'environnement et du développement durable*. Pocket; 352p.
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons; 480p.
- Godard, O. (2015). *Environnement et développement durable: une approche méta-économique*. De Boeck Supérieur; 490p.
- Godart, M.-F., Belayew, D., Soutmans, P., Tixhon, A., & Van Dam, D. (2008). Environnement et écologie. In M.-F. Godart (Éd.), *Education à La Citoyenneté et à l'environnement* (p. 57-80). Presses universitaires de Nameur.
- Hadj Braim, B. (2011). *Environnementaux et Développement durable (cours)*. Univ. Oran. 62 p. <http://pf-mh.uvt.rnu.tn/729/1/env-developpement-durable.pdf>
- IEA. (2020). World Energy Balances 2020. study report. IEA. 79p. [https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy supply&indicator=TPESbySource](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TPESbySource)
- Mann, M. E. (2021). Greenhouse Gas GHC. In *Encyclopedia Britannica*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/greenhouse-gas>
- Osmani, M. (2011). Construction Waste. In T. M. Letcher & D. A. B. T.-W. Vallero (Éds.), *Waste. A Handbook for Management* (p. 207-218). Academic Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381475-3.10015-4](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381475-3.10015-4)
- SAFER, K. (2015). *Environnement et Développement durable (cours)*. Univ. Oran. http://dspace.univ-usto.dz/bitstream/123456789/282/1/POLYCOPE_safer_khadidja.pdf
- Web Climate Action Tracker. (2021). COP26 didn't solve everything — but researchers must stay engaged. *Nature*, 599(7885), 347–347. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-03433-2>

Chapitre II. L'architecture écologique et la durabilité des constructions

Introduction

La remise en cause des modèles de développement à l'œuvre a conduit à l'émergence puis à la généralisation du paradigme de développement durable. Ce concept a connu une évolution pour devenir une tendance mondiale généralisée dans tous les projets de développement humain aussi bien à des niveaux locaux que des niveaux plus globaux.

II.1. Le développement durable : concepts et évolution

II.1.1. Définition

La notion de développement durable renvoie à un modèle innovant de développement qui cherche à assurer la conciliation entre efficacité économique, équité sociale et protection de l'environnement. Ce concept trouve sa définition officielle dans le rapport de BRUNDTLAND, élaboré en 1987 par la commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU. Il est défini comme : *« Le développement durable est un mode de développement qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion : le concept de « besoins », et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir. »* (Brundtland, 1987).

Il s'agit là non seulement d'une manière pour améliorer les rapports de l'homme à son environnement naturel, mais d'une vision globale du développement humain englobant la combinaison de l'ensemble des aspects liés à l'amélioration de la qualité de vie des habitants et la préservation des ressources naturelles.

II.1.2. Un concept en évolution

La mise en avant du concept de développement durable à partir des années 90 est en effet l'aboutissement d'une succession d'efforts scientifiques et sociopolitiques consistant à généraliser une sorte de conscience collective et individuelle envers les impacts négatifs de l'activité humaine irresponsable sur le potentiel naturel que porte notre biosphère. Les réflexions et les études portant sur la protection de l'environnement sont plus anciennes, mais celles qui portent sur la prise en compte des ressources naturelles dans la vie humaine ont commencé à voir le jour à partir de la fin

du XIXe siècle, notamment avec l'apparition, puis le développement de l'écologie et des sciences de l'environnement. Parmi les principales étapes de cette chronologie, on peut citer :

- 1850 – 1860 : apparition de L'ÉCOLOGIE comme nouvelle discipline, marquant le déclenchement d'une nouvelle pensée « écologique », qui va être généralisée par la suite pour occuper une place centrale dans les réflexions scientifiques dans les domaines disciplinaires ;
- 1951 : premier rapport de L'Union Internationale de Conservation de la Nature UICN sur l'environnement dans le monde ;
- 1965 : première conférence de l'UNESCO sur la biosphère ;
- 1968 : fondation du Club de Rome qui va publier son premier rapport intitulé « Les limites de la croissance » en 1972 ;
- 1972 : la Conférence de Stockholm qui a placé les questions environnementales dans les préoccupations internationales. Cette conférence a été sanctionnée par l'adoption d'une déclaration de 26 principes et un plan d'action pour la lutte contre la pollution ;
- 1987 : Publication du rapport de la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement de l'ONU intitulé « Notre avenir à tous », en anglais : *Our Common Future*. Ce rapport officiel utilise la première fois le concept « sustainable development », en français : développement durable, ou développement soutenable ;
- 1992 : le sommet de Rio, d'où l'officialisation du développement durable comme un modèle à adopter dans les politiques nationales et internationales de développement humain ;
- 2002 : Sommet de la Terre à Johannesburg consacré aux bilans relatifs au développement durable agréés lors du sommet de Rio ;
- 2012 : le 5^e sommet de la Terre (Rio + 20)

II.2. L'architecture et le développement durable

II.2.1. L'architecture comme un levier de durabilité des sociétés

Les architectes et les aménageurs, étant acteurs principaux dans le domaine de la construction, un domaine considéré comme levier de développement des sociétés, sont appelés à être inscrits dans cette nouvelle tendance de durabilité des sociétés. La matérialisation d'une architecture durable devrait s'appuyer sur les principes énoncés dans les différents chartes et accords comme la Charte d'Aalborg (1994) relative à la ville durable, le Grenelle de l'environnement (2007), etc.

II.2.2. L'Agenda 21 à différentes échelles

À la suite de l'officialisation du développement durable, un programme de mise en œuvre de ces objectifs a été énoncé, portant plusieurs actions pour le 21^e siècle, appelé L'Agenda 21. Il s'agit d'un ensemble d'actions et de démarches destiné aux collectivités locales et aux établissements publics

visant à concrétiser les principes du développement durable et définissant les secteurs les plus concernés par ces démarches à savoir :

- La lutte contre la pauvreté ;
- Amélioration des conditions de vie : logement, santé publique, pollution ;
- Gestion durable des ressources : forêts, agriculture, mers, montagnes, etc. ;
- Gestion durable des ressources en eau, assainissement, énergie, etc. ;
- Gestion des déchets.

Les acteurs mondiaux recommandent la transcription de cet « Agenda » à différents niveaux mondiaux : régionaux, nationaux et locaux. Chaque région (continentale ou infracontinentale), chaque pays et chaque localité est appelé à adopter les principes généraux du développement durable selon leurs particularités géographiques, socioéconomiques et même culturelles.

Dès lors, plusieurs Agendas et chartes ont commencé à voir le jour et continuent de se généraliser pour impliquer un nombre croissant d'acteurs et d'organisations agissant à différentes échelles. Les pays européens sont comptés parmi les premiers initiateurs des programmes et de chartes européennes à savoir la Charte d'Aalborg en 1994 et le Grenelle de l'environnement en 2007.

II.2.3. La Charte d'Aalborg

La Charte d'Aalborg ou charte des villes européennes pour la durabilité est adoptée à l'issue de la conférence européenne pour la durabilité urbaine qui s'est tenue à la ville d'Aalborg au Danemark en 1994. Les signataires de cette charte affirment la responsabilité des villes contemporaines, notamment les villes occidentales, pour la dégradation de l'environnement, et s'engagent à cet effet pour la protection du capital naturel et humain dans tous les projets de développement urbain. Cette charte est composée de 3 parties :

1. Déclaration de la responsabilité des villes ;
2. Définition d'une vision globale et commune de la durabilité en ce qui concerne les villes européennes, qui se rapporte globalement à la valorisation de la densification urbaine, la mixité fonctionnelle, la mobilité durable et la préservation de la biodiversité urbaine ;
3. Des engagements pour la mise en œuvre des programmes de durabilité urbaine dans les plans locaux d'aménagement et d'urbanisme.

La liste des adhérents à cette charte s'est élargie pour atteindre un nombre dépassant 250 signataires. Deux conférences ont succédé (Aalborg +10 et Aalborg +20) pour mettre le point sur l'état des engagements lancés en 1994 et repousser les agendas locaux dans une optique de vulgarisation des programmes de durabilité européenne.

II.2.4. Le Grenelle de l'Environnement

Du 6 juillet au 25 octobre 2007, le Grenelle de l'environnement, initié par Jean-Louis Borloo, ministre d'État sous la présidence de Nicolas Sarkozy, rassemble État, collectivités locales, partenaires sociaux et ONG investies dans les questions environnementales.

De nombreuses thématiques sont abordées : la biodiversité et les ressources naturelles, le changement climatique, les relations entre l'environnement et la santé publique, les modes de production et de consommation, la question de la "gouvernance environnementale" ou de la "démocratie écologique", la promotion de modes de développement durable favorables à la compétitivité et à l'emploi, la question des OGM, la gestion des déchets.

II.2.4.1. Des engagements dans six grands secteurs

Les engagements pris concernent principalement :

- **Le bâtiment et l'habitat** : généralisation des normes de basse consommation dans les logements neufs et les bâtiments publics, mise en place de mesures incitatives pour la rénovation thermique des logements et bâtiments existants, etc. ;
- **Les transports** : construction d'ici à 2012 de 2000 kilomètres de voies ferrées à grande vitesse, création d'un système de taxes favorisant les véhicules les moins polluants, mise en place d'une écotaxe kilométrique frappant les poids lourds sur le réseau routier ;
- **L'énergie** : développement des énergies renouvelables pour atteindre 20% de la consommation d'énergie en 2020, interdiction dès l'an 2010 des lampes à incandescence, étude pour la création d'une taxe basée sur la consommation en énergie des biens et services (taxe carbone) ;
- **La santé** : interdiction de la vente dès 2008 des matériaux de construction et de produits phytosanitaires (pour le traitement des plantes) contenant des substances probablement dangereuses, déclaration obligatoire de la présence de nanomatériaux dans les produits pour le grand public, mise en place d'un plan sur la qualité de l'air ;
- **L'agriculture** : triplement de la part de l'agriculture biologique qui devrait atteindre 6% de la surface agricole utile en 2010, puis 20% en 2020, réduction de moitié de l'usage des pesticides, adoption d'une loi permettant de régler la coexistence entre les OGM et les autres cultures ;
- **La biodiversité** : création d'une "trame verte" reliant les espaces naturels, pour permettre à la faune et à la flore de vivre et circuler sur tout le territoire, trame opposable aux nouveaux projets d'aménagement.

Conclusion

Les architectes et les aménageurs, étant acteurs principaux dans le domaine de la construction, un domaine considéré comme levier de développement des sociétés, sont appelés à être inscrits dans cette nouvelle tendance de durabilité des sociétés. La matérialisation d'une architecture durable devrait s'appuyer sur les principes énoncés dans les différents chartes et accords comme la Charte d'Aalborg (1994) relative à la ville durable, le Grenelle de l'environnement (2007), etc.

Bibliographie du chapitre

- Bignier, G. (2015). *Architecture et écologie: Comment partager le monde habité?* Editions Eyrolles; 214p.
- Cole, R. J. (2004). Changing context for environmental knowledge. *Building Research & Information*, 32(2), 91-109. <https://doi.org/10.1080/0961321042000211396>
- Crichton, D., Nicol, F., & Roaf, S. (2009). *Adapting buildings and cities for climate change (2nd ed.)*. Routledge; 400p. <https://doi.org/10.4324/9780080961279>
- Erlich, P. R., & Anne, H. (1971). *La bombe P... 7 milliards d'hommes en l'an 2000*. Paris, Fayard.
- Gholipour, V. (2011). *Éco-conception collaborative de bâtiments durables* [Institut National Polytechnique de Lorraine]. 271p. <https://www.theses.fr/2011INPL043N>
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons; 480p.
- Gonzalo, R., & Habermann, K. J. (2008). *Architecture et efficacité énergétique: principes de conception et de construction*. Walter de Gruyter; 222p.
- Hegger, M. (2011). *Construction et énergie: architecture et développement durable*. PPUR Presses polytechniques; 280p.
- IEA. (2020). *World Energy Balances 2020*. Study report. IEA, 79p. [https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy supply&indicator=TPESbySource](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TPESbySource)
- Lascoumes, P., Bonnaud, L., Le Bourhis, J.-P., & Martinais, E. (2014). *Le développement durable. Une nouvelle affaire d'État*. PUF. coll. « L'écologie en questions »; 200p.
- Lecourtois, C., & Guéna, F. (2009). Eco-conception et esquisse assistée. Actes de SCAN09, Nancy, France, 64-74.
- Living Building Challenge. (2014). *Living building challenge 3.0 standard* (p. 81). The International Living Future Institute. Seattle, WA. Retrieved from: [http ... https://living-future.org/lbc/](http://living-future.org/lbc/)
- Peuportier, B. (2003). *Eco-conception des bâtiments: bâtir en préservant l'environnement*. Presses des MINES.
- Rey, E. (2001). *Architecture et développement durable: de la théorie à la pratique*. PPUR presses polytechniques; 280p.
- Roaf, S. (2009). The adaptive potential of traditional buildings and cities. In *Adapting Buildings and Cities for Climate Change* (p. 192-217). Routledge.
- Zaccai, E. (2015). *25 ans de développement durable, et après?* Presses universitaires de France; 240p.

Chapitre III. L'architecture écologique : fondements et principes théoriques

Introduction

Le développement durable comme nouveau paradigme a rapidement trouvé ses projections épistémologiques et empiriques dans la totalité des disciplines, et notamment celles qui traitent le projet de développement. À la tête de ces disciplines se manifeste l'architecture comme domaine très concerné par la durabilité des territoires et des sociétés. Dans ce contexte, les débats commencent à se focaliser sur la définition d'une architecture durable ou écologique ; le qualificatif « écologique » est plutôt préféré par les écologistes et les partisans de la protection de notre biosphère.

L'architecture écologique est donc une architecture qui cherche une meilleure conciliation entre le cadre bâti et son environnement. Elle consiste à réduire les charges environnementales ou « l'empreinte écologique » du projet architectural le long du processus de sa production et aussi le cycle de son exploitation.

III.1. L'architecture est de nature écologique, un débat sur les pratiques

Les architectes se consentent que l'architecture soit essentiellement écologique, étant donné que les éléments environnementaux liés au projet d'architecture sont toujours considérés comme une exigence à prendre en compte : « *La pensée écologique et/ou durable en architecture n'est pas une idée neuve. Ce qui paraît relativement plus neuf, c'est sa reconnaissance sociale voire sa revendication.* » (Lecourtois et Guéna, 2009). Les projets fars en sont également témoins, on peut citer, à titre d'exemple, les œuvres suivantes :

- Les améliorations haussmanniennes à Paris et de Cerda à Barcelone sont principalement basées sur l'aération du tissu urbain et l'introduction de l'élément vert dans les travaux de restructuration ;
- Les mouvements des « cités jardin » et des « ceintures vertes » avec comme souci principal le verdoisement des villes et des quartiers résidentiels ;
- La *Broadacre City* du Frank Lloyd Wright aux États-Unis
- La Cité radieuse du fameux Architecte français Le Corbusier ;
- Les exemples de la nature intégrée dans les projets de l'Architecte japonais Tadao Ando.

La question de la durabilité des projets d'architecture ne se limite pas donc aux aspects constructifs de l'architecture (choix de typologie, de structure, de formes spatiales, de mode d'articulation et de

transmission, des relations aux paysages, des rapports entre espaces intérieurs et espaces extérieurs, entre pleins et vides, etc.), mais sur les pratiques dominantes à la suite de l'industrialisation du secteur de la construction en réponse à l'explosion démographique et le besoin accroissant des villes en matière d'espace, d'infrastructure et d'équipements.

III.2. L'environnement en architecture : un souci en évolution

Les modèles progressistes de développement triomphant le long de l'ère de l'industrialisation étaient qualifiés comme consommatrices de ressources naturelles non renouvelables qui tendent au fur et à mesure vers l'épuisement. Le souci de rationaliser l'exploitation du potentiel environnemental n'a pas manqué de s'être soigné aussi bien dans les discours académiques que politiques. Le président américain Roosevelt a indiqué en 1907 que : « *L'optimisme est une bonne chose, mais s'il est poussé à l'excès, il devient sottise. Nous pensons que les ressources de notre pays sont inépuisables ; ce n'est pas le cas. Nos richesses minières, le charbon, le fer, le pétrole, le gaz et les autres matières premières ne sont pas renouvelables. Il est donc certain qu'elles seront à terme épuisées ; et vu la manière dont nous les gaspillons aujourd'hui, nos descendants connaîtront leur épuisement une génération ou deux plus tôt que prévu.* »⁴. En 1915, l'écologiste écossais propose une « optimisation » des systèmes pour pouvoir assurer les besoins humains et préservation du capital naturel. Au cours des années 60 – 70, les études portant sur la pollution ont commencé à confirmer la responsabilité de l'homme dans la provocation et l'augmentation de ce nouveau problème devenu par la suite une problématique majeure : « *Trop de voitures, trop d'usines, trop de détergents, trop de pesticides (...) trop d'oxyde de carbone. La cause en est toujours la même : trop de monde sur la terre.* » (Erlich et Anne, 1971, cité dans Gholipour, 2011).

Le concept de « l'environnement » commence par la suite à prendre place dans les discours politiques et dans la réglementation, notamment dans les pays occidentaux. À ce propos, le président français Georges Pompidou a indiqué dans un discours officiel que : « *L'emprise de l'homme sur la nature est devenue telle qu'elle comporte le risque de destruction de la nature elle-même.* » (cité dans Gholipour, 2011). Les questions liées à la consommation énergétique n'ont pas été mises en avant qu'à la fin des années 70, à la suite de la crise pétrolière de 1973.

Les publications scientifiques et les actions de sensibilisation de la communauté mondiale se sont multipliées pour généraliser une sincère prise en compte des risques écologiques que confronte la biosphère. Le Club de Rome est l'un des fameux organismes qui a publié en 1972 son rapport intitulé « Halte à la croissance » qui met l'accent sur l'épuisement des ressources naturelles et aborde le

⁴ traduit par (Contal et al., 2009), cité dans (Gholipour, 2011)

concept de développement durable dans une optique protection de l'environnement. À partir des années 90, le concept de développement durable commence à être vulgarisé pour devenir une stratégie mondiale exigée dans toute politique de développement urbain. Tous les secteurs de développement socioéconomique se trouvent donc concernés : le secteur de la construction et des infrastructures est considéré comme un levier important de cette nouvelle stratégie de développement.

III.3. L'architecture vernaculaire ou l'adaptation de l'homme à son environnement

Depuis l'édification des 1^{res} habitations, l'être humain a su vivre en harmonie avec son environnement. L'architecture vernaculaire est une manifestation de cette symbiose écosystémique qui a pu persister pendant des milliers d'années jusqu'à la révolution industrielle. Une multitude de formes, de techniques constructives, de cultures d'appartenance, de modes d'organisation et d'appropriation de l'espace, les principes dominants sont communs : une meilleure adaptation à l'environnement naturel et une meilleure transcription de l'organisation sociospatiale des communautés traditionnelles : « *L'architecture vernaculaire a continuellement évolué afin de promouvoir la meilleure utilisation des matériaux locaux et adaptation aux conditions régionales, dans le but de fournir des habitats adéquats, quelques fois luxueux même à des populations localisées dans les climats les plus extrêmes de la planète* » (Crichton et al., 2009)⁵.

III.4. Le secteur de la construction actuellement : un levier stratégique de protection de l'environnement

Le secteur de la construction est constaté parmi les principaux secteurs consommateurs d'énergie et de ressources naturelles. Il présente plus de 29% de la consommation énergétique mondiale. Les villes présentent plus de 70% des émissions des Gaz à effet de serre.

⁵ traduit par Gholipour (2011)

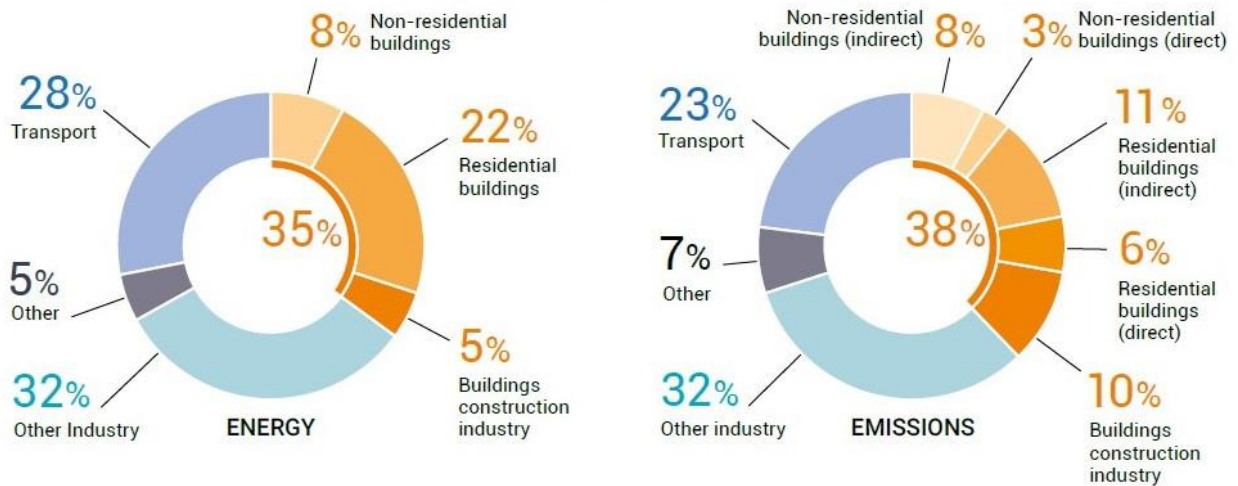


Figure 5 : Part du secteur de la construction en matière de consommation énergétique et des émissions des CO2

Source : (IEA, 2020)

En vue de s'inscrire dans une perspective de durabilité architecturale, les acteurs de la construction sont demandés d'opter pour la production d'un cadre bâti environnementalement performant. L'écoconception se manifeste comme une démarche nécessaire permettant une meilleure prise en compte des aspects environnementaux et conduisant également à l'optimisation des meilleures solutions architecturales qui répondent en même temps aux exigences fonctionnelles, esthétiques, économiques et aussi écologiques.

III.5. Principes généraux

- Une écoconception ou approche passive ;
- Des écomatériaux et des techniques écoresponsables ;
- Maitrise de la consommation énergétique ;
- Gestion des sources : eau, assainissement et déchets ;
- Adopter une procédure d'évaluation environnementale.

Chapitre IV. Écoconception et performance environnementale des bâtiments

Introduction

Nous avons vu précédemment que le secteur de la construction a une responsabilité importante dans l'aggravation des problèmes environnementaux aussi bien au niveau planétaire (changement climatique, effet de serre, trou d'Ozone, etc.) qu'au niveau local (pollution, ressources naturelles, biodiversité, etc.). L'adoption du développement durable et l'engagement de la communauté internationale pour la préservation de la biosphère ont fait du secteur de la construction un levier important pour la concrétisation des objectifs de cette nouvelle stratégie mondiale.

Les bâtiments performants s'inscrivent dans cette vision de protection de l'environnement. La performance environnementale d'un bâtiment se rapporte aux qualités qu'il présente, notamment en matière d'émissivité des GES, de consommation d'énergie et des ressources, de l'efficacité des dispositifs constructifs et techniques qu'ils possèdent, et aussi du mode de vie et des comportements des usagers. Ce niveau de performance est mesurable et peut être examiné pour évaluer le degré de conformation aux normes et réglementations environnementales définissant les seuils favorables et les conditions de mise en œuvre et d'exploitation après réalisation et même après la fin d'utilisation.

IV.1. Des générations en évolution

Tout d'abord, les bâtiments performants constituent les facettes des bâtiments durables. Au fil de temps, plusieurs générations de bâtiments « durables » se succèdent : des bâtiments à efficacité énergétique, des bâtiments dits écologiques ou verts, et des bâtiments à impact positif ou des régénérateurs ou restaurateurs (figure 6).

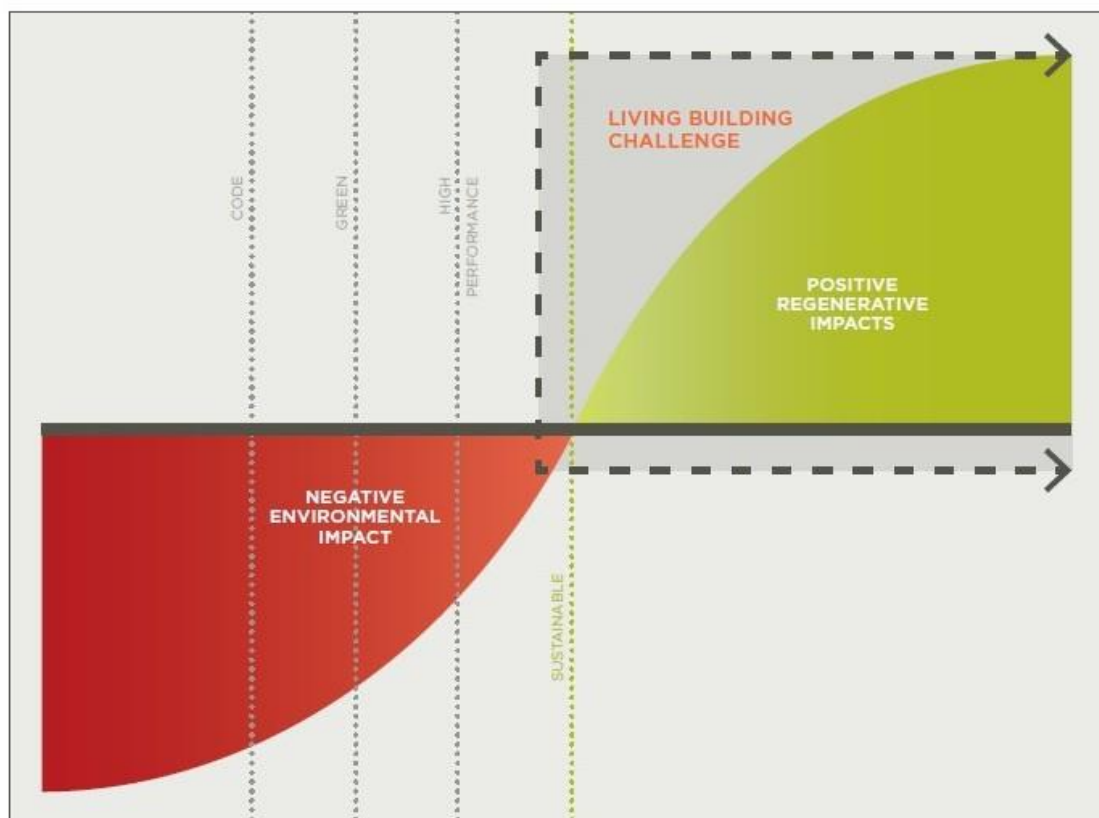


Figure 6 : Évolution des bâtiments performants

Source : (Living Building Challenge, 2014)

IV.1.1. Les bâtiments à efficacité énergétique

Ce sont des bâtiments qui se conforment aux réglementations thermiques relatives à chaque pays ou localités. Les besoins en matière de confort intérieur sont assurés avec moins de consommation énergétique. Le bilan énergétique est à examiner aussi bien lors de la conception et lors de fonctionnement et usage. Pour les réglementations thermiques, on prend l'exemple de la réglementation française RT 12 et RT20. Cette réglementation définit quelques indicateurs synthétiques mesurables comme :

- Le **BIO** : Besoins bioclimatiques ;
- Le **Cep** : Coefficient de consommation conventionnelle de l'énergie primaire ;
- La **Tic** : Température intérieure conventionnelle en période de forte chaleur,

Et exige le respect des seuils de consommation énergétique annuelle en fonction des régions géographiques. Une catégorisation énergétique de bâtiments est définie en fonction de leurs consommations énergétiques (figure 7).

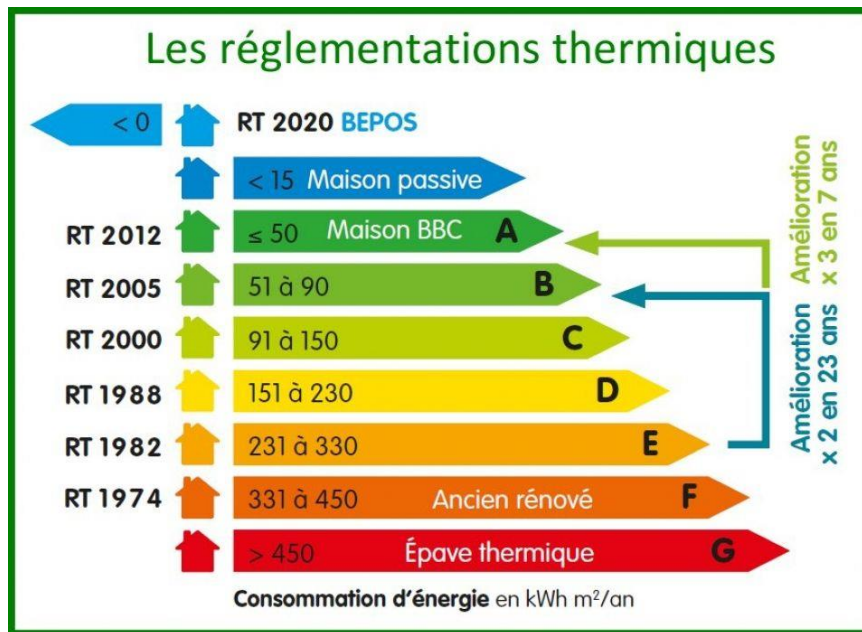


Figure 7 : Catégorisation des bâtiments selon la RT 2020

Source : (Tiphanie, 2020)

IV.1.2. Les bâtiments verts ou écologiques

La performance énergétique seule ne suffit pas pour qualifier un bâtiment soutenable. La notion d'empreinte écologique est à prendre en compte et à examiner. Il s'agit d'une intégralité de paramètres couvrant les différents aspects conceptuels, constructifs et d'exploitation. Les bâtiments verts ne devraient pas générer de fortes charges environnementales lors ou après exploitation. L'impact négatif existe toujours, mais il devrait être maîtrisable. Des qualités normalisées ont vu le jour pour décrire ce genre de bâtiments comme la *Bâtiment Bas-carbone*, le *Bâtiment à Énergie Zéro*, le *Green Building* en Amérique du Nord, le *Passive house*, etc.

IV.1.3. Les bâtiments régénérateurs : les bâtiments à impact positif

En plus de l'empreinte écologique « tolérée » qu'il présente, le bâtiment régénérateur participe à la promotion des écosystèmes avoisinants à travers des apports énergétiques, de recyclage ou via des dispositifs constructifs lui permettant de s'intégrer à un processus écologique comme la production de l'énergie propre, la végétation des parois et des terrasses pour purifier l'air et promouvoir la biodiversité, etc. Cette qualité de bâtiments est actuellement standardisée et peut être soumise à une procédure de labialisation nationale ou mondiale (LEED, BREAM, HQE, etc.).

IV.2. Des aspects à retenir

L'architecture environnementale cherche une meilleure réconciliation du bâtiment avec son environnement. Une démarche d'écoconception est cruciale pour pouvoir estimer et prévisualiser le niveau de performance que pourrait présenter le projet de construction ou d'aménagement. Mais il

est nécessaire également d'assurer une réalisation conforme aux exigences prescrites à l'issue de l'étude, notamment celles relatives à l'isolation, à l'étanchéité et à la qualité de l'enveloppe extérieure. Le choix d'installations et équipements devrait favoriser les conditions d'efficacité énergétique et l'utilisation des sources renouvelables. En somme, trois aspects sont à prendre en compte et par ordre de priorité :

- Une démarche d'écoconception : rationalisation des besoins et optimisation environnementale ;
- Des dispositifs constructifs de qualité : isolation, étanchéité, ponts thermiques, matériaux, etc. ;
- Mise en place d'équipements performants.

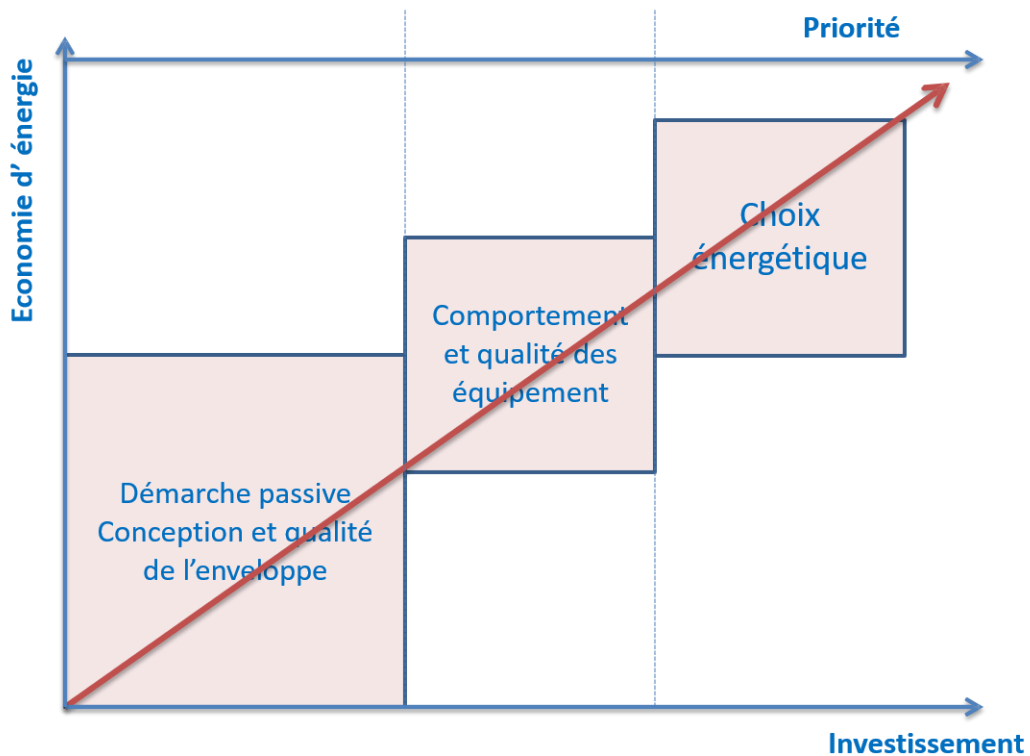


Figure 8 : Ordre de priorité pour un bâtiment performant

Source d'après (Gonzalo et Habermann, 2008)

IV.2.1. Un bâtiment passif : écoconception

L'écoconception est une démarche de conception qui prend en compte les paramètres écologiques dans le processus de la conception du projet. Cette démarche permet d'arriver à une optimisation des solutions architecturales et constructives qui répondent à la fois aux besoins fonctionnels et aux exigences environnementales. L'écoconception architecturale est fondamentalement basée sur les concepts de l'architecture bioclimatique tels que : l'adaptation au site, implantation, compacité, orientation, enveloppe, etc. ainsi que l'utilisation des énergies renouvelables et des procédés écologiques dans la consommation et la gestion des ressources comme l'eau, les eaux usées, les déchets, etc.

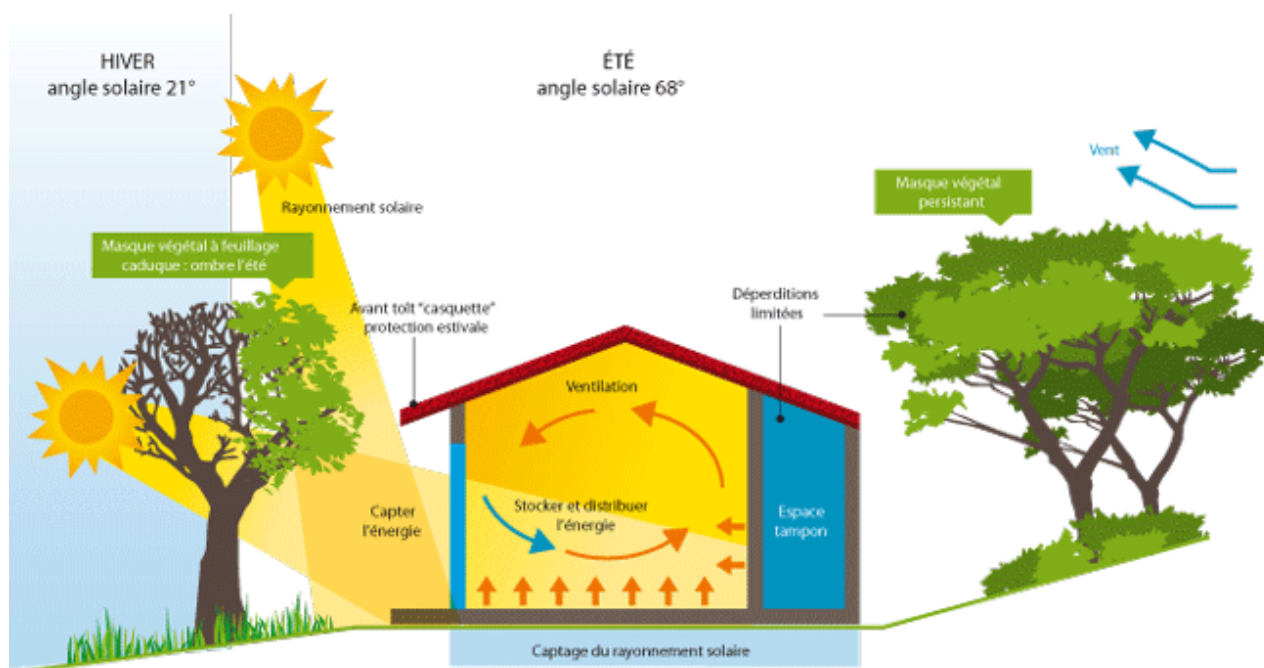


Figure 9 : Principes d'un bâtiment passif

Source : <https://media.xpair.com/redac/basse-consommation/composants-bioclimateques.gif>

IV.2.2. Des paramètres écologiques à intégrer en amont

Il est important de souligner que l'intégration des paramètres écologiques dans la conception architecturale ne se limite pas seulement à une phase de conception comme elle ne vient pas juste après l'élaboration de la forme finale du projet architectural : là, on parle d'une évaluation d'un produit et non d'un processus.

La prise en compte des paramètres écologiques concerne toutes les phases de l'étude du projet à savoir : la programmation, l'esquisse, l'avant-projet et le dossier d'exécution. Lors de chaque phase, plusieurs tâches sont à définir selon le contexte et les objectifs particularisant chaque projet et chaque site d'implantation.

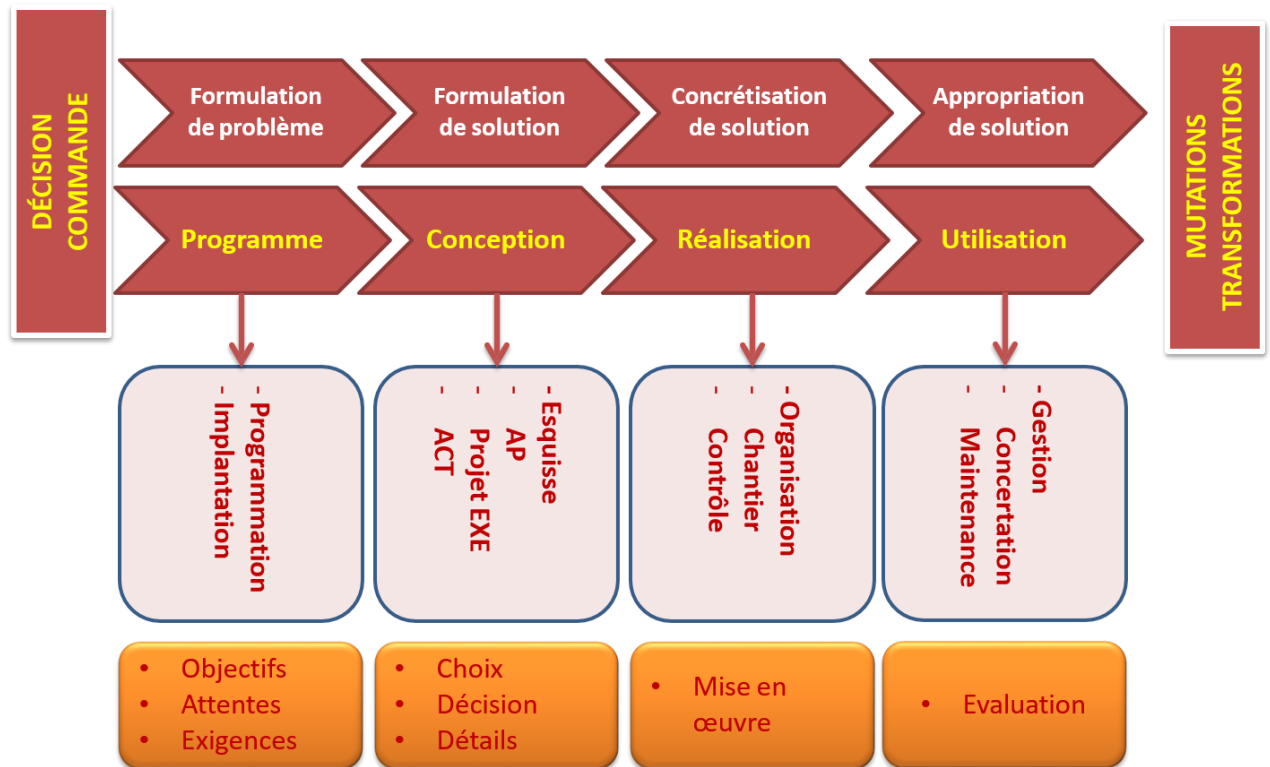


Figure 10 : Démarche d'écoconception

Source : d'après (Gonzalo et Habermann, 2008)

IV.2.3. Un choix énergétique renouvelable

L'utilisation des énergies renouvelables est une caractéristique fondamentale de l'architecture et l'urbanisme écologiques. La réduction de la pollution et de l'émission des GES générés à la suite de l'utilisation des énergies fossiles constitue un enjeu majeur pour les acteurs de la construction et de l'aménagement. Toutes les réglementations énergétiques et environnementales exigent la mise en œuvre des énergies renouvelables pour répondre aux besoins thermiques et d'électricité. Pour assurer un meilleur rendement de ces sources renouvelables, il est nécessaire de rationaliser ces besoins et de maîtriser le bilan thermique et énergétique à travers la mise en avant des solutions passives.

IV.2.4. Les énergies renouvelables

Les énergies renouvelables sont des sources de provenance naturelle qui fournissent de l'énergie thermique et électrique non épuisable et non polluante. Elle se renouvelle continuellement de manière naturelle. Ce type propre d'énergie constitue l'alternative écologique actuelle qui pourrait remplacer les énergies fossiles qui sont polluantes et épuisables et fait aussi l'objet de plusieurs tensions et conflits géopolitiques. Il existe cinq grands types d'énergies renouvelables :

IV.2.4.1. L'énergie solaire photovoltaïque ou thermique

L'énergie solaire est produite par le rayonnement du soleil. On distingue l'énergie photovoltaïque qui est obtenue directement à partir du rayonnement, de l'énergie solaire thermique qui utilise la chaleur émise par le rayonnement.

IV.2.4.2. L'énergie éolienne

La force du vent fait tourner des éoliennes qui produisent de l'électricité.

IV.2.4.3. L'énergie hydraulique

La force de l'eau des chutes retenue par des barrages ou celle qui alimente les aménagements « au fil de l'eau » fait tourner les turbines des centrales pour produire de l'électricité.

IV.2.4.4. La biomasse issue des matières organiques

La combustion de la matière organique (plantes, arbres, déchets animaux, agricoles ou urbains) produit de la chaleur ou de l'électricité.

IV.2.4.5. La géothermie : l'énergie stockée au sous-sol

La chaleur du sous-sol chauffe directement l'eau ou fait tourner les turbines des centrales pour produire de l'électricité.

En plus de la possibilité d'accès aux types d'énergie, le choix de la source énergétique dépend de plusieurs facteurs : géographique, climatique, technicoéconomique. L'Algérie possède un gisement solaire très important. Cette source prometteuse est fortement recommandée pour la réalisation des bâtiments durables nouveaux ou existants à requalifier.

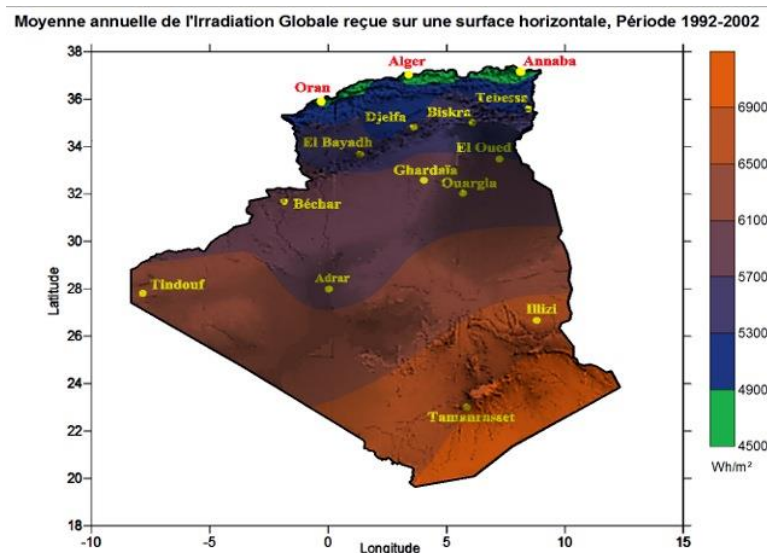


Figure 11 : Carte de l'irradiation solaire globale en Algérie
Source : (CDER, 2020)⁶

⁶ <https://www.cder.dz/IMG/jpg/tt.jpg>

Conclusion

L'approche environnementale du projet architectural porte une vision globale et systémique englobant l'ensemble du processus de la production architecturale.

Il est important de souligner que l'intégration des paramètres écologiques dans la conception architecturale ne se limite pas seulement à une phase de conception comme elle ne vient pas juste après l'élaboration de la forme finale du projet architectural : là, on parle d'une évaluation d'un produit et non d'un processus.

La prise en compte des paramètres écologiques concerne toutes les phases de l'étude du projet à savoir : la programmation, l'esquisse, l'avant-projet et le dossier d'exécution. Lors de chaque phase, plusieurs tâches sont à définir selon le contexte et les objectifs particularisant chaque projet et chaque site d'implantation.

Travaux dirigés N° 02 : Des techniques bioclimatiques innovantes

Recherches thématiques :

- L'architecture bioclimatique en régions méditerranéennes (analyse d'exemples) ;
- Le Mur Trombe ;
- La serre bioclimatique ;
- Le puits canadien ;
- Le solaire passif ;
- Les énergies renouvelables : types et dispositifs conceptuels
- L'énergie solaire en Algérie : un potentiel incontournable pour un bâtiment performant

Bibliographie du chapitre

- Bignier, G. (2015). *Architecture et écologie: Comment partager le monde habité?* Editions Eyrolles; 214p.
- Cole, R. J. (2004). Changing context for environmental knowledge. *Building Research & Information*, 32(2), 91-109. <https://doi.org/10.1080/0961321042000211396>
- Crichton, D., Nicol, F., & Roaf, S. (2009). *Adapting buildings and cities for climate change (2nd ed.)*. Routledge; 400p. <https://doi.org/10.4324/9780080961279>
- Erlich, P. R., & Anne, H. (1971). *La bombe P... 7 milliards d'hommes en l'an 2000*. Paris, Fayard.
- Gholipour, V. (2011). *Éco-conception collaborative de bâtiments durables*. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine. 271p. <https://www.theses.fr/2011INPL043N>
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons; 480p.
- Gonzalo, R., & Habermann, K. J. (2008). *Architecture et efficacité énergétique: principes de conception et de construction*. Walter de Gruyter; 222p.
- Hegger, M. (2011). *Construction et énergie: architecture et développement durable*. PPUR Presses polytechniques; 280p.
- IEA. (2020). *World Energy Balances 2020*. Study report. IEA, 79p. [https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy supply&indicator=TPESbySource](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TPESbySource)
- Lascoumes, P., Bonnaud, L., Le Bourhis, J.-P., & Martinais, E. (2014). *Le développement durable. Une nouvelle affaire d'État*. PUF. coll. « L'écologie en questions »; 200p.
- Lecourtois, C., & Guéna, F. (2009). Eco-conception et esquisse assistée. Actes de SCAN09, Nancy, France, 64-74.
- Living Building Challenge. (2014). Living building challenge 3.0 standard (p. 81). The International Living Future Institute. Seattle, WA. Retrieved from: [http ... https://living-future.org/lbc/](http://living-future.org/lbc/)
- Peuportier, B. (2003). *Eco-conception des bâtiments: bâtir en préservant l'environnement*. Presses des MINES.
- Rey, E. (2001). *Architecture et développement durable: de la théorie à la pratique*. PPUR presses polytechniques; 280p.
- Roaf, S. (2009). The adaptive potential of traditional buildings and cities. In *Adapting Buildings and Cities for Climate Change* (p. 192-217). Routledge.
- Tiphanie. (2020). *RT 2020: Tout ce qu'il faut savoir*. 360m2 (en ligne). <https://www.360m2.fr/actualite/consommation/rt-2020-tout-ce-qu'il-faut-savoir>
- Zaccai, E. (2015). *25 ans de développement durable, et après?* Presses universitaires de France; 240p.

Chapitre V. L'évaluation environnementale dans le secteur du bâtiment

Introduction

Dans une vision de vulgarisation des bâtiments durables, des méthodes et démarches d'évaluation environnementales ont été développées et mises en place. L'évaluation environnementale des opérations de construction et d'aménagement est devenue une pratique largement reconnue et même dictée comme nécessité technique et procédurale lors de la production ou l'amélioration du cadre bâti. Des programmes de certification et de labélisation ont été développés dans le monde entier qui servant comme moyen de soutien et de promotion des initiatives visant la réduction de l'empreinte écologique des projets de construction.

V.1. L'évaluation environnementale des bâtiments

V.1.1. L'évaluation comme nécessité procédurale

D'une manière générale, l'évaluation est une démarche consistant à collecter des informations sur des solutions ou des actions opérées, de les analyser et les interpréter dans la finalité est de les qualifier par rapport à un système de jugement. L'évaluation environnementale cherche donc à décrire et caractériser le comportement environnemental d'un produit ou d'une action.

L'évaluation environnementale fait partie intégrante des projets de développement durable à différents niveaux. Selon les objectifs visés et les moyens mobilisés, l'évaluation s'effectue selon la planification du projet sur les différentes étapes de son avancement ou sur son ensemble. Les objectifs, le référentiel et les normes, et les données nécessaires doivent être redéfinis avant d'entamer une évaluation environnementale d'un bâtiment. Le contexte réglementaire est également nécessaire pour pouvoir définir les différents droits et obligations des différents intervenants dans ce genre de démarches.

En évaluation environnementale, le bâtiment est à la fois considérée comme un objet physique composé de matériaux et d'éléments statiques définissant sa morphologie, et comme un système de flux dynamiques constitués d'entrées (Fabrication et fourniture des matériaux, alimentation en énergie, AEP, etc.) et des flux sortants dégagés par le bâtiment (déchets, évacuation EU, EP, émissions, etc.). Cette modélisation des composantes et des besoins permet la mise en valeur des interactions du bâtiment avec son environnement à travers deux sortes de flux :

- Flux d'alimentation en ressources : eau, énergie, matières premières ;
- Flux évacués après consommation : émissions et déchets solides, liquides et gazeux.

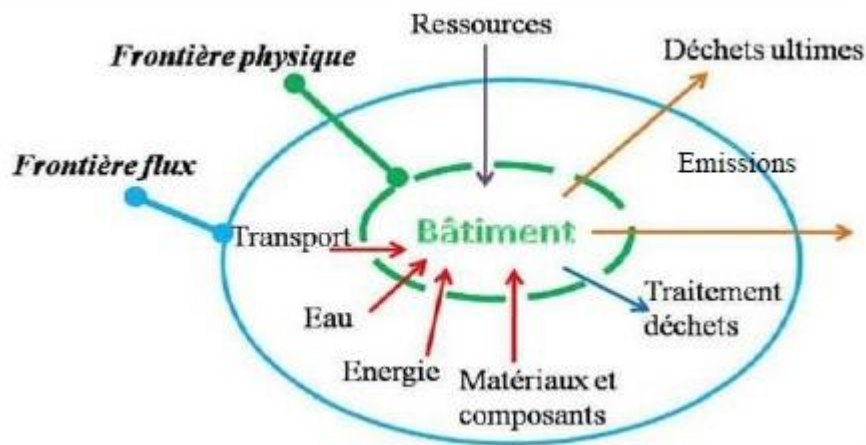


Figure 12 : Le bâtiment objet et système de flux.

Source : D'après (Trocmé et Peuportier, 2008)

V.2. Les méthodes d'évaluation environnementale

Dans le domaine de la construction et d'aménagement, il existe trois principales méthodes d'évaluation environnementale :

1. L'empreinte écologique
2. L'Étude d'Impacts sur l'Environnement EIE
3. Les systèmes de classification ou de certification ;
4. L'analyse de cycle de vie ACV.

V.2.1. L'empreinte écologique

L'empreinte écologique d'un produit ou d'une communauté se rapporte à la quantité des ressources naturelles consommées et des déchets émis lors de sa fabrication ou son développement par rapport à un équivalent surfaciques des terres et des eaux nécessaires pour la fourniture de ces mêmes besoins et la réception de ces mêmes déchets. Les quantités aussi bien consommées que disponibles seront calculées en équivalence de surfaces nécessaires que peut offrir un écosystème pour répondre aux besoins de développement pour un projet, un quartier, une ville ou un territoire donné : *« l'empreinte écologique est une mesure de la pression exercée par l'homme sur la nature. L'Empreinte écologique évalue la surface productive nécessaire à une population pour répondre à*

sa consommation de ressources et à ses besoins en absorption de déchets. » (Dictionnaire de l'environnement, 2022)⁷.

La mesure de l'empreinte écologique est comparée à la capacité biologique que présente le capital naturel en matière de production et d'absorption (biocapacités). Il s'agit donc d'un calcul de balance appelé « solde écologique ». La différence entre la capacité biologique (l'offre écologique) et l'empreinte écologique (la demande humaine) équivaut au solde écologique.

L'empreinte écologique constitue un indicateur pertinent qui permet d'évaluer la durabilité d'un pays, d'une ville ou d'un projet : quand l'empreinte écologique augmente, la durabilité d'une ville diminue, et inversement.

V.2.2. L'Étude d'Impacts sur l'Environnement EIE

L'étude d'impacts sur l'environnement est une démarche volontaire qui consiste identifier les conséquences et les effets néfastes que peut générer un projet et une activité sur son environnement avoisinant. L'impact environnemental ici ne se limite pas à la composante biophysique, mais il s'entend pour inclure les composantes physicochimiques, biologiques, visuelles ou paysagères, culturelles et socioéconomiques de l'ensemble de l'environnement. Cette méthode a commencé à être utilisée aux États-Unis aux débuts des années 60. L'association internationale pour l'évaluation de l'impact (IAIA) définit l'étude de l'impact sur l'environnement comme « *le processus d'identification, de prévision, d'évaluation et d'atténuation des effets biophysiques, sociaux et autres effets pertinents des propositions de développement avant que des décisions majeures soient prises et des engagements pris* » (IAIA, 2009)⁸.

L'EIE est de double nature, chacune d'elle a sa propre approche méthodologique, elle peut être entamée comme :

- Comme un outil technique d'analyse des conséquences d'une action planifiée (projet, programme, plan, politique, etc.) fournissant des informations aux acteurs et aux décideurs ;
- Comme une procédure administrative volontaire intégrée dans une démarche de prise de décision pour une opération planifiée.

V.2.2.1. Principaux objectifs

L'étude d'impacts sur l'environnement cherche principalement à :

⁷ Dictionnaire de l'environnement : <https://www.dictionnaire-environnement.com> consulté le 28/01/20200 à 17h50

⁸ <https://www.iaia.org/> ; traduit par l'auteur.

- Fournir des informations et des résultats d'analyses utiles pour la prise de décision pour une activité ou une intervention proposée ;
- Promouvoir la participation du public et des différents acteurs concernés dans un cadre de transparence et de concertation ;
- Définir les modalités de suivi et de contrôle, dans le cadre de la protection de l'environnement, dans le processus des actions et des projets ;
- Contribuer à la vulgarisation d'un développement humain durable respectueux de l'environnement.

V.2.2.2. Normalisation et réglementation de L'EIE

L'évaluation de l'impact environnemental est basée sur un cadre conceptuel et référentiel pratiquement issu de différentes sciences : physiques, naturelles et sociales leur permettant la prédiction des conséquences futures attendue à la suite d'une éventuelle décision.

La norme ISO 4011 de l'Organisation Internationale de Normalisation couvre L'EIE et constitue un référentiel de normalisation décrivant les étapes clés pour effectuer une évaluation environnementale à savoir :

1. L'identification de la situation de référence ;
2. L'estimation des impacts ;
3. L'évaluation des impacts ;
4. L'atténuation des impacts.

Les études d'impact environnementales sont pratiquement basées sur les principes de précaution et d'anticipation. Dans ce sens, les décideurs auront la possibilité d'étudier les différentes conséquences de certains choix décisionnels avec de les mettre en œuvre.

L'EIE a été mise en place comme un outil réglementé aux USA via la loi sur la politique environnementale nationale (NEPA) en 1969. En Europe, le conseil des communautés européennes a approuvé en 1985 une directive communautaire portant sur la mise en place de dispositifs réglementaires exigeant l'évaluation de l'impact environnemental de certains projets. En Algérie, cette étude prévisionnelle est exigée dans toute procédure nécessaire pour la réalisation des grands projets (barrages, ports, chemins de fer, routes, etc.) et des investissements classés. Elle est définie

comme un moyen légal permettant d'une part, la prise de décision et des recommandations relatives à la réalisation des programmes et des projets d'Investment public et privé et d'autre part, l'implication des tous les acteurs concernés dans cette prise de décision et des modalités de contrôle à différents niveaux d'intervention. Cette démarche est légiféré grâce à la loi-cadre n°83-03 du 7 février 1983 relative à la protection de l'environnement, et explicitée juridiquement et techniquement au moyen des dispositions du décret exécutif n°90 — 78 du 27 février 1990 relatif à l'étude d'impact sur l'environnement, ainsi que le décret exécutif n°98-339 du 3 novembre 1998 définissant la réglementation applicable aux installations classées et fixant leur nomenclature. D'autres dispositifs réglementaires sont par la suite mis en place en évolution avec les questions relatives au droit de l'environnement.

V.2.2.3. Limites d'échelles et de détails d'analyse

L'étude d'impact EIE couvre une large échelle d'étude. Pour cette raison, elle est considérée comme trop générique ce qui peut constituer une limite quand il s'agit d'une analyse détaillée. En ce sens : *« Elle a du mal à contribuer de manière significative et cohérente à la conception de bâtiments respectueux de l'environnement. »* (Ragheb, 2011).

Elle est considérée également comme un outil d'aide à la décision et non de prise de décision, compte tenu des pratiques actuelles et la nature des résultats qu'elles véhiculent qui ne prenant en considération que les effets directs sur le site d'implantation.

V.2.3. Les systèmes de classification ou de certification

Les systèmes de classification utilisent une liste d'exigences auxquelles doit répondre un bâtiment pour avoir sa qualification environnementale. Le nombre de crédits est attribué en fonction des exigences satisfaites ; pour chaque exigence, il y a également des niveaux mesurables de satisfaction. Après avoir obtenu un certain nombre de crédits, le bâtiment se voit susceptible de recevoir un label ou une certification. La liste de ces exigences et des indicateurs et les seuils de crédits diffèrent d'un système d'évaluation à un autre. Les méthodes de calcul et de pondération sont consensuellement décrites par les experts concernés.

Ces systèmes sont généralement standardisés, ce qui pose le problème de leur adaptabilité avec les particularités des contextes locaux. Par exemple, un bâtiment qui présente un taux de réutilisation des eaux usées égale à 50 % aura le même crédit quelle que soit sa situation géographique, alors la valeur environnementale ajoutée par ce bâtiment se serait la même dans des situations différentes *« Cette non-prise en compte du contexte du bâtiment est l'une des principales critiques à l'encontre*

des systèmes de notation. » (Ragheb, 2011). Néanmoins, cette limite de pratique a pu être progressivement améliorée, notamment avec le développement et la mise en place de systèmes « locaux ou régionaux » d'évaluation et de certification.

Les systèmes de classification environnementale constituent actuellement un outil puissant pour la vulgarisation des bâtiments performant, notamment en matière d'éducation, d'image publique et aussi de marketing. Ces systèmes d'évaluation permettent aux bâtiments ayant acquis une certification ou un label environnemental d'avoir plus d'opportunités commerciales et de reconnaissance. En raison du caractère innovatif qu'elles portent ainsi que la facilité d'utilisation et de communication des résultats, ces méthodes gagnent un intérêt croissant de la part des utilisateurs, et sont devenues omniprésentes dans le secteur de la construction et de l'aménagement.

Parmi ses systèmes de classification et certification, on trouve :

- Le LEED aux USA ;
- Le BREEAM au RU ;
- CASBEE au Japon ;
- La HQE en France.
- Et autres...

V.2.4. L'Analyse du cycle de vie ACV

L'analyse de cycle de vie cherche à mettre en valeur les effets directs et indirects que peut générer un projet sur l'environnement. Elle consiste à quantifier l'émissivité en matière de Gaz à effet de serre, les ressources naturelles consommées, les rejets et les autres effets négatifs que peut présenter un projet de construction pendant toutes ces phases de vie incluant sa réalisation, son usage et sa fin d'utilisation (fin de vie). L'approche globale que porte cette méthode ainsi que le niveau de détails analysés ont conduit à faire de l'ACV une méthode favorisée dans les études scientifiques portant sur l'évaluation environnementale notamment des produits. Elle est basée sur l'établissement et l'analyse des bilans des masses et d'énergie en quantifiant pour un projet tous les intrants et les extrants « évacuations ou émissions » rejetés dans l'environnement. Les normes ISO 14040 – 14049 et le système européen EMAS constituent des référentiels majeurs pour la plupart des méthodes ACV et décrivent les étapes à suivre pour entamer une évaluation d'un objet ou un système le long de son cycle de vie.

L'analyse de cycle de vie ACV met en valeur les charges environnementales d'un produit ou d'un processus en prenant en compte toutes ces phases de vie, il s'agit d'un système d'évaluation appelé « du berceau à la tombe ». Cette approche est intégrée dans les projets et les politiques de développement durable dans la majorité des pays du monde.

Travaux dirigés N° 03 : L'EIE en Algérie

Recherches thématiques :

- Évolution de la réglementation environnementale en Algérie
- Notice de l'environnement
- L'EIE

Analyse des exemples de EIE en Algérie

Chapitre VI. L'Analyse de Cycle de Vie ACV comme méthode d'évaluation environnementale multicritères

Introduction

L'analyse de cycle de vie cherche à mettre en valeur les effets directs et indirects que peut générer un projet sur l'environnement. Elle consiste à quantifier l'émissivité en matière de Gaz à effet de serre, les ressources naturelles consommées, les rejets et les autres effets négatifs que peut présenter un projet de construction pendant toutes ces phases de vie incluant sa réalisation, son usage et sa fin d'utilisation (fin de vie). L'approche globale que porte cette méthode ainsi que le niveau de détails analysés ont conduit à faire de l'ACV une méthode favorisée dans les études scientifiques portant sur l'évaluation environnementale notamment des produits. Elle est basée sur l'établissement et l'analyse des bilans des masses et d'énergie en quantifiant pour un projet tous les intrants et les extrants « évacuations ou émissions » rejetés dans l'environnement. Les normes ISO 14040 – 14049 et le système européen EMAS constituent des référentiels majeurs pour la plupart des méthodes ACV et décrivent les étapes à suivre pour entamer une évaluation d'un objet ou un système le long de son cycle de vie.

L'analyse de cycle de vie ACV met en valeur les charges environnementales d'un produit ou d'un processus en prenant en compte toutes ces phases de vie, il s'agit d'un système d'évaluation appelé « du berceau à la tombe ». Cette approche est intégrée dans les projets et les politiques de développement durable dans la majorité des pays du monde.

La série de normes ISO 14040 et 14044 décrit la méthodologie et la déontologie que doivent toutes les études d'analyse de cycle de vie ACV. Au sens de ces normes, l'analyse de cycle de vie ACV est une méthodologie d'évaluation quantitative globale de la pression du produit, ou du système étudié sur les ressources et l'environnement tout au long de son cycle de vie, de l'extraction des matières premières jusqu'à son traitement en fin de vie.

À l'aide de la méthode de calcul des normes internationales ISO 14040 et 14044 et de principes (comme la traçabilité et la transparence), l'analyse de cycle de vie ACV est basée sur un inventaire des sources d'impact : des consommations de matières premières, utilisation d'eau, d'énergie, génération de déchets, de polluants (dans l'eau, l'air, le sol...).

VI.1. Définition de l'approche « Analyse du Cycle de Vie ACV »

La définition de L'ACV renvoi d'une part à une méthode d'évaluation environnementale d'un produit ou d'un système dont l'aboutissement est de pouvoir lui attribuer un qualificatif ou un jugement d'un point de vue environnemental, d'autre part, à une procédure technicoadministrative, souvent réglementée, qui consiste à prouver la conformité d'un projet ou un programme d'action vis-à-vis la réglementation environnementale en vue d'obtenir la certification et l'autorisation nécessaire pour être favorable à la réalisation ou à la reconnaissance auprès des instances et des acteurs concernés.

L'ACV est donc une démarche de calcul standardisée et d'évaluation des effets directs et indirects que peut apporter un produit ou un service pendant toutes ses phases de vie, c'est-à-dire sa planification, son design, sa réalisation, son exploitation et son démantèlement et sa fin de vie. Tous les aspects liés à l'environnement sont à prendre en considération selon un modèle englobant les indicateurs environnementaux à mettre en examen, leurs calculs, leurs grilles d'évaluation, leur corrélation, ainsi que leurs interprétations.

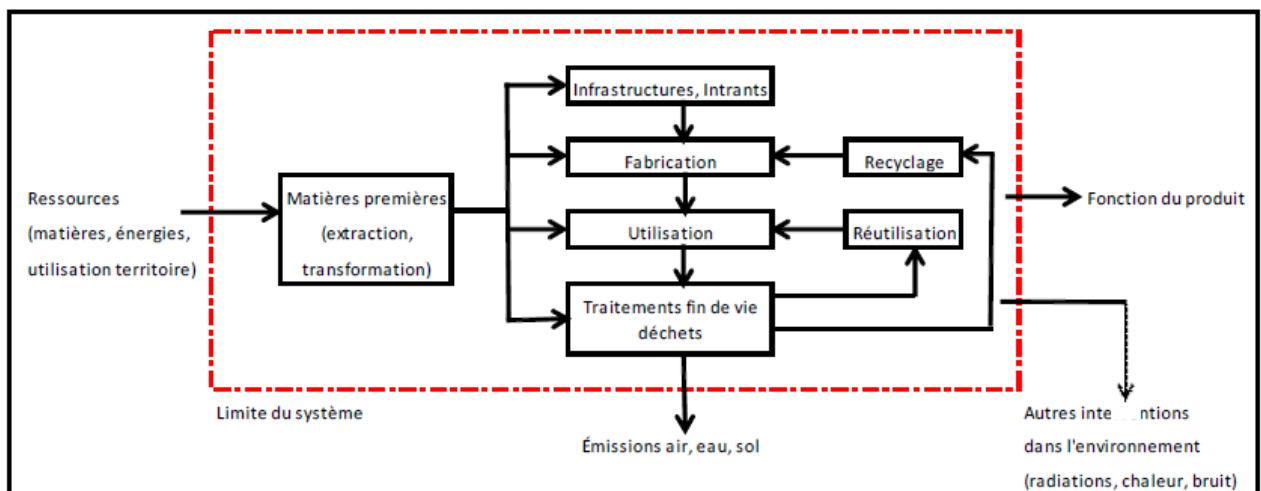


Figure 13 : Processus et phases de vie d'un produit

Source : (Sylvie, 2015 d'après Jolliet et al., 2005)

L'ACV est aussi une démarche volontaire, imposée ou suggérée par la réglementation locale pour chaque pays, département ou localité, que le propriétaire ou le maître de l'ouvrage devrait effectuer auprès d'un expert ou un agent qualifié. Cette procédure consiste à estimer l'ensemble des ressources naturelles consommées liées aux flux de matières et énergies, et les émissions et les déchets rejetés par un projet lui-même ainsi que les activités qu'il devrait abriter sur l'environnement. L'impact sur l'environnement est pris dans son sens large, mais il peut être défini en fonction de la cible environnementale recherchée qui peut se rapporter aux thèmes suivants :

- Les ressources abiotiques ;
- Les écosystèmes ;
- La santé au sens restreint du terme ;
- Le bien-être ;
- Le patrimoine bâti.

Les méthodes de L'ACV visent généralement à concrétiser les objectifs du développement durable, notamment dans le secteur de la construction et de l'aménagement, à travers la réalisation des bâtiments performants et la généralisation des systèmes de gestion et de management environnemental aussi bien à l'échelle des bâtiments eux-mêmes qu'aux échelles des quartiers et des unités de voisinages.

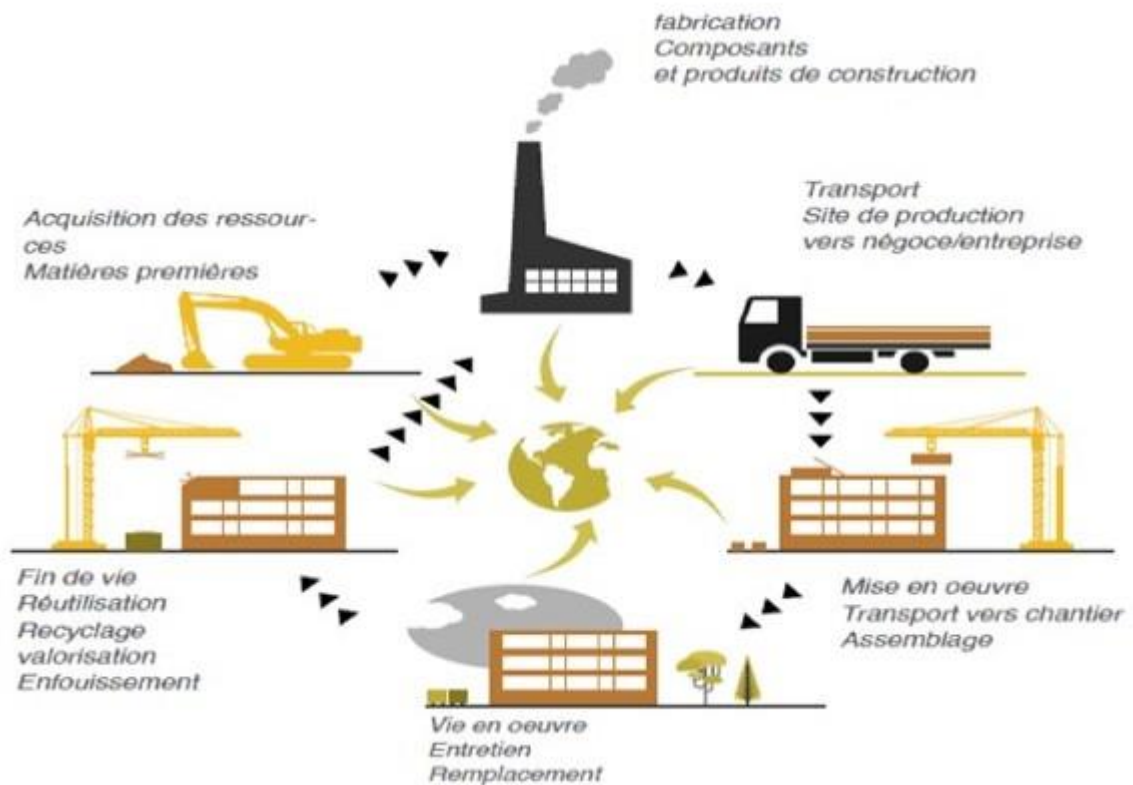


Figure 14 : Les phases de vie d'un produit

Source : (Fenner et Kibert, 2017)

L'enjeu primordial de l'application de l'ACV consiste en premier lieu à l'identification des nuisances environnementales et leurs principales sources et, en second lieu, leurs éliminations ou la limitation de ses effets, ainsi que la visualisation de la transmission des polluants que peuvent générer les différents dispositifs à mettre en œuvre.

VI.2. Historique de l'ACV

Les études portant sur la conception de modèles d'analyse environnementale des produits fabriqués ont abouti au développement des approches basées sur le « cycle de vie » à la fin des années 1960 et au début des années 1970. L'idée de base de cette approche d'ACV, initialement connue sous l'appellation « Analyse du profil environnemental et de ressources (REPA⁹) » ou « Écobilan », a commencé à être conçue au moment où les questions de la dégradation de l'environnement et en particulier l'accès limité aux ressources naturelles sont devenues d'actualité en Europe et aux États-Unis.

En 1969, une première étude portant une analyse de cycle a été commandée par la compagnie Coca-Cola. Cette étude avait comme objectif l'établissement d'un choix stratégique du type d'embouteillage à privilégier entre bouteille en verre et bouteille en plastique. Le choix du site d'implantation de l'usine de fabrication et le choix du matériau favorisé en constituaient les principaux enjeux. Les résultats obtenus ont donné plus de faveurs au plastique, ce que lui faisait le matériau le plus généralisé dans le monde. Depuis lors, les applications de l'ACV ont commencé à se diversifier pour être généralisées sur les différents domaines : industrie, agriculture, services, bâtiments, etc.

- 1970 : établissement d'une base méthodologique pour une ACV.
- 1974 : Publication d'une première étude soumise à une évaluation scientifique propre à l'ACV. Cette étude est intitulée « *Resource and Environmental Profile Analysis of Nine Beverage Container Alternative* » (US EPA, 1974).
- 1984 : vulgarisation du premier logiciel commercial d'ACV, GaBi, dans sa première version ;
- 1990 : introduction du terme « Analyse de Cycle de Vie » ;
- Les années 1990 : apparition de quelques bases de données d'ACV qui sont gérées par différentes instances ;
- 1997 – 2000 : établissement des standards (ISO 14040 – 14043) définissant le contenu de chaque étape d'une ACV ;
- 2006 : établissement et mise en place d'un cadre méthodologique général et des lignes directrices pour une ACV selon les normes (ISO 14040 – 14044) ;
- 2008 – 2012 : développement et mise en place de plusieurs cadres méthodologiques intégrant la durabilité dans les ACV et la publication de plusieurs manuels et guides traitant l'ACV dans différents domaines (ILCD handbook,2010; PEF and OEF guidelines, et autres.).

⁹ REPA : Resource and Environmental Profile Analysis

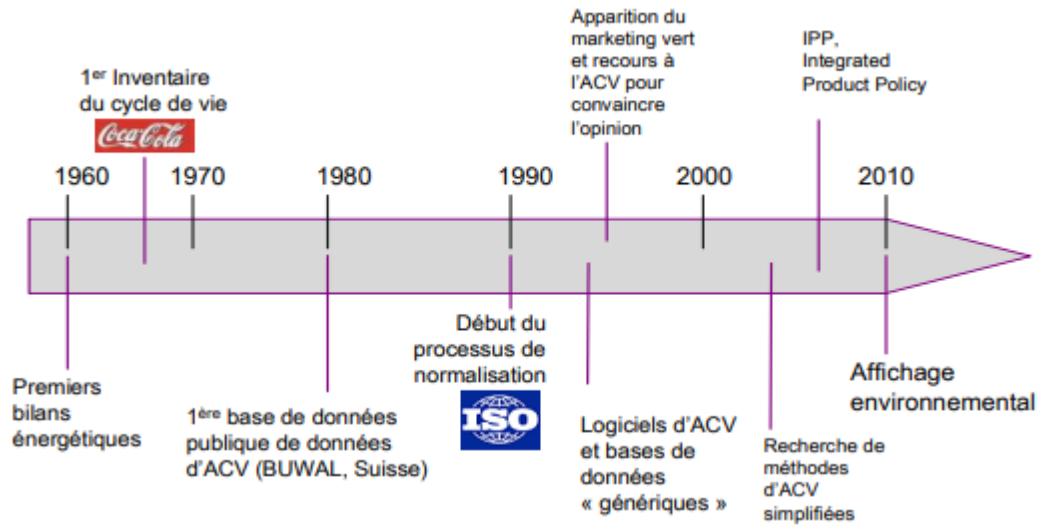


Figure 15 : Aperçu historique de l'ACV

Source : d'après (Merad et Guillet, 2014)

VI.3. Dimensions de l'Analyse de Cycle de Vie

La modélisation des produits dans le cadre d'une analyse de cycle de vie conduit à distinguer deux catégories de flux selon deux dimensions ou deux sphères : la Technosphère et l'Écosphère.

VI.3.1. La Technosphère

Cet aspect se rapporte à l'impact physique de l'activité humaine sur l'environnement concerné. La technosphère englobe l'ensemble des produits, des installations et des activités (unités de production, transformation, consommation, etc.), qui peuvent apporter des modifications ou altérations d'une partie de la biosphère.

VI.3.2. L'Écosphère

L'Écosphère se rapporte à l'environnement naturel lui-même. Elle englobe donc la technosphère et constitue en même temps la source de toutes ses matières premières et reçoit toutes ses émissions et ses déchets.

Afin de réaliser, une l'analyse de cycle de vie ACV d'un produit, tout système est décomposé en processus élémentaires et chaque processus élémentaire reçoit et émet des flux.

VI.4. Concepts clés de l'analyse du cycle de vie

D'une règle générale, trois concepts sont à définir pour une ACV : la connaissance du **processus élémentaire**, la **base de données ACV** et la **méthode d'évaluation ACV**.

VI.4.1. Processus élémentaire

La connaissance du processus élémentaire permet de définir les éléments et les flux qui sont à prendre en compte lors de l'établissement de l'inventaire du cycle de vie. Pour un système d'échange étudié, deux types de flux peuvent être distingués :

VI.4.1.1. Les flux élémentaires

Ce type de flux se correspond aux échanges appartenant à l'écosphère. Il s'agit des flux des matières et d'énergie entrant ou sortant (ressources et déchets) sans subir des processus de transformation humaine (eau, pétrole, gaz pour les ressources ; chaleur, déchets, émissions pour les rejets).

VI.4.1.2. Les flux économiques

Ce sont les flux d'entrée et de dégagement qui se rapportent à la technosphère et qui constituent les échanges entre les processus.

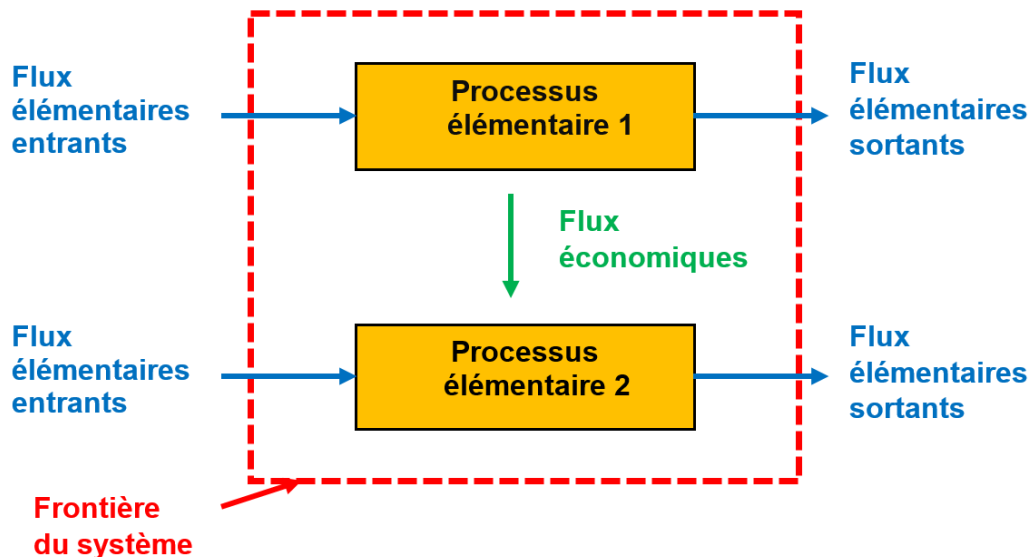


Figure 16 : Schéma des liens entre 2 processus élémentaires

Source : (Sylvie Alain, 2015)

VI.4.2. Base de données d'inventaire ACV

Pour la réalisation d'un inventaire de cycle de vie ICV, il est nécessaire de disposer une source fournissant les informations nécessaires pour l'examen et l'analyse environnementale. Les bases de données ACV fournissent toutes les données qui sont utiles et validées scientifiquement pour l'établissement d'une ACV. Le recours aux bases de données ICV permet de qualifier les flux élémentaires pour un système étudié dans des cas comparables.

Plusieurs bases de données sont disponibles actuellement à travers le monde et qui fournissent des données utiles et qui correspondent à une très grande variété de processus. Parmi celles-ci, on trouve : PROBAS (Allemagne), US NREL, et US LCI Database (États-Unis), Ecoinvent (Suisse), et ELCD : la base de données européenne pour le cycle de vie.

Le choix de la base de données influence directement les résultats escomptés. Chaque base de données se distingue par ses propres hypothèses et ses propres méthodes de collectes et de classification de données, ainsi que ses référentiels techniques.

VI.4.3. Méthodes d'évaluation de l'impact du cycle de vie

Après la collecte des données et l'établissement de l'inventaire, la phase calcul et évaluation de l'impact environnemental peut être entamée en se basant sur une méthodologie de calcul des indicateurs, de leur corrélation et d'analyse des résultats. Les méthodes ACV offrent le cadre méthodique permettant la quantification et la combinaison des données mobilisées dans le but de mesurer les indicateurs décrivant les différents aspects du comportement environnemental du produit ou du projet évalué.

Une diversité de méthodes ACV existe actuellement. Ces méthodes sont développées à partir des connaissances scientifiques accumulées pour des régions définies. Parmi ces méthodes, on trouve :

- Les méthodes européennes : IMPACT 2002+, ReCiPe, Impact World+, etc. ;
- Les méthodes nord-américaines : LUCAS, TRACI, et autres.
- Des méthodes développées au Japon : LIME, LIME2, et JEPIX.

Dans une vision d'appréhension globale de l'impact environnemental, ces méthodes fondent l'association entre les deux grandes catégories d'impact : les catégories d'impact intermédiaires et les catégories d'impact de dommages (figure 17).

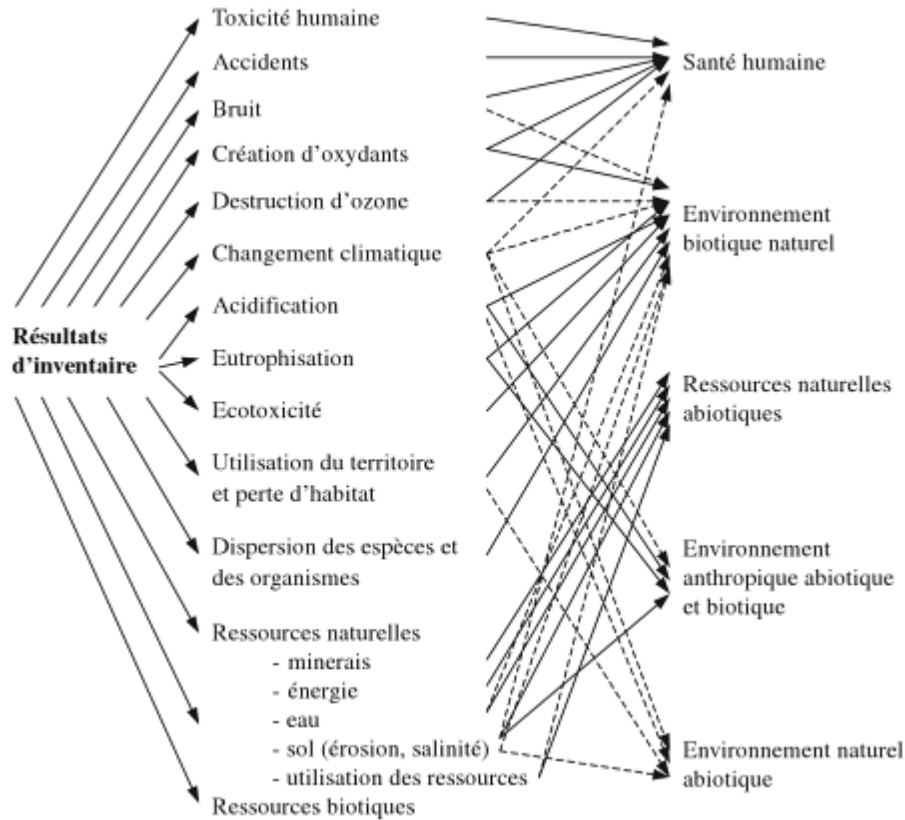


Figure 17 : Relation entre les catégories d'impact intermédiaires et des dommages selon IMPACT 2002+

Source : (Joliet et *al.* 2005)

VI.5. Types d'approches en ACV

Il existe plusieurs approches possibles en ACV, incluant :

- L'ACV attributionnelle,
- L'ACV conséquentielle,
- L'ACV dynamique,
- L'ACV durable
- L'ACV simplifiée.

La définition de ces types d'ACV peut varier d'un auteur à un autre selon les approches et les contextes des études.

VI.5.1. L'ACV attributionnelle

L'ACV attributionnelle, appelée aussi traditionnelle ou de processus vise la mesure d'impacts potentiels du cycle de vie d'un produit qui permet l'évaluation de produits alternatifs pour un contexte donné.

VI.5.2. L'ACV conséquentielle

Cette approche consiste à modéliser l'ensemble des impacts environnementaux consécutifs à un changement survenant dans le cycle de vie d'un produit. Cette ACV évalue les conséquences causées par le passage d'un état A à un état B du cycle de vie d'un produit. Elle permet d'évaluer les conséquences d'un système de produits (ou une décision affectant ce système) sur d'autres systèmes.

VI.5.3. L'ACV dynamique

Considère le profil des émissions dans les temps et une caractérisation des impacts basée sur une analyse dynamique en temps réel. Cette approche est très intéressante pour les bâtiments et pour les produits du bois. L'impact du carbone biogénique inclus dans les produits forestiers est un aspect majeur pour la compréhension et la lutte aux changements climatiques. Le carbone biogénique est celui inclus dans les réactions biochimiques naturellement présentes dans l'environnement. Levasseur *et al.* (2010) ont démontré que l'importance de considérer la répartition temporelle de ces émissions pour certains produits. Les conclusions de l'étude comparant les résultats d'une ACV traditionnelle et d'une ACV dynamique montrent des écarts importants, de même que des résultats opposés pour une durée de vie de 50 ans. Dans l'étude des bâtiments, une partie importante des émissions s'effectuent lors de la fabrication et de la construction, donc au début du cycle de vie. L'énergie d'utilisation est par ailleurs répartie uniformément durant la vie utile d'un bâtiment. L'impact des choix de matériaux pourrait donc être relativement plus important que celui calculé par une ACV traditionnelle, puisque les émissions associées sont au début du cycle de vie du bâtiment et ne sont pas distribuées linéairement dans le temps.

VI.5.4. L'ACV durable

Cherche à répondre à une volonté d'inclure les impacts sociaux et économiques dans les décisions sur les produits et services. Selon Guinée *et al.* (2010), l'ACV évoluera vers l'analyse durable du cycle de vie, qui se base sur la pensée du cycle de vie tout en intégrant les trois composantes du développement durable, soit l'environnement, l'économie, et le social. Les analyses sociales et socio-économiques du cycle de vie ajoutent une dimension supplémentaire à l'étude d'impact : elles livrent une information précieuse à ceux qui cherchent à produire ou à acheter de manière responsable.

VI.5.5. L'ACV simplifiée

Il existe aujourd'hui plusieurs approches de ce dernier type pour permettre l'application de l'ACV dans des contextes spécifiques. Cinq avenues ont été identifiées pour la simplification de l'ACV :

- En se limitant à l'impact de la fabrication des matériaux jusqu'à leur sortie de l'usine (berceau à la porte) ;

- En se limitant à un seul critère, tel que la consommation de ressources, l'effet de serre, l'eutrophisation de l'eau ou autre ;
- En focalisant sur certains problèmes environnementaux à des étapes particulières du cycle de vie ;
- En ne tenant compte, lors d'analyses comparatives, que de la phase où les produits sont susceptibles d'avoir des impacts différents ;
- En simplifiant la tâche de collecte de données en ne tenant compte que des sources d'information bibliographiques ou génériques.

Les bases de l'ACV doivent être toujours présentes dans tout type de simplification. L'utilisation d'une seule catégorie d'impact ne doit pas signifier une perte de rigueur scientifique.

Actuellement, le plus facile pour l'étude d'un bâtiment est de réaliser une ACV de type attributionnel, qu'elle soit complète ou simplifiée. En effet, les outils disponibles pour l'évaluation environnementale du bâtiment se limitent à l'ACV attributionnelle. Les autres approches en ACV (dynamique, conséquentielle ou durable) sont très intéressantes pour les futurs développements de l'ACV mais ne sont pas encore intégrées aux outils proposés.

Chapitre VII. L'Analyse de Cycle de Vie appliquée dans le secteur de bâtiment

VII.1. L'ACV comme réflexion environnementale dans la production du cadre bâti

De par leurs natures et leurs vocations, les bâtiments et les aménagements sont réalisés pour durer longtemps. Le long de leur cycle d'existence, ils impliquent une consommation de ressources et génèrent plusieurs impacts à différents stades de vie. La réalisation d'un projet de construction, comme on a vu précédemment (voir chapitre 3), nécessite la consommation de quantités importantes des matières premières, d'énergie, d'eau et engendre l'émission d'une variété de polluants, de gaz à effet de serre et déchets, autant bien au cours de la phase construction que lors des processus associés (fabrication des matériaux de construction, des éléments d'assemblage, transports, etc.). L'exploitation du bâtiment une fois occupé implique aussi la consommation de grandes quantités d'énergie et d'eau et rejette des quantités considérables de déchets le long de son cycle d'utilisation. L'éventuelle démolition ou réutilisation de ces bâtiments ne pourrait ainsi escompter des besoins exigés en matière d'énergie, d'eau et d'autres ressources, ainsi que l'évacuation des différents déchets. La figure 18 illustre une variété d'entrées et de sorties au cours des différentes étapes de vie d'un bâtiment.

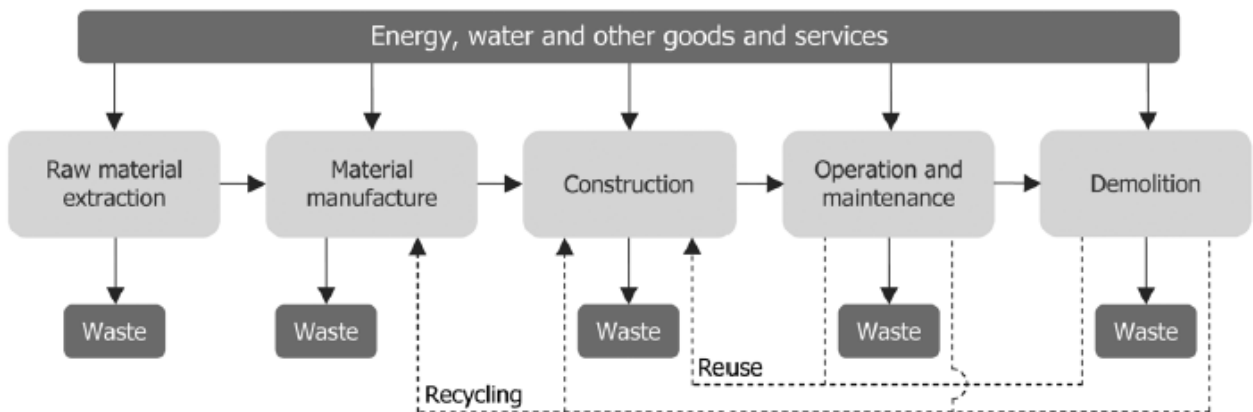


Figure 18 : Flux entrants et sortants le long de cycle de vie d'un bâtiment

Source : (Crawford, 2011)

Les bâtiments se distinguent par leurs tailles, leurs complexités et la nature intense des ressources utilisées à toutes les étapes de cycle de vie. Ce qui signifie la diversité des impacts sur l'environnement qui découle d'un large éventail de processus, de systèmes et de besoins aussi variés. Des problèmes d'incertitude se trouvent souvent posés quand il s'agit d'une évaluation environnementale des bâtiments en raison des spécificités caractérisant les bâtiments eux-mêmes et leurs interactions avec le site et les usagers. L'impact environnemental change d'une étape de vie à

une autre, et dépend d'une diversité de facteurs découlant tant des conditions contextuelles que des comportements humains. Une approche de cycle de vie se manifeste donc comme démarche pertinente d'évaluation dont la finalité est la maîtrise et la réduction de ces impacts.

VII.2. Des opportunités pour la maîtrise des charges environnementales des bâtiments

Plusieurs études de performance environnementale définissent le champ de l'analyse afin de ne se focaliser que sur un nombre limité d'impacts, de processus ou d'étapes. La pertinence de cette approche simplifiée peut être justifiée dans le cas de la présence d'éléments indiquant que certains impacts significatifs peuvent se produire à partir d'une étape ou d'un processus déterminé, ou que les interactions étudiées correspondent essentiellement à une catégorie d'impact préalablement définie. Cependant, les hypothèses sur lesquelles sont basées ces méthodes sont souvent critiquées notamment sur la prédéfinition de la nature des impacts ciblés et leur correspondance avec des processus et des étapes aussi prédéfinis.

Quant à l'évaluation environnementale de constructions, des lacunes sont souvent soulevées, qui sont dues au caractère restreint de ces méthodes et la sous-estimation prévisionnelle des incidences de certains processus ou étapes de cycle de vie caractérisant les bâtiments. Par exemple, des études basées sur l'analyse hybride des entrées-sorties trouvent que l'énergie incorporée lors de la construction des bâtiments est équivalente à celle requise pour leur fonctionnement¹⁰ ; d'autres études basées sur l'analyse ACV globale ont estimé que la part d'énergie à consommer pour la construction est inférieure à 10% par rapport à la consommation globale pour l'ensemble du cycle de vie¹¹. Les hypothèses retenues, les approches et les méthodes adoptées influencent directement la qualité et la fiabilité des résultats de l'ACV appliquée. Pour un praticien de l'ACV, il est essentiel de posséder une connaissance de l'impact global du produit, et d'être conscient des limites de la méthodologie de l'ACV choisie.

¹⁰ Voir (Crawford, 2008 ; Treloar et al., 2000)

¹¹ Voir aussi (Cole and Kernan, 1996; Hill, 1978)

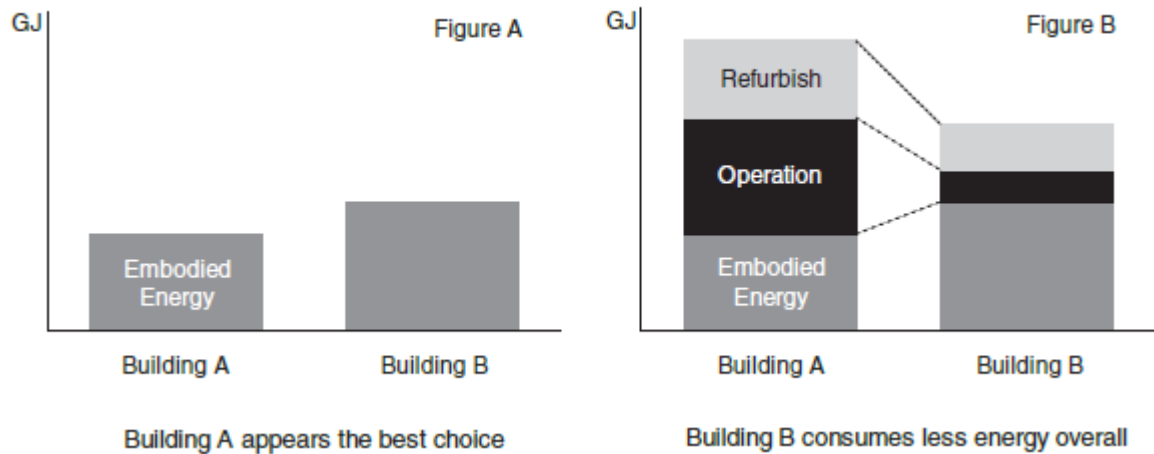


Figure 19 : Différence entre évaluation restreinte et évaluation globale (vision ACV)

Source : (Crawford, 2011)

La figure ci-dessus (figure 19) montre l'importance de l'approche basée sur le cycle de vie dans l'évaluation de la performance énergétique pour un choix entre deux bâtiments A et B. La figure (a) montre que le bâtiment A présente un meilleur choix dans le cas d'une évaluation ne ciblant que l'étape construction, tandis que la figure (b) illustre un choix inversé : le bâtiment B est meilleur si on prend en compte le cumul de la consommation énergétique relatif à l'exploitation et à la maintenance du bâtiment, c'est-à-dire l'ensemble des étapes de vie des deux bâtiments. Lors de la phase de réalisation, le bâtiment B exige plus d'investissement pour l'installation et la mise en œuvre de matériaux et de dispositifs performants (capteurs solaires, éoliennes, etc.). Ces dispositifs écologiques auront un impact énergétique et environnemental positif qui va balancer le bilan environnemental dans le reste des étapes de vie avec moins de charges d'exploitation et de maintenance.

Une approche cycle de vie, qui inclue tous les stades de vie ainsi que les impacts liés aux changements au fil du temps, est pertinente et offre l'opportunité d'optimiser et d'assurer une meilleure performance environnementale des constructions. Cette approche globale permet d'identifier les différents problèmes d'environnement et de ressources qui peuvent être causés à chaque étape de vie et pour chaque élément ou système constituant le bâtiment ou le produit étudié.

VII.2.1. L'ACV appliquée pour l'évaluation du cadre bâti

Le secteur de la construction et d'aménagement (nouvelles constructions, rénovations, réaménagements, et les travaux de démolition ainsi que les autres éléments de l'environnement bâti) contribue considérablement à la dégradation de l'environnement naturel avec une multitude

d'impacts à différents niveaux et à plusieurs formes : pollution des milieux de vie, Gaz à effet de serre, réchauffement planétaire, consommation des ressources épuisables, production continue des déchets, ainsi que les impacts sur la santé humaine et l'épanouissement de la biodiversité. Ce secteur constitue un vecteur important de réconciliation des projets de développement avec l'environnement. Dans cette optique, les constructions peuvent faire objet d'une analyse de cycle de vie dont la finalité peut inclure non seulement l'évaluation environnementale des bâtiments mais également la promotion et la généralisation de la performance environnementale aussi bien comme démarche procédurale que comme un outil d'aide à l'écoconception des bâtiments et leurs dispositifs constructifs.

Cependant, et compte tenu de leur complexité par rapport aux autres produits, ainsi que leur caractère évolutif, les effets sont ainsi multiples et peuvent être combinés de plusieurs cycles de vie de leurs éléments de composition : matériaux, ossatures, enveloppe, partitions, réseaux, équipement, systèmes de flux, etc. Les impacts les plus significatifs peuvent se rapporter à la consommation des énergies fossiles et les matières premières relatives à la fabrication des matériaux. C'est dans ce souci que la majorité des études ACV met en avant ces deux aspects : l'aspect énergétique et les ressources naturelles.

VII.2.2. L'ACP comme outil d'aide à l'évaluation

L'Analyse de cycle de vie comme approche globale est cruciale pour rationaliser les charges environnementales des projets de constructions autant bien dans les phases en amont que les phases qui suivent lors du processus de réalisation et exploitation de l'espace bâti.

En phase conception, L'ACV constitue un outil utile permettant l'évaluation de l'impact potentiel que pourrait générer une décision ou un choix conceptuel. Les décisions prises lors de cette phase de design ont des conséquences importantes sur le comportement environnemental des bâtiments conçus, notamment quand il s'agit d'une longue durée de vie qui va durer plusieurs décennies ou même plus.

Son utilité peut correspondre aussi à la prévision et l'évaluation des impacts associés aux actions d'intervention sur le bâti existant comme les opérations d'amélioration et de rénovation des bâtiments et des tissus existants. L'addition ou l'élimination d'éléments construits ne pourrait être sans effets sur l'environnement, ce choix constructif devrait être examiné à travers une étude ACV qui permet la quantification des effets environnementaux relatifs à ces choix et la comparaison à d'autres alternatives ou à un système d'évaluation pour une meilleure prise de décisions.

L'Analyse de Cycle de Vie constitue dans ce sens un outil d'aide à la conception et permet aux concepteurs une meilleure intégration des soucis environnementaux dans les premières phases du

projet architectural. La phase conception est très importante et considérée comme étape clé pour la réalisation des bâtiments performants. Par exemple, plusieurs études ont montré qu'une approche passive de conception d'un bâtiment permet d'économiser près de 80% de sa consommation énergétique le long de son cycle de vie. L'appréhension des enjeux environnementaux et des objectifs particuliers à chaque projet de construction et à son contexte local est aussi primordiale pour pouvoir mettre en œuvre une démarche d'écoconception. L'ACV offre la possibilité d'orienter les choix conceptuels en fonctions des objectifs prédéfinis.

VII.3. Le bâtiment comme produit complexe : éléments de composition et typologie

Les bâtiments se distinguent des autres produits par leurs complexités et la diversité des composantes et systèmes qui les composent. Une Analyse de Cycle Vie Bâtiment devrait prendre en compte cette complexité d'où l'ensemble des systèmes physiques et flux sont à déterminer pour chaque étape de vie. Le processus de vie d'un bâtiment passe globalement par autre grande étape (figure 20) :

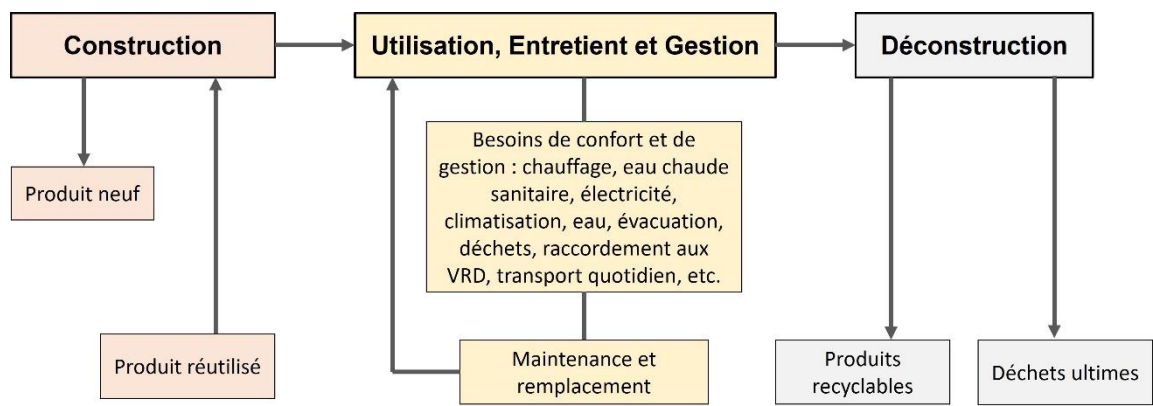


Figure 20 : Principe d'une ACV bâtiment

Source : (Thiers, 2008)

VII.3.1. L'étape préproduction

La première étape de définition de la forme et des besoins du projet, située en amont du processus de sa création. Cette étape englobe d'une part la conception du projet et d'élaboration du dossier d'exécution et des documents descriptifs, et d'autre part, la chaîne de production des matières nécessaires pour le lancement du chantier de construction : matériaux de construction, sable et agrégats, procédés d'assemblage et de construction, etc.

VII.3.2. L'étape construction ou réalisation

C'est la phase de réalisation du projet. Elle commence par l'installation du chantier et consiste à la réalisation de tous les éléments constituant le projet : terrassement, gros œuvre, enveloppe et partitions intérieures, CES, revêtements et finitions, aménagement extérieur et VRD, équipements et ameublement. Le transport pour l'approvisionnement du chantier et la production massive des

déchets et des débits sont aussi des éléments importants à considérer dans cette étape par ce qu'ils pèsent considérablement dans le calcul du bilan environnemental.

VII.3.3. L'étape exploitation ou occupation

Cette phase commence dès que le projet soit réceptionné. Temporellement, c'est la phase la plus longue. Les éléments qui interviennent le long de cette phase d'occupation se rapportent au fonctionnement du projet comme la consommation d'énergie, d'eau, gestion des déchets, ainsi que les travaux de maintenance et d'entretien qui s'ajoutent plus tard à la suite de l'amortissement ou la fin de vie de quelques composants (remplacement, réfection, rénovation, etc.).

VII.3.4. L'étape « fin de vie »

C'est l'étape de fin d'utilisation du projet, qui aboutit soit à une réutilisation (réaménagement) ou à un démantèlement (démolition). Dans cette dernière phase de vie, on doit rendre compte de la possibilité de :

- Valorisation et réutilisation des matériaux et des éléments décomposés (recyclage et récupération) ;
- Enfouissement et élimination des débits ;
- Récupération de l'assiette du projet pour une nouvelle occupation (principe de reconstruction ou renouvellement du tissu bâti).

Le tableau qui suit (tableau 03) illustre les tâches et les éléments constituant chaque étape de vie d'un bâtiment.

Préproduction		Conception des plans Extraction des matières premières Conception et fabrication des matériaux
Construction	Aménagement du terrain	Examen de la constitution du sol (Étude géotechnique) Fondations/Assainissement Soubassements/Soutènement Aménagement paysager
	Charpente, élévation des murs et menuiseries extérieures	Toiture et couverture Planchers bas/Planchers intermédiaires Murs/Revêtements extérieurs Menuiseries extérieures (portes et fenêtres)
	Finitions	Isolation / Cloisons Plomberie/Électricité Chauffage, climatisation et ventilation Menuiserie intérieure (escaliers, portes, poignées, plinthes)
	Nettoyage du site	Plan de gestion des matières résiduelles Location de conteneurs à matières résiduelles Tri des matières à la source pour maximiser leur réutilisation, leur recyclage et leur valorisation
	Transports	Matériaux/Machineries Employés
Utilisation		Consommation d'énergie Consommation d'eau

	Entretien ménager
Entretien	Remplacement des matériaux à leur fin de vie Plan de gestion des matières résiduelles Réutilisation, récupération, stockage, recyclage, valorisation, Enfouissement et élimination des matériaux
Démantèlement et fin de vie	Réutilisation, récupération, stockage, recyclage, valorisation, Enfouissement et élimination des matériaux Remise en état du terrain

Tableau 3 : Principales étapes du cycle de vie d'un bâtiment

Source : (Thiers, 2008 cité par Dakhia, 2019)

Pour une ACV simplifiée d'un projet de construction, il est important de cadrer le champ d'étude, les objectifs ciblés et l'unité fonctionnelle afin de pouvoir obtenir des résultats valides, comparables et reproductibles.

VII.4. Méthodologie de L'ACV des bâtiments

Quatre étapes constituent la démarche méthodologique d'une Analyse de Cycle de Vie d'un bâtiment :

1. Définition des objectifs ;
2. Établissement de l'inventaire environnemental ;
3. Quantification et analyse de l'impact environnemental ;
4. Interprétation des résultats et classification.

Les normes ISO (1440 à 1443) décrivent le contenu de chacune de ses étapes.

VII.4.1. Objectifs et Champs d'études de l'ACV

Avant d'entamer l'évaluation ACV d'un bâtiment, il est nécessaire de définir le champ d'étude de l'ACV et les objectifs ciblés en vue de se servir des résultats escomptés. Cette étape permet d'assurer la faisabilité de l'analyse et des résultats et d'éviter de consacrer des temps et des efforts inutiles pour la collecte et l'analyse des données non utiles par rapport aux objectifs de l'évaluation.

VII.4.1.1. Définition des objectifs de l'ACV

Les objectifs d'une ACV d'un bâtiment peuvent être guidés par un souci d'amélioration de sa performance environnementale dans le but d'atteindre un niveau convenable de conformation aux normes ou à une réglementation exigée, ou pour fournir des informations nécessaires servant à la promotion et la commercialisation du projet. Ils doivent être également en rapport avec la spécificité des résultats et le public visé.

En raison de la nature combinée et complexe des éléments composant un système bâti, les objectifs ciblés peuvent être aussi nombreux et variés. Ils peuvent inclure :

La fourniture des informations sur la fabrication des matériaux de construction et des autres produits, afin d'améliorer leurs qualités environnementales et d'agréer leurs choix comme matériaux favorables à la construction écologique ;

L'amélioration des processus de fabrication des matières ou de réalisation des projets afin de minimiser l'impact environnemental et de s'aligner avec les politiques environnementales locales ;

Doter les concepteurs des informations leur permettant l'évaluation de certains choix constructifs et conceptuels ;

Fournir des informations aidant à orienter et avancer le développement des stratégies environnementales.

VII.4.1.2. Le champ d'étude

Une ACV complétée d'un bâtiment devrait inclure l'évaluation d'un large éventail d'impacts, résultant de l'ensemble des ressources constituant les entrées (matières primaires, énergie, eau, etc.) et l'ensemble des rejets constituant les sorties (déchets, pollution et émissions) à toutes les étapes de vie du bâtiment (allant de l'extraction des matières primaires jusqu'à l'élimination finale).

Comme c'est le cas d'évaluation des produits complexes comme les bâtiments, l'évaluation serait considérablement coûteuse en matière de temps, de ressources et de budget. Une approche simplifiée d'ACV, qui se focalise principalement sur des problèmes ou des étapes de vie considérées comme significatives ou de priorité, est souvent favorisée dans ses situations. Le champ d'une telle étude peut être défini de différentes manières (tableau 4), limité soit par la série des paramètres environnementaux ciblés, soit par la catégorie des impacts recherchés ou le stade de cycle de vie considéré.

Champ d'analyse limité à :	Exemple
Paramètres environnementaux	Consommation d'énergie ou d'eau
Catégorie d'impact	Réchauffement global ou épuisement des ressources
Étape de cycle de vie	Phase de construction

Tableau 4 : Exemple de facteurs limitants le champ d'application d'une ACV bâtiment

Source : d'après (Crawford, 2011)

Le champ d'application de l'ACV simplifiée peut être déterminé par l'analyste lui-même, ou à la suite de décision en amont dictée en fonction de la source et la nature des données, de l'approche d'évaluation utilisée et selon la problématique environnementale mise en avant.

VII.4.1.3. L'unité fonctionnelle

Le cadre bâti est généralement constitué d'éléments ou d'objets physiques dont chacun a sa propre fonction ou utilité. L'unité fonctionnelle choisie varie d'un produit à un autre, en fonction de la manière dont le produit est utilisé et de la base sur laquelle les comparaisons recherchées peuvent être effectuées. À titre d'exemple, les bâtiments sont souvent évalués à base de mètre carré (m²), ce qui facilite la comparaison avec d'autres bâtiments. Les éléments d'infrastructure sont souvent mieux évalués sur la base de leurs caractéristiques de performance, par exemple pour les routes sur une base kilométrique (km) et sur un nombre d'années déterminé.

VII.4.1.4. Les limites du système

Les limites du système sont définies soit par les objectifs de l'étude, soit par la capacité d'obtenir les données nécessaires, soit par l'importance perçue des processus individuels, des impacts ou des étapes du cycle de vie. Le périmètre peut couvrir un seul processus (tel que le transport des matériaux de l'usine au site), une seule étape du cycle de vie (telle que l'exploitation des bâtiments) ou un seul impact (tel que le réchauffement de la planète), ou un nombre quelconque de chacun de ces éléments et une combinaison quelconque. Par exemple, une étude visant à fournir des informations qui contribueront à réduire les incidences énergétiques de la construction de bâtiments peut limiter la limite du système évalué à la consommation d'énergie des seules étapes du cycle de vie situées en amont du processus de construction principal et incluant celui-ci.

VII.4.2. Analyse de l'inventaire de cycle de vie

En fonction des objectifs et du cadre d'étude de l'ACV, cette phase consiste à la collecte des données des extractions, d'émissivité et des rejets nécessaires pour l'établissement d'un inventaire environnemental et pour pouvoir entamer l'analyse et l'évaluation. Deux types de données sont à distinguer : des données primaires et des données secondaires.

Les données primaires se rapportent directement au système étudié, elles sont collectées sur le site du projet (*in situ*).

Les données secondaires sont d'ordre général et proviennent principalement de deux catégories de sources :

- Des bases de données vulgarisées ou des modèles empiriques généralisés (des données génériques) ;
- Des données théoriques dérivées de la littérature scientifique (études précédentes, rapports synthétiques, etc.).

Globalement, l'établissement de l'inventaire du cycle de vie permet la quantification de l'ensemble des flux d'échange entre le système étudié et son environnement. La finalité est d'identifier la nature et la quantité des substances et des types d'énergie reçus ou générés par l'objet ou le système étudié. Les flux entrants peuvent se rapporter à l'énergie en (MJ), les matières primaires ou ressources naturelles en masse (kg), l'occupation des sols en (ha), ainsi que d'autres intrants physiques, comme l'eau, mesurés avec leurs unités correspondantes. Les flux sortants se rapportent à la quantité des émissions et des matières rejetées dans l'atmosphère, l'hydrosphère ou la lithosphère.

L'établissement de l'inventaire environnemental est une tâche compliquée et nécessite des investissements considérables en matière de temps et d'efforts. Il nécessite également l'utilisation des logiciels et le recours aux bases de données spécialisées.

VII.4.3. Évaluation de l'impact du cycle de vie

Les données collectées lors de la réalisation de l'inventaire de cycle de vie servent comme des entrées pour le calcul des indicateurs permettant la mesure des incidences environnementales associées à chaque flux entrant ou sortant et à chaque processus constituant le système étudié. Cette étape d'analyse est organisée essentiellement en trois parties : Sélection de la catégorie d'impact et des modèles de caractérisation, la classification et la caractérisation.

VII.4.3.1. Sélection de la catégorie d'impacts

Compte tenu de la complexité des bâtiments, ainsi que la diversité des composants et des processus qu'ils présentent, les impacts générés par ce type de produits sont ainsi assez diversifiés et qui couvre une large variété de catégories d'impacts potentiels. Ces catégories peuvent se rapporter à la dégradation des ressources naturelles, à l'émission des gaz à effet de serre, ou à la production des polluants et des déchets qui se répercutent négativement sur la santé humaine et l'équilibre de la biodiversité. Cette complexité est une des raisons conduisant à favoriser l'application de l'ACV simplifiée quand il s'agit de l'évaluation des bâtiments. Cette approche met en avant la ou les catégories d'impacts les plus significatifs ainsi que les indicateurs et les modèles d'analyse qui permettent l'interprétation des résultats.

VII.4.3.2. La classification

Pour chacun des paramètres d'évaluation, la classification consiste à répertorier les éléments de composition qui ont un effet sur ce paramètre par rapport à une catégorie bien déterminée d'impact, comme l'émission des GES ou le réchauffement planétaire par exemple.

VII.4.3.3. La caractérisation

La classification des résultats de l'analyse de l'inventaire en groupes d'indicateurs d'impact permet le passage à leurs caractérisations, c'est-à-dire attribuer une qualification de la nature et du degré d'impact en fonction de la catégorie sélectionnée. Dans ce sens, on distingue deux approches pour décrire les effets environnementaux :

Une première approche qui se focalise sur la mesure des indicateurs intermédiaires qui permettent la quantification de l'apport à un problème environnemental précis comme la concentration des GES dans l'atmosphère ou le niveau d'écotoxicité du sol. Cette approche est basée sur la mesure des indicateurs intermédiaires qui rendent compte de l'ampleur de ces apports recherchés ;

La deuxième approche cherche à estimer les conséquences à travers la mesure des dommages provoqués par exemple les conséquences sur l'équilibre des écosystèmes ou sur la santé humaine.

La première approche est plus avantageuse, mais avec moins d'indications sur l'ampleur des dommages causés, tandis qu'en matière de précision de calcul, la première approche est plus avantageuse, mais avec moins d'indications sur l'ampleur des dommages causés. La seconde approche est plus explicite en matière de dommages environnementaux mais avec de possibles incertitudes de mesure.

VII.4.4. Interprétation des résultats

Cette dernière étape consiste à traduire les résultats en attributs de qualification selon des grilles et références d'évaluation. L'aboutissement de cette dernière étape peut inclure la détermination des éléments les plus significatifs, de mettre le point sur la correspondance entre les données saisies et les résultats obtenus, de circonscrire les limites de l'analyse, de souligner la conclusion et de suggérer les recommandations.

Pour pouvoir se procéder à une interprétation consistante des résultats, il est nécessaire de :

- S'assurer que les données utiles ont été intégralement et correctement utilisées ;
- Établir un examen de sensibilité qui consiste à vérifier la correspondance entre les choix retenus et les résultats, ainsi que l'évaluation de l'incertitude ;
- Vérifier la consistance de la démarche suivie en mettant en relief la correspondance entre les objectifs ciblés, les hypothèses adoptées, le champ de l'étude et les données mobilisées. Les

normes ISO recommandent une révision critique externe de l'ensemble de l'étude ACV avant de rendre utiles les résultats.

VII.4.5. Des indicateurs environnementaux pour une ACV des bâtiments

Les bâtiments sont caractérisés par leur complexité et la diversité des éléments et des systèmes qui les composent. Leurs effets sur l'environnement varient d'une étape de vie à une autre. Une évaluation du cycle de vie doit tenir compte non seulement des processus de sa composition et de son fonctionnement, mais aussi la fabrication des matériaux et des procédés de construction. Il s'agit là d'une diversité de processus qui s'étale de l'extraction des matières primaires, des transports, de l'installation du chantier et la réalisation, de l'occupation et de la fin d'utilisation et démantèlement ou réutilisation.

Pour une évaluation complétée du cycle de vie du bâtiment, il est donc difficile de cerner tous les aspects environnementaux et de perfectionner les corrélations entre ces aspects. Une ACV simplifiée est souvent appliquée quant à ce type de produits complexes. Ce type d'ACV met en avant les catégories d'impacts les plus significatifs, dont la performance énergétique et la consommation des ressources naturelles en sont parmi les principaux paramètres ciblés. Les impacts étudiés peuvent être à une échelle locale (effet de serre par exemple) ou globale (réchauffement planétaire, etc.). Les ressources naturelles mobilisées (matières primaires, eau, etc.) sont évaluées de point de vue de leurs qualités environnementales, de leurs disponibilités, et de leurs gestions, notamment les aspects rationalisation et réutilisation.

Les indicateurs environnementaux mesurés pour établir une ACV bâtiment sont aussi assez diversifiés et concerne toutes les étapes de vie d'un bâtiment. Les données nécessaires pour la construction de ces indicateurs sont fournies par les bases de données comme la plateforme suisse *Ecoinvent*, ainsi que les fiches de déclarations environnementales et sanitaires FDES des différents matériaux de construction.

Les indicateurs environnementaux permettent de qualifier les choix conceptuels et constructifs et d'établir des comparaisons entre les alternatives en vue de sélectionner celles les plus performantes. Une liste de ces indicateurs environnementaux est illustrée dans le tableau qui suit (tableau 5).

N°	Indicateur environnemental	Unité
01	Demande cumulative d'énergie	GJ
02	Eau utilisée	m ³
03	Épuisement des ressources abiotiques	kg antimoine
04	Déchets produits	t
05	Déchets radioactifs	dm ³
06	Effet de serre (a00 ans)	t CO ₂ eq.
07	Acidification	kg SO ₂ eq.
08	Eutrophisation	kg PO ₄ ³⁻ eq.
09	Domage à la qualité des écosystèmes dus à l'écotoxicité	PDF* m ²
10	Domage à la santé	DALY
11	Production d'ozone photochimique	kg C ₂ H ₄ eq
12	Odeur	m ³ air

PDF* m² : pourcentage d'espèces disparuesxm²xan

DALY : Disability Adjusted Life Years, Day (années de vie en bonne santé perdues).

Tableau 5 : Les indicateurs environnementaux évalués

Source : (Peuportier, 2010)

L'intérêt d'une ACV bâtiment est de limiter les charges environnementales sur tout le cycle de vie (émission des GES, transfert des polluants, etc.). En fonction des modèles et outils d'analyse, les résultats de l'analyse de ses indicateurs environnementaux sont traduits en valeurs numériques ou sous forme d'écopoint, écoprofil, diagrammes, histogrammes, tableaux, etc.

La standardisation de l'ACV bâtiment permet également de mettre en évidence la contribution de chaque indicateur examiné et de révéler les indicateurs les plus expressifs pour chaque étape de vie. Ce qui aide les intervenants à apporter les meilleures améliorations, notamment dans la phase en amont (la conception) qui est considérée comme phase décisive dans cette optique de performance environnementale.

VII.4.6. Les outils d'analyse ACV des bâtiments

Plusieurs logiciels ACV ont été développés pour évaluer le profil environnemental des projets de construction et des aménagements. Ces outils d'analyse sont basés sur l'utilisation des informations communiquées par les industriels et les fabricants des matériaux et des produits destinés au secteur de la construction.

Ces outils se distinguent selon leurs hypothèses de bases, les bases de données utilisées et les méthodes de calcul, ainsi que les référentiels d'évaluation. Pour chaque modèle d'analyse, quatre caractéristiques principales sont à définir :

1. Les frontières du système sont définies en report avec les objectifs de l'ACV étudiée.
2. Les modalités de calcul et d'établissement de l'inventaire de cycle de vie des contributeurs.
3. Les modalités d'évaluation des impacts.
4. La présentation des résultats et leur interprétation (normalisation des impacts, analyses de sensibilité, communication à une tierce partie).

VII.4.6.1. Caractéristiques des modèles d'analyse « ACV bâtiment »

Un bon nombre de ces outils sont développés pour des applications locales ou régionales, mais ils existent également d'autres outils qui sont davantage généralisés. Les modèles d'analyse peuvent se restreindre donc à un contexte limité d'un pays ou une région, comme ils peuvent être généralisés à une échelle internationale avec des bases de données plus élargies. Mais, et d'une règle générale, trois éléments en commun peuvent caractériser chaque modèle d'analyse à savoir (figure 21) :

1. Les données d'entrée environnementales (matériaux, produits, procédés).
2. Les hypothèses méthodologiques propres au logiciel.
3. Le nombre d'indicateurs environnementaux retenus pour l'aide à la décision et le type de présentation des résultats.

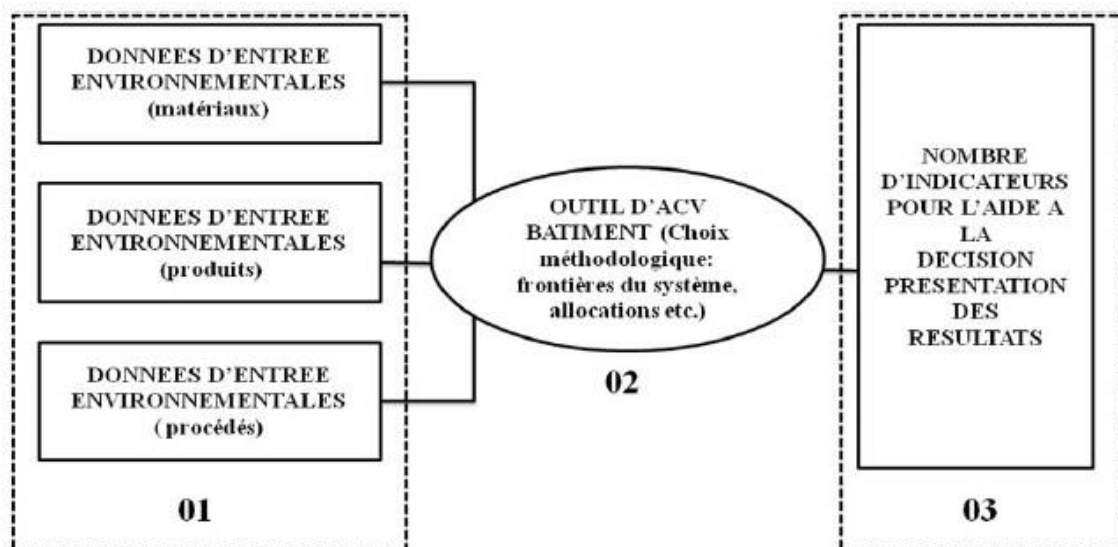


Figure 21 : Caractéristiques principales d'un modèle pour l'ACV des bâtiments

Source : (Lasvaux, 2012)

VII.4.6.2. Outils d'analyse ACV des bâtiments

Plusieurs outils informatiques ont été développés et mis en œuvre pour l'évaluation du cycle de vie des bâtiments. Ces outils constituent des outils d'aide à l'évaluation environnementale et à la prise de décisions quant aux choix constructifs ou de management environnemental.

Ces outils ont été conçus pour permettre l'évaluation ACV des projets de construction. Le contexte géographique et l'échelle d'application se diffèrent d'un outil à un autre.

Il existe des outils d'analyse qui sont destinés à être appliqués dans des pays précis, et qui intègrent des bases de données qui font référence aux normes et aux réglementations qui les correspondent. Par exemple, parmi ces outils, on peut citer *Athena Impact Estimator for Buildings* (Amérique du Nord), *ENVEST* (Angleterre), *ECOEFFECT* (Suède), *GREENCALC+* (Pays-Bas), *TEAM* (France), etc.

D'autres outils sont aussi généralisés qui utilisent également des bases de données vastes comme *ECOINVENT*, *ECO-QUANTUM* (Pays-Bas), *EQUER* (France), *LEGEP* (Allemagne), et bien d'autres. Ils existent également d'autres outils génériques comme *SIMAPRO*, et qui sont progressivement appliqués dans le domaine de la construction. La figure 22 illustre une liste non exhaustive des logiciels ACV qui sont à l'œuvre actuellement.

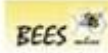








Logiciels disponibles pour l'ACV des bâtiments	Organisme responsable	Pays	Relié à la base de données ACV	Illustration / Site internet
BEES	National Institute for Standards and Technology	Etats-Unis	BEES Industry data	 www.nist.gov/el/economica/BEESSoftware.cfm/
Eco-bat	HEIG-VD Laboratoire de physique du bâtiment	Suisse	Ecoinvent	 www.eco-bat.ch
EcoEffect	KTH / University of Gävle	Suède	?	 www.ecoeffect.se/
ECO-QUANTUM	IVAM	Pays-Bas	MRPI IVAM	 www.ivam.uva.nl/index.php?id=01&L=1
Ecosoft	Institute für Baubiologie and Bauökologie	Autriche	?	 www.ibo.at/en/ecosoft.htm
ENVEST	Building Research Establishment	Royaume-Uni	BRE Profiles	 http://eninvest2.bre.co.uk/
ELODIE	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)	France	INIES	 www.elodie-cstb.fr
EQUER	IZUBA / Ecole des Mines de Paris	France	Ecoinvent INIES	 www.izuba.fr
GaBi for Building LCA	PE International	Allemagne	GaBi ELCD IBU	 www.gabi-software.com/america/solutions/building-lca/

Figure 22 : Logiciels pour l'ACV des bâtiments

Source : (Lasvaux, 2012)

VII.4.6.3. Choix méthodologique des outils d'analyse

Le choix des outils d'analyse ne découle pas d'une comparaison entre les outils existants. Parce que chaque outil est développé pour être appliqué dans des contextes bien définis avec des hypothèses de base, des méthodes de calcul bien appropriées. Le choix des indicateurs environnementaux et leurs mesures se diffèrent également d'un outil à un autre.

L'utilité des outils varie également. Il existe des outils d'aide à la conception, à l'évaluation, à la réhabilitation et aux choix des matériaux. La prise en compte des aspects socioéconomiques et de management varie également selon le contexte économique et technologique caractérisant chaque région géographique.

Les éléments qui orientent le choix méthodologique doivent correspondre entre autres :

- Aux contextes géographique, environnemental et réglementaire de l'étude ;
- Aux objectifs de l'ACV à entamer ;
- À la disponibilité des données à nécessaires et la conformité des bases de données qui les fournissent ;
- À l'adaptabilité des logiciels et des modèles d'évaluation au contexte de l'étude.

Conclusion

L'ACV des bâtiments est une procédure pertinente permettant l'estimation des charges environnementales dispensées pour la réalisation, l'exploitation et le démantèlement des bâtiments. Cette démarche est devenue cruciale dans tous les projets de construction durables.

Une démarche générale d'analyse et de simplification du modèle d'analyse de cycle de vie ACV des bâtiments est proposée en limitant l'étude aux flux de matériaux et produits de construction et systèmes liés à la réalisation du bâtiment. Le modèle ACV est un modèle multidimensionnel, ainsi que l'analyse est une approche multicritère.

Aussi, réaliser l'analyse de cycle de vie ACV d'un bâtiment nécessite de disposer de données (flux et indicateurs) pour chaque étape du cycle de vie des multiples éléments et systèmes entrants dans la réalisation d'un bâtiment (des centaines de matériaux et de compositions de matériaux). Le problème s'apparente donc à l'étude approfondie d'une base de données « ACV bâtiment » efficace et détaillée.

Travaux dirigés N° 04 : Analyse d'exemples d'ACV des bâtiments

1. Des bâtiments certifiés LEED
2. Des bâtiments certifiés BREEAM
3. Des bâtiments certifiés HQE
4. Des bâtiments certifiés PASSIVHAUS

Bibliographie du chapitre

Beardsley, E., Burroughs, S., Crowhurst, D., Yates, M. A., Ward, C., Dari, K., Ilomäki, A., Gibberd, J., Gupta, P. R., & Jansen, F. (2017). *Building Sustainability Assessment And Benchmarking-An Introduction*. United Nations Settlements Programme (UN-Habitat); 67p.

Bignier, G. (2015). *Architecture et écologie: Comment partager le monde habité?* Editions Eyrolles; 214p.

Buyle, M., Braet, J., & Audenaert, A. (2013). Life cycle assessment in the construction sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 379-388. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.001>

- Dakhia, A. (2019). *L'analyse du cycle de vie, comme stratégie de développement d'un bâtiment durable dans les milieux arides à climat chaud et sec. Cas de la ville de Biskra*. Thèse de doctorat. Univ. Biskra; 392p. <http://thesis.univ-biskra.dz/id/eprint/4134>
- Geng, S., Wang, Y., Zuo, J., Zhou, Z., Du, H., & Mao, G. (2017). Building life cycle assessment research: A review by bibliometric analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 176-184. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.068>
- Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K., & Olsen, S. I. (2018). *Life cycle assessment*. Springer, Cham. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>
- Hegger, M. (2011). *Construction et énergie: architecture et développement durable*. PPUR Presses polytechniques; 280p.
- IAIA. (2009). *What Is Impact Assessment?* (p. 4). International Association for Impact Assessment. https://www.iaia.org/uploads/pdf/What_is_IA_web.pdf
- ISO. (2006). *ISO 14040:2006/AMD 1:2020. Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et cadre — Amendement 1*. ISO (Doc Technique). 24p. <https://www.iso.org/fr/standard/76121.html>
- Janjua, S. Y., Sarker, P. K., & Biswas, W. K. (2019). A Review of Residential Buildings' Sustainability Performance Using a Life Cycle Assessment Approach. *Journal of Sustainability Research*, 1(1), pp 1-29. <https://doi.org/10.20900/jsr20190006>
- Menet, J.-L., & Gruescu, I. C. (2014). *L'éco-conception dans le bâtiment en 37 fiches-outils*. Dunod, coll. Cahiers techniques; 392p.
- Ragheb, A. F. (2011). *Towards Environmental Profiling for Office Buildings Using Life Cycle Assessment (LCA)*. Habilit. Dissertation. University of Michigan. 184p. https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/86391/ragheb_1.pdf?sequence=1
- Rossi, B., Marique, A.-F., & Reiter, S. (2012). Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, case study. *Building and Environment*, 51, 402-407. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.11.002>
- Sartori, T., Drogemuller, R., Omrani, S., & Lamari, F. (2021). A schematic framework for Life Cycle Assessment (LCA) and Green Building Rating System (GBRS). *Journal of Building Engineering*, 38, 102180. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102180>
- Sylvie, A. (2015). *Évaluation d'outils d'analyse du cycle de vie pour étudier la performance environnementale de bâtiments en bois innovants*. Thèse de doctorat. Univ. Laval; 122p. <https://www.bac-lac.gc.ca/eng/services/theses/Pages/item.aspx?idNumber=1273288026>
- Trocmé, M., & Peuportier, B. (2008). Analyse de cycle de vie d'un bâtiment. *J3EA*, 7, pp 001. <https://doi.org/10.1051/j3ea:2008034>

Chapitre VIII. Des stratégies de conception environnementale des bâtiments

Introduction

Les zones bâties évoluent rapidement sur les quatre coins de notre planète. Ces zones contiennent des constructions, des aménagements et des infrastructures. La croissance de ces zones est sans doute au détriment du potentiel environnemental et naturel aussi bien à l'échelle locale que globale. Ce secteur peut contribuer positivement à la réduction des problèmes et des risques environnementaux que subit notre biosphère.

VIII.1. Des stratégies environnementales à intégrer en amont

Les acteurs de la construction sont appelés à s'inscrire dans cette stratégie à travers l'amélioration des modalités de la production du cadre bâti à différents niveaux d'intervention.

Les premières phases sont considérées comme phases décisives à la suite desquelles l'impact environnemental peut être maîtrisé, voire converti en impact positif au restaurateur pour les écosystèmes.

Ces phases se rapportent fondamentalement à la phase programmation et à celle de conception et l'élaboration du dossier d'exécution et des pièces contractuelles. La bonne part des charges environnementales peuvent être optimisées lors de ses premières bases, ce qui permet de produire un cadre bâti viable avec moins de coûts écologiques.

VIII.1.1. L'étape programmation et lancement du projet

C'est l'étape de définition du projet, sa localisation, et les besoins spatiaux et fonctionnels qu'il devrait répondre, ainsi que son impact socioéconomique et environnemental sur la localité ou la zone d'implantation. Lors de cette phase d'initiative, la problématique environnementale doit être cadrée après étude du contexte du projet qui consiste à mettre en évidence les enjeux environnementaux liés au site du projet, la stratégie environnementale à adopter en rapport avec la politique et la réglementation environnementale à l'œuvre, ainsi que les qualités de performance attendues.

VIII.1.2. La phase conception et élaboration du projet d'exécution

C'est l'étape de mise en forme du projet architectural. La forme du projet, sa taille, son insertion et ses rapports avec le site et l'environnement doivent être étudiés en rapport avec les exigences environnementales dictées par les maîtres d'ouvrages et les contraintes du site et la zone d'intervention. L'architecte et l'équipe de design jouent un rôle crucial pendant cette phase qui consiste à concevoir un projet conciliant avec son environnement naturel et humain. Il est important

de définir, analyser et évaluer les paramètres de performance environnementale à mettre en avant pour mettre en œuvre une conception écologique du projet architectural et urbain. Ces paramètres ne concernent pas seulement une phase conceptuelle bien définie, mais ils doivent se manifester le long du processus de conception architecturale, étape après étape : esquisse, avant-projet, projet d'exécution et suivi du chantier.

VIII.1.2.1. L'esquisse

Après la formalisation du problème posé et détermination des objectifs à atteindre, les intentions conceptuelles commencent à être envisagées avec l'esquisse du projet.

VIII.1.2.2. Avant-projet

C'est la phase de projection des décisions conceptuelles découlant de l'esquisse. Les solutions environnementales avancent en même temps que l'avant-projet soit graphiquement visualisé. Les aspects bioclimatiques (compacité des blocs, enveloppe architecturale, orientations, etc.) et énergétiques (consommation, choix renouvelable, etc.), et de gestion des ressources (AEP, valorisation des eaux usées et eaux pluviales, déchets) doivent faire partie intégrante des premiers documents graphiques élaborés à l'issue de cette phase conceptuelle.

À la fin de cette étape, il est important d'entamer une démarche d'évaluation environnementale des solutions proposées. L'évaluation est pratiquement basée sur les simulations des ambiances intérieures et extérieures, le bilan énergétique, la qualité de l'air, et d'autres. Cette démarche offre l'opportunité de tester les différentes alternatives et d'en choisir les plus performantes, ce qui permet plusieurs opportunités :

- Anticiper les pertes et les éventuelles anomalies environnementales pouvant résulter des choix non convenables ;
- Apporter les corrections nécessaires pour améliorer la qualité des projets conçus avec moins de dépenses en matière d'efforts et de temps ;
- Faciliter la collaboration et la communication entre les différents intervenants, notamment avec la généralisation des outils de modélisation BIM.

VIII.1.2.3. Projet d'exécution

C'est la phase d'élaboration de tous les détails relatifs à la réalisation du projet. Les dossiers d'exécution contiennent les informations graphiques, descriptives et estimatives nécessaires pour la mise en œuvre des solutions architecturales et écologiques, ainsi que les conditions réglementaires et les normes prescrivant la réalisation des travaux du projet.

Cette étape finale de conception devrait être sanctionnée par une procédure d'évaluation environnementale entamée soit par le concepteur lui-même ou par un agent tiers dont l'aboutissement est la vérification de la conformité environnementale et l'obtention d'un écocertificat ou un écolabel lui permettant l'acquisition des autorisations nécessaires pour pouvoir passer à la phase réalisation.

VIII.1.2.4. La réalisation des travaux : un chantier écoresponsable

Cette phase commence avec l'implantation du projet et l'installation du chantier. Une organisation écoresponsable du chantier doit être prescrite dans le cahier des charges et le contrat des travaux. Les acteurs du projet (maitre d'ouvrage, maitre d'œuvre, entrepreneurs, services de contrôle, etc.) s'occupent des questions relatives à l'approvisionnement et la gestion du chantier notamment le transport, la qualité du matériel et des engins de chantier, le stockage des matériaux de construction, les déchets, la sécurité envers l'environnement immédiat, la consommation des ressources (eau, électricité, etc.).

Des opérations périodiques de teste et de contrôle de la qualité des matériaux et des procédés de construction, du niveau de pollution du chantier font généralement partie des missions du maitre d'œuvre pour s'assurer de la qualité environnementale du chantier et aussi du futur projet.

VIII.1.2.5. La réception du projet

La fin des travaux est suivie par une procédure de réception du projet. Cette procédure consiste à vérifier et contrôler la conformité des travaux par rapport au programme, aux normes techniques et réglementaires et aux objectifs prédéfinis.

La qualité environnementale, comme esthétique et technique, du projet réalisé dépend directement des choix des concepteurs. La majorité des questions environnementales peuvent être négociées et tranchées et même prévues durant la phase de conception. Le processus de prise de décision peut être globalement organisé en trois étapes :

1. Identification du problème ;
2. Élaboration et discussion des alternatives ;
3. Choix d'une alternative (choix conceptuel).

VIII.2. Des aspects conceptuels à prendre en compte pour un bâtiment performant

L'écoconception architecturale vise essentiellement à proposer des projets de construction mieux adaptés aux conditions environnementales, un cadre bâti sain, viable et respectueux des

écosystèmes avoisinants. On parle même des bâtiments à impact positif ou les bâtiments vers qui contribuent à l'épanouissement de la biodiversité local.

Le long du processus de conception architectural, l'architecte cherche à développer les meilleures solutions écologiques à chaque stade d'évolution et pour élément de conception (implantation, plan de masse, forme architecturale, matériaux, rapport avec l'extérieur, qualité de l'air, consommation des ressources, énergie, eau, etc.)

Emplacement	<ul style="list-style-type: none"> • Éviter les paysages fragiles • Ne doit pas contribuer à l'étalement urbain • Près des transports en commun
Site	<ul style="list-style-type: none"> • Favorisant la réduction des eaux de ruissellement (utilisation de bassins de retenue, de revêtements poreux) • Aménagement paysager sans irrigation, pour milieux arides • Faible impact sur l'écologie locale • Plus d'espaces verts (petite emprise au sol du bâtiment, minimum de stationnement en surface)
Extérieur du bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> • Auvents aux fenêtres ou tablettes éclairantes • Utilisation d'énergies de remplacement (solaire, éolienne) • Toitures vertes • Éclairage extérieur efficace, ciblé (réduisant la pollution lumineuse)
Intérieur du bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> • Revêtement minimal (matériaux de structure apparents) • Aménagements flexibles (cloisons mobiles, planchers surélevés) • Chauffage et éclairage commandés par les occupants (et non par des thermostats et par des interrupteurs d'éclairage couvrant de grandes zones) • Lumière naturelle abondante; accès à des vues sur l'extérieur • Bonne qualité de l'air • Appareils sanitaires à faible consommation d'eau • Encouragement effectif de pratiques écologiques (ex. recyclage)
Attributs non apparents	<ul style="list-style-type: none"> • Enveloppe de bâtiment à très haute efficacité • Matériaux et matériels respectant les objectifs fixés pour le projet (répercussions environnementales intrinsèques réduites, faibles émissions de COV) • Systèmes mécaniques à grande efficacité s'intégrant aux installations électriques, à la structure et à l'architecture • Systèmes d'éclairage efficaces • Utilisation d'équipements exempts de matériaux ou de composants susceptibles de nuire à l'environnement (p. ex. climatiseurs contenant des substances appauvrissant la couche d'ozone) • Emploi de matériaux et de produits d'entretien (p. ex. détergents) respectant également les objectifs écologiques • Mesure et optimisation continues de la performance des systèmes

Tableau 6 : Caractéristiques distinctives des bâtiments écologiques

Source : (Lucuik et al. ,2005)

VIII.3. Le management environnemental du bâtiment : système de gestion du bâtiment

En accompagnement de l'approche passive des bâtiments, la performance environnementale exige la mise en place d'un système efficace de management environnemental. Il s'agit d'une démarche adoptée par le propriétaire qui vise à maintenir la Qualité environnementale du Bâtiment (QEB).

VIII.3.1. Étape de mise en œuvre d'un bâtiment de qualité environnementale

La mise en œuvre d'un projet de qualité environnementale est structurellement organisée en deux étapes : une analyse environnementale du site et de la zone d'intervention, et la définition des indicateurs environnementaux à mettre en exergue et les thèmes qui les correspondent.

VIII.3.1.1. La première étape : une analyse environnementale du site et de la zone d'intervention

Le système de gestion de projet commence systématiquement par la réalisation d'une analyse environnementale du site pour les opérations de construction : elle permettra au maître d'ouvrage de s'assurer que son opération de construction s'inscrit convenablement dans une logique de développement durable appliquée à la gestion des territoires, en répondant notamment aux enjeux suivants :

1. Cohérence entre l'aménagement de la parcelle et la politique de la collectivité en matière d'énergie, et d'énergie renouvelable notamment (bois, géothermie, réseau de chaleur, etc.), réseaux d'assainissement, de gestion des déchets, et des ressources en eau, de services, de déplacements et de transports...
2. Maîtrise des modes de déplacements et encouragement aux transports les moins polluants et surtout les transports de masse.
3. Préservation des écosystèmes et de la biodiversité sur le site.
4. Prévention des risques d'inondation et limitation des pollutions dans les zones sensibles.

VIII.3.1.2. Deuxième étape : définition des indicateurs environnementaux et des thèmes qui leur correspondent

En fonction des résultats de l'analyse environnementale du site, le maître d'ouvrage décidera lors de la réalisation de son programme des indicateurs de qualité environnementale du bâtiment QEB qu'il souhaite mettre en place sur l'opération, et des niveaux de performance respectifs souhaités.

Une grille d'évaluation comportant une diversité de thème peut être abordée, dans le but de faciliter la mise en place d'un système de gestion de bâtiment répondant aux exigences QEB :

Thème 1	Intégration du bâtiment dans le site, conception bioclimatique
Thème 2	Performances énergétiques et gestion de l'eau.
Thème 3	Choix des matériaux et des procédés de construction.
Thème 4	Santé et confort thermique, acoustique et visuel.
Thème 5	Gestion des nuisances et des déchets sur le chantier.
Thème 6	Suivi et maintien des performances en phase d'exploitation.

Tableau 7 : Thèmes sur la Qualité environnementale des Bâtiments

Source : (HQE-urbanisme/publications, 2013)

VIII.3.1.2.1. Thème 1 : Intégration du bâtiment dans le site : la conception bioclimatique

L'objectif est de traiter de façon « passive » la plupart des exigences de confort (confort thermique d'été et d'hiver, confort acoustique, qualité de l'air, confort visuel) et de réductions des besoins énergétiques (éclairage naturel, apports solaires pour le chauffage, ventilation). Cela se traduira par un choix optimal du plan masse, du principe constructif (choix d'inertie...), de l'architecture du projet (compacité...), des façades (matériaux, percements et dimensionnement selon orientations, qualité des protections solaires...), des choix d'isolation, des stratégies de ventilation, etc.

<p>1.1 Implantation et orientation des bâtiments</p>	<p>– Réaliser une analyse environnementale pour révéler les atouts et contraintes du site pour optimiser le plan de masse :</p> <p>Orientation de la parcelle, accès, masques, desserte des T°C, régime des vents, compacité possible, nuisances acoustiques..., selon les réglementations en vigueur.</p> <p>– Appliquer les principes de la conception bioclimatique – Anticiper les risques naturels du site.</p>
<p>1.2 Organisation intérieure des bâtiments</p>	<p>Définir les morphologies et organiser les espaces pour profiter du site, garantir le confort d'été, l'éclairage naturel, et minimiser les déperditions thermiques.</p>
<p>1.3. Espaces extérieurs du site</p>	<p>– Concevoir des espaces extérieurs qui intègrent la morphologie du lieu, les espèces végétales existantes, les vents dominants, les offres et contraintes du site.</p>
<p>1.4 Façades</p>	<p>Percements et dimensionnements selon orientations (principes de la bioclimatique), qualité des protections solaires et des menuiseries, et du type de vitrage.</p>

Tableau 8 : Aspects bioclimatiques

Source : (HQE-urbanisme/publications, 2013)

VIII.3.1.2.2. Thème 2 : Performance énergétique et gestion de l'eau

L'objectif est de réduire la facture énergétique des bâtiments, et de réduire les émissions de gaz à effet de serre du parc de bâtiments existants ainsi que des bâtiments neufs.

Pour les nouvelles constructions, le niveau d'exigence correspond au niveau THPE de la RT 2012. Une part des besoins énergétiques devra obligatoirement être couverte par une source d'énergie renouvelable. Pour les opérations de rénovations des bâtiments anciens, le niveau d'exigence thermique est un peu moins élevé. Une étude de faisabilité pour l'intégration d'une solution en énergie renouvelable devra être réalisée.

2.1 Isolation thermique et inertie	– Traiter prioritairement de façon ‘passive’ les exigences de confort (confort thermique d’été et d’hiver, confort acoustique, qualité de l’air, confort visuel) et de réduction des besoins énergétiques (éclairage naturel, apports solaires pour le chauffage) et Optimiser la compacité (densité d’occupation optimisée)
2.2 Fenêtres et baies	– Favoriser le captage solaire passif et l’éclairage naturel, systématiser les protections solaires externes des baies nord-est à nord-ouest.
2.3 Végétalisation	– Favoriser la végétalisation : toitures, pieds de façades et façades/fenêtres/balcons.

Tableau 9 : Exigences constructives

Source : (HQE-urbanisme/publications, 2013)

VIII.3.1.2.3. Thème 3 : Choix des matériaux et des procédés de construction

L’objectif de ce thème est double :

D’une part, avoir une réflexion en amont du projet de bâtiment, afin de privilégier les matériaux et procédés constructifs qui limitent les impacts environnementaux du bâtiment.

D’autre part, les choix techniques réalisés doivent permettre d’assurer un entretien et une maintenance simplifiée au travers d’une bonne accessibilité des bâtiments, ainsi qu’un choix de produits et matériaux de construction simplifiant les opérations de nettoyage et d’entretien sur tout le long du cycle de vie du bâtiment.

3.1 Choix des matériaux	– Rechercher la possibilité d’utiliser des éco-matériaux ou matériaux naturels (issus de la région, matériaux locaux). – Respecter la liste des matériaux interdits et à éviter : fibres minérales et autres produits.
3.2 Systèmes constructifs et matériaux de construction	– Privilégier des procédés constructifs et matériaux qui limitent les impacts environnementaux (minimiser les quantités de déchets, matériaux écologiques) – Optimiser le recyclage possible, entretien sain aisé) – Établir la liste des matériaux, les volumes, la distance d’approvisionnement, en construction/rénovation – Établir les destinations de recyclage/valorisation/mise en décharge (pour les déchets de chantier).
3.3 Transports de matériaux	– Minimiser les déplacements de transports de matériaux.

Tableau 10 : Matériaux et techniques de construction

Source : (HQE-urbanisme/publications, 2013)

VIII.3.1.2.4. Thème 4 : Santé et confort

L'objectif est d'assurer des conditions optimales de confort thermique d'été et d'hiver, ainsi qu'un confort acoustique et visuel des bâtiments. Une attention particulière sera attachée à la qualité de l'air intérieur (humidité, et matériaux utilisés et leurs impacts sur la santé humaine).

4.1 Maitrise du confort thermique	<ul style="list-style-type: none"> – Assurer un bon confort thermique. – Réduction des apports internes. – Dimensionnements et répartitions des vitrages selon l'orientation
4.3 Confort visuel	<ul style="list-style-type: none"> – Assurer un éclairage naturel confortable et une bonne luminosité de l'ensemble du bâtiment. Et surtout dans les SDB, WC et les parties communes. – Éviter les éblouissements et les effets de reflets à l'intérieur.
4.3 Impacts des matériaux sur l'environnement et la santé	Choisir des matériaux ne nuisant pas à la salubrité et à la qualité de l'air intérieur

Tableau 11 : Aspects confort

Source : (HQE-urbanisme/publications, 2013)

VIII.3.1.2.5. Thème 5 : Gestion des nuisances et des déchets du chantier

Dans le prolongement de la charte chantiers propres de la CUB communauté urbaine de Bordeaux, les chantiers devront intégrer des principes de réduction des nuisances et de limitation des risques (santé, sécurité, pollution de l'eau et du sol) et de déchets et de poussières.

5.1 Chantier propre	<ul style="list-style-type: none"> – Réduire les nuisances acoustiques – Risques de pollution de l'air (brûlages interdits), de l'eau et du sol.
5.2 Formation des professionnels	– Réaliser avant et pendant le chantier des réunions d'information et de sensibilisation aux enjeux et obligations pour la QEB et le chantier propre.

Tableau 12 : Nuisances du chantier

Source : (HQE-urbanisme/publications, 2013)

VIII.3.1.2.6. Thème 6 : contrôle et maintien des performances en phase d'exploitation

Un des principaux objectifs de cette démarche est d'assurer le suivi des projets de bâtiment en phase d'exploitation. Ceci doit permettre d'évaluer les performances réelles des bâtiments et s'assurer ainsi que les préconisations mises en œuvre concourent à l'objectif final de maitrise du cout d'exploitation et par conséquent de maitrise des charges pour les usagers du bâtiment.

6.1 Affichage et surveillance	– Présenter le cout d’exploitation prévisionnel : climatisation, chauffage, eau chaude sanitaire et abonnements, frais d’entretien et de maintenance.
6.2 Usages efficaces par les occupants	– Prévoir et réaliser des équipements de comptage à visée informative pour l’occupant/l’usager. – Former les occupants et les sensibiliser aux enjeux d’usages rationnels des ressources
6.3 Suivi des performances en phase d’exploitation	– Prévoir un protocole de suivi des performances environnementales du bâtiment sur les deux premières années d’exploitation, dont calculs pour l’affichage de la DEPEB

Tableau 13 : Aspects gestion et contrôle
Source : (HQE-urbanisme/publications, 2013)

Un bâtiment comporte un grand nombre de matériaux, de systèmes et de sous-systèmes, notamment dans la phase de construction. Afin de simplifier le modèle, ceux-ci sont classés en trois grandes catégories :

1. **Les matériaux**, correspondant aux matériaux de base non décomposables (briques, bois, sable, eau, gravier...).
2. **Les composants**, éléments assemblés en usine (tuyaux d’eau, fenêtres, portes, panneaux d’isolation...).
3. **Les assemblages**, des composants plus grands ne pouvant pas être entièrement assemblés en usine (murs, fondations, réseaux...).

Ces éléments constituent les composants élémentaires tels que considérés dans la description de la structure physique du bâtiment. Ils seront agrégés en fonction des caractéristiques des éléments considérés.

Pour la phase de construction, les procédés élémentaires de production des matériaux, des composants, et des assemblages, ainsi que leur transport.

Les déchets produits correspondent aux surplus de production des matériaux, et relatifs à leur transport.

Le recyclage des déchets peut permettre de limiter dans de nombreux cas les impacts environnementaux en évitant un procédé de traitement et la production de nouveaux produits.

Ce recyclage peut être de deux types :

- a) en **boucle fermée**, où le matériau est réutilisable pour le même usage dans un état similaire.

b) en boucle ouverte, où le matériau, souvent composite, ne peut pas être réutilisé tel quel (comme le béton par exemple).

VIII.4. Intégration de l'ACV dans le choix des matériaux et les choix énergétiques

VIII.4.1. Favoriser les éco-matériaux de construction

Les éco-matériaux, ou « matériaux écologiques », ou même « matériaux saints », sont des matériaux de construction qui répondent aux impératives du développement durable dans toute la chaîne de leurs productions, mise en œuvre, utilisation et fin d'utilisation (fin de vie).

En plus des caractéristiques techniques, esthétiques et économiques que doit présenter un matériau dédié à la construction des bâtiments et des aménagements, un écomatériau doit répondre aux critères suivants :

- De provenance naturelle et renouvelable ;
- La provenance naturelle ne suffit pas seule, l'extraction doit prendre en considération l'aspect écologique et les conditions réglementaires de la protection des ressources naturelles (ex : extraction du bois et renouvellement des forêts de production) ;
- Inscrit dans une vision globale de développement durable notamment en ce qui concerne la réduction des coûts environnementaux, énergétiques, économiques et sociaux ;
- Possibilité de recyclage et réutilisation ;
- Saint et ne génère aucun impact négatif sur la santé des fabricants et des utilisateurs ;
- Disponibilité et fabrication locales.

VIII.4.1.1. Trois provenances des éco-matériaux

Un écomatériau pourrait être :

- Biosourcé : terre cuite, pierre naturelle, bois, paille, etc.
- Réutilisable : réutilisation directe ou après des opérations de recyclage pour remettre la qualité constructive et esthétique recherchée ;
- Amélioré : les matériaux industrialisés peuvent intégrer des procédés d'amélioration de leurs qualités environnementales pendant leurs fabrications.

VIII.4.1.2. L'ACV comme outil d'évaluation des écomatériaux

D'un point de vue environnemental, la fabrication, l'utilisation et la démolition des matériaux de construction ont un impact important sur la biosphère à différents niveaux (surconsommation des ressources naturelles, l'énergie grise, pollution, émission des GES, déchet, etc.). Le choix des matériaux de construction influence considérablement le profil environnemental du projet de

construction. D'un point de vue écologique, une évaluation du cycle de vie d'un matériau de construction est cruciale pour la réalisation des nouveaux bâtiments durables ou l'amélioration des bâtiments existants. Elle permet d'estimer les charges environnementales à toutes les étapes de vie de ce type de produits : extraction des matières premières, transport aux unités de production, manufacture et fabrication, transport aux chantiers, mise en œuvre, et démolition à la fin d'utilisation.

L'analyse de cycle de vie des matériaux de construction vise à réduire l'impact environnemental de ce type de produits complexe. Elle permet de mettre en exergue toutes les étapes de fabrication et de vie « du berceau à la tombe ». La finalité est l'obtention des informations nécessaires sur la qualité environnementale des matériaux et des moyens de leurs mises en œuvre et d'établir des comparaisons avec d'autres matériaux dans une analyse multicritères qui consiste à combiner et corréler une diversité d'aspects et de variables : structurel, fonctionnel, esthétiques, économique, confort, santé, paysage, etc.

Quant au choix des matériaux de construction, les méthodes ACV se focalisent généralement sur la valorisation des matériaux écologiques en mettant l'accent sur :

- La part d'utilisation des éco-matériaux,
- La valorisation de l'utilisation des matériaux réutilisés ou recyclés ;
- La mise en priorité des matériaux locaux ;
- Le caractère réutilisable de ces produits après fin d'utilisation avec moins de déchets.

Travaux dirigés N° 05 : Présentation des Logiciels d'ACV des bâtiments

1. Le logiciel ELODIE
2. Le logiciel EQUER
3. Applications sur des projets existants : utilisation du logiciel ELODIE

VIII.5. Conclusion

Les stratégies de réduction de l'impact environnemental des projets de construction et d'aménagement s'appuient principalement sur les phases initiales du projet : programmation et conception. Il s'agit des phases de cadrage des problématiques environnementales particulières aux projets, les objectifs à atteindre et les solutions conceptuelles les plus adéquates pour concilier le projet à son environnement.

En effet, les décisions prises en matière d'urbanisme et de construction ont une forte influence sur les secteurs du bâtiment et des transports, qui contribuent de manière très importante à la maîtrise de l'énergie et la réduction des émissions et des impacts sur l'environnement.

L'intégration des outils ACV dans le processus de conception architecturale et d'aménagement urbain offre l'opportunité d'évaluer les choix conceptuels et constructifs proposés et d'établir des comparaisons en vue de déterminer les solutions les plus favorables et d'opter pour les meilleures décisions en matière de conception écologique.

Les architectes et les autres acteurs du projet de construction jouent un rôle important et décisif pour la réalisation d'un cadre bâti respectueux de l'environnement et même un cadre bâti restaurateur des écosystèmes par la mise en avant des stratégies de promotion des bâtiments à impact positif sur l'environnement.

Bibliographie du chapitre

- Bignier, G. (2015). *Architecture et écologie: Comment partager le monde habité?* Editions Eyrolles; 214p.
- Cole, R. J. (2004). Changing context for environmental knowledge. *Building Research & Information*, 32(2), 91-109. <https://doi.org/10.1080/0961321042000211396>
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons; 480p.
- Gonzalo, R., & Habermann, K. J. (2008). *Architecture et efficacité énergétique: principes de conception et de construction*. Walter de Gruyter; 222p.
- Hegger, M. (2011). *Construction et énergie: architecture et développement durable*. PPUR Presses polytechniques; 280p.
- Janjua, S. Y., Sarker, P. K., & Biswas, W. K. (2019). A Review of Residential Buildings' Sustainability Performance Using a Life Cycle Assessment Approach. *Journal of Sustainability Research*, 1(1), 1-29. <https://doi.org/10.20900/jsr20190006>
- Lecourtois, C., & Guéna, F. (2009). Eco-conception et esquisse assistée. Actes de SCAN09, Nancy, France, 64-74.
- Menet, J.-L., & Gruescu, I. C. (2014). *L'éco-conception dans le bâtiment en 37 fiches-outils*. Dunod, coll. Cahiers techniques; 392p.
- Peuportier, B. (2003). *Eco-conception des bâtiments: bâtir en préservant l'environnement*. Presses des MINES.
- Rey, E. (2001). *Architecture et développement durable: de la théorie à la pratique*. PPUR presses polytechniques; 280p.
- Sartori, T., Drogemuller, R., Omrani, S., & Lamari, F. (2021). A schematic framework for Life Cycle Assessment (LCA) and Green Building Rating System (GBRS). *Journal of Building Engineering*, 38, 102180. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102180>

Conclusion générale

La communauté mondiale est actuellement confrontée à de multiples problèmes environnementaux : pollution, effet de serre, changement climatique, surconsommation des ressources naturelles, dégradation de la biodiversité, etc. Les modèles progressistes sont principalement à l'origine des maux qui risquent de plus en plus l'équilibre de notre biosphère. Le secteur de la construction en est l'un des principaux générateurs de ces nuisances. Son impact sur l'environnement est constaté à différentes échelles :

- À l'échelle planétaire : changement climatique, GES, etc. ;
- À une échelle régionale : surconsommation des ressources épuisables, pollution, biodiversité, risques, etc. ;
- À l'échelle même du bâtiment : santé des occupants, fonctionnement des écosystèmes locaux, altération des paysages, consommation d'énergie polluante, etc.

Il peut, compte tenu de son importance, contribuer à la réduction des charges environnementales et à la promotion d'une vie propre et saine respectueuse de l'environnement à travers la mise en avant des approches écologiques lors de la production du cadre bâti.

L'approche environnementale du projet architectural porte une vision globale et systémique englobant l'ensemble du processus de la production architecturale.

Il est important de souligner que l'intégration des paramètres écologiques dans la conception architecturale ne se limite pas seulement à une phase de conception comme elle ne vient pas juste après l'élaboration de la forme finale du projet architectural. Ici, on parle d'une évaluation d'un produit et non d'un processus.

La prise en compte des paramètres écologiques concerne toutes les phases de l'étude du projet à savoir : la programmation, l'esquisse, l'avant-projet et le dossier d'exécution. Lors de chaque phase, plusieurs tâches sont à définir selon le contexte et les objectifs particularisant chaque projet et chaque site d'implantation.

Dans le domaine de la construction et d'aménagement, il existe trois principales méthodes d'évaluation environnementale : L'Empreinte écologique ; L'Étude d'Impacts sur l'Environnement EIE ; les Systèmes de classification ou de certification ; L'Analyse de Cycle de Vie ACV. Ces méthodes permettent l'estimation des charges environnementales que peut coûter un projet de construction, et lui attribuer un qualificatif environnemental.

L'ACV des bâtiments est une procédure pertinente permettant l'estimation des charges environnementales dispensées pour la réalisation, l'exploitation et le démantèlement des bâtiments. Cette démarche est devenue cruciale dans tous les projets de construction durables.

Une démarche générale d'analyse et de simplification du modèle d'analyse de cycle de vie ACV des bâtiments est proposée en limitant l'étude aux flux de matériaux et produits de construction et systèmes liés à la réalisation du bâtiment. Le modèle ACV est un modèle multidimensionnel, ainsi que l'analyse est une approche multicritère.

La phase de conception est très importante pour une meilleure maîtrise de l'impact environnemental de projet d'architecture. Elle consiste à prévisualiser le comportement énergétique et environnemental du bâtiment ainsi que les solutions conceptuelles qui permettent son optimisation.

La conception architecturale des bâtiments doit tenir compte de tous les aspects environnementaux du bâtiment et par rapport à son contexte. Lors de celle-ci, tous les niveaux de confort et de performances attendues, sont envisagés ainsi que toutes les consommations énergétiques avec la détermination de l'efficacité thermique, de l'optimisation énergétique et avec une réduction de l'empreinte environnementale.

Bibliographie générale

- Ahnia, F. (2016). *Environnement et Développement Durable* (cours). Univ. Béjaia. 61p. [https://elearning.univ-bejaia.dz/pluginfile.php/512843/mod_resource/content/0/Cours_AHNIA_Fatma_Environnement et Développement Durable.pdf](https://elearning.univ-bejaia.dz/pluginfile.php/512843/mod_resource/content/0/Cours_AHNIA_Fatma_Environnement_et_Développement_Durable.pdf)
- Al-Ghussain, L. (2019). Global warming: review on driving forces and mitigation. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 38(1), 13-21. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ep.13041>
- Bakker, R. (2020). *Smart Buildings: Technology and the Design of the Built Environment*. RIBA Publishing; 160p. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780429348051>
- Beardsley, E., Burroughs, S., Crowhurst, D., Yates, M. A., Ward, C., Dari, K., Ilomäki, A., Gibberd, J., Gupta, P. R., & Jansen, F. (2017). *Building Sustainability Assessment And Benchmarking-An Introduction*. United Nations Settlements Programme (UN-Habitat); 67p. <http://www.hqegbc.org/wp-content/uploads/2017/03/Building-Sustainability-Assessment-and-Benchmarking.pdf>
- Bignier, G. (2015). *Architecture et écologie: Comment partager le monde habité?* Editions Eyrolles; 214p.
- Buyle, M., Braet, J., & Audenaert, A. (2013). Life cycle assessment in the construction sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 379-388. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.001>
- Cole, R. J. (2004). Changing context for environmental knowledge. *Building Research & Information*, 32(2), 91-109. <https://doi.org/10.1080/0961321042000211396>
- Crichton, D., Nicol, F., & Roaf, S. (2009). *Adapting buildings and cities for climate change (2nd ed.)*. Routledge; 400p. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780080961279>
- Dakhia, A. (2019). *L'analyse du cycle de vie, comme stratégie de développement d'un bâtiment durable dans les milieux arides à climat chaud et sec. Cas de la ville de Biskra*. Thèse de doctorat. Univ. Biskra. 392p. <http://thesis.univ-biskra.dz/id/eprint/4134>
- Delbard, O. (2011). *Dictionnaire de l'environnement et du développement durable*. Pocket; 352p.
- Erlich, P. R., & Anne, H. (1971). *La bombe P... 7 milliards d'hommes en l'an 2000*. Paris, Fayard.
- Geng, S., Wang, Y., Zuo, J., Zhou, Z., Du, H., & Mao, G. (2017). Building life cycle assessment research: A review by bibliometric analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 176-184. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.068>
- Gholipour, V. (2011). *Éco-conception collaborative de bâtiments durables* [Institut National Polytechnique de Lorraine]. 271p. <https://www.theses.fr/2011INPL043N>
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons; 480p.
- Godard, O. (2015). *Environnement et développement durable: une approche méta-économique*. De Boeck Supérieur; 490p.
- Gonzalo, R., & Habermann, K. J. (2008). *Architecture et efficacité énergétique: principes de conception et de construction*. Walter de Gruyter; 222p.
- Hadj Braim, B. (2011). *Environnementaux et Développement durable (cours)*. Univ. Oran. 62 p. <http://pf-mh.uvt.rnu.tn/729/1/env-developpement-durable.pdf>
- Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K., & Olsen, S. I. (2018). *Life cycle assessment*. Springer, Cham. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>

- Hegger, M. (2011). *Construction et énergie: architecture et développement durable*. PPUR Presses polytechniques; 280p.
- IAIA. (2009). *What Is Impact Assessment?* (p. 4). International Association for Impact Assessment. https://www.iaia.org/uploads/pdf/What_is_IA_web.pdf
- IEA. (2020). *World Energy Balances 2020*. 79p. <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy supply&indicator=TPESbySource>
- ISO. (2006). *ISO 14040:2006/AMD 1:2020. Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et cadre — Amendement 1*. ISO (Doc Technique). 24p. <https://www.iso.org/fr/standard/76121.html>
- Lascoumes, P., Bonnaud, L., Le Bourhis, J.-P., & Martinais, E. (2014). *Le développement durable. Une nouvelle affaire d'État*. Puf. coll. « L'écologie en questions »; 200p.
- Lecourtois, C., & Guéna, F. (2009). Eco-conception et esquisse assistée. *Actes de SCAN09, Nancy, France*, 64-74.
- Living Building Challenge. (2014). *Living building challenge 3.0 standard* (p. 81). The International Living Future Institute. Seattle, WA. Retrieved from: [http ... https://living-future.org/lbc/](http://living-future.org/lbc/)
- Mann, M. E. (2021). greenhouse gas GHC. In *Encyclopedia Britannica*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/greenhouse-gas>
- Menet, J.-L., & Gruescu, I. C. (2014). *L'éco-conception dans le bâtiment en 37 fiches-outils*. Dunod, coll. Cahiers techniques; 392p.
- Osmani, M. (2011). Construction Waste. In T. M. Letcher & D. A. B. T.-W. Vallero (Éds.), *Waste. A Handbook for Management* (p. 207-218). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381475-3.10015-4>
- Peuportier, B. (2003). *Eco-conception des bâtiments: bâtir en préservant l'environnement*. Presses des MINES.
- Ragheb, A. F. (2011). *Towards Environmental Profiling for Office Buildings Using Life Cycle Assessment (LCA)*. (p. 184). University of Michigan. https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/86391/ragheb_1.pdf?sequence=1
- Rey, E. (2001). *Architecture et développement durable: de la théorie à la pratique*. PPUR presses polytechniques; 280p.
- Roaf, S. (2009). The adaptive potential of traditional buildings and cities. In *Adapting Buildings and Cities for Climate Change* (p. 192-217). Routledge.
- Rossi, B., Marique, A.-F., & Reiter, S. (2012). Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, case study. *Building and Environment*, 51, 402-407. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.11.002>
- Sartori, T., Drogemuller, R., Omrani, S., & Lamari, F. (2021). A schematic framework for Life Cycle Assessment (LCA) and Green Building Rating System (GBRS). *Journal of Building Engineering*, 38, 102180. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102180>
- Sylvie, A. (2015). *Évaluation d'outils d'analyse du cycle de vie pour étudier la performance environnementale de bâtiments en bois innovants*. Thèse de doctorat. Univ. Laval; 122p.

Trocme, M., & Peuportier, B. (2008). Analyse de cycle de vie d'un bâtiment. *J3EA*, 7, 0001. <https://doi.org/10.1051/j3ea:2008034>

Web Climate Action Tracker. (2021). COP26 didn't solve everything — but researchers must stay engaged. *Nature*, 599(7885), 347–347. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-03433-2>

Zaccai, E. (2015). *25 ans de développement durable, et après?* Presses universitaires de France; 240p.

Webographie

Dictionnaire de l'Environnement (en ligne) : <https://www.dictionnaire-environnement.com/>

Encyclopedia Britannica : <https://www.britannica.com/science/>

Futura sciences : <https://www.futura-sciences.com/>

UN-Habitat : <https://unhabitat.org/>

EPLCA (European Platform on Life Cycle Assessment): <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/>

Les standards ISO : <https://www.iso.org/fr/standards.html>