

Université Mohamed Khider –Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département : Architecture
Réf :



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم: الهندسة المعمارية
المرجع:

Thèse présentée en vue de l'obtention
Du diplôme de
Doctorat en sciences en : Architecture
Spécialité (Option) : Architecture

**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.**

Présentée par :
DAKHIA Azzedine

Soutenue publiquement le : 18/03/2019

Devant le jury composé de :

Pr. BELAKEHAL	Azeddine	Professeur	Président	Université de Biskra
Pr. ZEMMOURI	Noureddine	Professeur	Rapporteur	Université de Biskra
Pr. ALKAMA	Djamel	Professeur	Examineur	Université de Guelma
Pr. BOURBIA	Fatiha	Professeur	Examinatrice	Université de Constantine3

Dédicaces

Je tiens à dédier ce modeste travail à :

A la mémoire de mes parents,

A ma chère épouse Sabrina, qui m'a énormément aidé et soutenu

A mes adorables princesses : Zohra, Fedoua, Nihal,

Ranim, Eléna, et Méléna Noursine.

A mes frères et sœurs,

Et à tous les amis....,

Remerciements

*Mes premiers remerciements vont à mon directeur de thèse, Professeur **Zemmouri** Noureddine. Qu'il puisse recevoir à travers ce modeste travail, l'expression de ma profonde reconnaissance et mes vifs et sincères gratitudes pour ses précieuses orientations et conseils au moment opportun.*

.....Professeur, merci de m'avoir accordé tout votre intérêt et confiance.

J'exprime vivement ma gratitude aux membres du jury qui m'ont fait honneur et plaisir d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail et ont consacré leur temps précieux à son évaluation :

*Pr. **Belakehal** Azeddine, collègue, ami et frère, dont j'estime sa volonté et son énergie positive, ses encouragements, ses orientations, et son soutien et son aide dans les moments difficiles.*

*Pr **Alkama** Djamel, notre respectueux enseignant, toujours serviable, toujours présent, dont j'apprécie son énergie scientifique, et ses relations sociales.*

*Pr. **Bourbia** Fatiha, que j'ai connu à travers ses publications et ses participations actives et fructueuses aux divers rencontres scientifiques.*

.....Vos contributions, remarques et critiques, de fond et de forme, seront incontestablement un éclaircissement. Veuillez trouver ici mes respects, reconnaissances et gratitudes.

Mes remerciements et ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse.

Je désire transmettre mes remerciements à l'ensemble des enseignants et du personnel du département d'architecture, de la faculté Science et Technologie de l'université de Biskra.

Mes Remerciements les plus précieux vont à:

A ma femme, pour son soutien, encouragement, et appui au moment opportun,

Mes filles pour leur patience, encouragement, et joie,

Pour que ce travail leur donnent force et volonté de réussite.

A ma famille, mes collègues et mes amis pour leur encouragement.

Qu'ils veuillent tous trouver ici l'expression de ma sincère gratitude.

*Ce modeste travail est aussi le fruit de nombreuses années de vie professionnelle (plus de 19 ans) que j'ai passé au bureau d'étude technique et d'architecture **SETEB** de la wilaya de Biskra.*

La conception et la maîtrise des projets de bâtiments, m'a permis de toucher de près la problématique énergétique des bâtiments confrontée aux techniques constructives exercées, ainsi que de soulever la gravité des impacts de ces bâtiments sur l'environnement.

Sommaire

Sommaire

Chapitre Introductif	01
Introduction	02
1. L'Analyse de Cycle de Vie comme approche	04
2. Énoncé du problème.....	04
3. Problématique	06
4. Objectifs de Recherche.....	08
5. Questions de Recherche.....	10
6. Hypothèse de Recherche.....	10
7. Méthodologie de recherche.....	12
8. Portée et Limites de la recherche.....	13
9. Structure de la thèse.....	14
Conclusion	16
Chapitre1 : Etat de l'Art	18
Introduction	19
1. Le développement durable	21
1.1. Historique	21
1.2. Les 3 piliers du développement durable.....	24
1.2.1. Efficacité économique.....	24
1.2.2. Equité.....	25
1.2.3. Qualité environnementale.....	25
1.3. Les quatre principes fondamentaux de développement durable	25
1.3.1. La solidarité	25
1.3.2. La précaution.....	26
1.3.3. La participation	26
1.3.4. La responsabilité	26
1.4. Les acteurs du développement durable.....	26
2. L'évaluation des bâtiments.....	26
2.1. L'évaluation	27
2.2. Types d'évaluation.....	27
2.2.1. Evaluation d'impacts associée au processus	27
2.2.2. Evaluation cumulative d'impacts	28
2.2.3. Evaluation de cycle de vie.....	28
2.3. Méthodes d'évaluation.....	28
2.3.1. Le benchmarking	28
2.3.2. Les audits	28
2.3.3. Post Occupancy Evaluation	29
2.3.4. Empreinte écologique.....	29
2.3.5. Liste de contrôle	29
2.3.6. Méthode d'Analyse de Cycle de Vie	30
3. Les expériences antérieures de l'analyse de cycle de vie de bâtiment.....	31

3.1. Influence de l'enveloppe sur la demande énergétique des bâtiments.....	33
3.2. Economie de l'énergie des bâtiments dans les pays chauds.....	35
3.3. Amélioration des bâtiments par les dispositifs d'ombrage.....	37
Conclusion	38
Chapitre2 : Analyse de cycle de vie ACV	39
Introduction :	40
1. Définition de l'approche Analyse du Cycle de Vie ACV	41
2. Dimensions de l'Analyse de Cycle de Vie	42
3. Historique	42
3.1. Vers une harmonisation des pratiques	45
4. L'Approche « analyse de Cycle de Vie » (ACV)	46
4.1. L'Analyse de Cycle de Vie ACV d'un produit	47
4.2. Objectifs de l'analyse de cycle de vie ACV d'un produit	47
4.3. Méthodologie de l'analyse de cycle de vie ACV d'un produit	47
4.4. Cycle de vie d'un Produit.....	48
4.5. Etapes de l'analyse de cycle de vie d'un produit	49
4.5.1. Définition des buts et du cadre de l'étude	51
4.5.2. Détermination et analyse de l'Inventaire des données de Cycle de Vie	54
4.5.3. Analyse de l'Impact du Cycle de Vie (ISO 14 042)	55
4.5.4. Interprétation des résultats (ISO 14 044)	58
5. Domaines d'application de l'analyse de cycle de vie ACV	59
5.1. La pratique analyse de cycle de vie ACV aujourd'hui	60
5.2. Normalisation de l'approche analyse de cycle de vie ACV	60
5.3. Chronologie de la normalisation de l'analyse de cycle de vie ACV	60
6. Limites de la méthode d'analyse de cycle de vie ACV de produit	61
6.1. L'interprétation du cycle de vie et analyse de sensibilité	62
6.2. Les méthodes d'évaluation et impacts environnementaux	62
6.2.1 méthodes dites mid-point	62
6.2.2 Méthodes end-point.....	63
7. Outils d'évaluations et de réalisation d'ACV produits	64
7.1. GaBi	64
7.2. SIMAPRO	64
7.3. Bilan produit de l'ADEME.....	64
8. Des bases de données d'ACV de produits.....	65
8.1. Ecoinvent	65
8.2. La base INIES	65
8.3. DEAMtm	66
8.4. OKOBAU.DAT.....	66
Conclusion	67
Chapitre3 : Analyse de cycle de vie ACV des Bâtiments	68

I. Introduction	69
2. Analyse de cycle de vie des bâtiments:.....	70
2.1 Le bâtiment : typologie et composition	70
2.2 Application de l'analyse du cycle de vie d'un bâtiment	71
2.3. Méthodologie d'analyse de cycle de vie ACV des bâtiments	73
2.4. Modélisation d'un bâtiment	73
2.5. Indicateurs environnementaux considérés	75
3. L'Approche ACV, une analyse multicritère des bâtiments	77
4. Les outils d'évaluations des bâtiments	78
4.1. Projets de recherche et de normalisation sur l'ACV des bâtiments	79
4.2. Les outils d'analyse de cycle de vie ACV disponibles	80
4.3. Caractéristiques des outils existants pour l'ACV des bâtiments.....	81
4.3.1. Les données d'entrée environnementales	82
4.3.2. Les choix méthodologiques.....	83
4.4. Les bases de données utilisées dans les outils pour l'ACV des bâtiments	84
4.4.1 - les données ACV génériques multisectorielles	84
4.4.2 - les données ACV génériques pour le secteur de la construction.....	85
4.4.2.1. Base de données Athena.....	86
4.4.2.2. Base de données KBOB.....	86
4.4.2.3. Base de données ÖKOBAU.....	86
4.4.3. Bases de données ACV spécifiques aux déclarations environnementales	86
4.5. Présentation des bases de données.....	87
4.5.1. Base de données Ecoinvent	87
4.5.2. La base de données INIES	88
5. Les Déclarations environnementales.....	88
5.1. Les FDES individuelles.....	89
5.2. Les FDES collectives.....	89
5.3. Lien entre déclarations environnementales et certifications d'ouvrages.....	89
5.3.1. LEED	89
5.3.2. GBTool.....	89
5.3.3. BREEAM.....	90
5.3.4. CASBEE.....	90
5.3.5. ESCALE.....	90
5.4. Méthodes d'évaluation et d'analyse	90
5.4.1. Le bilan d'énergie et ses représentations	90
5.4.2. Comptabilité énergétique et bilan des flux	90
6. ACV des bâtiments dans leurs phases de vie	91
6.1. Les étapes du cycle de vie d'un bâtiment	91
7. Vers une conception environnementale des bâtiments.....	94
7.1. La conception pour une qualité environnementale du bâtiment.....	96
7.2. Système de gestion d'un projet de bâtiment	97
7.2.1. Etapes du projet de bâtiment	97
7.2.2 L'unité fonctionnelle.....	102
8. L'analyse de cycle de vie des matériaux.....	103
8.1. Résultats de l'analyse de cycle de vie des matériaux	103

8.2. Le choix des matériaux.....	104
8.3. La valorisation du cycle de vie matériaux	104
8.4. Le choix des matériaux.....	104
8.5. Indicateurs pour le choix des matériaux	105
8.6. Objectifs pour le choix des matériaux	105
8.7. Impacts du produit et impacts du bâtiment	106
9. L'échelle de l'impact	106
9.1. Général ou global.....	106
9.2. Régional	106
9.3. Local	107
9.4. Intérieur du bâtiment	107
10. Outils d'analyse de cycle de vie de bâtiment	107
10.1. Elodie	107
10.2. EQUER /nova-EQUER.....	108
Conclusion	111
Chapitre4 : Problématiques Energétiques des Bâtiments	112
1. Introduction	113
2. Aperçu historique	114
3. L'efficacité énergétiques et le développement durable	115
4. L'influence du bâtiment sur son environnement	116
4.1. La maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur	116
4.2. La création d'un environnement intérieur de qualité.....	117
5. Emissions des gaz à effet de serre des bâtiments	117
6. Caractéristiques des bâtiments respectant l'environnement	117
7. Bâtiments actifs	118
8. Méthodes d'évaluation de la performance énergétique du bâtiment	119
8.1. Certifications environnementales	119
8.2. Initiatives collaboratives internationales	124
8.3. Outils d'évaluation dans la conception énergétique des bâtiments	125
9. Exigences de performance du bâtiment	127
9.1. Réglementations Thermiques des bâtiments	127
9.2. Application de la Réglementation Thermique.....	128
9.2.1. La réglementation Thermique des bâtiments en Italie.....	128
9.2.2. La réglementation Thermique des bâtiments en Espagne.....	129
9.2.3. La réglementation Thermique des bâtiments en Tunisie.....	129
9.2.4. La réglementation Thermique des bâtiments au Maroc.....	130
9.2.5. La réglementation Thermique des bâtiments en Algérie.....	130

9.2.5.1. Réglementation dans le Secteur du Bâtiment en Algérie.....	131
9.2.5.2. Quelques projets d'Isolation thermique des bâtiments en Algérie	132
9.2.6. La réglementation Thermique des bâtiments en France.....	134
10. Labels et certifications pour l'efficacité énergétiques des bâtiments.....	134
10.1. La démarche Passiv'haus.....	135
10.2. BBC Effinergie	135
10.3. La démarche Minergie.....	136
10.3.1. Le label Minergie.....	137
10.3.2. Le bâtiment à basse consommation	137
10.3.3. Maitrise d'énergie et Efficacité énergétique	138
10.4. La norme Réglementation Thermique RT 2005.....	138
10.5. La norme Réglementation Thermique RT 2012.....	139
10.6. La norme BBC – bâtiment basse consommation.....	139
10.7. La Haute Qualité Environnementale HQE.....	140
10.8. LEED	141
10.9. BREEAM	141
11. Performances thermiques et efficacité énergétiques des bâtiments	142
12. Les certificats d'économie d'énergie de bâtiment.....	142
13. L'audit énergétique de bâtiment.....	143
14. Bilan thermique d'un bâtiment.....	143
14.1. Conduction à travers l'enveloppe	143
14.2. Renouvellement de l'air.....	143
14.3. Gains solaires à travers les vitrages	143
14.4. Gains internes.....	143
14.5. Sources d'énergie.....	143
15. Calcul du bilan énergétique du bâtiment	143
15.1. Diagnostic de performance énergétique DPE du bâtiment.....	144
15.2. Les étiquette Energie et Climat	145
15.2. 1. Etiquette Energie	145
15.2.2 Etiquette Climat	145
16. Critères de Performances énergétiques des bâtiments	146
16.1. Le coefficient de transmission thermique d'une paroi U.....	147

16.2. Le coefficient de transmission thermique d'un matériau μ en W/mK.....	147
16.3. Le niveau d'isolation thermique globale d'un bâtiment K.....	147
16.4. Le niveau de consommation annuelle d'énergie E.....	148
Conclusion	149
Chapitre5 : Biskra, Contexte d'étude	150
Introduction	151
1^{eme} Partie: Le Contexte d'étude, la ville de Biskra	152
1. Présentation de la ville de Biskra.....	152
2 Contexte d'étude : Situation géographique	152
2.1. Localisation géographique.....	152
2.2. Climat et microclimat de Biskra.....	153
2.3. Caractéristiques du climat de Biskra.....	153
2.4. Spécificités urbaines de Biskra.....	154
2.4.1. L'orientation des bâtiments	156
2.4.2. L'orientation spatiale des bâtiments	156
2.4.2.1. L'orientation centrale.....	156
2.4.2.2. L'orientation linéaire.....	157
2.4.2.3. L'orientation radiale.....	158
2.4.2.4. L'orientation topologique.....	158
2.5. La typologie des bureaux à Biskra	159
2.6. Critères de choix de la ville de Biskra.....	159
2.7. Critères de choix du bâtiment échantillon	160
2.8. Approche physique du climat.....	160
2.9. Classifications du climat dans le monde	161
2.10. Méthodes de classification des climats	161
2.10.1. Méthode de Martonne.....	161
2.10.2. Méthode de Koppen.....	161
2.10.3. Méthode de Givoni.....	162
2.11. Caractéristiques générales du climat chaud et sec	162
2.12. Notion et indice d'aridité	162
2.13. Classifications du climat en Algérie.....	163
3. Aperçu sur la ville de Biskra.....	164
3.1.1. Historique de la ville de Biskra.....	165
3.1.2. Historique de la production architecturale de bâtiments publics à Biskra.....	166
3.2. Bâtiments publics dans la ville de Biskra	168
3.2.1.-les équipements d'accompagnements et bâtiments de services	168
3.2.2.- Bâtiments sportifs et équipements de loisirs	168
3.2.3.- Bâtiments publics et infrastructures touristiques	168
3.2.4.- Bâtiments publics à caractère administratif	168
3.2.5.- Bâtiments publics et de gouvernance.....	169
3.2.6.- Bâtiments publics et infrastructures de transports.....	169

3.2.7.- Bâtiments et maisons de culture	169
3.2.8.- Bâtiments publics et de services	169
3.2.9.- Bâtiments militaires et sécuritaires	169
3.2.10.- Autres bâtiments publics	169
3.3. Bâtiment public et patrimoine architectural à Biskra	170
4. Analyse des Bâtiments publics dans la ville de Biskra	170
4.1. Nature de la recherche	171
4.2. Processus méthodologique	171
4.3. Bâtiments tertiaires dans la ville de Biskra	172
5. Caractéristiques climatiques	172
6. Analyse des valeurs	173
2^{me} Partie: Les bâtiments Tertiaires dans la ville de Biskra	174
7. L'architecture Tertiaire à Biskra	174
8. Description du bâtiment à étudier	175
8.1. Le choix du bâtiment à étudier	175
8.1.1. Catégorie I : Bâtiment de la période coloniale	175
8.1.2. Catégorie II : Bâtiment de la période 1965 à 2000	177
8.1.3. Catégorie III : Bâtiments récents	178
8.2. Synthèse des bâtiments de bureaux dans la ville de Biskra	182
Conclusion	186
Chapitre 6 : Le siège de l'Agence Foncière, Bâtiment Cas d'étude	187
Introduction	188
1^{me} Partie: Identification du bâtiment à étudier	189
1. Le bâtiment cas d'étude	189
1.1. Localisation et climat	189
1.2. Le bâtiment et son environnement	189
1.3. Géométrie du bâtiment à étudier	189
1.4. Typologie architectural du bâtiment	189
1.5. Données sur le bâtiment	189
1.6. Forme et orientation du bâtiment	190
1.7. Les ouvertures du bâtiment	191
2. Description métrologique (enveloppe, équipements et usages)	192
3. Base de données (enveloppe et matériaux de construction, équipements et usages)	192
3.1. L'enveloppe : caractéristiques des matériaux de construction	193
4. Caractéristiques climatiques du bâtiment	194
4.1. Exposition aux vents dominants	195
4.2. Ensoleillement	195
4.3. Les techniques passives de contrôle solaire	195
4.4. Les protections et les masques intégrés	195
4.5. Surfaces des fenêtres et ouvertures (baies vitrées)	196
4.6. Les installations électriques dans le bâtiment	196
5. Les scénarios d'usage	197
5.1. Consigne de température	197

5.2. Taux d'occupation.....	197
5.3. Puissance dissipée par les appareils électriques.....	198
5.4. Le scénario de ventilation.....	198
5.5. Niveau d'éclairement.....	199
5.6. Les besoins en eau chaude sanitaire.....	199
6. Analyse architecturale du bâtiment cas d'étude.....	200
6.1. Situation du bâtiment cas d'étude.....	200
6.2. Description du bâtiment.....	201
7. Méthodologie du travail.....	202
7.1. Informations générales sur le bâtiment.....	202
7.2. Plans du bâtiment.....	202
7.3. Descriptif des matériaux de construction.....	204
7.4. Descriptif des équipements.....	204
8. Ensoleillement du bâtiment étudiant.....	205
9. Descriptif du système HVAC.....	207
10. Ventilation.....	208
11. Description technique du bâtiment.....	208
12. Comportement bioclimatique du bâtiment et confort thermique.....	208
12.1. L'isolation.....	209
12.2. Perméabilité à l'air.....	210
12.3. Perméabilité à l'humidité.....	210
12.4. Fonctionnement thermique des matériaux.....	210
13. Résultats de l'analyse des bâtiments de bureaux.....	211
2^{ème} Partie: Le choix des outils de simulation.....	212
14. L'outil de simulation thermique dynamique STD.....	212
14.1. Le choix de Comfie-Pleiades.....	213
14.1.1. Alcyone.....	214
14.1.2. Pléiades.....	215
14.1.3. Météocalc.....	215
14.1.4. Nova-Equer.....	215
14.2. Principe de calcul.....	216
14.2.1. Transfert de chaleur dans une paroi extérieure.....	216
14.2.2. Coefficients de transfert superficiel (hint et hext).....	216
14.2.3. Calcul des sollicitations de flux solaire.....	216
14.2.4. Sollicitation de puissance interne.....	216
14.2.5. Intégration et résultats.....	216
14.3. Application de l'outil de modélisation Comfie-Pleiades.....	218
14.4. Résultats de la simulation thermique dynamique.....	222
14.4.1. Analyse des températures.....	222
14.4.2. Analyse de la consommation énergétique.....	222
14.4.2.1. Consommation énergétique pour le chauffage.....	222
14.4.2.2. Consommation énergétique pour la climatisation.....	223
14.4.2.3. Consommation énergétique pour l'eau chaude sanitaire.....	223
15. Choix de l'outil de l'analyse environnementale.....	223
16. Validation de notre méthodologie.....	224
Conclusion.....	225

Chapitre 7 : Simulations, Outils & Protocoles	226
Introduction :	227
1. Spécificités des bâtiments Tertiaires dans la ville de Biskra.....	228
1.1. Les données climatiques.....	228
1.1.1. Analyse des données météorologiques.....	229
1.2. Les scénarios d'usage conventionnels.....	230
1.2.1. Consigne de température.....	230
1.2.1.1. Scénario hebdomadaire.....	230
1.2.1.2. Scénario annuel.....	231
1.2.2. Taux d'occupation.....	231
1.2.3. Puissance dissipée par les appareils électriques.....	231
1.2.4. Taux de ventilation.....	232
1.2.5. Niveau d'éclairage.....	232
1.2.6. Les besoins en eau chaude sanitaire.....	233
2. Les scénarios d'utilisation du bâtiment.....	233
2.1. Scénario d'occupation.....	233
2.2. Scénario de la puissance dissipée.....	233
2.2.1 Scénario d'occultations.....	234
2.3. Scénario saisonniers.....	234
2.3.1. Consigne de température.....	234
2.3.1.1. Scénario hebdomadaire.....	234
2.3.1.2. Scénario annuel.....	234
2.3.1.3 Scénario de rafraîchissement (Eté).....	235
2.3.1.4 Scénario de chauffage (Hiver).....	235
2.4 Scénario de ventilation.....	235
3 Modélisation du bâtiment.....	235
3.1 Le bâtiment selon la réglementation thermique RT2012.....	236
3.1.1. Le niveau « Bâtiment ».....	236
3.1.2. Le niveau « Zone ».....	236
3.1.3. Le niveau « Groupe ».....	236
3.1.4. Le niveau « Local ».....	237
3.2. La structure des systèmes.....	237
3.2.1. Les systèmes de chauffage.....	237
3.2.2. Les systèmes de climatisation.....	237
3.2.3. Les systèmes de ventilation.....	238
3.2.4. Les systèmes d'Eau Chaude Sanitaire.....	238
3.2.5. L'éclairage artificiel.....	238
3.3. Évaluation de l'application de la méthode RT2012 dans le contexte de la région.....	238
3.3.1. Application des critères principaux.....	238
3.4. Calcul des indicateurs de performances énergétiques.....	239
3.4.1. Le site.....	239
3.4.2. Le bâti.....	239
3.4.2.1 La géométrie du bâtiment.....	239
3.4.2.2. Enveloppe du bâtiment.....	240
3.4.2.2.1 Description du bâtiment.....	240
3.4.2.2.2 Répartition des espaces du bâtiment.....	241
3.4.2.3. Compositions des parois.....	242

3.4.2.4. Compositions des ouvertures	244
3.4.3. Autres éléments : les protections solaires et les masques intégrés.....	246
3.4.4. L'utilisation et fonctionnement du bâtiment.....	247
4. Performances énergétiques des bâtiments.....	248
4.1. Choix des logiciels de simulation thermique et environnementale.....	249
4.2. Méthodologie de la simulation thermique et environnementale.....	249
4.3. Les étapes d'analyse de cas d'étude avec logiciel Alcyone et Pleades-Comfie.....	250
4.3.1 Avec le logiciel Alcyone	250
4.3.2 Description géométrique du bâtiment.....	252
4.3.2.1 La simulation avec PLEADES.....	253
4.3.3 Les rapports de la simulation	254
4.3.4 Les résultats de la simulation énergétique	255
4.3.4.1 Les premiers résultats	255
4.3.4.2 Le deuxième type de résultats	256
4.3.4.3 Le troisième type résultats	256
5. Outils de la simulation.....	257
6. Paramètres de simulation du bâtiment.....	259
7. Déclarations des variables de conception durable.....	259
7.1. Base des données pour la simulation thermique et environnementale du bâtiment.....	260
7.1.1. Une base de données des composantes	260
7.1.2. Une base de données météorologique	261
7.1.3. Une base de données des sources d'énergie.....	261
8. L'analyse énergétique	261
8.1. L'analyse thermique STD.....	261
8.2. L'analyse énergétique.....	262
9. L'analyse environnementale	262
10. Protocole de la simulation.....	262
11. Objets de la simulation.....	264
12. Les conditions de la simulation	264
13. Les niveaux de simulation	265
13.1 Les systèmes constructifs.....	268
13.2 Le système d'isolation.....	270
13.2.1. L'isolant dans le bâtiment.....	270
13.2.2. Les propriétés physiques des isolants	270
13.2.3. La performance des matériaux isolants.....	272
13.2.4. Les techniques d'isolation	272
13.2.5. Premier niveau de simulation.....	272
13.2.6. Deuxième niveau de simulation.....	273
13.2.6.1. Indices et critères d'un isolant.....	274
13.2.6.2. La technique d'isolation.....	275
13.2.7. Troisième niveau de simulation.....	277
13.2.8. Quatrième niveau de simulation.....	277
13.2.9. Cinquième niveau de simulation.....	278
13.3. Les systèmes HVAC.....	278
13.4. La ventilation.....	279
13.5 Les systèmes d'énergie.....	279
Conclusion.....	281

Chapitre 8 : Résultats & Interprétations	283
Introduction :	284
1. Les résultats de l'analyse environnementale.....	285
2. Exploitation des résultats.....	285
2.1. Résultats numériques des impacts du bâtiment étudié.....	285
2.2. Résultats sous forme d'Eco-profils.....	287
3. L'énergie utilisée, déchets et rejets du bâtiment.....	288
4. Tableaux de synthèses	289
5. Interprétations des résultats	289
6. Besoins d'Energie & Impacts environnementaux.....	293
6.1. Baies vitrées, Protections solaires, Energie &Impacts.....	299
6.2. Protections solaires, Energie &Impacts.....	303
6.3. Sources d'Energies Renouvelables &Impacts.....	307
7. Amélioration énergétique du bâtiment.....	308
7.1. Le solaire thermique, comme solution active.....	308
7.2. Les systèmes passifs et stratégies durables	309
7.3. Impacts environnementaux réduits par l'amélioration thermique du bâtiment.....	310
7.3.1. Réduire les apports de chaleur et de froid	310
7.3.1.1. Apports internes.....	310
7.3.1.2. Apports externes.....	310
7.3.2. Évacuer la chaleur pour le confort d'été.....	311
7.4. Les choix de solutions & stratégies passives	312
7.4.1. Pour la consommation en climatisation et le confort d'été.....	312
7.4.2. Pour le besoin en chauffage en hiver.....	312
Conclusion	313
Conclusions Générales	315
Bibliographie	323
Annexes	336
Résumés	386

Liste des Figures

Liste des Figures

Figure 1.1: les 3 piliers du développement durable.....	24
Figure 2.1: les phases de vie d'un produit.....	41
Figure 2.2: historique et évolution de l'ACV.....	43
Figure 2.3: Cadre d'une analyse du cycle de vie.....	48
Figure 2.4 : Cycle de vie de la d'un Produit.....	49
Figure 2.5 : Relations entre les étapes du processus d'analyse du cycle de vie.....	50
Figure 2.6: Schéma récapitulatif des étapes d'une ACV.....	50
Figure 2.7 : Phases de l'analyse de l'impact du cycle de vie.....	56
Figure 2.8 : Les divers éléments de la phase d'interprétation de l'ACV.....	58
Figure 2.9 : Chaîne de cause à effet.....	63
Figure 2.10 : Liaisons entre résultats de l'inventaire et les catégories d'impacts.....	63
Figure 3.1a : Approche du cycle de vie.....	70
Figure 3.1b : Phase du cycle de vie de bâtiment.....	71
Figure 3.3 : Principe de l'ACV d'un bâtiment.....	73
Figure 3.4 : Frontières du système pour le bâtiment.....	74
Figure 3.5 : Les phases du cycle de vie d'un bâtiment.....	75
Figure 3.6. L'ACV appliquée aux bâtiments : un modèle complexe et multidimensionnel.....	77
Figure 3.7 Effet « boîte noire » des bases de données d'ACV de bâtiment.....	78
Figure 3.8 : Caractéristiques principales d'un modèle pour l'ACV.....	81
Figure 3.9 : Les étapes de cycle de vie d'un bâtiment.....	92
Figure 3.10 : Les phases de vie d'un bâtiment.....	93
Figure 3.11. Représentation du cycle de vie d'un bâtiment.....	93
Figure 3.15 : L'échelle de l'impact environnemental.....	107
Figure 3.17 : Chaînage des entrées/sorties entre les outils d'évaluation.....	109
Figure 4.2. Critères des certifications environnementales BREEAM, LEED et HQE.....	121
Figure 4.3. Les trois dimensions du concept de la durabilité.....	123
Figure 4.4: Dimensions du concept de la durabilité à la conception énergétique du bâtiment.....	126
Figure 4.5 : Schématisation des principes de la conception d'une maison passive.....	135
Figure 4.6 : Exigence des standards Minergie® et Minergie®-P.....	137
Figure 4.6a-b : Etiquettes énergie et climat pour le bâtiment.....	146
Figure 4.7 : Transmission thermique de la paroi de bâtiment.....	147
Figure 5.1 : Situation du Centre ville de Biskra.....	152
Figure 5.2 : Vue du Centre ville de Biskra.....	155
Figure 5.3. : Siège CNEP Banque à Biskra.....	155
Figure 5.4. : Siège Agence Foncière de Biskra : Plan de masse, Plan RDC, Vue.....	156
Figure 5.5 : Siège Trésor Public de Biskra: Plan de masse, Plan RDC, Vue.....	157
Figure 5.6 : Siège de l'ex Mairie de Biskra: Plan de masse, Plan RDC, Vue.....	158
Figure 5.7 : Siège de la DTP de Biskra: Plan de masse, Plan RDC, Vue.....	159
Figure 5.8 : Photo satellite de la ville de Biskra.....	163

Figure 5.9 : Gare de Biskra réalisée en 12876.....	164
Figure 5.10 : "Photographie Saharienne" - Biskra - vers 1910.....	164
Figure 5.11 : Banque CRMA de Biskra.....	165
Figure 5.12 : Agence postale cité des 726 logts à Biskra.....	165
Figure 5.13 : Agence postale à Biskra.....	166
Figure 5.14 : Polyclinique, cité des 726 logts à Biskra.....	166
Figure 5.15 : Antenne Communale, cité des 726 logts à Biskra.....	167
Figure 5.16 : Banque CNEP de Biskra.....	167
Figure 5.17 : Direction des mines à Biskra.....	168
Figure 5.18 : Siège de l'Agence Foncière de Biskra.....	169
Figure 5.19 : Siège de l'Agence Foncière de Biskra.....	170
Figure 5.20 : Siège de la BNA Bâtiment historique à Biskra.....	170
Figure 5.21 : Gare de Biskra réalisée en 12876.....	176
Figure 5.22 : Siège de l'ex Mairie de Biskra: Plan de masse, Plan RDC, Vue.....	176
Figure 5.23 : Siège de la BNA Bâtiment historique à Biskra.....	176
Figure 5.24 : Direction des impôts de Biskra.....	177
Figure 5.25 : Siège du Trésor Public de Biskra.....	178
Figure 5.26 : Siège de la CNAS de Biskra.....	178
Figure 5.27 : Siège de la Sureté de la Wilaya de Biskra.....	179
Figure 5.28 : Siège de la caisse CNL de Biskra.....	179
Figure 5.29 : Siège des Impôts CDI de Biskra.....	179
Figure 5.30 : Siège du CTC Est agence de Biskra.....	180
Figure 5.31 : Siège de la direction du Tourisme de Biskra.....	180
Figure 5.32 : Siège de la direction DTP de Biskra.....	180
Figure 5.33 : Siège de la direction DUC de Biskra.....	181
Figure 5.34 : Siège de l'Agence foncière de Biskra.....	181
Figure 5.35 : Siège de l'OPGI de Biskra.....	182
Figure 5.36 : Siège de la banque CPA de Biskra.....	182
Figure 5.37 : Siège de la direction de l'éducation de Biskra.....	184
Figure 5.38 : Siège de la CNAC de Biskra.....	184
Figure 6.1 : Plan de Situation du bâtiment sur Google Earth.....	190
Figure 6.2 : Plan de Masse du bâtiment cas d'étude.....	191
Figure 6.3 : Façades du bâtiment cas d'étude.....	192
Figure 6.4 : Moucharabieh du bâtiment cas d'étude.....	196
Figure 6.5 : Situation du bâtiment cas d'étude par rapport à la ville.....	200
Figure 6.6 : Plan de Masse du bâtiment cas d'étude.....	200
Figure 6.7 : Plan RDC du bâtiment cas d'étude.....	201
Figure 6.8 : Plan 1er étage du bâtiment cas d'étude.....	203
Figure 6.9 : Plan 2em étage du bâtiment cas d'étude.....	203
Figure 6.8 : Détails des matériaux et système de construction.....	204
Figure 6.9 : Façade Orientation Sud du bâtiment cas d'étude.....	205

Figure 6.10 : Façade Orientation Nord du bâtiment cas d'étude.....	206
Figure 6.11 : Façade Orientation Est du bâtiment cas d'étude.....	206
Figure 6.12 : Façade Orientation Ouest du bâtiment cas d'étude.....	207
Figure 6.13a : Maçonnerie double paroi des murs extérieurs.....	209
Figure 6.13b : Façade vitrée du bâtiment cas d'étude.....	209
Figure 6.14 : Résultats comparatifs concernant les besoins en chauffage annuels.....	212
Figure 6.15: Résultats comparatifs concernant les besoins en climatisation.....	213
Figure 6.16 : Organigramme de Alcyone et Comfie-Pleiades.....	214
Figure 6.17 : Organigramme de Pleiades.....	214
Figure 6.18 : Saisies graphiques sur Alcyone en 2D et 3D.....	215
Figure 6.19 : Organigramme de Nova Equer.....	215
Figure 6.20 : Outils de Simulations Energétique & Environnementale.....	216
Figure 6.21 : Zones Thermiques du RDC du bâtiment cas d'étude.....	219
Figure 6.22 : Zones Thermiques du 1e étage du bâtiment cas d'étude.....	219
Figure 6.23 : Zones Thermiques du 2em étage du bâtiment cas d'étude.....	220
Figure 6.24 : Saisies graphiques sur Alcyone en 2D et 3D du bâtiment cas d'étude.....	220
Figure 6.25 : Vue 3D du Bâtiment dans son quartier (façade nord).....	221
Figure 6.26 : Vue 3D du Bâtiment dans son quartier (façade sud).....	221
Figure 6.27 : Façade nord en vue 3D de Bâtiment cas d'étude.....	221
Figure 6.28 : nova-Equer l'outil de l'analyse environnementale.....	224
Figure7.1 : Scénarios de Chauffage et de Climatisation.....	231
Figure7.2 : Structure du bâtiment selon la méthode TH BCE 2012.....	236
Figure 7.3 : Détails des doubles et triple vitrages.....	242
Figure7.4 : Performance thermique du vitrage.....	243
Figure7.5 : Facteur solaire du vitrage.....	243
Figure7.6 : Décomposition du facteur solaire du vitrage.....	243
Figure 7.7 : Plan de masse du Bâtiment cas d'étude.....	250
Figure7.8 : Détails de la composition des parois du bâtiment à modéliser.....	251
Figure7.9 : Composition par défaut des parois du bâtiment à modéliser.....	251
Figure 7.10 : Dessiner l'espace ou le Bâtiment à modéliser.....	252
Figure 7.11 : Description géométrique du Bâtiment cas d'étude.....	252
Figure 7.12 : Exporter et Ouvrir dans Pléiades le bâtiment à modéliser.....	253
Figure 7.13 : Insérer les scénarios d'usage du bâtiment.....	253
Figure 7.14 : la dernière étape de la simulation du bâtiment.....	254
Figure 7.15 : Résultats de l'analyse thermique du bâtiment.....	254
Figure 7.16 : Courbes comparatives entre variantes.....	255
Figure 7.17 : Histogrammes comparatifs.....	255
Figure 7.18 : Résultats de la STD en valeurs des Bchauffage et Bfroide.....	256
Figure 7.19 : Résultats de la STD en Cef-Ch et Cef-clim.....	256
Figure 7.20 : l'indice de taux d'inconfort dans le logiciel Comfie+Pleiades.....	257
Figure 7.21: Chaînage des entrées /sorties entre les outils d'évaluation.....	258

Figure 7.22: 1 ^{er} niveau de la simulation du bâtiment.....	266
Figure 7.23: 2 ^{em} niveau de la simulation du bâtiment.....	266
Figure 7.24: Le système d'isolation du bâtiment.....	266
Figure 7.25: Les techniques d'isolation du bâtiment.....	266
Figure 7.26: 3 ^{em} niveau de la simulation du bâtiment.....	266
Figure 7.27: 4 ^{em} niveau de la simulation du bâtiment.....	268
Figure 7.28: 5 ^{em} niveau de la simulation du bâtiment.....	268
Figure 7.29: Configurations initiales des murs de l'enveloppe du bâtiment.....	273
Figure 7.30: Autres isolants pour les murs de l'enveloppe du bâtiment.....	273
Figure 7.31: Isolation répartie des murs de l'enveloppe du bâtiment.....	275
Figure 7.32: Isolation par l'intérieur et par l'extérieur des murs de l'enveloppe du bâtiment.....	276
Figure 8.1: Histogramme des alternatives des murs de l'enveloppe du bâtiment.....	287
Diagramme radar	
Diagramme radar8.1 : Cas de l'isolation répartie.....	297
Diagramme radar8.2 : Cas d'isolation base de Ouate de cellulose.....	297
Diagramme radar8.3 : cas des 7 variantes de composition du mur.....	298
Diagramme radar8.4 : Impacts Environnementaux selon le type de vitrage.....	303
Figure 8.19: Principe du Solaire Thermique.....	308
Figure 8.20: Intégration des Energies Renouvelables.....	309

Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

Tableau 2.1 : Survol historique des analyses du cycle de vie ACV.....	46
Tableau 3.2 : Principales étapes du cycle de vie d'un bâtiment.....	72
Tableau 3.3: Les indicateurs environnementaux évalués.....	76
Tableau 3.4 : Logiciels pour l'ACV des bâtiments à l'échelle internationale.....	83
Tableau 3.5 : Bases de données génériques utilisées dans les outils pour l'ACV des bâtiments.....	85
Tableau 3.6: Bases de données ACV génériques pour le secteur de la construction.....	85
Tableau 3.7 : Bases de données au format EPD utilisées dans les outils pour l'ACV.....	87
Tableau 3.8 : Extrait du tableau des flux environnementaux reportés pour chaque FDES.....	88
Tableau 3.12 : étapes de cycle de vie d'un bâtiment.....	94
Tableau 3.13 caractéristique distinctives des bâtiments écologiques.....	96
Tableau 3.14 : thèmes sur la Qualité Environnementale des Bâtiments.....	97
Tableau 3.16 : Indicateurs environnementaux d'Elodie.....	108
Tableau 3.18 : Indicateurs environnementaux de Nova Equer.....	110
Tableau 4.1: Différents critères de développement durable de bâtiments.....	114
Tableau 5.1 : Caractéristique de la zone D : Pré-Sahara.....	163
Tableau 5.2 : Tableau des Températures.....	172
Tableau 5.3 : Tableau de l'Humidité relative de la ville de Biskra.....	173
Tableau 5.3 : Descriptif technique des bâtiments récents.....	185
Tableau 6.1 : Paramètres thermo physiques pour les éléments du bâtiment.....	193
Tableau 6.2 : Description des matériaux et des systèmes de construction.....	194
Tableau 6.3 : Scénario d'occupation des bureaux.....	197
Tableau 6.4 : Puissance dissipée par heure en une semaine.....	198
Tableau 6.5 : Renouvellement de l'air.....	199
Tableau 6.6 : Répartition des espaces du bâtiment.....	202
Tableau 6.7 : Informations sur le bâtiment.....	202
Tableau 6.9: Caractéristiques thermiques et performances de l'enveloppe.....	204
Tableau 6.10 : Puissances des appareils électriques et informatiques.....	205
Tableau 6.11 : Eléments constructifs du bâtiment cas d'étude.....	208
Tableau 6.12 : Besoins en énergie du bâtiment cas d'étude.....	222

Tableau 7.1 : Puissances dissipées des appareils électriques.....	232
Tableau 7.2: Caractéristiques des matériaux utilisés.....	242
Tableau 7.3: Caractéristiques des vitrages utilisés.....	242
Tableau 7.4: Caractéristiques des vitrages isolants.....	244
Tableau 7.5: Caractéristiques thermiques et acoustiques des vitrages.....	245
Tableau 7.6: Caractéristiques thermiques des matériaux utilisés.....	269
Tableau 7.7a: Caractéristiques et types d'isolants pour le bâtiment.....	271
Tableau 7.7b: Caractéristiques et types d'isolants pour le bâtiment.....	271
Tableau 7.8: Caractéristiques techniques des isolants utilisés.....	272
Tableau 7.9: Bilan Environnemental des isolants utilisés.....	272
Tableau 7.10: Les sept alternatives des murs extérieurs de l'enveloppe du bâtiment.....	277
Tableau 8.1: Caractéristiques Environnementales des isolants.....	290
Tableau 8.2: Besoins en Energie des compositions du mur.....	290
Tableau 8. 3 : Classement des variantes des murs par rapport au besoin en énergie.....	291
Tableau 8. 4 : Impacts Environnementaux des compositions du mur.....	292
Tableau 8. 5a : Impacts Environnementaux par phase du cycle de vie.....	293
Tableau 8. 6b : Impacts Environnementaux par phase du cycle de vie.....	295
Tableau 8. 7c : Impacts Environnementaux par phase du cycle de vie.....	296
Tableau 8. 8 : Besoins en Energie pour simple vitrage des fenêtres.....	299
Tableau 8. 9 : Besoins en Energie pour double vitrage des fenêtres.....	300
Tableau 8. 10 : Besoins en Energie pour double vitrage à faible émissivité des fenêtres.....	301
Tableau 8. 11 : Comparatifs des besoins en Energie pour les types de vitrage des fenêtres.....	301
Tableau 8. 12 : Impacts Environnementaux durant les phases du cycle de vie du bâtiment.....	302
Tableau 8. 13 : Besoins en Energie pour double vitrage et sans protection solaire.....	304
Tableau 8. 14 : Besoins en Energie pour double vitrage et avec protection solaire.....	304
Tableau 8. 15 : Comparatifs des besoins en Energie avec et sans protection solaire.....	305
Tableau 8. 16 : Impacts Environnementaux du bâtiment selon protections solaires.....	306

Université Mohamed Khider –Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département : Architecture
Réf :



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم: الهندسة المعمارية
المرجع:

Thèse présentée en vue de l'obtention
Du diplôme de
Doctorat en sciences en : Architecture
Spécialité (Option) : Architecture

**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.**

Présentée par :
DAKHIA Azzedine

Soutenue publiquement le : 18/03/2019

Devant le jury composé de :

Pr. BELAKEHAL	Azeddine	Professeur	Président	Université de Biskra
Pr. ZEMMOURI	Noureddine	Professeur	Rapporteur	Université de Biskra
Pr. ALKAMA	Djamel	Professeur	Examineur	Université de Guelma
Pr. BOURBIA	Fatiha	Professeur	Examinatrice	Université de Constantine3

Chapitre Introductif:

Introduction :

‘ Satisfaire aux besoins des gens sans compromettre la capacité des prochaines générations de satisfaire aux leurs ’ (Brundtland, 1987), c’est la définition du concept de *‘Développement Durable’* adoptée à la communauté internationale.

Il ne s’agit pas d’un objectif en soi, mais d’une démarche appliquée à la prise de décisions, nécessitant des actions diverses et unies, dans tous les secteurs économiques (industrie, environnement, santé, agriculture, agro-alimentaire, construction, bâtiment, etc...).

Dans ce contexte, le bâtiment s’impose du fait qu’il soit le secteur le plus consommateur d’énergie, dans le monde, dépassant ainsi les 45% de la consommation totale d’énergie, et avec 50% du total des ressources naturelles exploitées (ADEME, 2015).

En ce qui concerne l’Algérie, le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire) est aussi responsable de 41% de la consommation énergétique nationale finale, et représente un taux de croissance annuel estimé à 6.28% (APRUE).

Les émissions de polluants liées au bâtiment sont aussi très importantes ; aussi bien dans l’air (30% du total des émissions de CO², gaz à effet de serre), que dans l’eau (un quart des rejets eutrophisants) avec plus de 40% des déchets de produits (Thiers, 2008).

Les enjeux capitaux de toute politique énergétique et environnementale sont donc de réduire les consommations d’énergie dans ce secteur crucial, et d’instaurer une maîtrise de l’énergie ainsi que la diminution des multiples émissions et impacts des bâtiments sur l’environnement.

Donc, il est important d’une part, d’améliorer la performance énergétique des bâtiments, et d’autre part, de disposer d’outils multicritères, suffisamment fiables, permettant de mettre en évidence les sources des impacts environnementaux (effet de serre, eutrophisation, consommation d’eau...), d’un bâtiment durant tout le long de son cycle de vie ; impacts issus dès la phase de sa construction, durant son utilisation, et sa rénovation jusqu’à la fin de la vie de ce même bâtiment (la démolition), ainsi que de les évaluer (environnementalement).

Aussi, l'objectif est de mener une évaluation quantitative précise des impacts environnementaux du bâtiment tout le long de son cycle de vie, permettant ainsi aux acteurs du bâtiment (architectes, concepteurs et maitres d'ouvrages) de faire le choix le plus cohérent (de systèmes constructifs et de matériaux de construction, d'équipements, etc...) par rapport à leurs objectifs visés pour ces derniers.

La maîtrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment s'impose par une rationalité des besoins. Ainsi, la réduction des besoins en énergie dans le bâtiment s'opère essentiellement par une bonne isolation et une étanchéité très performante de son enveloppe permettant ainsi d'atteindre l'objectif de bâtiment à basse consommation d'énergie BBC.

De plus, augmenter la performance thermique d'un bâtiment implique à la fois une multiplication de composants de son enveloppe qui devient un élément à considérer en priorité dans la réduction des impacts environnementaux. Il est donc important que les acteurs (les maitres d'œuvre et d'ouvrage) œuvrent à une conception cohérente en tenant un équilibre entre performances énergétiques à atteindre et performances environnementales à justifier.

Le présent travail s'inscrit dans cette ligne de conduite, permettant de concevoir des enveloppes de bâtiments performantes, assurant une maîtrise de l'énergie, et respectueuses des économies d'énergies et de l'environnement.

1. L'Analyse de Cycle de Vie comme approche:

L'Analyse de Cycle de Vie ACV d'un produit est principalement associée à des objectifs de certification, de diagnostic de l'existant, d'évaluation d'une situation existante et figée.

À l'inverse, l'analyse de cycle de vie ACV des bâtiments, est orientée vers des objectifs d'évolution d'un système, d'analyse de politique publique d'habitat, de bâtiments résidentiels ou tertiaires ou bâtiments scolaires, hospitaliers, etc..., d'aide à la décision et d'évaluation de l'empreinte environnementale (Jolliet et al, 2010).

L'analyse de cycle de vie ACV permet d'évaluer globalement les impacts environnementaux d'un produit, d'un service ou d'un procédé et vise à améliorer des situations sans risquer de déplacer le problème d'émissions ou d'impacts sur l'environnement.

L'analyse du cycle de vie d'un bâtiment rassemble les quatre 04 phases suivantes :

Fabrication, Transformation, Utilisation et Démolition (Belengini, 2006).

Cette approche d'analyse de cycle de vie ACV repose sur une méthode s'appuyant sur une démarche en quatre 4 étapes:

1. La définition des objectifs et du champ de l'étude.
2. L'analyse de l'inventaire.
3. L'évaluation de l'impact.
4. L'interprétation des résultats obtenus en fonction des objectifs initiaux.

Ensuite, les résultats de cette analyse du cycle de vie ACV sont exploités en dégagant des orientations vers des propositions d'amélioration de produits, planification stratégique, politique publique, marketing, etc.

2. Énoncé du problème :

Avec l'intérêt grandissant pour le développement durable et la lutte contre le changement climatique, il devient pressant de réduire les dépenses énergétiques dans le bâtiment afin de parvenir à respecter les exigences de réduction des impacts environnementaux et des émissions des gaz à effet de serre GES et cela dans le cadre du protocole de Kyoto.

Le développement durable et la maîtrise a été traité toujours sous l'angle du transport et de l'industrie, mais il est très important de les traiter par rapport au secteur du bâtiment.

Pratiquement il faut commencer (Sidler, 2007) par: Une maîtrise de l'énergie, puis rechercher des solutions énergétiques de substitution durables capables de répondre à nos besoins et à ceux des générations futures (Burtland, 1987).

Le sommet de Rio de Janeiro 1992 a permis d'accélérer le processus menant à la généralisation de la démarche environnementale dans tous les secteurs économiques et en particulier dans celui du bâtiment. D'où l'importance de la problématique énergétique des bâtiments et leurs émissions des gaz à effet de serre et les impacts sur l'environnement.

Les enjeux de la consommation excessive de l'énergie dans le bâtiment sont :

- a) Sociaux : de part l'augmentation du coût et des tarifs de l'énergie.
- b) Economiques : de part l'épuisement des énergies fossiles.
- c) Environnementaux : compte tenu de la contribution du secteur du bâtiment dans l'émission des GES et le réchauffement climatique.

En ce qui concerne la relation 'Energie / Impact' pour le secteur du bâtiment, les architectes ne se sont pas encore rendu compte que leurs décisions quotidiennes portent des implications substantielles pour l'environnement sur les consommations excessives d'énergie et des impacts engendrés.

Aussi, les maîtres d'œuvres et maîtres d'ouvrages revendiquent leurs bâtiments pour être durables, à moins qu'une évaluation de cycle de vie ACV objective ne soit effectuée pour le certifier.

Comparé à d'autres produits, il est difficile de déterminer les impacts d'un bâtiment sur l'environnement. Il est plus difficile d'écologiquement évaluer des bâtiments parce qu'ils sont d'une échelle plus importante et très complexe dans la modélisation des matériaux et systèmes qui le composent, et aussi le bâtiment est une production unique et non pas produit par des séries comme pour le cas des produits d'industrie.

L'approche « analyse de cycle de vie ACV » représente une méthode complète pour l'évaluation des impacts sur l'environnement de produits à toutes les étapes dans leur cycle de vie, ' **du berceau à la tombe** '. Elle permet de quantifier tous les besoins d'énergie et d'évaluer les impacts pour chacune des phases de vie du produit.

Cependant, l'approche analyse de cycle de vie ACV, est devenue le seul moyen à suivre par ces évaluations environnementales pour modeler le bâtiment.

Les analyses de cycle de vie ACV des bâtiments sont essentielles pour identifier et évaluer comment ses systèmes de conception clés (la fondation, les éléments de la structure, des murs, des planchers, des toits) influenceront la performance environnementale et l'efficacité thermique de ce bâtiment tout le long de son cycle de vie.

Plusieurs études et recherches traitant les impacts des bâtiments sur l'environnement ont été réalisés dans les dernières décennies, mais peu avec une approche type de cycle de vie de bâtiments de bureaux d'une façon complète et détaillée.

Elles ont été basées sur le cas d'une construction de seule, cependant les phases de cycle de vie complètes sont manquantes, et dépendent de seulement une ou deux catégories d'impacts sur l'environnement.

Cette étude remplit cet écart par à fond des traces et quantifie tous les impacts dans toutes les phases du cycle de vie du bâtiment.

On considère aussi douze catégories d'impacts dans chaque phase, et on calcule la contribution de pourcentage de construire des systèmes d'assemblée clés (la fondation, la structure, des murs, des planchers et le toit) aux impacts sur l'environnement du bâtiment.

Ceci fournit les informations nécessaires pour permettre l'inclusion de phases de cycle de vie dans la conception traitent et donnent une image étendue pour établir le profil d'un bâtiment avec ses impacts sur l'environnement.

3. Problématique :

Le parc immobilier en Algérie est très considérable, et dont la plupart des bâtiments (surtout les bâtiments tertiaires) sont inadaptés et gros consommateurs d'énergie pour la climatisation et le chauffage, de part la négligence des aspects climatiques et des spécificités constructives d'une région à une autre.

Aussi, le non respect des textes tels que : la réglementation thermique DTR, la loi de la maîtrise de l'énergie, de l'économie et de l'environnement, et la réduction des émissions de gaz à effet de serre GES et impacts sur l'environnement.

Aussi, pour réduire les besoins énergétiques d'un bâtiment, on peut jouer sur plusieurs paramètres, à savoir :

- a) Le bâtiment lui-même : l'implantation, et l'orientation du bâtiment, son architecture et son enveloppe : choix des matériaux, fenêtre, type de vitrage, brises soleils, forme de toiture, hauteur, etc....
- b) L'amélioration des performances et du rendement des équipements et systèmes HVAC.
- c) Le recours à l'utilisation des énergies renouvelables en l'intégrant au bâtiment.

Le but essentiel recherché est l'obtention d'un bâtiment avec des économies d'énergies, en été pour la climatisation, et de chauffage en hiver, le protéger contre les apports solaires pouvant générer des surchauffes, et avec un confort adapté des occupants en Température et Humidité, en particulier pour les bâtiments situés dans les zones arides à climat chaud et sec.

Les objectifs à long terme d'une analyse de cycle de vie ACV d'un bâtiment sont :

- a) La diminution des émissions des gaz à effet de serre.
- b) L'économie des énergies surtout les énergies renouvelables.

Notre étude est axée sur la thématique suivante: « l'analyse de cycle de vie ACV, comme stratégie de développement d'un bâtiment durable dans les milieux arides à climat chaud et sec » et se propose de définir le choix des systèmes et matériaux de construction appropriés, à l'aide d'outils de l'empreinte environnementale tout le long du cycle de vie du bâtiment.

L'objectif visé dans le cadre de cette recherche est l'obtention d'un niveau de confort thermique avec une consommation énergétique réduite en étudiant l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique, et avec une réduction des émissions et impacts sur l'environnement.

Dans ce sens notre travail convoitera les objectifs suivants :

1. L'utilisation de la méthode « Analyse du cycle de vie ACV » du bâtiment comme une approche analytique.
2. La détermination des principales sources d'impacts environnementaux des bâtiments situés dans les régions à climat chaud et sec.
3. Fournir une aide à la décision pour la conception d'un bâtiment durable dans un climat chaud et sec.
4. Démontrer l'importance d'une opération d'ACV pour un bâtiment tertiaire.
5. Minimiser les impacts sur l'environnement sans réduire le niveau de confort des usagers du bâtiment.

6. Mettre en évidence l'influence de certains choix techniques (matériaux, systèmes constructifs, choix architectural, isolation, système de ventilation, chauffage, climatisation etc.....) sur les consommations énergétiques dans un bâtiment situé dans les régions arides à climat chaud et sec.
7. Identifier les principales solutions techniques et de meilleure gestion des consommations énergétiques.
8. Définir et mettre en œuvre une stratégie Energie / Impact.

Cette problématique expose la question fondamentale: **Comment L'analyse de cycle de vie ACV d'un bâtiment de bureaux définit le choix des matériaux et des systèmes pour une durabilité de cette construction (réduire les consommations d'énergie et minimiser les impacts) ?**

Et plusieurs autres questions secondaires peuvent avoir lieu :

1. Tenant compte que l'approche Analyse du cycle de vie ACV, est un outil d'aide à la décision, comment peut-elle orienter une stratégie de bâtiment durable ? et par quels moyens ?
2. L'analyse du cycle de vie ACV peut-elle être décisive pour une stratégie de construction durable ?
3. Dans quel stade de la construction du bâtiment, que cette stratégie peut-elle y intervenir et être appliquée ?

4. Objectifs de Recherche :

L'objectif primaire de cette étude est de quantifier et comparer les impacts sur l'environnement causés par un bâtiment de bureaux durant tout le long de son cycle de vie. L'étude détermine aussi les phases de cycle de vie et les systèmes d'assemblage construisant qui contribuent le plus à ces impacts sur l'environnement.

L'étude exécute aussi une analyse de sensibilité pour évaluer les effets de changements et améliorations possibles et de propositions d'autres alternatives afin d'améliorer les éléments du bâtiment, enveloppe et murs extérieurs, planchers et toits pendant toute la durée de son utilisation estimée à 80 années (pour un bâtiment neuf).

On attend à ce que cette étude ait le résultat important, théorique, pratique et pédagogique.

L'étude vise, donc pour réaliser les objectifs suivants:

1. Appréhender la complexité du secteur de la construction pour un bâtiment durable.
 2. Utiliser la méthode d'analyse de cycle de vie ACV dès les premières phases de la conception, afin d'arriver à une construction durable et sans impacts environnementaux aigus.
 3. Comprendre l'utilisation et l'application de l'ACV pour identifier les principales sources d'impacts environnementaux, de les minimiser et les réduire (ces impacts) pour une construction plus durable tout le long de son cycle de vie.
 4. Connaître les caractéristiques des outils existants pour l'analyse de cycle de vie ACV des bâtiments pour définir les catégories d'impacts, les choix méthodologiques, bases de données ACV, et donc pouvoir généraliser l'utilisation de la méthode.
 5. Déterminez dans quelle mesure la phase de cycle de vie de chaque bâtiment contribue aux impacts totaux où quelques stratégies passives ou autres, pourraient être appliquées pour réduire ces impacts dans ces phases spécifiques.
 6. Améliorer et fournir des lignes directrices pour le choix des matériaux dans l'éco-conception de bâtiments neufs et dans les opérations de réhabilitation des bâtiments existants. Ceux-ci incluent des matériaux écologiques avec moins d'utilisation d'énergie et moins d'impacts sur l'environnement, ainsi qu'avec une attitude de recyclage, de récupération et de réutilisation.
 7. Calculez la contribution de chaque bâtiment indexent le composant (Fondations, structure, murs, planchers et toits) aux impacts sur l'environnement entiers en termes de son énergie et consommation matérielle et émissions au cycle de vie entier.
- Enfin, en réalisant les objectifs mentionnés ci-dessus, l'étude teste l'ampleur d'impacts sur l'environnement pour tout le cycle de vie du bâtiment et teste son influence par le choix de composants structurels, de systèmes et de matériaux de construction adéquats.

5. Questions de Recherche :

Par la réalisation de ses objectifs, l'étude adresse les questions de recherche suivantes:

1. Comment quantifier la durabilité d'un bâtiment en se basant sur sa performance réelle, en plus des références normatives et de critères des systèmes d'évaluation tels que (BREEAM, LEED)? ainsi que par rapport à la réglementation thermique et celle de la maîtrise de l'énergie en vigueur?
2. Quelle phase du cycle de vie du bâtiment qui présente les impacts sur l'environnement les plus importants?
3. Quelle est l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique?
4. Quels systèmes, ou matériaux composant (la fondation, la structure, des murs, les planchers et le toit) ont l'impact le plus élevé durant le cycle de vie et le pourcentage de chaque système aux impacts du bâtiment sur l'environnement ?
5. Y a-t-il une relation entre l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments et la maîtrise de leur consommation énergétique ?
6. Comment pourrait-on améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments ?
7. Quelles sont les interactions entre des impacts sur l'environnement et l'utilisation d'énergie pendant tout le cycle de vie du bâtiment?
8. Y a-t-il des différences d'impacts sur l'environnement en raison du choix de matériaux de construction et systèmes pendant son cycle de vie?

6. Hypothèse de Recherche :

L'analyse de cycle de vie ACV est une approche scientifique normalisée ISO 14040-14044, permettant l'évaluation multicritère d'un bâtiment. L'étude formule une hypothèse qu'un nouvel bâtiment tertiaire ou bâtiment de bureaux, avec des caractéristiques architecturales spécifiques aurait les impacts sur l'environnement, significatifs comparables de ses phases de cycle de vie et des systèmes d'assemblage principaux qui affectent sa performance environnementale.

Pour atteindre les performances environnementales et énergétiques d'un bâtiment, à partir de l'évaluation de ces besoins énergétiques, et des impacts environnementaux engendrés, liés au cycle de vie d'un produit ou d'un matériau, l'approche « analyse de cycle de vie ACV » peut orienter le bâtiment vers la durabilité.

En outre, l'étude formule une hypothèse que même un plus petit flux de matériels sensibles impacts pendant des phases de cycle de vie rendrait une influence sur les impacts globaux pendant le cycle de vie du bâtiment estimé à 80 ans.

Ceci peut être significatif dans la réduction de l'impact sur l'environnement et de l'amélioration de la performance environnementale du bâtiment.

Hypothétiquement, il semble que l'évaluation par une Approche d'Analyse de Cycle de Vie ACV, puisse orienter les stratégies de construction vers **un bâtiment durable**, grâce aux **choix judicieux**, dès les phases de conception des bâtiments, **des matériaux de construction et des systèmes structurels et énergétiques, et par une maîtrise et optimisation de la consommation d'énergie, ainsi que la réduction des impacts sur l'environnement.**

Aussi en tenant compte de toutes les réglementations en vigueur ; réglementation thermique des bâtiments, et de la maîtrise d'énergie, et par rapport aux labels, certifications et normes standardisées (ISO), et sous les conditions climatiques spécifiques des régions arides à climat chaud et sec.

L'optimisation énergétique des bâtiments permet une plus grande performance énergétique en contribuant à la réduction des impacts des bâtiments sur l'environnement, aussi à une réduction de la consommation d'énergie, une économie, tout en assurant le confort intérieur optimal.

Dans un premier temps, on se base sur la situation actuelle du bâtiment, ensuite on tentera de donner les meilleures alternatives, solutions d'améliorations et combinaisons possibles pour atteindre les cibles : économies d'énergie et confort thermique pour les bâtiments tertiaires et impacts réduits.

7. Méthodologie de recherche :

Ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre des efforts menés pour maîtriser les impacts environnementaux du bâtiment tout en assurant une qualité des ambiances intérieures satisfaisantes. Il s'articule autour de deux volets :

- a) Le premier, étant théorique et consistera en une analyse des nouveaux concepts liés au sujet de recherche ainsi que l'observation de la problématique énergétique, c'est-à-dire le développement du facteur énergie, son importance dans l'économie, les causes de l'augmentation de la consommation énergétique et son impact sur l'environnement.
- b) Le deuxième volet pratique, concerne l'investigation in situ et la simulation. Il se basera donc sur l'étude d'un bâtiment tertiaire, bâtiment de bureaux, le siège de l'agence foncière de Biskra réalisé en 2014, dans une ère régit par une réglementation thermique et énergétique, et qui consiste en une acquisition de données relatives à la consommation énergétique ainsi que les mesures à l'aide d'instrumentation des températures et des humidités relatives.

La mise en pratique de cette approche « analyse de cycle de vie ACV » est à caractère expérimental et s'opère sous la forme d'une simulation informatique. Cette dernière est menée à l'aide du logiciel de simulation du comportement thermique en régime dynamique STD ' **Comfie-Pleiades** ' (version 3.6.9.0, 2016) qui sont chaînés au logiciel de l'étude de l'empreinte environnementale tout au long du cycle de vie du bâtiment, **nova-Equer**, (version 1.6.9.0, 2016).

Aussi l'utilisation du logiciel de modélisation thermique dynamique STD Comfie-Pleiades, qui aura pour rôle de définir tous les besoins en énergie et de valider les différentes solutions thermiques (isolation de l'enveloppe, type de vitrage et son isolation, isolation de la toiture...) pour prédire le comportement thermique de l'enveloppe et son impact sur la réduction des consommations de l'énergie de rafraîchissement en période chaude et en particulier dans les zones arides à climat chaud et sec.

Le travail de cette recherche devra aboutir à des recommandations sur les principales solutions techniques d'ACV pour une meilleure efficacité énergétique du bâtiment et un confort optimal pour les usagers.

Elle se résume à :

1. Les références thématiques ainsi que des études analytiques dans le domaine d'analyse de cycle de vie ACV de bâtiment.
2. Les référence thématiques et collecte des données concerne les méthodes d'évaluation environnementale, ainsi l'approche analyse de cycle de vie selon les principes du développement durable.
3. Labels et certifications internationales relatifs à l'approche analyse de cycle de vie.
4. Règlementations thermiques et de maîtrise énergétique relatives aux bâtiments.
5. Une série simulation numérique avec logiciel Nova-Equer version 1.6.9.0,2016, l'un des outils d'ACV bâtiment qui traitent le comportement du bâtiment par rapport à ses impacts sur l'environnement.

8. Portée et Limites de la recherche :

Cette recherche se concentre sur le calcul d'impacts sur l'environnement aussi bien que la consommation d'énergie, incarné et opérationnel, dans des phases de cycle de vie de bâtiments de bureaux. Pour rétrécir la portée, la recherche concentrera sur la partie écologique de durabilité qui inclut l'économie de ressources et la protection d'écosystème qui peut être quantitativement analysée en ce qui concerne l'énergie et les débits massiques dans une approche multicritère avec la méthode d'évaluation de cycle de vie ACV.

Aussi, l'étude traite principalement la demande croissante de l'intégration des impacts sur l'environnement des bâtiments dès les premières phases du processus de conception dans une perspective de cycle de vie selon une méthode d'aide à la décision.

Comme tout travail, cette modeste recherche présente des limites qui sont:

1. Les questions environnementales soulevées dans cette étude sont limitées aux impacts sur l'environnement résultant tout le long du cycle de vie du bâtiment. Ceux-ci incluent l'utilisation de ressources, l'énergie, des émissions de déchets et de polluants dans l'eau, et dans le sol, ainsi que des poussières dans l'air.
2. La qualité de l'environnement intérieure, qui est une préoccupation pour la santé humaine et le confort des usagers durant l'occupation du bâtiment et peut être affectée par des émissions d'impacts, est au-delà de la portée de cette étude.

3. Une autre raison de limiter la portée d'impact du fait d'avoir plusieurs variables complexes trouveront seulement une utilisation limitée en pratique parmi l'intervention des acteurs de la construction.
4. L'étude emploie les bases de données existant à propos de l'impact sur l'environnement. Donc, l'objectif n'est pas de produire des nouvelles ou meilleures données en entrée techniques concernant l'ACV, mais plutôt conduire une analyse de cycle de vie ACV dans le but de calculer les impacts sur l'environnement et choisir des meilleures alternatives matérielles durant la phase de la construction et avant la phase d'utilisation du bâtiment.
5. La littérature dans cette étude décrit seulement la situation en Europe, aux États-Unis et, dans une certaine mesure, des données et des expériences au Canada, et en aucun cas dans les pays ayant les mêmes conditions climatiques que l'Algérie, les pays du Maghreb et d'Afrique, du moyen Orient ou du Golf.

9. Structure de la thèse :

Le travail de cette recherche, organisé, inclut un résumé, et suivi par sept 08 chapitres, une conclusion générale et des références bibliographiques.

Une partie théorique, constituée de cinq 05 chapitres, où il s'agit d'éclaircir les différents concepts relatifs à notre thématique ; au sujet des bâtiments, et de ses problématiques énergétiques, la politique de la maîtrise de l'énergie, ainsi que les émissions et impacts sur l'environnement.

Au début, un chapitre introductif avec une introduction générale, définit la signification de la problématique, les hypothèses et les objectifs de la recherche, et conclut en expliquant la portée et les limites de cette étude.

Le premier chapitre aborde l'état de l'art du concept de l'analyse de cycle de vie ACV de produit, matériaux et procédés, la description du développement durable, ainsi que la méthode de l'analyse de cycle de vie ACV appliquée au bâtiment faisant références des expériences antérieures dans plusieurs pays du monde.

Le deuxième chapitre présente le concept d'Évaluation de Cycle de vie ACV, un bref historique, sa méthodologie et comment elle est appliquée aux produits, procédés et aux systèmes.

Le troisième chapitre présente une analyse complète et une classification des études d'analyse de cycle de vie ACV liées aux bâtiments, précédentes qui ont été conduites.

Il traite précisément l'application de cette approche d'analyse de cycle de vie ACV pour les bâtiments, ainsi qu'au niveau des matériaux de construction et systèmes qui le composent le bâtiment.

Le quatrième chapitre présente les problématiques énergétiques liées aux bâtiments. Il traite aussi le concept de bâtiments durables, les lois et la réglementation relative à l'application de l'efficacité énergétique et les performances environnementales du secteur du bâtiment, en Algérie et dans les pays situés dans les des deux rives de la méditerranée.

Une deuxième partie pratique, vient pour élucider la problématique posée et pour vérifier l'hypothèse, composée des chapitres :

Le cinquième chapitre présente le contexte d'étude, la ville de Biskra, située au Sud Est de l'Algérie, représentative des régions arides à climat chaud et sec. Il fait une présentation et une validation des logiciels et de la méthodologie à suivre pour obtenir des résultats.

Le sixième chapitre présente le cas d'étude, le bâtiment siège de l'agence foncière de la wilaya de Biskra. Il décrit les caractéristiques du bâtiment à étudier, ses systèmes constructifs et énergétiques réalisés. Ainsi que tous les équipements et appareils utilisés dans ces bureaux.

Le septième chapitre présente l'étude énergétique en utilisant l'outil de simulation thermique dynamique STD, ensuite une étude environnementale par les logiciels d'analyse de cycle de vie ACV appliquée au bâtiment, depuis l'état initial du bâtiment jusqu'à les différentes améliorations envisagées.

Ensuite, au huitième chapitre, une présentation des résultats de l'étude, une discussion du profil environnemental de chaque cas, et une interprétation de tous les résultats d'émissions, et des solutions d'amélioration et des alternatives d'améliorations à envisager.

En guise de fin de cette recherche, une conclusion générale récapitule les concepts, la méthodologie et l'approche d'analyse de cycle de vie ACV appliquée au bâtiment, discute la validité et la fiabilité de données et fins avec la signification d'étude et les futures pistes de recherche.

Conclusion.

En conclusion, l'analyse du cycle de vie ACV présente de nombreux intérêts. Toutefois les résultats à eux seuls peuvent toujours être contestables selon les choix méthodologiques réalisés. Par conséquent les valeurs obtenues peuvent être utilisées par les acteurs du secteur de l'industrie et de la construction.

Le but recherché, suivant la logique de pensée cycle de vie, est de réduire la pression d'un produit tel le bâtiment (dans notre cas) sur les ressources et l'environnement tout au long de son cycle de vie, à partir de l'extraction des matières premières jusqu'à la démolition en fin de vie, cycle souvent qualifié de "**du berceau à la tombe**".

L'analyse du cycle de vie ACV est à la fois une procédure, et une suite d'étapes standardisées. Aussi, cette méthodologie est un modèle de transformations permettant de convertir des flux en impacts environnementaux potentiels. Cette approche, l'analyse du cycle de vie ACV s'occupe aussi d'étudier la fonction du produit.

En effet, en n'étudiant que le produit en lui-même, il ne serait pas possible de comparer des produits remplissant la même fonction mais de manière différente (par exemple un moyen de transport et un système de vidéoconférence, ou une salle de sport, dont la fonction commune est de réunir des personnes).

En outre, les concepts fondamentaux de la méthode («cycle de vie» et «dématérialisation du système évalué») ont permis de jeter des ponts méthodologiques entre sciences exactes et sciences humaines et sociales.

Les démarches d'évaluation intégrée combinant les aspects économiques, sociologiques et environnementaux s'appuient de plus en plus sur les méthodologies et les modes de pensée liés à l'Analyse du Cycle de Vie.

Les méthodes d'analyse de cycle de vie ACV peuvent intégralement être appliquées au bâtiment, à ses parties (équipements, matériaux, et systèmes), et aussi à des éléments plus vastes, un ensemble de bâtiments, un quartier, ou une ville tout entière (quartiers, villes).

Il existe différents outils d'évaluations et d'analyse de cycle de vie ACV. Ces logiciels permettent de calculer les besoins d'énergie, et d'évaluer les émissions et les impacts environnementaux potentiels à partir des données d'inventaire. Les logiciels aident à

construire le modèle de cycle de vie du produit et à y associer les processus élémentaires correspondants.

Ils intègrent plusieurs méthodes d'évaluation et différentes bases de données. La base de données doit être sélectionnée lors de la construction du modèle, la méthode lors du calcul des impacts.

Enfin cette modeste recherche n'est qu'un petit ajout pour compléter les recherches antérieures dans le domaine de l'analyse de cycle de vie ACV des bâtiments, elle sera basée sur une approche systémique dont on va construire une méthode heuristique suivant ce qui est reconnu à l'échelle internationale et déjà précité en faisant recours aux théories existantes en architecture.

Les résultats empiriques obtenus par les logiciels de simulation ne représentent qu'une aide à la décision, l'achèvement du travail se fait par l'intervention des acteurs du bâtiment dans la prise de décision par un apport de solutions et d'autres alternatives d'améliorations du bâtiment d'ordre énergétique et environnemental.

Chapitre I:

Etat de l'art

Introduction :

Le concept de durabilité a été défini quelques années auparavant. En 1991 et 1993, Ignacy Sachs définit *l'éco-développement* comme un « développement endogène et dépendant de ses propres forces, soumis à la logique des besoins de la population entière, conscient de sa dimension écologique et recherchant une harmonie entre l'homme et la nature ».

En 1987, la Commission mondiale sur l'environnement et le développement dans le rapport Brundtland définissait le développement durable de la façon suivante :

« Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs(Burtland,1987).

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. »

Parmi les besoins essentiels, on retiendra les besoins indispensables à l'être humain en tant qu'élément de base vivant dans un environnement défini, que l'on appelle les besoins primaires ou physiologiques. Et parmi ceux-ci, on notera le besoin de se reproduire qui établit pour l'homme et la femme une filiation, et assure de la sorte le renouvellement des générations.

Face à la crise écologique et sociale qui se manifeste désormais de manière mondialisée (changement climatique, raréfaction des ressources naturelles, pénuries d'eau douce, rapprochement du pic pétrolier, écarts entre pays développés et pays en développement, sécurité alimentaire, déforestation et perte drastique de biodiversité, croissance de la population mondiale, catastrophes naturelles et industrielles), le développement durable est une réponse de tous les acteurs (États, pouvoirs publics, acteurs économiques, société civile), culturels et sociaux du développement.

Il s'agit aussi, en s'appuyant sur de nouvelles valeurs universelles (responsabilité, participation écologique et partage, principe de précaution, débat...) d'affirmer une approche double :

1. **Dans le temps** : nous avons le droit d'utiliser les ressources de la terre, mais le devoir d'en assurer la pérennité pour les générations futures.
2. **Dans l'espace** : chaque humain a le même droit aux ressources naturelles de la terre (principe de destination universelle des biens).

Tous les secteurs d'activité sont concernés par le développement durable : l'agriculture, l'industrie, l'habitation, l'organisation familiale, mais aussi les services (finance, tourisme...) qui, contrairement à une opinion répandue, ne sont pas qu'immatériels.

Plus simplement, le développement durable est un mode de développement qui a pour but de produire des richesses tout en veillant à réduire les inégalités mais sans pour autant dégrader l'environnement.

1. Le développement durable :

Le développement durable est la notion qui définit la transition et le changement dont a besoin notre planète et ses habitants pour vivre dans un monde plus équitable, en bonne santé et en respectant l'environnement.

Ainsi le développement durable est une nouvelle façon d'aborder l'économie. Ayant comme objectif de porter une vision globale sur la terre et son évolution et envisager l'économie comme un concept qui intègre les aspects environnementaux et sociaux. Le développement durable se veut un processus qui concilie l'écologique, l'économique et le social et établit un cercle vertueux entre ces trois pôles : c'est un développement, économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement soutenable. Il respecte les ressources naturelles et des écosystèmes, et garantit l'efficacité économique, et sans s'éloigner des finalités sociales du développement que sont la lutte contre la pauvreté, contre les inégalités et l'exclusion et la recherche de l'équité.

C'est pour apporter des réponses concrètes à ces questions qu'est né le concept de développement durable : « *Un développement durable doit répondre à nos besoins présents, sans que cela empêche les générations du futur de répondre aux leurs* », et c'est Mme Gro Harlem Brundtland, premier ministre norvégien, était à l'origine de la définition du concept de développement durable en 1987.

Ainsi le développement durable est une expression dont la définition la plus explicite demeure notre capacité à satisfaire nos besoins présents sans compromettre ceux des générations futures.

1.1. Historique :

Le concept de développement durable DD a vu le jour dès le début des années 1970. Quelques personnalités, politiques et scientifiques, inquiètes de dysfonctionnements observés (changements climatiques, diminution des ressources en énergies fossiles, inégalités sociales, etc.) avaient alors attiré l'attention sur la nécessité d'intégrer équité sociale et prudence écologique dans les modèles de développement économique.

Il faudra attendre la fin des années 1980 pour que la présidente de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement ne donne la véritable définition.

Ainsi l'expression « Développement durable » est apparue de manière officielle en 1987, dans le rapport « Our Common future » de la Commission des Nations Unies sur l'environnement et le développement. Depuis, cette préoccupation a gagné le monde entier, avec des incidences croissantes sur tous les secteurs d'activité.

Des dates significatives de cette idée sont les suivantes :

1972 à Stockholm : Pour la première fois les Nations Unies se réunissent pour évoquer l'impact environnemental de la forte industrialisation des pays développés sur l'équilibre planétaire. Cette conférence donne naissance à l'UNEP (United Nations Environment Program).

1987 : le terme « Développement Durable » apparaît de manière officielle, dans le rapport « Our Common future » du premier ministre norvégien, madame Gro Harlem Brundtland. La fracture économique et sociale entre les pays développés et le Tiers Monde est montrée du doigt et s'ajoute aux préoccupations exclusivement environnementales des Nations Unies.

1992 "Sommet de la Terre" à Rio de Janeiro (Brésil): Pour la première fois, se réunissent des instances nationales (184 nations et plus de 100 chefs d'état) sur ce thème du développement durable. Chaque pays rédige un **Agenda 21** (ou comment améliorer l'équilibre de la planète dans les 10 ans qui viennent, pour que le 21ème siècle soit le siècle du développement durable).

Pour la première fois, le débat politique quitte les sphères gouvernementales pour alerter et mobiliser l'opinion publique : chacun a désormais son rôle à jouer pour un meilleur développement de l'humanité. «*Think Global, Act Local*» (Penser au niveau Global, Agir au niveau Local) est devenu le nouveau couplet depuis les années 90.

1994 : Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification ; Publication de la charte d'Aalborg sur les villes durables, au niveau européen.

1998 : au siège des Nations Unies à New York, la Commission a choisi pour thème sectoriel, les approches stratégiques de la gestion des eaux douces, et comme thème intersectoriel, le transfert de technologie, renforcement des capacités, éducation, sciences et activités de sensibilisation.

1997 : (1^{er} au 12 décembre) : 3^{ème} conférence des Nations unies sur les changements climatiques, à Kyoto (Japan), au cours duquel sera établi le protocole de même nom, Protocole de Kyoto.

2000 : Pacte mondial des Nations unies adopté par le Forum économique mondial affirme "responsabilité sociale des entreprises" relative à la corruption autant que condition de travail et droit de l'homme.

2001 : la Déclaration universelle de l'Unesco sur la diversité culturelle affirme pour la première fois que la diversité culturelle est « gage d'un développement humain durable ».

2002 (28 août au 4 septembre) Sommet de Johannesburg (Afrique du Sud): Plus de cent chefs d'État, plusieurs dizaines de milliers de représentants gouvernementaux et d'ONG ratifient un traité prenant position sur la conservation des ressources naturelles et de la biodiversité. Quelques grandes entreprises européennes et internationales sont présentes.

2004 : Le 8 mai Cités et Gouvernements locaux unis approuvent l'Agenda 21 de la culture, qui relie les principes du développement durable l'Agenda 21 avec les politiques culturelles.

Adoption, en France, d'une charte de l'environnement, insistant sur le principe de précaution.

2005 : Entrée en vigueur du protocole de Kyoto sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans l'Union Européenne.

La conférence générale de l'Unesco adopte la Convention sur la protection et la promotion de la diversité des expressions culturelles où la diversité culturelle est réaffirmée comme « un ressort fondamental du développement durable des communautés, des peuples et des nations ».

2009 : Conférence de Copenhague(Danemark) sur le climat.

2010 : Conférence de Cancún(Mexique) sur les changements climatiques.

2011 : le 5 ou 12 décembre, le Canada se retire du protocole de Kyoto.

2012 (20 au 22 juin) : nouveau Sommet de la Terre à Rio (Brésil) aussi appelé Rio+20 ; le terme officiel est Conférence des Nations unies sur le développement durable.

2015 (18 juin) : publication de l'encyclique Laudato si' du pape François sur la sauvegarde de la maison commune.

La Conférence de Paris (France) de 2015 sur le climat a eu lieu du 30 novembre 2015 au 11 décembre 2015 au Bourget en France. Elle est à la fois la 21e conférence des parties (d'où le nom COP21) à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et la 11e conférence des parties siégeant en tant que réunion des parties au protocole de Kyoto (CMP-11)1.

Chaque année, les participants de cette conférence se réunissent pour décider des mesures à mettre en place, dans le but de limiter le réchauffement climatique.

1.2. Les 3 piliers du développement durable:

1.2.1. Efficacité économique: il s'agit d'assurer une gestion saine et durable, sans préjudice pour l'environnement et le social.

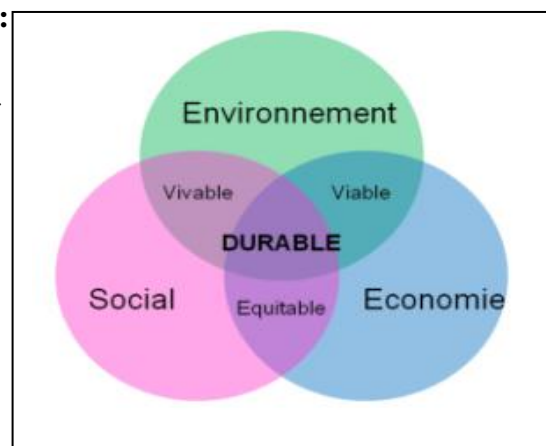


Figure 1.1 : les 3 piliers du développement durable
Source : www.developpement-durable.gouv.fr

1.2.2. Equité sociale : il s'agit de satisfaire les besoins essentiels de l'humanité (en logement, alimentation, santé et éducation), tout en réduisant les inégalités entre les individus, dans le respect de leurs cultures.

- Assurer la qualité d'air intérieur et celle de l'eau.
- Assurer le confort thermique, visuel, olfactif et acoustique.
- Optimiser l'accessibilité et l'adaptabilité des logements.
- Augmenter la sécurité et prévenir les risques.
- Réduire les nuisances sur le voisinage.
- Assurer la traçabilité des matériaux.
- Impliquer les utilisateurs dans les processus de décision...

1.2.3. Qualité environnementale : il s'agit de préserver les ressources naturelles à long terme, en maintenant les grands équilibres écologiques et en limitant des impacts environnementaux.

- Limiter les impacts sur l'ensemble du cycle de vie.
- Economiser les ressources dont l'énergie.
- Réduire les émissions de gaz à effet de serre.
- Générer moins de déchets.
- Limiter les pollutions de l'eau, de l'air et des sols.
- Maintenir la biodiversité.
- Limiter les nuisances....

1.3. Les quatre principes fondamentaux de développement durable :

1.3.1. La solidarité entre les pays, entre les peuples, entre les générations, et entre les membres d'une société : partager les ressources de la Terre avec nos voisins en laissant à nos enfants. Par exemple : économiser les matières premières pour que le plus grand nombre en profite.

1.3.2. La précaution dans les décisions afin de ne pas causer de catastrophes quand on sait qu'il existe des risques pour la santé ou l'environnement. Par exemple : limiter les émissions de CO2 pour freiner le changement climatique.

1.3.3. La participation de chacun, quel que soit sa profession ou son statut social, afin d'assurer la réussite de projets durables. Par exemple : mettre en place des conseils d'enfants et de jeunes.

1.3.4. La responsabilité de chacun, citoyen, industriel ou agriculteur. Pour que celui qui abîme, dégrade et pollue, répare. Par exemple : faire payer une taxe aux industries qui polluent beaucoup (selon la formule : Pollueurs = Payeurs).

1.4. Les acteurs du développement durable :

En ce qui concerne les acteurs, c'est tout le monde qui est concerné pour agir et intervenir dans le développement durable : chaque individu de la société, jusqu'à l'Etat et les organisations internationales.

Tout le monde peut réfléchir et agir pour changer les choses et améliorer les situations :

- a. Les enfants et les parents.
- b. Les écoles, collèges et lycées.
- c. Les villes et communautés.
- d. Les régions.
- e. L'état.
- f. Les associations à caractère écologique.
- g. Les clubs sportifs et de loisirs.
- h. Les entreprises, industriels et les agriculteurs.

2. L'évaluation des bâtiments :

Une rationalisation des activités anthropiques doit nécessairement s'opérer si on désire laisser à nos enfants un monde riche et sain.

Cette réalité n'échappe à aucun secteur, et le bâtiment existant est l'un des premiers pollueurs parmi nos activités dont il a des impacts environnementaux majeurs sur

l'environnement et constitue un secteur d'intervention prioritaire de diminution des émissions de gaz à effet de serre et autres polluants, mais aussi un secteur où les économies potentielles sont conséquentes, alors il nous faut vraiment une méthode d'évaluation d'un bâtiment durant sa vie.

2.1. L'évaluation :

Un processus d'évaluation et de suivi des opérations de bâtiments et des actions doit être mis en place le plus en amont possible. Cette évaluation et ce suivi portent sur les actions et les opérations mais aussi sur le projet de bâtiment dans son ensemble.

L'évaluation est un des cinq critères de développement durable, chaque action et chaque programme d'actions doit être évalué en amont afin de mesurer en quoi elle va contribuer à chacun des objectifs retenus pour l'opération d'une part, pour le projet d'autre part et enfin pour les objectifs de la collectivité locale, régionale et globale (mondiale).

Le processus d'évaluation comprend des objectifs, des priorités, des indicateurs (avec leur méthode de mesure, leur périodicité, leurs valeurs objectifs, les responsables de leur mesure, etc.).

L'évaluation et l'analyse des flux énergétiques d'un bâtiment et de ses impacts sur l'environnement nécessitent l'usage de méthodes rigoureuses afin de donner un sens et de fixer des limites aux résultats obtenus. Des outils de calcul spécifiques, adaptés aux niveaux de précision et d'analyse souhaités, mettent en œuvre ces méthodes et facilitent leur application. Cette partie présente les principales méthodes et les outils destinés à l'analyse énergétique et environnementale du bâtiment.

2.2. Types d'évaluation

Le processus d'évaluation se présente sous différentes formes selon la situation et le sujet à évaluer. On peut citer quelques types d'évaluation :

2.2.1. Evaluation d'impacts associée au processus

Elle tient en compte les entrants et les sortants au sein des limites de système.

2.2.2. Evaluation cumulative d'impacts

Elle tient en compte toutes les données remontant au processus incluant les émissions et les déchets directs.

2.2.3. Evaluation de cycle de vie

Elle tient en compte toutes les données cumulatives ainsi le probable future impact incluant toutes les fonctions de transfert et les suppositions de scénario ainsi les limites de système dans le temps et dans l'espace (EASE, 2005).

2.3. Méthodes d'évaluation

Les méthodes d'évaluation d'un bâtiment les plus utilisées estiment les performances d'un bâtiment sur des aspects énergétiques. D'autres méthodes multicritères évaluent plus largement les impacts environnementaux. Parmi les outils développés à ce propos il existe un nombre de Méthodes d'évaluation citées ci-après :

2.3.1. Le benchmarking : Le benchmarking signifie analyse comparative. C'est donc une démarche d'évaluation fondée sur des comparaisons d'informations. Ces dernières peuvent être « internes », pour un ensemble de bâtiments d'un patrimoine immobilier par exemple, ou « externes », à partir de données d'autres bâtiments du même type ou de réglementation à titre d'exemple.

La finalité est d'optimiser la gestion à la fois d'un bâtiment, mais l'outil peut s'appliquer à l'échelle du patrimoine (ECOWEB, 2002).

La méthode s'appuie sur l'analyse d'écarts, ce qui permet de :

- a) Situer les performances du bâtiment,
- b) Analyser ces performances à des fins d'optimisation.
- c) Décider des actions à mener à court, moyen et long terme, pour améliorer l'usage du bâtiment avec un niveau de confort souhaité.

2.3.2. Les audits : Dont on distingue :

- a) **Audit énergétique :** méthode focalisant sur le domaine des énergies. Il s'agit d'une évaluation des performances énergétiques d'un site par un diagnostic à partir des consommations (facturées et mesurées), d'analyses et de préconisations.

L'objectif est de diminuer les charges énergétiques sans nuire au confort des usagers. Il peut donc s'agir uniquement d'une optimisation tarifaire de contrat.

b) **Audit environnemental** : le principe est le même que l'audit énergétique, mais les performances sont estimées sur une méthode définissant des critères environnementaux et en attribuant des points sur chaque critère en fonction du respect d'un certain nombre de conditions : solutions techniques, seuils de performance, choix de matériaux, etc.

2.3.3. Post Occupancy Evaluation :

La Post Occupancy Evaluation ou POE, c'est une méthode basée sur la synthèse de l'expérience et de la satisfaction des occupants et gestionnaires techniques d'un bâtiment. Elle fait également appel à des mesures physiques dans certains cas.

Elle est conduite par une personne dans la première année de vie de l'activité hébergée par le bâtiment et s'appuie sur une enquête qui se veut complète sur la qualité du bâtiment, à travers des éléments techniques, des éléments de confort, d'adaptation du bâtiment à l'activité qui s'y déroule, ce qui suppose une série d'indicateurs économiques et sociétaux.

2.3.4. Empreinte écologique :

L'empreinte écologique est basée sur une méthode d'évaluation de la pression qu'exerce l'homme sur la nature, et s'exprime en terme d'équivalent surface terrestre. Cet outil évalue la surface productive nécessaire à une population pour répondre à sa consommation de ressources et à ses besoins d'absorption de déchets.

Le principe se résume à déterminer la taille de l'empreinte écologique de l'activité d'une société dans des conditions de vie données.

2.3.5. Liste de contrôle :

Ces méthodes s'appuient sur un questionnaire à choix multiple ou sur un système de notation associé à des méthodes de pondération permettant d'associer à différents critères du bâtiment des notes reflétant la qualité environnementale.

Ces méthodes sont largement utilisées pour la labellisation des bâtiments, du fait de leur facilité de mise en œuvre. Par contre, elles demandent une connaissance pointue du bâtiment et font appel à des pondérations subjectives limitant leur portée.

2.3.6. Méthode d'Analyse de Cycle de Vie ACV:

Suite aux préoccupations environnementales de plus en plus manifestées ces dernières années, les scientifiques aussi bien que les organismes gouvernementaux cherchent de nouveaux moyens pour évaluer les impacts des différents produits, matériaux, procédés, de systèmes, d'habitudes de vie ou encore de services. Sa pratique et sa diffusion actuelle contribuent à en faire de l'analyse de cycle de vie ACV un instrument de plus en plus performant et reconnu. Elle est utilisée au sein de démarche de développement durable, notamment celles orientées sur les produits.

L'analyse de cycle de vie ACV est un raisonnement d'évaluation des impacts environnementaux d'un objet ou d'un système évalué dit « **du berceau à la tombe** ».

Son utilisation a pour but de quantifier les flux de matière dans les écosystèmes.

Par extension, toute activité peut faire l'objet d'une analyse de cycle de vie.

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour les calculs de ces flux, notamment pour connaître les répercussions complètes de l'utilisation d'un produit, d'une activité ou d'une technologie sur l'environnement.

L'analyse de cycle de vie ACV est utilisée pour évaluer l'impact environnemental de la fabrication d'un équipement ou d'un produit, de son usage et de sa mise en aire de stockage (dépôt). L'analyse du cycle de vie ACV de produit ou procédé ne comprend aucune donnée sociale ou économique.

Mais, comme l'analyse en coût global, l'ACV fournit les indicateurs environnementaux incontournables, et se limite à un indicateur environnemental d'identification des pollutions.

Cette méthode dépend donc de la définition du périmètre d'étude, de l'objet, et de la précision de l'état des connaissances à la fois sur :

- a) Les facteurs d'émission sur l'environnement.
- b) Les impacts environnementaux engendrés.

C'est actuellement une méthode largement utilisée pour des outils de management et d'aide à la décision, et a donné lieu aux méthodes normatives ISO 14040 et 14044.

3. Les expériences antérieures de l'Analyse de cycle de Vie de bâtiments :

La plus part des recherches qui ont été développées pendant les années 90 , ont été concentrées sur la méthodologie d'Analyse de Cycle de Vie ACV, elle-même et particulièrement sur des techniques pour la collecte de données afin de faire sortir les inventaires des entrants (inputs) et sortant (outputs) pertinents à l'analyse de cycle de vie ACV des produits, de matériaux et des services (accentuant sur la deuxième étape qui est l'analyse d'inventaires).

Le reste des études qui ont été faites ont accentué sur l'analyse des impacts environnementaux et leurs investigations qui ciblent à mettre des modèles qui lient les entrants et le sortant avec leurs effets (accentuant sur la troisième étape qui est l'évaluation des impacts), (Belengini, 2006).

Le chercheur a développé un nouveau modèle d'analyse en abandonnant l'ancienne méthode (ancien modèle) dans laquelle seulement les phases pertinentes à l'exploitation des ressources naturelles et des matières premières (considérées comme limitées et non renouvelables), leur transformation et consommation sont considérées sans se soucier des effets conséquents sur l'environnement.

Ce nouveau modèle est caractérisé par un changement de la structure conceptuelle du système de produits de la forme linéaire à celle circulaire où l'écosystème représente en même temps le point de départ et le point d'arrivée de toute activité humaine.

Pour soutenir un tel changement on doit cesser de chercher de solutions durables limitées pour les simples processus en essayant d'intégrer les côtés socio-économique et environnemental.

Dans cette recherche et par le biais des analyses environnementale et socio-économique faites dans l'analyse de cycle de vie d'un bâtiment, on peut dire que les opérations de recyclage produisent des matières de basse qualité tant que la production d'une matière de haute qualité (premier choix) nécessite donc l'utilisation des méthodes d'extraction traditionnelles.

Enfin on peut dire que la méthodologie de l'ACV et malgré les améliorations recommandées puisse être appliquée dans le domaine de la construction dont les résultats obtenus considérés intéressants pour les normes de la durabilité.

Le chercheur (Yann Leroy, 2009) a développé une méthode d'aide à la décision en visant l'intégration de la performance environnementale en conception par des outils d'éco-conception une par le biais d'une méthodologie de fiabilisation des décisions environnementales basées sur des ACV, à partir de l'analyse et la gestion des incertitudes sur les données d'inventaire. Cette dernière combine une approche qualitative s'appuyant sur l'utilisation d'une matrice de pedigree et une approche quantitative propageant l'incertitude sur les données d'entrée au moyen de simulations de Monte Carlo.

Un autre chercheur (Maxime Trocme, 2010) a intégré sa recherche dans une démarche de modélisation orientée vers l'aide à la conception des bâtiments. Les choix effectués visent à rechercher un compromis pertinent entre le niveau de finesse de modélisation et la convivialité d'utilisation, rendant le modèle accessible et adapté à un grand nombre d'acteurs de l'industrie du bâtiment.

L'outil d'aide à la conception développé permet en effet de prendre en compte de nouveaux phénomènes dans l'étude énergétique du bâtiment avec un effort de saisie supplémentaire minime: degré de perméabilité à l'air et éventuellement des coefficients de pression spécifiquement calculés pour le bâtiment par des outils annexes.

Il permet en effet de traiter des points cruciaux pour les besoins de chauffage du bâtiment pour le confort d'hivers, comme pour le confort d'été et les besoins de climatisation.

Pour le chercheur Céline Mandellina (Mandellina , 2010) a essayé d'évaluer les bâtiments en exploitation en utilisant une méthode qui réalise le diagnostic de la signature environnementale du bâtiment évalué comme elle propose aussi des préconisations amenant une optimisation de cette efficacité . Et ces préconisations s'adressent aux gestionnaires, aux usagers, et à la maîtrise d'ouvrage et à la maîtrise d'œuvre.

D'autres projets ont été menés sous les mêmes lignes de conduite d'une approche d'analyse de cycle de vie ACV pour le secteur du bâtiment.

Différents projets de recherche européens ont été conduits depuis une vingtaine d'années. Ils ont permis de faire progresser et disséminer les connaissances en analyse de cycle de vie ACV de bâtiment :

- a. Le projet REGENER est un projet de recherche qui s'est déroulé en 1995 et 1996. Il réunissait huit partenaires européens pour proposer une méthodologie commune d'analyse de cycle de vie des bâtiments, une boîte à outils d'aide à la conception et mener les premières investigations sur les méthodes d'évaluation (comparaison de variantes de solutions techniques et de bâtiments).
- b. Le projet Annexe 31 de l'Agence Internationale de l'Energie (2001).
- c. Le projet PRESCO s'est déroulé entre les années 2004 et 2005 dont l'objectif est de réaliser une comparaison d'outils d'analyse de cycle de vie ACV bâtiment à l'échelle Européenne.
- d. Le projet ENSLIC-Building est coordonné par le Centre de Recherche sur la Consommation de Ressources Energétiques (CIRCE).
- e. Le projet LoRe-LCA dont l'abréviation signifie « Low Resource consumption buildings and constructions by use of LCA in design and decision making ».
- f. À l'échelle française, le projet COIMBA a pour objectif de développer un outil opérationnel et consensuel d'évaluation à partir des deux outils français d'ACV bâtiment EQUER et ELODIE (ANR, 2007).

3.1 Influence de l'enveloppe sur la demande énergétique des bâtiments:

L'enveloppe est composée de différents matériaux et composants. Ces derniers, et leurs techniques constructives envisagées font que l'enveloppe a une influence sur le comportement thermique de cette dernière et des besoins énergétiques du bâtiment.

Plusieurs chercheurs ont étudiés les matériaux isolants, leur épaisseur et leur emplacement (technique d'isolation : répartie, par l'intérieur ou par l'extérieur), et ont affirmés qu'il n'y a pas lieu de chercher une isolation maximale mais plutôt une isolation optimale qui prend en considération les besoins d'énergie pour une zone climatique bien définie.

Les matériaux isolants peuvent être placés à différents endroits de l'enveloppe sans incidence sur leurs propriétés. L'emplacement aura une influence sur l'inertie de l'enveloppe et le risque de condensation (Liébard, 2005).

1. **André de Herde et Liébard A.**, du laboratoire Architecture et climat à Louvain la Neuve en Belgique, en 2005 ont démontré que pour avoir la même résistance thermique, on doit utiliser 55 fois l'épaisseur de l'isolant.
2. **Al-Hamoud MS**, a établi en 2005 une comparaison des résistances thermiques de plusieurs matériaux isolants d'une même épaisseur, il étudie comme élément de l'enveloppe « le bloc de béton » pour démontrer son faible pouvoir isolant.
3. **Gallauziaux T.** en 2008, dans une recherche par rapport à la technique constructive, affirme que le procédé performant est l'isolation par l'extérieur du fait qu'elle supprime tous les ponts thermiques.
4. **Mia Meftah et al** en 2008, l'intervention au niveau d'une ancienne maison située à Oran pour les systèmes d'isolation, avec l'utilisation d'un double vitrage pour les fenêtres, ont constaté que les économies annuelles d'énergie de chauffage peuvent atteindre 11%, et aussi l'isolation de l'enveloppe entraîne une diminution des besoins de chauffage de 23%. Ils ont conclu que par une bonne isolation constituant une barrière résistant aux échanges thermiques, l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur est diminué.
5. **Daouas et al**, en 2010 ont montré que les économies d'énergie peuvent atteindre jusqu'à 58% en utilisant une épaisseur optimale de l'isolant (le polystyrène expansé à une épaisseur de 5.7 cm).
6. **Aktacir et al**, en 2010 ont prouvé que des réductions d'énergie de l'ordre de 33% pour les besoins de refroidissement, ont été réalisées suite à l'isolation thermique d'un bâtiment situé à Adana en Turquie.

7. **Bolatturk A.**, a réalisé en 2006 une optimisation basée sur l'analyse des coûts du cycle de vie, et a considéré cinq combustibles : charbon, gaz naturel, mazout, gaz de pétrole liquéfié (GPL) et l'électricité, avec comme isolant le polystyrène. Ainsi les résultats montrent avec des épaisseurs de l'isolant allant de 2 à 10 cm, des économies d'énergies de chauffage pour la période hivernale allant de 22% à 79%.

3.2 Economie de l'énergie par l'isolation des bâtiments dans les pays chauds:

Des recherches ont été menées pour démontrer l'influence du système d'isolation ; l'isolant et son emplacement dans la composition du mur extérieur, sur la consommation énergétique pour le chauffage et la climatisation.

Après une série de simulation par le logiciel TRNSYS, les chercheurs Medjelekh et al, ont montré que l'introduction d'un isolant permet un abaissement important de la température intérieure qu'avec une lame d'air, et l'emplacement idéal de l'isolant dans la paroi est du côté externe de la masse thermique.

Autres chercheurs ont montré le rôle de la position de la couche isolante dans la paroi sur le comportement dynamique des bâtiments.

Les études de Bojic et d'Asan, après analyse de l'influence de la distribution isolant/maçonnerie d'un mur à trois couches sur la consommation d'énergie pour le chauffage ou la climatisation, ont conclu que lorsque :

- a. le bâtiment est climatisé de manière intermittente ; c'est l'isolation par l'extérieur et l'isolation en sandwich qui sont préférées.
- b. Le bâtiment est chauffé de manière intermittente ; c'est l'isolation par l'intérieur et l'isolation par l'extérieur sont préférables à celle en sandwich.

1. **Mohsen et al** ont effectué une recherche sur l'économie de l'énergie par l'isolation des bâtiments en Jordanie en 2001, avec différents matériaux isolants : le polystyrène, la laine de roche, et la lame d'air, et après comparaison, ils ont constaté que l'économie d'énergie en période hivernale peut atteindre 77% en utilisant le polystyrène comme isolant dans les murs et le toit.

2. **Al-Khawaja et al**, en 2004 dans une étude d'optimisation du coût total de l'énergie consommée et de l'isolant dans les pays chauds. Après comparaison de trois matériaux isolants (Wallmate, fibre de verre, mousse de polyéthylène), ils ont trouvé que l'isolation Wallmate donne le meilleur rendement pour les maisons au Qatar avec une épaisseur optimale de moins de 10cm.
3. **Bekkouhe et al**, ont étudié un bâtiment en pierres à Ghardaïa en 2009, montré que l'isolant joue le rôle d'une barrière thermique, en freinant les pertes durant la période froide.
4. **Eben Salah** en 1989 recommande qu'en climat chaud et aride, l'isolation thermique placée du côté externe de la masse du bâtiment et d'une épaisseur variant entre 5-10 cm donne les meilleurs résultats en besoins de chauffage et surtout de climatisation.
5. **Nezzar et Gourdache** en 1999 exposent que la température intérieure reste peu sensible à partir d'une épaisseur d'isolation de 5 cm après une simulation d'une région aride, celle de Hassi Messaoud à climat chaud et sec.
6. **Guechchati et al**, en 2010, utilisant le modèle multizone du logiciel de simulation thermique TRNSYS 16, pour étudier l'effet de l'isolation thermique sur les consommations énergétiques du centre Psychopédagogique SAFAA au Maroc, et ont conclu que l'économie en énergie maximale est obtenue par l'isolation complète DE l'enveloppe du bâtiment (isolation externe et de la toiture).
7. **Fezzioui et al**, en 2008 une étude de l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur sa demande énergétique en période de surchauffe dans les villes du sud algérien, Béchar et Tamanrasset, montrent que l'isolation des toits a donné des meilleurs résultats avec des réductions de 20.30 à 23 % (selon le type d'isolant utilisé), et pour les murs extérieurs de 2.5 à 3 %.
8. **Al-Sanea et al**, ont testé en 2001, l'effet de l'emplacement de l'isolant dans les bâtiments en Arabie Saoudite. Pour les conditions climatiques du Ryadh, la performance d'une couche d'isolation placée à l'intérieur est comparée à celle placée à l'extérieur, pour arriver à conclure que l'isolation par l'intérieur est plus économe que celle par l'extérieur.

9. **Wong et al** , en 2007 ont étudié un immeuble d'habitation par l'outil de simulation TAS program, pour évaluer la réduction des charges de la climatisation , et ont proposés comme solutions : **Opter** pour l'orientation NS, les charges de refroidissement peuvent être réduits de 12% par un simple changement d'orientation ; **Doubler** l'épaisseur des parois pour réduire les gains solaires de 7 à 10% ; **Utiliser** les brises soleils horizontaux de 0.3 à 0.9m pour une réduction de 2.62à10.13% ; et le taux de réduction le plus intéressant est obtenu en **Plaçant** le 2^{em} system terrasse (the special secondary roof system).

3.3 Amélioration des bâtiments par les dispositifs d'ombrage :

Plusieurs recherches ont été menées dans le but d'une amélioration thermique des bâtiments, et une optimisation dans les consommations énergétiques par l'intégration de dispositifs de protections solaires et d'ombrage de ces derniers.

Suite à ces études portant sur les protections solaires et leur influence sur le bilan énergétique et la consommation énergétique d'un bâtiment, on peut citer :

- a. l'étude réalisée par ES- SO et FFB en 2012 (La Protection solaire dans les bâtiments à basse consommation), qui présente l'importance des stores pour l'efficacité énergétique des bâtiments.
- b. Une autre étude menée par le professeur B. Peuportier et S. Thiers en 2006 , de l'école des mines de Paris Tech, France, sous le titre « Des Écotechniques à l'écoconception des bâtiments », montre l'importance des masques et des brises-soleil dans la réduction des besoins énergétiques et des apports solaires en été.

Conclusion :

L'analyse de cycle de vie est un protocole utilisé dans l'idée de développement durable.

L'expression « Développement durable » est apparue de manière officielle en 1987, dans le rapport « Our Common future » de la Commission des Nations Unies sur l'environnement et le développement (le rapport Brundtland).

Au début des années 90, est apparue la nécessité de mettre en œuvre des approches multicritères (compte l'ensemble des étapes du cycle de vie des produits, à partir de leur fabrication à leur élimination finale en passant par leur phase d'utilisation : les écobilans).

A leurs débuts, ces approches ont pu être qualifiées d'expérimentales voire partiales (écobilans menés à des fins exclusives de marketing ou de commerce). Par la suite, le développement de la normalisation internationale (famille des normes ISO 14000 et 14040) a fixé des bases méthodologiques et déontologiques et retenu le terme « Analyse de cycle de vie » (ACV) au lieu et à la place d'« écobilan » (nom d'une société commerciale, française à l'origine).

Depuis 1997, les pratiques se sont donc progressivement harmonisées et les résultats sont ainsi devenus plus robustes et fiables tandis que leur communication se faisait de manière plus formalisée que celle des premiers écobilans.

Dans le domaine de l'évaluation globale et multicritères des impacts environnementaux, l'ACV est l'outil le plus abouti. Sa pratique et sa diffusion actuelles contribuent à en faire un instrument de plus en plus performant et reconnu. Il peut être utilisé au sein de démarches de développement durable, notamment celles orientées sur les produits. Néanmoins, il ne traite que de la dimension environnementale (dans d'autres cas rares, économique) et non de l'axe social ou sociétal du développement durable.

Chapitre II :

Analyse de Cycle de Vie (ACV).

Introduction :

Une meilleure prise en compte des problématiques environnementales passe par une connaissance de plus en plus fine des impacts sur l'environnement et la santé humaine liés à la composition, la fabrication, l'utilisation et la fin de vie des produits.

L'analyse de cycle de vie (ACV) est une approche développée initialement pour l'industrie. Elle a pour but de quantifier les impacts d'un produit, d'un système ou de service depuis l'extraction des matières premières qui sont nécessaires à sa fabrication jusqu'à son élimination en fin de vie en passant par la phase d'utilisation « du berceau à la tombe ».

L'analyse de cycle de vie (ACV) est une méthode d'analyse permettant de compléter la connaissance de la soutenabilité du système (matériau, produit ou procédé) étudié.

Elle n'inclut ni les éléments économiques, ni les éléments sociaux. Les systèmes étudiés sont considérés comme en fonctionnement normal, les accidents sont donc exclus.

L'évaluation environnementale d'un produit ou d'un système se base actuellement très souvent sur la réalisation d'une analyse de cycle de vie ACV de ces derniers.

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.

A 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...).

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

L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) est une méthode d'évaluation environnementale qui permet de quantifier les impacts d'un produit (un matériau, un système ou un procédé) sur tout le long de son cycle de vie, depuis l'extraction des matières premières qui le composent jusqu'à son élimination en fin de vie, en passant par les phases de distribution et d'utilisation.

Outil normalisé et reconnu, l'ACV est la méthode la plus aboutie en termes d'évaluation globale et multicritère. Elle résulte de l'interprétation du bilan quantifié des flux de matières et énergies liés à chaque étape du cycle de vie des produits, exprimée en impacts potentiels sur l'environnement.



Figure 2.1: les phases de vie d'un produit. Source : Auteur 2017.

L'enjeu majeur de l'utilisation de l'analyse de cycle de vie (ACV) est d'identifier les principales sources d'impacts environnementaux et d'éviter ou éliminer, le cas échéant, arriver à les minimiser, et d'arbitrer les déplacements de pollutions liés aux différentes alternatives envisagées.

Cette meilleure connaissance des impacts associés aux produits peut permettre de hiérarchiser les priorités d'amélioration et éclairer les choix techniques et organisationnels dans une démarche d'éco-conception de produit.

2. Dimensions de l'Analyse de Cycle de Vie:

Selon la logique de l'analyse de cycle de vie ACV, les flux constitutifs d'un produit se décomposent selon deux dimensions, (deux sphères) :

a) La **technosphère** représente l'ensemble des activités et produits humains (production, transformation, consommation).

b) L'**écosphère** représente principalement l'environnement naturel. Elle englobe la technosphère et est donc source de toutes ses matières premières et reçoit tous les déchets de la technosphère.

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.

À l'image des deux sphères (écosphère et technosphère), il existe deux types de flux :

1. Les **flux élémentaires** qui proviennent (ressources) ou sont à destination (déchets) de l'écosphère.

2. Les **flux économiques** qui proviennent (intranç) ou sont à destination (extransç/produit) de la technosphère.

3. Historique:

L'approche « analyse de cycle de vie ACV » a été développée à partir de l'idée de compréhension de l'analyse environnementale du produit, initiée en Europe, et aux USA respectivement en fin d'année 1960 et début de l'année 1970.

La pensée du cycle de vie a été utilisée pour la première fois, lors d'une étude réalisée en 1969 pour le compte de l'entreprise de boissons 'Coca Cola'.

C'est une des premières études fut réalisée par Harry E. Teasley Jr en 1969 pour le compte du groupe Coca-Cola (Leroy, 2009). Il s'agissait d'une comparaison à but stratégique entre une bouteille en verre et une bouteille en plastique.

L'enjeu de cette analyse qui portait sur l'ensemble du cycle de vie du produit était d'une part de déterminer le choix d'implantation de l'usine de production, d'autre part d'identifier le matériau le plus respectueux de l'environnement et enfin d'évaluer l'impact environnemental de l'ajout d'un cycle de réutilisation de la bouteille.

Les résultats finaux étaient en faveur de la bouteille en plastique (Hunt et al., 1996), et c'est le plus répandu à l'échelle mondiale.

Ces premières études connues à l'époque sous le terme d'Analyses de Profils Environnementaux et de Ressources ont d'abord été réalisées pour le compte de l'industrie chimique soucieuse de la bonne gestion de ses productions, du contrôle de ses coûts, de ses rendements ainsi que du suivi des matières premières consommées.

Les premières méthodes d'évaluation des impacts environnementaux, telles que nous les connaissons aujourd'hui sous la forme de l'analyse de cycle de vie ACV, remontent à 1992, et on peut citer quelques unes:

1. l'EPS (*Environmental Priority Strategy*), basée sur une modélisation orientée dommage exprimée en valeur monétaire.
2. le modèle *Swiss Ecoscarcity Ecopoints* basé sur le « principe de la distance à la cible »
3. la méthode de 92 du CML avec une orientation "problème".

L'approche Analyse de cycle de vie(ACV) a été utilisée par les consultants comme un excellent outil d'évaluation environnementale.

C'est avec l'émergence de la problématique du développement durable qu'est né l'intérêt pour l'analyse de cycle de vie ACV. L'approche du bilan s'est généralisée d'abord sous la forme d'approches essentiellement énergétiques dans les années 1970, avec d'une part la fondation du Club de Rome et ses réflexions sur la limite des ressources, et d'autre part avec la crise énergétique qui a imposé la préoccupation sur l'affaiblissement des ressources fossiles (Gabathuler, 1997).

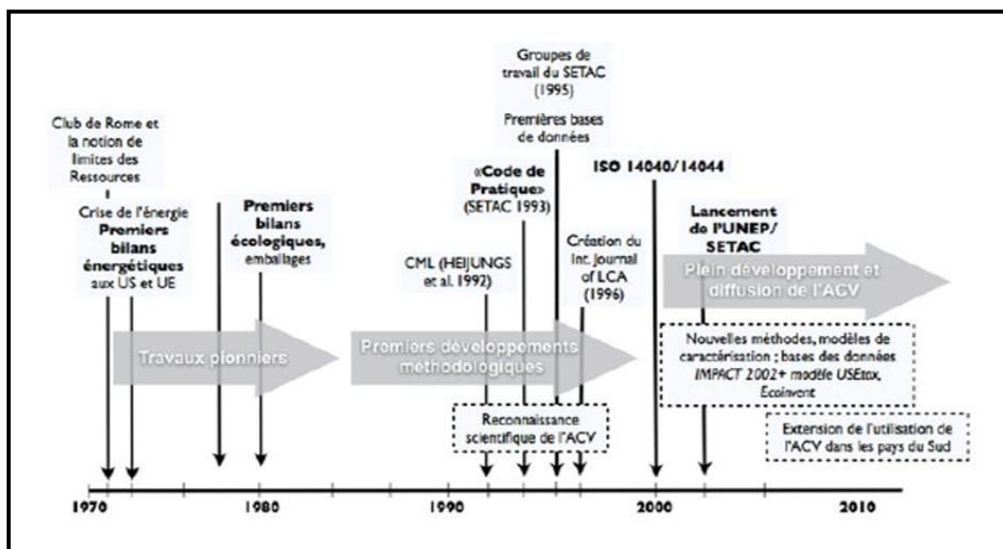


Figure2.2: historique et évolution de l'ACV. Source : adapté de Vargas (2008).

Les premiers bilans écologiques (avec la prise en compte des catégories d'impact autres que l'épuisement des ressources en énergie) ont été réalisés en 1984 pour les matériaux d'emballage avec la méthode des Volumes Critiques, une des premières méthodes de caractérisation des impacts (Jolliet *et al.*, 2010).

A partir de là, la méthodologie d'analyse de cycle de vie ACV, a connu des développements plus poussés avec une préoccupation marquante sur sa normalisation. Cette évolution est marquée par trois niveaux de développement historique illustrés dans la (figure2.2).

L'analyse de cycle de vie ACV constitue le seul outil d'évaluation environnementale normalisé au niveau international à l'heure actuelle. Plusieurs organisations se sont impliquées dans le développement et la standardisation de l'approche analyse de cycle de vie ACV, à cette échelle internationale.

Les trois organisations les plus importantes sont (Jolliet *et al.*, 2005) :

1. La Société de Toxicologie et Chimie Environnementale (SETAC, 2015).
2. L'Organisation Internationale de Normalisation (ISO).
3. et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE).

La décennie 2000-2010 a été principalement marquée pour l'approche analyse de cycle de vie ACV par l'accroissement accéléré de sa reconnaissance .

Les Nations Unies, par le biais du PNUE, en collaboration avec le SETAC ont lancé un partenariat international intitulé Life Cycle Initiative(LCI). Cette dernière avait pour but d'améliorer les outils d'ACV par le développement de bases de données et d'indicateurs d'impact sur l'environnement (Guinée *et al.*, 2010).

Un nombre important d'articles sur l'analyse de cycle de vie (ACV) a été publié notamment dans les journaux scientifiques spécialisés:

- Journal of Cleaner production, dont le premier issu spécial de l'analyse de cycle de vie ACV est imprimé en 1993 sous le numéro 3- 4 Volume1.
- International journal of Life Cycle Assessment L C A, dédié pour les recherches sur l'analyse de cycle de vie ACV en 1996.
- Environmental Science and Technology and Resources, Conservation and Recycling dédié pour les sciences environnementales.

Au cours des vingt dernières années, l'Organisation Internationale de Standardisation « ISO », a publié plus de 350 normes traitant au système de management environnemental, cette série de normes permet aux entreprises de gérer l'impact de leur activité sur l'environnement et de mesurer leurs performances environnementales.

Sur le plan scientifique la SETAC offre dès le début des années 1990 une plateforme d'échange scientifique dans le domaine de l'approche d'analyse de cycle de vie ACV.

Elle préside aux principaux développements méthodologiques par le biais de différents groupes de travail.

Le volume des recherches sur l'ACV a augmenté rapidement depuis les années 1990, dans tous les domaines d'industrie : chimique, pharmaceutique, produits de peinture industrielles et bâtiments et enduits, agro-alimentaire, cosmétiques et parfumerie, ciments et dérivés.

3.1. Vers une harmonisation des pratiques :

Le processus de normalisation devient incontournable afin de crédibiliser la méthodologie d'analyse de cycle de vie ACV de produit. Il vise à définir le domaine de validité des résultats et à garantir la reproductibilité des analyses quel que soit l'acteur concerné. La chronologie de la démarche de l'analyse de cycle de vie ACV vers la normalisation est la suivante (tab.2.1).

Période A :

1972	Fondation du club de Rome : Résolutions que les ressources sont limitées et le développement s'étudie sur la base de simulations (principe de base : «penser globalement, agir localement ».
1973	Crise de l'énergie : l'approche bilan énergétique.
1975	Bilans et systèmes énergétiques.
1977	Première approche éco facteurs.
1984	Bilan écologique de matériaux d'emballage Volumes critiques. Approche« du berceau à la tombe » pour émissions polluantes.
1990	Méthodologie des écobilans, éco facteurs.

Période B :

1991	Bilan écologique de matériaux d'emballage. Volume critique .On se rend compte que les matériaux d'emballage ne jouent pas un rôle principal sur les résultats finaux de l'analyse du cycle de vie d'un produit.
1992	20 ans du club de Rome : la première limite rencontrée n'est pas le manque de ressources, mais l'environnement.
1992	Guide CML . Université de Leiden (Hollande).
1993	SETAC « code de pratique » (SETAC ,1993) le SETAC (société de toxicologie et de chimie de l'environnement représente l'une des plus interprétantes organisations internationales scientifiques traitant des questions structurelles des analyses du cycle de vie.
1994	Inventaire des systèmes énergétiques (ESU-Ecole polytechnique fédérale de Zurich : énergie, matière, environnement).
1995	Groupe de travail de la SETAC.
1997-2000	ISO14040 /ISO14041/ISO14042/ISO14043 [ISO, 1997-2000], l'ISO publie une série de norme ISO 14000 sur l'ACV « standard ». Elle répond à la forte exigence d'harmonisation au niveau international entre les divers méthodologies utilisées en ACV.
1999	Méthode d'analyse environnemental Eco indicateur 99, Prè-consultants (Hollande).

Période C :

2002	Lancement de l'initiative pour le cycle de vie en collaboration entre la SETAC et le PNEU (programme des nations unies pour l'environnement).
2003	Nouvelles bases de données d'inventaire Eco-Invent dans le domaine des écoles polytechniques fédérales suisses et nouvelles méthodes d'analyse de l'impact IMPACT 2002+.

Tableau 2.1 : Survol historique des analyses du cycle de vie ACV. Source : Auteur 2017.

4. L'Approche « analyse de Cycle de Vie ACV » :

L'analyse de cycle de vie ACV est une méthodologie scientifiquement reconnue et normée, utilisée pour évaluer les impacts environnementaux d'un produit, d'un service, d'une entreprise ou d'un procédé, de l'extraction des matières premières jusqu'à son traitement en fin de vie (mise en décharge, recyclage, etc...).

L'application de cette méthodologie ACV est particulièrement pertinente dans une démarche d'éco-conception. Cette dernière consiste à intégrer la production de l'environnement dès la conception des biens ou de services.

L'éco-conception a pour objectif de réduire les impacts environnementaux des produits tout au long de leur cycle de vie. Elle se caractérise par une vision globale de ces impacts environnementaux : c'est une approche multi-étapes (prenant en compte les diverses étapes du cycle de vie), et multi-critères (prenant en compte les consommations d'énergie et de matière, les rejets dans les milieux naturels, les effets sur le climat et la biodiversité).

4.1. L'Analyse de Cycle de Vie ACV d'un produit :

L'analyse de cycle de vie est un outil d'évaluation des impacts qui permet de suivre un produit tout au long de sa durée de vie ACV « de la mine à la décharge », ou « du berceau à la tombe » en prenant en compte de toutes les phases de celle-ci (production, utilisation, réhabilitation, destruction, de récupération et de recyclage). Elle est normalisée selon les standards ISO 14040 (ISO, 2006).

Elle permet aussi de comparer deux systèmes ayant une fonction similaire, d'analyser les impacts des phases du cycle de vie d'un même système, de comparer des alternatives ou d'établir une comparaison à un système de référence.

4.2. Objectifs de l'analyse de cycle de vie ACV d'un produit :

Plusieurs objectifs sont attendus de toute analyse de cycle de vie de produit :

1. Être conscients que les choix ne constituent pas des actes isolés.
2. Faire des choix pour le long terme (choix de durabilité du produit).
3. Améliorer des systèmes entiers et non des parties de systèmes.
4. Faire des choix éclairés.

4.3. Méthodologie de l'analyse de cycle de vie ACV d'un produit :

L'Analyse de Cycle de vie ACV d'un matériau, produit, système ou procédé, est un processus objectif d'évaluation des effets environnementaux de ce produit ou service par l'identification et la qualification des matériaux et de l'énergie utilisés et les impacts résultants sur l'environnement durant le cycle de vie entier.

Généralement, cette approche ACV inclut une phase de reconnaissance et d'évaluation des occasions d'amélioration et de perfectionnement.

Pour être pertinente, cette méthode doit suivre une méthodologie précise.

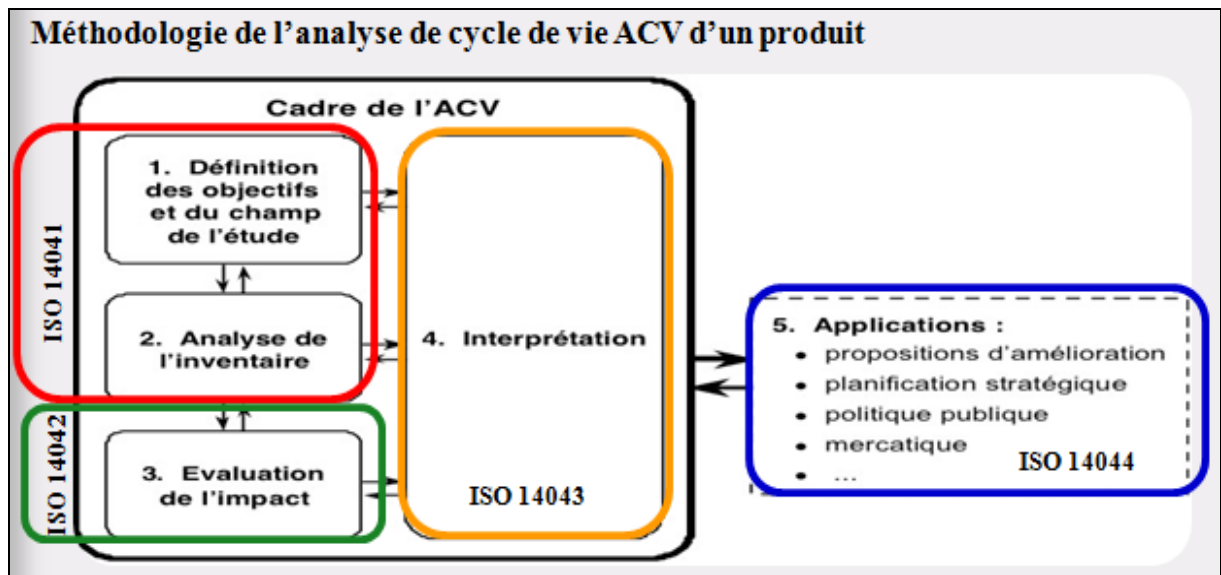


Figure 2.3: Cadre d'une analyse du cycle de vie. Source : ISO 14040-44, 2006.

Différentes méthodologies sont utilisées durant ces deux dernières décennies, généralement sous le titre de l'Analyse de cycle de Vie (ACV), ou Life Cycle Assessment (LCA).

Ainsi la phase d'études d'un produit, qui fait appel à l'Analyse de Cycle de Vie ACV, peut être divisée en trois classes (EASE, 2010) :

1. Analyse de Cycle de Vie environnementale.
2. Analyse de Cycle de Vie économique.
3. Analyse de Cycle de Vie sociale.

L'Analyse de Cycle de Vie ACV apparaît aujourd'hui comme un outil d'évaluation indispensable de la performance environnementale des systèmes complexes. L'évolution des stratégies de gestion de l'environnement basées, sur des démarches curatives et ciblées dites «en bout de tuyau », traduit de l'anglais « end-of-pipe », vers des approches globales et préventives où la totalité des sous-systèmes à l'étude est prise en compte.

4.4. Cycle de vie d'un Produit :

La société pour la Toxicologie Environnementale et la chimie SETAC (1991) dans son rapport, identifie le cycle de vie d'un produit industriel générique avec des étapes qui s'enchainent (Figure 2.4):

- a) Acquisition de Matière première: toutes les activités nécessaires d'extraire la matière première et l'énergie saisissent de l'environnement, y compris le transport avant de traiter.
- b) Traitement et Fabrication: les activités nécessaires convertir la matière première et l'énergie saisissent dans le produit désiré.
- c) En pratique cette étape est souvent composée d'une série de sous- étapes avec produits intermédiaires étant formées le long de la chaîne de traitement.
- d) Distribution et Transport: expédition du produit final à l'utilisateur final.
- e) Utilisation, Réutilisation et Maintien: utilisation du produit fini sur sa durée d'utilisation.
- f) Recycler: commence après que le produit a servi sa fonction destinée initiale et est par la suite recyclé dans le même système de produit (à circuit fermé recycle) ou entre dans un nouveau système de produit (la boucle ouverte recycle).
- g) Gestion des déchets: commence après que le produit a servi sa fonction destinée et est rendu à l'environnement comme des déchets.

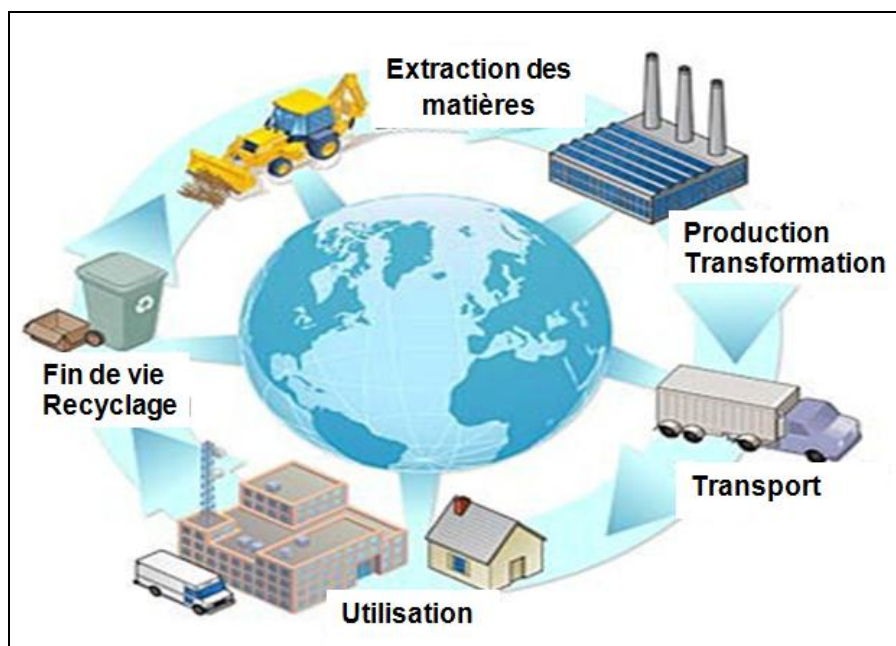


Figure 2.4 : Cycle de vie de la d'un Produit. Source: NIST 2010.

4.5. Etapes de l'analyse de cycle de vie d'un produit:

Une Analyse de Cycle de Vie ACV de produit comporte quatre phases :

1. La définition des buts et du cadre de l'étude.
2. L'analyse d'inventaire.
3. L'évaluation des impacts.
4. L'interprétation des résultats.

En pratique, on réalise l'inventaire des flux de matières et d'énergies entrants et sortant pour chaque étape du cycle de vie. A partir de ces données, on évalue les impacts environnementaux du produit.

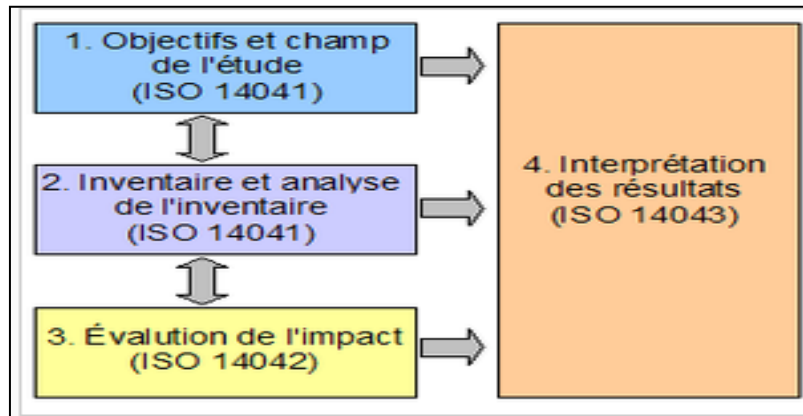


Figure 2.5: Relations entre les étapes du processus d'analyse du cycle de vie selon ISO 14000 et 14040.

Il existe différentes méthodes d'évaluation des impacts mais l'harmonisation de la méthodologie générale de l'analyse de cycle de vie ACV a été réalisée grâce à une série de normes ISO (Organisation Internationale de Standardisation).

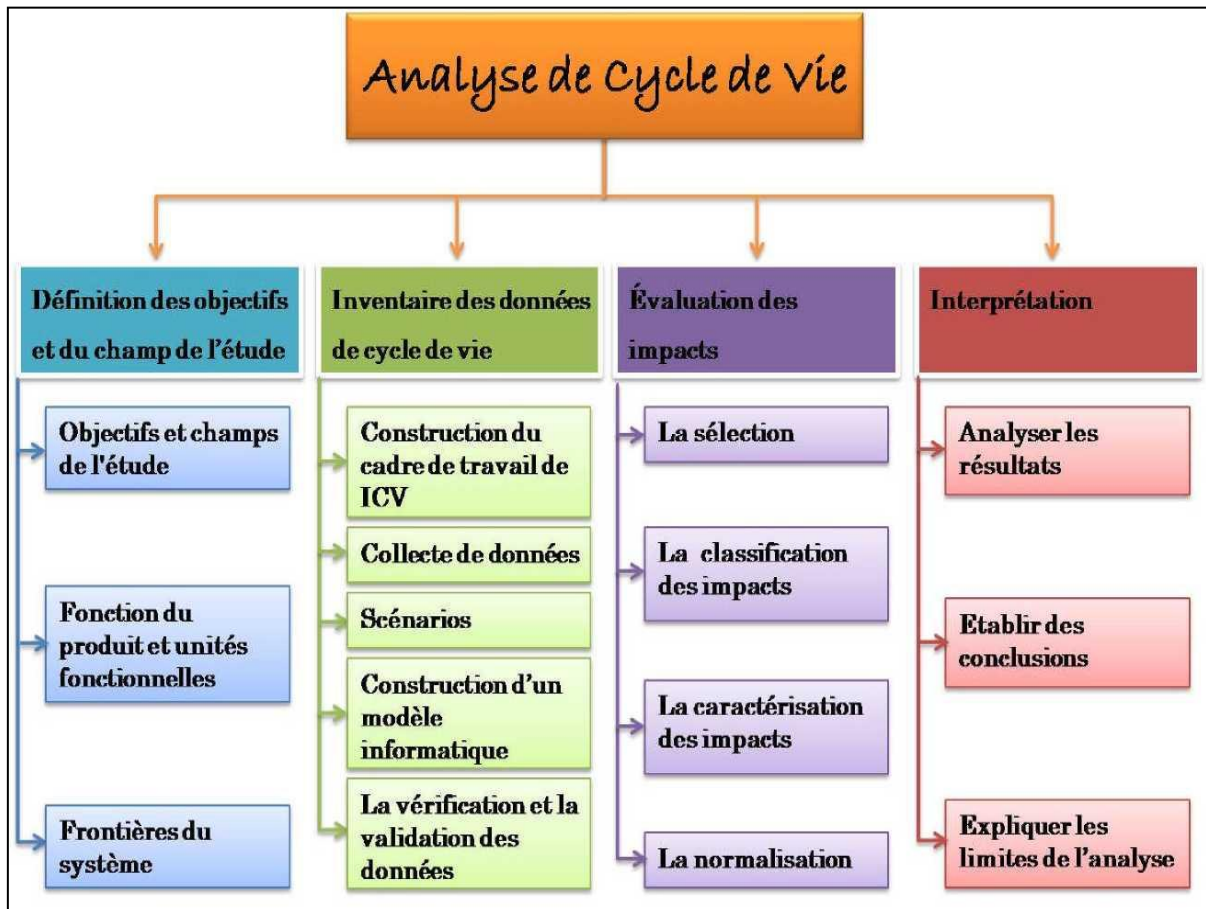


Figure 2.6: Schéma récapitulatif des étapes d'une ACV. Source : Auteur2017.

4.5.1. Définition des buts et du cadre de l'étude :

C'est l'étape primordiale de toute la méthode, elle représente les bases de l'étude et aura une influence sur le déroulement et les résultats de l'étude. L'objectif d'une étude d'analyse de cycle de vie ACV est de préciser l'application envisagée, et les raisons pour lesquelles elle est entreprise, ainsi que le public à qui sont destinés les résultats de cette étude.

Le cadre, ou le champ de l'étude, définit les hypothèses faites ainsi que les frontières du système considéré. L'exposé du but d'une Analyse de Cycle de Vie doit clairement déterminer les applications prévues, les raisons qui ont poussé à mener l'étude et le public auquel elle se destine, à qui les résultats seront communiqués.

Le cadre d'une étude lui, doit être suffisamment bien défini pour s'assurer que l'ampleur, la profondeur et le niveau de détail de l'étude permettent de répondre aux buts fixés.

La définition du cadre de l'étude doit comprendre une description claire de ces éléments (ISO, 2006):

- Les fonctions du système ou des systèmes étudiés.
- L'unité fonctionnelle.
- Les frontières du système.
- Les procédures d'allocation mises en œuvre.
- Les types d'impact considérés, ainsi que les interprétations qu'elle nécessitera.
- Les données nécessaires.
- Les hypothèses faites.
- Les limites de l'étude.
- Les nécessités en termes de qualité des données initiales.
- Le type d'examen critique qu'il peut être nécessaire de mener.
- Le type et le format de rapport qui doit être établi pour cette étude.

a) L'unité fonctionnelle : permet de quantifier l'efficacité du système vis-à-vis de son utilité. Elle doit être clairement définie et mesurable en terme de produit, de service fournis et de durée sur laquelle ce service est rendu.

Elle sert de référence afin de déterminer les flux entrant et sortant du système.

Elle est fondamentale pour assurer la compatibilité des résultats fournis par l'ACV, notamment en cas d'étude comparative de plusieurs systèmes.

L'unité fonctionnelle est une mesure de la fonction du système étudié et il fournit une référence à laquelle les apports et les productions peuvent être relatés. Ceci permet la comparaison de deux systèmes différents essentiels. Par exemple, l'unité fonctionnelle pour un système de peinture peut être définie comme la zone d'unité pendant période de 10 années. Une comparaison des impacts sur l'environnement de deux systèmes de peinture différents avec la même unité fonctionnelle est donc possible.

b) Le système : doit être clairement défini en termes de frontières : cette définition détermine quels procédés seront inclus dans l'étude.

c) Frontières de Système :

Les frontières de système déterminent quelle unité traite pour être inclus dans l'étude de l'ACV. Les frontières de système de définition sont en partie basées sur un choix subjectif, faites pendant la phase de portée quand les frontières sont initialement mises. Les frontières suivant peuvent être considérées:

d) Frontières : entre le système technologique et la nature. Un cycle de vie commence d'habitude au point d'extraction de matières premières et des transporteurs d'énergie de la nature. Les étapes finales incluent normalement la génération superflue et-ou la production de chaleur.

e) Zone géographique : La géographie joue un rôle crucial dans la plupart des études de l'analyse de cycle de vie ACV, par exemple des infrastructures, comme la production d'électricité, la gestion des déchets et des systèmes de transport, varier d'une région à un autre.

f) Facteur Temps : Les frontières doivent être mises non seulement dans l'espace, mais aussi à temps (au bon moment et dans le temps opportun).

Essentiellement les études d'analyse de cycle de vie ACV sont effectuées pour évaluer des impacts présents et prévoir des scénarios futurs. Les limitations aux frontières de temps sont données par des technologies impliquées, la durée de la vie de polluants, etc.

Les études d'analyse de cycle de vie ACV dépendront de:

- a) l'application prévue à l'étude.
- b) des hypothèses avancées.
- c) des critères de limites choisis.
- d) des contraintes liées aux données et aux coûts.
- e) du public à qui est destinée cette étude.

Les critères utilisés pour cette définition doivent être identifiés et justifiés dans l'énoncé du cadre de l'étude. Les choix des intrants (Input) et sortants (Output), les niveaux d'agrégation dans une catégorie de données et la modélisation du système (qui doit faire en sorte que les flux entrants, sortants et les frontières du système soient des flux élémentaires) doivent être en cohérence avec les buts de l'étude.

En accord avec les buts et le cadre de l'étude, on définit les objectifs et impératifs concernant la qualité des données utilisées, ainsi que leurs caractéristiques.

Elles doivent concerner (ISO, 2006) :

1. La notion de couverture temporelle.
2. La notion de couverture géographique.
3. Technique et couverture technologique.
4. La précision, la représentativité et la complétude des données.
5. La consistance et la reproductibilité des méthodes utilisées au cours de l'ACV.
6. Les sources d'où sont tirées les données, et leur représentativité.
7. Les incertitudes liées aux informations fournies.

Lors d'une étude comparative, différents systèmes doivent être comparés sur la base d'une même unité fonctionnelle et d'une même méthodologie, ainsi que sur des exigences similaires (en termes de qualité des données notamment).

g) Exigences de Qualité de Données

La fiabilité des résultats d'études d'analyse de cycle de vie ACV, dépend fortement de la mesure à laquelle la qualité de données les exigences sont respectées.

4.5.2. Détermination et analyse de l'Inventaire des données de Cycle de Vie :

Cette phase consiste à collecter et calculer les données, dont la pertinence dépendra des buts et du cadre de l'étude définis précédemment, permettant de déterminer les flux élémentaires entrants et sortants du système, comme les ressources et produits utilisés, ainsi que les rejets émis dans l'air, dans les eaux et dans les sols. Appelé aussi l'inventaire des émissions et des extractions : il quantifie les émissions polluantes dans l'air, dans l'eau et dans le sol ainsi que les extractions des matières premières renouvelables et non renouvelables.

L'inventaire des données du cycle de vie, représente la compilation et la quantification des flux entrants et sortants du système défini ramenés à l'unité fonctionnelle.

Tous les éléments inclus dans les frontières du système doivent être pris en compte, et ce de manière exhaustive (ainsi une consommation d'électricité implique de prendre en compte tous les modes de production de cette dernière, sa distribution...).

Pour chaque élément du système on considère :

- Les matériaux entrants, en kg : toutes les quantités de matériaux impliquées en entrée dans le processus (venant de l'environnement ou autre...).
- Les matériaux sortants, en kg : toutes les quantités de matériaux émises par le processus (vers l'environnement ou un autre ...).
- Les entrées d'énergie, en MJ : toutes les quantités d'énergie (thermiques ou électriques) consommées.
- Les sorties d'énergie, en MJ : toutes les pertes énergétiques liées au processus.

Ces données sont en général issues de la littérature spécialisée, et sont classées selon 8 catégories (ISO, 2006) :

1. Matériaux bruts : utilisés dans un but autre que la production d'énergie.
2. Matériaux bruts énergétiques : utilisés pour la production d'énergie.
3. Produits principaux : matériau ou énergie indispensable pour la fonction.
4. Produits dérivés : autres produits ayant une valeur économique.
5. Déchets gazeux.
6. Déchets liquides.
7. Déchets solides.
8. Autres émissions radioactives et pertes d'énergie.

L'inventaire doit être le plus exhaustif possible. Ainsi à ce stade aucune donnée ne doit être négligée (ces choix se feront au cours de la phase d'analyse d'impacts).

Il est néanmoins important de fournir pour chaque donnée :

- a) Des renseignements qualitatifs : l'origine, la composition, la forme sous laquelle existe le produit en question.
- b) Les caractéristiques statistiques : disponibilité maximale, minimale, moyenne...
- c) La méthode et la date d'acquisition (notamment pour les données issues de mesures).

La procédure d'inventaire est itérative : la collecte des données sur un système apporte un surplus d'informations sur ce dernier, ce qui est susceptible de faire apparaître de nouveaux besoins de données, des changements dans la méthodologie de collecte de données, ou une modification des buts et /ou du cadre de l'étude.

4.5.3. Analyse de l'Impact du Cycle de Vie (ISO 14 042) :

A partir des résultats de la phase d'inventaire du système, on évalue les impacts de ce système, en associant les données d'inventaire à des impacts environnementaux spécifiques, et ce afin d'en évaluer l'importance, en cohérence avec les buts fixés.

La phase d'évaluation des impacts consiste à transformer l'ensemble des flux répertoriés lors de l'inventaire en impacts environnementaux via une série d'indicateurs.

L'analyse de l'impact du cycle de vie, est normalisée selon les standards ISO 14040, et doit comprendre les éléments suivants et suivant le même canevas (ISO, 2006) :

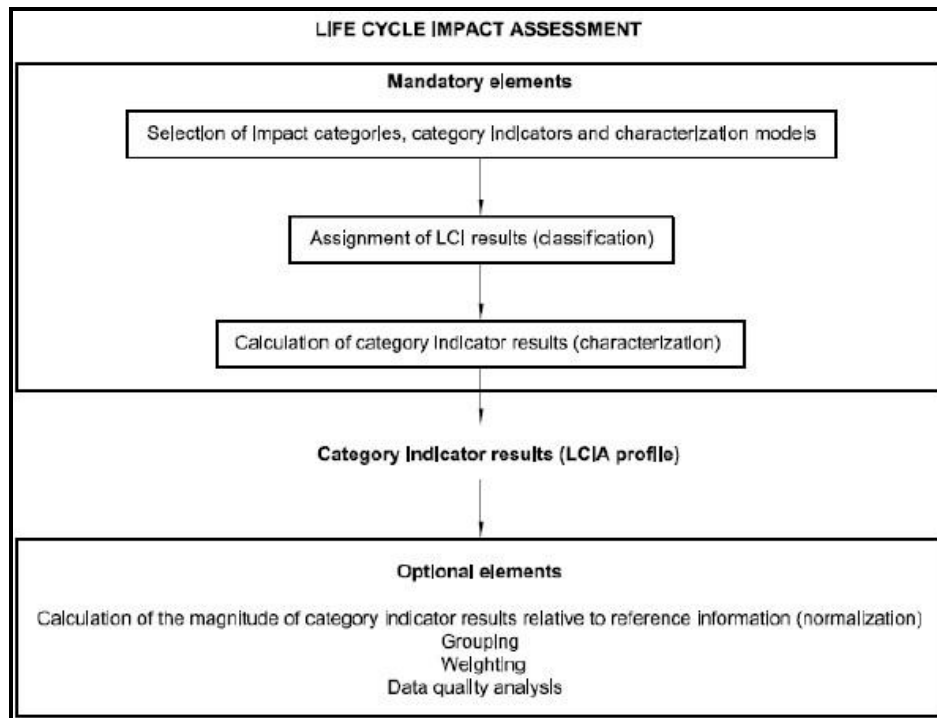


Figure 2.7 : Phases de l'analyse de l'impact du cycle de vie. Source : ISO, 2006.

Ainsi on considère les phases suivantes :

a) Sélection des catégories d'impact, des indicateurs correspondant et des modèles de caractérisation : c'est la multiplication des différents flux par les facteurs de caractérisation afin de calculer leur contribution aux diverses catégories d'impacts.

L'opération se fait en cohérence avec les buts et le champ de l'étude, de façon argumentée et référencée. Le lien est donc entre l'inventaire et les indicateurs en prenant en compte les mécanismes environnementaux mis en jeu, ainsi que des modèles de caractérisation des impacts, qui forment une base pour l'obtention des facteurs de caractérisation, et doivent être clairement décrits.

b) Assignment des données d'inventaire ou la classification : répartition des flux émis et consommés de l'inventaire dans les différentes catégories d'impacts.

Cette étape permet de mettre en évidence les conséquences environnementales des flux répertoriés l'inventaire. La classification de ces données dans les différentes catégories d'impact doit se faire en tenant compte :

1. De l'assignation des données d'inventaire ne rentrant que dans une catégorie d'impact.
2. De l'assignation des données d'inventaire correspondant à plusieurs impacts.
3. De la distinction à faire entre les impacts environnementaux ayant des mécanismes intervenant **en parallèle** (exemple : le SO₂, qui a un impact sur la santé humaine mais aussi

sur l'acidification) et des impacts intervenant **en série** (ainsi les NO_x seront assignés à la fois à la production d'ozone troposphérique et à l'acidification).

c) Calcul des indicateurs d'impact (caractérisation)

Pour quantifier l'impact d'une substance sur l'environnement, des facteurs de caractérisation doivent être déterminés pour chaque catégorie d'impact, afin de faire le lien entre les données d'inventaire et les conséquences des différents flux sur l'environnement.

Ces facteurs de caractérisation dépendent des méthodes de calcul d'indicateurs d'impact utilisées et considérées dans l'étude.

d) Etapes optionnelles :

Dans beaucoup de cas des étapes optionnelles, car non requises dans la norme ISO 14040, sont ajoutées à une analyse de cycle de vie.

La **pondération** (facultative) : obtention d'un score unique en fonction de l'importance relative des diverses catégories d'impacts. Les facteurs utilisés pour la pondération, étant basés sur des choix personnels ou éthiques, rendent cette phase assez subjective.

Une normalisation des indicateurs d'impact peut être menée, afin de mieux caractériser l'importance des impacts du système étudié vis-à-vis du reste des activités humaines, en divisant les indicateurs obtenus par une valeur de référence.

Elle permet aussi de comparer entre eux des indicateurs qui selon la catégorie d'impact considérée peuvent être exprimés dans des unités différentes et peuvent être caractérisés par des ordres de grandeur très différents.

La référence devra être établie en considérant la cohérence des échelles temporelles et spatiales choisies (exemple : on peut considérer la contribution moyenne d'un habitant du Sud de l'Algérie à l'effet de serre sur un an pour exprimer l'impact d'un bâtiment en habitant-année dans cette zone du pays).

Il est aussi intéressant de grouper les catégories d'impact, selon les buts et le cadre fixés à l'étude, en les groupant selon des bases communes (par exemple sur des considérations d'échelles d'impact) ou en hiérarchisant les impacts.

Ainsi selon les buts et le champ de l'étude les contraintes en termes de détails et de précision peuvent varier.

On peut par exemple mener une analyse de gravité, qui permet d'identifier les données d'inventaire qui ont le plus de poids dans le calcul de l'indicateur d'impact, et qui doivent donc répondre à des critères de qualité plus stricts.

La norme ISO 14040 définit l'analyse d'incertitudes, qui caractérise la variabilité statistique des données, afin de connaître l'importance de la différence qui peut exister entre deux indicateurs d'une même catégorie d'impact.

La norme ISO 14040, si elle définit un cadre pour l'Analyse de Cycle de Vie de produit, ne fixe pas de méthodologie précise pour le calcul des indicateurs d'impacts. La transparence des modèles utilisés pour une étude est donc primordiale pour permettre une bonne appréhension de ses résultats, et interventions pour corrections et améliorations.

4.5.4. Interprétation des résultats (ISO 14 044) :

Cette étape est la mise en perspective des résultats de l'inventaire et de l'analyse d'impact, en se rapportant aux buts et champs de l'étude, et ce afin d'établir des conclusions et éventuellement des recommandations.

Elle se fait en général de façon itérative, en réexaminant les différentes caractéristiques de l'étude (buts, données, méthodes...).

Son déroulement est lui aussi normalisé selon le standard ISO 14044 (ISO, 2006).

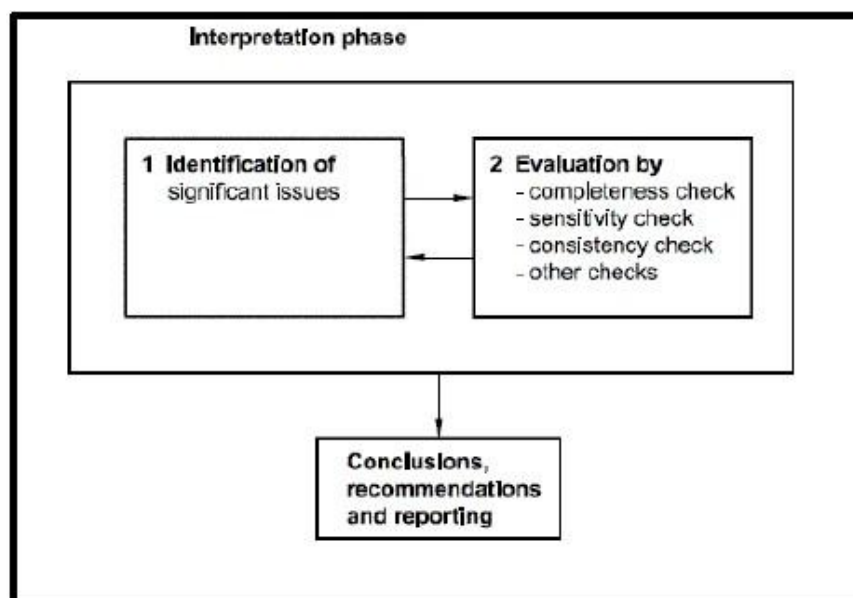


Figure 2.8 : Les divers éléments de la phase d'interprétation de l'ACV. Source : ISO, 2006.

On distingue donc trois phases :

a) L'identification des questions significatives :

Des questionnements peuvent être soulevés à propos notamment des catégories d'inventaires, des catégories d'impact, ou des procédés unitaires utilisés dans l'étude du système. On détermine ici l'importance des résultats d'inventaire et d'analyse d'impact.

b) L'évaluation :

On cherche ici à évaluer la pertinence des résultats de l'étude, ainsi que leur fiabilité, en lien avec les questions soulevées précédemment.

On mènera un bilan d'exhaustivité, afin de s'assurer que toutes les données nécessaires à l'interprétation des résultats sont disponibles.

Un bilan de sensibilité permettra d'évaluer la fiabilité des résultats et des conclusions. Ainsi, les résultats de cette analyse déterminent l'éventuel besoin d'analyses de sensibilité plus poussées.

c) Les conclusions, recommandations et rapports :

Les résultats obtenus lors d'une analyse de cycle de vie ACV, sont susceptibles d'intervenir comme facteurs lors d'une prise de décision. Ces résultats doivent donc être interprétés et analysés dans le but de répondre aux objectifs de l'étude.

5. Domaines d'application de l'analyse de cycle de vie ACV :

Au niveau de son application, l'analyse de cycle ACV a surtout été utilisée pour étudier et labéliser des produits simples comme les produits d'emballage, les lessives, les peintures ou les vernis, les ciments.

L'objectif de ces labels est de favoriser les produits qui, à valeur d'usage et qualité égales, ont l'impact global jugé le plus faible sur l'environnement.

L'analyse de cycle ACV de produit est appliquée donc dans :

- a) Les écolabels des produits.
- b) La promotion de la qualité écologique des produits.
- c) L'éco-conception des produits et des procédés par la prise en compte de l'environnement dès les premières phases de conception du produit.
- d) La sélection (choix) du produit ou du procédé le plus respectueux de l'environnement parmi des solutions proposées (par comparaison des cycles de vie des solutions).

- e) L'amélioration d'un produit ou un procédé (par rapport à son impact environnemental) par observation des points faibles pour l'environnement durant son cycle de vie.
- f) La gestion d'un procédé par son suivi et son contrôle en le comparant à une situation de référence.

5.1. La pratique analyse de cycle de vie ACV aujourd'hui :

Largement utilisée pour définir les orientations de développement de produits ou de procédés, l'analyse de cycle de vie ACV est aujourd'hui un outil incontournable de positionnement concurrentiel notamment du fait de l'émergence des labels environnementaux et de l'EPD (Environmental Product Déclaration) plus précisément.

Ces déclarations environnementales s'appuient sur l'approche d'analyse de cycle de vie ACV, afin de permettre une comparaison des produits d'une même famille (AFNOR, 2000).

L'émergence de directives requiert aujourd'hui une meilleure gestion du produit et de leurs modes de production. De telles démarches pourraient sans doute inclure des études ACV complémentaires afin d'intégrer de façon systématique les aspects environnementaux et sanitaires aux profils des produits et procédés.

5.2. Normalisation de l'approche analyse de cycle de vie ACV:

Le processus de normalisation devient incontournable afin de crédibiliser la méthodologie. Celui-ci vise à définir le domaine de validité des résultats et à garantir la reproductibilité des analyses quel que soit le praticien (acteur du processus de fabrication et de production).

5.3. Chronologie de la normalisation de l'ACV :

Dans les années 1990, le processus de normalisation de l'analyse de cycle de vie ACV de produit, a démarré avec une forte demande internationale d'harmonisation des méthodologies (Gabathuler, 1997) grâce aux développements conceptuels de la Société de Toxicologie et de Chimie Environnementales : SETAC (Klpffer, 2006).

À partir de là, l'Organisation Internationale de Normalisation ISO, qui élabore les normes dans des domaines technologiques, a pris la direction de ce processus qui a abouti, en 2000 à la publication des normes ISO traitant de l'ACV (dans la série de normes 14000 concernant les systèmes de management environnementale) : ISO 14040 à ISO 14044 (Klpffer, 2006).

L'organisation internationale de standardisation ISO, a réalisé une série des normes ISO 14040 et fournit de la documentation relative aux étapes de l'Analyse de Cycle de Vie:

- Une première norme ISO14040 établie les lignes directrices pour la pratique des ACV.
- ISO 14040 : Management environnemental-Analyse du cycle de vie- Principes et cadres.
- Les normes complémentaires (ISO14041, ISO14042, ISO14043) détaillent les étapes d'inventaires, d'évaluation de l'impact de l'interprétation.
- ISO 14041 : Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Définition de l'objectif et du champ d'étude et analyse.
- ISO 14042 : Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Évaluation de l'impact du cycle de vie.
- ISO 14043 : Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Interprétation du cycle de vie.
- ISO 14044 : Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices.

D'autres normes sont écrites pour apporter un support réglementaire et normalisé à cette approche d'analyse de cycle de vie de produit.

- Les normes ISO14047 et ISO14049 fournissent des exemples d'application.
- Tandis que la norme ISO14048 documente le format de transfert de données.

6. Limites de la méthode d'analyse de cycle de vie ACV de produit :

Bien que l'Analyse de Cycle de Vie ACV permette une approche multicritère sur l'ensemble du cycle de vie d'un produit, d'un système, cette démarche présente quelques inconvénients.

La principale limite est la dépendance très forte entre les hypothèses prises (choix de l'unité fonctionnelle et des frontières du système) et les résultats obtenus.

L'origine des données peut aussi constituer une limite, les résultats ne seront pas forcément identiques en fonction des flux inventoriés ou des méthodes choisies pour cette analyse ACV. De même, toutes les données nécessaires à une étude complète d'ACV ne sont pas toujours disponibles et en phase de conception, certaines informations sur le projet de produit ou de matériau, ne sont pas encore définies, ce qui nuit à la précision des résultats.

Il faut aussi bien noter que l'ACV prend en compte des impacts potentiels et non réels, c'est à dire qu'ils ne seront pas nécessairement générés par le système étudié.

Toutefois, cela permet de comparer entre elles différentes variantes et d'estimer laquelle peut induire les plus forts impacts sur l'environnement.

Enfin, les recommandations émanant des résultats d'analyse de cycle de vie ACV du produit étudié peuvent être en contradiction avec d'autres considérations : économique, liées au confort et performance, ainsi que, liées à l'usage et l'utilisation du produit.

6.1. L'interprétation du cycle de vie et analyse de sensibilité :

Cette étape a pour but d'analyser les résultats obtenus précédemment afin d'en tirer des conclusions. Ensuite, intervenir et agir pour améliorer la qualité environnementale de produit, matériau ou de procédé.

6.2. Les méthodes d'évaluation et impacts environnementaux :

Une fois la méthodologie générale fixée, il existe différentes méthodes d'évaluation reconnues et répondant toutes aux standards internationaux. Elles permettent ainsi de relier les données d'un inventaire aux dommages, ou impacts environnementaux, dont elles sont à l'origine. Les impacts environnementaux considérés dépendront du choix de la méthode d'évaluation, chaque méthode utilisant un « set » différent de catégories d'impact.

La chaîne de cause à effet des problématiques environnementales permet de distinguer les effets dits « primaires » découlant directement des activités étudiées et les effets secondaires qui sont la conséquence des effets primaires. On peut regrouper les différentes méthodes en catégories selon leur positionnement sur la chaîne reliant les causes à l'effet.

6.2.1 Méthodes dites mid-point :

Ce sont aujourd'hui les méthodes les plus reconnues. Elles sont dites « orientées problèmes ». Les substances émises ou consommées ayant des effets similaires sont regroupées dans des catégories d'impact « intermédiaires ». On peut citer les catégories d'impacts suivants : réchauffement climatique, acidification, eutrophisation, toxicité,

Les impacts considérés apparaissent au milieu de la chaîne de causalité.

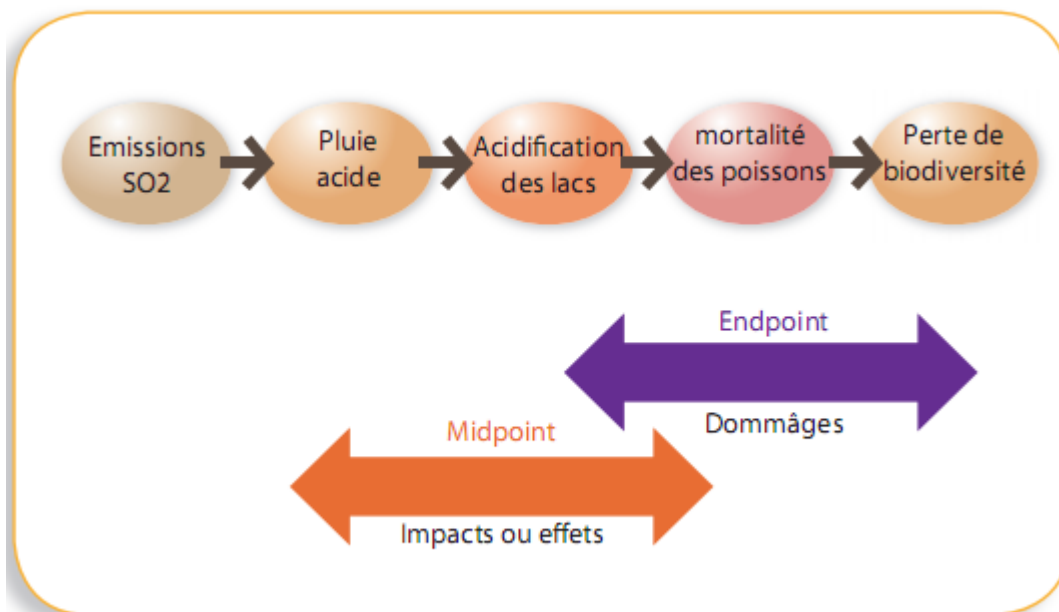


Figure 2.9 : Chaîne de cause à effet. Source : Méthodes d'analyse environnementale 2002.

6.2.2 Méthodes end-point :

Elles sont dites « orientés dommages ». Ce type de méthode estime les dommages potentiels qui pourraient résulter sur la santé humaine, les écosystèmes et les ressources.

Les impacts considérés sont à la fin de la chaîne de causalité.

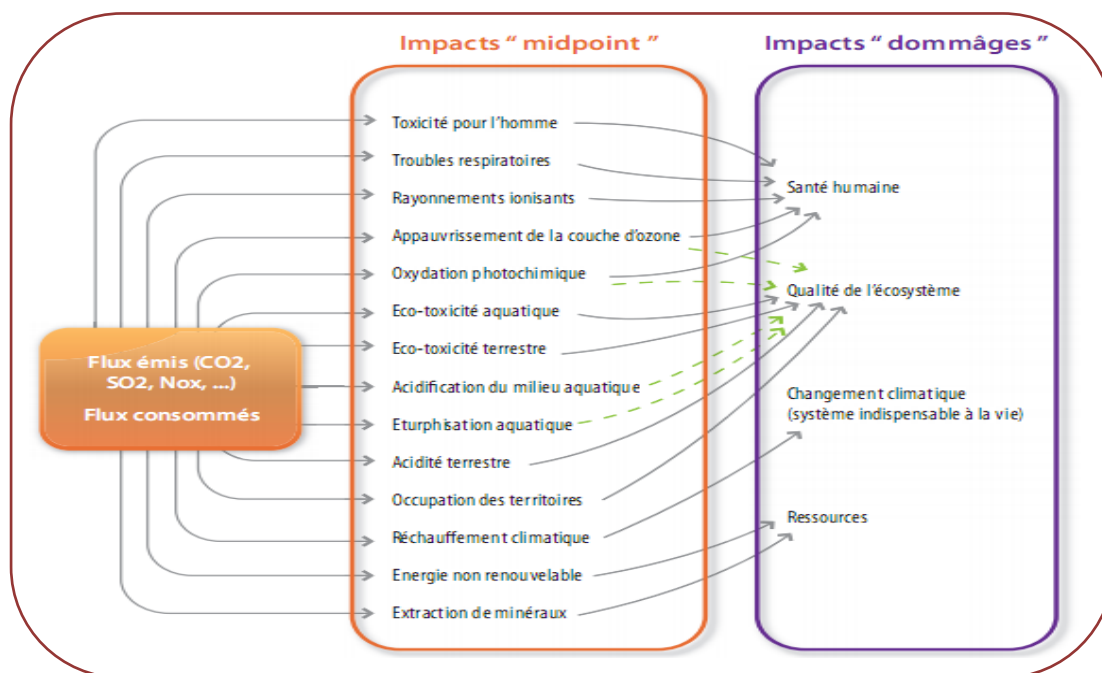


Figure 2.10 : Liaisons entre résultats de l'inventaire et les catégories d'impacts. Source : méthode impact 2002+.

7. Outils d'évaluations et de réalisation d'ACV produits :



Gabi est un logiciel leader de la modélisation des produits et des systèmes du point de vue du cycle de vie. Il est disponible auprès de l'entreprise PE International. Il comporte des informations sur le cycle de vie d'un grand nombre de matériaux et de processus, et est régulièrement mis à jour pour refléter les dernières avancées scientifiques et constituer une base solide pour les évaluations de matériaux, produits, services et processus.



C'est un outil scientifique pour l'analyse de cycle de vie (ACV) de produits. Ce logiciel a été développé par Pré-consultant, consultants et éditeurs basé aux Pays Bas. SimaPro regroupe plus de 7 000 modules de matériaux et procédés livrés en standard et données sectorielles dont des données dans le domaine de l'électrique - électronique.

Il a été conçu pour répondre à une large palette d'objectifs :

- Aide à la décision en éco-conception Fonctions très avancées : ACV paramétrable, analyse d'incertitude, traçage des substances,
- Utilisation simple : interface ergonomique, import et export sous tableur ou d'autres formats au choix...

7.3. Bilan produit de l'ADEME :



En collaboration avec l'Université, l'outil français, est conçu pour modéliser le produit de manière simple, en prenant en compte les principales étapes de son cycle de vie : les matériaux qui le composent, les procédés de fabrication, les moyens de transport, et les sources d'énergie.

L'estimation des impacts porte sur huit indicateurs et permet de comparer différentes simulations pour un même produit. Et donc d'opter pour l'une des variantes du produit testé pour le fabriquer, et ensuite le commercialiser.

8. Des bases de données d'ACV de produits :

Une base de données BDD est une collection d'informations organisées afin d'être facilement consultables, gérables et mise à jour au sein d'une database.

Pour quantifier les impacts des activités intervenant au long du cycle de vie d'un produit ou d'un service par une approche d'analyse de cycle de vie ACV, les données de qualité fondamentales sont nécessaires, pour une aide à la décision dans l'industrie comme au niveau politique.

Les données sont organisées en lignes, en colonnes et en tableaux. Elles sont indexées afin de pouvoir facilement trouver les informations recherchées à l'aide d'un logiciel informatique.

De telles données sont nécessaires pour communiquer correctement l'impact environnemental des produits comme dans les déclarations environnementales de produit EPD.

Ce besoin a été identifié et reconnu par de nombreuses parties prenantes dans le monde, telles que : l'Ademe, le Sustainability Consortium aux Etats Unis, pour les approches d'analyse de cycle de vie ACV de produits.

Parmi ces bases de données pour les approches d'analyse de cycle de vie, on peut citer :

8.1. ECOINVENT :

Le centre ECOINVENT a été fondé en 2000 et est constitué de différents pôles de recherche en Analyse de Cycle de Vie ACV incluant des départements des écoles polytechniques fédérales de Zurich (ETHZ) et de Lausanne (EPFL), et des instituts tels que le Paul Scherrer Institut, le laboratoire fédéral suisse pour l'essai de matériaux et la recherche (EMPA), la station fédérale de recherches en agro écologie et agriculture (Agroscope FAL Reckenholz). Le but de ce centre est d'établir et de fournir à l'industrie, des inventaires de cycle de vie transparents et détaillés, afin d'améliorer la performance environnementale de leurs produits, procédés et leurs services.

L'exhaustivité des flux pris en compte et la transparence dans les calculs font de cette base de données une référence internationale chez les praticiens d'Analyse de Cycle de Vie.

8.2. La base INIES :

La base de données INIES est la base de données française de référence sur les caractéristiques environnementales et sanitaires des matériaux et produits de construction.

Les FDES (Fiches de Déclarations Environnementales et Sanitaires) sont fournies par les fabricants ou syndicats professionnels au format de la norme NF P01-010.

Le fonctionnement de la base INIES est assuré par le conseil de surveillance (veille à l'éthique et à la déontologie de fonctionnement de la base INIES) et le comité technique (veille à la collecte et au traitement des données ainsi qu'à l'actualisation du contenu de la base). La base INIES compte à ce jour plus de 500 FDES.

8.3. DEAMtm:

Le logiciel d'analyse de cycle de vie TEAM™ est livré avec une base de donnée de départ appelée DEAM™ Starter Kit et qui comprend plus de 300 modules à utiliser dans la construction de pratiquement tous les systèmes.

Ces modules couvrent depuis la production de carburant jusqu'aux différents moyens de transports utilisés et depuis la production chimique jusqu'au moulage du plastique.

8.4. OKOBAU.DAT :

C'est une base de données allemande rassemblant plus de 700 EPD spécifiques et génériques, publiées par l'organisme BMVBS sur un site internet. Cette base, à l'instar de la base INIES pour le logiciel ELODIE, rassemble les données d'entrée pour les logiciels GaBi.

Conclusion:

L'analyse de cycle de vie ACV d'un produit, est une méthode d'évaluation des impacts environnementaux d'un produit ou d'un procédé sur l'ensemble du cycle de vie de ce produit, autrement dit « du berceau à la tombe ».

Les impacts environnementaux sont définis à partir d'un bilan des substances extraites et rejetées à l'environnement à chaque étape de la vie du produit : phase de production, d'utilisation, et la phase de traitement en fin de vie.

Des indicateurs, décrivant les principaux problèmes environnementaux, permettent de lier un flux de substance à un impact sur l'environnement.

L'objectif principal de l'analyse de cycle de vie ACV est la détermination des étapes du cycle de vie qui pourraient être optimisées pour réduire l'empreinte environnementale d'un produit.

L'évaluation de cycle de vie ACV, implique l'évaluation des impacts sur l'environnement d'un produit, d'un processus, ou d'un système, en regardant le cycle de vie entier du produit ou du processus de l'extraction de matières premières à la fin de vie du produit en passant par les phases de construction, de fabrication ou de production, et de transport .

L'analyse de cycle de vie ACV est un outil important utilisé dans la gestion environnementale et des efforts de conception écologique. La sélection de conception de produit, des matières, des processus, la réutilisation ou des stratégies de recyclage et des options de disposition finales exige l'examen minutieux d'énergie et la consommation de ressource aussi bien que des impacts sur l'environnement associés à chaque alternative de conception.

Chapitre III :

*Analyse de Cycle de Vie ACV
des bâtiments.*

I. Introduction :

Les bâtiments sont souvent pointés du doigt dans le cadre de la lutte contre le changement climatique. Ils contribuent ainsi à 23% des émissions directes de gaz à effet de serre et 47 % des consommations d'énergie finale. Ils sont aussi à l'origine d'autres conséquences environnementales semblant pouvoir compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs besoins (épuisement des ressources, eutrophisation des rivières, acidification des pluies, production de déchets radioactifs...).

L'éco-conception d'un bâtiment consiste en la prise en compte de ces paramètres, pas uniquement en son optimisation énergétique, mais aussi dans la réduction des impacts environnementaux.

La démarche présentée dans ce chapitre constitue un outil d'aide à la décision. Par une quantification précise des impacts environnementaux, permettant aux acteurs de la construction de faire le choix le plus cohérent par rapport à leurs objectifs.

L'Analyse de cycle de vie ACV consiste à quantifier les impacts environnementaux d'un bâtiment du « berceau à la tombe », c'est-à-dire de l'extraction des matières premières jusqu'à l'élimination des déchets. Les normes ISO 14040 et 14044 spécifient les principes et le cadre applicables à la réalisation des analyses du cycle de vie ACV du bâtiment.

Initialement développée pour les produits industriels, cette méthode est aujourd'hui utilisée dans le secteur de la construction à deux échelles (Chevalier, 2009), et qui sont :

- a) les matériaux et produits de construction.
- b) les bâtiments ou ouvrages de construction.

À l'échelle du bâtiment, plusieurs outils ont été développés dans le monde, pour permettre la réalisation de ces analyses de cycle de vie ACV (Peuportier et al., 2004).

Une troisième échelle est aujourd'hui en cours de développement : celle du quartier c'est l'échelle urbaine, les relations entre le quartier et la ville, sont prises en compte par des données concernant les réseaux (d'eau potable et des eaux usées,..), les transports (pistes cyclables, distance au transport en commun, etc.), les déchets (distances à une décharge, des usines de recyclage, un incinérateur), le climat, et au niveau national, les moyens de production d'électricité et d'autres procédés et sources d'énergie renouvelable.

2. Analyse de cycle de vie des bâtiments:

L'analyse de cycle de vie ACV a été élaborée en premier lieu pour des produits industriels. Son application au secteur du bâtiment s'effectue de manière prudente : chaque bâtiment est en général unique, et entretient des liens forts tant avec le site dans lequel il s'insère qu'avec ses usagers (Peuportier et Polster, 2009).

De plus, la stabilité dans le temps, sur laquelle repose l'analyse de cycle de vie ACV est problématique dans le cas d'un bâtiment avec ses spécificités (durée de vie longue et modifications qui apparaissent pendant la durée de vie).

Les analyses de cycle de vie appliquées au bâtiment sont utiles (Reiter, 2010) pour comparer:

1. Deux systèmes sur la durée (totale ou partielle) de leur cycle de vie.
2. L'impact des différentes phases d'un même système.
3. Un système et ses alternatives.
4. Un système à une référence.

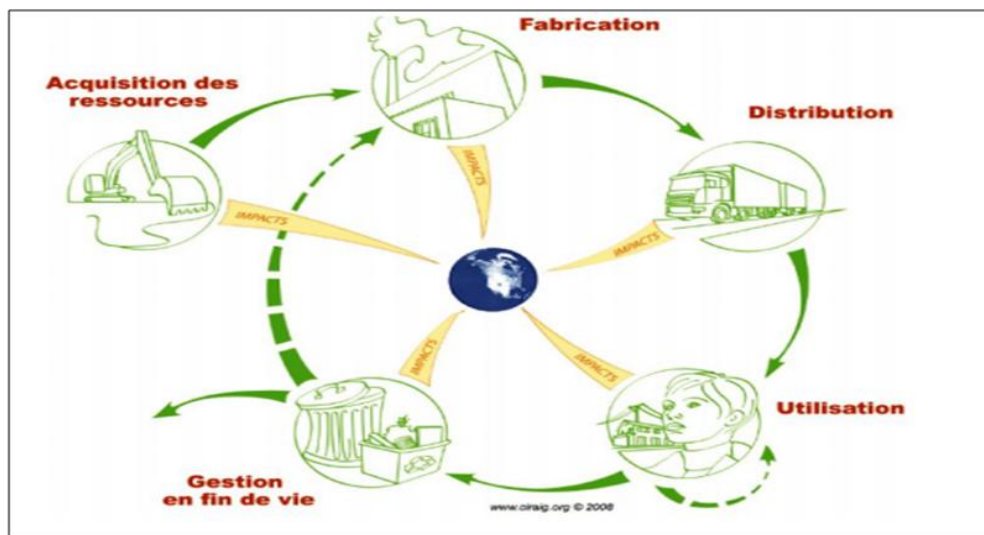


Figure3.1a : Approche du cycle de vie. Source : CIRAIG, 2013.

CIRAIG : Centre International de Référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services.

2.1 Le bâtiment : typologie et composition :

Le modèle d'analyse de cycle de vie ACV bâtiment concernant « le système bâtiment » a pour but de permettre l'évaluation des impacts environnementaux d'un projet de bâtiment, ce afin de mieux comprendre les liens entre conception et impacts, en vue de les minimiser par l'élaboration de différentes variantes et d'autres alternatives.

Il prend en compte (Popovici, 2006) :

1. La construction du bâtiment et la production de ses éléments constitutifs.
2. L'utilisation du bâtiment (des bâtiments, des infrastructures,...).
3. Sa rénovation, les différentes opérations qui peuvent être menées.
4. Sa démolition et la gestion des déchets en découlant.

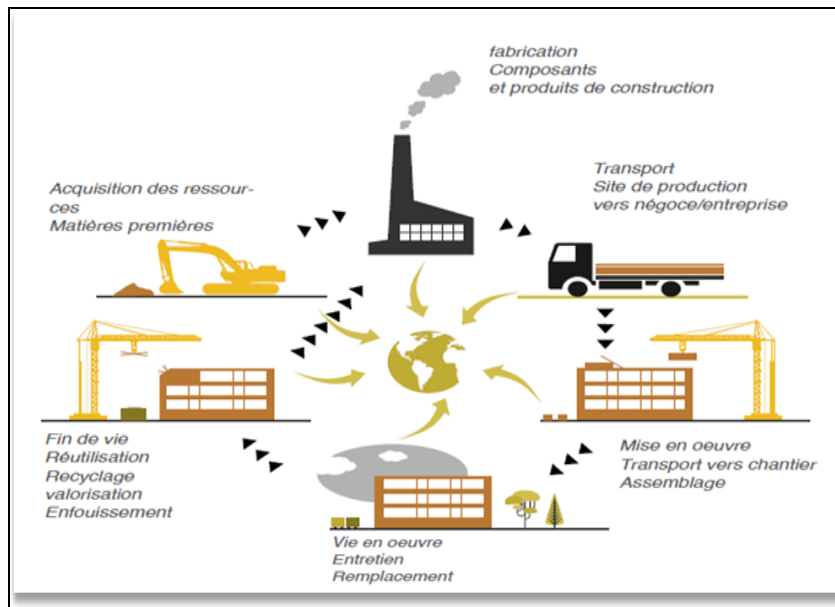


Figure3.1b : Phase du cycle de vie de Bâtiment. Source : Auteur, 2017.

2.2 Application de l'analyse du cycle de vie ACV d'un bâtiment :

Pour toute approche d'analyse de cycle de vie ACV comparative et simplifiée, les différentes phases du cycle de vie des bâtiments étudiés sont regroupées en quatre principales étapes. (Tableau 3.2).

- **La première étape** (la pré-production) : c'est la phase amont du projet de bâtiment, elle englobe la conception et la fabrication des produits et matériaux de constructions, des agrégats, et l'extraction des matières premières et la conception des plans du futur bâtiment.
- **La deuxième étape** (la construction), soit la mise en œuvre du chantier, elle comprend l'aménagement du terrain, la construction des gros œuvres, des murs et les menuiseries extérieures ainsi que les travaux de finitions. Le transport y est également représenté puisque la majorité des impacts est produite par le transport des matériaux, et des machineries lors de la construction bâtiment.

- **La troisième phase** concerne l'utilisation du bâtiment comprenant la consommation d'eau et d'énergie ainsi que l'entretien courant des espaces du bâtiment (bâtiment de logements, de services ou de bureaux).
- **La phase suivante** englobe l'entretien qui consiste à remplacer les matériaux de constructions et systèmes à la fin de leur cycle de vie utile pour maintenir la qualité de l'état et l'efficacité du bâtiment.
- **Finalement**, le démantèlement et la fin de vie comprend la réutilisation, la récupération, le stockage, le recyclage, la valorisation, l'enfouissement et l'élimination des matériaux ainsi que la remise en état du terrain (réutilisation de l'assiette pour autre bâtiment ou d'autres usages).

Pré-production		Conception des plans Extraction des matières premières Conception et fabrication des matériaux
Construction	Aménagement du terrain	Examen de la constitution du sol (Etude 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 Menuiseries intérieurs (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 3.2 : Principales étapes du cycle de vie d'un bâtiment.

Source : Thiers, 2008.

Aussi, l'analyse de cycle de vie ACV simplifiée devra être circonscrite autour d'objectifs, d'une fonction, d'une unité fonctionnelle et d'un champ de l'étude, similaires ou identiques afin d'obtenir des résultats comparables, valides et reproductibles (Tab.3.2).

2.3. Méthodologie d'analyse de cycle de vie ACV des bâtiments :

Les bâtiments constituent des systèmes complexes dans lesquels interviennent de nombreux phénomènes physiques et comportementaux. L'éco-conception nécessite donc d'identifier les principales causes des impacts environnementaux et d'étudier des solutions permettant de réduire ces impacts. L'analyse de cycle de vie de bâtiment est utilisée dans cet objectif. Elle est généralement appliquée de manière statique.

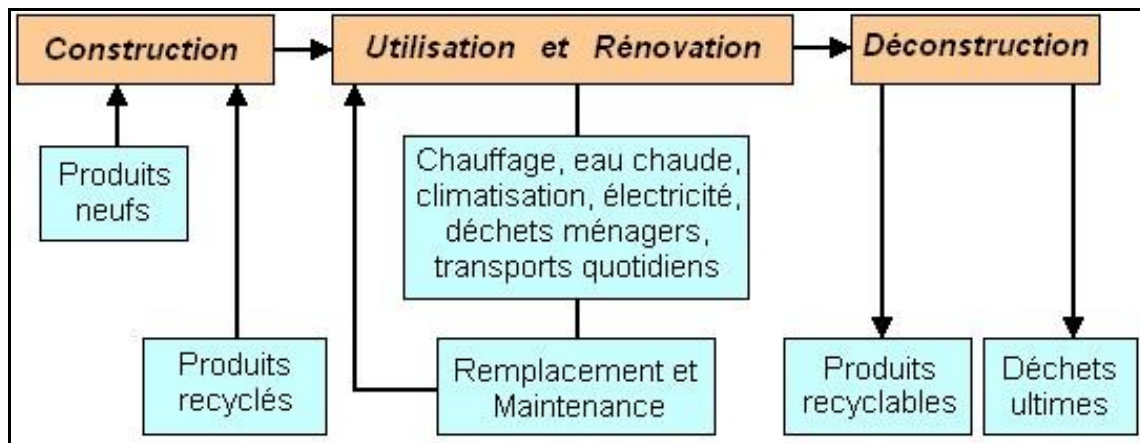


Figure 3.3 : Principe de l'ACV d'un bâtiment. Source : Thiers, 2008.

2.4. Modélisation d'un bâtiment :

La fonction du système étudié par le modèle dépendra de la définition que l'utilisateur en fera. Il faudra néanmoins conserver lors de la comparaison de deux variantes (ou plusieurs) des fonctions semblables. Ainsi, l'unité fonctionnelle d'un bâtiment est définie par :

- Une **quantité** (il s'agit du nombre d'occupants, ou d'utilisateurs).
- Des **fonctions** assurées par le bâtiment (logement, bâtiments tertiaires, mixtes...).
- Une **qualité** de fonctionnement (niveau de confort: consignes de températures données, luminosité intérieure suffisante, ventilation, accessibilité..).
- Un **temps** (la durée de vie supposée d'un bâtiment neuf, par défaut, est 80 ans).

Les frontières du système sont elles aussi soumises aux choix de l'utilisateur, et plus particulièrement au type d'étude menée, et à son but.

Un bâtiment possède deux types de frontières (Popovici, 2006) :

- Une première frontière « **physique** », qui sera considérée comme incluant tous les éléments physiques du système (enveloppes du bâtiment, intérieurs du bâtiment, ...).
- Une frontière plus large des « **flux** », celle-ci permet de prendre en compte les procédés amont et aval qui sont considérés dans le système (production d'énergie, d'eau, fabrication et transport des matériaux, traitement des déchets...), et d'exclure ceux qui ne le seront pas.

Le système bâtiment et ses frontières peuvent donc être représentés selon le schéma suivant :

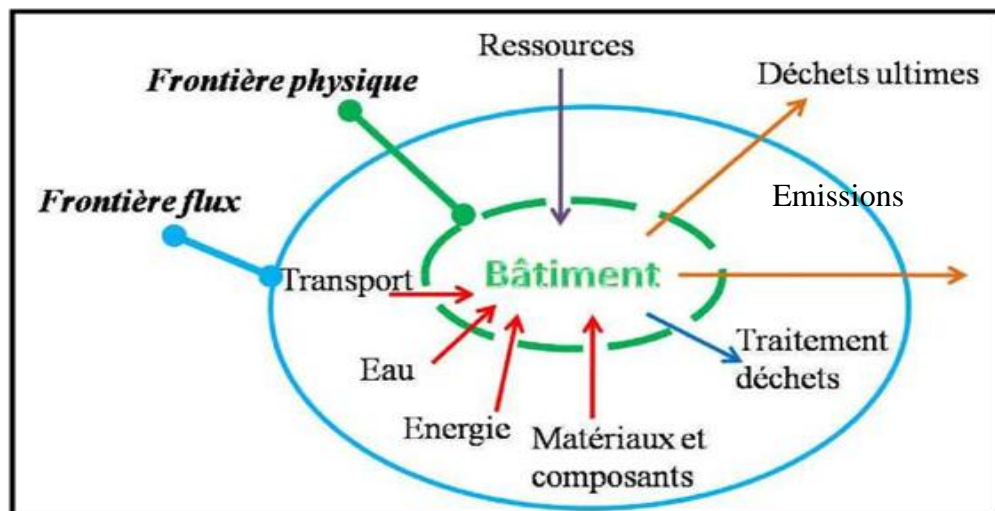


Figure3.4 : Frontières du système pour le bâtiment. Source: Peuportier, 2008.

Les infrastructures qui interviennent dans la production des éléments du bâtiment, dans la production d'énergie, d'eau, le transport des matériaux seront prises en compte dans le calcul des inventaires et impacts (Frischknecht & al, 2004), ce afin d'assurer la rigueur de l'analyse. La définition de cette frontière permet au système d'interagir avec l'environnement extérieur via des flux élémentaires :

- a) **Flux de ressources** : eau, énergie, matières premières.
- b) **Emissions** : gazeuses, liquides, solides.

Selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie ACV, les substances puisées et émises dans l'environnement sont comptabilisées (phase d'inventaire) puis des indicateurs environnementaux sont déduits pour les quatre phases du cycle de vie du bâtiment :

1. Construction: extraction des matières premières, production et transport des matériaux.
2. Utilisation: climatisation, chauffage, éclairage, ventilation, consommation d'eau... .
3. Rénovation: remplacement des composants (fenêtres, revêtements du sol, plafond et des murs des bâtiments).
4. Démolition : transport et traitement des déchets (récupération et mise en décharge).

Il convient également de tenir compte des aspects liés au comportement des usagers de ce bâtiment (consommation d'eau et d'énergie, traitement des déchets, pourcentage de tri et de recyclage, etc.) et des caractéristiques du site d'implantation (distances de transport, climat) et des sources d'énergies utilisées (pour l'éclairage, la climatisation, chauffage, et la ventilation). La simulation du cycle de vie est effectuée sur une période d'analyse, qui correspond à la durée de vie d'un bâtiment (par défaut, 80 ans pour les bâtiments neufs), utilisant un pas de temps annuel (Trocmé, 2009).

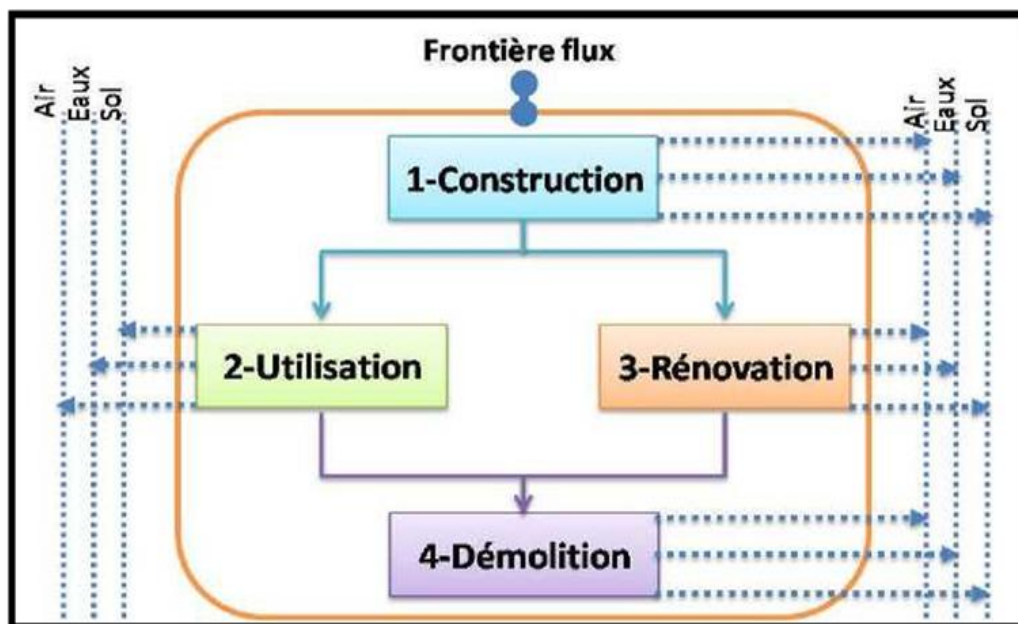


Figure 3.5 : Les phases du cycle de vie d'un bâtiment. Source : Popovici, 2006.

2.5. Indicateurs environnementaux considérés pour le bâtiment:

Les données environnementales concernant les caractéristiques des matériaux et les différents procédés inclus dans le système bâtiment (production d'énergie et d'eau, traitement

des déchets et des eaux usées, transports) sont issues de la base Ecoinvent développée par des instituts de recherche suisses, et des fiches de déclarations environnementales et sanitaires FDES des différents matériaux.

Un inventaire de cycle de vie est fourni pour chaque procédé, système, ou produit et matériau, en fonction de l'unité de référence considérée (par exemple kg pour les matériaux, TJ pour l'énergie, tonne-km pour le transport des marchandises).

Il s'agit d'un inventaire de l'ensemble des flux de matière et d'énergie entrant (input) et sortant du système (output), tels que :

- a) Ressources utilisées : matériaux rares, eau, énergie.
- b) Emissions dans l'air, dans l'eau et le sol : CO₂ dans l'air, ammoniacque dans l'eau, divers métaux dans le sol.
- c) Déchets créés : déchets inertes, toxiques, radioactifs...

Les indicateurs environnementaux sont alors évalués sur tout le cycle de vie du bâtiment (tab.3.3).

Et donc d'autres alternatives peuvent être envisagées, étudiées et ensuite comparées pour améliorer ce bâtiment du point de vue environnemental.

N°	Indicateur Environnemental	Unité
1	Demande cumulative d'énergie	GJ
2	Eau utilisée	m ³
3	Epuisement des ressources abiotiques	kg antimoine
4	Déchets produits	t
5	Déchets radioactifs	dm ³
6	Effet de serre (a00 ans)	t CO ₂ eq.
7	Acidification	kg SO ₂ eq.
8	Eutrophisation	kg PO ₄ ³⁻ eq
9	Dommmage à la qualité des écosystèmes dus à l'écotoxicité	PDF*m ²
10	Dommmage à la santé	DALY
11	Production d'ozone photochimique	kg C ₂ H ₄ eq
12	Odeur	m ³ air

Tableau 3.3: Les indicateurs environnementaux évalués. Source : Peuportier, 2010.

PDF*m² : pourcentage d'espèces disparuesxm²xan

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

Chaque outil de simulation utilise entre 8 et 16 indicateurs dans son modèle d'évaluation de cycle de vie du bâtiment (Lasvaux & al, 2010).

L'intérêt de cette approche ACV du bâtiment, est d'éviter tous les transferts de pollution. Les outils d'analyse traduisent les différents indicateurs environnementaux sous forme d'un éco-point ou d'éco profils, de diagrammes radars, ou sous formes d'histogrammes, de données numériques et tableaux Excel.

Cette normalisation a ainsi pour avantage de mettre en relief l'importance relative des différents indicateurs servant à l'évaluation énergétique et environnementale du bâtiment.

Les indicateurs sont également présentés en montrant la contribution relative de chacune des phases du cycle de vie du bâtiment. Ce qui permettra de mieux cerner les possibilités d'améliorer un bâtiment durant la conception du projet (Peuportier, 2008) pour la phase concernée (la plus impactant).

3. L'Approche ACV, une analyse multicritère des bâtiments:

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 » efficaces et détaillées (fig.3.6).

L'inventaire de cycle de vie peut atteindre plusieurs centaines de flux de consommation de ressources et d'émissions de polluants dans les bases de données existantes (cas de la base Ecoinvent) pour chaque matériau et procédé de construction considéré.

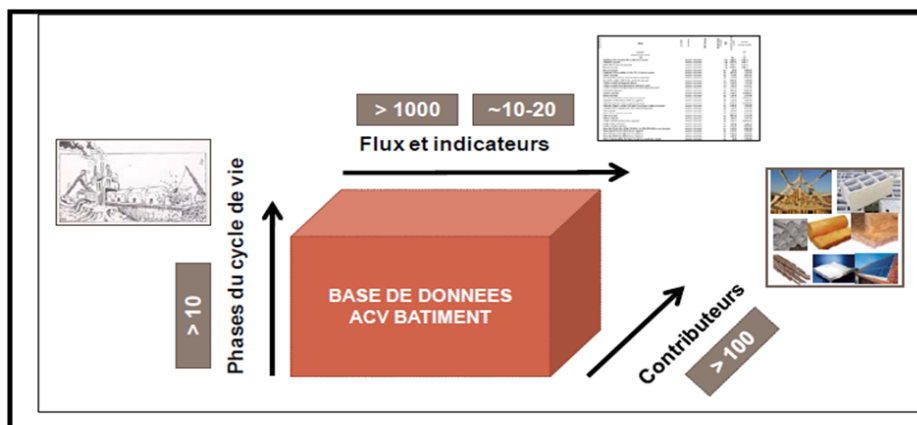


Figure 3.6. L'ACV appliquée aux bâtiments. Source : Pastel, 2008.

Ces données doivent être collectées de l'extraction des matières premières jusqu'à sa fin de vie. La simplification peut donc agir sur ces trois aspects que sont

- a) les paramètres ACV (flux et indicateurs).
- b) les contributeurs.
- c) les phases du cycle de vie.

La démarche proposée aborde également l'analyse des choix méthodologiques de la base de données pour l'ACV des bâtiments.

En effet, les travaux déjà réalisés ont souvent mis en avant un effet « boîte noire » sur les outils existants (fig.3.7).

L'analyse méthodologique porte sur la définition du modèle, des frontières du système ou de la nomenclature d'inventaire de cycle de vie du bâtiment.

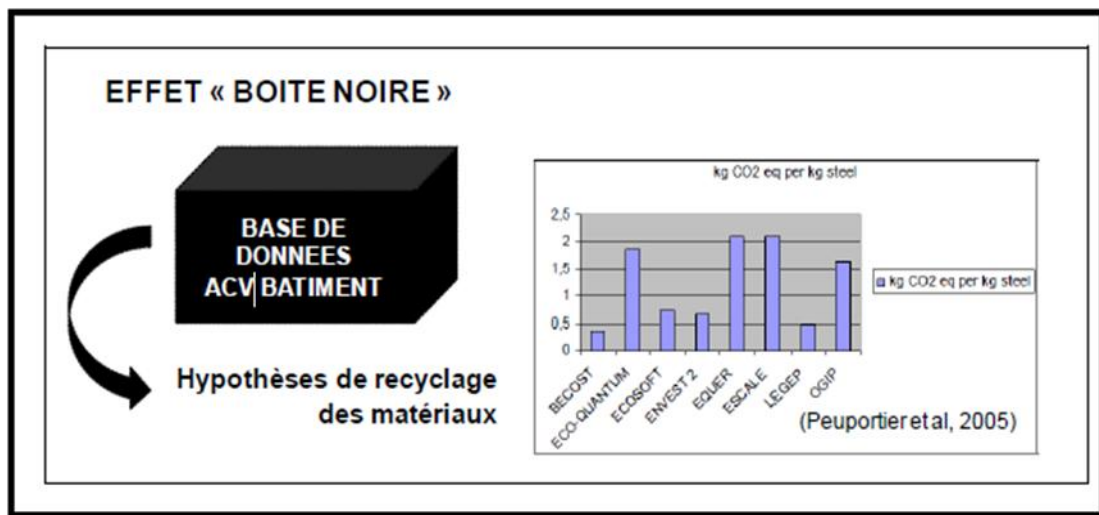


Figure 3.7 Effet « boîte noire » des bases de données d'ACV bâtiment. Source : Pastel ,2008.

4. Les outils d'évaluations des bâtiments:

A l'échelle des bâtiments, de nombreux outils d'évaluation ont été développés.

Ils permettent entre autres d'utiliser les données d'analyse de cycle de vie ACV fournies par les industriels pour les matériaux et les produits de construction destinés au secteur du bâtiment.

Ces outils s'appuient sur les développements amont concernant les bases de données ACV et la définition de principes méthodologiques généraux.

Quatre caractéristiques définissent tout modèle d'analyse de cycle de vie ACV du bâtiment :

1. la définition des frontières du système en fonction des objectifs de l'étude.
2. la phase de calcul de l'inventaire de cycle de vie des contributeurs.

3. la phase d'évaluation des impacts.
4. la phase présentation des résultats et d'interprétation (normalisation des impacts, analyses de sensibilité, communication à une tierce partie).

Près d'une quinzaine d'outils pour l'ACV des bâtiments existent à l'échelle internationale. Des synthèses bibliographiques récentes permettent de dresser un état de l'art complet sur ces outils (Peuportier et al, 2008).

4.1. Projets de recherche et de normalisation sur l'ACV des bâtiments

Ainsi différents projets de recherche dans le monde ont été conduits depuis une vingtaine d'années. Ils ont permis de faire progresser la démarche et notamment faciliter l'utilisation de ces outils par les acteurs du secteur du bâtiment et disséminer les connaissances en ACV bâtiment.

Citons, par exemple les projets déjà réalisés comme :

a) Le projet **Européen REGENER** : c'est un projet de recherche (1995 et 1996), qui réunissait huit partenaires européens pour proposer une méthodologie commune d'analyse de cycle de vie ACV des bâtiments, une boîte à outils d'aide à la conception et mener les premières investigations sur les méthodes d'évaluation (comparaison de variantes de solutions techniques et de bâtiments).

b) Le projet **Annexe 31** de l'Agence Internationale de l'Energie (2001): son objectif principal est de faire un état des lieux sur les impacts environnementaux des bâtiments et les méthodes servant à les évaluer. Parmi ces méthodes, l'approche analyse de cycle de vie ACV a été présentée et son applicabilité discutée.

c) Le projet **PRESCO** : (2004-2005) l'objectif est de réaliser une comparaison d'outils ACV bâtiment à l'échelle Européenne. La comparaison a été effectuée sur un cas simple d'un cube en béton armé, puis sur une maison à ossature bois.

Elle a permis de comparer des données ACV sur les matériaux (acier, béton) et sur les procédés (électricité, chauffage gaz) pour un indicateur environnemental : le changement climatique.

D'autres nouveaux projets de recherche sur l'ACV bâtiment sont actuellement menés (à partir de 2010).

Ils ont pour objectif d'améliorer la fiabilité des outils existants (consolidation méthodologiques), ainsi que d'améliorer la diffusion de ces outils (développement de méthodes simplifiées) :

d) Le projet **ENSLIC-Building** est coordonné par le Centre de Recherche sur la Consommation de Ressources Énergétiques (CIRCE). Son objectif est de réaliser un état de l'art sur les outils d'ACV bâtiment, les indicateurs environnementaux utilisés, le type de présentation des résultats et les travaux actuels sur la simplification des ACV bâtiments.

e) Le projet **LoRe-LCA** « Low Resource consumption buildings and constructions by use of LCA in design and decision making » a pour principal objectif de comparer les méthodologies d'ACV bâtiment (en intégrant les travaux du CEN TC 350), et d'identifier des limites dans les connaissances actuelles et de proposer des activités de recherches.

f) En France, le projet **COIMBA** a pour objectif de développer un outil opérationnel et consensuel d'évaluation à partir des deux outils français d'ACV bâtiment EQUER puis nova-EQUER et ELODIE (ANR, 2007).

Les projets de normalisation conduits par les instances normatives françaises (AFNOR), européennes (Comité Européen de Normalisation CEN) et internationales (ISO) ont eu ces dernières années pour objectif de développer des méthodologies d'évaluations environnementales des bâtiments. Ces normes, déjà publiées ou en cours d'écriture, permettent de constituer des leviers d'incitation à l'innovation environnementale pour les différents acteurs économiques.

Les dénominateurs communs de ces initiatives ont consisté d'une part à adapter la méthodologie ACV du bâtiment, mais également à diffuser les outils de l'analyse ACV dans la pratique opérationnelle (maître d'ouvrage, bureaux d'études, d'architectes et d'ingénieurs, industriels, entreprises de réalisation et de construction etc...).

4.2. Les outils d'analyse de cycle de vie ACV de bâtiments:

Plusieurs sociétés de construction en Europe, telles que : Bouygues Construction, Eiffage Construction, FLOR, GDF SUEZ et l'IFPEB, ont rédigé collectivement une note de synthèse, pédagogique, sur l'analyse de cycle de vie ACV du bâtiment.

Cette dernière propose «des réponses aux questions pratiques et des éclairages sur les outils

disponibles permettant de choisir les matériaux, des déclaration environnementales des produits (DEP), des fiches de déclarations environnementales et sanitaires (FDES) et leur évolutions par rapport au développement technologique. L'objectif est de réduire l'impact environnemental du bâtiment tout le long de son cycle de vie, de l'extraction des matières premières, leurs transport, la réalisation et durant la phase d'utilisation et jusqu'à la fin de vie.

4.3. Caractéristiques des outils d'analyse de cycle de vie ACV des bâtiments :

Les outils de simulations énergétiques et environnementales dans le cadre de ces approches d'analyses de cycle de vie disponibles sur le marché mondial, sont (Peuportier et al, 2008):

Equer et nova-Equer (Peuportier, 2008), Elodie (CSTB, 2010), Invest (BRE, 2010a), Legep (LEGEP, 2010), Eco-Quantum (IVAM, 2010a), Team Bâtiment (TEAM, 2010), Impact Estimator (Athena Institute, 2010), Bees (NIST, 2010), Ecoeffect (KTH, 2010), Ecosoft (IBO, 2010), Greencalc+ (Sureac, 2010).

Il s'agit d'outils pour l'analyse de cycle de vie ACV des bâtiments, développés à l'échelle internationale, s'appuyant sur différentes approches, reflétant parfois le contexte local d'un pays ou d'une région. Malgré ces différences, il est possible de définir trois dénominateurs communs à tout modèle d'ACV bâtiment (fig. 3.8).

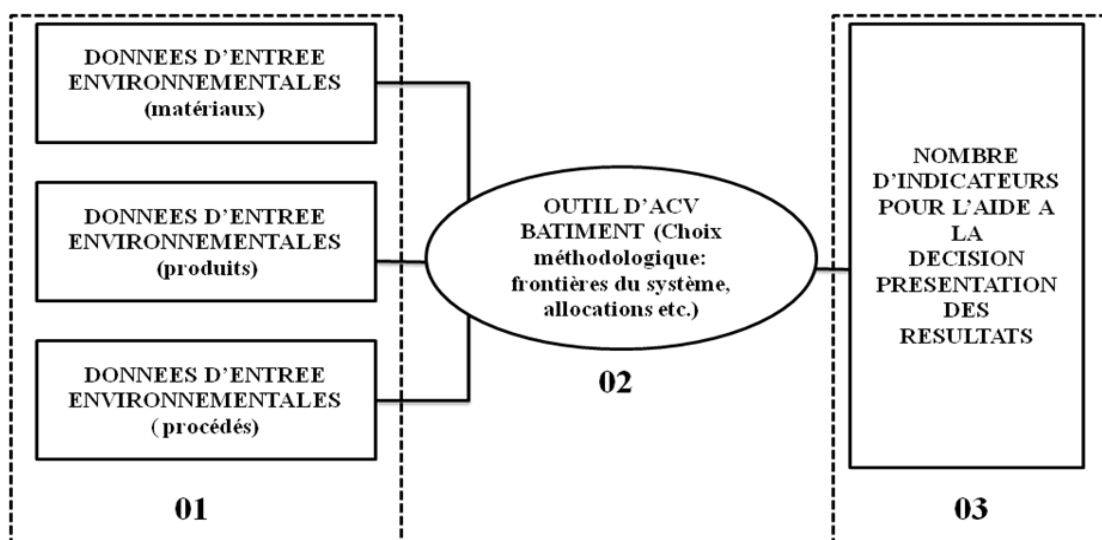


Figure 3.8 : Caractéristiques principales d'un modèle pour l'ACV des bâtiments.

Source: Lasvaux, 2012.

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.

4.3.1. Les données d'entrée environnementales :

Les données d'entrée des outils d'analyse de cycle de vie, sont généralement différentes. Chaque outil utilise sa propre base de données ACV dans la mesure où les données environnementales sont fonction d'un contexte (géographique et technologique).

Par exemple, l'outil canadien Impact Estimator utilise la base de données ATHENA qui est représentative des procédés de fabrication nord-américain.

De même, l'outil hollandais Eco-Quantum utilise la base de données MRPI (milieu relevant product informatie) qui fournit des données représentatives des produits vendus sur le marché hollandais.

En revanche, au sein d'une même zone géographique peuvent coexister plusieurs bases de données.

C'est le cas notamment de la France. L'outil Equer (puis Nova-Equer) utilise la base suisse Ecoinvent tandis que l'outil Elodie utilise les fiches de déclarations environnementales et sanitaires (FDES) de la base de données française INIES.










Logiciels disponibles pour l'ACV des bâtiments	Organisme responsable	Pays	Relié à la base de données ACV	Illustration / Site internet
BEES	National Institute for Standards and Technology	Etats-Unis	BEES Industry data	 www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm/
Eco-bat	HEIG-VD Laboratoire de physique du bâtiment	Suisse	Ecoinvent	 www.eco-bat.ch
EcoEffect	KTH / University of Gävle	Suède	?	 www.ecoeffect.se/
ECO-QUANTUM	IVAM	Pays-Bas	MRPI IVAM	 www.ivam.uva.nl/index.php?id=91&L=1
Ecosoft	Institute für Baubiologie and Bauökologie	Autriche	?	 www.ibo.at/en/ecosoft.htm
ENVEST	Building Research Establishment	Royaume-Uni	BRE Profiles	 http://envest2.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/

Tableau 3.4 : Logiciels pour l'ACV des bâtiments. Source : Lasvaux, 2012.

4.3.2. Les choix méthodologiques:

Concernant les choix méthodologiques et notamment la définition des frontières de l'évaluation, les outils actuels ne possèdent pas les mêmes hypothèses puisqu'ils ont été développés dans des objectifs différents. Par exemple, il existe des outils d'évaluation pour:

- a) l'aide à la conception.
- b) l'aide à l'évaluation.
- c) l'aide à la réhabilitation.
- d) et aussi d'aide aux choix des matériaux.

Différents éléments contribuent et rentrent dans le champ de l'évaluation environnementale d'un bâtiment :

1. les impacts induits par les matériaux de construction.
2. les impacts induits par les produits et systèmes de construction.
3. la consommation d'énergie pendant l'utilisation.
4. la consommation d'eau pendant l'utilisation.
5. le traitement des déchets ménagers (issu de l'usage du bâtiment).
6. le transport des usagers (personnels administratifs).

4.4. Les bases de données utilisées dans les études ACV des bâtiments :

Une base de données (*database* en anglais), permet de stocker et de retrouver l'intégralité de données brutes ou d'informations en rapport avec un thème ou activité. Ces informations sont très structurées, et la base est localisée dans un même lieu et support informatisé.

Chaque base de données est au centre des dispositifs informatiques de collecte, mise en forme, stockage et utilisation d'informations.

Il existe trois types de données pour les matériaux et procédés et systèmes actuellement utilisées dans les outils pour l'analyse de cycle de vie ACV des bâtiments:

1. les données ACV génériques multisectorielles.
2. les données ACV génériques propres au secteur de la construction.
3. les données ACV spécifiques au format EPD.

4.4.1 - les données ACV génériques multisectorielles :

Les bases de données génériques permettent de fournir des données environnementales multisectorielles sur différents systèmes de produits: procédés d'énergie, de transport , de traitement de déchets mais également sur les matériaux , les systèmes et les services.

Les données génériques qui sont actuellement utilisées dans certains outils sont (tab.3.5):

La base suisse **Ecoinvent**, la base européenne **ELCD**, la base de données allemande **GaBi**, la base de données **DEAM**, la base hollandaise **IVAM** et la base américaine **US-LCI**.







Base de données génériques	Organisme responsable	Utilisée dans l'outil d'ACV bâtiment...	Type de données utilisées dans l'outil d'ACV bâtiment	Illustration / Site internet
Swiss Life Cycle Inventories database ecoinvent	Centre Ecoinvent (Suisse)	EQUER LEGEP	indicateurs	 www.ecoinvent.ch
European Life Cycle Database (ELCD)	Joint Research Centre (Europe)	GaBi for Building LCA	inventaire de cycle de vie + indicateurs	 http://lct.jrc.ec.europa.eu/
GaBi Database	PE International (Allemagne)	GaBi for Building LCA	inventaire de cycle de vie + indicateurs	 www.gabi.de
Data for Environmental Analysis and Management	Ecobilan (France)	TEAM	inventaire de cycle de vie + indicateurs	 www.ecobilan.com
IVAM Database	IVAM (Pays-Bas)	ECO-QUANTUM	indicateurs	 www.ivam.uva.nl
US LCI Database	National Renewable Energy Laboratory (Etats-Unis)	Impact Estimator	indicateurs	 www.nrel.gov/lci/

Tableau 3.5 : Bases de données génériques utilisées dans les outils pour l'ACV des bâtiments

Source : Lasvaux, 2012.

4.4.2 - les données ACV génériques pour le secteur de la construction:

Les bases de données génériques propres au secteur de la construction proposent des données sur les matériaux de construction exprimées généralement sous la forme d'indicateurs.





Base de données propres au secteur de la construction	Organisme responsable	Utilisée dans l'outil d'ACV bâtiment...	Type de données utilisées dans l'outil d'ACV bâtiment	Illustration / Site internet
ATHENA Life Cycle Inventory Database	ATHENA Institute (Canada)	Impact Estimator	indicateurs	 www.athenasmi.org/tools/database/index.html
Ökobau	Deutsche G Nachhaltiges Bauen (Allemagne)	LEGEP	indicateurs	 www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html
KBOB	Office fédéral suisse des constructions et de la logistique (Suisse)	Eco-bat	indicateurs	 www.kbob.ch
Inventory of Carbon & Energy (ICE)	University of Bath	-	indicateurs	 www.bath.ac.uk/mech-eng/serf/embodied

Tableau 3.6: Bases de données ACV génériques pour le secteur de la construction

Source : Lasvaux, 2012.

4.4.2.1. Base de données Athena:

Athéna Impact Estimator for buildings, utilisant la méthode TRACI 2.0 (Athena Sustainable Materials Institute, 2015b). Outil spécialisé pour l'ACV du secteur de la construction en Amérique du Nord, utilise sa propre base de données intégrée d'inventaire du cycle de vie (ICV), et la méthode d'évaluation de l'impact environnemental TRACI (Bare *et al.*, 2003).

Athena propose deux options de modélisation: par systèmes constructifs ou par matériaux. Ces paramètres incluent la localisation du bâtiment, sa durée de vie, et la consommation annuelle d'énergie si elle est connue.

4.4.2.2. Base de données KBOB:

La base de données **KBOB** est une base de données Suisse qui fournit les indicateurs de consommation d'énergie et d'émissions de CO₂, notamment pour les matériaux et procédés couramment utilisés dans la construction (KBOB, 2011).

4.4.2.3. Base de données ÖKOBAU:

ÖKOBAU.DAT C'est une base de données Allemande rassemblant plus de 700 EPD spécifiques et génériques, publiées par l'organisme BMVBS sur un site internet.

Cette base rassemble les données d'entrée pour les logiciels GaBi BUILD-IT ou LEGEP (Leroy, 2009). Les données sont exprimées à l'aide des indicateurs recommandés dans la nouvelle norme européenne prEN 15804 (CEN, 2010b).

4.4.3. Bases de données ACV spécifiques aux déclarations environnementales :

Un troisième format de bases de données ACV est apparu depuis quelques années, en lien avec la parution des normes ISO 14025 et ISO 21930 relatives aux déclarations environnementales de produits (ISO, 2006) et (ISO, 2007).

Ces déclarations environnementales sont un outil essentiel de communication entre les différents acteurs du secteur de la construction (Chevalier *et al.*, 2010).

De nombreuses bases de données au format EPD ont été développées dans différents pays (Tab.3.7) du monde telles que : la base BRE Profiles au Royaume-Uni (BRE, 2010b), la base IBU en Allemagne (IBU, 2010), la base INIES en France (INIES, 2010), la base RTS en Finlande (RTS, 2010), la base MRPI aux Pays-Bas (MRPI, 2010) et Envirodec, développée en Suède (Envirodec, 2010).








Base de données au format EPD	Organisme responsable	Utilisée dans l'outil d'ACV bâtiment...	Type de données utilisées dans l'outil d'ACV bâtiment	Norme de référence	Illustration / Site internet
BRE Environmental Profiles	Building Research Establishment (Royaume-Uni)	Envest II	indicateurs	ISO 14025	 www.bre.co.uk
IBU Umwelt-Deklarationen (EPD)	Institut Bauen und Umwelt e.V. (Allemagne)	LEGEP	indicateurs	ISO 14025	 bau-umwelt.de
INIES (FDES)	Protocole multipartite (AFNOR, 2008) (France)	ELODIE	indicateurs (selon norme NF P01-010)	NF P01-010	 www.inies.fr
MRPI® (Milieu Relevante Product Informatie)	NVTB (Pays-Bas)	ECO-QUANTUM	indicateurs	ISO 14025	 www.mrpi.nl
RT Environmental Declaration	RTS (Finlande)	?	quelques flux d'inventaire de cycle de vie + indicateurs	ISO 14025	 www.rts.fi
The International EPD® System	The International EPD Consortium (Suède à l'origine)	?	indicateurs	ISO 14025	 www.environdec.com
EPD Norge	The Norwegian EPD Foundation (Norvège)	?	indicateurs	ISO 14025	 www.epd-norge.no

Tableau 3.7 : Bases de données au format EPD utilisées dans les outils pour l'ACV des bâtiments.

Source : Lasvaux 2012.

4.5. Présentation des bases de données :

Deux bases de données sont fournies avec le logiciel nova-Equer, outil de la simulation environnementale par approche d'analyse de cycle de vie ACV des bâtiments :

1. La base EcoInvent.
2. La base INIES.

Il très important de signaler que pour assurer la cohérence des résultats des données d'une base ACV, ne peuvent être mélangées aux données d'une autre base (les modes de calculs des bases ne sont pas compatibles).

4.5.1. Base de données Ecoinvent :

La base de données environnementale Ecoinvent a été développée par le « Swiss Center for Life Cycle Inventories » de Lausanne. Elle répertorie plusieurs milliers de données sur des produits ou des procédés souvent utilisés dans les analyse de cycle de vie ACV et étant utilisable dans de nombreux domaines tels que l'agriculture, la chimie, l'énergie, le transport.

Pour un produit donné, on distinguera les phases de production (fabrication, transport, chantier), utilisation et de fin de vie.

Les informations sont rassemblées sous forme de données d'inventaires et d'indicateurs d'impacts environnementaux, calculés suivant différentes méthodes.

Cette base de données est très flexible, vu que les fiches Ecoinvent sont établies pour des produits ou des procédés élémentaires, l'utilisateur peut composer lui-même les produits finis dont il a besoin pour l'étude environnementale.

4.5.2. La base de données INIES :

Les données issues de la base INIES sont appelées « fiches de déclaration environnementale et sanitaire » (FDES).

Une des particularités du programme français est, d'une part de contenir des informations sur la partie sanitaire (par exemple les émissions dans l'air intérieur pendant la vie en œuvre du produit), et d'autre part de présenter, au côté des résultats d'indicateurs d'impacts sur le cycle de vie complet, des inventaires de cycle de vie pour chaque étape du cycle de vie:

Production, Transport, Mise en œuvre, Vie en œuvre et Fin de vie.

Flux	Unité	Production	Transport	Mise en œuvre	Vie en œuvre	Fin de vie	Total cycle de vie	
							Par annuité	Pour toute la DVT
Consommation de ressources naturelles énergétiques								
Bois	kg							
Etc.								
Indicateurs énergétiques								
Energie Primaire Totale	MJ							
Etc.								
Consommation de ressources naturelles non énergétiques								
Antimoine	kg							
Etc.								
Consommation d'énergie et de matières récupérées								
Energie récupérée	MJ							
Etc.								
Consommation d'eau								
Eau : lac	kg							
Etc.								
Emissions dans l'air, l'eau et le sol								
Hydrocarbures (non spécifiés)	g							
Etc.								
Déchets valorisés et éliminés								
Déchets dangereux	kg							
Etc.								

Tableau 3.8 : Tableau des flux environnementaux reportés pour chaque FDES

Source : Lasvaux, 2012.

5. Les déclarations environnementales :

Les déclarations environnementales au format de la norme NF P01-010 sont appelées en France « Fiches de déclaration environnementale et sanitaire » (FDES ou FDE&S).

Le terme générique DEP est « déclaration environnementale de produits » (Environmental Product Déclaration, en anglais, EPD), (Chevallier, 2009).

Par conséquent, comparer des produits à l'échelle produit sans intégrer leur lien avec le reste du bâtiment, peut conduire à des comparaisons écartées.

Il existe deux types de déclarations environnementales (FDES) dans le programme français :

5.1. Les FDES individuelles (Fiches de Déclarations Environnementales et Sanitaires) :

Ces données correspondent à une référence commerciale d'un produit (ou à une gamme de produit) (AFNOR, 2004). Et donc, les FDES individuelles sont le plus souvent la propriété d'un fabricant.

5.2. Les FDES collectives : (Fiches de Déclarations Environnementales et Sanitaires)

Ces données correspondent à des données représentatives d'un « produit-type » qui ont été collectées sur les différents sites de production retenus pour l'étude.

Elles sont ensuite mises en commun pour établir une déclaration unique dédiée à ce « produit-type » (AFNOR, 2004). Par conséquent, les FDES collectives sont le plus souvent la propriété d'un groupe de fabricants, d'industriels selon la filière (bois, céramique, peinture, verre, etc....).

5.3. Lien entre déclarations environnementales et certifications d'ouvrages :

Il existe actuellement au plan international un certain nombre d'outils d'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments, dans leur phase de conception.

Nous citons ici 5 cinq outils parmi les plus connus dans le monde:

5.3.1. LEED, (Leadership Energy Environnement Design), l'outil américain, est majoritairement appliqué aux Etats Unis, mais difficilement exportable, car adapté aux réglementations américaines.

L'approche d'évaluation est subjective et les coefficients d'évaluation sont arbitraires.

On retrouve cette certification dans d'autres pays tels que (USA, Mexique, Brésil Japon, Italie, Espagne, Emirats Arabes Unis, Australie, Chine et Corée).

5.3.2. GBTool, l'outil d'origine canadienne, est complet, en libre accès Internet, très complexe et plutôt réservé à des experts. Il traite des phases de conception (avant projet détaillé APD et projet) et d'exploitation.

5.3.3. BREEAM, l'outil anglais, est l'un des premiers apparus. Très utilisé en Angleterre et au Canada, développé par le Building Research Establishment, cet outil a une approche portée sur le processus de conception dans les toutes premières phases, lors de l'esquisse.

5.3.4. CASBEE, (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency) le premier outil japonais, reprend les principes de l'outil LEED. Il est basé sur un rapport entre impacts environnementaux extérieurs et impacts intérieurs. Sa particularité, il introduit la notion de culture et de caractère régional de la construction.

5.3.5. ESCALE, l'outil français présenté à la conférence Green Building Challenge 2002, (GBC 2002), n'est pas accessible ni diffusé en France. Il simule au stade conception les performances attendues sur toutes les cibles, sans aborder les aspects de confort ou de coût. (Mandellena, 2006).

5.4. Méthodes d'évaluation et d'analyse des bâtiments:

Les méthodes d'évaluation de bâtiments concernent essentiellement des bilans (d'énergie ou de matière) se déduisant de grandeurs mesurables telles que : la consommation d'énergie, d'eau, et d'électricité, les températures, les débits de ventilation, l'étanchéité de l'enveloppe, les propriétés thermiques des matériaux etc. Le cadre de ces bilans doit être précisément exposé : flux étudiés, limite du système, hypothèses.

5.4.1. Le bilan d'énergie d'un bâtiment et ses représentations :

Établir le bilan énergétique d'un bâtiment revient à évaluer les approvisionnements énergétiques et les usages de cette énergie dans le bâtiment. Le système étudié est le bâtiment, délimité par son enveloppe, ainsi que l'ensemble des systèmes énergétiques qui interagissent avec ce bâtiment, tels que les unités de cogénération, les chaudières, les panneaux solaires, les échangeurs géothermiques, les unités de climatisation, de ventilation, etc...

5.4.2. Comptabilité énergétique et bilan des flux :

Il n'existe pas de méthode normalisée unique destinée à l'établissement du bilan énergétique d'un bâtiment.

Néanmoins, il est possible d'en construire une à partir de la méthode de comptabilité énergétique destinée à l'établissement du bilan énergétique d'un pays, par exemple :

1. en Algérie, l'APRUE a pour mission l'évaluation de la production locale et la consommation d'énergie.
2. en France, la méthode utilisée par l'Observatoire de l'Énergie de la Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières OEDGEMP.

La méthode consiste à l'évaluation, sur une année, de la production locale, de l'importation, de l'exportation et de la variation des stocks d'énergie, d'une part, et par l'évaluation des divers postes de consommation d'énergie, d'autre part.

Compte tenu de la définition du bâtiment à énergie positive proposée, cette méthode semble facilement adaptable à l'étude d'un bâtiment durable.

6. Analyse de Cycle de Vie des bâtiments dans leurs phases de vie :

Les impacts environnementaux du bâtiment, tout d'abord, liés aux prélèvements de ressources naturelles nécessaires à la construction de ces derniers (fig.3.9).

Le procédé de fabrication d'un bâtiment, par analogie avec un procédé industriel, nécessite au départ une extraction de matières premières dans l'environnement, son transport, sa transformation, sa fabrication, son usage et jusqu'à la fin de vie.

6.1. Les étapes du cycle de vie d'un bâtiment :

L'analyse de cycle de vie ACV ainsi que l'analyse en coût global d'un bâtiment doivent couvrir l'ensemble de son cycle de vie. Ceci signifie que la connaissance générale des activités ayant un impact sur l'environnement en lien avec chaque étape du cycle de vie est requise dès le début. D'après la norme du comité européen de normalisation CEN 350, les étapes du cycle de vie du bâtiment comprennent :

1. L'étape de production des matériaux.
2. L'étape de construction.
3. La phase d'utilisation.
4. La phase de rénovation.
5. et La phase de la fin de vie.

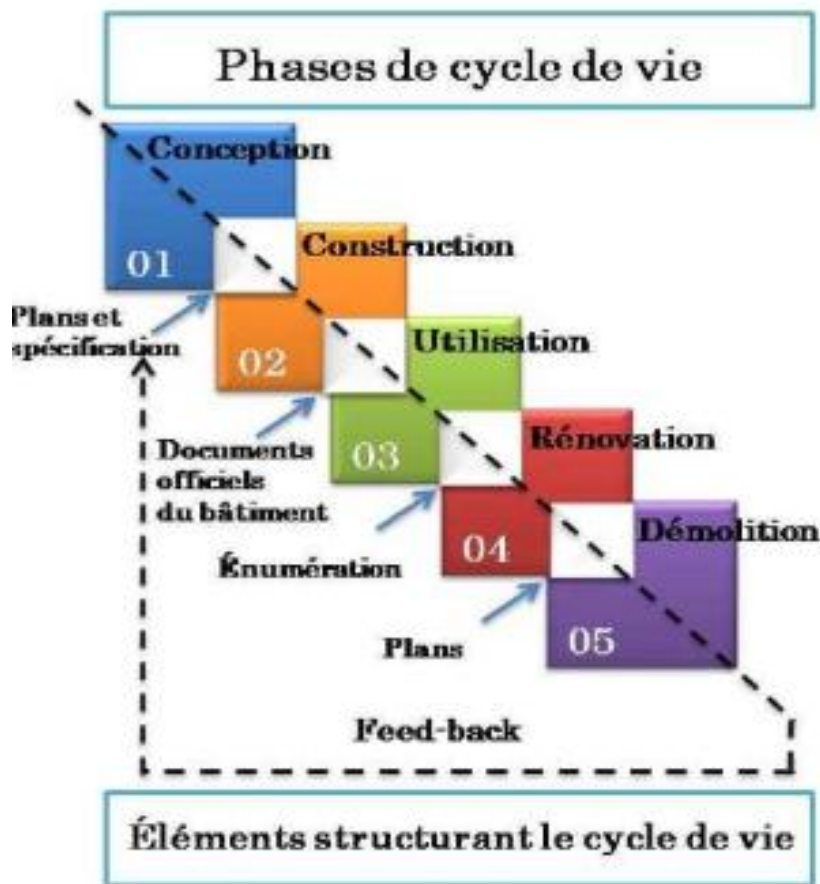


Figure 3.9 : Les étapes de cycle de vie d'un bâtiment. Source : www.safe-energie.be.

Toute analyse de cycle de vie ACV de bâtiment a besoin d'une base de données concernant ces constructions, et selon le niveau du détail attendu de cette analyse de cycle de vie ACV, on peut avoir donc une grande variété et quantité de données.

Le bâtiment, durant son cycle de vie couvre un certain nombre de phases ; dans chacune entre elles les unités de référence pour les acteurs concernés (architectes, usagers, maîtres d'ouvrage...) généralement se diffèrent par leur nature ainsi par leur décideurs.

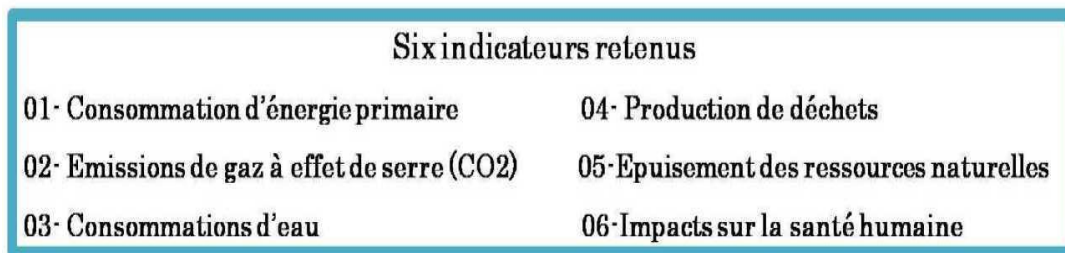
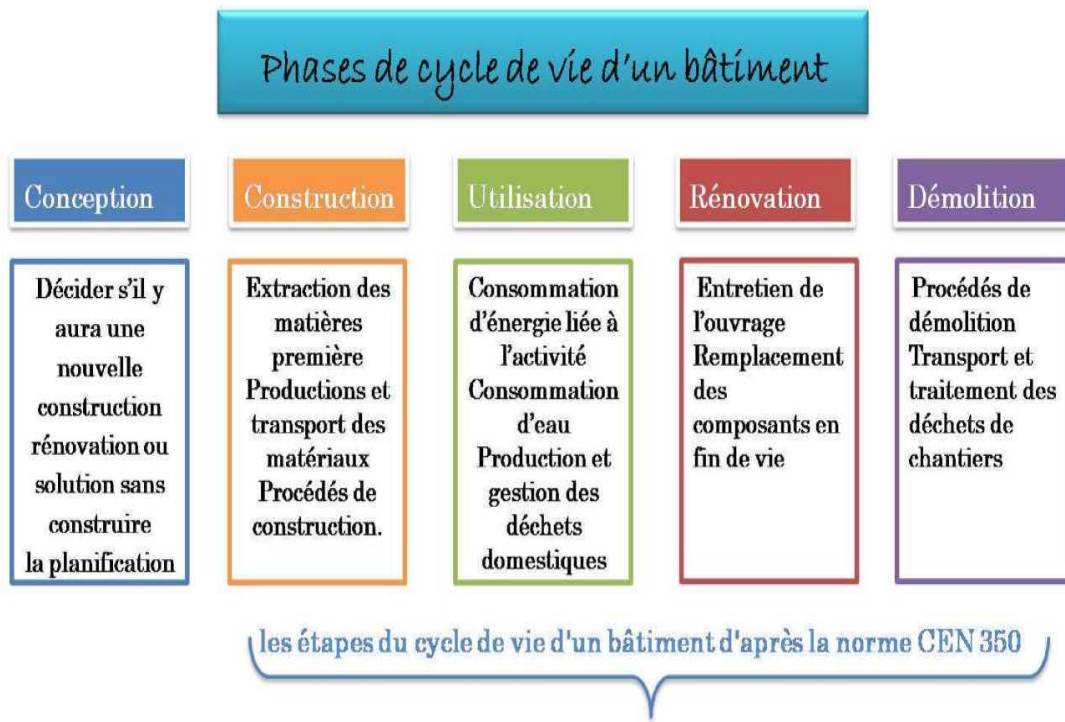


Figure 3.10 : Les phases de vie d'un bâtiment. Source : la norme CEN/C350

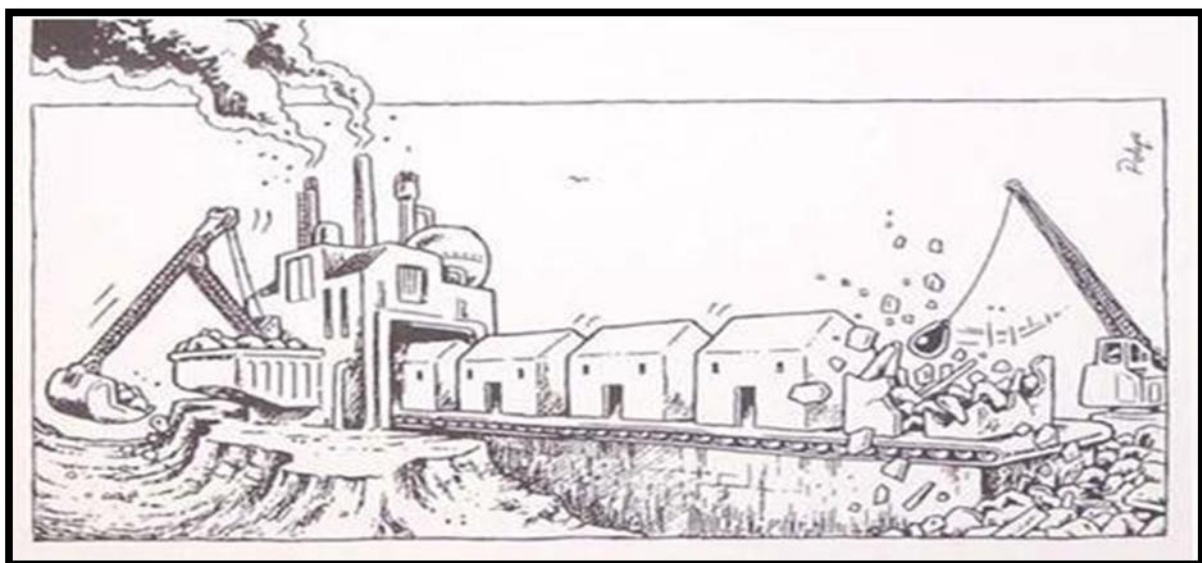


Figure 3.11. Représentation du cycle de vie d'un bâtiment tiré de Woolley et al (2000)

Source : Pastel, 2008.

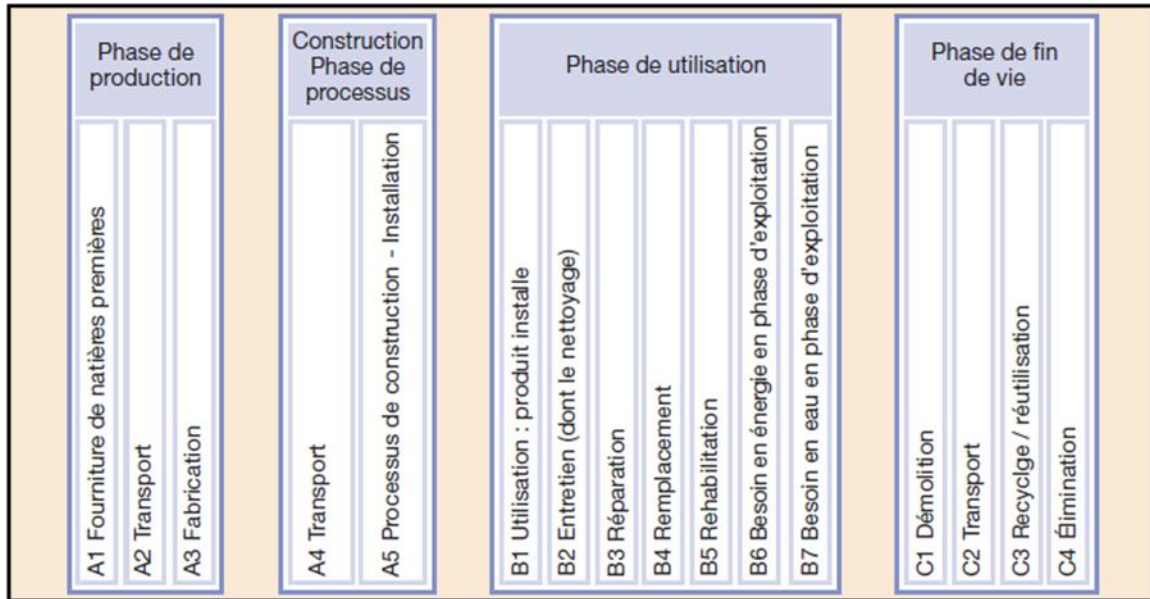


Tableau3.12 : étapes de cycle de vie d'un bâtiment. Source : la norme CEN/C350.

- **Durant la phase de conception**, les unités fonctionnelles sont principalement déterminées par les maîtres de l'œuvre (les architectes et les ingénieurs).
- **Durant la phase de construction**, les unités fonctionnelles sont déterminées par les entreprises chargées pour la réalisation de ces bâtiments.
- **Dans la rénovation**, l'état de dégradation du bâtiment définit les opérations nécessaires pour la rénovation, et ce diagnostic est réalisé généralement suivant des éléments homogènes déterminés par des spécialistes.
- **Dans la phase de démolition**, la nature des matériaux utilisés et la pollution probable du sol doivent s'établir, les unités de référence sont le volume de différents types de déchets.

L'établissement de ces étapes permet la sélection de celles qui sont considérées dans le cycle de vie des deux bâtiments. L'ACV devra être circonscrite autour d'objectifs, d'une fonction, d'une unité fonctionnelle et d'un champ de l'étude similaires ou identiques afin d'obtenir des résultats valides, reproductibles et comparables.

7. Vers une conception environnementale des bâtiments:

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.

a) la phase de programmation (l'initiative) : cette décision est basée sur l'évaluation des besoins d'un organisme ou sur une étude de marché, tous les souhaits, demandes et contraintes doivent alors être formalisées dans un programme définissant les niveaux de performance attendus, et certaines options techniques souhaitées, ainsi que des caractéristiques liées au site et aux fonctionnalités du futur bâtiment.

b) la phase de conception : à cette étape, les contraintes urbaines sont intégrées pour définir la forme générale du bâtiment ou de l'ensemble de bâtiments projetés.

1. **l'esquisse** : les principaux choix architecturaux portant sur les formes et les options techniques sont effectués, permettant d'affiner l'estimation des coûts et de délais.
2. **la conception détaillée** : les composants du bâtiment sont de plus en plus précis, et on intègre, les parties intérieures, les équipements, les coûts et les délais actualisés.

c) la phase d'élaboration (la prescription) : la spécification précise des différents matériaux et composants permet une estimation rigoureuse des investissements et des délais très précis.

d) la phase de construction (l'organisation du chantier): le travail concerne les plans de détail d'exécution, la planification du chantier, intégrant le personnel, les machines et autres équipements. Il s'agit de réaliser les fondations, les gros œuvres, les seconds œuvres, et les travaux de finitions et de corps d'état secondaires (CES) en coordonnant les activités des différentes entreprises qui interviennent.

Après la construction c'est **la réception du bâtiment**: le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage contrôlent la conformité au programme, et de la réalisation du bâtiment par rapport aux objectifs, ainsi que les garanties sont formulées et des finitions sont demandées si nécessaire.

Durant ces différentes phases, le processus de décision peut être modélisé par trois étapes :

1. Identification d'un problème.
2. Elaboration d'un ensemble de solutions.
3. Choix d'une solution.

L'utilisation des outils d'évaluation environnementale doit se faire dans cette troisième phase du processus de décision : la comparaison des différentes variantes et l'aide à la sélection de la solution retenue.

L'identification des problèmes environnementaux intervient en amont : elle est intégrée dans les contraintes réglementaires, dans le programme du maître d'ouvrage ou est le fruit de la culture environnementale des acteurs. L'élaboration de solutions dépend de la culture technique des acteurs et de leur expérience pratique de la qualité environnementale.

7.1. La conception pour une qualité environnementale du bâtiment:

La conception des bâtiments est un point très important à considérer dans une approche d'analyse de cycle de vie ACV appliquée à ce dernier, car elle est la base de tous les choix qui en découlent.

Lors de la conception, les besoins des futurs occupants et usagers sont évalués ce qui permet d'effectuer un choix particulier pour les matériaux utilisés leur niveau de rendement énergétique, l'emplacement, la qualité de l'air, la consommation d'énergie et d'eau, etc. (Boucher et Blais, 2010).

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 3.13 : Caractéristique distinctives des bâtiments écologiques

Source : Lucuik et al. ,2005.

7.2. Système de gestion d'un projet de bâtiment :

Pour mener à bien une approche de qualité environnementale dans son projet de bâtiment, le maître d'ouvrage adoptera une démarche qualité appelée "management environnemental de l'opération", ou gestion du projet QEB (Qualité Environnementale du Bâtiment).

7.2.1. Etapes du projet de bâtiment durable:

On distingue deux étapes qui structurent le déroulement d'un projet de bâtiment :

- **1ère étape** : Le système de gestion de projet démarrera 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 bien 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.

- **2ème étape**: 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 composée de 6 thèmes est donc proposée, dans le but de faciliter la mise en œuvre d'une gestion de projet de bâtiment répondant aux exigences de QEB:

Thème 1	Intégration du bâtiment dans le site, conception bioclimatique
Thème 2	Performances énergétiques et gestion e 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 3.14 : thèmes sur la Qualité Environnementale des Bâtiments.

Source: HQE-urbanisme/publications, 2013.

- **Thème 1 – Intégration du bâtiment dans le site, 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...

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

- **Thème 2 – Performances énergétiques 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.

• **Thème 3 – Choix des matériaux et des procédés de construction**

L’objectif de ce thème est double :

D’une part, il s’agit d’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) Etablir la liste des matériaux, les volumes, la distance d’approvisionnement, en construction/rénovation Etablir 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.

• **Thème 4 – Santé et confort thermique, acoustique et visuel**

L’objectif est d’assurer de bonnes conditions 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 Maîtrise du confort thermique	-Assurer un bon confort thermique. - Réduction des apports internes. - Dimensionnements et répartitions des vitrages selon l’orientation
4.3 Confort visuel	-Assurer un éclairage naturel confortable et une bonne luminosité de l’ensemble du bâtiment. Et surtout dans les SDB, WC et les parties communes. - Eviter 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

• **Thème 5 – Gestion des nuisances et des déchets sur le 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	- 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.

• **Thème 6 – Suivi 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 maîtrise du coût d’exploitation et par conséquent de maîtrise des charges pour les usagers du bâtiment.

6.1 Affichage et surveillance	-Présenter le coût 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'utilisateur. - 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

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 relatif 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), (Polster, 1995).

7.2.2 L'unité fonctionnelle : d'un bâtiment recouvre de nombreux aspects, notamment :

-La surface utile : l'unité fonctionnelle du bâtiment peut par exemple être ramenée à 1 m² de surface utile. Néanmoins les différents types d'usages impliquent différentes conditions (consignes de température, scénarios d'occupation, exigences réglementaires,...). Ces données seront comparées à des valeurs moyennes de références pour chaque usage. A technologie égale, on notera de plus que les performances environnementales exprimées par m² décroissent souvent en fonction de la taille du bâtiment.

Ainsi la méthode d'ACV de bâtiment retenue ici comprend la définition de types de bâtiments prenant en compte :

- a) **L'usage** : l'unité fonctionnelle considère un usage donné (logements, bureaux, usage mixte...) dont vont dépendre les exigences en termes de confort et les caractéristiques d'occupation et les conditions d'usages.
- b) **Le niveau de confort**, qui dépend de plusieurs facteurs : thermique (définition d'une température maximale pour une année type ou prise en compte des Degrés-Jours d'Inconfort (DJI)), luminosité (prise en compte de l'éclairage moyen naturel ou du Facteur de Lumière du Jour (FLJ)), acoustique (avec des dispositifs de protection dont les caractéristiques sont réglementées), qualité de l'air (débits hygiéniques réglementaires)...
- c) **Une durée de vie** : du fait de la longue durée de vie des bâtiments, la phase d'utilisation représente un des facteurs clés des impacts environnementaux. Ainsi ceux-ci vont être fortement déterminés par le comportement thermique et énergétique du bâtiment, impliquant des consommations de chauffage et/ou de climatisation permettant d'atteindre les consignes de température définies dans **l'unité fonctionnelle**. Ainsi l'évaluation des impacts environnementaux liés à la phase d'utilisation se base sur la simulation thermique dynamique STD du bâtiment.

A partir de la saisie de la description d'un bâtiment (géométrie, composition et caractéristiques des parois, caractéristiques des menuiseries, localisation géographique), de scénarios d'occupation et d'utilisation, des différents équipements présents et des données météo liées au site choisi, le modèle calcule les besoins énergétiques du bâtiment et les températures des différentes zones thermiques considérées (Peuportier et Sommereux, 1990).

Ce modèle permet la simulation relativement détaillée du comportement thermique des bâtiments, puisqu'il intègre notamment les apports solaires, les apports internes, les échanges thermiques liés à la conduction, la convection et la radiation, les échanges d'air entre l'intérieur et l'extérieur, ainsi que l'inertie thermique des différentes zones thermiques.

8. L'analyse de cycle de vie ACV de matériau :

Analyser le cycle de vie d'un matériau, d'un produit ou d'un service permet de se rendre compte de la pression qu'il exerce sur les ressources et l'environnement (consommation d'énergie, et émissions). Cela permet ensuite d'étudier les alternatives d'amélioration du produit et essayer de réduire cette pression (Energie/Impact).

L'analyse de cycle de vie ACV d'un produit vise à évaluer systématiquement les effets environnementaux de la vie de produit, d'évaluer aussi les flux (matières et énergie) entrant et sortant (input et output) à chaque étape de la vie du produit.

8.1. Résultats de l'analyse de cycle de vie de matériau :

Un matériau ou produit qui obtient des bons résultats lors de l'analyse de cycle de vie est un produit qui :

- Utilise peu de ressources naturelles (matières, énergies) lors de sa fabrication, de son utilisation ou de son élimination.
- Utilise des ressources naturelles renouvelables et/ou recyclées et recyclables lors de sa fabrication.
- Possibilité de réutilisation ou de recyclage à la fin de sa vie.
- Ne contribue pas ou peu à la pollution, impacts, émissions, réchauffement climatique, et ne détruit pas les écosystèmes, et ne porte pas atteinte à la biodiversité tout le long de sa vie (fabrication, utilisation, élimination).
- Contribue à la sauvegarde ou la reconstitution des écosystèmes et de la biodiversité.

8.3. La valorisation du cycle de vie des matériaux :

Valoriser le cycle de vie d'un matériau entrant dans la composition du bâtiment c'est de permettre d'en retarder le remplacement, ou en permettre son recyclage. La conception des détails, en particulier les liaisons entre composants, l'adéquation du matériau à l'usage et l'entretien sont des moyens de profiter pleinement, ou de prolonger, la durée de vie utile du matériau et par la suite celle du bâtiment considéré.

8.4. Le choix des matériaux :

Le choix des techniques constructives, des systèmes et des matériaux de construction constitue la synthèse d'analyse des contraintes appliquées au projet de bâtiment.

Parmi les critères d'analyse, on retrouve entre autres: les contraintes de stabilité, fonctionnelles et performantielles (la résistance mécanique, thermique ou hydrique, la masse, la résistance au feu; à l'usure et aux intempéries); l'esthétique; les impacts sur la santé et sur l'environnement, et le coût.

Pour évaluer et comparer l'impact environnemental global d'un matériau à un autre, on peut utiliser des outils se basant sur l'analyse de cycle de vie. Les résultats d'une telle analyse s'ajoutent à ceux concernant les performances thermiques, pour offrir une vision plus large des enjeux environnementaux liés au choix d'un matériau.

L'analyse de Cycle de Vie (ACV), aussi appelée en anglais « LCA » (Life Cycle Assessment), permet d'évaluer le bilan environnemental des matériaux ou d'un produit sur toute la durée de vie du bâtiment, de l'acquisition des matières premières à sa production, son utilisation, son traitement en fin de vie, son recyclage et sa mise en déchet (décharge).

Concrètement les analyses cycle de vie permettent d'établir des bases de données permettant de réaliser l'écobilan d'un élément, d'une paroi, de l'enveloppe ou plus largement du bâtiment dans sa globalité.

Différents outils d'évaluation utilisant le principe des analyse de cycle de vie ACV sont disponibles et constituent une solide base de référence pour les études destinées à orienter le choix des techniques constructives et des matériaux sur la base de critères environnementaux.

Nous identifions deux principales typologies d'outils :

a) Les outils **check-list**, évaluent les résultats d'ACV pour des produits, composants ou matériaux, les outils du CRTE (centre de Ressources des technologies pour l'Environnement -Luxembourg), les produits certifiés **Cradle 2 Cradle**, la base des données INIES répertoriant les FDES (Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire) qui fournissent les données environnementales d'un matériau sur l'ensemble de son cycle de vie.

b) Les outils « **Ecobilan** », ou logiciels spécifiques, permettent de réaliser une évaluation environnementale d'une paroi originale sur la base de ses matériaux et constituants. Par exemple ECO-BAT (Suisse), ECOSOFT (Autriche), BAUBOOK (Autriche), etc...

Leur principe est de veiller à choisir, pour une performance technique et technologique équivalente, le matériau ou le produit de construction qui a le moins d'impact possible sur l'environnement sous les mêmes conditions.

8.5. Indicateurs pour le choix des matériaux :

Sur l'ensemble du projet de bâtiment, une prise en compte efficace des cycles de vie ACV du bâtiment et des matériaux s'apprécie en fonction :

- De la fréquence des interventions de rénovation.
- De minimiser les coûts et des déchets nécessaires pour opérer ces changements.
- Du potentiel de réaffectation des espaces
- Opter pour les matériaux recyclés ou réutilisés dans la construction de bâtiment.
- Opter pour les matériaux naturels et recyclables dans le projet par rapport au volume ou au coût total en matériaux.

8.6. Objectifs pour le choix des matériaux :

Le choix des matériaux écologiques, adaptés au contexte avec une valorisation de leur cycle de vie, est présenté selon trois paliers :

a. Objectif minimum:

Concevoir des assemblages de façon à ce qu'il soit possible de remplacer et récupérer des matériaux ou d'accéder aux techniques et aux trémies techniques en démontant et sans démolir indûment. Utiliser des matériaux et techniques qui favorisent la longévité des composantes, et qui sont adaptés aux sollicitations (intempéries /usure...).

b. Objectif conseillé:

Privilégier l'utilisation de matériaux écologiques et les matériaux issus de la récupération, de matériaux recyclés et/ou recyclables. Choisir des matériaux minimisant les impacts sur l'environnement par un choix orienté par une analyse de cycle de vie ACV produits.

c. Objectif optimum:

Favoriser l'utilisation de matériaux naturels ou entièrement recyclables. Identifier pour chacun des matériaux et composants de la construction, les risques sur la santé et orienter les choix sur base de l'impact « 0 ». Anticiper, dès la conception, les processus de déconstruction des parois et composants.

8.7. Impacts du produit et impacts du bâtiment :

Certains produits revendiquent une part des impacts évités par le bâtiment du fait de leur usage dans celui-ci. Ainsi, les isolants thermiques pour les murs, les sols et les toitures ainsi que les vitrages isolants assurent le confort et les performances attendues au niveau du bâtiment, et ils permettent d'économiser de l'énergie et donc de diminuer les impacts sur l'environnement.

9. L'échelle de l'impact :

Toute approche d'analyse de cycle de vie ACV comprend une partie d'entrants « inputs » (ressources) et une partie de sortants « outputs » (impact, émissions et autres effets), dans le cas d'un bâtiment l'échelle de ces impacts est cruciale dont ils peuvent être situés dans les niveaux suivants :

9.1. Général ou global :

Il n'y a plus une limite supérieure, généralement il comprend les impacts continentaux comme la pollution de l'air et celle des surfaces maritimes.

9.2. Régional :

Ce niveau d'impact inclut plus ou moins les écosystèmes continus d'une région ou de plusieurs régions. La méthode la plus simple est d'associer au régional et plans de villes les impacts dus aux activités humaines dans le secteur de la construction.

9.3. Local :

L'impact de bâtiment à cette échelle concerne le site en affectant le microclimat autour du bâtiment. Le terrain de parcelle d'assiette de la construction peut faire partie de cette échelle.

9.4. Intérieur du bâtiment :

Le climat intérieur s'influe par certains types d'impacts (EASE, 2010).

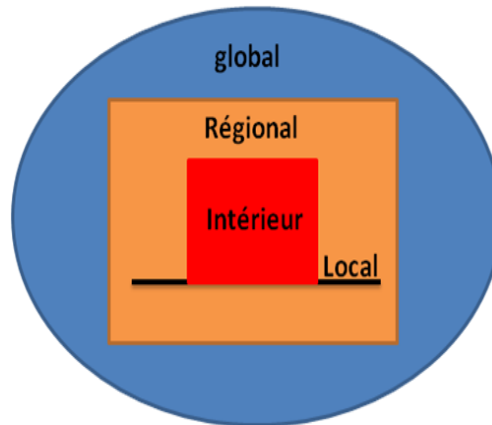


Figure3.15 : L'échelle de l'impact environnemental. Source : Auteur 2017.

10. Outils d'analyse de cycle de vie ACV de bâtiment :

Plusieurs logiciels d'analyse de cycle de vie des bâtiments sont disponibles pour les acteurs du secteur du bâtiment, on présente 2 logiciels les plus utilisés en Europe(France) :



10.1. Elodie : permet de mesurer l'impact global des bâtiments sur l'environnement. Développé en 2008 par le Centre Scientifique et Technique des Bâtiment CSTB(France).

C'est un outil d'aide à la décision. Elodie utilise les fiches FDES de la base INIES pour le calcul des impacts environnementaux du bâtiment, ainsi que les données de la base de données suisse Ecoinvent.

Pour la réalisation d'une ACV avec Elodie, le projet est décomposé en îlots puis en zones. Dans chaque bâtiment six contributeurs sont à remplir, correspondant à différentes origines d'impacts environnementaux sur le cycle de vie du bâtiment :

- Contributeur composant : matériaux de construction et équipements.

- Contributeur énergie : consommation d'énergie en phase utilisation.
- Contributeur eau : consommation d'eau en phase utilisation.
- Contributeur déplacement : trajets des occupants (transport des usagers).
- Contributeur chantier : impacts liés à la construction non pris en compte dans les FDES.
- Contributeur déchets : production de déchets en phase utilisation.

Les quantitatifs de matériaux utilisés dans le bâtiment étudié sont à entrer manuellement dans le contributeur composant d'Elodie. Il faut ensuite leur attribuer une FDES.

Pour le contributeur énergie, les données doivent être également entrées manuellement après avoir réalisé une simulation thermique dynamique STD du bâtiment dans un autre logiciel.

Pour quantifier les impacts environnementaux, 17 indicateurs sont déterminés dans les FDES. Cependant, seuls 9 d'entre eux sont exploitables par tous les contributeurs d'Elodie (tab 3.16).

Indicateur	Unité	Remarque
Changement climatique	[kg équivalent dioxyde de carbone CO ₂]	Potentiel de réchauffement des gaz à effet de serre sur une période de 100 ans.
Acidification atmosphérique	[kg équivalent de dioxyde de soufre SO ₂]	Contribution aux pluies acides et au dépérissement des forêts
Formation d'ozone photochimique	[kg équivalent d'éthylène C ₂ H ₄]	Formation d'ozone dans les basses couches de l'atmosphère liée à la décomposition de composés organiques volatiles
Consommation de ressources énergétiques – énergie primaire totale	[kWh]	Concerne la quantité d'énergie primaire consommée sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment.
Consommation de ressources énergétiques – énergie non renouvelable	[kWh]	Ne concerne que la part d'énergie primaire consommée pour le cycle de vie du bâtiment qui est issue d'énergie non renouvelable.
Consommation d'eau	[L]	Eau consommée sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment.
Déchets dangereux éliminés	[kg]	Quantité de déchets dangereux produits sur le cycle de vie du bâtiment.
Déchets non dangereux	[kg]	Quantité de déchets non dangereux produits sur le cycle de vie du bâtiment.
Déchets radioactifs éliminés	[kg]	Quantité de déchets radioactifs produits sur le cycle de vie du bâtiment.

Tableau 3.16 : Indicateurs environnementaux d'Elodie. Source : Pannier, 2014.

10.2. EQUER /nova-EQUER:

C'est un outil d'analyse de cycle de vie ACV des bâtiments développé depuis 1995 par l'école des Mines de Paris – Paris Tech (centre énergétique et procédés). Développé sous la responsabilité scientifique de Bruno Peuportier, du Centre d'Energétique et Procédés de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, EQUER est un logiciel édité par IZUBA Énergies(France).

C'est l'outil d'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments choisi pour l'ACV des bâtiments tertiaires et en particuliers les écoles primaires, ayant pour but d'aider les acteurs à mieux cerner les conséquences de leurs choix.

Un tel outil d'analyse est utilisable par l'ensemble des professionnels du bâtiment. Un Architecte peut mieux justifier son projet auprès du Maître d'Ouvrage, en présentant un bilan environnemental rigoureux de son projet.

C'est un outil informatique de simulation qui facilite les comparaisons de variantes, constituant ainsi une aide à la décision.

Le chaînage avec un outil de simulation thermique établit le lien entre l'analyse énergétique et celle environnementale, cette démarche résulte du chaînage entre les logiciels ALCYONE, COMFIE et EQUER(nova Equer).

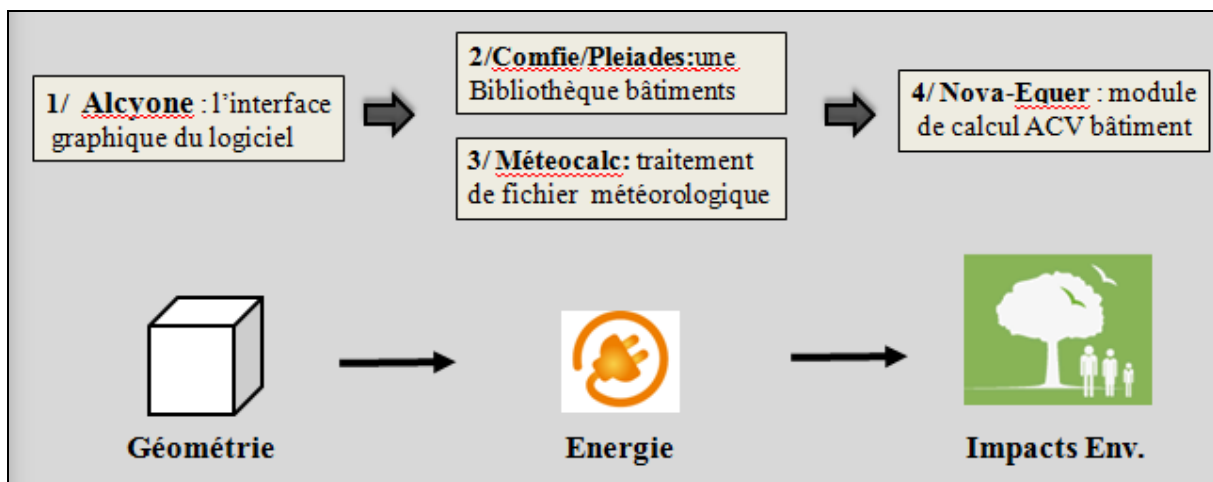


Figure 3.17 : Chaînage des entrées/sorties entre les outils d'évaluation. Source : Auteur, 2017.

Nova-Equer importe alors depuis Pléiades les quantitatifs des matériaux utiles pour la construction du bâtiment, ainsi que tous les besoins de climatisation, de chauffage, besoins d'ECS, production photovoltaïque...qui seront utilisés pour le calcul de la performance environnementale et l'évaluation des principaux impacts environnementaux (effet de serre, eutrophisation, consommation d'eau...) d'un bâtiment issus de sa construction, son utilisation, sa rénovation et sa destruction.

Indicateur	Unité	Remarque
GWP, Effet de serre	[kg équivalent dioxyde de carbone CO ₂]	Potentiel de réchauffement des gaz à effet de serre sur une période de 100ans.
Acidification	[kg équivalent de dioxyde de soufre SO ₂]	Contribution aux pluies acides et au dépérissement des forêts
Eutrophisation	[kg équivalent de phosphate PO ₄ ³⁻]	Apport de substances jouant le rôle d'engrais dans les eaux de surface
Production d'ozone photochimique	[kg équivalent d'éthylène C ₂ H ₄]	Formation d'ozone dans les couches basses de l'atmosphère lié à la décomposition de composés organiques volatiles
Domage à la biodiversité	[PDF.m ² .an] (Potentially Disappeared Fraction)	Concerne l'atteinte à la biodiversité. Cet indicateur s'exprime en pourcentage d'espèces disparues par m ² et par an.
Odeurs	[m ³ d'air malodorant équivalent à 1kg/m ³ d'ammoniac]	Correspond à un niveau de concentration d'une odeur tel que 50% des individus détectent cette odeur.
Domage à la santé	[DALY] (Disability Adjusted Life Years)	Concerne l'impact sur la santé humaine. Cet indicateur s'exprime en années de vie en bonne santé perdues.
Epuisement des ressources abiotiques	[kg équivalent d'antimoine Sb]	Concerne l'appauvrissement des ressources pouvant devenir insuffisantes dans les 100ans à venir.
Demande cumulative d'énergie	[MJ]	Concerne la quantité d'énergie primaire consommée sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment.
Consommation d'eau	[m ³ d'eau puisée]	Eau consommée sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment.
Déchets	[tonne équivalent de déchets ultimes]	Trois catégories de déchets existent : inertes, dangereux et non dangereux. Un coefficient permet d'adapter la quantité de déchets en fonction de la catégorie.
Déchets radioactifs	[dm ³ de déchets]	Quantité de déchets radioactifs produits sur le cycle de vie du bâtiment.

Tableau 3.18 : Indicateurs environnementaux de NovaEquer. Source : Pannier ,2014.

Conclusion

La sensibilisation des décideurs aux problématiques environnementales a suscité diverses initiatives comme le développement de la démarche « haute qualité environnementale » des bâtiments ou la création de nombreux « éco-quartiers », sans que les concepts correspondants soient toujours précisément étayés.

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'analyse de cycle de vie ACV est appliquée au bâtiment, est l'outil le plus scientifique, normé et consensuel permettant l'évaluation environnementale de ce dernier.

Les normes génériques (14040 et 14044) ont rapidement servi de support pour une adaptation plus spécifique aux matériaux, systèmes HVAC du bâtiment.

La diminution des impacts du bâtiment durant son utilisation (par une amélioration de son système l'isolation, des systèmes et des équipements) rend la part des impacts, liée aux matériaux de plus en plus importante.

Elle permettra, ainsi au bâtiment d'avoir moins d'impact sur l'environnement durant son utilisation sur tout le long de son cycle de vie.

L'analyse de cycle de vie fait apparaître le rôle important de l'énergie dans le bilan environnemental global d'un bâtiment. Elle peut permettre d'orienter le développement et d'évaluer l'intérêt de technologies innovantes.

Chapitre IV :

Problématiques Energétiques des bâtiments.

1. Introduction:

Le bâtiment est considéré comme le premier secteur consommateur d'énergie, et le deuxième secteur émetteur de gaz à effet de serre d'origine énergétique après celui du transport.

C'est donc le secteur qui peut offrir des possibilités importantes dans la réduction de la demande et de la consommation énergétique. C'est ainsi qu'une mesure telle que l'analyse de cycle de vie des bâtiments s'impose comme outils d'aides à la décision, et pour avancer dans la politique de la maîtrise de l'énergie, les performances thermiques et la réduction des impacts sur l'environnement.

La conception des bâtiments à faible consommation d'énergie est un processus complexe qui nécessite une approche particulière. En effet, les choix techniques et architecturaux retenus pour ce genre de conception influent de manière très importante sur le comportement énergétique du bâtiment. Ainsi, la forme du bâtiment, sa compacité, son orientation, ont des conséquences significatives sur sa performance énergétique. Aussi, dans la même logique pour le choix des systèmes HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), de chauffage, de climatisation, de ventilation.

Il faut souligner que de mauvais choix peuvent entraîner des défaillances difficilement prévisibles dont l'impact sur la consommation énergétique du bâtiment n'est souvent découvert que lors de son exploitation et durant tout le cycle de vie du bâtiment.

Un maître d'ouvrage qui demanderait dans son programme de "construire un bâtiment qui répond aux besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs" ne faciliterait pas la tâche des maîtres d'œuvre (concepteurs).

L'objectif est, donc, si global qu'il est difficile à appliquer concrètement. Une proposition consiste à le décomposer en sous-problèmes, chaque sous-problème donnant lieu à des objectifs sur des critères spécifiques, une telle décomposition est arbitraire. Différentes structurations sont actuellement proposées, par exemple nous pouvons distinguer trois grands domaines:

1. Les aspects écologiques.
2. Les aspects économiques.
3. Les aspects socioculturels.

Pour chacun d'entre eux, une liste de critères est donnée dans le tableau ci-dessous (Tab4.1).

Ce chapitre présente un état de l'art de la réalisation des bâtiments performants, ou à haute performance énergétique, ainsi que toutes les problématiques énergétiques soulevées par les bâtiments.

Il énumère les labels internationaux les plus connus, les certifications environnementales relatives à ces bâtiments, ainsi que leurs exigences de performance et d'efficacité.

Et donc, pour résoudre les défis liés aux enjeux énergétiques, économiques, et environnementaux (principe du développement durable) relatifs au secteur du bâtiment, plusieurs lois et réglementations sont mises à la disposition des acteurs du secteur du bâtiment dans tous les pays du monde, dont on expose quelques pays situés dans les deux rives de la méditerranée et voisins à l'Algérie, présentant le même contexte de climat et d'énergie.

Domaine (Dimension)	Critères (Indicateurs)
Ecologique	Ressources (énergie, eau, matières premières) Emissions dans l'air et dans l'eau (gaz à effet de serre, atteinte à la couche d'ozone, acidification, eutrophisation, toxicité sur l'homme, la faune et la flore) Déchets, radioactifs ou non.
Economique	Investissement / Fonctionnement / Entretien Maintenance / Démantèlement / Durabilité, valeur patrimoniale.
Socio-culturel	Fonctionnalité, Adaptabilité / Confort (visuel, thermique, acoustique, olfactif) / Santé (cancers, autres maladies, accidents) Image / Valorisation personnelle et emploi interface avec les réseaux.

Tableau 4.1: Différents critères de développement durable de bâtiments. Source : Auteur 2017.

2. Aperçu historique :

A la suite des crises économiques mondiales ressenties ces dernières décennies, l'économie d'énergie est devenue une préoccupation majeure. Cet enjeu s'intègre dans une dimension économique et environnementale planétaire visant à :

1. Economiser les ressources énergétiques épuisables.
2. Réduire les gaz à effet de serre.
3. Lutter contre le réchauffement climatique.

Pour le secteur du bâtiment, cette prise de conscience s'est traduite par une approche énergétique dans la conception architecturale des bâtiments. Elle vise vers une indépendance totale du bâtiment par rapport aux ressources traditionnelles d'énergie.

Cette approche énergétique s'est développée jusqu'à devenir une approche bioclimatique, impliquant la conception architecturale, visant le confort des usagers, la performance des bâtiments et les économies d'énergie.

L'énergie solaire est alors l'énergie par excellence qui s'impose dans cette approche bioclimatique. Pour optimiser les apports solaires, le bâtiment dans sa totalité (toute la construction), est utilisé comme capteur et ne plus se limiter à l'ajout de capteurs solaires à la construction (éléments rajoutés au bâtiment et installés après sa réalisation).

Suites aux graves problèmes qui touchent l'environnement, liés au réchauffement climatique, à la pollution de l'air, et de l'eau, et à la détérioration de la couche d'ozone et la dégradation de la biodiversité, de nouvelles directives ont orientées cette approche.

Il s'agit donc, d'une approche écologique dans la conception de projet, et d'une architecture environnementale pour un bâtiment durable dans une ère de développement durable.

Cette approche environnementale met en avant l'impact que peut avoir un bâtiment sur son environnement et tend à donner des orientations conceptuelles afin d'en limiter les effets néfastes et de les améliorer.

L'architecture environnementale a également connu une évolution au fur et à mesure que les nouvelles technologies liées à la production de matériaux et systèmes, et à la transformation et à la distribution des énergies se sont développées.

Elle est passée d'une architecture qui se base essentiellement sur l'intégration du bâtiment à son environnement pour réduire ses consommations énergétiques et ses impacts sur l'environnement, à une architecture qui intègre fortement les nouvelles technologies et les systèmes performants et innovants issus de l'industrie des matériaux, d'isolants, et de systèmes de climatisation, de chauffage et de ventilation (Lierbard, 2005).

3. L'efficacité énergétique et le développement durable:

L'amélioration de l'efficacité énergétique du bâtiment est apparue comme une priorité dans les politiques de tous les pays et cela dans le but de limiter le réchauffement climatique, et de sécuriser les approvisionnements face à des ressources fossiles.

La notion de développement durable prend de plus en plus de l'ampleur, dans le but de réduire les impacts négatifs liés à l'activité humaine sur l'environnement, de réduire les consommations d'énergie et d'économiser les sources d'énergie pour les générations futures.

Développement Durable et Qualité Environnementale sont alors devenus les lignes directrices pour les nouvelles politiques de développement des pays et dans tous les domaines : le domaine de l'industrie, l'agriculture, l'agro-alimentaire, l'hydraulique, la construction, et à l'échelle urbaine et de l'aménagement de la ville. Donc, c'est une prise de conscience très réfléchie des enjeux énergétiques environnementaux de tous les secteurs de la vie de l'homme et dans tous ses domaines.

En ce qui concerne le secteur du bâtiment, le principe de la qualité environnementale des bâtiments (QEB), est de maîtriser les impacts des constructions sur l'environnement extérieur et de créer un environnement à l'intérieur des bâtiments sain et confortable. Cette démarche est l'une des contributions aux objectifs de développement durable. Aussi, pour bien s'insérer dans le concept du développement durable, le domaine du bâtiment a créé un label appelé Haute Qualité Environnementale (HQE) des bâtiments.

4. L'influence du bâtiment sur son environnement :

En appliquant les principes de la qualité environnementale des bâtiments (QEB), dès la conception des bâtiments, permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre et sans le recours à d'autres solutions plus coûteuses. Pour ce qui est des bâtiments existants, des solutions existent pour améliorer leur performance énergétique tout en réduisant leurs impacts environnementaux.

La maîtrise des impacts de la construction sur l'environnement extérieur ne peut être dissociée de celle de la création d'un environnement intérieur de qualité (sain et confortable).

4.1. La maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur : cette démarche consiste à instaurer deux principes :

a) **L'éco-construction:** consiste à une relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat, par le choix adéquat des procédés et des produits de construction.

b) **L'éco-gestion:** il s'agit d'une gestion de près de l'énergie, gestion de l'eau, et la gestion des déchets (de tous genre) issus du bâtiment.

Pour maîtriser l'impact des constructions sur l'environnement (Brigitte Vu, 2008), il faut :

1. Limiter au maximum l'utilisation des ressources naturelles.
2. Limiter au maximum la pollution de l'air, de l'eau, du sol.
3. Limiter au maximum les nuisances, telles que le bruit.
4. Produire au minimum des déchets ultimes (déchets qui seront détruits après stockage).

4.2. La création d'un environnement intérieur de qualité :

La variété des fonctions à l'intérieur d'un bâtiment fait que la notion de qualité environnementale des bâtiments est très complexe (Gobin, 2003) : il s'agit de fournir un espace adapté au bon déroulement d'activités diverses, et dans les conditions de confort et de sécurité. Ces critères de qualité concernent les domaines techniques (systèmes structurels, acoustique, éclairage, thermique,..) et d'autres aspects (esthétique, confort, qualité de vie,...).

5. Emission des gaz à effet de serre des bâtiments:

La consommation énergétique d'un bâtiment dépend directement du niveau d'isolation de son enveloppe, et de ses parois, ainsi que d'autres facteurs tels que l'étanchéité à l'air, leur orientation, le niveau d'ouverture (rapport plein / vide), etc. Et plusieurs usages de l'énergie dans le bâtiment sont impliqués dans la consommation et l'émission des gaz à effet de serre nocifs à l'environnement. Tout cela, nous emmène à définir les bâtiments respectant l'environnement.

6. Caractéristiques des bâtiments respectant l'environnement :

« **Composer avec le climat** », est la base de toute démarche de conception d'un bâtiment bioclimatique. Dans ce cas, l'enveloppe du bâtiment ne se limite pas à définir une frontière entre l'intérieur et l'extérieur, mais joue un rôle plus significatif.

Elle vise à, (Liérbard, 2005) :

- a. Réduire les besoins énergétiques.
- b. Offrir un confort thermique satisfaisant en toutes saisons, c'est-à-dire :
 1. Un niveau de température interne acceptable.
 2. Un contrôle de la surchauffe (faible variation quotidienne de température).
 3. Une bonne distribution de la chaleur dans les espaces.
 4. Un contrôle de la condensation (bonne conception des parois en fonction de la sollicitation du climat extérieur).

Pour réussir une bonne conception bioclimatique, il est nécessaire de composer avec les différents paramètres, lors du processus de conception, parmi lesquels :

1. Le site d'implantation du bâtiment et son environnement.
2. L'implantation du bâtiment par rapport à son voisinage (bâti, urbain ou naturel).
3. La volumétrie, compacte ou éclatée (compacité du bâtiment).
4. Le traitement des façades (transparentes, ouvertes, opaques).
5. la distribution intérieure (linéaire, autour d'un hall, radio concentrique,..).

6. le choix des matériaux pour les murs extérieurs et intérieurs et les revêtements.
7. Le choix des textures, couleurs etc.

Ainsi, par sa conception, le bâtiment doit être capable de satisfaire quatre fonctions principales :

1. Capturer le rayonnement solaire (*confort thermique d'hiver*).
2. Stocker l'énergie captée.
3. Distribuer la chaleur.
4. Réguler la chaleur.

Ainsi, le bâtiment doit assurer des missions pour la protection :

5. Protéger les espaces intérieurs.
6. Se protéger par rapport au soleil et au vent.

L'intérêt croissant pour cette problématique énergétique a donné lieu à des réalisations de bâtiments performants respectant l'environnement.

Aussi, il est à noter que d'autres nouvelles stratégies sont apparues pour le secteur du bâtiment et ont permis d'améliorer les performances énergétiques du bâtiment.

7. Bâtiments actifs :

Dans le cadre du protocole de Kyoto (Japon, Décembre 1997), un ensemble d'exigences sur les performances énergétiques des bâtiments a été mis en place pour réduire toutes leurs consommations énergétiques afin de minimiser les impacts environnementaux tels que les gaz à effet de serre et les effets de réchauffement climatiques résultant de la consommation excessive et non contrôlée de l'énergie.

La Commission Européenne CE s'est fixée comme objectif principal de diviser par quatre 4 les consommations d'énergie à l'horizon 2050 (bâtiments facteur 4).

Cet objectif s'est inscrit (ADEME, 2007b) :

- a. en Juin 2003, dans la stratégie nationale de développement durable.
- b. en juillet 2004, dans le Plan climat en France (Plan Climat, 2004).
- c. en 2005, dans la Loi de programme du 13 juillet qui a décrit les orientations de la politique énergétique (la directive européenne dont les exigences sont répertoriées dans la référence (EPBD, 2005).
- d. et en octobre 2007, dans le Grenelle de l'environnement (Grenelle, 2007).

Un ensemble de solutions est proposé en Europe (dans les pays tels que la France, l'Allemagne, la Suisse), au Canada et aux USA, pour réduire de manière significative ces consommations, les diviser par quatre (voire les diviser par dix 10) dans les années à venir. Ces stratégies se basent essentiellement sur trois points :

1. La conception d'une enveloppe très performante (avec une isolation thermique très performante, une faible perméabilité à l'air, une compacité de la forme), et de chercher l'ombre pour les surfaces externes du bâtiment.
2. Le choix de systèmes efficaces (par l'installation de systèmes (Heating, Ventilation and Air Conditioning) HVAC performants.
3. Le choix d'une énergie renouvelable moins polluante (telle que l'énergie solaire, éolienne), et la transformation d'énergie, (avec possibilité de récupération de l'énergie par ventilation double flux ou puits canadiens).

8. Méthodes d'évaluation de la performance énergétique du bâtiment :

Une présentation des différentes approches les plus répandues et pertinentes pour l'évaluation de la performance énergétique du bâtiment, permet d'identifier les critères et indicateurs pris en compte par ces méthodes pour caractériser la performance énergétique du bâtiment et d'étudier leur pertinence pour l'aide à la prise de décision dans les premières phases de conception d'un bâtiment.

On distingue trois types de méthodes d'évaluation :

1. Les certifications environnementales, actuellement ce sont les outils les plus répandus pour l'amélioration de la qualité environnementale des bâtiments et des ouvrages de construction.
2. Les initiatives collaboratives internationales, représentant l'état de l'art dans l'étude de la performance durable des bâtiments.
3. Les outils d'aide à la décision pour la conception énergétique des bâtiments, ce sont des approches opérationnelles et d'aide à la décision et qui proposent aux concepteurs des éléments de décision.

8.1. Certifications environnementales :

Les démarches de certification environnementale représentent les instruments les plus couramment utilisés pour promouvoir l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments.

Elles sont définies comme une série d'exigences couvrant plusieurs aspects de l'ouvrage qui permettent de guider le concepteur vers une démarche d'amélioration de la qualité du bâtiment. Elles sont proposées par un organisme certificateur reconnu selon le type de projet d'ouvrage : pour les bâtiments neufs, en exploitation ou en rénovation.

Un grand nombre de certifications environnementales est proposé au niveau international.

Parmi, les certifications de référence dans le contexte des bâtiments tertiaires, on peut citer (Green Soluce, 2014) :

- a. La méthode de certification britannique BRE « Environmental Assessment Methodology » (BREEAM), proposée par le Building Research Establishment (BRE) depuis 1990, est la plus ancienne certification et la plus utilisée à travers le monde. Les exigences de cette certification sont regroupées en dix catégories associées à la qualité environnementale du bâtiment (BRE, 2014). Un certain nombre de crédits et une pondération spécifique sont alloués à chaque catégorie, permettant au bâtiment de cumuler des points pour atteindre un des cinq 5 niveaux de certification : Passable, Bon, Très Bon, Excellent ou Exceptionnel.
- b. Le système de certification d'origine américaine « Leadership in Energy and Environmental Design » (LEED), proposé par le Green Building Council depuis 1998. Initialement créée pour son application dans les bâtiments publics américains, est devenue la deuxième certification la plus répandue dans le monde. La méthode LEED propose quatre 4 niveaux de certification à atteindre (Certifié, Argent, Or et Platine) par l'assignation de crédits optionnels répartis en sept 7 catégories d'exigences (USGBC, 2013).
- c. La Démarche « Haute Qualité Environnementale » (HQE), proposée à partir de 2005 pour les bâtiments non-résidentiels par l'organisme de certification Certivéa0, une filiale du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) France. Initialement développée par l'Association Haute Qualité Environnementale HQE, cette certification est composée de quatorze cibles réparties en quatre catégories : Eco- construction, Eco-gestion, Confort et Santé.

Chaque cible peut être évaluée selon trois niveaux : Très performant, performant et de base. Et chaque bâtiment doit atteindre au minimum sept cibles au niveau de base, quatre au niveau performant et trois cibles au niveau très performant (Certivéa, 2011).

BREEAM	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion. • Santé et bien-être. • Energie. • Transport. • Innovation. • Eau. • Déchets. • Occupation du sol écologie. • Pollution.
LEED	<ul style="list-style-type: none"> • Aménagement écologique des sites. • Gestion de l'eau. • Energie et atmosphère. • Matériaux et ressources. • Qualité de l'environnement intérieur. • Innovation dans la conception. • Priorité régionale.
HQE	<ul style="list-style-type: none"> • Eco-construction <ul style="list-style-type: none"> - Relation du bâtiment avec son environnement immédiat. - Choix intégré des produits, systèmes et procédés de construction. - Choix à faible impact environnemental. • Eco-gestion <ul style="list-style-type: none"> - Gestion de l'énergie. - Gestion de l'eau. - Gestion des déchets d'activités. - Maintenance –Pérennité des performances environnementales. • Confort <ul style="list-style-type: none"> - Confort hygrothermique. - Confort acoustique. - Confort visuel. - Confort olfactif. • Santé <ul style="list-style-type: none"> - Qualité sanitaire des espaces. - Qualité sanitaire de l'air. - Qualité sanitaire de l'eau.

Figure 4.2. Critères des certifications environnementales BREEAM, LEED et HQE.
Source : Auteur 2017.

Chacune de ces trois 3 certifications évalue la performance énergétique du bâtiment suivant une méthode différente :

- La certification BREEAM se caractérise par un « taux de performance énergétique », calculée en fonction de la demande énergétique en phase d'exploitation, de la consommation d'énergie primaire et des émissions de dioxyde de carbone du bâtiment.
- La certification LEED est caractérisée par la réduction des coûts des consommations énergétiques par rapport à un niveau d'efficacité énergétique de référence.
- La Démarche HQE reprend deux indicateurs de la réglementation thermique française, le coefficient de demande énergétique Bbio et la consommation d'énergie primaire, et aussi ajoutant l'émission de trois types de polluants : le dioxyde de carbone, le dioxyde de soufre et les déchets radioactifs.

Les certifications environnementales ne se limitent pas à l'étude de la performance énergétique du bâtiment, mais elles l'évaluent par une description plus complète de sa qualité environnementale.

L'empreinte environnementale du bâtiment est donc définie avec une grande variété d'aspects de la qualité de conception du bâtiment, parmi lesquels :

- a. Des critères sociaux.
- b. Des critères environnementaux.
- c. Des critères économiques.
- d. Des critères techniques et fonctionnels.
- e. Des critères associés à la qualité du processus.
- f. Des critères associés à la sélection du site (choix du site d'implantation).

Ces critères représentent les principes du développement durable ou aussi les trois dimensions du concept de la durabilité (figure 4.3).

La prise en compte de la durabilité dans les bâtiments a pour objectif de permettre d'atteindre les performances et les fonctionnalités attendues avec le moins d'effets négatifs possibles sur l'environnement, tout en encourageant l'amélioration des aspects économiques et sociaux (ISO/TC 59, 2008).

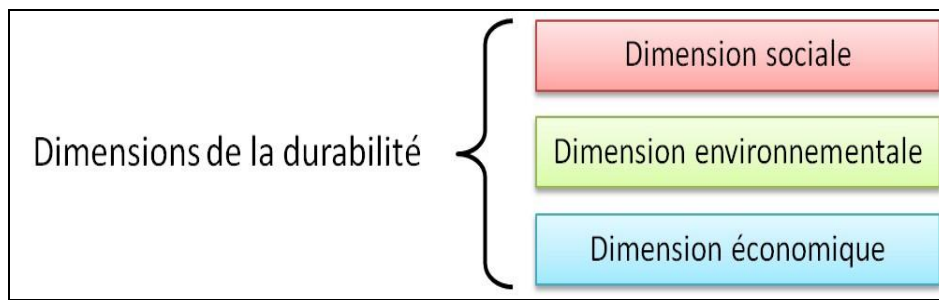


Figure 4.3. Les trois dimensions du concept de la durabilité. Source : Auteur 2017.

Les exigences imposées par les certifications environnementales sont à intégrer dans le processus de conception des bâtiments dès les premières phases de conception, afin de définir les objectifs à atteindre en termes de qualité et de performances énergétiques du bâtiment, d'efficacité thermique, et d'impacts d'émissions réduits sur l'environnement.

Depuis leur conception, les références pour les certifications environnementales sont en évolution continue, en intégrant les nouvelles tendances dans le secteur du bâtiment.

Ceci est le cas de la démarche HQE, qui est actuellement dans une étape de changement, de progrès et d'évolution, en s'orientant vers une approche de type performancielle (Association HQE, 2014).

Le développement du nouveau référentiel « HQE Performance » (HQEP), et qui sera intégré progressivement à cette certification, implique trois réorientations majeures dans sa méthodologie d'évaluation :

1. De la consommation d'énergie aux impacts environnementaux, par l'estimation du profil environnemental du bâtiment dans son ensemble selon une approche « cycle de vie ».
2. De la phase d'exploitation du bâtiment à toutes les phases de son cycle de vie, en intégrant les consommations d'énergie et la mise en œuvre de produits de construction tout au long de la durée de vie du bâtiment.
3. De l'évaluation des moyens d'actions à celle des résultats, par la caractérisation de la performance du bâtiment à travers d'indicateurs quantitatifs couvrant les trois dimensions de la durabilité (économie, société, environnement) (figure 4.3).

Cette évolution dans la méthodologie de la démarche HQE s'aligne avec les conclusions des travaux internationaux de normalisation de critères d'évaluation de la performance de bâtiments durables.

8.2. Initiatives collaboratives internationales :

Issu d'un consensus scientifique entre les principaux acteurs du secteur du bâtiment au niveau international, un certain nombre d'initiatives vise à normaliser la base de critères utilisés pour la caractérisation de la qualité de conception et la performance des bâtiments.

Ces initiatives internationales représentent actuellement l'état de l'art dans l'évaluation de la qualité de conception des bâtiments.

La Commission Européenne a financé une série de projets de collaboration de portée internationale, afin de définir une méthodologie européenne commune et transparente d'évaluation des bâtiments.

Parmi ces initiatives européennes, les projets les plus récents sont :

1. Super-Buildings, Sustainability and performance assessment and benchmarking of buildings (Super Buildings Consortium, 2012).
2. Open House, Benchmarking and mainstreaming building sustainability on the EU based on transparency and openness from model to implementation (Open House, 2013).
3. Perfection, Performance Indicators for Health, Comfort and Safety of the Indoor Environment (Perfection, 2010).
4. SB Alliance, Framework for common Metrics , (Sustainable Building Alliance, 2010).

Ces projets sont les produits des collaborations entre une grande liste de partenaires européens, y compris centres de recherche, autorités gouvernementales et entreprises dans le secteur de l'énergie.

Les projets ont partagé le même objectif principal : l'identification d'indicateurs de durabilité dans les bâtiments et la normalisation de leurs définitions et méthodes de calcul.

Différentes approches ont permis d'aborder la question de la caractérisation de la performance des bâtiments.

De manière générale, ces quelques initiatives collaboratives présentées partagent trois principes fondamentaux dans leur vision de l'évaluation de la qualité d'un bâtiment durable ou d'un bâtiment performant:

1. Une quantification de performances, basée sur des indicateurs essentiellement quantitatifs caractérisant les résultats ou performances du bâtiment.
2. L'application de la notion de la durabilité à l'évaluation du bâtiment, en associant chacune de ses dimensions à un aspect de la performance du bâtiment.

3. Une approche de type « cycle de vie », en prenant en compte toutes les phases composant tout le long du cycle de vie d'un bâtiment.

Ces projets conviennent dans l'application de la notion de durabilité dans les bâtiments, en associant chacune des trois dimensions fondamentales à un aspect de performance :

1. La dimension **économique** est caractérisée par le coût économique (coût du bâtiment).
2. La dimension **environnementale** est évaluée à travers la dégradation de l'environnement (impacts sur l'environnement).
3. La dimension **sociale** est représentée par le confort et le bien-être des usagers et leur interaction avec le bâtiment et son environnement.

8.3. Outils d'évaluation dans la conception énergétique des bâtiments :

Un grand nombre d'outils d'évaluation sont proposés dans la littérature pour aider à la prise de décisions dans la conception énergétique des bâtiments. L'objectif de ces outils est de proposer aux concepteurs des éléments de décision pour l'accompagner pendant le choix des matériaux et systèmes, ainsi que le dimensionnement des éléments influençant la performance énergétique du bâtiment.

Ces outils d'évaluation disponibles, certains sont proposés pour aider à la prise de décisions dans les premières phases de la conception des bâtiments.

Aussi, les outils de calcul proposent un nombre réduit d'indicateurs par catégorie de critères, dont les plus employés sont :

1. Indicateurs **énergétiques** : les deux indicateurs les plus courants sont les besoins thermiques de chauffage et/ou de refroidissement, et la consommation d'énergie primaire ou finale.
2. Indicateurs **sociaux** : se sont les indicateurs associés au confort des usagers : le confort thermique est favorisé, avec une diversité d'indicateurs tels que la température d'air à l'intérieur des espaces, la période de confort thermique, le confort d'été. Ainsi que d'autres catégories de confort sont aussi considérées, telles que le confort visuel, et le confort acoustique.
3. Indicateurs **environnementaux** : les plus favorisés, sont les émissions de dioxyde de carbone ou les gaz à effet de serre. D'autres effets sur l'atmosphère comme l'acidification, l'eutrophisation et l'émission de particules fines ont été également identifiés.

4. Indicateurs **économiques** : les plus courants sont le coût d'investissement, le coût global et le coût de la mise en œuvre de systèmes et de stratégies d'économie d'énergie.
5. Indicateurs **techniques** : cet indicateur a une influence sur les autres catégories de critères, tels que la puissance des systèmes techniques de chauffage et/ou de climatisation, la satisfaction des besoins thermiques de façon passive et la performance thermique de l'enveloppe du bâtiment.

Les outils d'évaluation sont des éléments d'aide à la décision essentiellement par la comparaison des alternatives de configuration et d'amélioration du bâtiment.

Ainsi, afin d'intégrer une approche d'évaluation à cette performance énergétique du bâtiment, on définit ce concept à tous les aspects du bâtiment associées à la consommation énergétique. Ces aspects seront caractérisés par une quantification de performances, à travers des indicateurs de performance couvrant les trois dimensions du concept de la durabilité appliqué au bâtiment et suivant une démarche de type analyse de cycle de vie ACV de bâtiment.

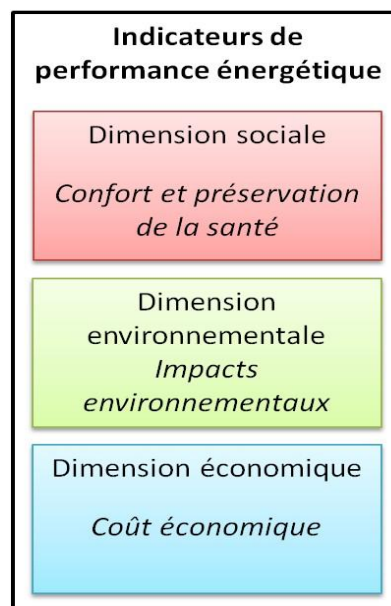


Figure 4.4 : Dimensions du concept de la durabilité appliqué à la conception énergétique du bâtiment.

Source : Velazquez, 2015.

Chacune des trois dimensions du concept de la durabilité (fig4.4), est associée à un aspect de la performance du bâtiment :

1. la dimension économique est caractérisée par le coût économique, sur tout le long du cycle de vie du bâtiment.

2. la dimension écologique est donnée à travers la dégradation de l'environnement autour du bâtiment considéré.
3. la dimension sociale est représentée par le confort et la préservation de la santé des usagers dans tous les espaces du bâtiment étudié.

9. Exigences de performance du bâtiment :

L'évolution actuelle en termes d'exigences dans l'industrie du bâtiment concerne à la fois l'augmentation des niveaux de performance exigée, et la diversité d'aspects de performance à considérer dans le bâtiment.

Afin de répondre aux exigences croissantes en termes de performance énergétique, un éventail de solutions énergétiques et des stratégies bioclimatiques est actuellement mis en œuvre depuis plusieurs années, et de plus en plus dans les projets de construction de bâtiments.

Issu des traditions constructives et architecturales vernaculaires ou des nouveaux développements technologiques, ces systèmes promettent de réduire les besoins énergétiques des bâtiments, tout en assurant les niveaux de confort exigés.

On peut citer quelques exemples tels que : les murs Trombe, le refroidissement solaire, les cheminées solaires, les matériaux à changement de phase, les toitures végétalisées et les toitures réfléchissantes (Chan *et al*, 2010) et (Sadineni *et al*, 2011).

Ainsi la maîtrise énergétique des bâtiments va conduire à favoriser pour le confort durant :

- a. L'Hiver : par la collecte d'apports solaire gratuits, ainsi qu'une pénétration du rayonnement solaire maximale qui améliore le confort visuel en cette saison où la lumière naturelle est moins abondante et plus recherchée.
- b. L'Eté : par le contrôle des apports solaires, la réduction des apports internes, la mise en œuvre d'une inertie importante et l'évacuation de la chaleur internes, et limiter les effets de surchauffe en abritant le bâtiment du soleil, ou en réduisant les surfaces de l'enveloppe exposées au soleil. L'amélioration consiste alors à faire le choix de l'isolation de l'enveloppe, la qualité des vitrages et des protections solaires, et aussi la ventilation et le renouvellement d'air des espaces qui composent le bâtiment.

9.1. Réglementations Thermiques des bâtiments :

Afin de résoudre les défis liés aux enjeux énergétiques, économiques et environnementaux (les principes du développement durable) au sein du secteur du bâtiment, plusieurs lois et réglementations sont mis à la disposition des acteurs du bâtiment dans tous les pays du

monde, pour assurer un équilibre entre les trois paramètres 3E: Economie/ Energie/ Environnement de toute conception de projet de bâtiment.

La réglementation thermique appliquée aux bâtiments a pour objectif de :

- a. Fixer les exigences en matière de performance énergétique de l'enveloppe : niveau d'isolation thermique, optimisation du taux de vitrage par orientation, protection solaire des fenêtres, etc.
- b. Inciter à couvrir une partie des besoins énergétiques par une production d'énergie à l'aide des techniques solaires thermiques et photovoltaïques.
- c. Exiger des systèmes de climatisation et de chauffage, d'éclairage et d'ECS, à efficacité énergétique, les systèmes HVAC.
- d. Limiter au maximum les consommations énergétiques en kwh/m².an.

9.2. Application de la Réglementation Thermique des bâtiments :

La réglementation constitue un instrument privilégié pour le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire). Les bâtiments continuent d'être la cible principale des réglementations. Celles-ci se développent dans un grand nombre de pays, particulièrement dans les pays émergents. Il est nécessaire de mettre en application la réglementation thermique existante, tout en développant des mécanismes financiers souples et attractifs pour les investisseurs et promoteurs des nouveaux bâtiments et les propriétaires du vieux bâti (patrimoine bâti).

Aussi, la réglementation thermique s'applique à l'amélioration et à la rénovation des bâtiments existants. Cette stratégie permet une économie supplémentaire très significative.

La réglementation thermique d'un bâtiment couvre l'ensemble des points relatifs à l'enveloppe, les parois opaques, et vitrées, la climatisation, le chauffage, l'éclairage, l'ECS.

Elle préconise la rationalisation de l'utilisation de l'énergie en agissant directement sur la performance des points sus-cités, pour diminuer les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre GES.

En ce qui concerne l'application de la réglementation thermique et environnementale dans les pays voisins à l'Algérie, situés dans les deux rives de la méditerranée, on peut citer :

9.2.1. La réglementation Thermique des bâtiments en Italie:

En Italie, la directive de performance énergétique du bâtiment DPEB a été introduit par décret n° 192 / 2005 par le ministère du Développement économique et l'Agence nationale italienne pour les nouvelles technologies, qui a fixé les exigences minimales pour la performance

énergétique, et pour le coefficient de transmission thermique des fenêtres, des murs, planchers, et des toits (ENEA, 2005).

En 2011 le décret législatif n°28/2011, concernant les énergies renouvelables vient pour définir la part de production renouvelable minimale pour les bâtiments, qui passe de 35% pour les bâtiments entre 2014 et 2016 à 50% à partir de l'année 2017(ENEA, 2011).

9.2.2. La réglementation Thermique des bâtiments en Espagne:

En Espagne, l'application de la directive de performance énergétique du bâtiment DPEB en rapport avec les exigences de performance énergétique du bâtiment se base sur le code technique de la construction (Codigo Tecnico de la Edificacion CTE- Ahorro de Energia CTE ,2013). La réglementation concerne tous les bâtiments neufs ou rénovés.

Deux méthodes sont proposées :

- a. Une méthode simplifiée basée sur le contrôle indirect des besoins énergétiques à travers la limitation des paramètres de l'enveloppe tel que les coefficients de transmission des parois extérieures et le facteur solaire relatif à la zone climatique étudiée (CTE, 2003).
- b. Une autre méthode, dite générale, s'appuie sur l'évaluation des besoins énergétiques à travers une comparaison avec un bâtiment de référence.

En ce qui concerne le Sud de la Méditerranée, pour les pays du Maghreb, pays voisins à l'Algérie et présentant une même géographie, et un même contexte de climat et d'énergie:

9.2.3. La réglementation Thermique des bâtiments en Tunisie:

La réglementation thermique en Tunisie a été publiée par l'Arrêté du 23 juillet 2008 pour les constructions à usage de bureau (ANME, 2009) et par l'Arrêté du 01 juin 2009 pour les bâtiments à usage résidentiel (ANME, 2009).

Elle vise à limiter les besoins énergétiques du bâtiment liés au conditionnement (chauffage, et refroidissement) et améliorer les caractéristiques thermiques de l'enveloppe du bâtiment.

Deux approches sont envisagées :

- a) L'approche **perspective** qui définit les valeurs maximales à ne pas dépasser en ce qui concerne le coefficient de transmission de toiture, des murs extérieurs, des baies vitrées, et le solaire thermique des fenêtres.
- b) L'approche **performantielle** qui consiste à fixer les spécificités techniques minimales en termes de performances thermiques du bâtiment en fonction de la zone thermique.

9.2.4. La réglementation Thermique des bâtiments au Maroc:

Au Maroc, la réglementation thermique a été appliquée par la publication du décret n°2-13-874 du 15 octobre 2014 (ADEREE, 2014a). La réglementation thermique de construction au Maroc vise essentiellement à améliorer les performances thermiques des bâtiments neufs. Pour l'application de ce décret, le Maroc a été subdivisé en six zones climatiques en coordination avec la Direction de la Météorologie Nationale DMN.

Cette réglementation thermique définit des exigences à respecter pour la conception de bâtiments neufs, selon la zone climatique et le type de bâtiment (résidentiel, tertiaire, ou autre).

Deux approches sont donc à envisager :

a. L'approche **performantielle** qui consiste à fixer les spécificités techniques minimales en termes de performances thermiques du bâtiment en fonction de la zone thermique.

Et de définir les besoins énergétiques de conditionnement maximaux du bâtiment (la somme des besoins annuels de chauffage et de refroidissement) exprimés en kwh/m²/an selon la zone climatique et le type de bâtiment considéré.

b. L'approche **perspective** consiste à fixer les spécifications techniques exprimées, pour chaque type de bâtiment et chaque zone climatique, sous forme de coefficients maximaux de transmission thermique surfacique de la toiture, des murs extérieurs, du plancher, des baies vitrées ainsi que du facteur solaire équivalent des baies vitrées.

Pour ce qui est du cas de notre pays, l'Algérie :

9.2.5. La réglementation Thermique des bâtiments en Algérie:

L'Algérie connaît depuis ces décennies un développement intense et soutenu des secteurs du bâtiment et de la construction (grands projets de l'état, projets immobiliers résidentiels et tertiaires).

Ceci conduit d'ores et déjà à de grandes pressions sur les ressources (énergie, eau, matériaux,...) et des émissions et impacts importants (engendrés) sur l'environnement.

Ainsi l'Algérie est le premier pays du Maghreb à avoir mis en place une réglementation thermique des bâtiments depuis 1997 et qui est devenue obligatoire à partir de l'année 2000.

La réglementation propose deux méthodes de calcul pour les besoins de chauffage et refroidissement, et dont l'objectif est le contrôle de ces besoins (D.T.R. C3-2, 1997) :

a. Le calcul **statique** en thermique du bâtiment dont les concepteurs doivent vérifier que les déperditions par transmission du bâtiment sont inférieures aux déperditions de référence.

b. Le calcul **dynamique** en régime variable dont les concepteurs doivent comparer entre les besoins dynamiques de chauffage (Bdyn.) calculés par un logiciel de simulation thermique dynamique STD et les déperditions de base (DB).

En ce qui concerne les besoins de la climatisation, la réglementation propose une méthode de calcul basée sur le calcul des apports calorifiques des bâtiments (D.T.R. C 3-4, 1997).

La vérification se fait de manière à avoir la somme de ces apports calorifiques des parois opaques et de baies vitrées est inférieure aux apports calorifiques de références, en fonction de la zone climatique étudiée.

9.2.5.1. Réglementation dans le Secteur du Bâtiment en Algérie :

La demande d'énergie en Algérie est appelée à doubler entre 2000 et 2020 pour atteindre 60 à 70 millions de **tep** (tonne équivalent de pétrole), (APRUE).

L'Algérie a également développé plusieurs dispositifs réglementaires visant à la promotion de l'efficacité et de la maîtrise énergétique dans le secteur du bâtiment. Ils précisent les exigences de sécurité, de stabilité, d'hygiène, et le niveau de confort compatibles avec les exigences sociales et environnementales tant en termes de construction que d'exploitation du bâtiment. Ces textes traduisent la volonté de l'état de faire des énergies renouvelables des énergies d'avenir pour le pays.

Sur la base de l'analyse de la consommation des logements neufs réalisée en 1995, le ministère de l'Habitat et de l'urbanisme a élaboré par le biais du Centre national d'études et de recherches intégrées du bâtiment (CNERIB) des documents techniques réglementaires (DTR) en 1997, relatifs aux bâtiments et leurs efficacité énergétique et performance thermique.

Ces DTR ont par la suite été approuvés par le ministère de l'Énergie et des mines et ont fait l'objet, en 2000, d'un décret portant sur la réglementation thermique dans les bâtiments neufs en application de la loi.

Dans le cadre de la mise en application de la réglementation thermique des bâtiments, le CNERIB a préparé les documents techniques réglementaires à l'usage des professionnels du bâtiment.

Ces DTR, qui ne s'appliquent qu'aux bâtiments, mentionnent les exigences réglementaires que doivent satisfaire leurs enveloppes, à savoir:

a. DTRC3-2, relatif aux règles de calcul des déperditions calorifiques d'hiver pour les bâtiments à usage d'habitation. Il vise la limitation de la consommation énergétique relative au chauffage des locaux à travers le calcul des déperditions thermiques.

b. DTRC3-31, relatif à la ventilation naturelle des locaux à usage d'habitation. Il fournit les principes généraux à adopter lors de la conception des installations de ventilation naturelle.

c. DTRC3-4 relatif aux règles de calcul des apports calorifiques d'été pour les bâtiments. Il vise la limitation de la consommation énergétique relative à la climatisation des locaux.

d. DTRE4.4, intitulé «Travaux d'isolation thermique et d'étanchéité des toitures en tôles d'acier nervurées», approuvé par l'arrêté du 27mars2004.

Ces DTR définissent également des normes précisant les propriétés essentielles des matériaux, des composants et des produits utilisés dans le secteur du bâtiment, ainsi que leurs dimensions modulaires, leurs caractéristiques et leurs performances.

La finalité de cette réglementation thermique est le renforcement de la performance énergétique globale du bâtiment.

Aussi, son application permet de réduire les besoins calorifiques des nouveaux bâtiments (surtout les logements) pour le chauffage et surtout la climatisation (l'Algérie est un pays chaud). Cette réglementation est entrée en vigueur depuis 2005, mais elle connaît de nombreuses difficultés de mise en œuvre effective, liées à l'absence d'organisme de contrôle et de suivi mandaté à cet effet (organisme de control de l'efficacité thermique et de la performance énergétique).

Les textes et lois suivants contribuent aussi à l'efficacité énergétique des bâtiments :

e. Instruction présidentielle n° 13 du 11juillet1984, aménagement du territoire, urbanisme et construction.

f. Loi n° 90 - 29 du 1 er décembre 1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme.

g. La mise en application de la loi 99.09 relative à la maitrise de l'énergie dans le secteur du bâtiment et sa promulgation le 24 avril 2000 d'un décret exécutif n°2000-09 portant réglementation thermique des bâtiments neufs. L'objectif est d'introduire de l'efficacité énergétique dans les bâtiments neufs et dans les extensions des bâtiments existants.

h. La loi de 2004 encourage la promotion des énergies nouvelles non polluantes à l'instar de l'énergie solaire, pour réduire les besoins calorifiques de 40% pour les besoins de chauffage et de climatisation(APRUE).

9.2.5.2. Quelques projets d'Isolation thermique des bâtiments en Algérie :

Une stratégie de maitrise de l'énergie en Algérie a été engagée avec un dispositif de mise en œuvre opérationnel, global et cohérent, qui s'articule autour de quatre éléments principaux :

1. APRUE : Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie.
2. FNME : Fonds National pour la Maitrise de l'Energie.

3. PNME : Programme National pour la Maitrise de l'Energie.
4. CIME : Comité Intersectoriel de la Maitrise de l'Energie.

Les priorités d'un projet de programme pour le PNME ont débouché sur la proposition d'un portefeuille d'actions pour le secteur résidentiel, concernant l'éclairage performant, l'eau chaude sanitaire solaire, les projets de logements HPE (haute performance énergétique).

Un premier projet pilote (**Eco-bat**) a été mené de 2011 à 2013 en partenariat entre l'APRUE et onze OPGI (Office de Gestion et de Promotion Immobilière). Il concerne l'isolation thermique de 600 logements (sur l'ensemble des zones climatiques), répartis sur le territoire national à travers 11 wilayas en partenariat avec le ministère de l'Habitat (Projet 600 Logements HPE).

Ce programme vise à apporter le soutien financier et technique nécessaire à la réalisation de logements assurant une optimisation du confort intérieur en réduisant la consommation énergétique liée au chauffage et à la climatisation.

Un audit énergétique est prévu avant son occupation afin d'évaluer les performances énergétiques de ces bâtiments.

Le projet a pour objectif de montrer la faisabilité technique et économique d'améliorations énergétiques dans l'habitat. Parmi les mesures d'efficacité énergétiques utilisées dans ce projet pilote :

- L'Utilisation des matériaux locaux, BTS (Béton de Terre Stabilisé).
- L'Isolation horizontale et verticale.
- Le Double vitrage.
- Le Traitement des ponts thermiques.
- L'eau chaude solaire.
- Le Plancher solaire direct (PSD) : 8m² de capteurs solaires plans.
- Le Rafraichissement par ventilation nocturne.
- L'Optimisation de l'éclairage naturel et utilisation d'appareils électriques à basse consommation.

L'étude énergétique préliminaire a fait ressortir des économies d'énergie de l'ordre de 60% en faveur de ce projet pilote comparé à une habitation classique.

Et par rapport à l'empreinte environnementale, une réduction des impacts et des émissions des gaz à effet de serre et de CO₂.

9.2.6. La réglementation Thermique des bâtiments en France:

La France reste le pays le plus représentatif des pays d'Europe, et du Nord de la Méditerranée. La première réglementation thermique en France a été adoptée en 1974 après le premier choc pétrolier afin de réduire la facture énergétique pour le secteur du bâtiment.

Depuis la réglementation française n'a jamais cessé d'évoluer, avec des exigences de plus en plus importantes. On peut citer la Réglementation Thermique RT 2000, puis RT 2005.

Ainsi la plus récente des réglementations thermiques c'est la RT 2012 qui demande la vérification de trois 3 exigences en termes de performances énergétiques globales (Legifrance, 2012) et qui sont :

1. L'efficacité énergétique minimale du bâtiment: elle est définie par le coefficient de besoins bioclimatiques, permettant de mesurer la capacité d'un bâtiment à limiter ses besoins en chauffage, de refroidissement, d'éclairage artificiel et ce indépendamment des systèmes énergétiques et équipements choisis (pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, l'éclairage artificiel...).
2. Une consommation d'énergie primaire limitée : par rapport aux usages de chauffage, de refroidissement, d'éclairage, de ventilation, production de l'eau chaude, la moyenne de consommation annuelle est de 50kwh/m²/an.
3. Un bon confort d'été : la RT 2012 exige que la température intérieure ne doit pas dépasser une température de référence à la fin de chaque séquence de journées chaudes.

Aussi la réglementation thermique Française a pris en considération les bâtiments existants, dans le but d'apporter une réelle amélioration au niveau de la performance énergétique et aussi la réduction des émissions des gaz à effet de serre.

Cette dernière concerne toutes les constructions existantes, qu'elles soient résidentielles, tertiaires ou autres, définissant ainsi une performance énergétique minimale pour chaque élément (ventilation, climatisation, chauffage,...) changé ou nouvellement installé et qui accompagnent toutes les opérations de rénovations ou d'améliorations.

10. Labels et certifications pour l'efficacité énergétiques des bâtiments :

On définit un **label** : comme est une démarche volontaire qui permet d'aller plus loin que la réglementation thermique en vigueur.

Les labels et certifications pour l'efficacité énergétique des bâtiments présentés sont utilisés comme cible pour définir les indicateurs de performances énergétiques des bâtiments, et pour le cas de notre recherche, les bâtiments à usage de bureaux dans les régions arides.

10.1. La démarche Passiv'haus :

Le label Passiv'haus d'origine allemande a été développé en 1996 (Passivhaus, 2015).

Ce label est destiné aux bâtiments résidentiels et tertiaires.

Pour atteindre le standard Passivhaus, il est nécessaire d'avoir :

- a. Un besoin annuel de chauffage $< 15\text{kwh/m}^2/\text{an}$ (énergie finale).
- b. Etanchéité de l'enveloppe : $n_{50} < 0.6\text{m}^3/\text{h}/\text{an}$.
- c. Energie primaire consommée $< 120\text{kwh/m}^2\text{shab}/\text{an}$ (correspondant à l'énergie finale pour la climatisation et du chauffage, de la ventilation et d'électricité).

Le bâtiment selon ce label Passivhaus, doit avoir une enveloppe avec une isolation thermique très performante et une perméabilité à l'air très faible et des sources d'énergies renouvelables.

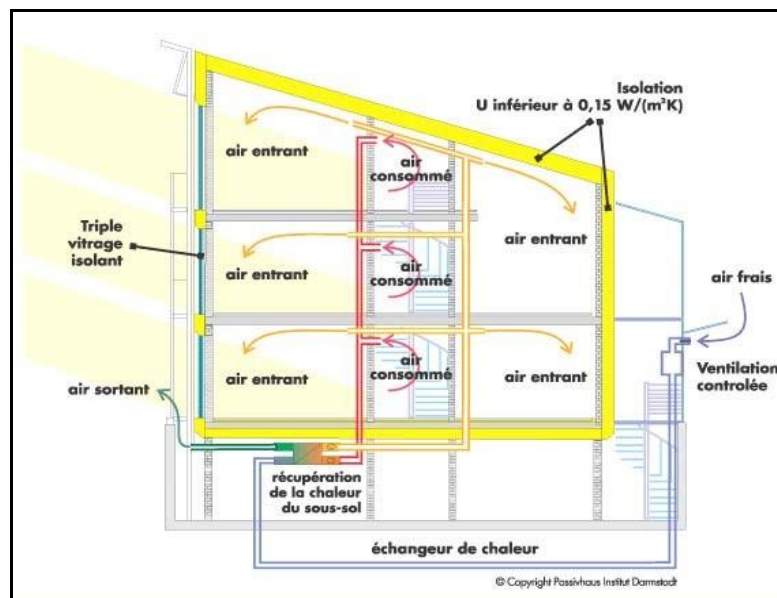


Figure 4.5 : Schématisation des principes de la conception d'une maison passive
Source : Passivhaus, 2007.

10.2. Le label BBC Effinergie :

Le but de la création du label **BBC Effinergie** et **Effinergie+**, a pour objectif de concevoir des bâtiments consommant encore moins d'énergie.

D'un point de vue technique, l'objectif est de passer de 50 à 40 kWhép/m².an.

Pour ce faire, il convient d'améliorer le bâti avec différents objectifs :

1. Améliorer l'enveloppe du bâtiment en agissant sur le Bbio : $Bbio < Bbiomax -20\%$ pour tous les bâtiments.
2. Améliorer la performance énergétique du bâtiment sur les cinq usages réglementaires.

3. Améliorer la performance énergétique du bâtiment tertiaire sur les cinq usages réglementaires.
4. Améliorer l'étanchéité à l'air du bâtiment en durcissant l'exigence de perméabilité à l'air.
5. Améliorer l'efficacité des systèmes de ventilation en rendant obligatoire la mesure des débits de ventilation et la perméabilité des réseaux pour garantir une bonne qualité de l'air.

Dans un second temps, le nouveau label **Effinergie +**, cherche aussi à mobiliser les occupants et les usagers sur la totalité des consommations d'énergie en les informant : par un calcul prévisionnel, et un affichage des consommations... Pour ce faire, il convient de :

1. Rendre obligatoire une évaluation des consommations mobilières, les autres usages de l'énergie (médiats, électroménager...).
2. Mettre en place des compteurs de consommation liée aux prises de courant.

10.3. La démarche Minergie :

Le label suisse Minergie, créé en 1996, est applicable pour les bâtiments neufs ou rénovés, principalement en Suisse, mais aussi dans d'autres pays d'Europe : en France, Italie, au Luxembourg et en Allemagne (Maes, 2009).

Depuis 1998, Minergie est le label suisse dédié au confort des bâtiments, à l'efficacité énergétique et au maintien de la valeur du patrimoine immobilier. La priorité est accordée au confort des espaces de vie et de travail pour les occupants d'un bâtiment, qu'il s'agisse d'une construction neuve ou d'un ancien bâtiment rénové ou à rénover.

Les bâtiments Minergie se caractérisent également par des besoins très faibles en énergie et une exploitation des énergies renouvelables aussi élevée que possible (fig. 4.6).

Ce label jouit d'une large adhésion par le fait de la liberté qu'il offre aux acteurs du bâtiment : les architectes et les maîtres d'ouvrages trouvent un champ très large pour le choix des matériaux, des systèmes structurels et constructifs tant interne qu'externe du bâtiment.

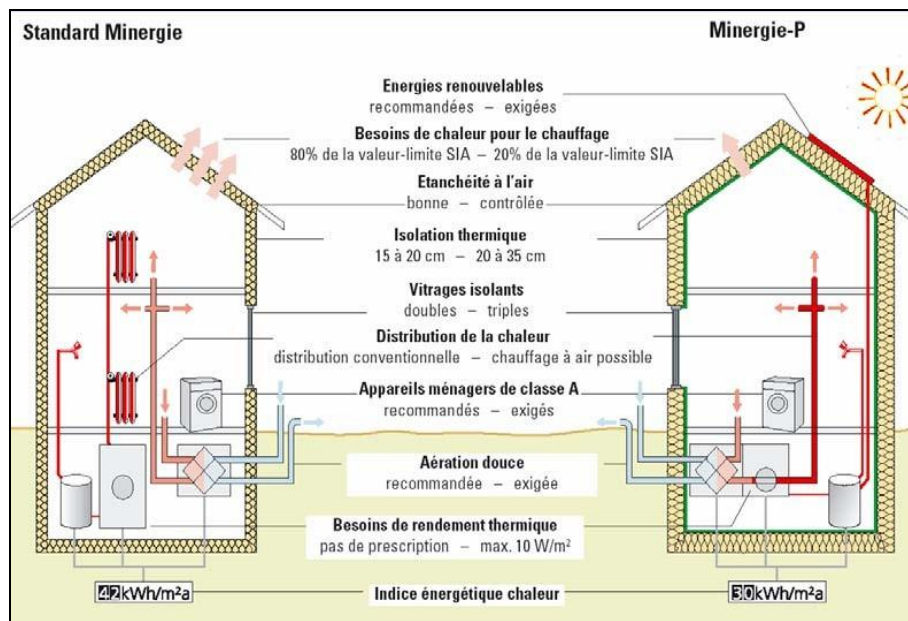


Figure 4.6 : Exigence des standards Minergie® et Minergie-P. Source : Minergie, 2007.

10.3.1. Le label Minergie:

Le label Minergie s'adresse aux maîtres d'ouvrage et planificateurs dont le niveau d'exigence est supérieur à la moyenne en termes de qualité, de confort et d'énergie.

Ce label définit six niveaux de performance (Minergie, 2015) :

1. Minergie standard. pour les bâtiments à faible consommation d'énergie
2. Minergie-P (Passif) désigne des constructions à très basse consommation d'énergie et répond aux exigences maximales en termes de qualité, de confort et d'énergie, grâce notamment à une excellente enveloppe du bâtiment.
3. Minergie-A. combine des exigences supérieures en termes de qualité et de confort avec une indépendance énergétique maximale, grâce aux importantes installations photovoltaïques et des systèmes de batterie et de gestion des pics de charge.
4. Minergie Eco (Minergie avec éco matériaux et prise en compte du volet santé).
5. Minergie Eco-P. prend en compte les critères concernant la santé des utilisateurs et l'éco construction du bâtiment.
6. Minergie Eco-A. prend en compte les critères concernant la santé des utilisateurs et l'éco construction du bâtiment.

10.3.2. Le bâtiment à basse consommation :

Le label Minergie est la définition même du bâtiment à basse consommation en Suisse. Depuis son lancement en 1998, plus de 37 000 édifices ont été certifiés par ce label qui récompense les bâtiments sur les plans du confort et de l'efficacité énergétique.

Le label Minergie repose sur les exigences suivantes:

- a. Une bonne isolation de l'enveloppe du bâtiment.
- b. Un renouvellement contrôlé de l'air.
- c. Un approvisionnement énergétique hautement efficace basé sur les sources d'énergies renouvelables.

10.3.3. Maitrise d'énergie et Efficacité Energétique :

L'expression « maitrise d'énergie » apparait au début des années quatre vingt 1980, laissant ensuite la place à l'expression « efficacité énergétique » : avec une vision plus globale, intégrant ainsi la rationalisation dans la consommation des ressources énergétiques primaires.

Ce terme regroupe donc l'économie d'énergie, et consiste à réduire les consommations d'énergie, et la diminution des couts environnementaux, économiques et sociaux liés, tout en assurant d'augmenter la qualité de vie de tous les habitants de la planète et celle des générations futures (principe du développement durable), (Burtland, 1987).

La qualité énergétique du bâtiment est représentée par l'indice Minergie. Ce dernier témoigne du volume d'énergie finale nécessaire à l'approvisionnement en énergie d'un bâtiment.

Le calcul de cet indice, prend en compte la qualité de l'enveloppe du bâtiment, les installations techniques, les appareils et l'éclairage, l'approvisionnement énergétique basé sur les sources d'énergies renouvelables ainsi que l'autoproduction d'électricité, à condition qu'il existe également un renouvellement contrôlé de l'air.

Les nouveaux bâtiments doivent se caractériser par la possibilité d'avoir recours aux énergies renouvelables et de couvrir une partie de leurs besoins en électricité par un système d'autoproduction de courant. Leur indice Minergie s'élève à **55 kWh/m²** par année (énergie finale pondérée).

10.4. La norme Réglementation Thermique RT 2005 :

La première réglementation en Europe, imposant une performance énergétique minimale des bâtiments, la Réglementation Thermique **RT 74**, date de 1974 et est consécutive au premier choc pétrolier, les normes sont actualisées tous les cinq ans (RT2000, RT 2005, RT2012).

L'idée de bâtiments sans chauffage et sans climatisation constitue une révolution dans le secteur du bâtiment, qui devrait tenir lieu de modèle dans les années à venir. Dans les pays d'Europe se sont développés des habitats dont la consommation énergétique totale est quatre fois inférieure à celles définies par les réglementations officielles du secteur du bâtiment.

La norme Réglementation Thermique **RT 2005** est la norme actuellement en vigueur pour toutes les constructions neuves depuis le 31 Août 2006.

En moyenne, une construction respectant la norme RT2005 consomme en moyenne entre 120 et 220 Kwh/m²/an (climatisation, chauffage, eau chaude, éclairage, et ventilation).

- La norme HPE correspond à une consommation inférieure de moins de 10% par rapport à la norme RT2005.
- La norme THPE correspond à une consommation inférieure de moins de 20% par rapport à la norme RT 2005.

10.5. La norme Réglementation Thermique RT 2012 :

Suite à la réglementation thermique française pour les bâtiments neufs RT 2005, la réglementation thermique française RT 2012 met trois 3 exigences en termes de performances énergétiques globales (Legifrance, 2012) à savoir :

1. L'efficacité énergétique minimale du bâtiment.
2. Une consommation d'énergie primaire limitée.
3. Un bon confort d'été.

La RT 2012 est la cinquième réglementation thermique de la France. Tout comme les précédentes RT, elle vise à limiter les consommations énergétiques des logements et bâtiments tertiaires. La RT 2012 est le fruit du Grenelle Environnement dont elle traduit sur le terrain les engagements les plus ambitieux :

- a. Réduire la consommation d'énergie de 38% d'ici à 2020.
- b. Diminuer les émissions de gaz à effet de serre de 50% à la même date.

La RT 2012 impose une consommation d'énergie primaire inférieure à **50 kWh/m²/an** contre **150 kWh/m²/an** environ pour la RT2005 (il s'agit de diviser par trois 3 la consommation énergétique des bâtiments).

10.6. La norme BBC – Bâtiment Basse Consommation :

La norme BBC s'obtient quand la consommation d'énergie pour le chauffage, le refroidissement, la production d'eau chaude est inférieure à **50Kwh/m²/an** (coefficient différent selon la situation géographique ou il est implanté le bâtiment) .

Parallèlement, la norme BBC vise à susciter une « évolution industrielle et technologique significative » de la filière construction, un bon niveau de performance énergétique des

bâtiments ainsi qu'un bon équilibre technique et économique entre les énergies de chauffage, de climatisation et de l'eau chaude sanitaire. Les bâtiments basse consommation deviennent ainsi la référence.

10.7. La Haute Qualité Environnementale HQE :

L'association HQE a donné deux définitions de la qualité environnementale des bâtiments: l'une servant de socle, l'autre exigeentielle, tournée vers l'action.

La qualité environnementale d'un bâtiment correspond aux caractéristiques de celui-ci, de ses équipements et du reste de la parcelle, qui lui permettent une aptitude à satisfaire les besoins de maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur avec la création d'un environnement sain et confortable.

La définition exigeentielle de la qualité environnementale du bâtiment clarifie une mise en ordre opérationnelle d'exigences appelées 'cibles'.

Les quatorze 14 cibles retenues pour la HQE sont classées en deux 2 domaines et quatre 4 familles :

Domaine I : Maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur.

Première famille : les cibles de l'**éco-construction**.

Cible n°01 : Relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat.

Cible n°02 : Choix intégré des procédés et produits de construction.

Cible n°03 : Chantier à faible nuisance.

Deuxième famille : les cibles de l'**éco-gestion**.

Cible n°04 : Gestion de l'énergie.

Cible n°05 : Gestion de l'eau.

Cible n°06 : Gestion des déchets d'activités.

Cible n°07 : Gestion de l'entretien et de la maintenance.

Domaine II : Création d'un environnement intérieur satisfaisant.

Troisième famille : les cibles du **confort**.

Cible n°08 : Confort hygrothermique.

Cible n°09 : Confort acoustique.

Cible n°10 : Confort visuel.

Cible n°11 : Confort olfactif.

Quatrième famille : les cibles de **santé**.

Cible n°12 : Conditions sanitaires des espaces.

Cible n°13 : Qualité de l'air.

Cible n°14 : Qualité de l'eau.

10.8. LEED :

Leadership in Energy and Environnement Design, cette démarche, qui a cours aux USA, au Canada et en Australie, a vu le jour 1998 par les organismes US Green Building Council(USGBC) pour les USA et le CAGBC pour le Canada.

Initialement, cette démarche était dédiée aux bâtiments tertiaires neufs, maintenant elle concerne tout type de bâtiments et met en œuvre l'évaluation intégrale du bâtiment tout au long de son cycle de vie.

LEED est une certification de bâtiment dépendant d'une organisation gouvernementale à but non lucratif le 'USGBC', U.S. Green Building Council.

Le système de notation LEED Green Building aide les professionnels à améliorer la qualité de leurs bâtiments et leurs impacts sur l'environnement.

Elle regroupe sept 7 catégories, dont:

1. Aménagement écologique des sites.
2. Gestion de l'eau.
3. Energie et atmosphère.
4. Matériaux et ressources.
5. Qualité environnementale intérieur.
6. Systèmes et techniques constructives.
7. Innovation en design et région prioritaire.

Ainsi qu'une pondération spécifique sont alloués à chaque catégorie permettant au projet de cumuler 40 points et plus pour avoir le certificat.

La certification LEED pour les nouvelles constructions ou les bâtiments rénovés énergétiquement est classée selon quatre échelles :

- Echelle 1 : Certifié 40 – 49 points.
- Echelle 2 : Silver 50 – 59 points.
- Echelle 3 : Gold 60 – 69 points.
- Echelle 4 : Platinum 80 points et plus.

10.9. BREEAM :

Building Research Establishment Environmental Assessment Method, est une méthode d'évaluation des performances environnementales des bâtiments pour la conception, la

construction et le fonctionnement de bâtiments écologiques, développée en 1990 en Angleterre par le Building Research Establishment (BRE).

Ce label constitue le précurseur dans le monde toutes les démarches de qualité environnementale et de performance énergétique dans le bâtiment. La démarche suivie par ce label est une approche transversale de type « système », qui se base sur l'affectation des éco points cumulables dans le cadre de l'évaluation d'un score global.

Bien que ce label soit le plus répandu dans le monde en termes de nombre d'opérations effectuées, il présente des limites climatiques et d'usage standard spécifiques à l'environnement d'origine font obstacle à son utilisation dans un autre environnement différent de celui d'origine, ainsi que l'absence de critères exprimant le confort d'été montre les difficultés à adapter ce label dans les pays à climats chauds et sec (tel que l'Algérie).

11. Performances Thermiques et Efficacités Energétiques des Bâtiments :

On peut définir l'efficacité énergétique est le rapport entre ce que peut produire un système, et ce qu'il absorbe comme énergie.

Elle est d'autant meilleure que le système énergétique utilise le moins d'énergie pour une meilleure rentabilité, que cela soit pour le chauffage, la climatisation, l'éclairage ou la production de l'eau chaude sanitaire et toute sorte de besoin énergétique.

« Consommer moins et mieux pour le même confort thermique », tel est l'objectif de l'efficacité énergétique. Et donc, on distingue deux types d'efficacité énergétiques :

1. L'efficacité énergétique passive, obtenue par les éléments du bâtiment, son inertie et la qualité de l'isolation thermique de son enveloppe ainsi que toutes les protections solaires et les masques intégrées.
2. L'efficacité énergétique active, qui intègre une gestion technique du bâtiment et avec un système de contrôle en continu entre la consommation énergétique à gérer et un confort des usagers à assurer(en permanence).

12. Les certificats d'économies d'énergie de Bâtiment:

La certification énergétique est une procédure opérationnelle qui permet d'évaluer la consommation énergétique d'un bâtiment ainsi que la performance réelle prenant en compte la conduite énergétique des occupants (Nadine, 2001). Elle a pour but d'informer sur la performance énergétique du bâtiment et de ses équipements ainsi des orientations pour le choix technique permettant de réduire la facture d'énergie.

13. L'audit énergétique de Bâtiment :

L'audit énergétique du bâtiment comprend : un état des lieux, un diagnostic du bâti, des équipements énergétiques, des installations techniques. Il sert à analyser les points faibles du bâtiment et à donner des propositions d'améliorations suivant des considérations techniques, économiques et selon le gisement d'énergie du site considéré.

14. Bilan thermique d'un Bâtiment :

Le bilan thermique d'un Bâtiment permet d'éviter les sources de gaspillage d'énergie, et de calculer les besoins de climatisation et en chauffage d'un bâtiment. La performance globale est évaluée en $\text{kwh/m}^2\text{an}$.

Les grandeurs énergétiques qui influent sur le bilan thermique d'un bâtiment :

14.1. Conduction à travers l'enveloppe :

L'absorption du rayonnement solaire sur les faces externes de l'enveloppe contribue à accroître les gains solaires en été mais elle diminue les pertes en hiver. Alors pour une enveloppe bien isolée, la contribution solaire est faible, et considérée comme négligeable.

14.2. Renouvellement de l'air :

Un renouvellement de l'air minimum est nécessaire pour obtenir un niveau acceptable de la qualité de l'air intérieur dans le bâtiment. Il représente une perte de chaleur en hiver, et un gain de chaleur en été.

14.3. Gains solaire à travers les vitrages :

C'est la quantité d'énergie solaire qui entre dans le bâtiment à travers les fenêtres et autres surfaces vitrées. Il représente toujours un gain de chaleur aussi bien en été qu'en hiver

14.4. Gains internes :

Il concerne toutes les sources de chaleur situées à l'intérieur du bâtiment, notamment les occupants, luminaires, et autres équipements. Il représente toujours un gain de chaleur.

14.5. Sources d'énergie :

C'est la quantité d'énergie délivrée par tout équipement de chauffage ou de climatisation, activé pour contrôler l'environnement intérieur pour assurer le confort.

15. Calcul du bilan énergétique du Bâtiment :

Le bilan énergétique permet de définir avec précision la quantité d'énergie totale nécessaire et consommé pour chaque bâtiment. Selon les saisons, il est calculé

Pour l'Hiver, le bilan énergétique est calculé à partir de l'équation :

$$Q_{aux} = Q_{le} + Q_{lv} - Q_{gs} - Q_{gi}$$

Le bilan énergétique d'Eté est calculé à partir de l'équation :

$$Q_{aux} = Q_{le} + Q_{lv} + Q_{gs} + Q_{gi}$$

Avec : Q_{aux} : le bilan d'énergie.

Q_{le} : pertes par conduction de l'enveloppe.

Q_{lv} : pertes par renouvellement d'air.

Q_{gs} : gains solaires.

Q_{gi} : gains internes

Le bilan thermique est une partie de ce bilan énergétique, il permet de déterminer et de quantifier toutes les consommations d'énergie pour assurer un confort thermique adéquat. Aussi, il permet de vérifier l'efficacité de l'enveloppe thermique et de mettre l'accent sur les points des défaillances.

Et sur la base de ce dernier, toutes les améliorations et suggestions par rapport à l'enveloppe du bâtiment, ses systèmes de climatisation, de chauffage, de ventilation, ... seront engagés ou à améliorer.

15.1. Diagnostic de performance énergétique DPE du bâtiment :

Le bilan énergétique d'un bâtiment reflète la consommation énergétique de ce dernier. Il démontre l'efficacité de l'enveloppe du bâtiment, son système d'isolation, d'une part, et la quantité d'énergie totale nécessaire pour le bon fonctionnement de ce bâtiment.

En raison de l'accroissement du parc immobilier, d'une part, et de la nécessité des équipements consommateurs d'électricité dans les secteurs résidentiels et tertiaire, d'autre part, la réduction de la consommation énergétique des bâtiments est un véritable défi.

Dans ce contexte, la mise en place d'exigences minimales avec des règles relatives à la performance énergétique des bâtiments constitue un premier pas important vers la maîtrise de leurs consommations énergétiques.

Le diagnostic de performance énergétique DPE fait partie de cette réglementation sur la maîtrise de l'énergie, donne aux acteurs et usagers des bâtiments une classification entre A et G par rapport aux consommations et impacts sur l'environnement (fig.4.6).

Le diagnostic de performance énergétique DPE comporte deux parties :

1. Une étiquette affiche la consommation d'énergie (chauffage, climatisation, ECS).
2. Une autre étiquette affiche l'impact de ces consommations sur les émissions des gaz à effet de serre.

Un bon diagnostic DPE de bâtiment doit suivre les sept 07 instructions suivantes :

1. Identifier le mode constructif du bâtiment (selon son époque de construction).
2. Connaitre son fonctionnement thermique (avec ses dispositions actives et passives).
3. Avoir une approche bioclimatique du bâtiment (pour interpréter les consommations).
4. Etudier conjointement son comportement thermique d'hiver et son confort thermique d'été.
5. Considérer que les dispositions les plus économes en énergie sont passives.
6. Eviter les ponts thermiques dans les constructions (surtout les bâtiments anciens).
7. Ne préconiser que des améliorations qui ne risquent pas de provoquer de désordres.

15.2. Les étiquette Energie et Climat

Le besoin énergétique défini est visualisé sur les étiquettes énergie, et climat avec un classement allant de A à G (du bâtiment très efficace énergétiquement, au bâtiment peu efficace énergétiquement), selon les étiquettes (fig.4.6). Ces étiquettes énergie se résument à :

15.2.1. Etiquette Energie : c'est la classification d'un bâtiment selon la consommation annuelle par m²(en kWh énergie primaire/m².an), sept classes sont définies de A à G.

Classe A	Classe G
Bâtiment économe, avec une consommation annuelle d'énergie primaire pour le chauffage, l'ECS, et le refroidissement < 51 kwh/m ² .an	Bâtiment énergivore, avec une consommation annuelle d'énergie primaire pour le chauffage, l'ECS, et le refroidissement égale ou supérieure à 51 kwh/m ² .an

15.2.2. Etiquette Climat: c'est la classification d'un bâtiment selon le niveau d'émission annuelle de GES par m² lié à la consommation (en kgCO₂/m².an), allant de la classe A à la classe G.

Classe A	Classe G
Faibles émissions de gaz à effet de serre, avec 5 kg.équivalent de CO ₂ /m ² .an	Fortes émissions de gaz à effet de serre, avec 80 kg.équivalent de CO ₂ /m ² .an

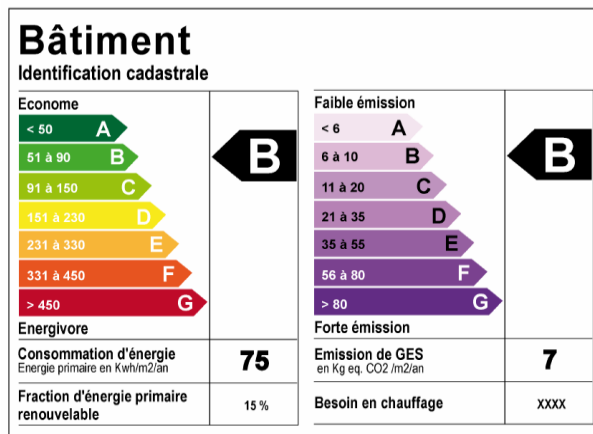


Figure4.6a : Etiquette énergie et climat pour le bâtiment. Source : <http://www.ademe.fr>

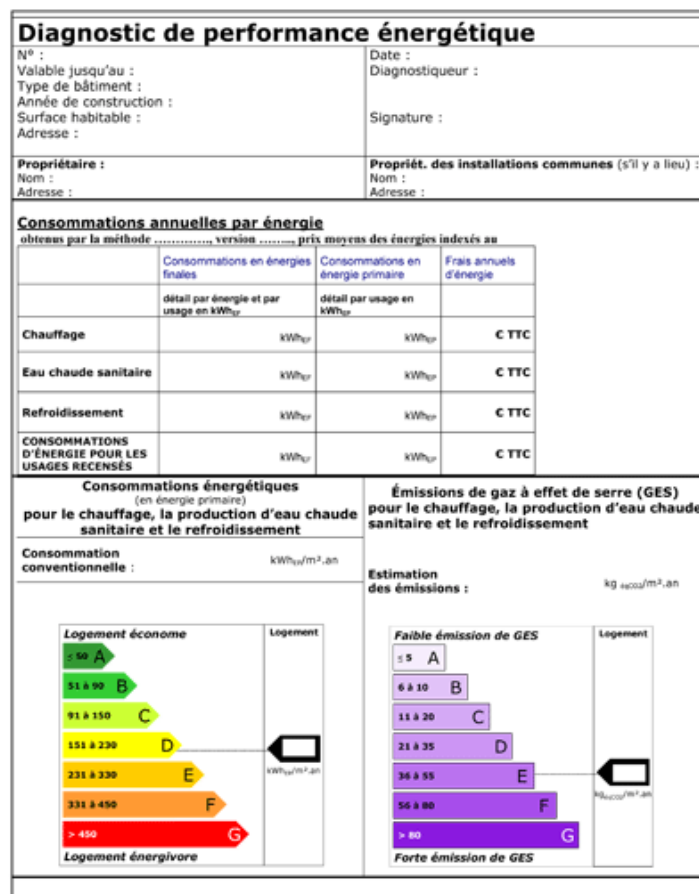


Figure4.6b : Etiquette énergie pour le bâtiment. Source : Ademe

16. Critères de Performances Energétiques des Bâtiments :

La performance énergétique d'un bâtiment est définie selon plusieurs critères ayant relation avec l'enveloppe et les parois du bâtiment, ses matériaux, son système d'isolation et le niveau de consommation d'énergie annuellement.

16.1. Le Coefficient de Transmission Thermique d'une paroi U

Le caractère isolant d'une paroi dépend de l'épaisseur et de la nature des matériaux mis en œuvre. Le niveau d'isolation d'une paroi est donné par son coefficient de transmission thermique « U », celui d'un bâtiment complet est donné par le coefficient « K » .

Le coefficient de transmission thermique d'une paroi U est la quantité de chaleur traversant cette paroi en régime permanent, par unité de temps, par unité de surface, et par unité de différence de température entre les ambiances situées de part et d'autre de la paroi.

Le coefficient de transmission thermique d'une paroi U est l'inverse de la résistance thermique totale (RT) de la paroi : $U=1/RT$, U exprimée en W/m^2K .

Plus la valeur de U est faible, plus le bâtiment est mieux isolé.

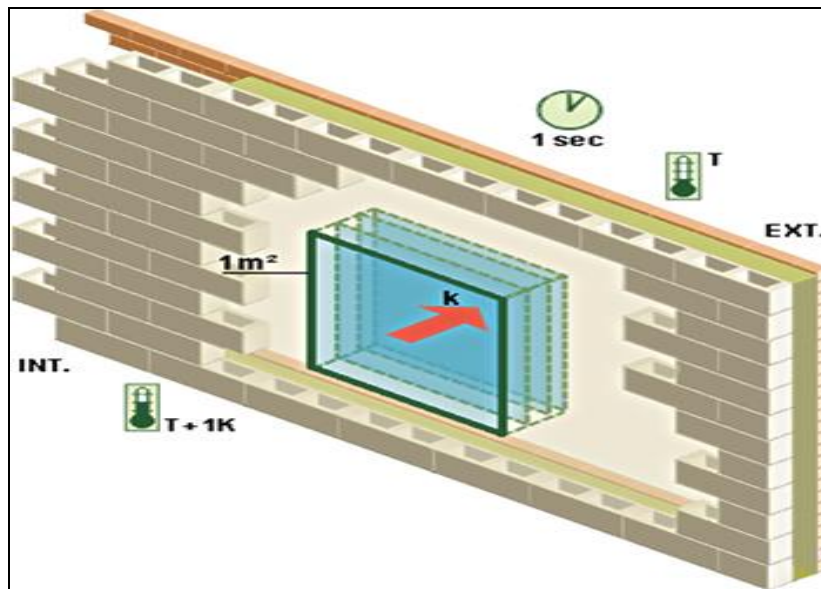


Figure4.7 : Transmission thermique de la paroi de bâtiment. Source : www.energieplus.be

16.2. Le Coefficient de Transmission Thermique d'un Matériau μ en W/mK

Le coefficient de transmission thermique d'un matériau est la quantité de chaleur qui traverse en 1 seconde un matériau d'1 mètre d'épaisseur et d'une surface de $1 m^2$ pour une différence de température de $1^\circ C$ entre ses deux faces. Plus la valeur de μ est faible, plus le matériau est le mieux isolant.

16.3. Le niveau d'isolation thermique globale d'un bâtiment K

Le coefficient K définit le niveau d'isolation thermique globale d'un bâtiment. Plus la valeur de K est basse, plus la perte d'énergie du bâtiment est faible : La perte d'énergie par les éléments de la toiture, le sol, l'enveloppe et les murs extérieurs, ainsi que la menuiserie.

Il est déterminé par les caractéristiques d'isolation des surfaces homogènes de déperdition et leur surface propre par rapport à la compacité du bâtiment.

Le choix d'une bonne isolation thermique pour le bâtiment permet de prolonger les périodes de confort thermique sans avoir recours aux systèmes de chauffage ou de climatisation, et de réduire la taille de ces systèmes et aussi le coût énergétique annuel.

16.4. Le niveau de consommation annuelle d'énergie E

La méthode de calcul du niveau de consommation annuelle E est différenciée par type de bâtiments résidentiels ou tertiaires, et prend en charge :

- Le site d'implantation du bâtiment, compacité et orientation du bâtiment.
- Les caractéristiques de l'enveloppe et l'étanchéité à l'air du bâtiment.
- Les systèmes de chauffage, et de climatisation.
- La ventilation.
- Le confort intérieur.
- L'éclairage et les installations d'éclairage.
- Les systèmes solaires passifs et les protections solaires.
- Les systèmes solaires actifs, et les systèmes faisant appel aux énergies renouvelables pour le chauffage et la production d'électricité.
- Les systèmes de chauffage et de climatisation collectifs ou urbains.

Conclusion

Ce chapitre montre les problématiques énergétiques rencontrées par les bâtiments. Il expose les crises économiques mondiales ressenties ces dernières années, ainsi que les préoccupations par rapport à l'économie et la maîtrise d'énergie, et la réduction des émissions et impacts sur l'environnement.

Pour le secteur du bâtiment, cette prise de conscience s'est traduite par une approche énergétique dans la conception architecturale des bâtiments, visant à économiser les ressources énergétiques épuisables, réduire les gaz à effet de serre, et de lutter contre le réchauffement climatique.

Ainsi, les concepts de performance thermique du bâtiment, de son efficacité énergétique et de son empreinte environnementale sont détaillés.

La performance énergétique d'un bâtiment est la quantité d'énergie nécessaire pour répondre aux besoins énergétiques liés à une utilisation normale du bâtiment, ce qui inclut l'énergie utilisée par ses systèmes techniques (y compris les systèmes de ventilation, d'éclairage, de chauffage, de refroidissement et de production d'eau chaude).

La maîtrise de la consommation d'énergie est une préoccupation majeure pour un grand nombre de pays. A l'heure actuelle l'utilisation rationnelle de l'énergie, a pour objectif d'éviter l'amplification des factures énergétiques des consommations dus aux prix des énergies non renouvelables, qui sont en perpétuelle hausse et causent des contraintes des niveaux de confort et d'économie, ainsi que des impacts très importants sur l'environnement.

Pour concrétiser la loi sur la maîtrise de l'énergie et respecter les accords de Kyoto, les approches d'aide à la conception pour les bâtiments neufs et les solutions de réhabilitation thermique des bâtiments existants dans l'objectif de limiter le recours excessif aux systèmes de climatisation et de chauffage surtout pour les bâtiments dans les régions arides à climats chauds et sec.

Sur le plan législatif, l'Algérie comme d'autres pays du bassin méditerranéen, a décrété de nombreux textes et réglementations thermiques, énergétiques et environnementales qui, en l'absence de textes d'application, restent sans effet, d'où le besoin urgent de mesures complémentaires dont des dispositifs incitatifs et la mise en place d'un mécanisme approprié afin de promouvoir l'amélioration des performances thermiques des bâtiments, l'économie et l'optimisation dans l'utilisation de l'énergie ainsi que la réduction des émissions et impacts sur l'environnement.

Chapitre V :

Biskra, Contexte d'étude

Introduction :

L'objectif de ce chapitre est de présenter le contexte de notre étude, la ville de Biskra, ville représentative des villes algériennes et des villes situées dans les régions arides à climat chaud et sec.

Une présentation de la ville de Biskra, sa situation géographique et ses caractéristiques climatiques. Un aperçu historique de la production architecturale des bâtiments durant les différentes périodes, de la période coloniale, post colonial, après l'indépendance, et la période récente. Aussi les spécificités urbaines et architecturales des bâtiments et en particulier des bâtiments de bureaux durant toutes ces périodes.

La deuxième partie de ce chapitre, traite les bâtiments de bureaux dans la ville de Biskra, ainsi que l'architecture tertiaire et ses caractéristiques par rapport au contexte géographique et climatique de la ville de Biskra. Ainsi, vu l'absence totale de toute étude sur l'empreinte environnementale des bâtiments de bureaux, il nous a été jugé utile de procéder à l'étude exploratoire, notre choix de l'échantillon est justifié par des critères bien spécifiques selon l'objectif de cette recherche.

1^{ème} Partie: Le Contexte d'étude, la ville de Biskra.**1. Présentation de la ville de Biskra :**

Biskra, ville du Sud Est algérien, est située à 450 KM au Sud-est d'Alger (fig. 5.1).

Appelée la "Reine des Zibans", est l'une des principales Oasis du Sahara algérien.

Historiquement Biskra a évoluée, comme toute ville du désert, Chef-lieu de Wilaya en 1974, d'une superficie est de 21 671 Km², et sa population et d'environ 680 000 habitants. C'est une

2 Contexte d'étude - Situation géographique:

La ville de Biskra est située sur les lignes 34,48° de latitude Nord, à une longitude de 5.3498 °Est et à 86 m d'altitude. Entre montagne et plaine, elle est un carrefour d'itinéraires historiques reliant Sud au Nord ainsi que l'Est et l'Ouest. Elle est enchaînée par deux rivières : Oued fodhala descendant du djebel Belezma et l'oued Abdi descendant du djebel Mahmel qui parcourent 120kms pour arriver chacune de son côté au couloir "Faj" et qui donnent naissance à l'oued Sidi Zarzour.

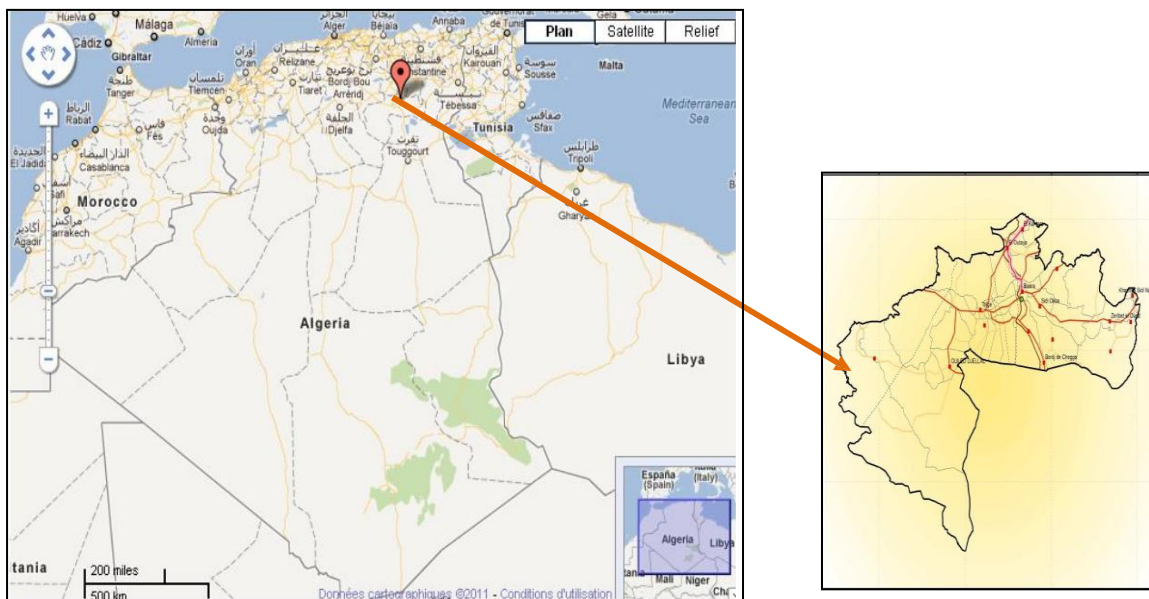


Figure 5.1 : Situation de la ville de Biskra.

Source : Carte d'Algérie.

2.1. Localisation géographique

Notre zone d'étude est située dans la ville de Biskra. C'est est une Ville parfaitement représentative pour l'analyse environnementale de son cadre bâti par l'approche d'analyse de cycle de vie ACV des bâtiments, dans une région aride à climat chaud et sec.

Et dont le rayonnement solaire et la température constituent des éléments importants influant sur : l'échauffement de l'enveloppe du bâtiment, la modification des ambiances intérieures ou se manifestent l'influence des aspects thermiques et énergétiques du soleil clairement sur la forme du bâti.

2.2. Climat et microclimat de Biskra:

Le climat a toujours joué un rôle très déterminant dans la définition du bâtiment et de ses caractéristiques formelles et structurelles. Le concepteur de bâtiment a besoin de connaître le climat du lieu d'implantation de son futur bâtiment, c'est-à-dire le régime des températures, de l'humidité de l'air, la nature des précipitations, l'ensoleillement et le régime et la nature des vents auxquels il sera exposé(Lavigne,1994). D'autres facteurs interviennent aussi dans la configuration du bâtiment tels que : le social, le culturel et l'économique.

L'architecte a pour rôle de concilier entre les exigences de l'utilisateur du bâtiment et de son environnement. Pour cela une étude climatique de la zone d'implantation du bâtiment cas d'étude s'avère très nécessaire pour notre positionnement par rapport à notre thématique.

Le climat de la ville de Biskra se caractérise par sa rudesse :

- a. Hivers froids.
- b. Etés très chauds et très secs.
- c. Les amplitudes de températures entre la nuit et le jour sont importantes ; auxquelles on peut ajouter la fréquence des vents de sable et du sirocco en été.

2.3. Caractéristiques du climat de Biskra:

Vu la situation de la ville de Biskra entre deux zones à climats distincts ; la nature géomorphologique du bassin et le caractère semi désertique de la région, ont engendré à la ville de Biskra un climat rigoureux caractérisé par un été très chaud et sec et un hiver froid, avec d'importants apports énergétiques en période estivale.

Les caractéristiques du climat de la ville de Biskra se présentent ainsi :

- a. La température :** A Biskra, les températures présentent de forts contrastes entre l'hiver et l'été. La température du mois le plus froid (janvier) est inférieure à 4°C, et la température maximale dépassant les 49°C en été. Les gradients de température sont accentués entre le jour et la nuit.
- b. L'humidité :** Biskra présente une humidité relative qui connaît une variation diurne et saisonnière. Elle est très importante surtout en hivers, l'été est très sec. Elle est faible de l'ordre de 27% (taux d'humidité relative moyenne).
- c. L'ensoleillement :** L'ensoleillement est très intense à Biskra, il est de l'ordre de 2190kwh/m²/an sur une surface horizontale pendant le mois de Juillet. La durée de jour maximale est de 14h30mn le mois ou le ciel est plus clair, reçoit une fraction d'insolation importante de 80%.

En hiver le rayonnement solaire global atteint son maximum en janvier et est de l'ordre de 2444Wh/m²/jour avec une durée de 151h/mois (le mois où le ciel est couvert, une fraction d'insolation de 47%), (Atlas solaire d'Algérie, 1994).

d. Le régime des vents : Les vents de sable sont fréquents pendant le printemps et l'été. En période hivernale, les vents Nord-Ouest sont les plus dominants, avec une vitesse allant de 2.9 m/s à 6.8 m/s. Dans les demi-saisons, les vents sont violents avec une vitesse qui peut dépasser les 80 km/h.

e. Les précipitations : La répartition annuelle des précipitations est marquée par une période courte de pluviométrie, et la majorité de l'année de très faibles précipitations et c'est la sécheresse qui règne à Biskra, et donc un climat sec à Biskra.

Ainsi, les données météorologiques relatives à l'année 2016 proviennent de la station météo de Biskra se résument à :

1. La température moyenne varie entre la maximale de 44°C.
2. La température moyenne varie entre la minimale de 04°C.
3. La température en été à l'ombre dépasse 49°C.
4. En hivers la température extérieure peut descendre à -02°C la nuit.
5. L'amplitude entre le jour et la nuit atteint 15°C.
6. Une forte insolation dépassant 3500h/an.
7. Un intense rayonnement solaire direct qui peut atteindre 900 à 1100 W/m².
8. L'humidité relative reste faible de l'ordre de 27%.
9. Les vents sont violents et peuvent dépasser les 80 km/h pendant les demi-saisons.

Il y a nécessité de prendre en charge ces paramètres dans l'aménagement urbain de la ville par le biais de la mise en place de ceintures vertes ou brise-vent en parallèle aux solutions architecturales et techniques et de stratégies passives spécifiques à adopter aux bâtiments afin d'atténuer les effets néfastes dû aux conditions climatiques sus indiquées.

Aussi d'avoir des bâtiments économes avec une maîtrise dans leurs consommations énergétiques et avec une empreinte environnementale très maîtrisable (avec de faibles émissions et impacts sur l'environnement).

2.4. Spécificités Urbaines de Biskra:

La ville de Biskra a connu un développement à l'instar des villes du Nord du pays, marginalisant ainsi les caractéristiques climatiques très spécifiques et rudes de la région.

La prolifération des masses bétonnées et des larges rues asphaltées a contribué à la détérioration du microclimat de la région.



Figure 5.2 : Vue du Centre ville de Biskra.

Source : Auteur, 2017.

Cet état est aggravé en été par les chaleurs dégagées des appareils de climatisation, les moyens de transport (les voitures surtout) et surtout l'absence de la végétation et des plans d'eau (albédo : 0,35).

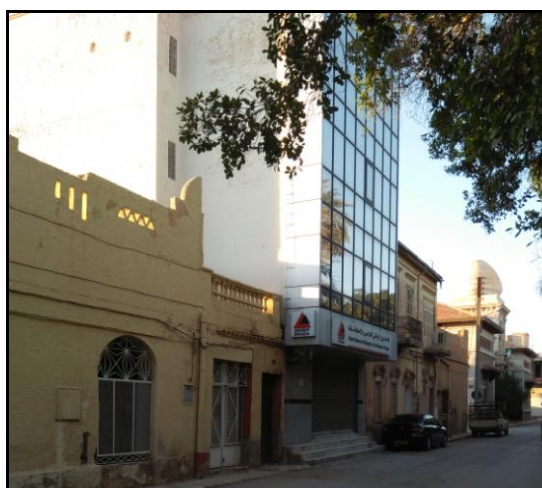


Figure 5.3. : Siège CNEP Banque à Biskra.

Source : Auteur, 2017.

A Biskra, toutes les nouvelles constructions (bâtiments à quatre 4 ou cinq 5 étages) sont caractérisées par :

1. Une dispersion des cités urbaines, exposant ainsi le bâtiment aux contraintes climatiques, particulièrement le soleil.
2. Une orientation arbitraire des bâtiments.
3. Un choix inadapté des matériaux de construction utilisés.
4. Absence de végétation et de plans d'eau.
5. Aucune protection de l'intensité des radiations solaires et des radiations réfléchies du sol et des bâtiments environnants.

6. Insectes, sables et tempêtes (vents de sables), dû au manque de traitement microclimatique (Tabet Aoul, 2000).

2.4.1. L'orientation des bâtiments :

On peut constater que les bâtiments de bureaux réalisés dans la ville de Biskra sont orientés dans des directions différentes, selon :

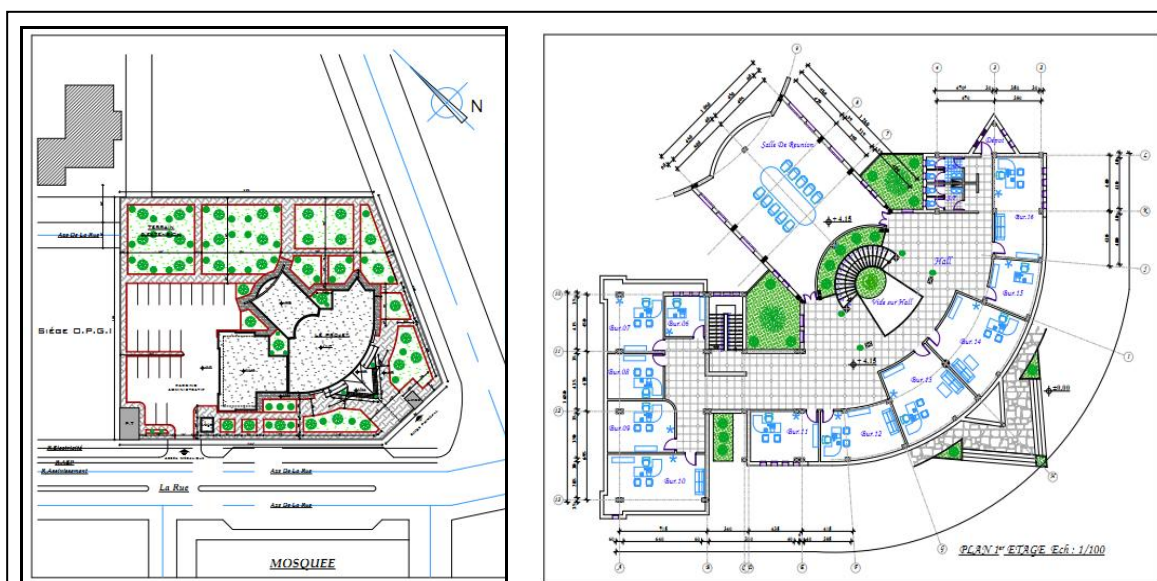
1. L'axe Nord- Sud pour les bâtiments : DPAT, DJS, DRAG, La maison de la culture.
2. L'axe Est- Ouest pour les bâtiments : Le Trésor Public, DUC, la Mairie, CNEP, etc.
3. L'axe Nord- Est pour les bâtiments : Direction des moudjahidines, DSA, BNA.
4. L'axe Nord-Ouest pour les bâtiments : l'ex siège de Mairie, Sonelgaz, la daïra.

Ainsi, le cas d'étude est essentiellement choisi selon les variables d'étude (les ambiances physiques de l'environnement), les données météo (température, humidité, vitesse de l'air, température radiante) déterminent la notion de confort thermique dont l'orientation constitue un élément très important dans la prise en compte des données climatiques.

2.4.2. L'organisation spatiale des bâtiments:

Le système de l'organisation spatiale est le résultat d'une stabilité et une rationalité du système structurel, de la distribution et le fonctionnement ainsi qu'une recherche de composition spatiale. A Biskra, on retrouve au niveau des bâtiments de bureaux, les formes d'organisations spatiales suivantes :

2.4.2.1. L'organisation centrale: c'est une composition stable, compacte, concentrée, consiste en un certain nombre d'espaces groupés autour d'un espace central (hall, cour, patio,...), avec une circulation radiale, en boucle, ou spirale.



a. Plan de masse.

b. Plan du Rez de Chaussée.

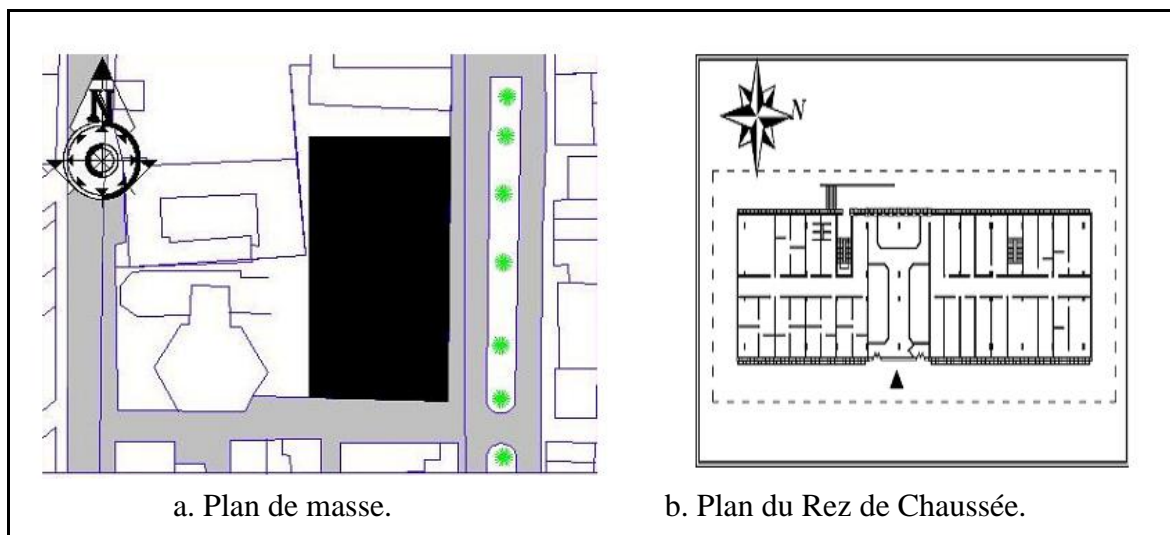


c. Vue du bâtiment.

Figure 5.4: Siège Agence Foncière de Biskra.

Source : Auteur, 2017.

2.4.2.2. L'organisation linéaire: elle consiste en un alignement d'une série d'espaces, et elle exprime une (ou plusieurs) direction et signifie l'extension, la croissance et le mouvement.

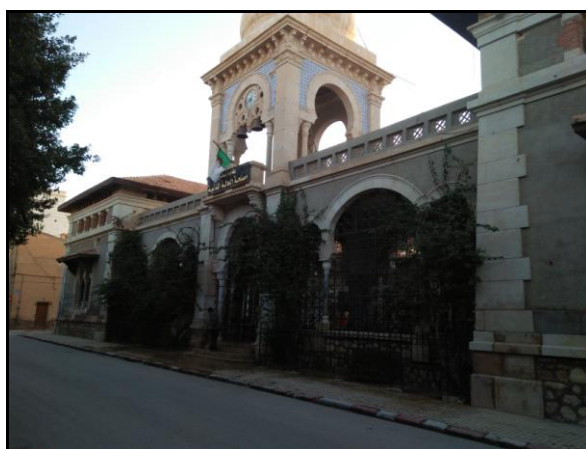
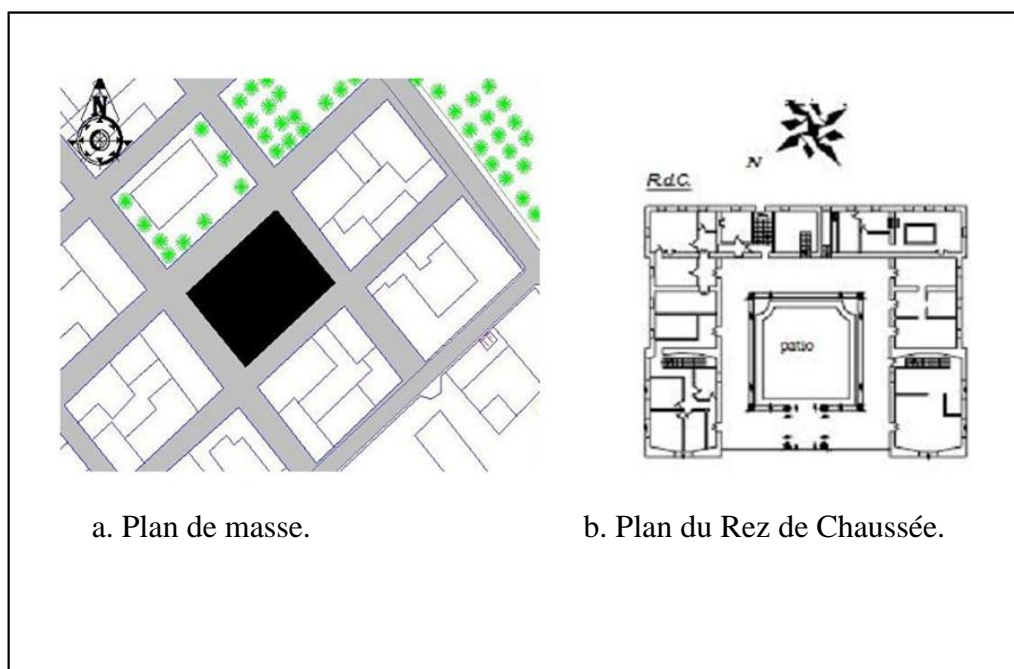


c. Vue du bâtiment.

Figure 5.5: Siège du Trésor Public de Biskra.

Source : Auteur, 2017.

2.4.2.3. L'organisation radiale: c'est une combinaison entre l'organisation linéaire et celle centrale. L'espace central est le point de départ de cette organisation, il est régulier et permet d'avoir des espaces identiques dans la forme et la taille et avec une certaine régularité.



c. Vue du bâtiment.

Figure 5.6: Siège l'Ex Siège de Mairie de Biskra.

Source : Auteur, 2017.

2.4.2.4. L'organisation topologique: régit par la proximité et l'assemblage en grappe, les espaces sont groupés par l'existence de traits visuels communs. Elle ne présente pas de structure géométrique fixe et définie.

En résumé, en ce qui concerne les bâtiments tertiaires situés dans la ville de Biskra, deux formes d'organisations spatiales sont les plus répandues :

- a. L'organisation **centrale** ; avec une distribution autour d'un patio ou d'un hall central, c'est le principe d'introverti, tel que le bâtiment de Mairie, hôtel des finances, l'ex Daïra.

- b. L'organisation **linéaire** ; avec une distribution axiale le long d'un dégagement, c'est le principe d'extraverti, tel que le bâtiment du Trésor public, CNAS, SAA,...etc.



a. Plan de masse.

b. Plan du Rez de Chaussée.



c. Vue du bâtiment.

Figure 5.7: Siège de la DTP de Biskra.

Source : Auteur, 2017.

2.5. La typologie des bureaux à Biskra:

L'enquête a révélé que le type de bureaux le plus fréquent dans ces bâtiments administratifs est le bureau cloisonné avec une taille moyenne. Le bureau paysagé existe seulement dans quelques administrations ou des bâtiments de services tels que Banque, Assurances, Caisse de sécurité sociale, postes, CNEP, et autres.

2.6. Critères de choix de la ville de Biskra :

Biskra est une ville représentative de toutes les villes algériennes, regroupant à la fois la ville traditionnelle, les aménagements de l'urbanisme colonial français, ainsi que les différentes interventions urbaines volontaristes (planifiés) de l'Algérie indépendante.

La ville de Biskra est devenue chef lieu de wilaya à partir de 1974, ce qui lui a permis de regrouper un grand nombre d'équipements publics et de bâtiments de bureaux pour sièges des différentes directions et administrations.

A Biskra, on ne trouve pas une cité administrative bien définie qui englobe tous les bâtiments de bureaux. Les premiers bâtiments administratifs sont situés au centre ville (bâtiments de la période coloniale), ou dans des bâtiments réhabilités, et dans les nouvelles zones urbaines (ZHUN), ou encore dans les nouvelles extensions Est et Ouest de la ville, souvent localisés dans les artères et avenues principales.

Ce choix de la ville n'est pas fortuit, car Biskra est aussi représentative des villes situées dans les régions arides, avec toutes les particularités d'un climat chaud et sec, d'une humidité relative très faible et un très faible taux de pluviométrie, avec tout ce qui peut résulter comme intervention urbaine et architecturale pour le mieux s'adapter à ce climat et de préserver l'environnement.

C'est ce qui a favorisé notre choix de la ville de Biskra pour l'étude énergétique et environnementale de son cadre bâti à travers ses bâtiments publics et plus particulièrement les bâtiments de bureaux.

2.7. Critères de choix du bâtiment échantillon:

Vu l'absence totale de toute étude sur l'empreinte environnementale des bâtiments de bureaux, il nous a été jugé utile de procéder à l'étude exploratoire, notre choix de l'échantillon est justifié par :

1. Les bâtiments sont représentatifs des différentes périodes de la croissance urbaine de la ville de Biskra (coloniale, post coloniale, et contemporaine).
2. Diversité de la morphologie architecturale et urbaine de la ville de Biskra.
3. L'orientation des bâtiments de bureaux.
4. L'organisation spatiale (autour d'un patio, hall central, dégagement).
5. La typologie des espaces bureaux (bureau cloisonné, paysagé, open office, etc..).
6. Le taux d'ouverture des bureaux pour ces bâtiments.
7. La typologie architecturale et le traitement des façades.
8. Les matériaux utilisés pour l'enveloppe du bâtiment.
9. Les systèmes de climatisation, de chauffage et de ventilation.

2.8. Approche physique du climat:

Le climat d'un lieu dépend de: sa latitude, sa circulation atmosphérique générale, des conditions de l'environnement et du site (Escourrou, 1980). Aussi, le climat d'une région se

défini par l'interaction des éléments suivants : la radiation solaire, la température, l'humidité, les vents, et les précipitations (Konya, 1980).

2.9. Classification du climat dans le monde:

L'étude de la climatologie est toujours liée à l'agriculture, ainsi que les systèmes de classification des climats restent reliés à la végétation d'une région, négligeant ainsi les besoins de l'organisme humain. L'identification des différentes classes du climat à l'échelle mondiale repose sur des combinaisons de facteurs tels que :

1. L'appartenance à certaines masses d'air.
2. Caractéristiques statiques du climat : précipitations, température, humidité, vent, etc...
3. Les éléments du paysage botanique (Godar et Estienne, 1970).

Ainsi que d'autres facteurs tels que :

1. Les rapports terre-mer.
2. La continentalité.
3. L'intervention du relief.
4. L'influence de l'altitude ou de l'abri (Godar et Estienne, 1970).

L'ensemble de tous ces facteurs permet de regrouper les climats en trois grandes catégories:

1. Climats des hautes latitudes 'polaires et subpolaires'.
2. Climats liés à la circulation zonale.
3. Climats de la zone intertropicale, (Godar et Estienne, 1970 ; Givoni, 1978).

2.10. Méthodes de Classification des climats:

Il y'a plusieurs systèmes de classification des climats dont les méthodes sont basées sur les recherches des géographes et des météorologues principalement les trois suivantes :

2.10.1 Méthode de De Martonne :

Méthode basée sur les précipitations et la température pour le calcul d'un « indice d'aridité ou d'humidité » ou « facteur de pluie »

2.10.2 Méthode de Koppen :

Basée sur la température, la pluviométrie et l'humidité. La classification de Koppen, largement utilisée, se base sur le choix de seuils, dont deux types sont utilisés :

Les *seuils thermiques* et les *seuils pluviométriques* (Evans, 1980).

Il a pu regrouper les climats en cinq (05) grandes catégories :

1. Climats tropicaux humides.
2. Climats arides ou désertiques.
3. Climats tempérés chauds.
4. Climats froids.

5. Climats des pôles. (Olgay, 1969).

2.10.3 Méthode de Givoni ;

Plus tard, une classification est établie par Givoni, ou on a les grandes catégories :

1. Climats chauds :

- a) Sec et chaud : désertique.
- b) Chaud et humide : équatorial et tropical maritime.
- c) Sec et chaud et humide.

2. Climats tempérés chauds :

- d) Type moyen occidental.
 - Méditerranéen de campagne.
 - Méditerranéen maritime.
- e) Type moyen oriental.

3. Climats tempérés froids :

- f) Tempérés froids continental.
- g) Tempérés froids maritimes.

4. Climat froids :

- h) Continental froid : sibérien.
- i) Froid maritime : norvégien.
- j) Arctique. (Givoni, 1978).

2.11. Caractéristique générales du climat chaud et sec :

On rencontre les climats désertiques dans les régions subtropicales d'Afrique, d'Asie, centrale et occidentale. D'Amérique du nord-ouest et du sud, et dans l'Australie centrale et occidentale. (Givoni, 1978). Il se caractérise par des écarts importants des températures diurnes dépassant 15°C, d'humidité d'air faible, des radiations solaires intenses, des vents secs et chauds et des précipitations très faibles (Givoni 1978, Evans 1980, Konya 1980).

2.12. Notion et indice d'aridité :

Le domaine aride se définit à partir de critères climatiques : il correspond aux régions caractérisées par un bilan hydrique déficitaire résultant, pour l'essentiel, de l'évaporation. En réalité, de nombreux autres facteurs interviennent, qui compliquent la notion d'aridité.

Car il importe de tenir compte du régime des précipitations – en milieu aride, celles-ci sont non seulement faibles, mais rares et irrégulières – et de ses rapports avec le régime thermique, l'insolation, les vents, le relief,...

De nombreux indices d'aridité ont été proposés. Un des simples est celui de Koppen, qui fixe des seuils limitant les régions arides et semi-arides ; pour que ce seuil d'aridité ne soit pas

atteint, les pluies doivent être d'autant plus abondantes qu'elles sont concentrées en été, lorsque l'évaporation est forte.

2.13. Classification du climat en Algérie:

Le territoire Algérien présente quatre zones climatiques (A, B, C, D,), et la ville de Biskra fait partie de la zone D appelée la zone Pré Sahara et Sahara (Mazouz, 2014).

Le tableau ci-dessous résume ses caractéristiques :

Zone D : Pré-Sahara et Sahara	
Localisation	Latitude entre la limite supérieure de 34°50'N à l'Ouest à 35°N à l'Est et la limite inférieure de 19° à l'Est et à l'Ouest.
Variations saisonnières	02 saisons chaude et froide
Température	T° Moy. Max. : 45° et entre 20-30 en hiver variation saisonnière de 20°, l'effet de la latitude les hivers deviennent de plus en plus froid.
Précipitation	Pluies rares, torrentielles par moments.
Humidité	Humidité réduite inférieure à 20% après midi et à plus de 40% la nuit.
Conditions célestes et rayonnement	Ciel clair pour une grande partie de l'année, mais les vents sable et les tempêtes sont fréquents, arrivant généralement les après midis. Rayonnement solaire intense augmenté par les rayons réfléchis par le sol.
Végétation	Extrêmement clairsemée.
Vents	Généralement locaux.

Tableau 5.1: les caractéristiques de la zone D : Pré-Sahara et Sahara Source : Mazouz, 2004.



Figure 5.8 : Photo satellite de la ville de Biskra. Source : Google Earth 2017.

3. Aperçu sur la ville de Biskra :

La ville de Biskra a connue une évolution de la population très remarquable depuis l'indépendance. Cette expansion rapide, se traduit par une extension et un étalement urbain de la ville à partir de son noyau vers d'autres centres, suite aux besoins d'habitat, d'équipements d'accompagnements, et de bâtiments publics et de services (bâtiments sportifs, culturels, de service) et surtout les bâtiments administratifs et de bureaux.



Figure 5.9 : Gare de Biskra réalisée en 1876. Source : Auteur, 2017.

Ce qui conduira à la production de divers bâtiments publics et dans les secteurs divers, tout en ayant un impact direct sur le cadre de vie, le cadre bâti, et l'environnement de la ville de Biskra.

Quelle est donc, l'empreinte environnementale de tous ces bâtiments publics à Biskra ?



Figure 5.10 : "Photographie Saharienne" Biskra vers 1910. Source : Archive du Studio Photo Maure.

3.1.1 Historique de la ville de Biskra :

En effet, Biskra avait acquis son statut de ville de puis l'antiquité. Aujourd'hui, la ville traditionnelle est rattachée aux nouveaux tissus (nouvelles extensions urbaines Zhun Est, Ouest et toutes les autres extensions) par un immense tissu urbain colonial porteur d'un modèle architectural inséré de force dans le registre patrimonial de la ville.



Figure 5.11: Banque CRMA, cité Ibn Badis (les 726 logements) à Biskra. Source : Auteur, 2017.

Conçues suivant des registres symboliques et techniques sans enracinement local, ces productions en recherchant le spectaculaire par la singularité, finiront dans l'impopularité (l'échec et la déception) et le rejet social, et aussi le rejet de son environnement.



Figure 5.12 : Agence postale, Cité Hammam Salihine, Biskra. Source : Auteur, 2017.



Figure 5.13 : Agence postale, Cité Administrative El Alia, Biskra. Source : Auteur, 2017.

3.1.2 Historique de la production architecturale de bâtiments publics à Biskra:

L'héritage architectural des bâtiments publics depuis l'indépendance se résume à une collection d'objets architecturaux (bâtiments résidentiels, tertiaires ou de services): Produits directement, ou Favorisés par les différentes politiques de l'état, et aussi par le secteur privé (essentiellement pour les bâtiments résidentiels). Et suite à une conjugaison de : Commandes (publiques), de savoirs conceptuels, et de pratiques.

Une lecture du registre de la production architecturale permet d'établir un état des lieux dont la caractéristique majeure renvoie à un foisonnement de modèles architecturaux de bâtiments publics, nus par des motivations diverses ou, promus par acteurs motivés.



Figure 5.14: Polyclinique, cité Ibn Badis (cité des 726 logements) à Biskra. Source : Auteur, 2017.

Cette diversité ne se démarque que par des propriétés quantitatives de la production architecturale des bâtiments de bureaux dans la ville de Biskra.

Ce que l'on peut tout de suite remarquer c'est la juxtaposition des modèles (de bâtiments publics) renvoyant aux architectures successives.



Fig.5.15: Antenne Communale, cité Ibn Badis (les726 logements) à Biskra. Source : Auteur, 2017.

Dans toutes ces opérations, l'approche économiste et technicité a été é favorisée par rapport à toute autre approche conceptuelle. Le résultat consiste à des constructions publiques avec : une architecture anonyme et répétitive à travers le territoire national.



Figure 5.16 : Banque CNEP de Biskra. Source : Auteur, 2017.

La politique d'habitat et de construction de l'état n'intervient pas dans les choix conceptuels et architecturaux, mais fixe seulement les normes d'aménagements (voir lois et réglementations de l'urbanisme et de la construction).



Figure 5.17 : Direction des mines à Biskra. Source : Auteur, 2017.

3.2. Bâtiments publics dans la ville de Biskra :

Biskra, comme toutes les villes algériennes, est dotée de différents équipements et bâtiments publics dans tous les secteurs de la vie sociale, culturelle, culturelle, sanitaire etc.

Parmi ces bâtiments, on peut distinguer :

- **3.2.1.-les équipements d'accompagnements et bâtiments de services :**

Bâtiments publics d'accompagnement destinés aux cités résidentielles planifiées, ou en auto-construits dans les lotissements ou coopératives immobilières et les grands ensembles de bâtiments collectifs, et se sont : les bâtiments pour les Ecoles primaires, CEM, Lycées - Centres de Santé, Polyclinique. -Crèches, Jardins d'Enfants -les Agences postales et Bancaires et Administratives (antennes d'état civil).

- **3.2.2.- Bâtiments sportifs et équipements de loisirs :**

Dans le but de l'animation et de l'activité juvénile et le divertissement de la population, ce sont toutes les salles de sport, piscine, maisons et auberges de jeunes.

- **3.2.3.- Bâtiments hôteliers et infrastructures touristiques :**

C'est surtout les hôtels classés et complexes touristiques et thermales, créés pour promouvoir le tourisme et d'exploiter les potentialités touristiques, des sites naturels et aussi d'ordre culturels de la région.

- **3.2.4.- Bâtiments publics à caractère administratif :**

C'est l'ensemble de siège de direction ou de subdivisions (sous-directions) de : santé, éducation, urbanisme, de l'habitat, transport, hydraulique, agriculture, etc.....

- **3.2.5.- Bâtiments de gouvernance :** bâtiments de pouvoir et de gouvernance, tels que: le siège de la wilaya, le siège de la daïra, siège de la mairie (hôtel de ville), cour de justice.
- **3.2.6.- Bâtiments et infrastructures de transports :** ce sont toutes les gares ferroviaires et routières urbaines et inter-urbaines, ainsi que l'aéroport permettant les déplacements des gens et la dynamique à l'échelle urbaine, nationale, et internationale.
- **3.2.7.- Bâtiments et maisons de culture :** maisons de culture, centre culturel, musée, salle de cinéma, bibliothèque, maison de presse et radio, créés dans l'objectif de la promotion de la culture et toute l'activité d'échange culturel.



Figure 5.18 : Siège de l'Agence Foncière de Biskra. Source : Auteur, 2017.

- **3.2.8.- Bâtiments publics de services :** toutes les agences bancaires et postales et CNEP, les assurances SAA et CAAT, ainsi que les antennes de sécurité sociale CNAS, CASNOS et CACOBATHP, leur rôle est l'assistance et la couverture sanitaire et la sécurité sociale de leurs affiliés (assurés).
- **3.2.9.- Bâtiments militaires et sécuritaires :** il s'agit des établissements dont la mission est la sécurité et le contrôle et le maintien de l'ordre public, tels que les commissariats de police et arrondissement. SRGH, secteur militaire, brigade de gendarmerie nationale, ou de garde communale (bâtiments non ouverts au public sauf pour enquêtes et déclarations).
- **3.2.10.- Autres bâtiments publics:** tels que les bâtiments de la protection civile, des services de la Sonelgaz, Algérie Télécom, l'Algérienne des eaux, l'ONA etc..., dont la mission d'apporter des services et des connexions aux différents réseaux Gaz, Electricité, Téléphone, Internet, et autres....



Figure 5.19 : Siège de l'Agence Foncière de Biskra. Source : Auteur, 2017.

3.3. Bâtiment public et patrimoine architectural à Biskra :

Ce travail part d'un constat sur la qualité environnementale du cadre bâti, en Algérie et particulièrement dans la ville de Biskra, ville représentative des régions arides et semi arides. La ville avec tout ce qu'elle comporte comme héritage culturel et patrimoine architectural, n'a pu le montrer ou le démontrer à travers ses constructions publiques récemment réalisées, malgré que les architectes formés à l'Université algérienne, en particulier au sein du département d'Architecture de l'université de Biskra, exercent aujourd'hui en tant qu'architectes et acteurs du secteur du bâtiment.



a. Siège de la Banque BNA.



b. l'ex Mairie de la ville de Biskra.

Figure 5.20: Bâtiments Historiques à Biskra.

Source : Auteur, 2017.

4. Analyse des Bâtiments publics dans la ville de Biskra :

L'analyse des bâtiments tertiaires dans la ville de Biskra a pour objectif de définir un bâtiment échantillon par rapport aux constructions réalisées avec une conception d'architecture de bureaux spécifiques aux régions arides à climat chaud et sec.

Elle permettra aussi de répertorier tous les bâtiments avec leurs différents styles architecturaux, systèmes structurels, et énergétiques et de vérifier leur comportement vis-à-vis de l'environnement.

4.1. Nature de la recherche :

Il s'agit d'une recherche exploratoire qui vise à définir :

- Le bâtiment public, comme projet et non objet.
- Les enjeux urbains et architecturaux du bâtiment public et ce à travers :
 - a. L'efficacité thermique.
 - b. L'optimisation énergétique
 - c. L'empreinte environnementale.
 - d. Les systèmes HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning).
 - e. Les sources d'énergie et énergies renouvelables.

4.2. Processus méthodologique :

Dans la présente étude, deux techniques de recherche ont été employées :

La première technique: *l'observation en situation* des échantillons de bâtiments publics représentatifs, c'est une technique directe d'investigation scientifique pour faire un prélèvement qualitatif en vue de comprendre des attitudes et des comportements relatifs à notre problématique.

La seconde technique est aussi directe et réside dans l'utilisation de *la simulation informatique* à travers les logiciels de simulation thermique dynamique STD pour l'étude énergétique et celui de l'étude environnementale par les logiciels spécialisés dans l'approche Analyse de cycle de vie ACV des bâtiments.

L'utilisation des *techniques du relevé* et *la prise de photos* sont étroitement liées aux phénomènes indiqués par l'hypothèse de départ et complètent l'investigation.

En plus de ces techniques, *l'observation et l'analyse des textes législatifs* et de la réglementation, relatifs à la production architecturale, au cadre bâti, à la loi sur la ville, sur la maîtrise de l'énergie et des énergies renouvelables, et de la protection de l'environnement , afin d'explicitier le sens des dimensions de l'environnement juridique et le paysage institutionnel du processus de la production et d'aide à la décision pour le cas des bâtiments tertiaires dans une ligne de conduite environnementale (éco-bâtiments et éco- conception).

4.3. Bâtiments tertiaires dans la ville de Biskra :

Pour cerner notre problématique relative à l'efficacité énergétique et aux émissions et impacts sur l'environnement, les bâtiments de bureaux de la ville de Biskra sont situés dans des différentes zones de la ville.

Quatre grandes zones formeront des échantillons représentatifs pour notre étude, permettant de couvrir tout le territoire de la ville avec toutes ses hétérogénéités :

- **1^{ère} zone** : Ancien noyau, ou l'ancienne ville.
- **2^{ème} zone** : Bâtiments publics dans le centre urbain ou le centre ville.
- **3^{ème} zone**: Cité administrative au front d'oued- quartier de la rivière.
- **4^{ème} zone**: Les nouvelles extensions urbaines ZHUN Est et Ouest :
 - a) Cité administrative dans la Zhun Est – El Alia.
 - b) Bâtiments publics dans la Zhun Ouest et la Zone Ouest.

5. Caractéristiques climatiques :

A Biskra, les journées d'hiver sont douces (12° à 22° C) alors que les nuits sont froides (0° à 4° C). Par contre, il fait très chaud en été et les 40 ° C de température sont souvent atteintes, et les températures maximales ressenties sont de l'ordre de 49°C.

Tandis qu'il peut varier de 40 à 56 % en hiver, le taux d'humidité est réduit à 15 % en été. Les précipitations ne sont pas courantes et viennent le plus souvent sous forme d'averses.

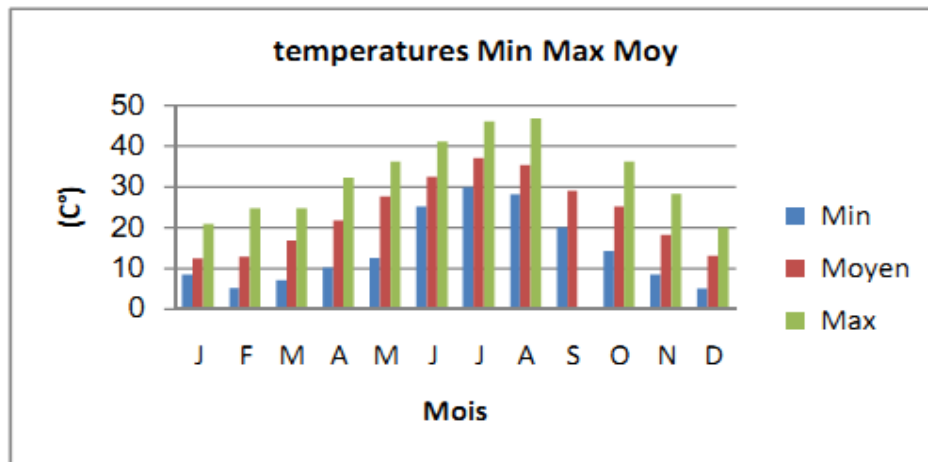
Enfin, le vent souffle le plus souvent du nord-ouest vers le sud-est avec une vitesse de 6 à 12 m/s (ONM, 2016).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D
Température moyenne (°C)	11.5	13.6	17.6	21.3	25.6	32.1	34.5	34.2	30	23.2	16.8	12.9
Temp. moyenne. Maximale (°C)	16.9	19.2	23.4	26.1	31.3	37.6	40.9	40.4	34.7	28.2	22.1	18.5
Temp. moyenne. Minimale (°C)	6.1	7.9	11.7	16.5	20.2	26.6	28.1	27.9	25.3	18.1	11.4	7.2

Tableau 5.2 : Tableau des températures

Source : N R H Biskra, 2016.

Soit le graphe détaillé des températures minimales, moyennes et maximales.



Graph 5.1: des Températures Min. Moy. Max. de la ville de Biskra. Source : N R H Biskra, 2016.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D
Humidité relative moyenne. de l'air %	56	47	41	35	32	30	26	29	39	45	52	56

Tableau 5.3: Humidité relative de la ville de Biskra. Source : N R H Biskra, 2016.

6. Analyse des valeurs :

Selon les recommandations architecturales une température de l'air allant de 22°C à 26° est acceptable. Les températures maximales moyennes sont enregistrées au cours de la période estivale, avec une température moyenne maximale en Juillet, qui est de 40,9°C dans la région, tandis que les valeurs de la température minimale moyenne atteignent les faibles valeurs au cours de la période hivernale où le minimum 6,1°C est enregistré en Janvier.

Dans une zone désertique un cumul annuel de la quantité de pluie est moins de 200 mm/an. On l'exprime alors en millimètres par an 128.8 mm, la quantité est très faible conjuguée à un régime irrégulier dans la région.

2^{ème} Partie: Les Bâtiments Tertiaires dans la ville de Biskra:

Dans cette deuxième partie de ce chapitre, l'objectif est d'identifier les bâtiments de bureaux dans la ville de Biskra, ainsi que l'architecture tertiaire et ses caractéristiques par rapport au contexte de la ville de Biskra.

7. L'Architecture tertiaire à Biskra:

Le bureau est un espace de travail distinct de celui habité et où il est demandé à l'utilisateur d'effectuer « une activité et des tâches prescrites » (Fischer, 1997). Ces dernières se limitent à l'exercice administratif et au traitement (production, coordination et communication) de l'information (Fischer, 1989). En dépit de toutes ses diversités et variations possibles, l'espace bureau conçu pour l'accomplissement de ces activités est constitué de parois (murs, sols et plafonds), équipé de mobilier , de matériels informatiques et bureautiques, ordinateurs et imprimantes , et de dispositifs d'éclairage, un système de chauffage et de climatisation , le tout influençant la manière dont sont exécutées ces activités (Brill et al , 1984).

Dans cet espace initialement « neutre, banalisé, et mécanisé », l'utilisateur « occupe une position fixe dans un cadre fixe et pour une tâche fixe » (Fischer, 1997).

Notre choix de l'architecture tertiaire pour l'étude énergétique et environnementale à travers une approche « Analyse de Cycle de Vie ACV des bâtiments » émane de plusieurs raisons:

1. Les immeubles de bureaux dessinent, la silhouette urbaine des villes (Duffy, 1999), et en particulier la ville de Biskra, ville représentant les zones arides.
2. Ils sont considérés comme constructions caractérisant l'époque contemporaine (Fischer, 1997), et seront notre patrimoine pour les générations futures.
3. Le secteur tertiaire ne cesse de connaître des croissances à l'échelle mondiale (Mitchell ,2002), et l'Algérie ne fait pas l'exception.
4. Le secteur tertiaire est le plus consommateur d'énergie dans le monde, en Algérie aussi, plus de 42% de la consommation totale d'énergie (APRU, 2015).
5. Les bâtiments de bureaux sont aussi à l'origine des émissions des gaz à effet de serre, de réchauffement climatique, et d'autres émissions et d'impacts sur l'environnement.
6. Ces espaces, malgré le développement dans la réalisation, connaissent des maux par rapport la qualité environnementale (Fischer, 1989).
7. Voir comment concrétiser le rapport Energie / Environnement, par une politique de maîtrise de l'énergie et de réduction des émissions et impacts sur l'environnement.

La ville de Biskra est dotée d'un nombre considérable de bâtiments publics à caractère de bureaux (bâtiments tertiaires). Plusieurs d'entre eux sont situés au centre de la ville et aussi dans les extensions qu'a connues la ville de Biskra ces dernières années.

Ces bâtiments abritant des activités administratives et de services (sièges de directions, banques, caisses d'assurances et de sécurités sociales et autres) datent de différentes périodes : de la période coloniale, post-coloniale, jusqu'à la période contemporaine (à nos jours).

8. Descriptions du bâtiment à étudier (localisation, climat, géométrie) :

L'objectif de ces enquêtes et ces observations sur les bâtiments de bureaux dans la ville de Biskra est de les classer en catégorie selon les périodes de réalisation. D'autre part de faire une analyse pour identifier les spécificités architecturales, constructives et de faire ressortir les traitements par rapport aux systèmes énergétiques pour le traitement thermiques, ainsi que leur comportement sur l'environnement.

Le travail de cette recherche étant réalisé dans un environnement type des régions arides à climat chaud et sec, celui de la ville de Biskra, nous commençons donc par le choix de bâtiment type, et par une description détaillée de son enveloppe, de ses équipements et usages, et de son climat.

8.1. Le choix du bâtiment à étudier :

Les bâtiments de bureaux réalisés dans la ville de Biskra, sont souvent des constructions isolées avec des morphologies différentes, des dates de construction plus ou moins lointaines (de 1896 à 2017), localisés aussi bien dans les anciens tissus urbains que dans les nouveaux.

Ces bâtiments représentent les principaux sièges administratifs de la ville dont on peut les classer en trois catégories selon leurs dates de construction :

- I.** Bâtiments de la période coloniale (date de construction avant 1962).
- II.** Bâtiments de la période des différents plans de développement (date de construction comprise entre 1965 et 2000).
- III.** Bâtiments récents (date de construction à partir de l'année 2000 à ce jour).

8.1. 1. Catégories I : Bâtiments de la période coloniale:

Cette catégorie comporte tous les bâtiments hérités de la période coloniale tels que : la banque BNA, le CPA, l'ex hôtel de ville (Mairie) actuellement annexe des services de l'état civil, la maison de la culture Ahmed Réda Houhou, l'ex direction de l'éducation, l'ex daïra service passeport, permis et carte grise actuellement, l'hôpital Hakim Saâdane, ...etc.



Figure 5.21: Gare Ferroviaire de Biskra.

Source : Auteur, 2017.

Très peu d'informations sont disponibles pour ce type de construction. Ils sont généralement en mauvais état, les matériaux de construction sont souvent la pierre pour les murs extérieurs , avec des poutres en béton ou en métal ; toutes les menuiseries sont en bois de chêne.

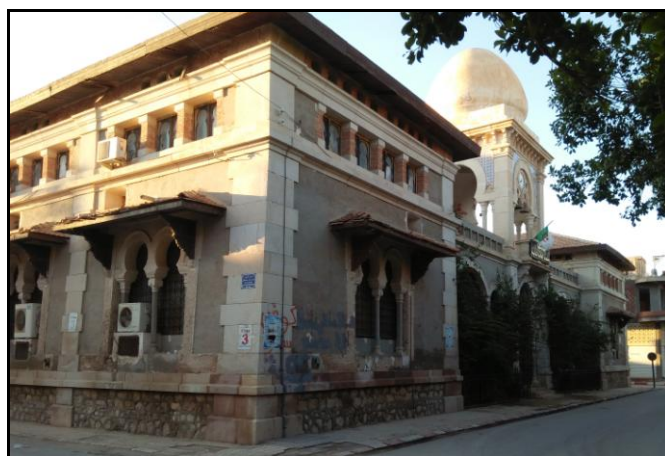


Figure 5.22: Ex-Siège de la Mairie de Biskra.

Source : Auteur, 2017.



Figure 5.23: Banque BNA de Biskra.

Source : Auteur, 2017.

Les bâtiments sont souvent avec sous-sol et leurs toitures (en tuiles) ne sont pas isolées. Cette technique de construction a été depuis, abandonnée.

8.1.2 Catégorie II : Bâtiments de la période 1965 et 2000 :

Les bâtiments de la période postcoloniale construits juste après l'indépendance tels que : l'hôtel des Finances, le siège du Trésor public, ..., d'autres bâtiments ont été construits durant la période de 1980 à 2000, après le découpage administratif de 1974 et le classement de la ville de Biskra au rang de chef lieu de la wilaya 07, et on peut citer : le siège de la wilaya, la direction des douanes, le siège de la CNAS, la SONELGAZ, la direction des Moudjahidines, la banque BADR, et la BEA, le nouveau siège de l'APC, etc...



Figure 5.24: Direction des Impôts de Biskra.

Source : Auteur, 2017.

Ils représentent la majeure partie du parc de bâtiments tertiaires réalisés à ce jour.

Leurs matériaux de construction sont souvent en béton armé pour les planchers et les éléments structurels (infrastructures et superstructures), le parpaing creux en agglomérés ou la brique creuse à base de la terre cuite pour la réalisation des murs extérieurs et intérieurs, toutes les menuiseries sont en bois de chêne, les planchers terrasses sont isolés.



Figure 5.25: Siège Du Trésor Public de Biskra.

Source : Auteur, 2017.

Il faut noter que même si toutes les informations sur ce type de construction sont disponibles, ces bâtiments ont, pour la plupart, été rénovés (à plusieurs reprises) dans le temps, et donc peu de détails sur les techniques de rénovation.



Figure 5.26: Siège de la CNAS (après traitement des façades) de Biskra.

Source : Auteur, 2017.

8.1.3 Catégorie III : Bâtiments récents: Ce type de construction représente la grande partie du parc de bâtiments tertiaires réalisés depuis l'année 2000. On peut citer la direction des travaux publics DTP, du Tourisme DT, de l'Hydraulique DHW, la direction de l'urbanisme et de la construction DUC, la direction DPAT, le siège des Archives, La caisse du logement CNL, les impôts, etc...

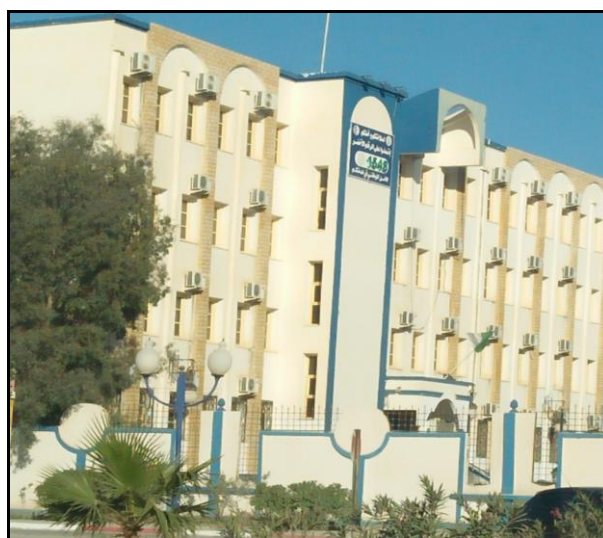


Figure 5.27: Siège de la Sureté de la Wilaya de Biskra. Source : Auteur, 2017.

Leurs matériaux de construction sont en béton armé pour les planchers et les éléments structurels (infrastructures et superstructures), la brique creuse de terre cuite pour la réalisation des murs extérieurs (en parois double) et intérieurs (paroi simple), toutes les menuiseries sont en bois ou en aluminium, les revêtements intérieurs sont en plâtre, l'extérieur à base de mortier de ciment sous la forme lisse ou à la tyrolienne.



Figure 5.28: Siège de la Caisse CNL de Biskra. Source : Auteur, 2017.



Figure 5.29: Siège des Impôts CDI de Biskra. Source : Auteur, 2017.



Figure 5.30: Bâtiment du CTC de Biskra. Source : Auteur, 2017.



Figure 5.31: Direction du Tourisme de Biskra. Source : Auteur, 2017.



Figure 5.32: Direction des Travaux Publics DTP de Biskra. Source : Auteur, 2017.

Après cet état de l'art sur les catégories des bâtiments tertiaires à Biskra, notre choix de bâtiment type s'est porté sur la catégorie (III) des bâtiments contemporains pour les raisons suivantes :

- a) Elle représente une grande part du parc de bâtiments publics récents dans la ville de Biskra.
- b) Les techniques et les matériaux de construction utilisés sont applicables pour toutes les constructions actuelles (techniques et systèmes constructifs standards).
- c) Très peu de rénovations(ou aucune rénovation) ont été réalisées et les bâtiments sont toujours dans leur état d'origine.
- d) Utilisation du système pour la climatisation et le chauffage.
- e) Utilisation de la transparence dans les façades des bâtiments de bureaux.
- f) Utilisation d'autres matériaux pour les revêtements extérieur tels que : céramiques, aluco-bandes(bandes en Aluminium), pierres reconstituées, etc...

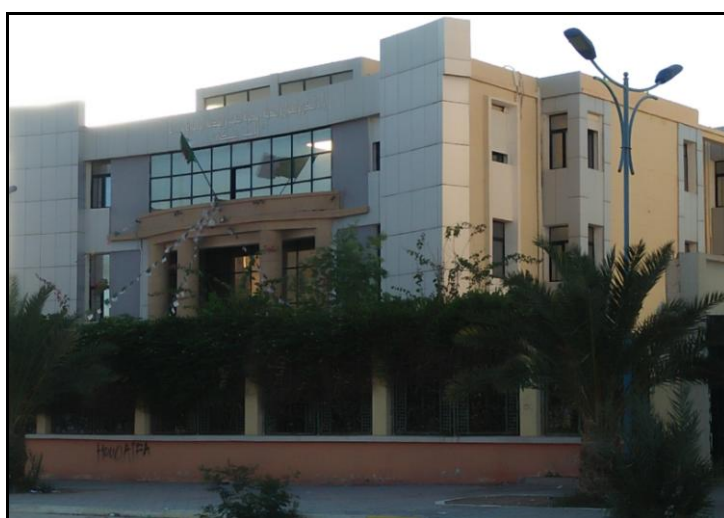


Figure 5.33: Direction d'Urbanisme et de la Construction DUC de Biskra. Source : Auteur, 2017.



Figure 5.34: Siège de l'Agence Foncière de Biskra. Source : Auteur, 2017.



Figure 5.35: Nouveau Siège de l'OPGI de Biskra.

Source : Auteur, 2017



Figure 5.36: Nouveau Siège du Crédit Populaire d'Algérie de Biskra.

Source : Auteur, 2017.

8.2 Synthèse des bâtiments de bureaux dans la ville de Biskra :

Cependant les principaux résultats de l'observation et de l'étude des bâtiments de bureaux existants dans la ville de Biskra, peuvent être résumés dans les points suivants :

1. La géométrie des bâtiments de bureaux à Biskra : est de type rectangulaire, la partie circulaire est réservée pour le traitement d'angle ou au niveau des halls, avec un développement vertical, composé d'un Rez de Chaussée plus deux(2) ou trois (3) étages.
2. La composition générale des bâtiments : on distingue deux formes de composition les plus répandues : la forme centrale ; distribution autour d'un patio ou d'un hall central, et la forme axiale : c'est une distribution le long d'un couloir de circulation (dégagement).
3. La typologie des bureaux : le type de bureaux le plus fréquent dans les administrations de la ville de Biskra est le bureau cloisonné, et de taille moyenne.

4. La forme des bureaux : le carré et le rectangle qui sont les deux formes plus présentes et dans tous les bâtiments administratifs de la ville de Biskra.
 5. L'enveloppe : se présente sous la forme des murs extérieurs en double cloisons avec lame d'air pour les plus récents, les anciens bâtiments sont réalisés en murs porteurs en pierres.
 6. Les fenêtres : le nombre et la taille des ouvertures est très différent d'un bâtiment à un autre (selon la catégorie), les bâtiments récemment réalisés possèdent non seulement de grandes ouvertures mais aussi des baies vitrées, murs rideaux et parfois la façade est complètement transparente (le siège DTP, l'OPGI, la banque CRMA, etc....).
 7. Les protections solaires : les brise-soleil, claustras, persiennes, ou des éléments saillants de la façade elle-même. On remarque à travers leurs dimensions et orientations, que ces éléments jouent un rôle décoratif et esthétique plus que de protection contre les rayons du soleil.
 8. L'éclairage naturel : le nombre d'ouvertures et leur taille assurent un éclairage naturel uniformément réparti à l'intérieur dans les bureaux, vu le gisement solaire de Biskra.
 9. La texture : les enduits extérieurs sont de deux formes : lisse ou à la thyrolienne.
 10. La couleur : l'intérieur comme l'extérieur, les couleurs choisies se ressemblent dans tous les bâtiments. A part de rares exceptions, les couleurs dominantes des espaces intérieures sont les couleurs claires telles que le beige, bleu clair et le blanc pour les plafonds. L'extérieur c'est aussi le beige sur plusieurs contrastes et plus ou moins foncés.
 11. La ventilation : la ventilation des bureaux est assurée de manière naturelle par les fenêtres ouvrant sur l'extérieur (sur la rue, cour intérieure, cour de service ou sur un patio intérieur).
 12. Le conditionnement de l'air ambiant : Biskra se caractérise par un climat chaud et sec en été (du mois d'Avril à Octobre), ce qui a prescrit l'installation d'appareil de climatisation individuelle pour chaque bureau.
 13. Les chauffages sont rarement installés, et le nombre de mois de leur utilisation est très réduit à quatre mois (Novembre, Décembre, Janvier et Février), les usagers le confirment.
- On remarque que l'installation de ces appareils de climatisation ou de chauffage ne suit pas un ordre ou un schéma selon la conception. Ce qui a causé pour plusieurs bâtiments des altérations au niveau de l'aspect extérieur du bâtiment et la déformation des façades par les corps extérieurs des climatiseurs mal positionnés, et les conduites de dégagement du CO₂ pour les chauffages.



Figure 5.37: Direction de l'Education Nationale de Biskra. Source : Auteur, 2017.

Tous ces éléments étudiés permettent de nous focaliser sur un bâtiment échantillon, qui sera représentatif des bâtiments de bureaux dans la ville de Biskra à climat chaud et sec, regroupant la plupart des spécificités architecturales, constructives relatives à son contexte.

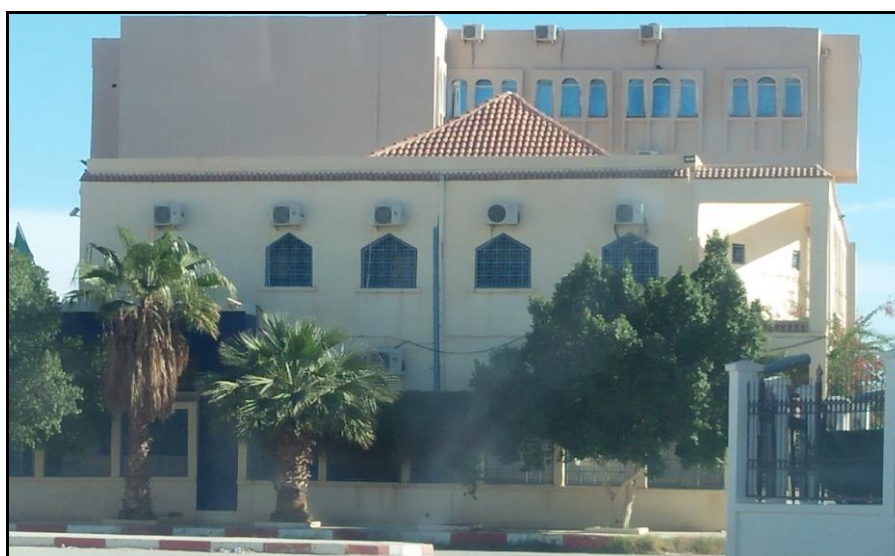


Figure 5.38: Siège de direction de CNAC de Biskra. Source : Auteur, 2017.

Ainsi il est choisi pour l'étude énergétique et environnementale durant tout le long de son cycle de vie par une simulation informatique.

Des visites du bâtiment choisi ont pour but de le découvrir, et de récolter plusieurs informations telles que (site, climat, localisation, géométrie et enveloppe du bâtiment, les types de matériaux de revêtements utilisés, etc.) utiles pour les simulations informatiques.

Système	Composition	Descriptif
Mur extérieur en briques creuses de terre cuite	Bloc de briques creuses– mortier – lame d'air –enduit extérieur et intérieur.	Deux rangées de briques de 10 et 15cm avec vide de 5 cm et enduit intérieur et extérieur.
Mur intérieur en simple paroi en briques creuses de terre cuite	Bloc de parpaing – Bloc de briques creuses- mortier ou enduit de ciment, enduit intérieur, extérieur.	Brique de 10 ou 15cm + enduit de ciment, non isolé.
Plancher intermédiaire	Hourdis – dalle béton : 16 +4 cm mortier – carrelage – enduit pour la face basse.	En hourdis et béton, 20 à 25 cm, non isolés.
Plancher toiture ou terrasse	Hourdis – dalle béton : 16 +4 cm mortier – carrelage – enduit pour la face basse.	En hourdis et béton, 20 à 25 cm, non isolés.
Plancher bas en contact avec le sol	Dalle béton armée – mortier – carrelage isolation avec enduit d'asphalte — décharge.	En béton armé de 15 à 20 cm, avec décharge de 50 cm, hérissage en pierres sèches, isolé en contact avec la terre.
Menuiseries extérieures Fenêtres/portes	Cadre aluminium – simple vitrage – store aluminium. Porte extérieur et cadre en aluminium et en verre.	Fenêtres et portes extérieures : souvent cadre et store en aluminium avec simple vitrage non traité, avec retrait de 20 cm et allège de 90 cm. Porte principale : en verre.
Menuiseries intérieures	Chêne avec les cadres.	Les portes intérieures sont souvent en Aluminium avec leur cadrage.
Volets	En aluminium, ou en bois	Volet croisées en aluminium ou bois.
Chauffage	Souvent individuel.	Chauffage à gaz de ville ou Chauffage électrique.
Appareil de climatisation	Toujours appareil à deux corps (extérieur et intérieur) individuel.	Selon le volume de l'espace, capacité comprise entre (12000 à 18000BTU).

Tableau 5.3 : Descriptif technique des bâtiments de bureaux récents.

Source : Auteur, 2017.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons proposé la méthodologie de notre étude, qui est constituée de plusieurs étapes. D'abord, l'objectif de ce chapitre est d'identifier les spécificités climatiques de la ville de Biskra, qui a été choisie comme contexte d'étude en raison de sa représentativité des villes situées dans les régions arides à climat chaud et sec.

Un aperçu sur la production urbaine et architecturale dans la ville de Biskra, et en particulier les bâtiments de bureaux.

Aussi, une classification des bâtiments tertiaires selon leurs caractéristiques a été réalisée, ayant pour but de choisir et d'identifier une catégorie de bâtiments représentatifs, ce fut l'objectif de cette phase d'étude.

Dans la deuxième étape, nous avons présenté la méthodologie de notre travail d'acquisition de données : nous avons commencé par des visites simples pour les bâtiments de bureaux des différentes périodes dans la ville de Biskra.

Une synthèse des éléments constituant les bâtiments de bureaux, avec un descriptif détaillé, ainsi qu'une focalisation sur l'architecture tertiaire réalisée dans les bâtiments de bureaux contemporains, leurs systèmes constructifs, structurels, énergétiques ainsi que tous les équipements et appareils utilisés dans ces bâtiments de bureaux.

Chapitre VI :

Le Siège de l'Agence Foncière, Bâtiment Cas d'étude

Introduction :

Au début de ce chapitre, l'objectif est de valider l'outil de simulation thermique dynamique (STD) ainsi que celui de l'étude environnementale par Approche d'analyse de cycle de vie ACV du bâtiment.

Le choix d'un outil de simulation thermique dynamique sera basé sur la facilité et la compatibilité avec celui de la simulation environnementale par approche d'analyse de cycle de vie ACV du bâtiment, tout en permettant de modéliser les différents paramètres : climat local, enveloppe, systèmes et les différentes formes d'usage des espaces de se bâtiment.

Des hypothèses concernant : le climat, la géométrie, le voisinage, l'architecture et les techniques de construction, les systèmes énergétiques, les usages de ce bâtiment seront validé pour les simulations énergétiques et environnementales de ce bâtiment par analyse de cycle de vie.

Notre point de départ est donc d'identifier un bâtiment représentatif, d'établir un descriptif détaillé de son enveloppe et de ses systèmes énergétiques (chauffage, climatisation, ventilation, eau chaude sanitaire ECS, équipement électronique et informatique, etc.), ainsi que les sources d'énergie.

1^{ère} Partie: Identification du bâtiment à étudier :

Dans cette première partie de ce chapitre, l'objectif est d'identifier un bâtiment représentatif, d'établir un descriptif détaillé de son enveloppe et de ses systèmes énergétiques (chauffage, climatisation, ECS, équipement électronique et informatique, etc.).

1. Le bâtiment cas d'étude :

Le bâtiment cas d'étude est le siège de l'agence foncière de la Wilaya de Biskra, dont les caractéristiques sont les suivantes :

1.1. Localisation et climat

Le bâtiment étudié construit en 2014, est situé dans la zone Sud-ouest de la ville de Biskra, à une distance de 2 km du centre-ville. Les données climatiques horaires nous ont fourni plusieurs informations, telles que : les données climatiques de notre site, les températures, l'irradiation globale et diffuse horizontale, les vitesses des vents dominants et les durées d'irradiation solaire.

1.2. Le bâtiment et son environnement :

Le siège de l'agence foncière et de la gestion urbaine de la wilaya de Biskra AWGRFU Biskra, est un bâtiment récemment réalisé. Il est implanté sur une voie principale limitant deux quartiers résidentiels, la cité des 1000 logements de type collectifs, et l'autre des logements individuels en auto- construits (lotissement Ben Taleb), à proximité de la station urbaine Ouest (station vers Tolga), ainsi que le nouveau siège de l'OPGI de la wilaya de Biskra, et en face de la mosquée Touba, avec une vue sur la rue par la façade Nord-Est. L'autre façade (orientée Sud-Ouest) donne sur des immeubles de logements collectifs de basse hauteur, et sur une cour de service intérieure du bâtiment considéré.

1.3. Géométrie du bâtiment à étudier :

Le siège de l'agence foncière de la wilaya de Biskra est un bâtiment constitué d'un RDC et de deux étages R+2, avec une cour de service intérieure (parking intérieur pour le personnel).

1.4. Typologie architecturale du bâtiment:

Le bâtiment de l'agence foncière de Biskra, est une construction contemporaine, réalisée avec les techniques constructives actuelles avec un système structurel traditionnel en poteaux-poutres en béton armé, la maçonnerie en briques creuses de terre cuite, avec une isolation thermique des parois extérieures à base d'une lame d'air de 05cm séparant les deux cloisons de la double paroi.

1.5. Données sur le bâtiment:

Les bâtiments contemporains sont construits en respectant la réglementation architecturale, urbaine et thermique ainsi que celle de la maîtrise de l'énergie respectant la politique urbaine et environnementale du pays.

Aussi, la réalisation du bâtiment de l'agence foncière de Biskra doit, obligatoirement, respecter ces orientations et réglementations thermiques, ainsi que les niveaux de confort exigés par les usagers pour les différentes tâches administratives.

En ce qui concerne le taux d'occupation, les bureaux ont des dimensions différentes et sont occupés par deux 2 à quatre 4 occupants pour les bureaux cloisonnés et de taille moyenne.



Figure 6.1 : Plan de Situation du bâtiment.

Source : Google Earth 2017.

1.6. Forme et orientation du bâtiment:

Théoriquement le bâtiment de l'agence foncière, s'il est bien conçu et bien construit (orientation, apports solaires, ouvertures, isolation des parois) consomme moins d'énergie nécessaire pour le fonctionnement de la climatisation et du système de chauffage et de ventilation, qu'un autre bâtiment ordinaire.

Et donc l'apport extérieur d'énergie peut être réduit (Laponche, 2006). Ainsi, l'implantation et l'orientation des bâtiments déterminent par conséquent, les déperditions thermiques, les apports solaires, l'éclairage, le confort visuel, et les techniques de ventilation naturelle.

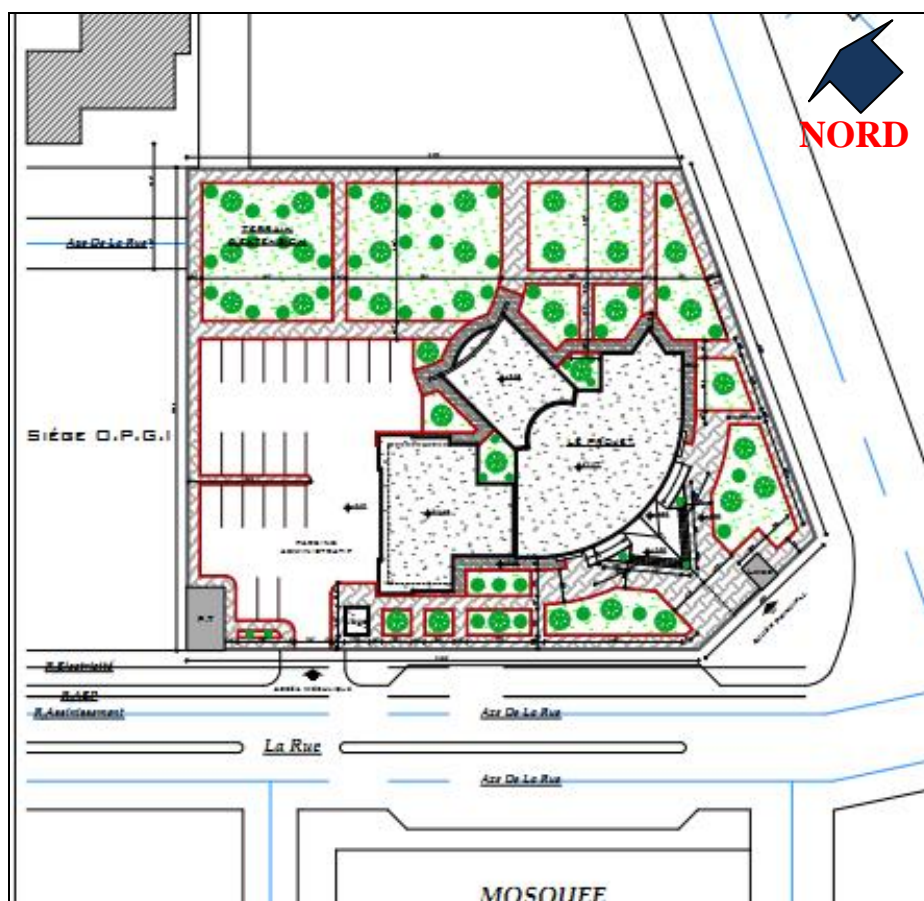


Figure 6.2 : Plan de masse du bâtiment cas d'étude.

Source : Auteur, 2017.

Dans le contexte des zones arides, le soleil est recherché l'hiver, ainsi que la course du soleil est limitée et seules les façades orientées Est et au Sud peuvent apporter un complément solaire par rapport aux besoins de chauffage.

En été, on doit se protéger du soleil, qui présente une course plus longue et plus haute. et donc les façades Ouest et Sud font l'objet de surchauffe et devront être protégées. Aussi, d'autres masques peuvent être générés des bâtiments avoisinants, et qui seront à prendre en considération. Le bâtiment est implanté dans une parcelle d'angle, ses façades ont les orientations suivantes : Sud-Ouest, Sud-Est, Nord-Ouest, Nord-Est.

1.7. Les ouvertures du bâtiment:

Le rapport plein vide de la façade est de 28.80% avec des dimensions de fenêtres moyennes. Comparé aux recommandations de **Mahoney** pour la taille les fenêtres moyennes (20 à 40 %) dans un climat chaud et sec pour une meilleure protection des rayons solaires.

En ce qui concerne le bâtiment cas d'étude, le nombre des ouvertures est entre 04 et 08 ouvertures par bureau (selon la taille du bureau) avec les dimensions 0.60 x 1.20 m, et même de grandes baies vitrées ou encore tous le mur est complètement vitré (mur rideau).

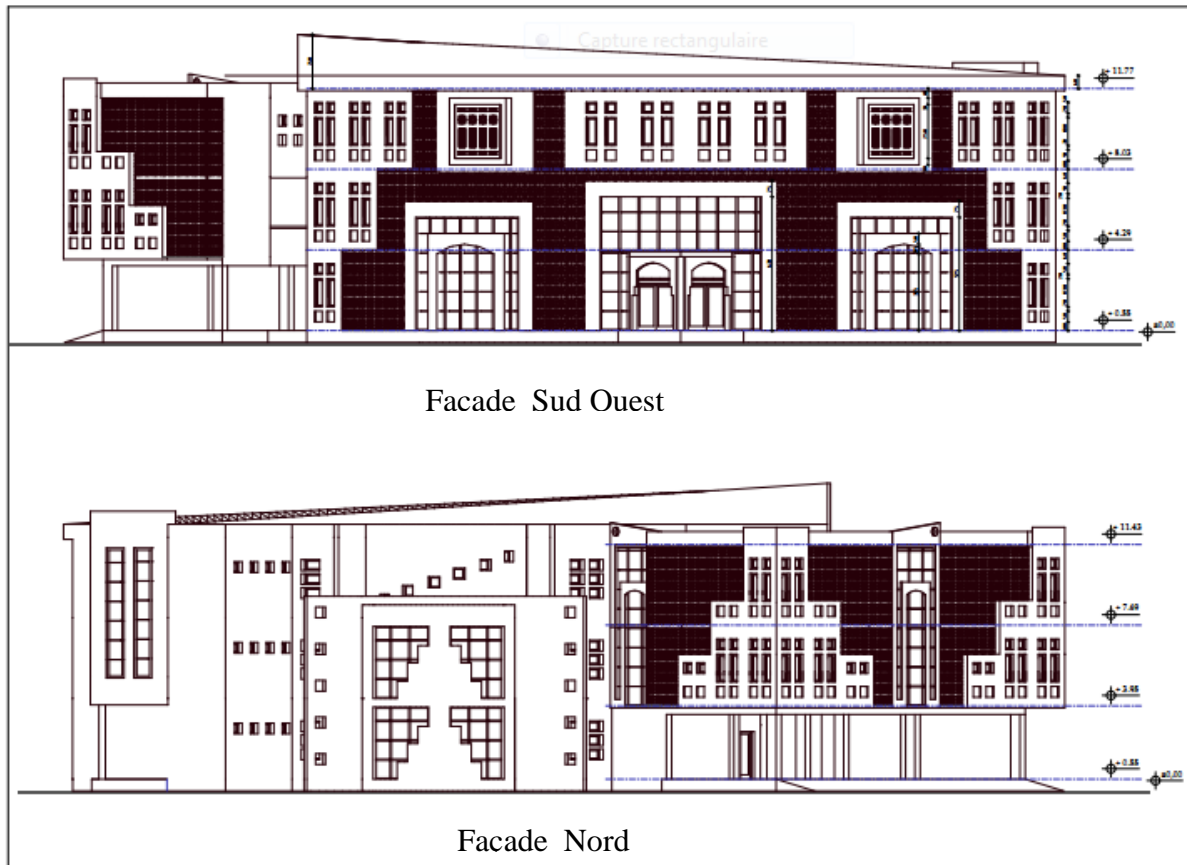


Figure 6.3 : Façades du bâtiment cas d'étude.

Source : Auteur, 2017.

2. Description métrologique (enveloppe, équipements et usages)

Tout d'abord la collecte de tous les plans et détails d'exécution du bâtiment auprès du bureau d'étude, ensuite des visites sur le site pour une vérification de la réalisation du bâtiment par rapport au dossier d'exécution initial et les modifications apportées lors de la réalisation de ce bâtiment. L'objectif principal de la visite est de rassembler des informations concernant l'enveloppe du bâtiment, les niveaux de confort, les équipements énergétiques et la consommation énergétique de ce bâtiment, ainsi que les systèmes de climatisation et de chauffage utilisés.

3. Base de données (enveloppe et matériaux de construction, équipements et usages) :

Cette phase consiste à établir une base de données du bâtiment (cas étude), ayant des informations nécessaires pour établir le modèle complet pour notre étude.

Cette base sera classée en trois catégories :

- a) La première concerne les matériaux de construction utilisés pour l'enveloppe du bâtiment. Les caractéristiques des matériaux, sont tirées des cahiers techniques du CSTB et des codes d'isolation thermique en Algérie (DTR 2-4 1997).

- b) Le deuxième type d'informations concerne les installations énergétiques, les appareils électroniques et informatiques et les systèmes de consommation ou de production d'énergie dans le bâtiment. Ces données aident à identifier les consommations énergétiques du bâtiment en présentant les chaleurs dissipées produites par ces équipements et appareils utilisés par les usagers de ce dernier.
- c) Le troisième type d'informations porte sur les usages des occupants et concerne leur présence, le niveau de confort souhaité en hiver comme en été, et leur mode d'utilisation des équipements énergétiques.

3.1. L'enveloppe : Caractéristiques des matériaux de construction

L'enveloppe du bâtiment est constituée de plusieurs éléments associés : plancher, toiture, murs (intérieurs et extérieurs), revêtement des murs et du sol, isolants et menuiseries (portes, fenêtres et baies vitrées) voir (Tab.6.2).

Élément	Paramètre thermo-physique	Symbole	Unité
Mur	Résistance thermique	R	$(m^2.K)/W$
	Conductivité thermique	λ	$W/(m.K)$
Toiture	Masse volumique	ρ	kg/m^3
Plancher			
Fenêtre	Facteur solaire vitrage	Sw	-
	Coefficient de déperditions vitrage	U	$W/m^2.K$
	Coefficient de déperditions cadres	U	$W/m^2.K$

Tableau6.1:Paramètres thermo-physiques des éléments du bâtiment. Source: Auteur, 2017.

Une description complète de l'enveloppe nécessite une connaissance des éléments entrant dans la construction pour pouvoir établir un modèle du bâtiment. Ces informations sont résumées en trois catégories et illustrées dans le Tableau 6.1 :

- a) Types et composition des parois opaques (épaisseurs, matériaux) avec leurs caractéristiques thermo-physiques.
- b) Caractéristiques des menuiseries (type de vitrages et cadres).
- c) Mode constructif, pour essayer de déterminer les ponts thermiques linéaires, l'infiltration d'air, et l'étanchéité de l'enveloppe.

Systeme	Composition	λ
Mur type 1 : Murs extérieurs	Enduit 1 cm plâtre Intérieur	0,35
	10 cm Briques creuses	0,48
	Lame d'air de 05 cm	0,315
	15 cm Briques creuses	0,48
	Enduit extérieur en ciment Extérieur	1,15
Mur type 2 : Mur intérieur simple	Enduit Intérieur	0,35
	1 cm plâtre	0,35
	10 cm Brique creuse	0,48
	1 cm plâtre	0,35
	Peinture blanche Extérieur	1,15
Mur type 3 : Mur intérieur simple	Enduit Intérieur	0,35
	1 cm plâtre	0,35
	15 cm Brique creuse	0,48
	1 cm plâtre	0,35
	Peinture blanche Extérieur	1,15
Plancher Intermédiaire / toiture	2 cm carrelage Extérieur	1,70
	2 cm mortier	1,16
	5 cm sable et gravier	2,00
	5 cm béton lourd	1,75
	20 cm hourdis	1,389
	1 cm mortier	1,16
	Peinture blanche Intérieur	0,35
Plancher bas en contact avec le sol	3cm carrelage Extérieur	1,70
	2 cm mortier	1,15
	5 cm sable et gravier	2,00
	20 cm béton lourd	1,75
	1 cm mortier Intérieur	1,16
Menuiseries extérieures Fenêtres/portes	Cadre aluminium – double vitrage – store aluminium – Porte extérieure et cadre en aluminium ou en verre	Facteur solaire Sw
		0,855
Menuiseries Intérieures	Aluminium pour les cadres	0,855 U Porte
		2,00

Tableau6.2: Description des matériaux et systèmes de construction. Source: Auteur, 2017.

4. Caractéristiques climatiques du bâtiment:

Théoriquement, le bâtiment est conçu de manière à s'adapter au contexte climatique spécifique des régions arides à climat chaud et sec.

Les visites du bâtiment du siège de l'agence foncière de Biskra vont nous révéler si « concevoir avec le climat » a été bien concrétisé dans le cas de ce bâtiment de bureaux.

4.1. Exposition aux vents dominants:

La vitesse moyenne annuelle du vent est de l'ordre de 2.9m/s correspondant à la force 2 selon l'échelle de Beaufort (qui comporte 13 degrés de 0 à 12), elle atteint exceptionnellement la force 4. La direction du vent est :

- a. En hiver, la vitesse est plus ou moins élevée et en l'absence de protections contre les vents violents, il ya une infiltration directe d'air frais dans les bureaux et par conséquent beaucoup de déperditions de chaleur vers l'extérieur.
- b. Dans le cas des vents en période estivale, la géométrie du bâtiment permet de faire face aux vents faibles.
- c. Les vents sont plus forts dans les mi-saisons : printemps, et automne avec une vitesse dépassant les 80km/h.

4.2. Ensoleillement :

Peu de bureaux sont orientés à l'Est et bénéficient du soleil le matin, l'exposition solaire y est faible l'hiver, mais supérieure à celle de l'orientation Sud en été. A l'Ouest, les bureaux sont très exposés à un rayonnement solaire intense et des températures intérieures très élevées.

Pour ce qui est de notre cas, la course du soleil montre une exposition des façades du bâtiment ; maximale pour les orientations Sud, Ouest, et Sud-ouest, quant aux autres orientations Nord, Nord est et Nord Ouest les bureaux sont indirectement exposés.

4.3. Les techniques passives de contrôle solaire:

La fenêtre joue un rôle très important dans le comportement thermique des différents espaces du bâtiment, en limitant les apports solaires à travers les vitres, et en améliorant le confort thermique. Durant la saison chaude, les fenêtres préservent de la surchauffe, ce qui nous oblige à bien étudier ses dimensions et son système de protection.

En ce qui concerne notre bâtiment cas d'étude, toutes les fenêtres et baies vitrées du bâtiment sont dotées d'occultation : stores en tissu ou synthétique installées à l'intérieur des bureaux.

4.4. Les protections et les masques intégrés:

Les 'Moucharabiehs' présents dans ce bâtiment ont pour rôle de régulateur thermique, visuel, et pour éviter l'éblouissement dans certains bureaux.

L'utilisation des stores sert à protéger de la surchauffe pendant la saison chaude, mais son utilisation n'est pas liée à la température, elle permet d'améliorer le confort visuel et réduire l'éblouissement (Foster et al, 2001).

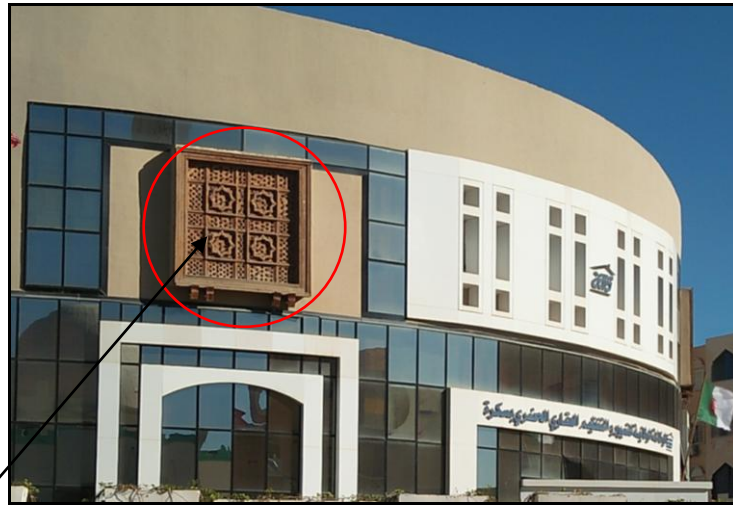


Figure 6.4: Moucharabieh au bâtiment de l'Agence Foncière de Biskra. Source : Auteur, 2017

Aussi l'absence d'auvent et d'éléments saillants, participe à augmenter la température à l'intérieur des bureaux, ainsi que la température des revêtements extérieurs des sols constitués par des chapes en béton ou en carreaux de ciment à fort **albédo**, participe à stocker la chaleur due aux radiations solaires perpendiculaires et la restituant plus tard à l'intérieur.

4.5. Surfaces des fenêtres et ouvertures (baies vitrées):

La fenêtre est un élément très déterminant dans le bilan énergétique, et elle dépend de plusieurs facteurs tels que : le climat local, l'orientation, le cadre, la surface relative, la performance des occultations solaires (Fezzioui, 2008).

La réglementation Algérienne (JORA, 1991) préconise pour que la surface des fenêtres permettant un bon éclairage soit comprise entre le 1/6 et le 1/8 de la surface du plancher de l'espace en question. Pour tous les bureaux de ce bâtiment, cette norme est respectée mais avec des dépassements de la valeur requise pour quelques bureaux, où les fenêtres et baies vitrées sont nombreuses.

4.6. Les installations électriques dans le bâtiment:

Le fonctionnement de certains appareils électriques et électroniques libère de la chaleur par la transformation d'une partie de l'électricité consommée en chaleur par effet joule.

Cette énergie transformée en chaleur se libère de deux manières, radiative et convective selon son origine. Le gain de chaleur par rayonnement est absorbé par les parois (murs) et les objets environnants, et n'affecte l'air de l'espace considéré, qu'après un certain temps.

La part convective du gain de chaleur est transmise directement et sans retard à l'air de l'espace bureau par convection naturelle (ASHRAE, 1997).

5. Les scénarios d'usage :

Afin d'établir une base de données complète des usages dans un bâtiment tertiaire, il est donc nécessaire de rechercher tous les types d'usages liés aux occupants des bureaux.

Ces types d'usages, dits « scénarios », relèvent de six 6 catégories, et jouent un rôle très important dans le comportement énergétique du bâtiment et de l'évaluation des émissions de polluants et des impacts sur l'environnement. Les régions arides ont des particularités, ainsi que chaque bâtiment selon son site, sa localisation et les conditions d'usage de leurs occupants.

5.1. Consigne de température :

La température de consigne en chauffage et en climatisation est liée à la présence des occupants. C'est la température souhaitée par les usagers pour un confort acceptable : la température souhaitée en été est inférieure à 26 °C, en hiver est voisine de 20°C.

5.2. Taux d'occupation :

Ce scénario permet de décrire le nombre des occupants, les modalités de leur présence dans le bâtiment pour chaque bureau et leur durée de présence. Il prend en compte les apports internes de chaleur et d'humidité liés à la présence humaine.

Heures	Dimanche	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi
de 0 h à 1 h	0	0	0	0	0	0	0
de 1 h à 2 h	0	0	0	0	0	0	0
de 2 h à 3 h	0	0	0	0	0	0	0
de 3 h à 4 h	0	0	0	0	0	0	0
de 4 h à 5 h	0	0	0	0	0	0	0
de 5 h à 6 h	0	0	0	0	0	0	0
de 6 h à 7 h	0	0	0	0	0	0	0
de 7 h à 8 h	50 %	50 %	50 %	50 %	50 %	0	0
de 8 h à 9 h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0	0
de 9 h à 10 h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0	0
de 10 h à 11 h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0	0
de 11 h à 12 h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0	0
de 12 h à 13 h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0	0
de 12 h à 14 h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0	0
de 14 h à 15 h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0	0
de 15 h à 16 h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0	0
de 16 h à 17 h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0	0
de 17 h à 18 h	50 %	50 %	50 %	50 %	50 %	0	0
de 18 h à 19 h	0	0	0	0	0	0	0
de 19 h à 20 h	0	0	0	0	0	0	0
de 20 h à 21 h	0	0	0	0	0	0	0
de 21 h à 22 h	0	0	0	0	0	0	0
de 22 h à 23 h	0	0	0	0	0	0	0
de 23 h à 24 h	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 6.3 : Scénario d'occupation des bureaux.

Source : Auteur, 2017.

5.3. Puissance dissipée par les appareils électriques :

Il s'agit de rassembler tous les apports internes de chaleur liés aux équipements qui libèrent de la chaleur (éclairage, électronique, informatique, etc.) en fonction de leur puissance et leur durée d'utilisation, ce type est appelé 'scénario de puissance dissipée' :

Heures	Dimanche	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi
de 0 h à 1 h	120	120	120	120	120	120	120
de 1 h à 2 h	120	120	120	120	120	120	120
de 2 h à 3 h	120	120	120	120	120	120	120
de 3 h à 4 h	120	120	120	120	120	120	120
de 4 h à 5 h	120	120	120	120	120	120	120
de 5 h à 6 h	120	120	120	120	120	120	120
de 6 h à 7 h	120	120	120	120	120	120	120
de 7 h à 8 h	616	616	616	616	616	120	120
de 8 h à 9 h	686	686	686	686	686	120	120
de 9 h à 10 h	686	686	686	686	686	120	120
de 10 h à 11 h	686	686	686	686	686	120	120
de 11 h à 12 h	686	686	686	686	686	120	120
de 12 h à 13 h	686	686	686	686	686	120	120
de 12 h à 14 h	686	686	686	686	686	120	120
de 14 h à 15 h	686	686	686	686	686	120	120
de 15 h à 16 h	686	686	686	686	686	120	120
de 16 h à 17 h	686	686	686	686	686	120	120
de 17 h à 18 h	616	616	616	616	616	120	120
de 18 h à 19 h	120	120	120	120	120	120	120
de 19 h à 20 h	120	120	120	120	120	120	120
de 20 h à 21 h	120	120	120	120	120	120	120
de 21 h à 22 h	120	120	120	120	120	120	120
de 22 h à 23 h	120	120	120	120	120	120	120
de 23 h à 24 h	120	120	120	120	120	120	120

Tableau 6.4 : Puissance dissipée par heure en une semaine.

Source : Auteur, 2017.

Le logiciel Comfie+Pleiades intègre automatiquement la puissance dissipée générée par les appareils d'éclairage artificiel selon le niveau d'éclairage souhaité pour chaque bureau (soit 500 lux).

5.4. Le scénario de ventilation :

Le scénario de ventilation, défini par zone thermique, peut servir de consigne pour une ventilation extérieure ou une ventilation intérieure. Il est caractérisé par un débit nominal et une modulation horaire de ce débit par un pourcentage.

La valeur recommandée du taux de renouvellement d'air (TRA) dans les bureaux est de 0,6 V/h.

Type de ventilation	Taux de renouvellement d'air
Aération standard	0,5 à 2 V/h
Chauffage	2 à 5 V/h
Climatisation	5 à 10 V/h

Tableau 6.5 : Renouvellement de l'air selon le type de Ventilation.

Source : Auteur, 2017.

La ventilation externe ne doit par contre jamais être nulle, car cela correspondrait à un volume totalement étanche. La mesure de débit d'infiltration réel exige de réaliser des tests spécifiques (test de la porte soufflante, caméra infrarouge, repérage des fuites par la fumée).

En ce qui concerne notre recherche, nous avons renseigné le débit nominal en vol/h (taux de renouvellement d'air) en fonction du comportement des personnes et de leurs usages, et nous avons choisi la valeur de 1 vol/h pour une ventilation normale (aération standard) avec des fenêtres ouvertes et fermées selon la localisation de ces dernières, et selon les besoins des usagers en ventilation.

5.5. Niveau d'éclairément

Ce scénario définit l'éclairément en lux souhaité au niveau du plan de travail de référence. En fonction des appareils d'éclairage de nos bureaux, nous pouvons estimer la valeur d'éclairément artificiel lumineux (lux) pour chaque mètre carré de : 500 lux pour chaque bureau pour un niveau d'éclairément uniforme.

5.6. Les besoins en eau chaude sanitaire:

Ce scénario répartit en profils horaires le besoin hebdomadaire en eau chaude sanitaire, exprimé en litres d'eau à 40 °C, ce qui correspond à la température moyenne d'utilisation finale. Ces besoins sont calculés en fonction de la densité d'occupation, et d'usage surtout pour ce genre de bâtiment tertiaire. Pour les bâtiments de bureaux deux valeurs par défaut peuvent être utilisées, 30 litres par personne et par jour, ou 1,75 litre par m² de surface habitable.

6. Analyse architecturale du bâtiment cas d'étude :

6.1 Situation du bâtiment :

Le bâtiment se présente sous différentes orientations et qui sont: Nord Ouest, Ouest, et Sud
 Il est composé de plusieurs façades sur boulevard et donnant à l'intérieur, de trois 03 niveaux : Rez de Chaussée et deux (2) étages (R+2).

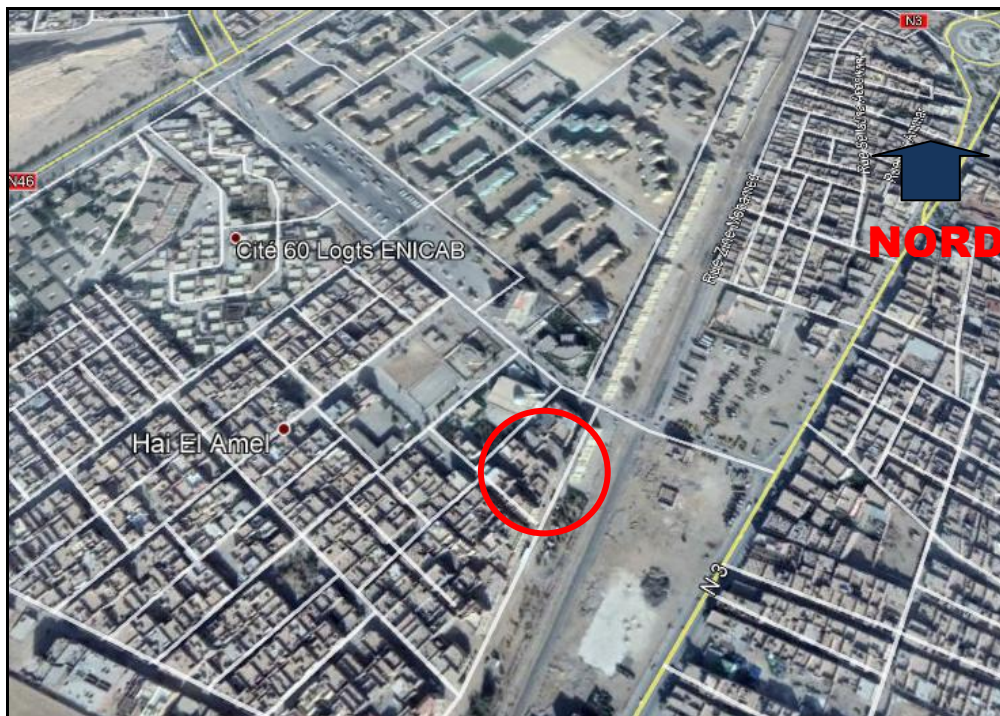


Figure6.5: Situation du bâtiment par rapport à la ville de Biskra. Source : Google Earth, 2017.

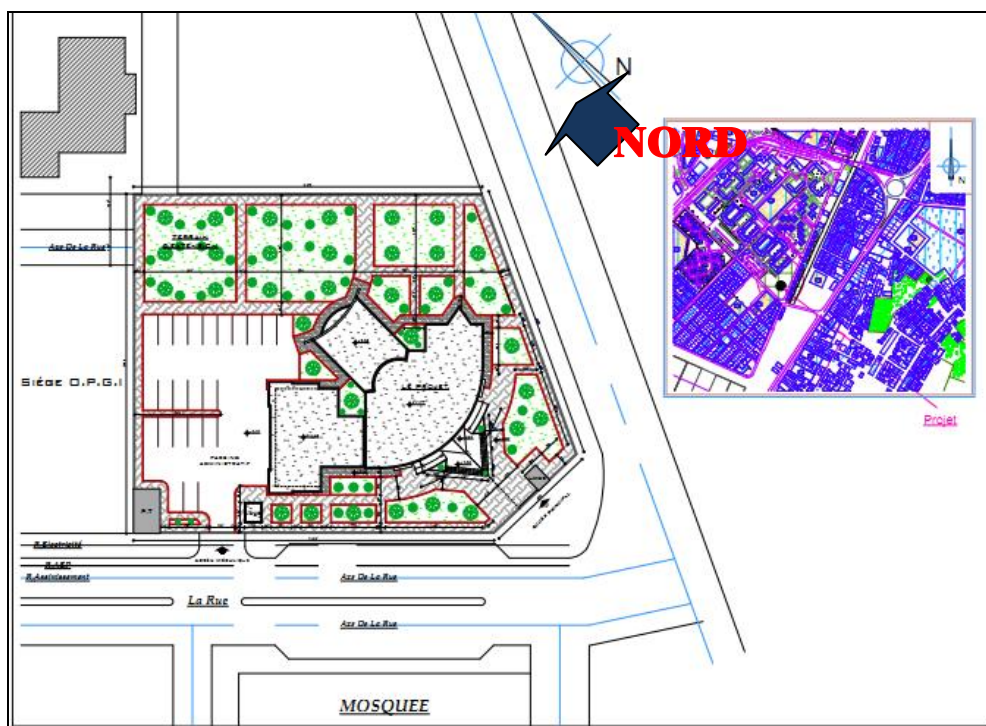


Figure 6.6: Plan de masse du bâtiment cas d'étude

Source : Auteur, 2017.

6.2. Description du bâtiment :

La composition du bâtiment s'articule autour d'un espace central, le hall et tous les espaces de circulation horizontale et verticale sont regroupés dans cette même zone.

La façade principale du bâtiment est embellie par sa transparence par des murs rideaux et de **Moucharabihs** éléments architectoniques du patrimoine bâti de la région, et de l'architecture arabo-musulmane.

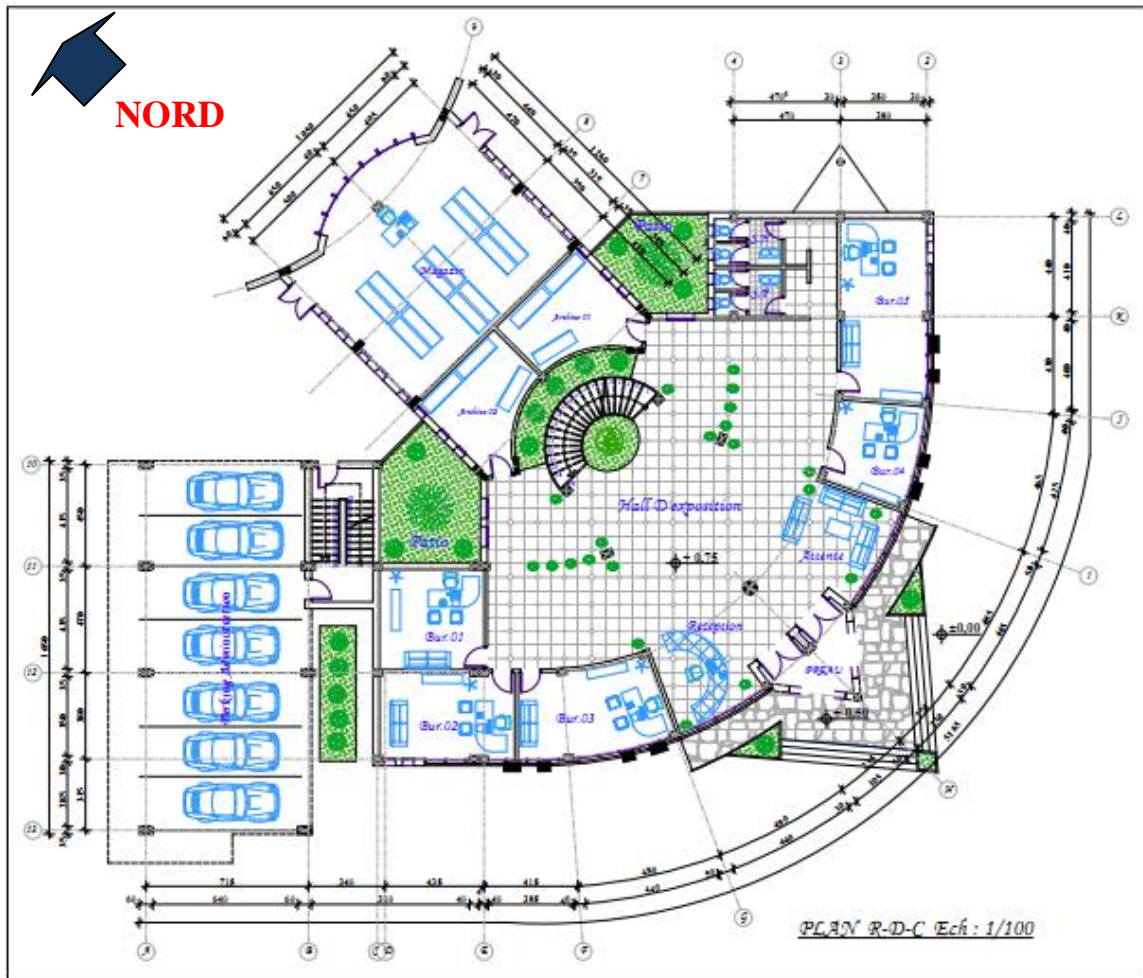


Figure 6.7: Plan Rez de Chaussée du bâtiment cas d'étude

Source : Auteur, 2017.

Notre étude porte sur les bureaux situés respectivement au RDC, à un niveau intermédiaire le premier étage et au dernier niveau, le deuxième étage.

La répartition des espaces est donnée selon le tableau suivant :

Désignation	Position du Bureau			Surface moyenne	Orientation	Nombre bureaux
	RDC	1 ^{er} Etage	2 ^{em} Etage		Sud Ouest	
Bureau1	x	-	-	15.00m ²	Nord	01
Bureau2	x	x	x	25.00m ²	Sud Ouest	03
Bureau3	x	x	x	28.00m ²	Sud Ouest	03
Bureau4	x	x	x	18.00m ²	Sud Est	03
Bureau5	x	x	x	28.00m ²	Sud Est	03
Salle d'Attente/ Bureau6	x	x	x	42.00m ²	Sud	03
Réception, Hall/ Bureau7	x	x	x	42.00m ²	Sud	03
Salle d'Archive/ Réunion	x	x	-	42.00m ²	Est / Ouest	02
Bureau Directeur	-	-	x	96.00m ²	N / N O	01
Salle Réunion	-	-	x	65.00m ²	Est / Ouest	01

Tableau 6.6: Répartition des espaces du bâtiment

Source : Auteur, 2017.

7. Méthodologie de travail :

Pour entamer notre étude, nous avons établi une fiche technique du bâtiment comprenant :

7.1 Informations générales sur le bâtiment :

Nombre de niveaux	03 niveaux (R+2)
Nombre de bureaux	24 bureaux + 02 salle de réunion +Magasin
Surface totale construite	2070,00m ²
Surface habitable	1645,00m ²
Surface climatisée/ chauffée	1645,00m ²
Données techniques : le procédé constructif	Poteaux /Poutres en Béton Armé
Forme du bâtiment	Bâtiment rectangulaire et arrondi à l'angle

Tableau6.7: Informations sur le bâtiment de l'Agence Foncière de Biskra.

Source : Auteur, 2017.

7.2. Plans : L'aménagement intérieur est identique à tous les niveaux du bâtiment. la seule différence réside dans l'affectation des services aux différents bureaux.

Autres spécificité se situe dans les revêtements et les matériaux utilisés dans le bureau du directeur.

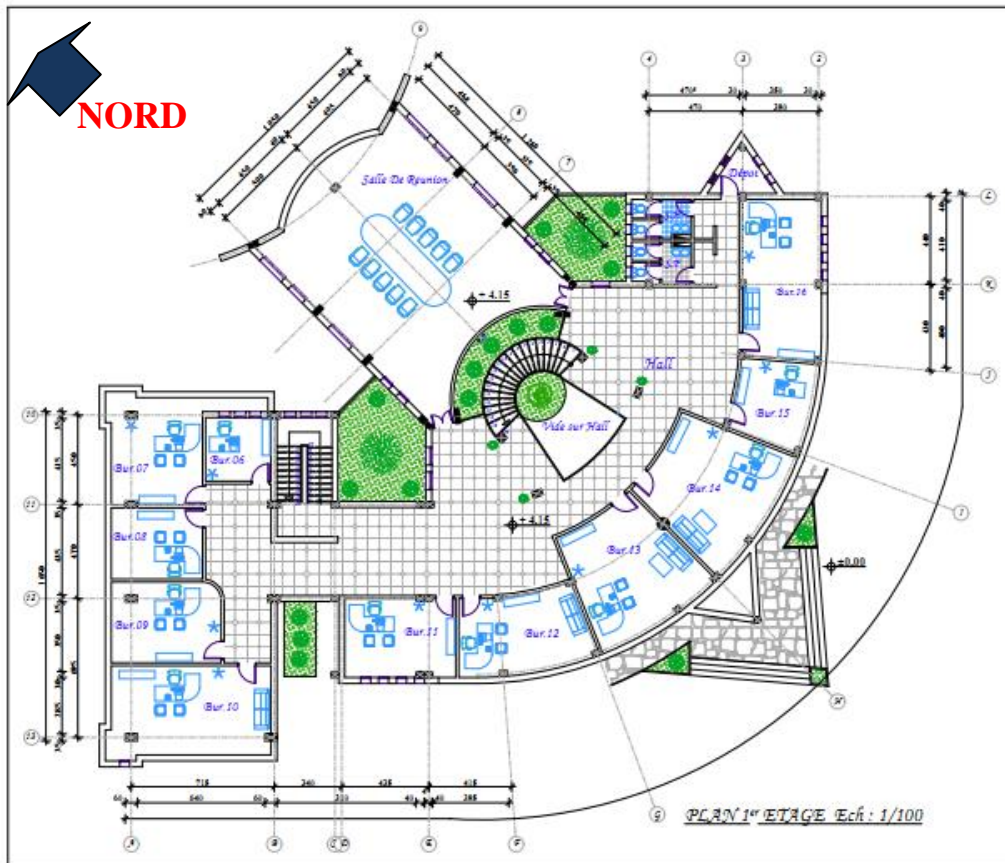


Figure6.8: Plan 1^{er} Etage du bâtiment cas d'étude

Source : Auteur, 2017.

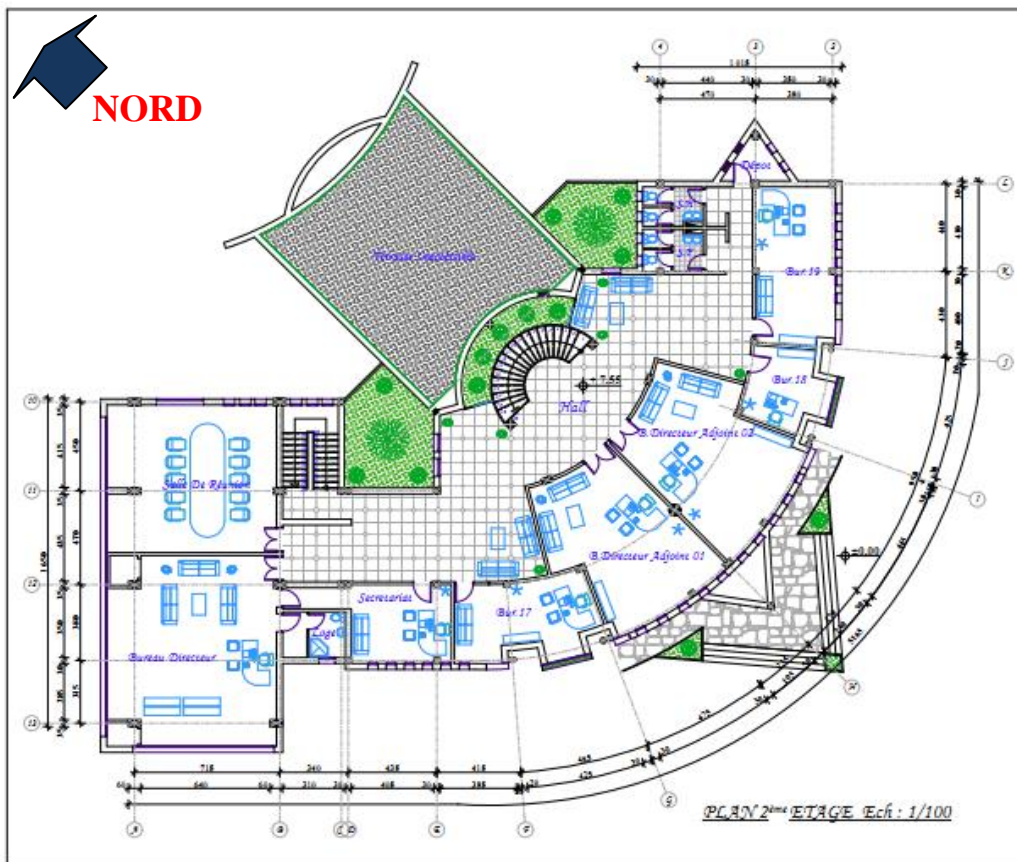


Figure6.9: Plan 2^{em} Etage du bâtiment cas d'étude

Source : Auteur, 2017.

7.3. Descriptif des matériaux de construction : l'enveloppe joue un rôle important de séparation thermique entre l'ambiance intérieure et extérieure. Elle intervient comme stockage de la chaleur dans le bâtiment et comme distributeur de cette dernière à l'air intérieur et extérieur.

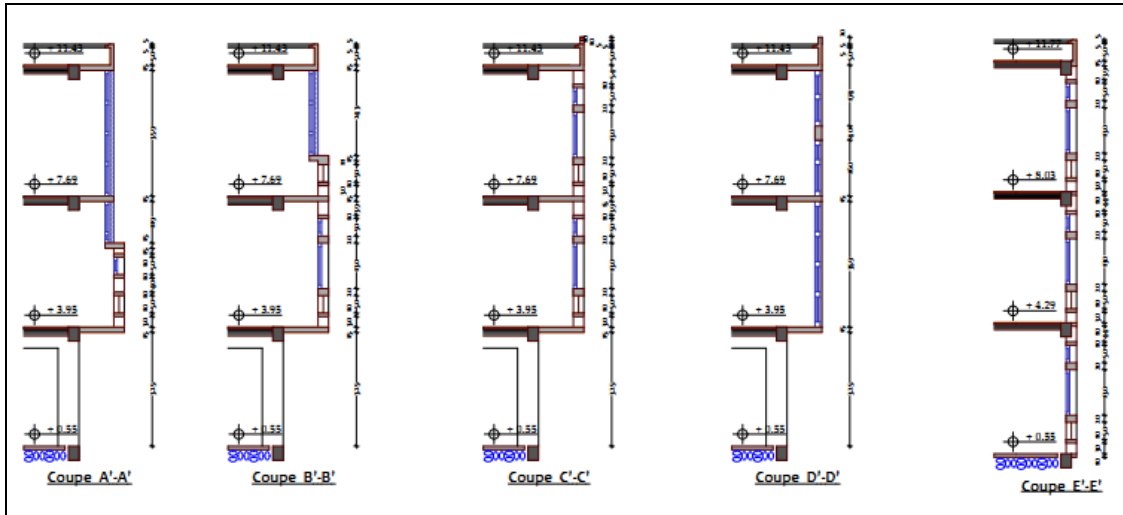


Figure 6.8: Détails des matériaux et des systèmes de construction. Source : Auteur, 2017.

La composition des parois est présentée dans le tableau suivant avec les caractéristiques thermiques et leurs performances d'isolation.

Parois	Matériaux utilisés	Performances $U=W/m^2K$
Mur extérieur sans ouvertures, en double paroi de 30cm, avec lame d'air.	Brique creuse de terre cuite, avec poteaux, poutres et raidisseurs en béton armé.	1.98 Performance Faible
Mur extérieur en double paroi de 30cm avec lame d'air, avec des fenêtres de 0.60x1.20m (de 4 à 6 par bureaux).	Brique creuse de terre cuite, avec poteaux, poutres et raidisseurs en béton armé, avec fenêtres en aluminium simple vitrage teinté.	1.98 Performance Faible
Baies vitrées et murs rideaux sur toute la surface du panneau de la façade.	Baies en Aluminium marron avec simple vitrage teinté, ou vitrage stop-sol.	4.15 Performance mauvaise

Tableau 6.9: Caractéristiques Thermiques et performances de l'enveloppe. Source : Auteur, 2017.

7.4. Description des équipements (éclairage, et appareils informatiques, électroniques et électroménagers): chaque espace et bureau est doté d'appareils tels que : climatiseur, chauffage, micro ordinateur, imprimante et photocopieur, ainsi que de lampes d'une puissance de 4x75w dont le nombre est défini selon les dimensions et les surfaces des bureaux.

Appareils	Puissances	Fréquences d'Utilisation Moyenne
Climatiseur	120000 à 18000BTU	08 heures (été) 06 heures (printemps et automne).
Chauffage	85W/m ²	08 heures (Hiver).
Réfrigérateur	3.3 KWH	24 Heures
Ordinateur	120W	06 à 08 Heures / jour
Imprimante	300W	02 à 03 Heures / jour
Scanner	36W	01 Heure / jour
Photocopieur	115W	01 à 02 Heures / jour

Tableau6.10: Puissance des appareils électriques et informatiques utilisés. Source : Auteur, 2017.

8. Ensoleillement du bâtiment étudié: la quantité de rayonnement solaire reçue par l'enveloppe d'un bâtiment peut être minimisée en intervenant sur : la forme et l'orientation du plan par rapport au soleil (course du soleil) ; la hauteur du bâtiment exposée au soleil, la forme et la pente du toit (incliné ou plat).

Notre bâtiment présente plusieurs façades, dont deux principales donnant sur l'extérieur (sur les voies principales), les autres façades donnent sur les cours intérieures du bâtiment :

Une façade orientée Sud Est : en partie protégée par l'environnement extérieur, la hauteur des bâtiments de logements collectifs (104logts LSP) en R+4 mais, c'est une protection qui reste insuffisante.

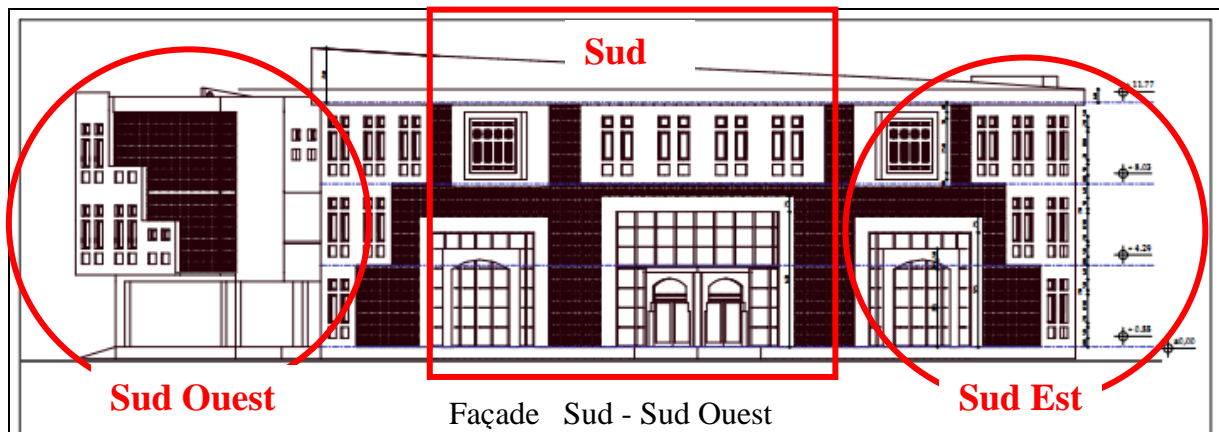


Figure 6.9: Façade Orientation Sud du bâtiment de l'Agence Foncière. Source : Auteur, 2017.

Une façade orientée Sud Ouest : avec un traitement en baies vitrées, cette façade est la plus exposée, elle est sujette aussi aux apports solaires d'hiver, cependant aucune protection a été réalisée, et donc non protégée des apports solaires d'été.

L'orientation Nord des façades du bâtiment présente un traitement restreint au niveau des sanitaires et le magasin du RDC, le reste des espaces sont fermés du côté Nord.

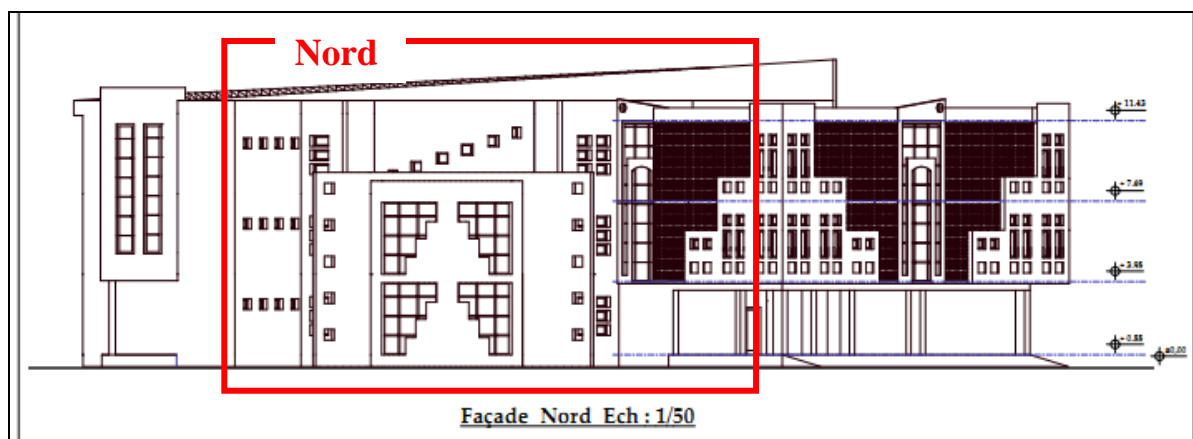


Figure 6.10: Façade Nord du bâtiment de l'Agence Foncière.

Source : Auteur, 2017.

Les façades orientées Est sont traitées de la même manière que celle orientées Ouest: avec un minimum d'ouvertures, et une mauvaise exploitation de l'Est, et sans se protéger par rapport aux rayonnements de l'Ouest sauf par des stores à l'intérieur des bureaux.

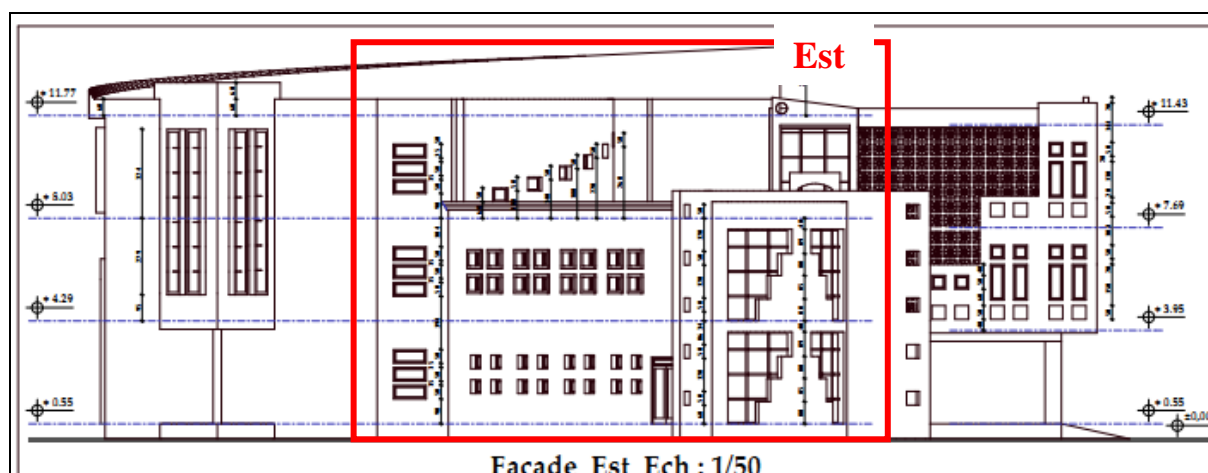


Figure 6.11: Façade orientée Est du bâtiment de l'Agence Foncière.

Source : Auteur, 2017.

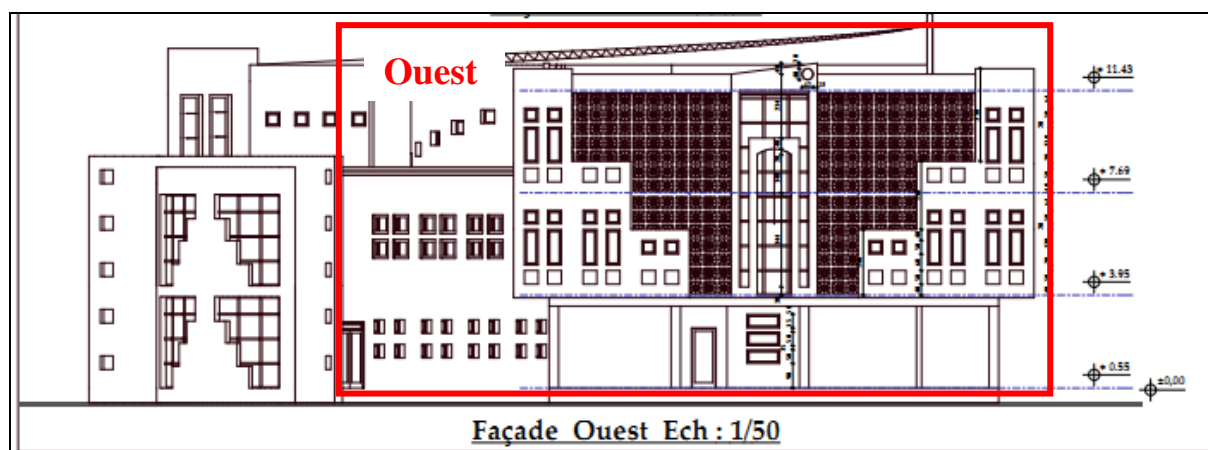


Figure 6.12: Façade Ouest du bâtiment de l'Agence Foncière.

Source : Auteur, 2017.

9. Description du système HVAC :

En l'absence d'environnement normatif, en Algérie, pour la détermination des rendements et des puissances des appareils de climatisation et de chauffage.

Les puissances et les rendements de ces équipements de chauffage et de climatisation ont des valeurs qui sont inspirées de normes (NF, BS, CE) vu que tous les appareils sont importés dans la majorité même ceux produits sont montés dans les usines en Algérie, seulement avec des pièces maitresses et moteurs importés de l'étranger.

Très apprécié pour le confort qu'il procure, le gaz combustible équipe la majorité des bâtiments résidentiels et autres. Cette énergie, lorsqu'elle est associée à une chaudière de qualité et de dernière technologie (chaudière à condensation ou à basse température), offre un moyen de chauffage efficace et économe.

Ces dernières années, les fabricants ont rivalisé d'ingéniosité pour concevoir des chauffages, et chaudières à gaz toujours plus performantes. Ces efforts payent. Aujourd'hui, il est possible de diminuer considérablement la facture d'énergie grâce à une chaudière à gaz de dernière génération. L'appareil de chauffage le plus utilisé est le radiateur à gaz naturel avec un rendement de 0.9.

Les constructeurs des appareils de refroidissement annoncent à charge nominale des EER (*Energy Efficiency Ratio*) entre 3,1 à 4,3 et des COP de 3,5 à 4,5. Ces valeurs restent dans la moyenne des machines à refroidissement / réchauffement par air. De plus, le bénéfice énergétique sera amélioré avec le système DRV 3 tubes à récupération de chaleur si la récupération d'énergie est possible. Le refroidissement est assuré par un climatiseur de fenêtres type VRV (les plus disponibles en Algérie), à un rendement de 2.

10. La Ventilation: le bâtiment dispose de différentes façades et donc plusieurs orientations, ou il est exposé aux vents du Sud « sirocco » pendant le printemps et l'été. En période hivernale, les vents Nord-Ouest sont les plus dominants. La ventilation naturelle est la technique utilisée pour ce bâtiment, avec l'ouverture de fenêtres selon les besoins des usagers.

11. Description technique du bâtiment:

Les éléments constructifs de ce bâtiment sont récapitulés dans le tableau suivant :

Eléments de la structure	Description
L'infrastructure	Eléments structurels semelles, amorce-poteaux et longrines en béton armé avec un ciment de type CRS (ciments résistants aux sulfates).
Les escaliers	Eléments coulés sur place, marches, contre-marches, paliers et paillasse d'épaisseur 14cm, en béton armé avec double nappe, avec un ciment de type CPJ (ciments portlands aux clinkers).
Maçonnerie	Briques creuses à base de terre cuite d'épaisseur de 10cm, et 15cm réalisés en simple ou double paroi.
Conduits de fumée et ventilation	Absence du système de conduites de ventilation.
La menuiserie	Menuiserie à l'extérieur du bâtiment en Aluminium de couleur marron noisette.
	A l'intérieur la menuiserie est en bois pour quelques portes, le reste des portes et fenêtres, baies et murs rideaux Aluminium de couleur marron noisette.
Peintures	Peinture vinylique sur murs et sous plafonds, appliquée en deux couches croisées. De couleur claire, blanche pour les plafonds.
Vitrierie	Verre simple clair et teinté pour l'ensemble des fenêtres et baies vitrées du bâtiment.

Tableau 6.11: Eléments constructifs du bâtiment de l'Agence Foncière.

Source : Auteur, 2017.

12. Comportement bioclimatique du bâtiment et confort thermique :

Le comportement bioclimatique de notre bâtiment cas d'étude, réside en premier dans l'aménagement de son plan de masse par la présence d'une grande cour intérieure et d'un terrain réservé pour l'extension future du bâtiment aménagé en espace vert.

En ce qui concerne l'aménagement intérieur, tous les espaces sont organisés autour d'un hall central sur double hauteur, et des patios. Ainsi les vents sont exploités pour garantir une ventilation naturelle efficace.

Les façades sont exposées au soleil et dans toutes les orientations, ce qui a donné l'effet d'éblouissement dans certains bureaux.

Les dispositifs de protections des façades et des baies vitrées se résument aux éléments de Moucharabieh et des stores placés à l'intérieur des bureaux. Les occupants de ces bureaux trouvent des difficultés pour l'exercice de leurs tâches administratives.

12.1. L'isolation :

Les façades sont traitées avec des éléments identiques réalisés de la même manière pour toutes les orientations et sans aucune technique spécifique de réalisation pour les orientations les plus défavorables.

Ainsi les murs extérieurs de l'enveloppe sont en double paroi en briques creuses de terre cuite de 15cm et de 10cm d'épaisseur, séparées par une lame d'air de 05cm (la seule technique d'isolation de l'enveloppe).

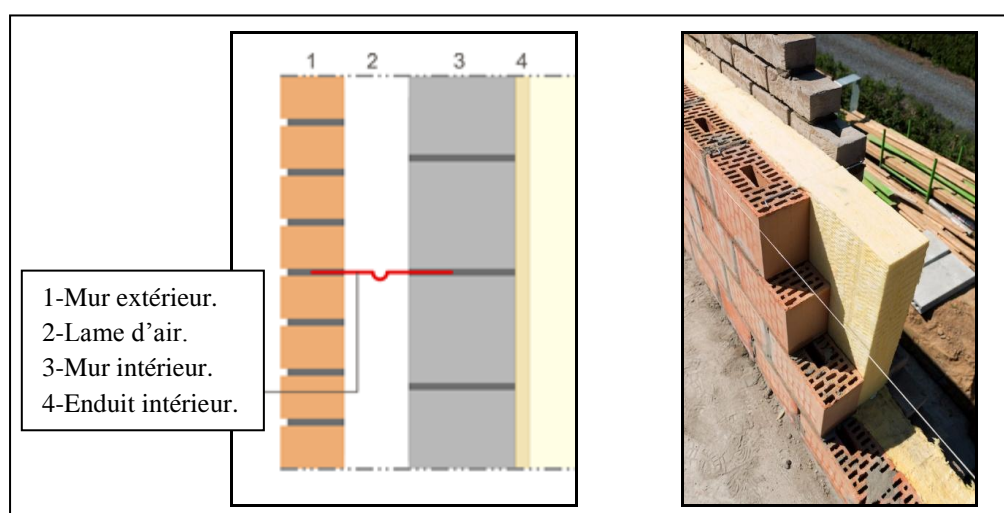


Figure6.13: Maçonnerie double paroi des murs extérieurs.

Source : Auteur 2017.

Le revêtement des murs extérieurs est composé d'enduit en ciment, lisse non teinté ou à la tyrolienne teintée, appliqué sur le mur après dressage et ajustement des surfaces.

En ce qui concerne le plancher terrasse, une étanchéité en multicouches en « Pax- Alumin » appliquée en trois couches croisées sur une forme de pente en béton séparé du plancher par une feuille de polyane et une couche de polystyrène expansé de 04cm d'épaisseur.

L'absence d'écrans solaires en plus de l'orientation, le type de revêtement, peinture et couleur inadaptés font que le bâtiment soit exposé aux aléas du climat en toute saison.

12.2. Perméabilité à l'air :

Les façades du bâtiment sont équipées de fenêtres, de baies vitrées et de murs rideaux, mal adaptés, mal orientés et mal installés (non hermétiques). Elles conduisent à des infiltrations d'air extérieur, courant d'air inconfortable, conduisant à une surcharge du bilan thermique.

12.3. Perméabilité à l'humidité :

On remarque que l'étanchéité du bâtiment se résume seulement au niveau de son plancher terrasse, et sans toucher les autres éléments de l'enveloppe. Ces derniers n'offrent donc pas de protection suffisante contre les agents extérieurs (pluie, vent, poussière,..) entraînant des déplacements d'eau à l'intérieur par capillarité.



Figure 6.13: Façade vitrée du bâtiment de l'Agence Foncière.

Source : Auteur, 2017.

12.4. Fonctionnement thermique des matériaux :

L'inertie thermique des éléments composant l'enveloppe du bâtiment joue un rôle important et déterminant de régulateur thermique, en stockant la chaleur captée sur les surfaces en contact de l'air, et plus particulièrement celles du flux solaire orientés vers les fenêtres et baies vitrées, et murs rideaux de la façade. L'inertie permet, donc de ralentir, l'élévation de la température à l'intérieur du bâtiment avec un décalage temporel (déphasage).

En ce qui concerne les murs extérieurs en double paroi, l'inertie est moyenne (faible parfois), ajouté à cela les défaillances et déperditions du simple vitrage, ou même double vitrage non isolé, le bâtiment se retrouve sans aucune protection vis-à-vis de la rudesse du climat des régions arides, en été et en hiver.

13. Résultats de l'analyse des bâtiments de bureaux:

La série des enquêtes menées pour arriver à sélectionner le bâtiment échantillon a conduit aux résultats suivants :

- a. La géométrie de ces des bâtiments ne suit aucune logique conceptuelle relative à leurs usage et vocation. On retrouve des bâtiments sous la forme de barre, en L, T, avec ou sans hall central, avec des cours intérieures, etc... .
- b. L'orientation des bâtiments ne suit aucune logique conceptuelle, ce qui conduit à avoir des bâtiments mal orientés, ou avec orientations défavorables.
- c. Orientations des fenêtres : de même que pour le bâtiment, les fenêtres, leurs dimensions, et protection sont indépendantes de l'orientation, cette dernière n'est pas prise en considération lors de la conception.
- d. L'enveloppe des bâtiments tertiaires se présente aspects : des façades opaques, ou avec fenêtres placées avec un module et selon un rythme, façade vitrée, ou avec de grandes vitrées,.....
- e. Les protections solaires : leur présence dans quelques bâtiments est pour des raisons d'esthétiques et décoratives plus que pour des raisons énergétiques. On retrouve les brises soleil verticaux pour la façade orientée Sud, ou le même brise soleil est utilisé dans les quatre façades du bâtiment, ou encore des façades sans aucune protection solaires malgré leurs surfaces vitrées très importantes.
- f. Les dimensions des fenêtres : les bâtiments récemment réalisés sont dotés de grandes surfaces vitrées (baies vitrées, et murs rideaux, ou des façades complètement vitrées).
- g. Les systèmes de chauffage et de climatisation : leur emplacement n'obéit pas aux normes d'installation de ces équipements, et parfois ils sont installés par l'utilisateur du bâtiment d'administration, et sans consulter les professionnels en la matière.
- h. Ces bâtiments de bureaux n'ont pas fait l'objet d'une étude d'économie d'énergie ou de la maîtrise de ces ressources pour les préserver aux générations futures selon les concepts du développement durable.

Ainsi, on peut confirmer qu'une nouvelle architecture des bâtiments tertiaires dans les régions arides à climat chaud et sec est fort présente. Ces bâtiments de bureaux présentant des façades transparentes, vitrées, avec ou sans protection solaires, des enveloppes mal isolées, sont consommateurs d'énergie, afin d'assurer le confort de leurs usagers, ne sont pas respectueuses de l'environnement, par leurs émissions et impacts engendrés.

2eme Partie: Choix des Outils de Simulation:

Dans cette deuxième partie de ce chapitre, l'objectif est de faire le choix de l'outil de simulation thermique dynamique STD, qui sera basé sur son degré de facilité et de compatibilité avec celui de l'étude environnementale par Approche d'Analyse de Cycle de Vie ACV du bâtiment, permettant ainsi de modéliser les différents paramètres : climat, micro-climat, enveloppe, systèmes et usages.

14. L'outil de simulation thermique dynamique STD :

Les outils de simulation thermique dynamique STD permettent d'évaluer les besoins énergétiques et le niveau de confort thermique des bâtiments de manière plus détaillée que les méthodes simplifiées, basées sur des bilans mensuels (ou écobilans).

Une comparaison entre les logiciels STD (TRNSYS, DOE-2, Serires et Comfie-Pleiades), réalisée en 2005 par le professeur Peuportier Bruno de l'école des mines de Paris , (France), sous le titre « Bancs d'essais de logiciels de simulation thermique », apporte une contribution pour la validation d'outil de simulation thermique dynamique des bâtiments, et permet de comparer les résultats des simulations à des mesures.

Le logiciel Comfie-Pleiades a donc été testé et validé selon le comparatif suivant, pour un cas d'étude référencé :

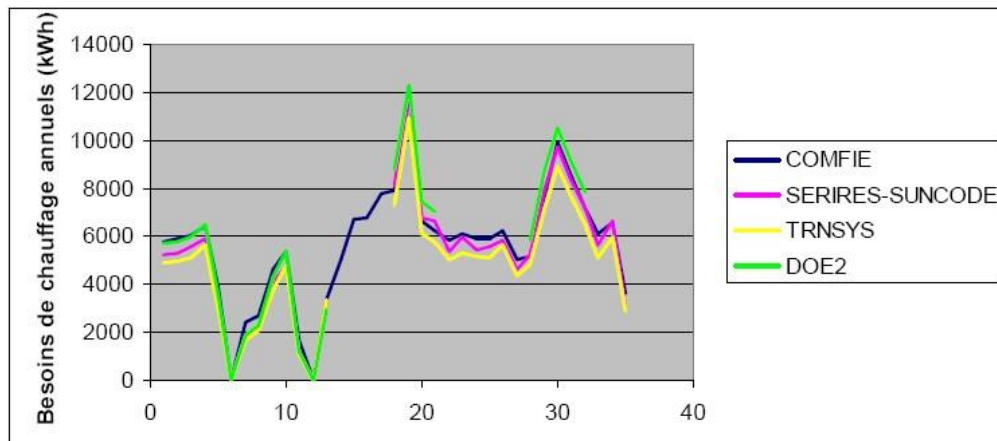


Figure6.14: Résultats comparatifs des besoins en chauffage annuels. Source : Peuportier, 2010.

Les écarts entre les logiciels restent relativement faibles : en moyenne 10 % par rapport à DEO-2 et Serires, 16 % par rapport à TRNSYS.

En ce qui concerne les besoins en climatisation, les écarts sont du même ordre (15 %) avec TRNSYS et Serires, alors que DOE-2 donne des besoins beaucoup plus faibles que les autres logiciels.

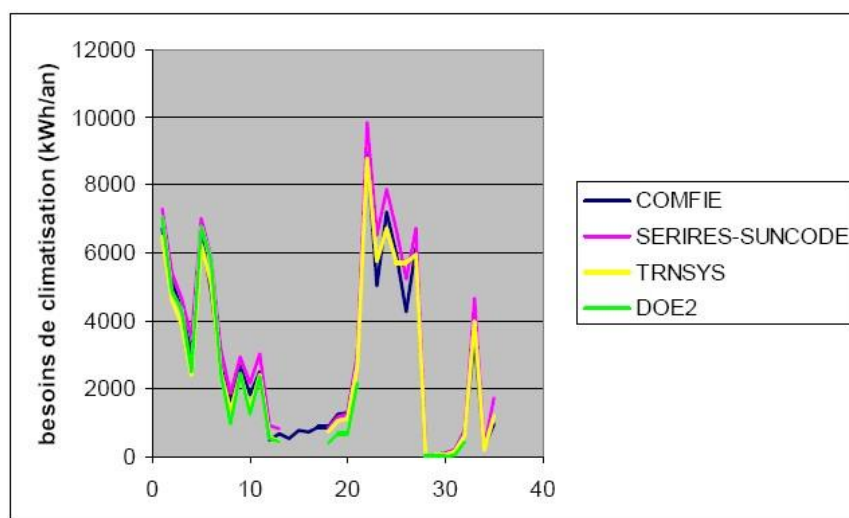


Figure 6.15: Résultats comparatifs des besoins en climatisation.

Source : Peuportier, 2010.

14.1. Le choix de Comfie-Pleiades :

Le logiciel Comfie-Pleiades est un outil de simulation thermique dynamique STD de bâtiment développé par le Centre énergétique et procédés de Mines ParisTech (France), depuis plusieurs années, avec le soutien de l'Ademe (France). Il est particulièrement adapté à la conception solaire bioclimatique et à la réalisation de bâtiments où la qualité thermique et environnementale des ambiances est particulièrement prise en compte.

Le logiciel calcule le comportement de différentes zones thermiques d'un bâtiment en régime dynamique. Il autorise également à suivre heure par heure les consommations pour la climatisation et le chauffage.

Avec sa riche bibliothèque (matériaux, éléments, systèmes, équipements, etc.) et la possibilité de modéliser tous les éléments de l'enveloppe, et les systèmes HVAC, le logiciel Comfie-Pleiades représente un outil efficace de simulation, bien adapté à des études d'avant-projet comme au contrôle sur un bâtiment existant, qui s'applique pour notre cas d'étude (bâtiment existant), en l'occurrence le siège de l'agence foncière de Biskra.

Le comportement thermique du bâtiment est très complexe du fait des transferts thermiques se produisant simultanément et de la variation des conditions le sollicitant (les conditions climatiques très spécifique). Il permet d'inclure toutes les données météorologiques dans son calcul avec un format TRY (données météo pour une année type).

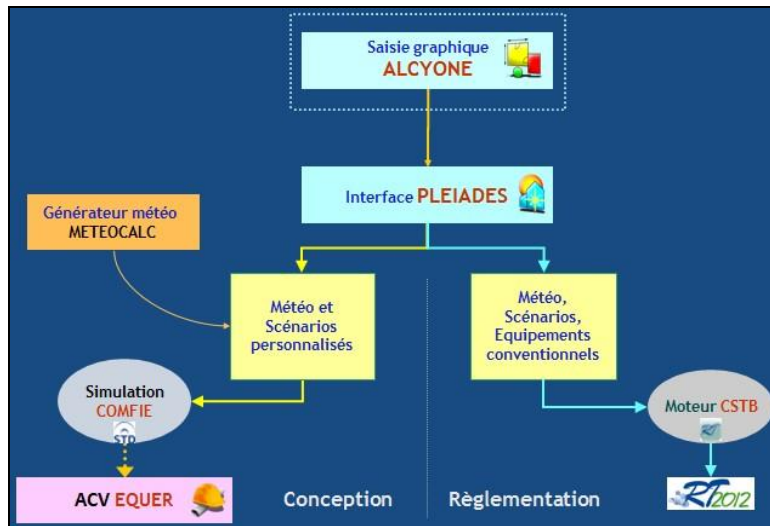


Figure 6.16: Organigramme Alcyone et Comfie-Pleiades et Nova equer.

Source : IZUBA Energies, 2017

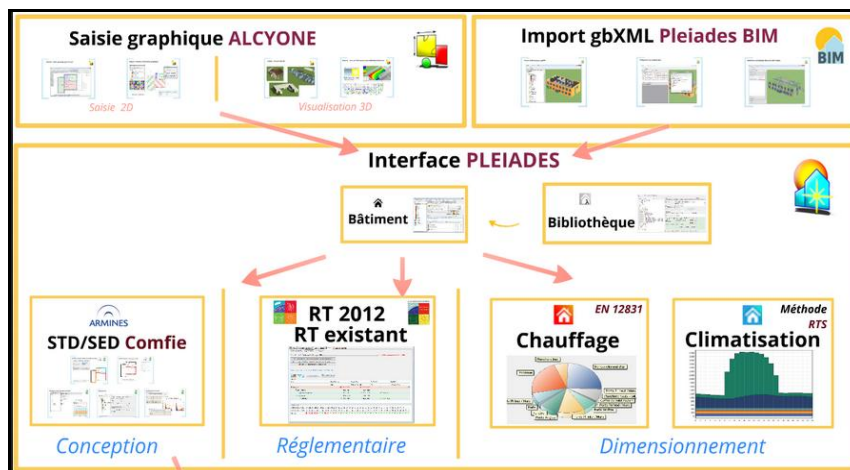


Figure6.17: Organigramme de Pleiades.

Source : IZUBA Energies, 2017.

L'outil de simulation Comfie-Pleiades est composé des quatre 4 unités suivantes :

14.1.1. Alcyone : est l'interface graphique du logiciel, conçue pour faciliter la saisie des bâtiments. Elle permet de définir l'ensemble des paramètres géométriques du bâtiment, d'attribuer aux éléments (paroi, fenêtre, baies, etc.) leurs caractéristiques thermiques, de définir les zones thermiques et d'affecter les scénarios d'utilisation.

Elle présente le bâtiment en 2D et 3D.

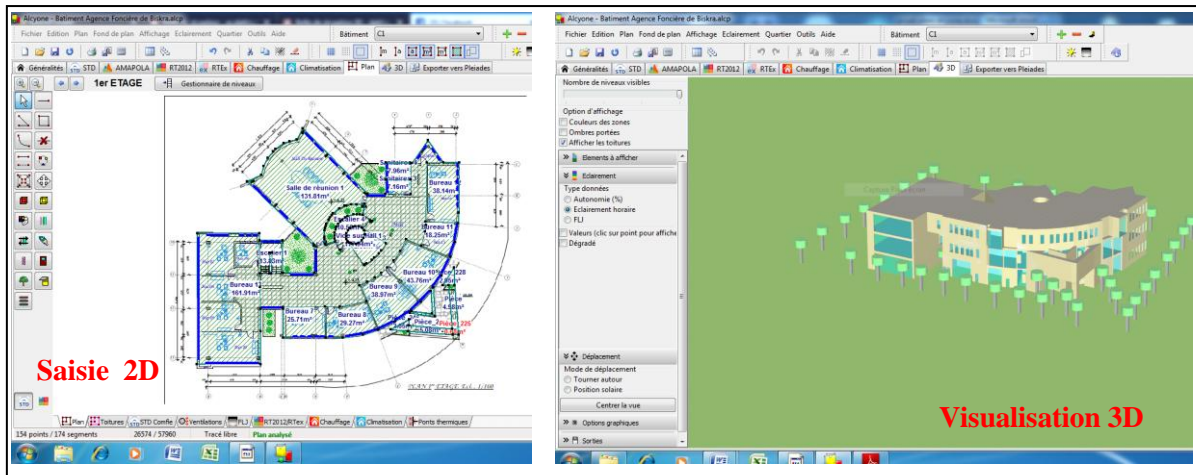


Figure 6.18: Saisies graphiques du Bâtiment sur Alcyone en 2D et 3D. Source : Auteur, 2017.

14.1.2. Pleiades: c'est avec sa bibliothèque générale de projets et de bâtiments. L'unité centrale de calcul est supportée par 2 moteurs de calcul, pour deux types de calcul différents :

- I- Moteur Comfie : pour le calcul Simulation Thermique Dynamique multizone.
- II- Moteur CSTB : pour le calcul réglementaire RT2012 (Règlementation Thermique Française 2012).

14.1.3. Meteocalc: c'est le module de traitement et de génération de fichier météorologique, Comfie-Pleiades intègre ce module qui permet de créer une donnée météo propre et utilisable en simulation thermique dynamique (STD).

14.1.4. Nova-Equer : est le module de calcul de l'analyse de cycle de vie ACV bâtiment. La simulation réalisée par Comfie-Pleiades s'effectue en fonction de la situation, l'emplacement, de l'orientation, du site, et météo, des matériaux de construction et des propriétés physiques et thermiques, de l'architecture et de la géométrie du bâtiment, du comportement des usagers et des systèmes énergétiques utilisés (climatisation, chauffage et de la ventilation).

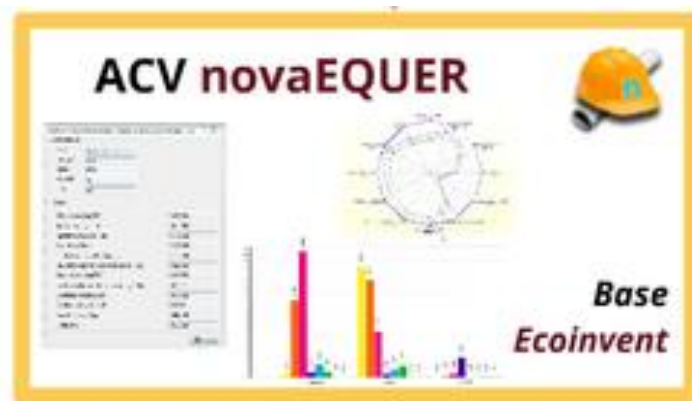


Figure 6.19: Organigramme de Nova-Equer. Source : IZUBA Energies, 2017.

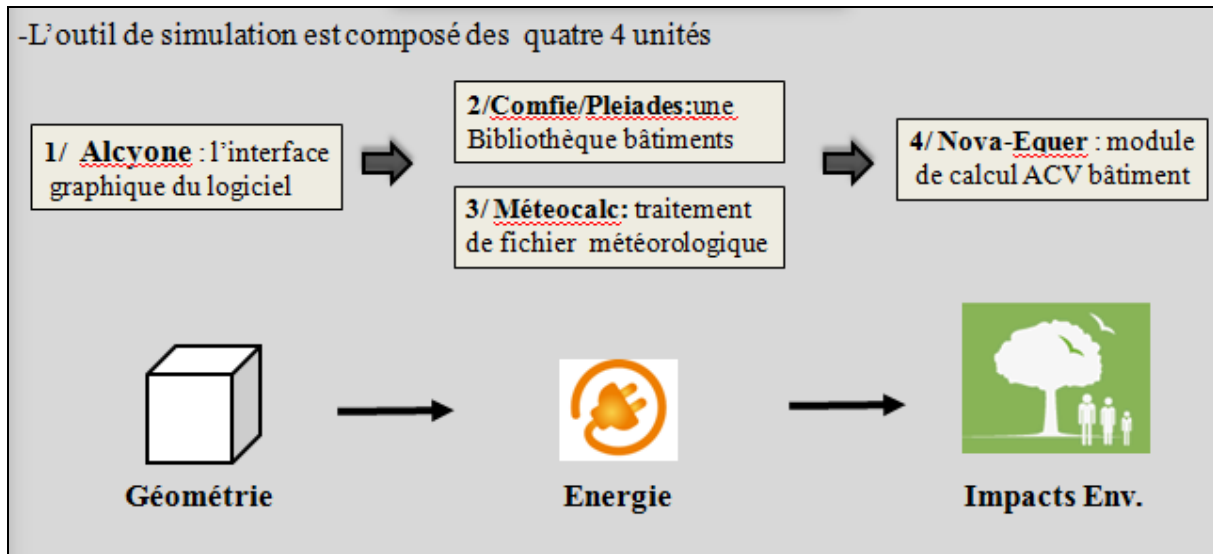


Figure 6.20: Outils de Simulations Energétique & Environnementale.

Source : Auteur, 2017

14.2. Principe de calcul :

La simulation thermique consiste à étudier l'évolution des températures et des besoins énergétiques du bâtiment sur une certaine période avec un certain pas de temps.

Le bâtiment étudié dans Comfie-Pleiades peut être modélisé par une ou plusieurs zones thermiques, chaque zone étant considérée à température homogène (la même température). Elle est délimitée par un certain nombre de parois. Une zone thermique peut regrouper plusieurs espaces (plusieurs bureaux peuvent être regroupés dans une même zone thermique).

14.2.1. Transfert de chaleur dans les parois extérieures :

L'absorption du rayonnement solaire incident par les parois opaques est calculée par un bilan thermique au niveau de la surface absorbante, en fonction du facteur d'absorption de cette surface. Le rayonnement incident absorbé est réparti entre une quantité pénétrant dans la partie extérieure du mur et une quantité perdue vers l'ambiance extérieure (transferts radiatifs et convectifs).

Cette dernière quantité est beaucoup plus faible dans le cas où la paroi est revêtue d'une couche d'isolant (matière isolante intégrée à la paroi).

14.2.2. Coefficients de transfert superficiel (hint et hext) :

Les transferts radiatifs et convectifs sont pris en compte dans un coefficient global, évalué pour chaque paroi en fonction de son inclinaison et de son exposition au vent pour la partie convective, de ses propriétés optiques pour la partie radiative.

Ainsi, on considère trois niveaux d'exposition au vent pour déterminer ces coefficients de transfert globaux à la surface externe des parois :

1. Niveau normal.
2. Niveau abrité.
3. Niveau sévère.

14.2.3. Calcul des sollicitations de flux solaire :

Les flux solaires sur des plans d'orientation et d'inclinaison donnés sont calculés heure par heure à partir des données climatiques (rayonnement global horizontal G_h , diffus horizontal Dif_h et direct normal Dir_n), les rayonnements diffus et réfléchis par le sol étant considérés comme isotropes.

On distingue ensuite les masques « lointains » (bâtiments dans le voisinage, arbres...) et les masques « intégrés » (balcon, avancée de toiture faisant partie du bâtiment lui-même).

Le facteur d'ombre des masques intégrés concernant le rayonnement direct est le ratio de la surface ombragée par la surface totale du vitrage ou de la paroi considérée.

Le flux solaire traversant les vitrages forme pour chaque zone une sollicitation unique, en prenant en compte éventuellement de pourcentage d'occultation donné par un scénario horo-journalier, le taux de transmission à travers les plantations et le facteur solaire du vitrage.

14.2.4. Sollicitation de puissance interne :

Cette sollicitation concerne aussi bien l'équipement de rafraîchissement ou de chauffage, que la puissance dissipée à l'intérieur de la zone thermique, la chaleur dégagée par les occupants, la partie variable de la ventilation extérieure, les échanges entre zones par mouvement d'air naturel, et les variations des déperditions dues aux occultations variables.

14.2.5. Intégration et résultats :

Un certain nombre de grandeurs sont intégrées sur la période de simulation : les charges de chauffage et de rafraîchissement. Les températures maximales, minimales et moyennes pour chaque zone sont également déterminées.

Le logiciel fournit en sorties, heure par heure, les puissances thermiques (positives pour la chaleur, négatives pour le froid) et les températures des différentes zones. Le concepteur peut ainsi connaître les besoins énergétiques et le niveau de confort du bâtiment pendant la période considérée (hiver, ou été) et l'espace considéré.

14.3. Application de l'outil de modélisation Comfie-Pleiades :

Pour effectuer cette analyse par le logiciel Pleiades+Comfie, nous avons modélisé toutes les informations récoltées lors de notre démarche.

Ainsi, nous commençons par créer les bibliothèques spécifiques de données relatives à notre bâtiment :

- a. les matériaux et compositions : pour les parois extérieures, intérieures, les cloisons, les planchers, les revêtements extérieurs et intérieurs, les menuiseries et leurs compositions de vitrages et de cadres, les ponts thermiques.
- b. Les 6 scénarios d'usages: consigne de température, taux d'occupation, taux de ventilation, puissance dissipée des appareils électriques, niveau d'éclairage et besoins en l'Eau Chaude Sanitaire.
- c. Les systèmes de climatisation, chauffage et de chauffe-eau pour l'ECS.
- d. les données météo: grâce à l'outil Metéocalc dans le logiciel Comfie+Pleiades, nous pouvons intégrer les données météorologiques de notre site, obtenues auprès de l'agence Meteonorm, au format (TRY), pour la station météo de Biskra.

Pour rassembler ces données dans l'environnement du bâtiment, nous les avons saisies dans la partie graphique (Alcyone), où nous pouvons modéliser la géométrie du bâtiment (orientation, dimensions, matériaux de construction et leurs propriétés physiques et thermiques, ponts thermiques non traités, etc.) avec son environnement immédiat (les rues en face, les bâtiments adjacents et du voisinage, ainsi que leurs hauteurs et position, les arbres proches, etc.).

Du fait des différents comportements thermiques existants entre les espaces bureaux (lieu de travail, lieu de réunion, réception, etc.), nous avons divisé le bâtiment en plusieurs zones thermiques.

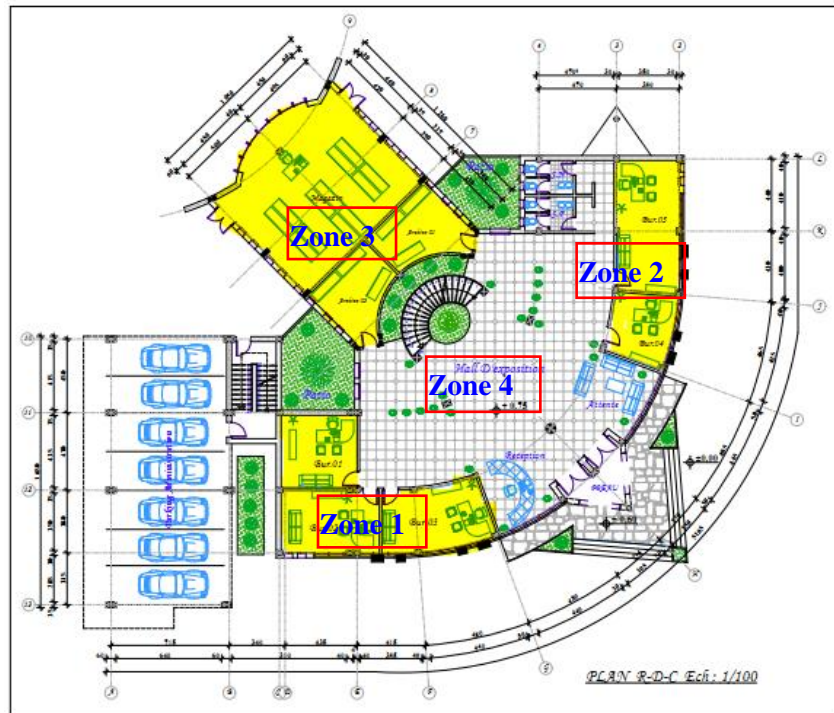


Figure6.21: Zones Thermiques du RDC du Bâtiment.

Source : Auteur, 2017.

Le Rez de Chaussée est divisé en quatre 4 zones thermiques.

Le 1^{er} étage est divisé en six 6 zones thermiques.

Le 2^{em} étage est aussi divisé en six 6 zones thermiques.

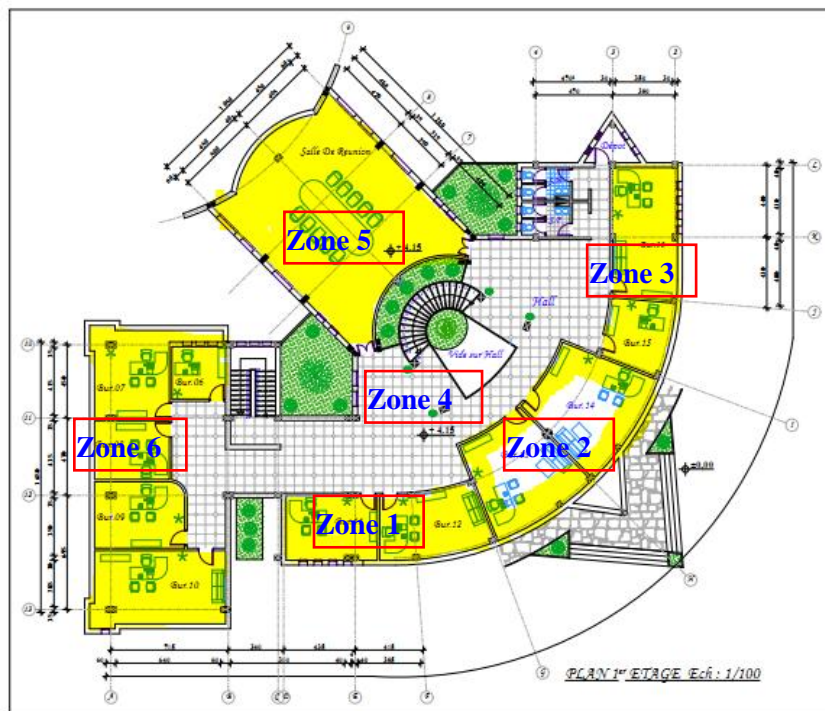


Figure6.22: Zones Thermiques du 1^{er} Etage du Bâtiment.

Source : Auteur, 2017.

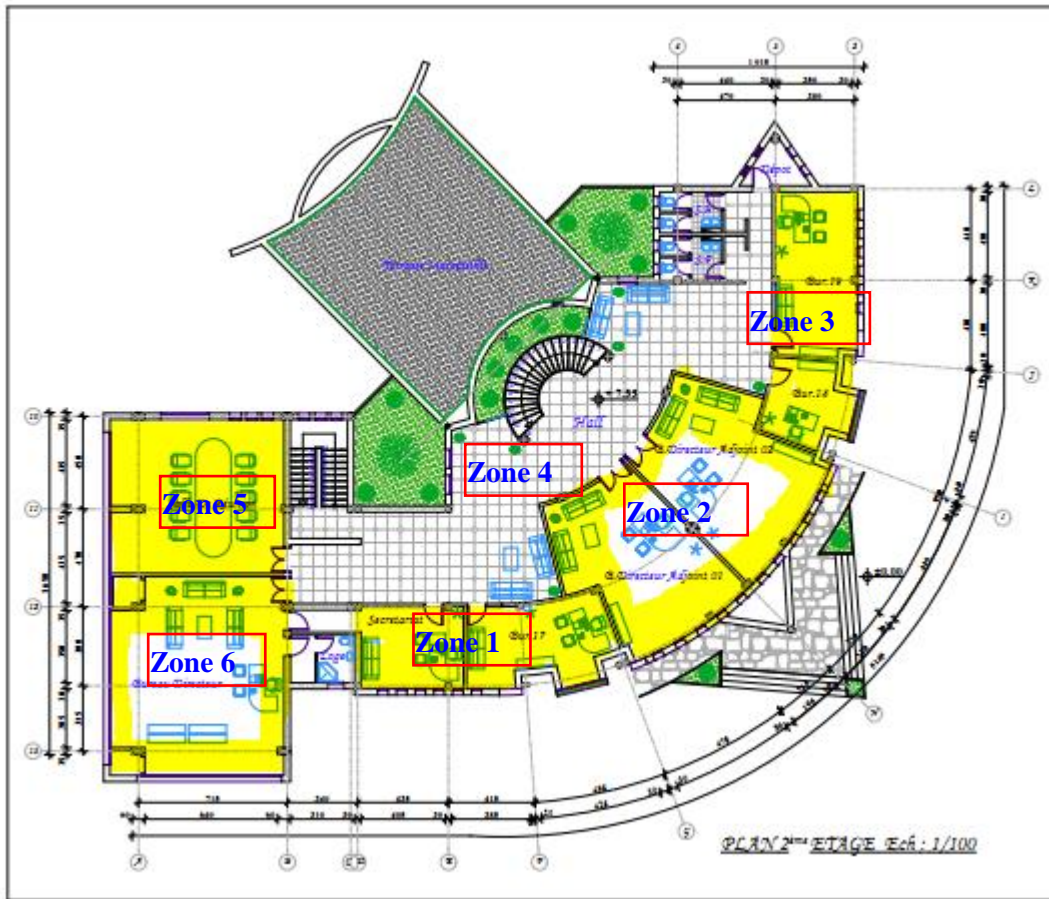


Figure 6.23: Zones Thermiques du 2^{em} Etage du Bâtiment.

Source : Auteur, 2017.

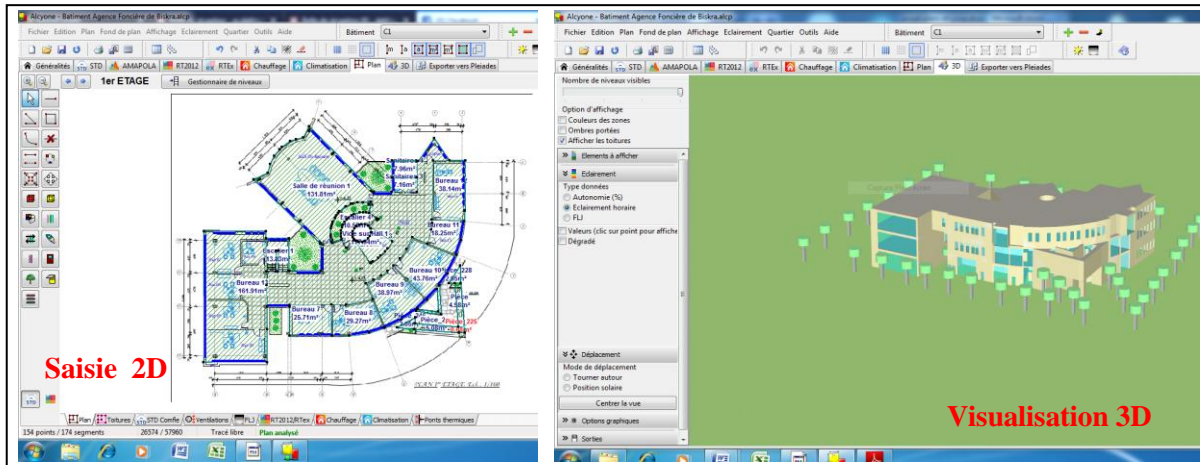


Figure 6.24: Saisie graphique par Alcyone du Bâtiment à simuler.

Source : Auteur, 2017.

Comfie-Pleiades donne la possibilité de voir le bâtiment en vue 3D avec son environnement immédiat, et par rapport aux bâtiments adjacents et ceux qui lui font face.



Figure 6.25: Vue 3D du Bâtiment dans son quartier (façade Sud). Source : Auteur 2017.

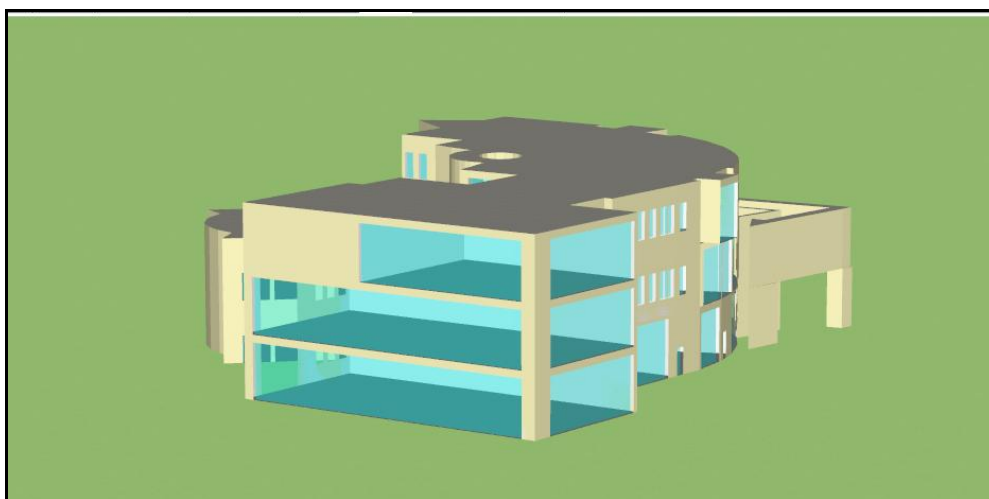


Figure 6.26: Vue 3D du Bâtiment dans son quartier (façade Ouest). Source : Auteur 2017.

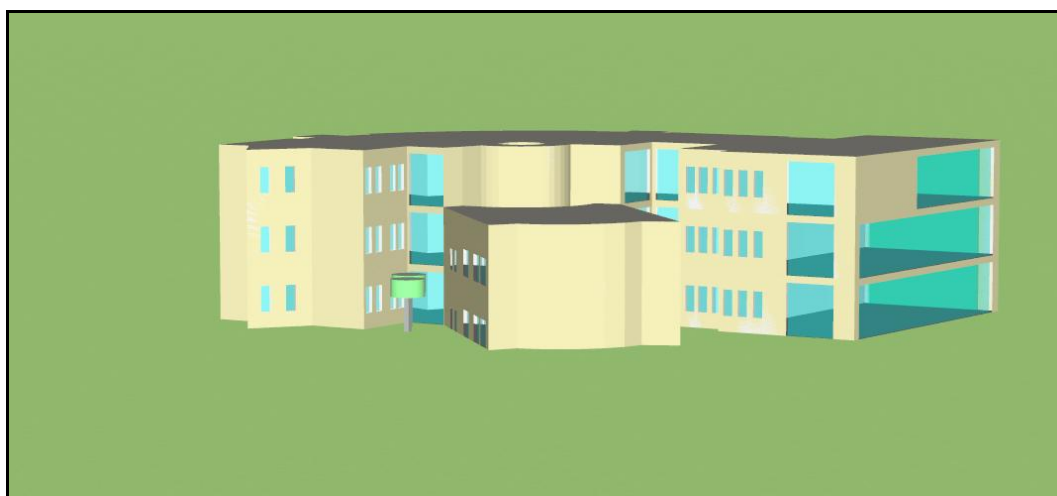


Figure 6.27: Façade Nord en vue 3D de Bâtiment cas d'étude. Source : Auteur 2017.

14.4. Résultats de la simulation thermique dynamique :

Après avoir saisi toutes les données de notre bâtiment, nous avons effectué une simulation thermique dynamique sur une période d'une année (toutes les saisons été et hivers).

Deux types de résultats étaient recherchés :

1. le premier concerne les courbes de température intérieure dans les zones thermiques.
2. le deuxième, les consommations énergétiques pour la climatisation et le chauffage et l'eau chaude sanitaire ECS.

14.4.1. Analyse des températures :

Comparons à présent les résultats des températures entre la simulation thermique dynamique et les mesures expérimentales. Après avoir effectué la comparaison entre les courbes des températures dans les trois zones thermiques, nous allons chercher les résultats concernant la consommation électrique.

14.4.2. Analyse de la consommation énergétique :

La simulation thermique dynamique par l'outil informatique Pleiades+Comfie permet d'évaluer tous les besoins en énergie nécessaire pour faire fonctionner les appareils de climatisation ainsi que celui du chauffage.

Zones	Besoins Ch. kWh	Besoins Ch. kWh/m ²	Besoins Clim. kWh	Besoins Clim. kWh/m ²	Puiss. Chauff. W	Puiss. Clim. W	T° Min °C	T° Moyenne °C	T° Max °C
Zone	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,62	26,21	39,12
Zone 1	610,00	13,00	18 091,00	379,00	4 090,00	15 286,00	16,00	23,09	42,14
Zone 2	198,00	4,00	2 181,00	46,00	3 398,00	9 579,00	16,00	26,38	42,57
Total	808,00	8,00	20 272,00	212,00	7 487,00	24 866,00	12,42	25,94	39,71

Zones	Apports sola kWh	Conso Eclairag kWh	Heures > T°Inco h	Amplification %	Taux d'inconfor %	Part de besoins %	Besoins bruts kWh	Surface m ²	Volume m ³
Zone	5 860,00	0,00	0,00	11,06%	0,00%	0,00%	0,00	425,70	1 362,25
Zone 1	797,00	0,00	861,00	24,43%	33,00%	0,00%	0,00	47,77	152,86
Zone 2	731,00	0,00	908,00	21,95%	35,00%	0,00%	0,00	47,81	152,98

Tableau6.12: Besoins en Energie du Bâtiment cas d'étude. Source : Auteur 2017

14.4.2.1. Consommation énergétique pour le chauffage :

L'analyse thermique dynamique sur le logiciel Pleiades+Comfie donne une consommation énergétique de l'appareil de climatisation, de 808 kWh, avec une performance de 2.

14.4.2.2. Consommation énergétique pour la climatisation :

L'analyse thermique dynamique sur le logiciel Pleiades+Comfie donne une consommation énergétique de l'appareil de climatisation, de 20.272 kWh, avec une performance de COP=2,7.

14.4.2.3. Consommation énergétique pour l'eau chaude sanitaire :

Il est difficile de connaître les valeurs exactes du volume et de la température de l'eau utilisée en une journée ou une semaine. Pour récolter cette information, on s'est rapproché aux usagers par des questionnaires, pour connaître le volume d'eau chaude utilisé par jour et par semaine, et la température d'utilisation de l'eau chaude. Après une comparaison entre les réponses des occupants et les valeurs officielles moyennes d'utilisation de l'eau chaude dans les bâtiments de bureaux, nous avons trouvé des valeurs proches (80 l à 40 °C/personne /semaine en moyenne).

15. Choix de l'outil de l'analyse environnementale :

L'approche par analyse de cycle de vie (ACV) est adoptée le plus souvent au niveau international pour répondre au problème de l'évaluation des impacts environnementaux. Il s'agit d'étudier un produit, depuis sa fabrication, en prenant en compte ses composants et donc en remontant aux ressources puisées dans l'environnement, jusqu'à sa fin de vie, y compris le traitement des déchets ultimes créés, en passant par toutes les étapes de son utilisation.

EQUER est un outil d'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments par analyse de cycle de vie, développé depuis 1995 à l'école des Mines de Paris, en lien avec l'éditeur du logiciel, IZUBA Energies. Cet outil a été complété pour traiter les quartiers, en intégrant plusieurs types de bâtiments, des espaces publics (voiries, espaces verts...) et des réseaux (eau, chauffage urbain etc.).

Cet ensemble logiciel constitue l'outil Nova-Equer, ayant pour but d'aider les acteurs à mieux cerner les conséquences de leurs choix. Ce logiciel est chaîné aux outils de la simulation thermique dynamique STD (Comfie- Pléaides) définissant tous les besoins énergétiques du bâtiment. Ainsi, Nova-Equer permet d'évaluer tous les impacts environnementaux de ce dernier.

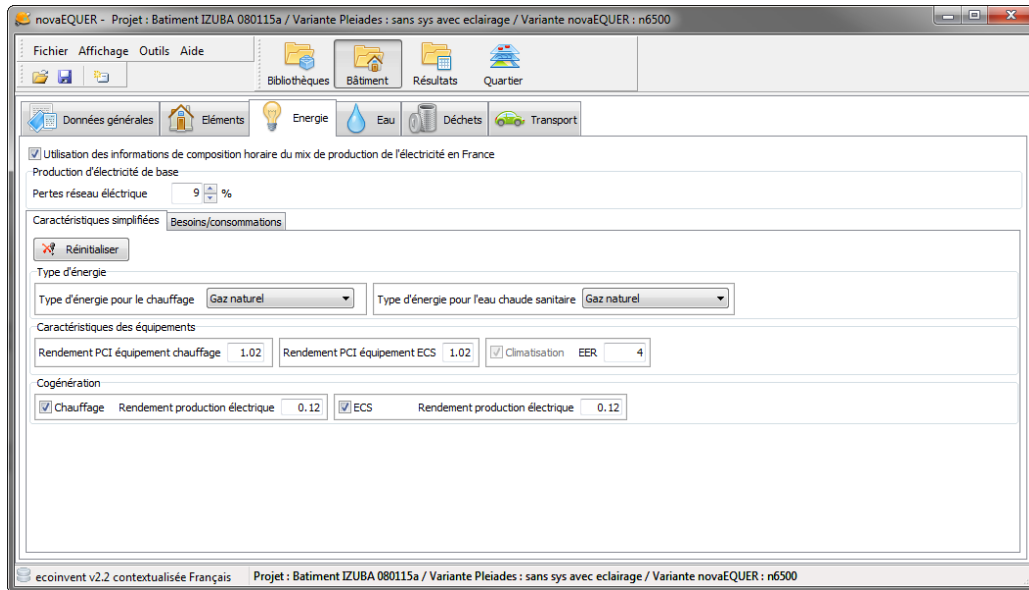


Figure 6.28 : Nova Equer, l'outil de l'analyse environnementale. Source: Izuba Energies, 2017.

16. Validation de notre méthodologie :

La validation est définie comme étant une procédure permettant de s'assurer de l'exactitude théorique et physique des méthodes de calcul et des procédures mathématiques et numériques de résolution.

Pour effectuer une simulation thermique dynamique sur un cas d'étude, plusieurs paramètres externes sont à préciser (géométrie du bâtiment, système de construction, matériaux de construction et leurs caractéristiques thermiques, comportement des usagers, descriptif des équipements, conditions climatiques, etc.). Ces paramètres sont connus grâce aux démarches suivies dans notre recherche (visites sur site, recherche des types de matériaux de construction, données climatiques, etc.). La précision des données d'entrée a donc un grand effet sur la précision des résultats.

D'après ce résultat d'analyse, nous pouvons adopter comme une base de calcul pour notre étude la méthode et les conceptions de base (systèmes de construction, scénarios, etc.) de la simulation thermique dynamique sur le logiciel Comfie-Pleiades.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons proposé une description métrologique détaillée de notre bâtiment a été le sujet de la première étape, avec pour but de construire une base de données utile afin d'établir un modèle complet de notre cas d'étude. Cette base contient plusieurs informations : la géométrie, les matériaux et les systèmes de construction avec leurs caractéristiques thermo-physiques, les systèmes et les appareils électriques et électroniques, avec les différents scénarios des usagers et de leur comportement à l'intérieur des différents espaces de ce bâtiment.

La deuxième étape a eu pour objectif de présenter la méthode de simulation thermique dynamique. Par la suite, nous avons choisi un outil informatique (Comfie-Pleiades) pour effectuer le calcul. Les résultats des calculs STD, en matière de variations de température dans plusieurs zones thermiques de notre bâtiment étudié, et de consommations énergétiques en premier pour les systèmes de climatisation et de chauffage, et en second pour la ventilation et l'eau chaude sanitaire ECS.

Ceci avait pour objectif de valider notre travail en adoptant la simulation thermique dynamique comme une méthode de calcul de notre procédé énergétique et vérification de l'efficacité thermique du bâtiment, dans une première phase.

Ainsi, d'arriver à valider la méthode de l'analyse environnementale, par une approche d'analyse de cycle de vie ACV du bâtiment, dont l'objectif est de minimiser les émissions, et de réduire les impacts environnementaux engendrés par les consommations énergétiques durant tout le long du cycle de vie du bâtiment.

Chapitre VII :

Simulations, Outils & Protocoles.

Introduction:

L'analyse de cycle de vie développée dans cette recherche prend dans son ensemble les bâtiments publics à caractère administratifs.

Notre travail s'appuie sur les bâtiments de bureaux dans les zones arides à climat chaud et sec afin d'évaluer leur performances thermiques, de les optimiser d'un coté, et d'étudier les diverses alternatives et stratégies à introduire pour minimiser les impacts environnementaux du bâtiment le long de son cycle de vie, tout en respectant le niveau de confort et la qualité d'espace conçu et réalisé.

Nous introduisons ici les spécificités de ce type de bâtiment tertiaire, et de son contexte climatique très spécifique.

Un bâtiment de bureaux est destiné essentiellement à l'accueil et au service des usagers. Il doit donc offrir les conditions favorables à l'accueil, et au travail du personnel présent le long des journées ouvrables de chaque semaine et durant tout le cycle de vie de ce bâtiment.

Définir les indicateurs de performance d'un bâtiment veut dire avoir bien répertorié les fonctions que le bâtiment doit remplir pour les usagers. Nous nous sommes donc penchés en priorité sur les besoins et le confort des usagers (employés) dans leurs bureaux.

L'organisation spatio-temporelle est importante, elle doit répondre aux besoins spécifiques des employés (administratifs et techniques) et des usagers de ce bâtiment tertiaire : en l'occurrence, le siège de l'agence foncière de la wilaya de Biskra.

La plupart de ces besoins seront traduits par les indicateurs de qualité de vie et de confort d'usage (visuel, thermique, qualité de l'air,...) pour les occupants des espaces de ce bâtiment.

Les logiciels choisis pour la simulation énergétique et le calcul de l'empreinte environnementale sont basés sur des modèles simplifiés pour faciliter leur utilisation par les professionnels de bâtiment, ou les scientifiques qui s'intéressent aux bâtiments écologiques.

L'étude va prendre aussi d'autres aspects d'analyse dont l'empreinte environnementale est tributaire de celle énergétique, vu que les performances des bâtiments par rapport à l'environnement sont activées par la diminution des consommations énergétiques et l'épuisement des ressources naturelles ainsi l'intégration de l'utilisation des énergies renouvelables pour un mix énergétique et éliminations des impacts environnementaux.

1. Spécificités des bâtiments Tertiaires dans la ville de Biskra:

Il est logique de commencer par identifier tous les paramètres spécifiques aux bâtiments tertiaires nécessaires à l'analyse énergétique par l'usage de la Simulation Thermique Dynamique STD, et de l'analyse environnementale par approche de cycle de vie. Nous allons commencer par effectuer une présentation des spécificités du site, puis nous présenterons les bâtiments tertiaires dans la ville de Biskra.

En ce qui concerne les données climatiques, nous utilisons les données climatiques de Biskra, obtenues de l'agence Météonorm. Pour les données d'occupation et d'usage, nous établissons des scénarios cohérents avec notre site à partir de la réglementation et le fonctionnement des bureaux et des services administratifs en Algérie (Organigramme, organisation et horaire décrétés par arrêté de la fonction publique).

Le bâtiment à modéliser, a été choisi, dans le cadre de cette recherche, tant en termes de conception architecturale, de techniques constructives, et systèmes énergétiques, et des divers usages, ainsi que les spécificités des conditions climatiques de la ville de Biskra (§chap. V).

Le bâtiment est représentatif d'une grande part des bâtiments tertiaires à usage de bureaux situés dans les régions à climat chaud et sec.

En ce sens, l'étude vise à développer une aide à la décision pour l'efficacité thermique, l'optimisation énergétique ainsi que la réduction de l'empreinte environnementale des bâtiments de bureaux dans ce contexte des régions semi arides.

1.1. Les données climatiques :

Nous avons obtenu les données climatiques de la station de Biskra (Algérie) auprès de l'agence Météonorm (version 7.1.0.0, 2016) sous deux formats, PDF et TRY.

La constitution de ces données a été effectuée sur la base de fichiers annuels sur la période d'une dizaine d'année pour la température, et de quinze années pour les valeurs du rayonnement solaire (direct et diffus).

Les données climatiques contiennent toutes les variables nécessaires sur un pas de temps horaire pour effectuer les calculs de simulation thermique dynamique STD :

- a. La température ambiante.
- b. L'humidité relative ambiante.
- c. Les rayonnements solaires : permettent de calculer les apports de chaleur pour le bâtiment, ainsi que l'efficacité des capteurs solaires thermiques ou photovoltaïques, de façon à permettre les calculs pour toute orientation et inclinaison et pour la prise en compte des effets de masque.

- d. Le rayonnement lumineux : utilisé pour calculer l'éclairement naturel dans les bureaux, qui est décrit sous la même forme que le rayonnement solaire.
- e. Le rayonnement froid vers la voûte céleste.
- f. La vitesse du vent.
- g. La température de l'eau froide du réseau.

1.1.1. Analyse des données météorologiques :

En période estivale, les besoins en rafraîchissement sont liés principalement aux apports solaires et aux gains internes, tandis que les besoins en chauffage sont liés aux écarts de température entre l'intérieur et l'extérieur en période hivernale. Il est important d'analyser les paramètres météorologiques, qui ont une influence directe sur les besoins énergétiques. Les données météorologiques du site (§ chap. V) montrent que la température maximale peut atteindre 49 °C (et même dépasser cette température pour une heure dans l'année) avec un taux d'humidité relative moyenne de 27 %, et une température moyenne minimale qui peut être de 2 °C, mais, la température minimale peut atteindre des températures inférieures à 0 °C (station météo de Biskra).

L'hiver est froid, avec une température minimale moyenne de 4 °C. Le rayonnement solaire est de l'ordre de 2444Wh/m²/jour avec une durée de 151h/mois (le mois où le ciel est couvert, une fraction d'insolation de 47%), avec une durée d'ensoleillement de 2 895 h/an. (Atlas solaire d'Algérie, 1994).

Une analyse approfondie de ces données météorologiques est nécessaire pour définir aux concepteurs les éléments architecturaux et techniques qui permettent un bon comportement des bâtiments par rapport à son environnement et son contexte.

À partir de ces valeurs, nous pouvons calculer les valeurs des degrés-heures du chauffage pour les températures extérieures inférieures à 19 °C, et les valeurs des degrés-heures du rafraîchissement pour les températures extérieures supérieures à 26 °C. Il faut souligner que le nombre d'heures présentant une température entre 19 et 26 °C correspond à la période de confort sans chauffage ni climatisation, elle est de 3 320 h pour le site (Biskra).

Si la température extérieure représente un indicateur important pour le besoin en chauffage et en rafraîchissement, l'irradiation solaire joue également un rôle très important pour évaluer la température intérieure.

La ville de Biskra présente un niveau d'irradiation solaire très important, ce qui traduit un besoin en rafraîchissement plus important pour les bâtiments situés dans cette ville.

1.2. Les scénarios d'usage conventionnels :

Il faut souligner que les scénarios d'usage conditionnent les consommations énergétiques des bâtiments. Ils sont choisis de façon conventionnelle selon la réglementation thermique RT2012, et sont supposés représenter un scénario d'occupation moyen des bâtiments tertiaires. Ces données sont décrites sous la forme de scénarios temporels horaires représentant les usages et compartiments moyens des usagers d'un bâtiment. L'unité de base est la semaine, avec des modifications liées aux jours de congé, week-end et fin de semaine. Afin d'approcher la réalité d'usage dans les bâtiments de bureaux dans la ville de Biskra, nous allons chercher des scénarios conventionnels réalistes concernant notre bâtiment cas d'étude, avec pour but d'établir un modèle complet pour la simulation thermique dynamique STD, et aussi de l'étude de l'empreinte environnementale par le biais d'une analyse de cycle de vie ACV du bâtiment dans la deuxième étape de cette recherche.

Six paramètres d'usage seront ainsi décrits par des scénarios qui différencieront selon les saisons, les horaires et le climat :

1.2.1. Consigne de température :

Il s'agit de la température de chauffage ou de climatisation souhaitée par les usagers pour leur confort dans ces bâtiments tertiaires, sachant que la température de confort est comprise entre 19 °C et 26°C et qui sont liées à l'endroit d'occupation.

Pour effectuer le calcul de simulation thermique dynamique STD, pour une année complète, deux scénarios de consigne de température sont à mettre en place :

- a. un scénario hebdomadaire.
- b. un autre scénario annuel.

1.2.1.1. Scénario hebdomadaire :

En ce qui concerne le scénario hebdomadaire, nous envisageons deux consignes de température durant une même journée en hiver et d'autres en été pour les mêmes zones définies dans l'espace considéré.

Afin de simplifier le processus de modélisation, nous avons choisi les scénarios les plus exigeants pour tout le bâtiment sans différencier les espaces bureaux.

Deux scénarios hebdomadaires sont envisagés, l'un pour un jour d'hiver, pendant lequel l'espace bureau est donc chauffé de 07 heures du matin jusqu'à 17.00 heures de l'après-midi et l'autre pour un jour d'été où le bureau est climatisé de 07 heures du matin jusqu'à 17.00 heures de l'après-midi.

1.2.1.2. Scénario annuel :

Les deux scénarios des consignes de température en été et en hiver sont répartis dans l'année selon la saison et sa météo. Ainsi, nous déterminons un scénario annuel de consigne de température.

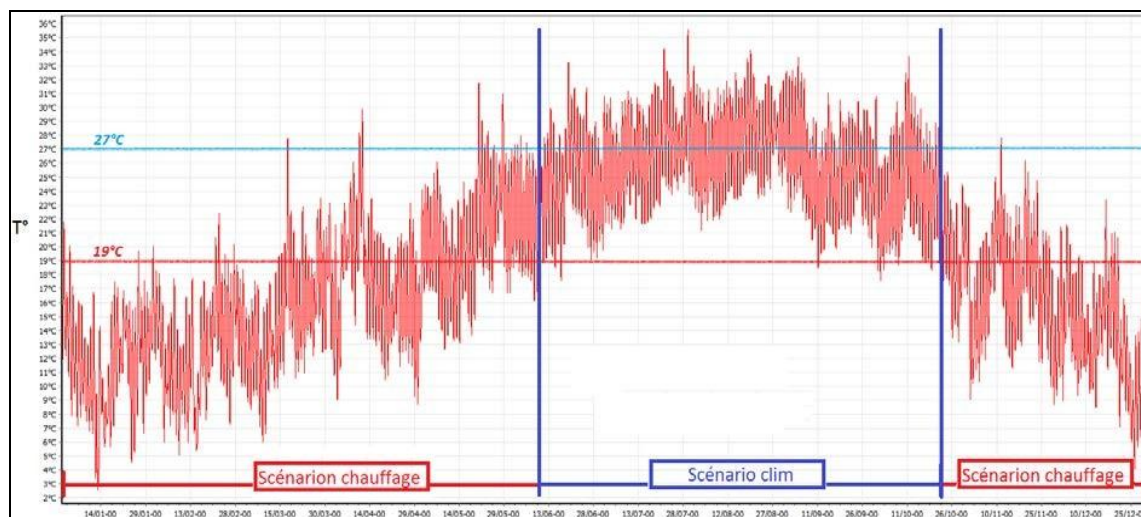


Figure 7.1 : Scénarios de Chauffage et de Climatisation. Source : Auteur 2017.

Selon les données météorologiques de la ville de Biskra climatiques montrent la nécessité d'appliquer un scénario de climatisation entre les semaines 23 à 42, et un scénario de chauffage entre les semaines 48 à 52 et 01 à 13.

Ainsi on remarque tout de suite que les semaines de 14 à 22 et 43 à 47 ne nécessitent ni chauffage ni la climatisation (période de transition, Printemps ou Automne).

Du fait des contraintes du logiciel retenu, la définition des périodes de climatisation et de chauffage se fait sans ajout de périodes de transition « intermédiaires » (sans chauffage ni climatisation). Par contre, ce logiciel de simulation 'Pleiade-Comfie' implique que le démarrage / l'arrêt de la climatisation ou du chauffage est complètement conditionnée par la température intérieure de l'espace considéré, et que les consommations énergétiques de chauffage et de climatisation interviennent lorsque les deux conditions sont respectées.

1.2.2. Taux d'occupation :

Définir ce scénario, permet de prendre en compte les apports internes de chaleur et d'humidité liés à la présence humaine dans l'espace bureau considéré.

De la même manière que pour le scénario de consigne de température, nous choisissons le scénario le plus exigeant pour tout le bâtiment étudié sans différencier les espaces bureaux.

1.2.3. Puissance dissipée par les appareils électriques :

La puissance dissipée par les équipements électriques et les appareils électroniques représente la chaleur dégagée par l'ensemble de ces derniers équipements (électronique,

ordinateur, imprimante, photocopieur,...) qui a un impact important sur les besoins énergétiques en chaleur et en refroidissement.

Les apports internes suscités dépendent du taux d'équipement du bâtiment étudié.

Cette méthode de calcul distingue les apports internes de chaleur liés aux équipements en fonctionnement permanent et ceux liés aux équipements qui fonctionnent uniquement lors des périodes de présence des occupants ou usagers (Méthode de calcul Th-BCE 2012).

Nature des Équipements	Apport interne de chaleur en kWh / (m ² .an)
Appareils de Cuisson	3,7
Appareils d'Audiovisuels	6,8
Appareils d'Informatiques	5,0
Appareils de Lavages	0,6
Appareils de Froids (fonctionnement continu)	8,0
Appareils électroniques (électro-ménagers,...)	2,2

Tableau 7.1 : Puissances dissipées des appareils électriques. Source : Auteur, 2017.

1.2.4. Taux de ventilation :

Nous retenons, pour ce scénario, une valeur de 1vol/h (§chap. V) pour une ventilation naturelle avec des fenêtres ouvertes et fermées selon la localisation, les infiltrations d'air, et en tenant compte de l'état d'étanchéité moyenne du bâtiment (perméabilité du bâtiment).

Mais, conscient que cette valeur peut varier d'un bureau à un autre, et même d'une période à une autre, (la ventilation est fonction de l'espace, de son usage et du temps), nous prenons en compte plusieurs valeurs de ventilation pour évaluer l'importance de ce paramètre sur la consommation énergétique.

1.2.5. Niveau d'éclairage :

Le scénario d'éclairage conventionnel est fixé à 1,4 W/m² selon la réglementation thermique RT2012. Le calcul de l'éclairage, dans cette méthode, est conventionnellement basé sur les points suivants :

- a. Caractéristiques fixes, quel que soit l'équipement d'éclairage artificiel.
- b. Seul l'éclairage naturel a une influence sur la consommation d'éclairage.
- c. Exigence minimale : les baies représentent 1/6e de la surface utile ou habitable.

Pour ces raisons, nous allons adapter le scénario d'éclairage conventionnel de la RT2012 dans les bâtiments tertiaires (§chap. V), à usage de bureaux, en prenant en compte toutes

ses exigences. Ainsi, l'éclairage souhaité est donc de **500 lux** pour un plan de travail dans l'espace bureau, soit à une hauteur du sol comprise entre **0,70** et **0,80 m**.

Pour évaluer l'éclairage, le logiciel Comfie-Pleiades, débute par calculer l'éclairage naturel selon les données météorologiques et selon les heures de présence humaine dans chaque zone de travail ou espace bureau, puis calcule les besoins et la puissance des éclairages artificiels selon l'éclairage souhaité pour les usagers de ce bureau.

1.2.6. Les besoins en eau chaude sanitaire :

Le besoin hebdomadaire en eau chaude sanitaire est réparti en profils horaires et exprimé en litres d'eau à 40 °C, ce qui correspond à la température moyenne d'utilisation finale.

Pour les bâtiments de bureaux, ces besoins sont calculés en fonction de la densité d'occupation conventionnelle (besoin très inférieur par rapport aux bâtiments résidentiels).

Pour les bâtiments de bureaux deux valeurs par défaut peuvent être utilisées, de 30 litres par personne et par jour, ou 1,75 litres par m² de surface habitable du bureau (§chapV).

2. Les scénarios d'usage du bâtiment:

Ces scénarios décrivent l'utilisation du bâtiment, ils s'appliquent tous les jours de l'année.

Avant de procéder à l'analyse thermique du bâtiment, on procède par définir les différents scénarios pour l'usage de ce dernier et son comportement par rapport à son environnement naturel et bâti.

Ces différents scénarios se présentent comme suit :

2.1. Scénario d'occupation:

Dans chaque bureau du «Bâtiment Siège de l'Agence Foncière de la Wilaya de Biskra », sont présents un nombre d'utilisateurs selon la répartition des tâches et des responsabilités administratives selon une hiérarchie dictée par l'organigramme fonctionnel.

Pour le scénario d'occupation, les personnes sont considérées comme toutes présentes avec un taux de 100% durant les journées ouvrables (du dimanche à jeudi) et pendant les horaires de bureaux soit de 08.00h du matin, à 17.00h de l'après midi, et dont chaque personne diffuse en moyenne une puissance de 80W.

Le scénario d'occupation considère (en prenant un dégagement de chaleur sensible de 80W par personne) : une présence de 02 à 04 personnes qui sont présente par bureau, les journées ouvrables de 08 heures à 17 heures (selon les dimensions des bureaux).

2.2. Scénario de la puissance dissipée:

Ce scénario représente tous les gains de chaleur à l'intérieur des espaces bureaux et qui permettent de définir la puissance des équipements qui libèrent de la chaleur tels que : lampes, ampoules, ordinateurs, scanners, imprimantes, photocopieurs, et autres

2.2.1 Scénario d'occultations :

Pour les bâtiments situés dans les zones arides à climat chaud et sec, l'occultation prend les valeurs de 80% des vitrages le jour en été, et de 100% la nuit en hivers. Et comme notre bâtiment est un bâtiment à caractère de bureaux, il n'est utilisé que durant les horaires de bureau, et il est occupé seulement pendant les journées.

2.3. Scénario saisonniers:

Les saisons prises en considération sont de l'ordre de trois, 03, soit une saison estivale, une deuxième pour l'hiver, et la troisième concerne les périodes de transition (Printemps, et Automne) où on n'aura pas besoin ni de chauffage ni de climatisation, mais juste de ventilation pour un renouvellement de l'air à l'intérieur des bureaux.

2.3.1. Consigne de température :

Pour le confort de l'utilisateur dans ce bâtiment de bureaux, une consigne de température de 20°C constante à l'intérieur est à envisager pour toutes les journées et les saisons de l'année.

Deux types de scénarios ont été envisagés, selon la période de l'année :

Il s'agit de la température de chauffage (en hiver), ou de climatisation (en été), souhaitée par les usagers pour leur confort, sachant que la température de confort est comprise entre 19 °C et 26°C et qui sont liées à l'espace d'occupation.

Pour effectuer le calcul de simulation thermique dynamique STD, pour une année complète, deux scénarios de consigne de température sont à mettre en place :

1. Un scénario hebdomadaire
2. Un autre scénario annuel.

2.3.1.1. Scénario hebdomadaire :

En ce qui concerne le scénario hebdomadaire, nous envisageons deux consignes de température durant une même journée en hiver et d'autres en été pour les zones définies dans l'espace considéré. Afin de simplifier le processus de modélisation, nous avons choisi les scénarios les plus exigeants pour tout le bâtiment sans différencier les espaces bureaux.

Nous présentons deux scénarios hebdomadaires, l'un pour un jour d'hiver, pendant lequel l'espace bureau est donc chauffé de 07 heures du matin jusqu'à 17.00 heures de l'après-midi et l'autre pour un jour d'été est climatisé de 07 heures du matin jusqu'à 17.00 heures de l'après-midi.

2.3.1.2. Scénario annuel :

Les deux scénarios des consignes de température en été et en hiver sont répartis dans l'année selon la période de l'année et selon la météo. Ainsi, nous déterminons un scénario annuel de consigne de température. Selon les données météorologiques de la ville de Biskra climatiques

montrent la nécessité d'appliquer un scénario de climatisation entre les semaines 23 à 42, et un scénario de chauffage entre les semaines 01 à 13 et 48 à 52.

Le reste des semaines de 14 à 22 et de 43 à 47 restent sans chauffage ni climatisation.

2.3.1.3 Scénario de rafraîchissement (Eté) :

A Biskra, la période chaude dépasse les cinq mois de l'année. Le climatiseur est mis en marche depuis le mois de Mai et jusqu'au mois d'Octobre et dans tous les bâtiments de bureaux ou bâtiments résidentiels (entre les semaines 23 à 42). La température de consigne de la climatisation est de 26°C (la plage de confort située entre 19° et 26°C).

Et donc, le scénario de climatisation dans notre cas d'étude est de 26°C, de 08.00h du matin jusqu'à l'arrêt du système de climatisation après 17.00h et durant toute la nuit, jusqu'à la reprise du travail le lendemain. Il s'agit d'une climatisation du type VRV, split-système individuel, et chaque bureau est indépendamment équipé.

2.3.1.4 Scénario de chauffage (Hiver):

En hiver, durant la période d'occupation des bureaux la température est fixée à 20°C, (pendant les semaines 48 à 52 et de la semaine 01 à 13), tandis que en dehors de ses heures, (période de coupure de chauffage) une température de consigne de -20°C est mise pour que le logiciel puisse arrêter le processus de chauffage de l'espace considéré et d'éviter les températures de surchauffe.

2.4 Scénario de ventilation:

La ventilation suit un scénario optimisé, qui différencie trois approches :

- a. Une configuration été avec sur ventilation.
- b. Une configuration hiver avec double flux.
- c. Une configuration mi-saison sans double flux.

Tous les bureaux, salle de réunion, hall, réception, sont aérés par le biais d'une ventilation naturelle, normale de 0,9V/h. En ce qui concerne la période de l'été, une sur-ventilation est recommandée pour l'ensemble des espaces de ce bâtiment de 0,6V/h.

Nous retenons, pour ce scénario, une valeur de 1 vol/h pour une ventilation naturelle avec des fenêtres ouvertes et fermées selon la localisation, des infiltrations d'air, et en tenant compte de l'état d'étanchéité moyenne de l'enveloppe de notre bâtiment.

3. La modélisation du bâtiment :

Avant de procéder à la modélisation de notre bâtiment cas d'étude, il est nécessaire de cerner l'environnement réglementaire thermique des bâtiments situés dans les zones arides et selon les méthodes appliquées de structuration des systèmes pour l'évaluation du chauffage et du rafraîchissement, de ventilation et de l'éclairage des espaces du bâtiment.

3.1 Le bâtiment selon la Réglementation Thermique 2012 :

Pour faciliter le calcul, le bâtiment, selon la méthode Th-B-C-E 2012, est structuré, et découpé en plusieurs zones, groupes et locaux.

Cette méthode a pour objet le calcul réglementaire des coefficients B_{bio} , C_{ep} et T_{ic} .

La figure 6.3 présente la structure du bâtiment en termes d'algorithmes :

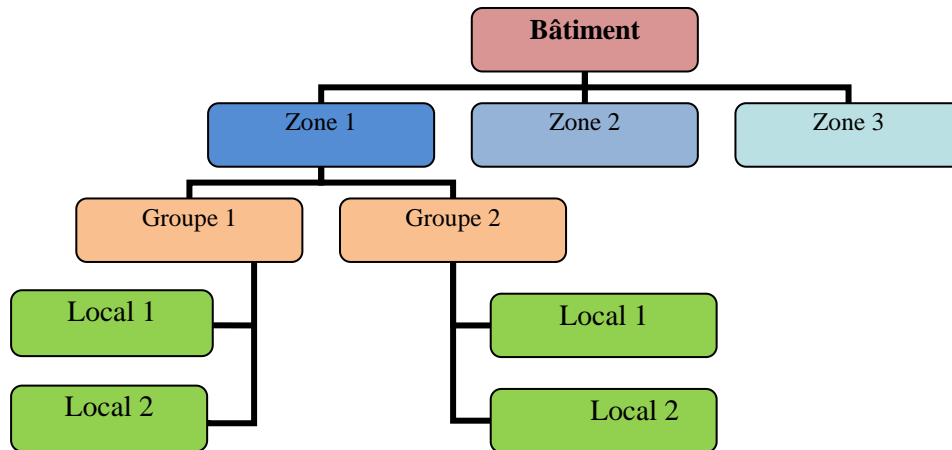


Figure 7.2: Structure du bâtiment selon la méthode TH-BCE 2012. Source: RT2012.

3.1.1. Le niveau « Bâtiment » :

A ce niveau du bâtiment, les exigences réglementaires sont exprimés en matière de coefficient B_{bio} et C . Les éléments communs à tout le bâtiment sont définis à ce niveau (par exemple la situation géographique ou l'altitude).

3.1.2. Le niveau « Zone » :

Ce niveau correspond à un regroupement des parties du bâtiment pour lesquels les scénarios d'utilisation sont identiques. L'impact des défauts d'étanchéité est donc calculé à la frontière d'une zone. À ce niveau, seront définies les possibilités de ventilation traversant, ou entre niveaux, relativement à l'impact des défauts d'étanchéité.

3.1.3. Le niveau « Groupe » :

C'est en particulier à ce niveau que s'effectue le calcul des températures intérieures (et donc la vérification des exigences réglementaires) ainsi que des besoins de chauffage, de refroidissement et d'éclairage. L'éclairage intérieur est calculé au niveau du groupe après distinction entre parties ayant ou non accès à l'éclairage naturel (RT, 2012).

Structurer le bâtiment sous forme de groupes par rapport à ces échanges est la suivante :

- a. Une zone peut comporter un ou plusieurs groupes dits « standard »,
- b. Une zone peut comporter 0 ou 1 groupe dit de « circulation ».

3.1.4. Le niveau « Local » :

Il permet d'affiner les apports internes de chaleur et d'humidité, pris en compte ensuite au niveau du **groupe**. Les surfaces de locaux sont donc définies par usage, dans la zone étudiée. La structuration du bâtiment avec ses quatre niveaux (bâti, zone, groupe et local), par rapport aux comportements thermiques des divisions du bâtiment, se référant aux exigences réglementaires, aux données météorologiques, géographiques, et les scénarios d'usages, vient pour permettre d'effectuer les calculs des besoins et consommations énergétiques.

3.2. La structure des systèmes :

La méthode de calcul distingue les systèmes correspondant à l'usage de chauffage, de refroidissement, la ventilation, l'ECS, l'éclairage et la production d'énergie.

Aussi, elle distingue les niveaux suivants :

- a. L'émission correspondant à la satisfaction du besoin de l'utilisateur : chaleur, froid, débits soufflés et/ou extraits, lumière artificielle, eau chaude sanitaire.
- b. La génération correspond à l'alimentation énergétique des réseaux de distribution.

Notre choix de systèmes de production sera basé sur la réalité de terrain, et par rapport à la disponibilité sur le marché national de ces équipements pour les systèmes considérés.

3.2.1. Les systèmes de chauffage :

Vu la situation et le climat de la région de notre cas d'étude, le chauffage centralisé n'est pas remarqué (non installé) dans les bâtiments situés dans la ville de Biskra. Les systèmes de chauffage les plus utilisés sont de type individuel: des radiateurs électriques, ou encore les plus répandus les chauffages à gaz pour la production de chaleur durant l'hiver (période très courte).

3.2.2. Les systèmes de climatisation :

Le système de climatisation le plus utilisée en Algérie est de type VRV (volume réfrigérant variable), ou DRV (débit réfrigérant variable). Il est adopté dans notre étude par le biais d'une pompe à chaleur air-air non réversible, dont un module est installé à l'extérieur du bâtiment, un réseau fluide véhiculant le fluide frigorigène et une unité terminale intérieure équipée de ventilateur et d'un échangeur à 2 tubes. La puissance de chaque unité de climatisation est adaptée selon le volume de l'espace concerné pour le refroidissement.

L'application de solutions alternatives comme la climatisation centralisée de type VRV est absente en Algérie du fait du surcoût lié à ce type d'installation et de ces contraintes dont la mise en œuvre, et surtout du service d'après vente, d'entretien et de la maintenance.

3.2.3. Les systèmes de ventilation :

Le système le plus utilisé et adopté dans toutes les constructions (tertiaires ou résidentielles) dans la ville de Biskra, est basé sur la ventilation naturelle assurée par l'ouverture des fenêtres et des baies vitrées. Ainsi, c'est le système qui sera pris en compte dans cette étude.

3.2.4. Les systèmes d'eau chaude sanitaire ECS :

En ce qui concerne l'eau chaude sanitaire ECS, la majorité des bâtiments de bureaux ne sont pas raccordés à un tel réseau. Ainsi, pour produire l'ECS, des ballons d'eau chaude équipés de résistance électrique sont souvent installés au niveau des bâtiments, et dont le volume varie selon les usages. L'application d'une solution alternative comme le chauffe-eau solaire est envisageable dans notre cas, vu le gisement solaire que dispose la région de Biskra.

3.2.5. L'éclairage artificiel :

La consommation de l'éclairage artificiel est calculée en fonction de l'éclairement naturel, de la régulation des systèmes et de leur puissance. Les systèmes d'éclairage artificiel sont très variés, c'est la raison pour laquelle nous avons choisi d'adopter un scénario d'éclairage conventionnel avec la méthode de calcul selon la RT2012, qui ne considère que la puissance installée d'éclairage. Les besoins pour un bureau (dans les bâtiments tertiaires), en éclairage sont de l'ordre de 500 lux, pour que l'utilisateur soit dans les meilleures conditions d'exercice de toutes ses tâches administratives.

3.3. Évaluation de la Performance Énergétique dans les régions arides :

L'évaluation de la performance énergétique des bâtiments situés dans les régions arides, est un outil d'aide à la décision pour l'optimisation énergétique, l'efficacité thermique et l'empreinte environnementale du bâtiment tout le long de son cycle de vie.

3.3.1. Application des critères principaux :

Le calcul des températures intérieures et des besoins de chauffage, de refroidissement et d'éclairage sont effectués au niveau du groupe. Ces calculs sont réalisés au travers d'un modèle dynamique, au pas de temps horaire, fondé sur des simplifications de transfert de chaleur entre le milieu intérieur et extérieur. Les résultats d'analyse montrent la possibilité d'adopter quelques exigences de moyens, et d'en écarter d'autres.

Les exigences de moyens à adopter seront :

1. Opter pour une bonne étanchéité de l'enveloppe du bâtiment.
2. La fixation d'un ratio de vitrages et d'ouvertures.
3. Opter pour un double vitrage (ou même triple vitrage).
4. L'installation de solaire thermique pour couvrir le besoin en ECS.

3.4. Calcul des indicateurs de performances énergétiques:

Le modèle de simulation thermique dynamique STD utilise comme base (Comfie-Pleiades) développé par le centre CSTB (centre scientifique techniques du bâtiment) et de l'école des Mines Tech de Paris(France). Il permet de calculer les besoins thermiques d'une configuration (ou de plusieurs alternatives) d'un même bâtiment, et d'arriver ainsi à évaluer les performances énergétiques de ce dernier. C'est un outil d'aide à la décision pour l'optimisation énergétique du bâtiment tout le long de son cycle de vie.

La modélisation du bâtiment intègre trois aspects :

1. le site.
2. le bâti (géométrie, architecture, structure, enveloppe, matériaux, etc..).
3. l'utilisation du bâtiment (équipements actifs, occupation, ventilation, protections solaires, etc..).

3.4.1. Le site :

Le site est représenté par des données climatiques horaires (température de l'air extérieur, rayonnement solaire global horizontal, rayonnements solaires diffus horizontal et direct normal) sur une année typique.

En pratique ces données sont issues de la station météorologique la plus proche du site (station météo de Biskra). Les masques éventuels et la hauteur de l'horizon sont pris en compte.

3.4.2.Le bâti :

Toute construction est représentée par son architecture, ses formes, sa volumétrie, son orientation, ses dimensions. Le système structurel et les éléments constructifs sont aussi détaillés, ainsi que l'enveloppe de ce bâtiment avec un descriptif détaillé des éléments composants.

3.4.2.1 La géométrie du bâtiment :

« *Concevoir avec le climat* » est une directive à prendre en considération par les acteurs du processus de la production architecturale de leurs bâtiments, dont l'objectif est de rechercher pour leur bâtiment : le vent, le soleil, l'ombre et la lumière.

Ainsi, arriver à définir une géométrie adéquate du bâtiment en fonction de données du site et du climat. C'est déterminant pour la performance thermique du bâtiment, son efficacité énergétique et de son intégration environnementale, permettant ainsi la réduction de sa facture énergétique, une bonne gestion économique, et une maîtrise de l'empreinte environnementale (réduire les émissions et minimiser les impacts sur l'environnement).

Les paramètres indiquant le degré d'adaptabilité et d'efficacité de la géométrie du bâtiment :

1. Orientation du bâtiment : chercher la meilleure orientation afin de recevoir le maximum d'apport solaire, et de lumière, de profiter du vent, et de rechercher l'ombre.
2. Dimensions du bâtiment : maîtriser les surfaces d'exposition au soleil, et au vent.
3. Type de Volumétrie (volume compact, semi-compact ou bâtiment éclaté).
4. Répartition des espaces intérieurs : linéaire le long d'un dégagement ou autour d'un hall central, d'une cour, ou d'un patio.

Notre recherche se base sur l'étude d'un bâtiment de bureaux récemment réalisé, en l'occurrence, le bâtiment siège de l'agence foncière de la wilaya de Biskra. Sa géométrie étant définie (bâtiment existant, réalisé en 2014), ainsi que tous ses éléments (orientation et dimensions du bâtiment, volumétrie, répartition des espaces intérieures).

Par conséquent, l'étude prendra en considération cette seule configuration de la géométrie du bâtiment, sans pour autant proposer d'autres alternatives concernant la géométrie, l'orientation, la distribution, la hauteur du bâtiment et le nombre de niveaux (étages).

Les résultats de l'analyse énergétique et environnementale peuvent déterminer le degré d'adaptation d'une telle géométrie, et conclure à introduire des éléments de correction ou d'améliorations pour un bilan environnemental positif (bâtiment avec le moins d'impacts sur l'environnement), ou un bilan environnemental équilibré.

3.4.2.2. Enveloppe du bâtiment :

L'enveloppe du bâtiment est constituée de plusieurs éléments associés, l'étude portera sur :

1. Murs extérieurs et leurs matériaux composants.
2. Matériaux isolants et leurs techniques d'isolation.
3. Revêtement et peinture des murs extérieurs.
4. Baies vitrées, et ouvertures (simple, double ou triple vitrage).
5. Le type de vitrage utilisé et l'isolation des baies vitrées (vitrage à faible émissivité VFE, ou à isolation renforcée VIR).
6. Protections solaires : masques architecturaux intégrés à l'enveloppe, et stores.

Les données thermo-physiques de tous les éléments de l'enveloppe du bâtiment sont donc définies et insérés comme paramètres de calcul.

3.4.2.2.1. Description du bâtiment :

L'étude menée ici se base sur un bâtiment à double mur, celui du siège de l'agence foncière de la wilaya de Biskra, situé dans la zone Sud ouest de la ville de Biskra.

Composé de trois niveaux, Rez de Chaussée et deux 02 étages, le bâtiment est construit sur une parcelle de 587.50m x 253.90m d'une forme trapézoïdale.

Le niveau bas du Rez de Chaussée s'appuie sur une dalle flottante en béton légèrement armée posée sur un hêrrissonage en pierres sèches de 30cm d'épaisseur.

Les planchers sont isolés par leur composition d'un plancher à corps creux (16+4) cm, ainsi que celui du plancher terrasse équipé d'une isolation sous l'étanchéité(en polystyrène expansé de 04 cm).

Concernant les systèmes constructifs utilisés dans ce bâtiment, le siège de l'agence foncière de Biskra, comme tout autre bâtiment similaire, présentent les caractéristiques suivantes:

- a. Système structurel : portique auto-stable, Poteaux-Poutres en béton armé, avec des fondations en semelles isolées (filantes, ou croisées), selon la nature géomorphologique du sol.
- b. Les planchers sont du type à corps creux (16+4 ou 20+5) avec nervures en béton armé coulées sur place ou préfabriquées.
- c. L'utilisation de la dalle pleine en béton armé d'une épaisseur de 14 cm est envisagée pour les éléments saillants, linteaux, ou paliers et cages d'escalier.
- d. Le plancher terrasse est aussi réalisé à corps creux (16+4 ou 20+5) avec des nervures en béton armé, et une isolation sur terrasse avec du polystyrène expansé de 4cm d'épaisseur placé sous une forme de pente en béton de 4cm pour assurer l'évacuation des eaux pluviales.
- e. Les murs extérieurs de l'enveloppe sont réalisés en double paroi de 30cm : paroi extérieure de 15cm / lame d'air de 05cm / paroi intérieure de 10cm.
- f. Les murs à l'intérieur sont réalisés en simple paroi en brique de terre cuite perforée d'épaisseur de 15 ou 10cm.
- g. Le revêtement des murs extérieurs est à base de mortier de ciment de forme lisse ou réalisé à la thyrolienne (teintée ou non).
- h. D'autres matériaux d'habillage peuvent être introduits dans les revêtements des murs extérieurs, tels que : céramique, marbre, mignonette, aluco-bandes, etc...

3.4.2.2.2. Répartitions des espaces du bâtiment :

La répartition des bureaux est autour d'un hall central qui assure la circulation horizontale et verticale aussi. Cette organisation est de type centrale avec des ailes du bâtiment du côté Est et Ouest. L'ouverture du hall et sa double hauteur permet d'avoir une continuité visuelle à l'intérieur du bâtiment. Cette configuration est la même à tous les niveaux du bâtiment, la seule réside dans les surfaces des bureaux et leurs occupations par le nombre de personnes.

3.4.2.3. Compositions des parois :

Avant d’entamer la simulation, il faut définir tous les paramètres de calcul concernant le choix des matériaux et de menuiserie. Les compositions des différentes parois et leurs propriétés sont récapitulés dans le tableau suivant :

Désignation Des Matériaux	Epaisseur (cm)	Conductivité Thermique λ (W/m.k)	Densité (kg/m ³)	Resistance Thermique R (m ² .k /W)	Chaleur Spécifique C(kj/kg.k)	Masse Volumique kg.m ³
Brique creuse pour mur extérieur	30-15-10	0.48	900	0.21 à 0.31	1080	900
Brique creuse pour mur intérieur	15-10	0.48	900	0.21 à 0.31	1080	900
Enduit en plâtre	02	0.35	1150	0.06	936	300
Enduit au mortier de ciment	02	1.4	2200	0.021	1080	1900
Lame d’air	05 ou plus	0.047	1	0.07	1000	1
Hourdis, ou Corps creux en terre cuite	16 ou 20	1.2	1300	0.13	648	1300
Dalle de compression en Béton	04 ou 05	1.75	2500	0.02	1000	1000

Tableau7.2 : Caractéristiques des matériaux utilisés.

Source : Auteur, 2017.

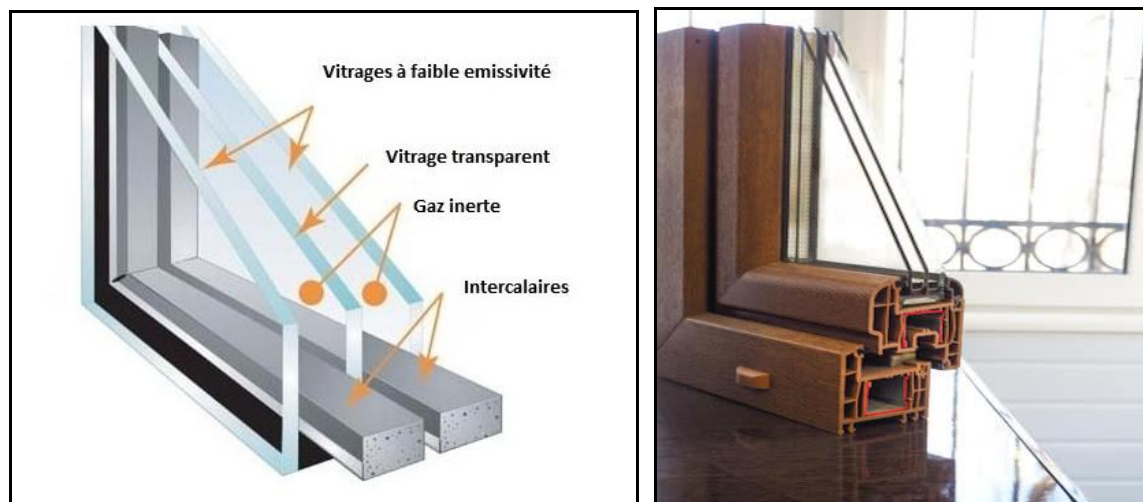


Figure7.3 : Détails des double et triple vitrages.

Source : UCL, Architecture &climat.

Type de Vitrage	U (W/m ² K)	g (combinaison)	π_v
Simple vitrage.	5.7	0.85	0.90
Double vitrage (4/15/4).	2.9	0.75	0.82
Double vitrage amélioré.	1.1	0.63	0.80
Double vitrage sélectif.	1.1	0.32	0.60
Triples vitrage.	0.6	0.49	0.70

Tableau 7.3 : Caractéristiques des vitrages utilisés.

Source : UCL, Architecture &climat.

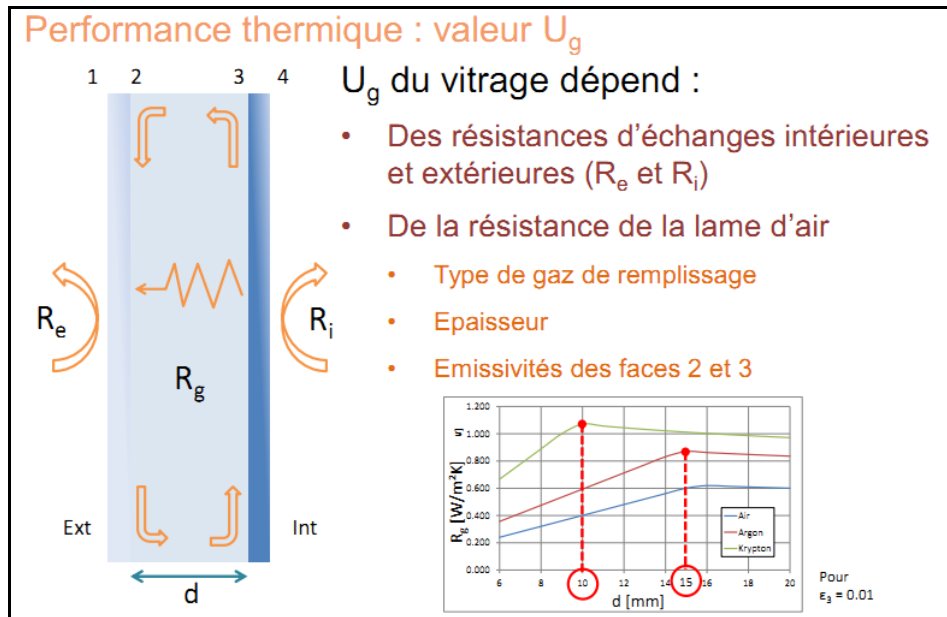


Figure 7.4: Performance thermique du vitrage.

Source : Csts.be

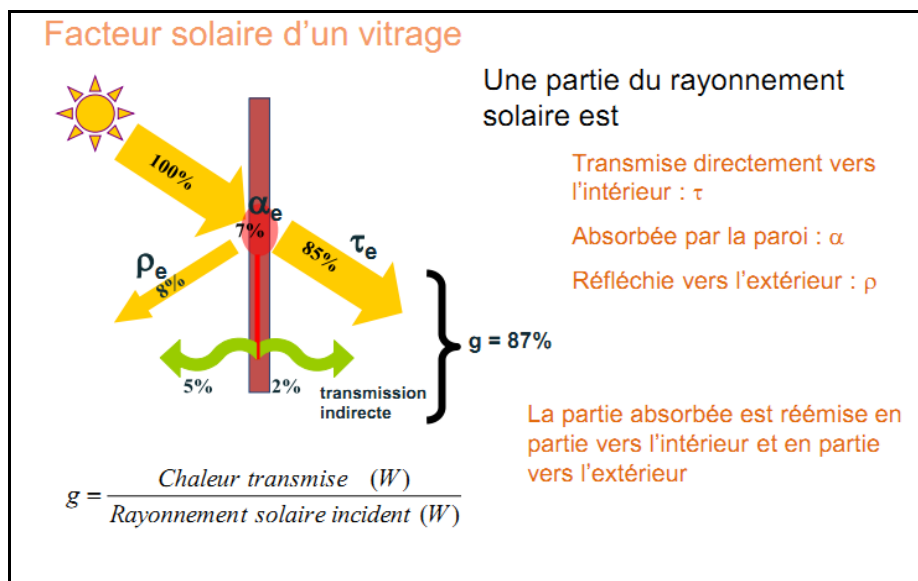


Figure 7.5: Facteur solaire du vitrage.

Source : Csts.be

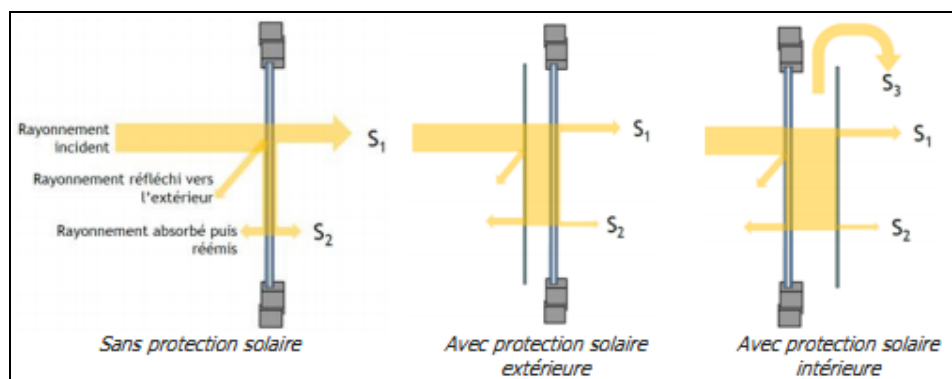


Figure 7.6: Décomposition du facteur solaire du vitrage.

Source : UCL, Architecture & climat.

Aussi, on considère que les facteurs d'émissivité pour les parois sont de 0,9 et que les facteurs d'absorption ont la valeur de 0,6.

La simulation se base sur un fichier météo spécifique au site d'implantation du bâtiment, à Biskra, et on considère un albédo alentour constant de 0,7.

3.4.2.4. Compositions des ouvertures :

Le bilan énergétique du bâtiment dépend du rapport (taux) du vitrage sur la façade et sur l'ouverture, du type de vitrage, ainsi que son système d'isolation. Et donc les baies vitrées jouent un rôle très important dans l'enveloppe du bâtiment.

Notre intervention sur les baies vitrées suit la même logique de simulation que pour les systèmes d'isolation.

Par rapport à ces baies vitrées, le premier constat réside dans le type de vitrage qui se présente en un simple vitrage présentant les caractéristiques (Tab.6.4).

Type de vitrage		Coefficient U (W/m ² K)	Transmission lumineuse TL %	Facteur solaire FS % (g)	Facteurs acoustiques			Aspect en réflexion
					Rw	Rw + C	Rw + Ctr	
Simple	clair (8 mm)	5,8	90	86	32	31	30	neutre
	clair	2,8	81	76	30	29	26	neutre
Double	clair + basse émissivité	1,6	70	55	30	29	26	neutre
	clair + absorbant	2,8	36 à 65	46 à 67	32	31	30	vert, bronze, bleu, rose,
	clair + réfléchissant	2,8	7 à 66	10 à 66	32	31	30	argenté, métallique doré, gris, vert, bleu,...
	clair + basse émissivité et à contrôle solaire	1,6	71	40	-	-	-	neutre
	clair + basse émissivité + gaz isolant	1 à 1,3	70	55	35	33	29	neutre
	clair + basse émissivité et à contrôle solaire + gaz isolant	1 à 1,3	71	40	-	-	-	neutre
	clair	1,9	74	68	-	-	-	neutre
Triple	clair + basse émissivité + gaz isolant	0,6-0,8	65-75	50-70	-	-	-	neutre
	clair + basse émissivité (int) + contrôle solaire (ext) gaz isolant	0,6-0,8	60-70	30-40	-	-	-	neutre

Tableau 7.4 : Caractéristiques des vitrages isolants.

Source : AFNOR, 2017.

Type de vitrage	Coefficient U (W/m ² K)	Facteur solaire FS %	Transmission lumineuse TL %	Facteurs acoustiques			Aspect en réflexion
				Rw	Rw + C	Rw + Ctr	
Sans couche basse émissivité							
Vitrage thermique disymétrique avec gaz (8/12argon/5)	2,65	70	78,5	38	36	32	neutre
Vitrage thermique feuilleté (6/15air/55.2 PVB)	2,7	69	76,5	41	38	34	neutre, vert, bleu
Vitrage thermique feuilleté (8/12air/44.2 PVB)	2,8	67	76,5	41	40	37	neutre, vert, bleu
Vitrage avec PVB amélioré (12/20air/44.2 PVBa)	2,66	63	74	44	43	40	neutre, vert, bleu
Vitrage avec résine coulée (44.1,5RC/20argon/55.1,5RC)				49	47	42	neutre, vert, bleu
Avec couche basse émissivité							
Vitrage thermique feuilleté (6/12air/44.1 PVBa)	1,6	35	68	38	37	33	neutre, vert, bleu
Vitrage thermique feuilleté (6/12argon/44.1 PVBa)	1,3	35	68	38	37	33	neutre, vert, bleu
Vitrage thermique feuilleté (10/12air/44.2 PVBa)	1,6	33	66	42	40	37	neutre, vert, bleu
Vitrage thermique feuilleté (10/12argon/44.2 PVBa)	1,3	33	66	42	40	37	neutre, vert, bleu

Tableau7.5 : Caractéristiques thermiques et acoustiques des vitrages.

Source : AFNOR, 2017.

1. L'analyse thermique sera réalisé en premier lieu sur cette situation initiale du bâtiment, et de quantifier tous les besoins d'énergie nécessaires et suffisantes pour le confort des usagers. Une analyse de cycle de vie ACV sera ensuite engagée pour évaluer tous les impacts environnementaux engendrés.
2. L'amélioration sur ces éléments consiste à intervenir sur la nature du vitrage tout en gardant leurs mêmes dimensions et formes. On propose donc un double vitrage avec les caractéristiques.
3. Pour avancer plus, dans la deuxième amélioration sur les baies vitrées consiste à intervenir sur la nature du vitrage, on propose d'intégrer une isolation (vitrage à faible émissivité VFE, ou à isolation renforcée VIR).
4. L'analyse consiste ensuite à comparer les différentes consommations énergétiques enregistrées par rapport aux alternatives et d'opter pour la plus performante.
5. Une étude de coût peut être engagée pour voir l'incidence financière pour ce même niveau de confort souhaité.

3.4.3. Autres éléments : protections solaires et masques intégrés:

Les dispositifs de protections solaires d'un bâtiment tertiaire sont d'une grande importance. Elles assurent une ouverture vers l'extérieur, d'avoir un bon éclairage naturel des bureaux, et de profiter d'une bonne visibilité et transparence sans pour autant influencer sur la qualité du confort des usagers. Elles sont généralement intégrées au bâtiment, et se présentent sous formes de brise soleil (horizontaux ou verticaux), masques architecturaux et stores.

Elles protègent ce dernier, et ses baies vitrées contre les effets inverses des rayons solaires, contre l'éblouissement, dus à des orientations moins favorables, ou à un surplus du taux d'ouverture pour les façades du bâtiment.

Le gain solaire sera comptabilisé dans l'évaluation thermique du bâtiment, ainsi que le profit pour un éclairage naturel et toutes les ambiances lumineuses souhaitées.

A cet effet, on commence tout d'abord par identifier tous les éléments servant de protections solaires pour le cas de notre bâtiment à modéliser. Il s'agit donc de :

- Protections Solaires
(Façades épaisses, jouant le rôle des brises soleils).



- Murs rideaux (Baies vitrées).....



- Moucharabiehs...

(Permettant de régler la lumière, et d'avoir des ambiances à l'intérieur)



La transparence qui présente des inconvénients pour les régions à climat chaud et sec.

Les ponts thermiques ont été considérés sur l'ensemble des façades, au niveau des fondations et du plafond à tous les niveaux du bâtiment. En l'absence de mesures et de connaissances sur les valeurs des coefficients de transmission thermique linéiques sont difficiles à évaluer

3.4.4. L'utilisation et fonctionnement du bâtiment :

Le siège de l'agence foncière de Biskra est un bâtiment administratif. En plus de son rôle de service, il a pour mission la gestion du foncier et du parc immobilier de la wilaya de Biskra.

Aussi, ses missions consistent à répertorier les assiettes de terrains à bâtir pour différents usages (résidentiels, tertiaires et même industriels, etc.), de planifier l'extension urbaine future de la ville par la proposition de lotissements, de cités résidentielles, de zones des parcs et d'équipements.

Une autre mission, est la promotion immobilière pour les logements et locaux à usage de bureaux ou de commerce.

Donc, l'organisation de cette administration comporte un service technique dont la mission est le suivi des études et des travaux de réalisation, le service commercial pour les opérations de vente de logements et de locaux, ainsi que le service de gestion, de comptabilité et finances, et du service contentieux.

Ces différents services sont organisés dans des espaces bureaux dont la taille et l'occupation différentes mais très similaires dans leur traitement architectural (aménagement et façades).

4. Performances énergétiques des bâtiments:

Suite à la crise du pétrole 1973, et depuis l'engouement du début des années 80, et l'apparition du concept du développement durable, touchant tous les secteurs d'activité, et en particulier celui de la construction, d'importants progrès ont été fait dans l'approche climatique de l'architecture.

Trois éléments fondamentaux pour les bâtiments sont, donc à vérifier :

- a. Assurer un meilleur confort thermique ne signifie pas dépenser plus d'énergie.
- b. La qualité de l'intégration des dispositifs techniques dans le cas des solutions actives est primordiale.
- c. De nouveaux outils de dimensionnement sont arrivés à maturité, permettant de mieux prendre en compte la complexité des phénomènes en jeu.

La performance énergétique du bâtiment pourra être estimée soit à partir des méthodes de calculs manuels, soit à partir de logiciels informatiques qui feront une simulation permettant d'avoir le niveau de confort et la consommation d'énergie du bâtiment durant la période de l'usage de ce dernier.

D'un angle de vision type Cycle de Vie, et vu la complexité des phénomènes et le nombre de paramètres en jeu rendent difficile l'appréciation correcte du fonctionnement thermique d'un bâtiment, seul le recours à des outils informatiques permet alors d'approcher correctement la réponse thermique du bâtiment, c'est à dire son niveau de confort, mais aussi ses besoins de chauffage, de rafraîchissement et de ventilation sur le long de son cycle de vie.

D'où l'apparition de trois types d'outils de calcul de la performance énergétique des bâtiments :

1. Les outils simplifiés (guides de dimensionnement, abaques ou méthodes de calcul sur tableur).
2. Les logiciels de simulation intermédiaires.
3. Les logiciels de simulation lourds.

L'évaluation thermique et énergétique d'un bâtiment par simulation informatique offre un avantage par sa flexibilité et les moyens très économiques qu'elle prédit.

Finalement, elle est très préconisée pour ce genre de test, l'acteur aura une liberté de varier les différents paramètres concernant le bâtiment et les données climatiques du site à étudier. Aussi, permettre de proposer des alternatives d'améliorations pour ce bâtiment, et en particulier dans les phases de conception ce qui aura le rôle d'un outil d'aide à la décision.

Les modèles de simulation thermique doivent répondre aux besoins de l'investigation, ainsi que matérialiser l'effet conjugué des phénomènes thermiques, énergétiques et environnementaux tels que :

1. Les échanges thermiques à travers le bâtiment, par les trois modes de transmission de chaleur : la conduction, la convection, et le rayonnement.
2. La ventilation et le mouvement de l'air.
3. La qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments.
4. Les gains de chaleur, par rayonnement solaire à travers l'enveloppe (murs et surfaces transparentes).
5. L'ombrage des parois opaques et transparentes, dû aux différentes occultations.
6. Les apports internes entraînés par les équipements, l'éclairage et les occupants.
7. Les impacts sur l'environnement.
8. Les émissions de gaz à effet de serre sur l'environnement.

4.1. Choix des logiciels de simulation thermique et environnementale:

En général les modèles de simulation thermique ont en commun, les mêmes caractéristiques dont ils simplifient les conditions réelles du projet en fixant certaines hypothèses de départ. Parmi ces logiciels, **Pleiade-Comfie** qui a prouvé son efficacité pour l'évaluation de la performance thermique, ainsi que sur le champ de la recherche scientifique et universitaire. Chainé à l'outil d'analyse de cycle de vie **nova –Equer**, logiciel de simulation du bâtiment et de son comportement environnementale et ses impacts sur l'environnement durant son cycle de vie.

Ces logiciels sont développés par le centre de développement des logiciels Izuba et l'école des mines de Paris Tech dans le souci d'une approche énergétique et environnementale du secteur du bâtiment.

Le logiciel **Pleiade-Comfie** sera l'outil de base pour la simulation thermique dynamique du bâtiment pris comme échantillon dans notre travail. Les résultats de cette simulation seront exportés à l'outil de l'étude environnementale par analyse de cycle de vie du bâtiment pour identifier les différents impacts de ce dernier sur l'environnement et de pouvoir les comparer à d'autres alternatives et améliorations des éléments du bâtiment.

4.2. Méthodologie de la Simulation Thermique et Environnementale :

La mise en pratique de l'approche 'analyse de cycle de vie ACV du bâtiment est à caractère expérimental. Elle s'opère sous la forme d'une simulation informatique, qui est menée à l'aide du logiciel de simulation thermique en régime dynamique STD, 'Comfie-Pleïades'

(version 3.6.9.0., 2016), qui sont chaînés au logiciel de l'étude de l'empreinte environnementale ACV tout au long du cycle de vie du bâtiment Nova-Equer.

Nous effectuons donc la simulation thermique sur notre bâtiment cas d'étude, en l'occurrence le siège de l'agence foncière de Biskra.

Les données d'entrée (météo et enveloppe) sont modélisées selon les étapes détaillées.

4.3. Les étapes d'analyse de cycle de vie ACV bâtiment :

4.3.1 Le logiciel Alcyone : permet de définir la géométrie du bâtiment à simuler et certains paramètres par défaut avant de commencer le tracé.

La géométrie du bâtiment est décrite via le logiciel Alcyone. Toutes les parois, murs et les ouvertures saisies respectant les dimensions, positions, et orientations fournies par les plans d'architectures du bâtiment pour chaque niveau concerné.

Pour simplifier le modèle, les bureaux ont été regroupés en zones thermiques, considérées à température homogène tout au long de la simulation.

Ces zones se distinguent par leur orientation, et par leur occupation spécifique.

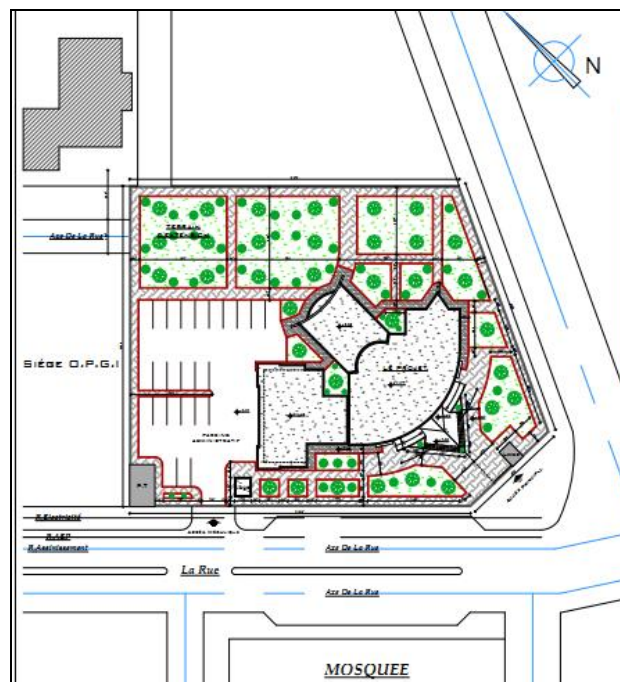


Figure 7.7 : Plan de masse du bâtiment Agence Foncière de Biskra. Source : Auteur ,2017.

a) Situation :

On commence tout d'abord par définir la station météo relative à notre site de l'étude. Cette donnée permet de faire une lecture des données météorologiques de la zone d'étude selon la station météo relevée de la base de données Méténorm (version 7.1.0.0, 2016 intégré au logiciel Comfie-Pleiades).

Toutes les données de Température, vent, humidité, ainsi que les précipitations seront insérées pour modéliser le bâtiment.

L'orientation du bâtiment et son implantation par rapport à son environnement proche et lointain, et même par rapport à toute la ville, est une donnée très décisive pour le bilan énergétique. Elle permet aussi de visualiser correctement l'effet des masques sur les parois (cas d'étude la station météo de Biskra).

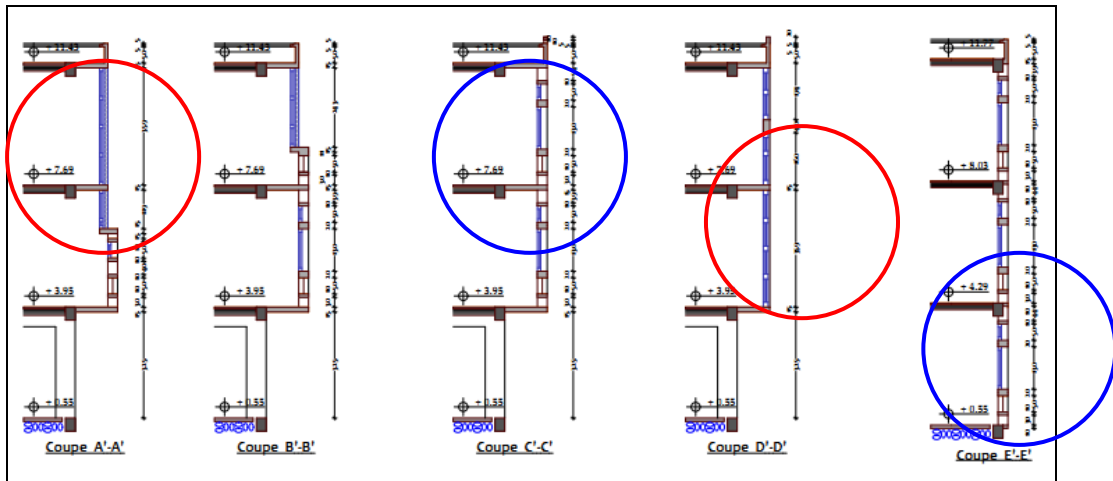


Figure 7.8 : Détails de la composition des parois du bâtiment. Source : Auteur, 2017.

b) Composition des parois :

On définit, ensuite les compositions à utiliser pour les différentes parties du bâtiment : des parois de l'enveloppe et les murs extérieurs, les planchers, les fenêtres et les portes, le type de vitrage, avec leurs dimensionnements et caractéristiques:

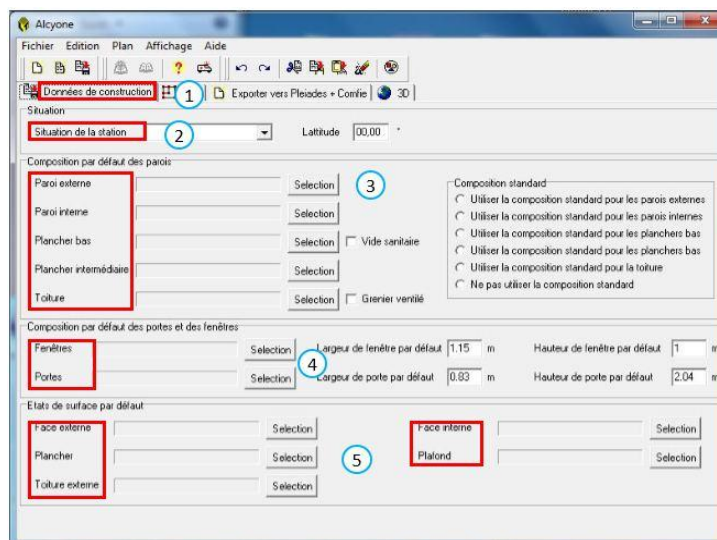


Figure 7.9 : Composition par défaut des parois du bâtiment à modéliser. Source : Auteur, 2017.

4.3.2. Description géométrique du bâtiment:

On va dessiner (ou insérer le plan) la géométrie de l'espace ou du bâtiment à modéliser et définir toutes ses caractéristiques :

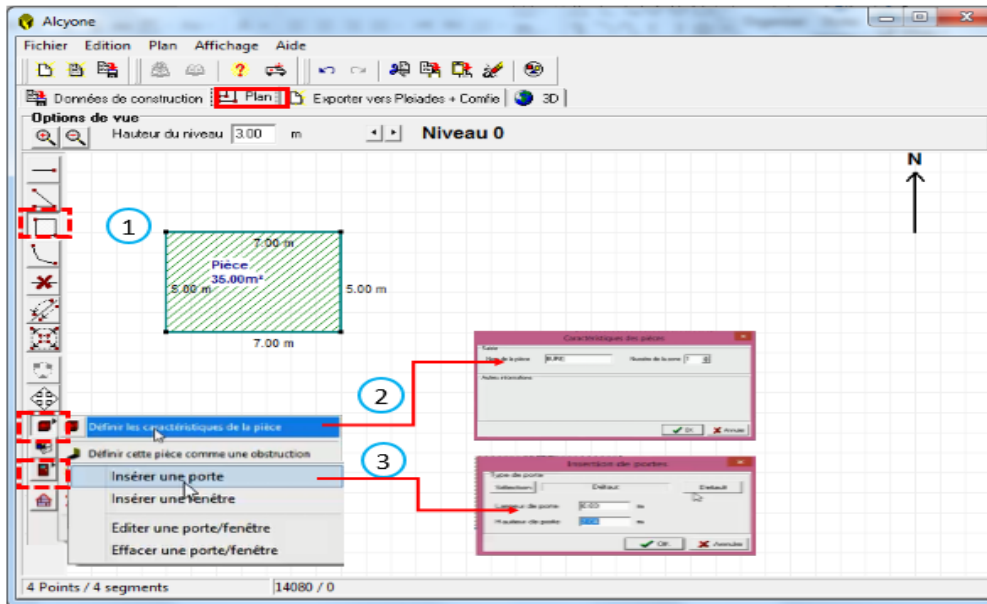


Figure7.10 : Dessiner l'espace ou le bâtiment à modéliser. Source : Auteur 2017.

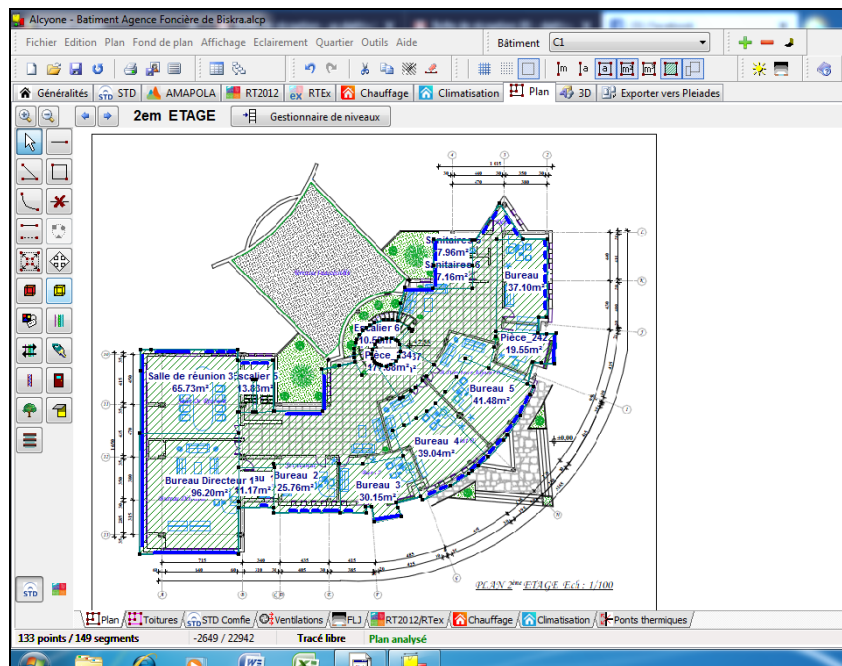


Figure 7.11 : Description géométrique du bâtiment. Source : Auteur, 2017.

c) Exporter le fichier, et ouvrir dans **Pléiades**.

Après la description géométrique du bâtiment et des éléments qui le composent, on exporte le fichier pour la deuxième étape de la simulation.

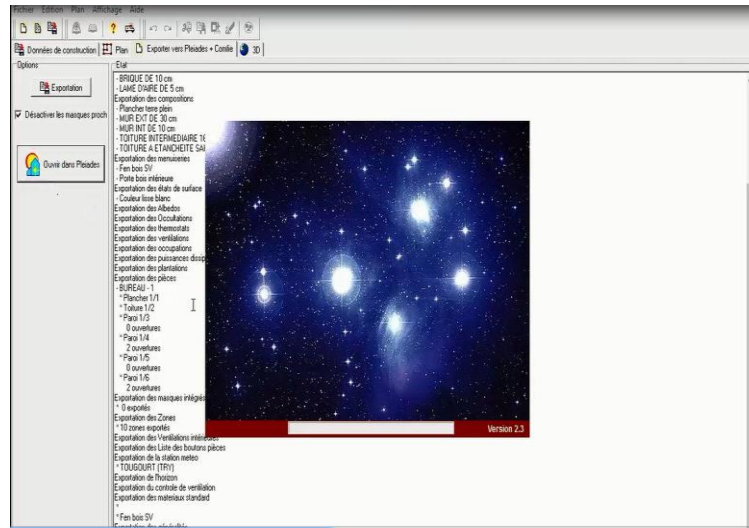


Figure7.12: Exporter et ouvrir dans Pléiades le bâtiment à modéliser. Source : Auteur 2017.

4.3.2.1. La simulation avec Pléiades :

Dans cette étape, on insère les données relatives aux différents scénarios d'usage, d'occupation, de puissance dissipée, ventilation et refroidissement, chauffage, etc.....

a. l'albédo

b. envoyer les données ventilation, occupation, consigne de thermostat, puissance dissipée

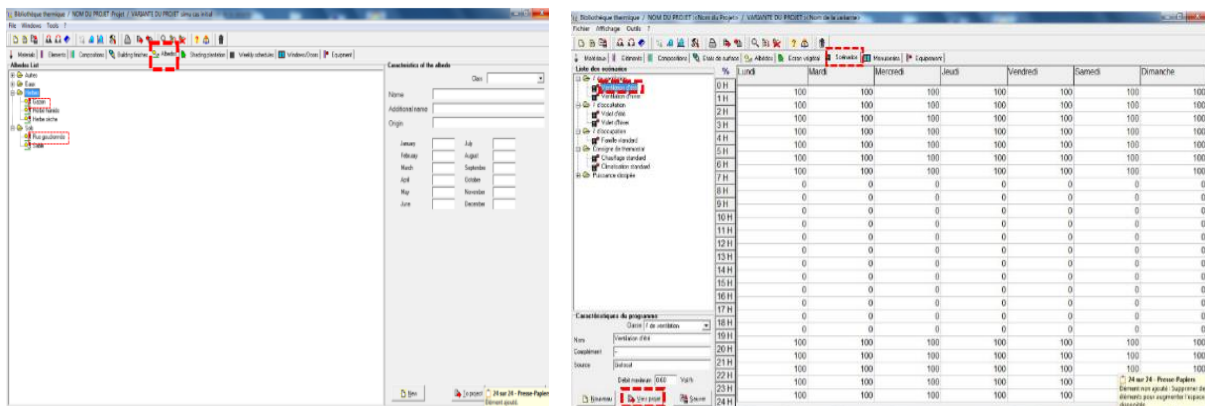


Figure7.13: Insérer les scénarios d'usage du bâtiment. Source : Auteur 2017.

Ensuite, on vérifie les informations par rapport à la bibliothèque du logiciel pour les systèmes de chauffage, de climatisation et de ventilation à envisager (ou à modifier).

c. Sélectionner la liste à afficher

d. La simulation : Ainsi, c'est la dernière étape pour la simulation.

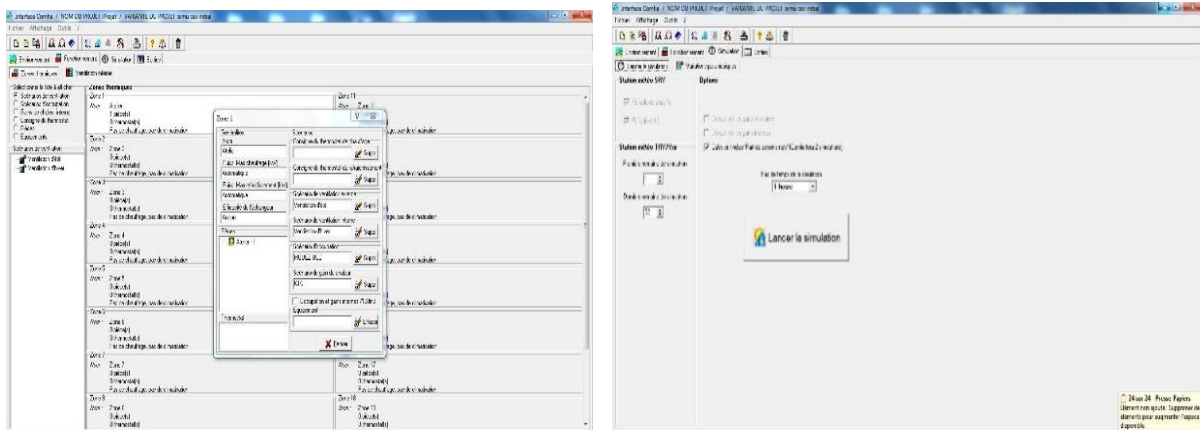


Figure 7.14: La dernière étape de la simulation du bâtiment.

Source : Auteur 2017.

4.3.3. Les rapports de la simulation:

Les rapports de la simulation se présentent sous différentes formes :

a. Synthèse et Résultats :

Le calcul des besoins de chauffage et climatisation du bâtiment.

b. Indices :

la liste des indices se présente sensiblement de la même manière que celle de la synthèse

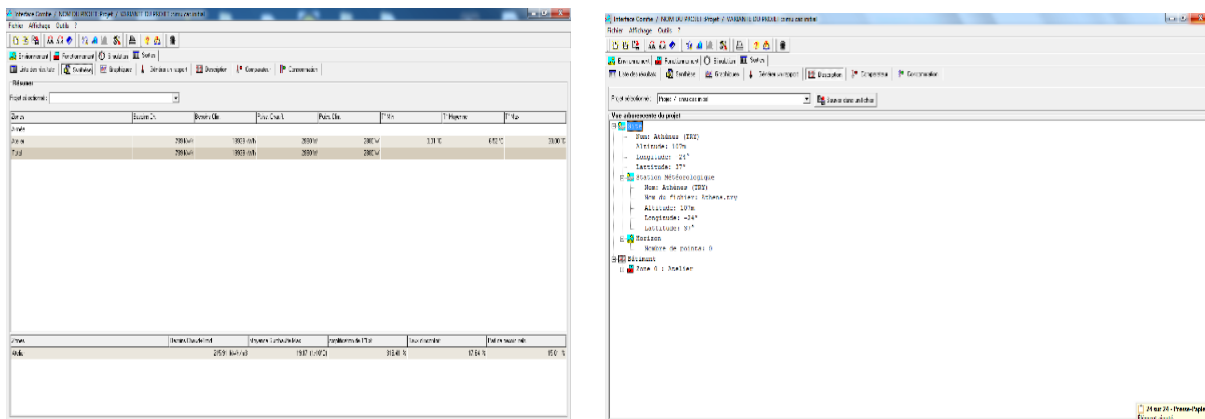


Figure 7.15 : Résultats de l'analyse thermique du bâtiment.

Source : Auteur 2017.

Une synthèse des besoins en énergie par rapport au chauffage et la climatisation, ECS, sous formes numériques et qui peuvent être traduits en coûts.

c. Graphiques :

- Courbes comparatives entre alternatives et variantes :

- Histogrammes comparatifs entre alternatives et variantes :

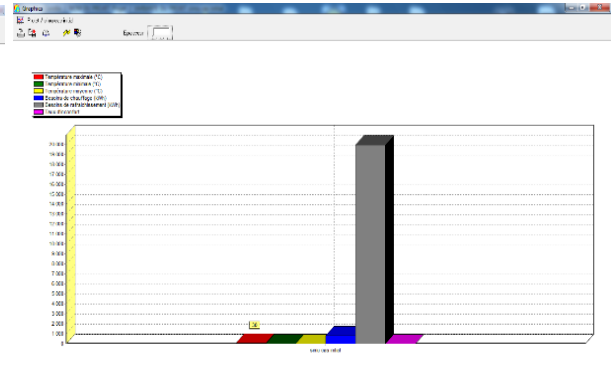
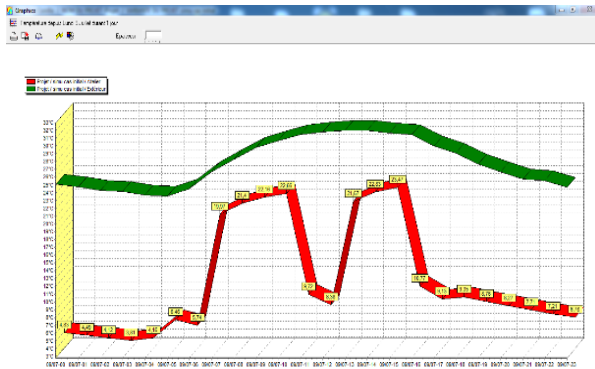


Figure 7.16 : Courbes comparatives entre variantes

Figure 7.17: Histogrammes comparatifs.

La simulation permet de visualiser, et de comparer les résultats des différentes alternatives d'un même bâtiment et de les présenter graphiquement, sous formes de courbes, d'éco-profils, et des histogrammes.

En ce qui concerne les scénarios des usages (hebdomadaire et annuel), nous avons appliqué les scénarios conventionnels des usages déterminés précédemment.

En ce qui concerne le système de chauffage, nous avons modélisé des radiateurs à gaz dans chaque bureau pour assurer le confort d'Hiver.

Pour le confort d'été, le système de climatisation est modélisé par des dispositifs VRV (air-air) pour chaque bureau (spleet system).

En ce qui concerne la production de l'ECS, nous avons modélisé une résistance électrique avec une puissance de 1,2 kW pour assurer l'eau chaude dans les salles d'eau, et toilettes du bâtiment.

Pour l'éclairage artificiel, l'adoption du scénario d'éclairage conventionnel de la RT2012 dans les bâtiments de bureaux, ce qui donne un besoin de 500 lux par bureau.

La Simulation Thermique et Dynamique permet de définir 03 trois types de résultats relatifs à l'analyse énergétique (fig. 6.18).

4.3.4. Les résultats de la simulation énergétique:

4.3.4.1. Les premiers résultats

Ces résultats sont relatifs aux besoins pour les différents postes énergétiques – dans notre cas d'étude : $B_{chauffage}$, $B_{climatisation}$ et $B_{éclairage}$.

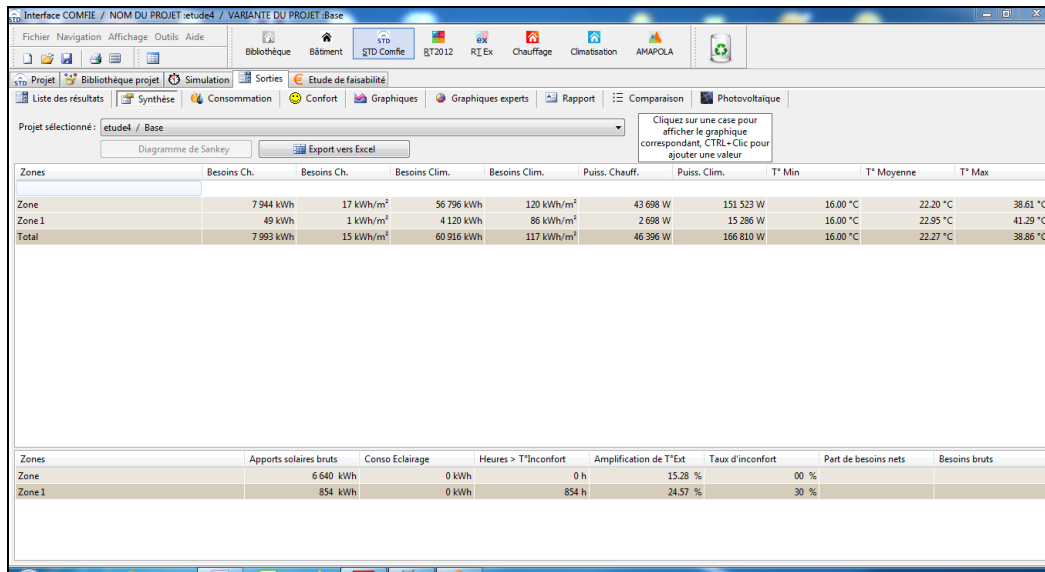


Figure 7.18 : Résultats de la STD besoins en Bchauf et Bclim. Source : Auteur 2017

4.3.4.2. Le deuxième type de résultat concerne la consommation en énergie finale selon les postes énergétiques (fig.6.19) –dans notre cas : $C_{ef- ch}$, $C_{ef- clim}$, $C_{ef- écl}$ et C_{ef-}



Figure 7.19 : Résultats de la STD en Cef-Ch et Cef-clim Source : Auteur 2017.

4.3.4.3. Le troisième type de résultat concerne les températures intérieures dans les différentes zones et leurs niveaux de confort liés.

Le logiciel Comfie-Pleiades offre la possibilité de mesurer le taux d'inconfort dans les bureaux du bâtiment (notre cas d'étude). Pour chaque zone, l'indice d'« inconfort » est calculé par la totalisation des heures pour lesquelles la zone est occupée et en situation d'inconfort pendant la période de simulation, divisée par le nombre total d'heures d'occupation de la simulation et multiplié par 100.

L'indice « Taux d'inconfort » (figure 6.20) présente le pourcentage de temps d'occupation durant lequel la température de la zone est supérieure à 27 °C, ou inférieure à 19°C.

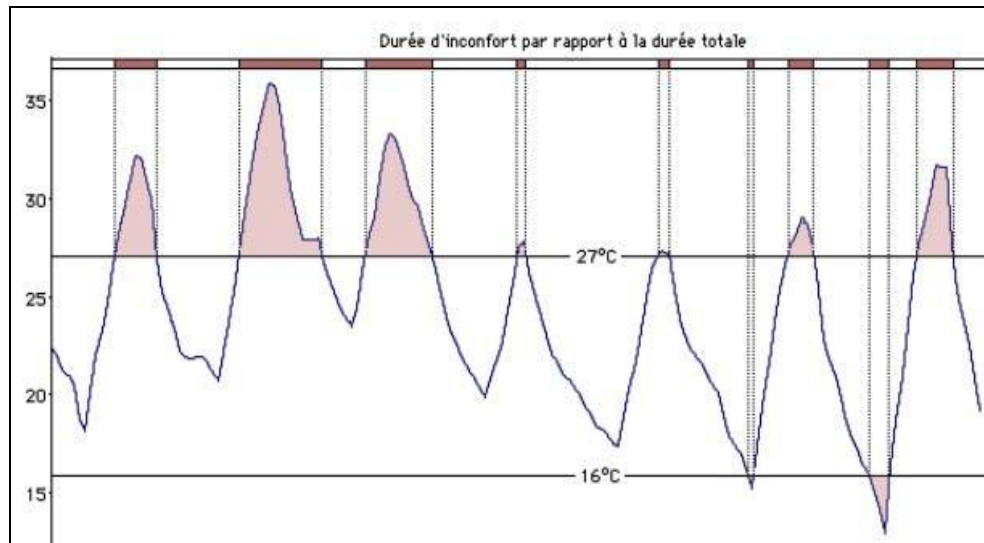


Figure 7.20:L'indice de taux d'inconfort pour le logiciel Comfie+Pleiades. Source : Auteur 2017.

5. Outils de la simulation:

L'analyse de cycle de vie ACV du bâtiment de l'Agence foncière de Biskra, développée dans cette recherche est une approche multicritère basée sur des outils numériques de simulation pour l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments, et qui représente une application de la méthodologie d'aide à la décision pour les acteurs du secteur du bâtiment.

L'objectif de cette simulation numérique est de donner aux acteurs du processus de la conception (les architectes), des éléments pour orienter la prise de décisions par la comparaison des possibilités et de diverses alternatives de configurations ou d'améliorations pour les éléments et systèmes du bâtiment(structurel et énergétique).

Trois outils de simulation sont utilisés pour cette expérimentation, dont chacun a son propre rôle dans le protocole expérimental. Ainsi, le logiciel Alcyone est l'outil de la saisie graphique du bâtiment à étudier, ainsi que ses masques proches (la description géométrique du bâtiment). Ainsi, les zones thermiques du bâtiment, zones dont le comportement thermique devrait être équivalent et homogène (Popovici 2008), et sont donc, définies dans Alcyone. Ce dernier, le modelleur 2D-3D transfère les données architecturales à l'outil de simulation thermique dynamique Comfie. Ainsi, Comfie-Pleiades est l'outil de la simulation thermique dynamique pour les bâtiments. L'utilisateur peut importer une géométrie créée avec un logiciel de saisie graphique (Alcyone, ou autre...).

A partir de données sur les matériaux de construction, les différents scénarios d'usage et d'occupation et la situation météorologique, le logiciel calcule les besoins en énergie pour le chauffage et la climatisation du bâtiment pour une période donnée (jusqu'à un an). Les résultats peuvent être décomposés par zone thermique ou par période de temps. Le noyau de calcul Comfie a été développé par le Centre Energétique et Procédé des Mines de Paris, tandis que l'interface graphique Pleiades par Izuba énergies(France).

Enfin, Nova-Equer est l'outil d'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments développé par le CES - Mines Paris Tech, dans le but d'aider les acteurs du bâtiment à mieux cerner les conséquences de leurs choix, et d'analyse du cycle de vie de leurs bâtiments.

Les besoins de chauffage et de climatisation calculés par le logiciel Comfie sont exportés vers Nova-Equer. Ce dernier importe aussi, les quantitatifs des matériaux utiles pour la construction du bâtiment ainsi que les besoins en énergie de chauffage et de climatisation, besoins d'eau chaude sanitaire, de production photovoltaïque, qui seront utilisés pour le calcul de l'empreinte environnementale du bâtiment.

Des données d'entrées supplémentaires doivent être fournies au logiciel pour effectuer l'analyse de cycle de vie, telles que le mix énergétique de l'électricité consommée, la possibilité ou non de recycler les déchets d'usages, le type de transport utilisé par les usagers, etc...

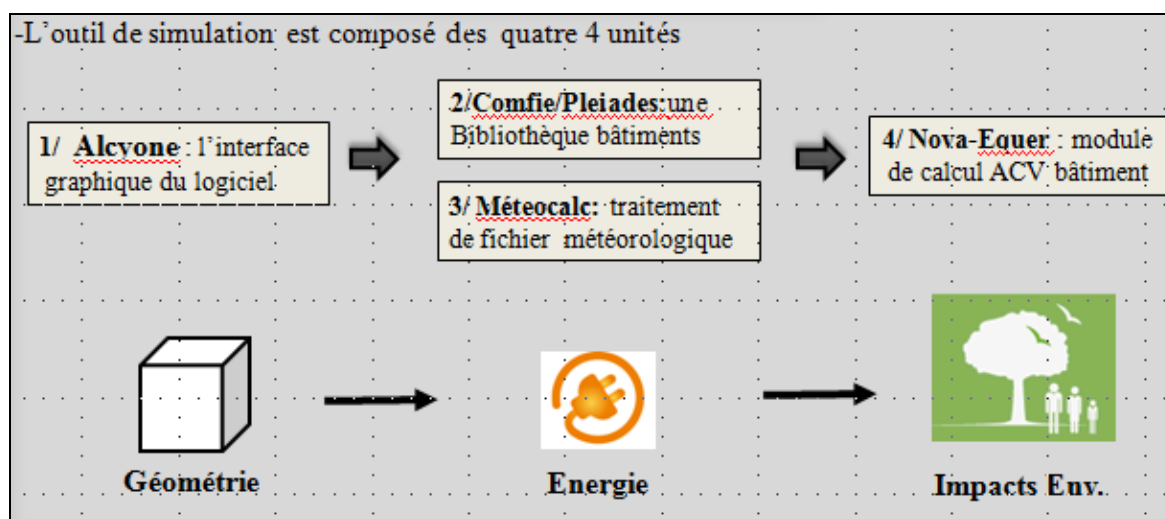


Figure 7.21: Chaînage des entrées /sorties entre les outils d'évaluation. Source : Auteur, 2017.

Le logiciel Nova-Equer (initialement Equer) a bénéficié du soutien du Plan Urbanisme Construction et Architecture, de la Commission Européenne, de l'ADEME et de l'ANR.

6. Paramètres de simulation du bâtiment:

Les paramètres de simulation thermique et environnementale représentent la description générale du contexte du projet d'un bâtiment ou d'un bâtiment existant à étudier.

Ces paramètres concernent :

1. Le site d'implantation.
2. Les consignes d'opérations des équipements techniques.
3. L'intervalle des températures de confort.
4. La répartition des espaces intérieurs.
5. Le débit des infiltrations.
6. La période de chauffage.
7. La période de climatisation (refroidissement).
8. Les systèmes de ventilation, et de renouvellement d'air.
9. Les systèmes HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning).
10. Les sources d'énergie renouvelable.

7. Déclarations des variables de conception durable:

Les variables conceptuelles d'un bâtiment durable représentent la faculté d'action de la maîtrise d'œuvre et la prise de décision dans les différentes phases du processus de conception du projet de bâtiment. Elles sont données par les choix de conception du projet de bâtiment du point de vue de performance thermique, d'optimisation et de maîtrise énergétique, et de réduction des impacts sur l'environnement.

L'interface d'entrée de tous les éléments et systèmes entrant dans la construction du bâtiment intègre la logique de progression de décisions prises par la structuration séquentielle de l'entrée de données en fonction des différentes configurations envisagées et des améliorations des caractéristiques du bâtiment par d'autres alternatives à proposer.

Après avoir défini tous les éléments entrant dans la construction de bâtiments, les choix des matériaux et systèmes par les concepteurs de bâtiment, sont donnés par la sélection dans une liste déroulante de choix (bibliothèque de l'outil informatique) soit par la déclaration des caractéristiques de nouveaux matériaux, ou compositions ou systèmes entrant dans le bâtiment (matériaux et compositions à intégrer dans la bibliothèque).

Afin de pouvoir être interprétées par le moteur de calcul, les entrées déclarées dans les feuilles de saisie sont converties automatiquement dans la base de connaissance et de données de l'outil. Toutes ces données d'entrée (INPUT) représentent les décisions de

conception prises par le concepteur et sont prêtes à être importées par le moteur de calcul des besoins énergétiques et de simulation thermique en mode dynamique pour l'analyse énergétique. L'interface d'entrée de données permet de déclarer d'autres nouvelles alternatives de conception de bâtiment successivement (cas1, cas2, cas3,...) pour leur évaluations partielles, et ainsi pour comparer plusieurs choix de matériaux ou de systèmes structurels et énergétiques, et en les modifiant pour arriver à une efficacité énergétique.

7.1. Base des données pour la simulation thermique et environnementale du bâtiment:

La base de connaissance des paramètres de simulation intégrée aux outils d'évaluations, est composée de données:

1. Une base de données des composantes.
2. Une base de données des sources d'énergie.
3. Une base de données météorologique.

7.1.1. Une base de données des composantes :

Elle comporte et recueille les données techniques, économiques et environnementales des produits et matériaux de construction composant le bâtiment et les ressources énergétiques utilisés par les équipements techniques, tel que le gaz pour le chauffage, l'électricité pour les climatiseurs, etc.

Ces données peuvent avoir des mises à jour simple : soit pour modifier des entrées déjà existantes, soit pour ajouter d'autres nouveaux produits et matériaux de construction, compositions, et systèmes ,ainsi que d'autres sources énergétiques à intégrer au bâtiment :

1. Données **techniques** sont présentes dans le cas des composantes du bâtiment avec leurs caractéristiques et paramètres techniques.
2. Données **économiques** : correspond aux valeurs du coût d'acquisition par unité fonctionnelle des éléments.
3. Données **environnementales** : comprenant l'unité fonctionnelle, le profil environnemental et la durée de vie typique des éléments.
4. Sources d'**énergie** : il s'agit de l'énergie spécifique au fonctionnement à chaque élément envisagé.

Les choix des entrées de données effectuées par le concepteur du bâtiment représentent une logique de progression des décisions dans cette phase amont du processus de la conception architecturale du bâtiment.

7.1.2. Une base de données météorologique:

Les données météorologiques nécessaires pour la modélisation du bâtiment sont fournies par une base de données météorologique intégrée à l'outil d'évaluation énergétique et environnementale. Les données météo contiennent des valeurs horaires des paramètres météo pour une année type de référence, et ils sont de forme (TRY), elle concerne les données sur :

- a. Le rayonnement global reçu.
- b. La température de l'air.
- c. L'éclairement.
- d. La vitesse de l'air.

Les fiches météorologiques ont été obtenues à l'aide de l'Agence Météonorm (version 7.1.0.0, 2016) pour la station de la ville de Biskra.

7.1.3. Une base de données des sources d'énergie:

Pour la modélisation du bâtiment, les données relatives aux sources d'énergie utilisée par les équipements et appareils entrant dans les systèmes HVAC, tel que gaz pour le chauffage, l'électricité pour la climatisation et l'éclairage, ainsi que les différents réseaux auxquels ils sont reliés.

Elles permettent une étude des coûts de fonctionnement du bâtiment tout le long de son cycle de vie. Ces données contribuent à l'évaluation de l'impact économique pour les besoins et consommations énergétiques pour les divers usages du bâtiment.

8. L'analyse énergétique :

La mise en pratique de l'approche 'analyse de cycle de vie ACV du bâtiment' passe tout d'abord par une analyse énergétique. Elle prend dans son ensemble les bâtiments publics à caractère administratifs dans les régions semi-arides à climat chaud et sec, afin de :

- a. Evaluer leurs performances thermiques.
- b. Optimiser leurs consommations énergétiques.
- c. Minimiser leurs impacts environnementaux (étude environnementale).
- d. Introduire des stratégies pour améliorer le bilan énergétique et réduire l'empreinte environnementale du bâtiment.

8.1. L'analyse thermique:

Elle est assurée par une simulation thermique dynamique STD du bâtiment, se basant sur le principe de zones thermiques et se réfère à des scénarios d'usages hebdomadaires et la détermination des ponts thermiques, des infiltrations d'air.

Selon les caractéristiques des éléments de l'enveloppe du bâtiment et des systèmes structurels et énergétiques, une évaluation du confort thermique de chaque espace bureau, des espaces communs et de circulation et par la suite du bâtiment en entier.

Aussi par rapport à une consigne de température constante de 20°C, une régulation (choix de consigne de thermostat dans les différentes zones et selon l'heure), tous les besoins seront calculés pour une efficacité thermique du bâtiment.

8.2. L'analyse énergétique

Après évaluation des performances thermiques par une simulation thermique dynamique STD durant le long du cycle de vie du bâtiment, l'analyse énergétique consiste à une optimisation de toutes les consommations énergétiques sans réduire le niveau de confort exigé pour les usagers de ce bâtiment. Tous les besoins d'énergie sont calculés, et des solutions ou des alternatives d'améliorations seront envisagées pour les éléments de l'enveloppe ou des systèmes structurels, énergétiques, que comporte le bâtiment.

9. L'analyse environnementale :

L'analyse de cycle de vie ACV du bâtiment développée dans cette recherche est réalisée par l'outil de la simulation numérique '**nova-Equer**', qui est chaîné aux logiciels de la simulation thermique dynamique STD (Comfie-Pleiades). L'empreinte environnementale du bâtiment est donc définie. Les résultats sont de types numériques exportables vers Excel, ou sous forme de graphiques, ou bien sous forme d'éco-profil, comme il permet d'avoir des résultats sous formes de diagrammes 'radar' permettant ainsi, la comparaison de plusieurs alternatives conceptuelles et d'améliorations des conditions pour ce même bâtiment.

L'analyse de cycle de vie ACV du bâtiment démontre que l'empreinte environnementale est résultante du taux de consommations énergétiques et du degré de performances thermiques.

Par conséquent une très forte relation entre « performances énergétiques à atteindre et performances environnementales à justifier ».

Les objectifs attendus de cette analyse est de mesurer les degrés des impacts du bâtiment sur son environnement. Ainsi, les résultats de l'étude permettront d'apporter une aide à la décision par rapport aux matériaux, aux techniques de mise en œuvre et aux systèmes à envisager dans le bâtiment durant tout le long de son cycle de vie du bâtiment.

10. Protocole de la simulation:

La simulation informatique consiste à modéliser un bâtiment de bureaux situé dans la ville de Biskra. D'une manière générale, la modélisation consiste à :

1. Importation des différents paramètres de simulation et des variantes de conception décrivant les différentes alternatives du bâtiment envisagées.

2. Importation des données météorologiques du site d'implantation à partir de la base de données correspondante.
3. Importation des données techniques et environnementales des composantes et des sources d'énergie mis en œuvre par rapport aux alternatives de conception à partir de la base de données correspondante.
4. Simulation thermique dynamique STD de chacune des alternatives de conception ou d'amélioration du bâtiment.
5. Calcul des indicateurs de performances énergétiques à partir des résultats de la STD.
6. Exportation des résultats de l'évaluation vers l'interface d'exploitation.
7. Interprétation des résultats de l'analyse thermique et énergétique.
8. Exportation des résultats de l'évaluation vers l'outil d'évaluation environnementale et l'analyse de cycle de vie du bâtiment ACV.
9. Exportation des résultats de l'analyse de cycle de vie vers l'interface d'exploitation.
10. Interprétation des résultats de l'analyse de cycle de vie ACV de ce bâtiment.
11. Conclusions concernant aussi bien les performances énergétiques du bâtiment, que ses impacts sur l'environnement.

Notre étude consiste, donc à une simulation informatique sur les aspects énergétiques et environnementaux, et à modéliser un bâtiment de bureaux situé dans la ville de Biskra dont le climat est celui des zones semi-arides ; à climat chaud et sec, afin d'identifier :

1. La géométrie (orientation et dimensions du bâtiment, répartition des espaces intérieurs).
2. L'enveloppe (murs extérieurs, baies vitrées, protections solaires, masques intégrés, toiture et plancher bas).
3. Les matériaux (compositions des parois extérieures et intérieures, planchers, leur système d'isolation, type de menuiserie et type de vitrage et son isolation).
4. Les systèmes HVAC (systèmes de climatisation, de chauffage, de ventilation mécanique, de production d'eau chaude sanitaire).
5. Les sources d'énergie renouvelable (choix d'une énergie renouvelable moins polluante, intégrer les panneaux pour la production d'énergie électrique).

Aussi, de déterminer lequel de ces éléments les plus performants, et leur combinaison permettant ainsi une efficacité thermique, une optimisation énergétique, ainsi qu'une réduction des impacts environnementaux engendrés.

Pour un usage du bâtiment dans les meilleures conditions de confort et de sécurité, les éléments sus-cités déterminent les besoins thermiques de ce bâtiment en matière de

chauffage, de climatisation (refroidissement), de renouvellement de l'air (ventilation), ainsi que d'éclairage.

Un autre aspect concernant l'énergie consommée par l'utilisation de systèmes permettant de répondre à ces besoins thermiques, à travers une consommation de l'énergie nécessaire, pour l'utilisation d'un système de ventilation mécanique, chauffage et de climatisation (tous les systèmes HVAC).

11. Objets des Simulations:

Cette approche 'analyse de cycle de vie ACV' du bâtiment Siège de l'Agence Foncière de Biskra, est à caractère expérimental, et a pour objets de déterminer pour le bâtiment, une enveloppe performante, et la plus efficace sur les plans énergétique et environnemental.

- a. Epaisseur de l'isolant, l'épaisseur minimale pour assurer une parfaite isolation.
- b. Technique de l'isolation, isoler par l'extérieur est la plus efficace des techniques.
- c. Isolation des fenêtres et baies vitrées.
- d. Utilisation du vitrage à faible émissivité VFE ou vitrage à isolation renforcée VIR.
- e. Utilisation des systèmes HVAC, les plus efficaces et les plus performants et qui consomment le moins d'énergie.

12. Les conditions des Simulations:

Le milieu naturel de l'environnement physique à simuler étant la ville de Biskra (Algérie), il est considéré que la Température de confort est comprise entre 19 et 26°C.

Par ailleurs, les principales conditions de la simulation énergétique communes à toutes les configurations de l'enveloppe du bâtiment (murs, baies,..) et le système d'isolation (types d'isolants et techniques d'isolations) sont :

1. Consigne de températures de 20°C constante.
2. Scénario de Ventilation= normale et sur-ventilation l'été.
3. Scénario de Chauffage = 20°C le jour / avec un arrêt la nuit.
4. Scénario de Climatisation = 26°C / avec un arrêt la nuit.
5. Scénario de la puissance dissipée : 4100 W
6. Occupation des espaces est de : la plage horaire 100% de 07h à 17.00h avec une pose de 12.00h à 13.00h la semaine ouvrable, et 00% le reste du temps.
7. Les apports internes sont de : 40 Wh/m².
 - 7.1. Apport énergie : 12 à 14 W/m².
 - 7.2. Apport des Occupants sont de : (hiver) 83 à (été) 132Wh/personne.
 - 7.3. Apport des équipements : PC de 110 à 160W / Imprimante laser 150-250/Imprimante jet d'encre 20- 60 – et Photocopieuse 1000 W.

D'un autre côté, les données nécessaires à l'analyse de cycle de vie du bâtiment sont structurées en cinq 5 thèmes principaux :

1. les matériaux de construction.
2. l'énergie.
3. l'eau.
4. les déchets.
5. et le transport des usagers.

Et en ce qui concerne l'étude environnementale du bâtiment par une approche 'Analyse de Cycle de Vie ACV', les conditions de simulation sont alors définies comme suit:

- a. Durée d'analyse du bâtiment est de 80ans.
- b. Durée de vie des équipements est de 20 ans.
- c. Durée de vie de la menuiserie est de 30 ans.
- d. Durée de vie des revêtements est de 10 ans.
- e. Un système de chauffage à gaz de ville est considéré.
- f. Un système de Climatisation électrique à air type VRV, est considéré.
- g. Les éléments de l'enveloppe et les planchers du bâtiment sont paramétrés par les bases des logiciels de simulation thermique dynamique Pléiades-Comfie, et environnementales Nova-Equer.

13.Les niveaux de simulation :

Après la saisie graphique du bâtiment par le logiciel Alcyone (2D/3D), la définition de sa géométrie, son environnement immédiat avec tous les aménagements extérieurs, le mobilier urbain, espaces verts et points d'eau, ainsi que tous les revêtements des surfaces piétonnes et des aires de stationnement. Ainsi que la définition des données météo, selon les fichiers météo sous format TRY (paramètres météo pour une année type de référence).

Toutes les informations du bâtiment sont enregistrées et envoyées vers le logiciel Pléiades-Comfie, de la simulation thermique et dynamique STD. Ce dernier permet de déterminer tous les besoins en énergie par rapport aux besoins thermiques et d'usage, pour un confort des usagers (climatisation, chauffage, ventilation).

Ensuite, l'analyse de cycle de vie ACV bâtiment, par le logiciel Nova-Equer détermine tous les impacts environnementaux engendrés tout le long du cycle de vie du bâtiment, par le biais des douze 12 indicateurs environnementaux.

L'étude environnementale par approche analyse de cycle de vie ACV bâtiment, est précédée par une simulation thermique dynamique STD du bâtiment.

Dans ce travail, l'étude prend en considération cinq niveaux d'étude de ce bâtiment :

- 1. Premier niveau** de simulation : consiste à étudier le bâtiment dans son état initial avec toutes les solutions techniques et les éléments et traitements réalisés (double paroi, simple vitrage des baies vitrées, systèmes structurel et énergétique, etc.....), brise soleil, masques intégrés, selon la conception initiale et la réalisation du bâtiment.

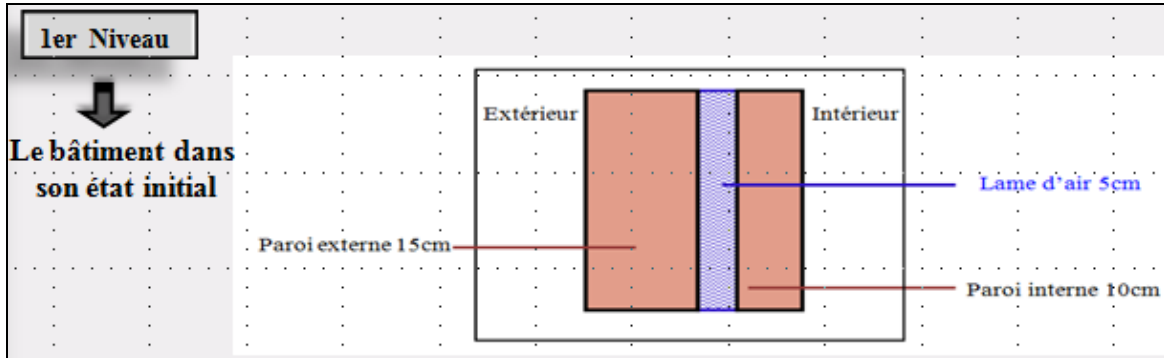


Figure7.22: 1^{er} niveau de la simulation du bâtiment. Source : Auteur, 2017.

- 2. Deuxième niveau** de simulation: consiste à intervenir seulement sur les murs de l'enveloppe : Murs / isolants / technique d'isolations. Il s'agit d'intervenir sur le type de l'isolant ainsi que la technique d'isolation, de manière à avoir un bâtiment parfaitement isolé. L'objectif est de faire le choix de l'isolant le plus performant ainsi que la technique d'isolation la plus adéquate.

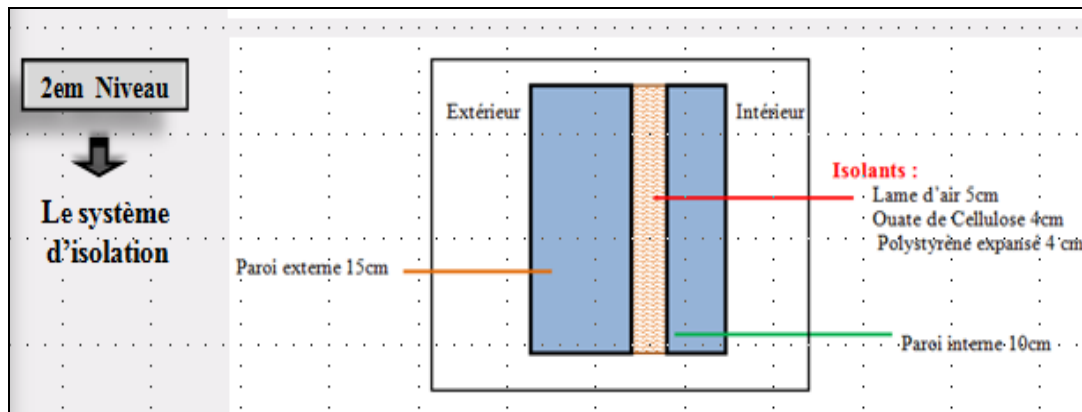


Figure7.23: 2^{em} niveau de la simulation du bâtiment. Source : Auteur, 2017.

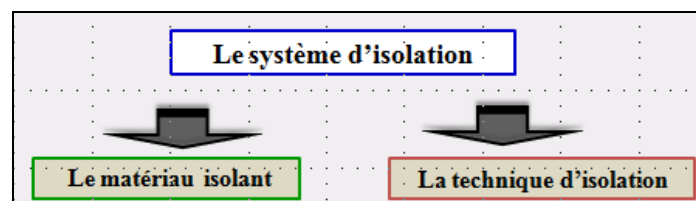


Figure7.24: Le système d'Isolation du bâtiment. Source : Auteur, 2017.

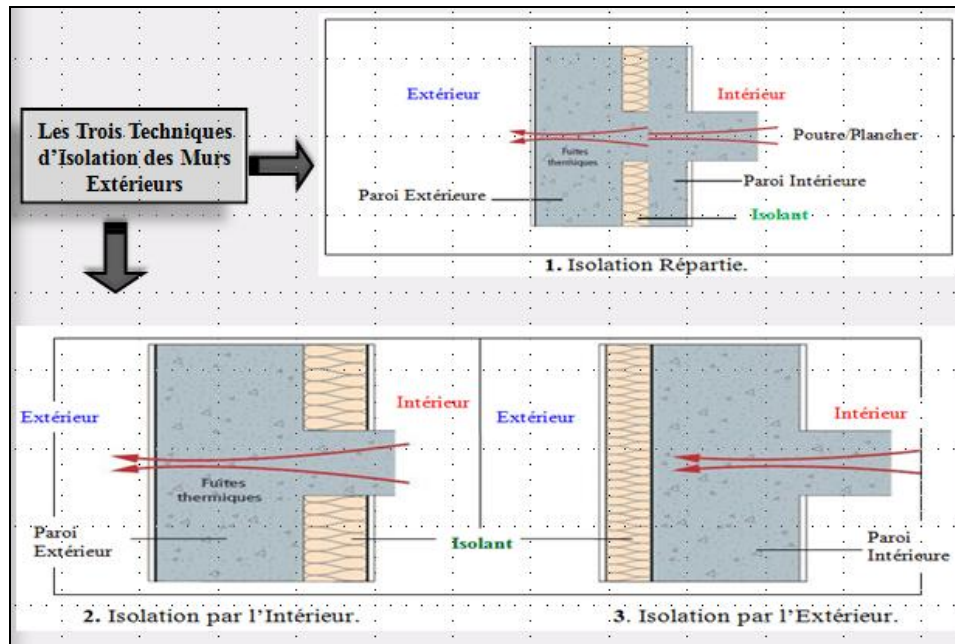


Figure7.25: Les Techniques d'Isolation du bâtiment. Source : Auteur, 2017.

- 3. Troisième niveau** de simulation: Consiste à intervenir sur les baies vitrées de cette enveloppe : Type de vitrage / simple / double vitrage/ ainsi que leur isolation. Les baies vitrées seront munies d'un double vitrage à faible émissivité VFE ou un vitrage à isolation renforcée VIR.

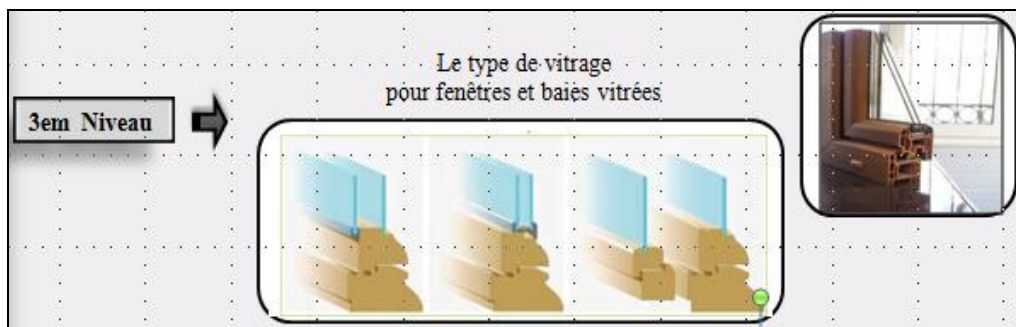


Figure7.26: 3^{em} niveau de la simulation du bâtiment. Source : Auteur, 2017.

- 4. Quatrième niveau** de simulation: Etudier l'efficacité des éléments de protection pour un niveau de performance plus élevé : on peut introduire des éléments orientables selon la course du soleil de manière à profiter des heures d'ensoleillement les plus favorables le plus nombre d'heures possibles. Les baies vitrées seront munies de protection pour atténuer l'effet néfaste du soleil sur le bâtiment tels que : protections solaires, masques intégrés au bâtiment. L'objectif est d'intervenir pour corriger les performances du bâtiment.



Figure7.27: 4^{em} niveau de la simulation du bâtiment. Source : Auteur, 2017.

5. Cinquième niveau de simulation : Pour un bâtiment économe en énergie, cette étape consiste à intervenir sur le système d'énergie renouvelable à intégrer au bâtiment pour une bonne maîtrise, et économie énergétique.



Figure7.28: 5^{em} niveau de la simulation du bâtiment. Source : Auteur, 2017.

L'étude permet d'avoir des résultats pour les performances thermiques, les besoins en énergie, et toutes les consommations énergétiques du bâtiment.

Ainsi, une comparaison des résultats de ces différents niveaux de simulations, permettra de définir laquelle des configurations est à envisager pour le bâtiment.

Il s'agit donc, d'une approche analytique ayant pour objectif l'aide à la décision pour les choix des matériaux et systèmes structurels et énergétiques du bâtiment. Aussi, une amélioration qualitative de l'efficacité thermique, et l'optimisation énergétique par l'ajout, ou l'intégration de protections solaires.

13.1 Les systèmes constructifs :

Le bâtiment de l'agence foncière de Biskra, est une nouvelle construction, qui a été réalisée selon les systèmes constructifs, et avec les matériaux de constructions les plus utilisés dans le secteur du bâtiment. Les types et caractéristiques thermiques et techniques des matériaux sont listés dans le tableau ci-dessous :

Matériaux de construction			Caractéristiques thermiques				
Eléments de construction	Matériaux	Dimensions cm	Conductivité W/m.K	Résistance R m ² .K/W	Masse volumique P Kg/m ³	Chaleur spécifique J/Kg.K	Référence du Produit de Construction
Poteaux	Béton armé	35*35	2,200	-	2400	1000	Energie+
Poutres		30*45					
Dalle Pleine	Carrelage	02	1,700	0,01	460	-	Pleiades
	Mortier	04	1,150	0,04	1000	-	Pleiades
	Béton	14	1,750	0,08	2200	1000	Energie+
	Total	20	1,538	0,13	3660	-	-
Plancher à Corps creux intermédiaire	Carrelage	02	1,700	0,01	460	-	Pleiades
	Mortier	05	1,150	0,04	1000	-	Pleiades
	Béton	04 / 05	1,750	0,02	2200	1000	Energie+
	Hourdis	16/ 20	1,230	0,13	1300	648	Pleiades
	Plâtre	01	0,350	0,03	100	936	Pleiades
	Total	28 / 31	1,217	0,23	7460	-	-
Plancher Terrasse à Corps creux	Feutre bitumeux	02	0,500	0,04	340	-	Pleiades
	Béton	04/ 05	1,750	0,02	2200	1000	Energie+
	Hourdis	16/ 20	1,230	0,13	1300	648	Pleiades
	Plâtre	01	0,350	0,03	100	936	Pleiades
	Total	23 / 26	1,045	0,22	3940	-	-
Mur extérieur	Enduit extérieur	02	0,930	0,021	1900	850	Energie+
	Brique	15	0,480	0,31	1400	1080	Pleiades
	Lame	05	0,714	0,07	1	1000	ADEME
	Brique	10	0,480	0,21	690	1080	Pleiades
	Enduit plâtre	02	0,350	0,06	300	936	Pleiades
	Total	34	0,510	0,671	4200	-	-
Cloison intérieure	Enduit plâtre	02	0,350	0,06	300	936	Pleiades
	Brique	10 / 15	0,480	0,21	690	1080	Pleiades
	Enduit plâtre	02	0,350	0,06	300	936	Pleiades
	Total	14	0,420	0,33	1290	-	-

Tableau 7.6: Caractéristiques Thermiques des matériaux utilisés. Source : Auteur, 2017.

13.2. Le système d'isolation :

Une bonne isolation est très indispensable pour tout type de bâtiment. Elle assure, effectivement, un confort thermique en conservant la chaleur au sein du bâtiment en hiver, et en limitant la pénétration de la chaleur en été.

Elle est également perméable et évite la concentration d'humidité dans le bâtiment. D'autres aspects font de l'isolation une solution efficace et performante par la maîtrise de:

1. le choix de l'isolant (la matière isolante).
2. le choix de la technique d'isolation (la technique de mise en place de l'isolant).

Elle concerne les parois opaques avec trois types de techniques appliquées aux systèmes d'isolation. Aussi pour les parties vitrées de l'enveloppe par l'intervention au niveau du type de vitrage (simple, ou double vitrage) et les caractéristiques du vitrage utilisé et du système d'isolation (vitrage à faible émissivité VFE ou à isolation renforcée VIR).

13.2.1. L'isolant dans le bâtiment:

Les matériaux isolants révèlent un intérêt significatif dans la régulation des ambiances en hiver comme en été. Aussi l'efficacité énergétique des bâtiments ne peut être obtenue que par une isolation performante de ce bâtiment et le choix pertinent du matériau d'isolation. Ainsi, une bonne isolation est un facteur essentiel à la maîtrise énergétique du bâtiment (Liébard, 2005), de ce fait le choix des isolants doit être minutieusement réalisé.

Pour le secteur du bâtiment et de la construction, trois types d'isolants sont préconisés : les isolants à base minérale, ceux à base végétale, et d'autres à base de plastiques alvéolaires.

13.2.2. Les propriétés physiques des isolants :

Les propriétés physiques des matériaux isolants définissent leurs caractéristiques isolantes par rapport à la conductivité et la résistance thermique et la perméabilité à l'eau.

- a. Les caractéristiques **statiques** : tels que la conductivité thermique (λ) ; la résistance thermique (R) ; le coefficient de transmission surfacique (U) ; la capacité thermique (ρC), et la perméabilité à l'eau (μ)
- b. Les caractéristiques **dynamiques** : telles que la diffusivité thermique (a) et l'effusivité thermique (e) caractérisant le comportement du matériau en fonction de son temps de réaction.

Isolant	Lambda (λ)	Densité (Kg/m ³)	Classification au feu	Isolation acoustique
Laine de chanvre	0.039	40	Inflammable	Bonne
Laine de coton	0.040	15	Inflammable	Bonne
Laine de bois	0.040	40	Inflammable	Bonne
Laine de mouton	0.039	15	Inflammable	Bonne
Laine de verre	0.037	20	Incombustible	Bonne
Laine de roche	0.037	20	Incombustible	Bonne
Ouate de cellulose	0.037	35	Difficilement inflammable	Très bonne
Polystyrène	0.038	15	Fumées nocives	Mauvaise
Liège	0.045	15	Inflammable	Bonne
Lin	0.037	30	Inflammable	Bonne
Polyuréthane	0.022	30	Inflammable	Moyenne

Tableau 7.7a: Caractéristiques et type d'isolants pour le bâtiment.

Source : AFNOR, 2015.

Matériaux	Densité kg/m ³	Conductivité thermique W/m ² .°C	Capacité thermique Wh/m ³ .°C	Epaisseur hiver en cm	Epaisseur été en cm ¹
Laine de bois	160	0,050	90	23	20
Laine de bois	55	0,040	31	18	31
Laine de bois	40	0,040	23	18	36
Ouate de cellulose (insufflée)	60	0,038	31	17	30
Ouate de cellulose (panneaux)	85	0,040	44	18	26
Paille de lavande broyée	110	0,055	50	25	29
Chênevotte	90	0,055	48	25	29
Liège expansé (vrac)	60	0,045	31	20	33
Perlite	80	0,050	22	23	41
Vermiculite	100	0,075	96	34	24
Polyuréthane rigide	30	0,030	12	14	43
Coton	20	0,040	6	18	71
Laine de mouton	10	0,040	5	18	78
Laines de verre	15	0,040	5	18	78
Laines de roche	40	0,045	34	20	32
Polystyrène	7	0,035	3	16	94
Fibres polyester	15	0,045	2	20	130
Structure					
Brique alvéolaire	750	0,125	210	56	21
Bois lourd (chêne, mélèze)	600	0,210	315	95	22
Bois léger (résineux, feuillus)	300	0,120	158	54	24
Béton cellulaire	400	0,147	96	66	34
Paille	80	0,070	31	32	41

Tableau 7.7b: Caractéristiques et type d'isolants pour le bâtiment.

Source : AFNOR, 2015.

La conductivité thermique est le facteur clé de l'isolation en hiver.

La capacité thermique est le facteur clé de l'isolation en été.

$R = 1 / \text{conductivité thermique}$.

13.2.3. La performance des matériaux isolants :

L'effet de l'isolation thermique d'un matériau se définit par sa conductivité thermique (le coefficient λ). Sa performance est qualifiée par la résistance thermique R en $m^2.k/w$.

Caractéristiques Isolant	Caractéristiques Techniques et Isolantes du matériau					
	Conductivité thermique λ (W/m.K)	Densité (kg/m ³)	Résistance à la diffusion vapeur d'eau Sd (m)	Chaleur spécifique (kJ/kg.K)	Temps de Déphasage Heure	Capacité hygrosopique
Lame d'air de 5cm	0.026	1	0	1000	03	Non
Polystyrène expansé de 4cm	0.032	10	20	1450	04	Non
Ouate de Cellulose de 4cm	0.042	23	2	1900	12	Moyenne

Tableau 7.8 : Caractéristiques Techniques des isolants utilisés. Source : AFNOR 2015.

Les matériaux isolants sont sélectionnés selon des critères techniques, isolantes et environnementales et selon leurs origines : minérale, végétale, animale, synthétique et de récupération ou de recyclage.

Caractéristiques Isolant	Bilan environnemental				
	Énergie grise (utilisée) (kWh/m ³)	Effet de serre (kgCO ₂ /UF)	Traitement en fin de vie	Confort d'Été Obtenu	Nature de l'isolant
Lame d'air de 05cm	/	/	/	6/20	/
Polystyrène Expansé de 04cm	450	10	Mise en Décharge 100%	9/20	Synthétique
Ouate de Cellulose de 04cm	50	-10	Recyclable 100%	18/20	Issu du Recyclage

Tableau 7.9: Bilan Environnemental des isolants utilisés. Source : AFNOR 2015.

13.2.4. Les Techniques d'isolation:

La mise en place du système d'isolation d'un bâtiment, présente trois 03 techniques pour isoler l'enveloppe de ce dernier : l'isolation répartie ou conventionnelle, l'isolation par l'extérieur ITE, et l'isolation par l'intérieur ITI.

13.2.5. Premier niveau de simulation :

Tout d'abord pour entamer la simulation avec ses différents niveaux, nous commençons par étudier (l'analyse énergétique et environnementale par approche type analyse de cycle de vie ACV), le bâtiment à son état initial avec toutes les solutions techniques réalisées (double paroi, simple vitrage teinté des baies vitrées, systèmes structurel et énergétique, etc.....),

brise soleil, masques intégrés, selon les conditions réelles de la conception et réalisation de ce bâtiment.

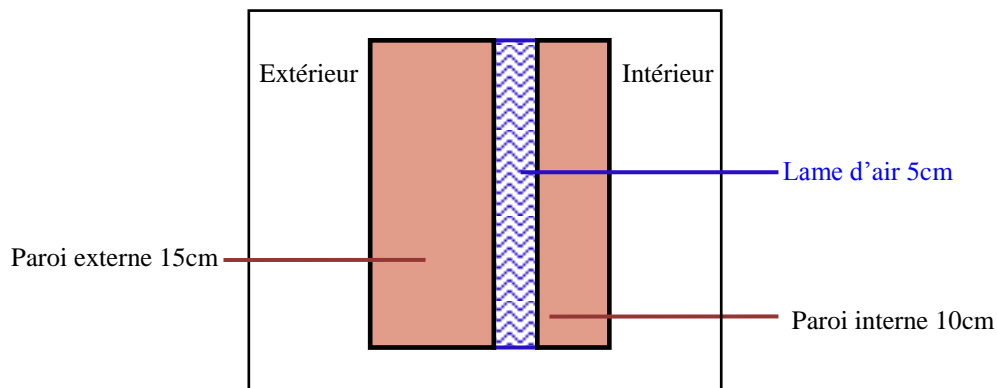


Figure 7.29: Configuration initiale des murs extérieurs du bâtiment. Source : Auteur, 2017.

13.2.6. Deuxième niveau de simulation :

Nous soulignons que notre intervention consiste tout d'abord à modifier le matériau isolant au niveau de l'enveloppe du bâtiment sans pour autant changer la composition initiale de ces murs extérieurs dont la composition est constituée par : une paroi extérieure en brique de terre cuite creuse de 15cm / un isolant / une paroi intérieure en brique creuse de 10 cm.

Initialement les murs extérieurs de l'enveloppe du bâtiment se présentent sous la forme d'une double paroi avec une lame d'air de 05cm séparant les deux murs en brique creuse à base de terre cuite (15cm / lame d'air 5 cm / 10 cm).

Pour le choix d'autres matériaux isolants on se réfère aux fiches techniques des isolants destinés au secteur du bâtiment (Tab. 6.20), dont on remarque un grand nombre et une panoplie de matériaux isolants d'origines diverses.

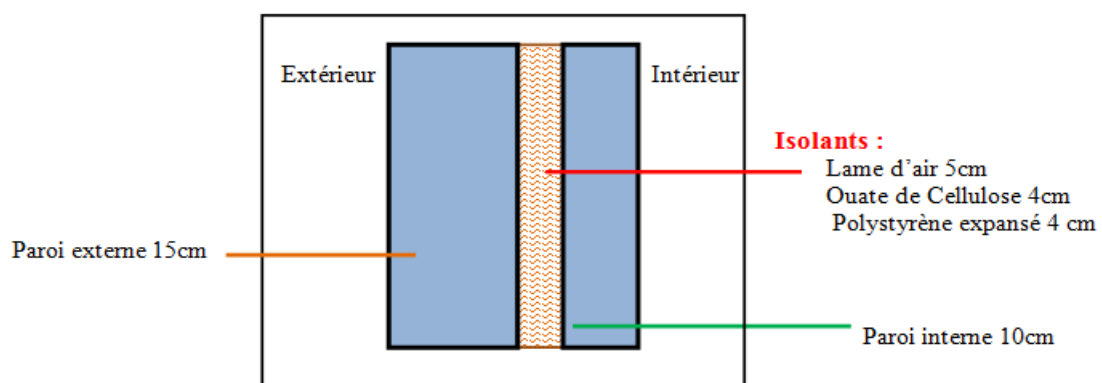


Figure 7.30: Autres isolants pour les murs extérieurs du bâtiment. Source : Auteur, 2017.

13.2.6.1 Indices et critères d'un isolant :

Le tableau comparatif ci-dessus (Tab.6.20) reprend les critères permettant de reconnaître un bon isolant pour le secteur de la construction. Il liste donc les niveaux de performance des isolants les plus utilisés dans le secteur du bâtiment et de la construction.

Après lecture du tableau sus indiqué, une étude comparative des caractéristiques isolantes et environnementales, a permis de faire le choix de deux autres matières isolantes, d'origines différentes pour les proposer dans notre étude énergétique et environnementale :

- a. Le *polystyrène expansé*, matière isolante d'origine synthétique, très utilisé dans le secteur de la construction et très disponible sur le marché national avec différentes épaisseurs et des prix unitaires très accessibles.
- b. Une autre matière isolante est proposée dans cette étude est la *Ouate de cellulose*, choisie pour ses caractéristiques techniques, isolantes et environnementales très remarquables, c'est une matière issue de récupération et récupérable à 100%.

Le matériau isolant **Ouate de cellulose** est caractérisé par les spécificités techniques et physiques suivantes (AFNOR, 2015):

- a. une meilleure conductivité thermique (λ) **0.037 W/m.K**,
- b. une chaleur spécifique **1900kJ/kg.K**
- c. et surtout un temps de déphasage très intéressant de 12h (Tab 6.8).
- d. Issu du recyclage de papiers, journaux et cartons, la **Ouate de cellulose**, matériau écologique, présente un bilan environnemental positif.

Ce matériau isolant *la Ouate de cellulose* favorise un excellent confort d'été, avec une quantité très réduite de l'énergie grise utilisée **50kwh/m³**, vu que c'est une matière d'origine le recyclage de papiers et journaux, sans aucun effet de serre et surtout par son traitement en fin de vie (recyclable dans sa totalité, à 100%) (Tab 6.9).

Nous soulignons que notre intervention se résume d'abord à modifier l'isolant au niveau de l'enveloppe du bâtiment sans pour autant changer la composition initiale des murs (paroi extérieure 15cm/ **isolant**/paroi intérieure 10cm). Deux autres isolants ont été envisagés en raison de leurs caractéristiques thermiques et environnementales, il s'agit donc du Polystyrène de 04cm et la Ouate de Cellulose de 04cm d'épaisseur.

En somme, nous avons trois variantes du mur extérieur de l'enveloppe du bâtiment pour cette analyse de cycle de vie ACV. Par une simulation informatique, l'étude énergétique et environnementale du bâtiment, déterminera le type d'isolant le plus performant (fig.6.8) :

1. **Variante initiale1** : Paroi dite '**traditionnelle**' composée de matériaux couramment utilisés : paroi extérieure en brique creuse de terre cuite de 15cm/ lame d'air 05cm/paroi intérieure en brique creuse de terre cuite de 10cm (avec une isolation conventionnelle).
2. **Variante02** : la même paroi avec isolation légère (polystyrène expansé de 4cm).
3. **Variante 03**: la même paroi avec isolation plus importante (Ouate de cellulose de 4cm).

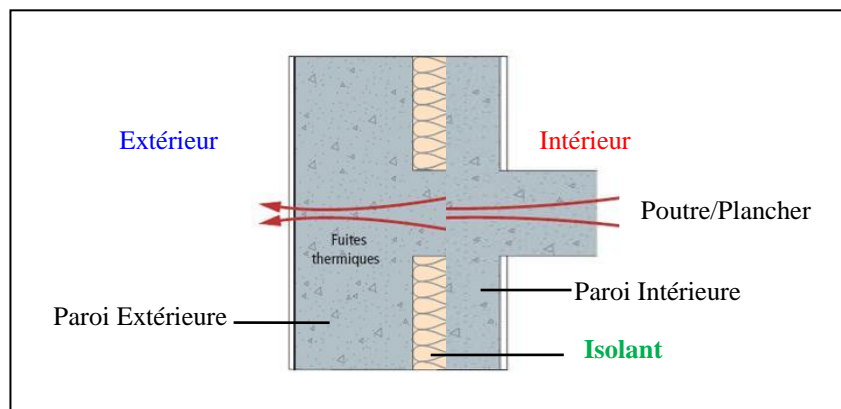
13.2.6.2. La technique d'isolation : Trois 03 techniques de mise en place, sont envisagées pour isoler l'enveloppe d'un bâtiment. Elles sont définies selon arrêté ministériel portant approbation du document technique réglementaire DTR- C3-T, de la réglementation thermique Algérienne du bâtiment en vigueur:

Aussi, dans cette étape du travail, il s'agira de définir la technique de mise en place et le meilleur des systèmes d'isolations de l'enveloppe du bâtiment, parmi ceux suivants et ce en matière de performances énergétiques et environnementales: i) le conventionnel: l'isolation répartie, puis ii) l'isolation par l'intérieur et ensuite iii) l'isolation par l'extérieur.

Finalement, trois 03 variantes pour la simulation par rapport à la technique de l'isolation sont sélectionnées (fig.6.25 et 6.26).

1. Isolation répartie ITR: où l'isolant est placé entre les deux murs de l'enveloppe en façade (paroi extérieure 15cm/ isolant /paroi intérieure 10cm). L'épaisseur de cet isolant variera en fonction de sa nature, la paroi est dite '**traditionnelle**'. L'Isolation répartie est assurée exclusivement par l'épaisseur de la paroi (ex : blocs à perforations verticales en terre cuite, blocs en béton cellulaire).

L'isolation répartie n'est réalisable que pour une construction neuve ou en extension puisqu'elle est étroitement liée au gros œuvre. En effet le choix du matériau des parois doit être fait de telle sorte que les parois seront par nature isolantes.



1. Isolation Répartie.

Figure7.31: Isolation répartie pour les murs extérieurs du bâtiment. Source : Auteur, 2017.

2. Isolation par l'intérieur ITI : Isolation par une couche isolante appliquée du côté intérieur sur une paroi verticale de l'enveloppe. L'isolation des murs extérieurs par l'intérieur, ou plus simplement dit, l'isolation intérieure, est de plus en plus souvent utilisée en cas de travaux de rénovation.

Cette méthode est surtout utilisée quand les murs creux ne sont pas isolés ou quand une rétro-isolation est nécessaire pour plus de confort. Ce type d'isolation présente plusieurs inconvénients tels que la formation de ponts thermiques, et annule l'inertie des murs, réduit la surface habitable.

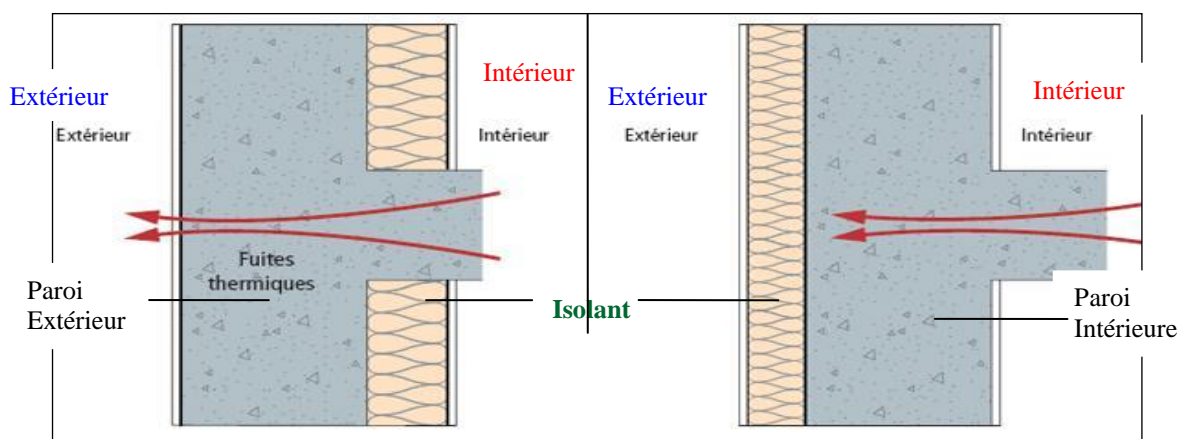


Figure7.32: Isolation par l'intérieur et par l'extérieur pour les murs extérieurs du bâtiment.

Source : Auteur, 2017.

3. Isolation par l'extérieur ITE: Isolation par une couche isolante appliquée du côté extérieur sur une paroi verticale de l'enveloppe d'un bâtiment. L'isolation par l'extérieur a pour but d'augmenter l'inertie thermique d'un bâtiment en réduisant considérablement les transferts de chaleur.

Plus efficace que l'isolation intérieure, l'isolation par l'extérieur supprime les ponts thermiques (perte de chaleur à certains points de jonction) et ne réduit pas la surface habitable.

Elle s'applique particulièrement aux bâtiments basse consommation, mais ne convient pas à certains types de constructions présentant une large surface vitrée, du relief (balcons, corniches) ou de trop nombreuses ouvertures.

En ce qui concerne ce travail, notre intervention après le choix d'autres matériaux isolants et en les associant aux trois techniques d'isolation, on arrive à avoir sept 7 types de variantes des murs extérieurs, selon le tableau suivant :

Variantes des murs extérieurs	Isolation Répartie			Isolation par l'Extérieur		Isolation par l'Intérieur	
	Variante1 Lame d'air	Variante2 Polystyrène	Variante 3 Ouate Cellulose	Variante 4 Polystyrène	Variante 5 Ouate Cellulose	Variante 6 Polystyrène	Variante 7 Ouate Cellulose

Tableau 7.10: Les sept alternatives des murs extérieurs de l'enveloppe du bâtiment. Auteur, 2017.

Ainsi, les premiers résultats des études par approche type cycle de vie, vont déterminer le meilleur rapport *Isolant / Technique d'isolation* relatif au bâtiment , et par rapport aux aspects énergétiques et environnementaux le long du cycle de vie de ce dernier.

13.2.7. Troisième niveau de simulation :

Les fenêtres, baies vitrées et murs rideaux représentent une surface très considérable dans l'enveloppe. Ils sont exposés à différentes conditions climatiques, influent directement sur le bilan thermique du bâtiment, par les gains solaires et les surchauffes.

Conscient de cette importance, le travail de simulation à ce niveau consiste à intervenir sur les baies vitrées par la modification du type de vitrage (amélioration du vitrage).

Le travail consiste à comparer pour une même configuration de l'enveloppe, par analyse de cycle ACV bâtiment, les besoins en énergie pour le fonctionnement des systèmes HVAC et de l'éclairage, ainsi que les impacts environnementaux engendrés lorsqu'on change de type de vitrage, commençant par celui réalisé dans l'état initial du bâtiment par un simple vitrage blanc ou teinté, puis proposer un double vitrage, et une autre alternative celle d'un double vitrage à faible émissivité VFE ou à un vitrage à isolation renforcée VIR, avec les caractéristiques (Tab.6.3).

13.2.8. Quatrième niveau de simulation :

On remarque dans le cas initial du bâtiment, que l'enveloppe de ce dernier n'est pas équipée de dispositifs de protections solaires.

Dans ce stade, l'étude va porter sur la vérification de l'efficacité des éléments de protection pour un niveau plus élevé de la performance et cela après avoir défini le type de vitrage le plus performant à utiliser dans baies, murs rideaux et façades du bâtiment.

Il s'agit de faire des proposition des dispositifs de protections solaires pour atténuer l'effet néfaste du soleil tels que, brises soleil, masques intégrés au bâtiment, moucharabiehs, stores, etc...

On peut intégrer des éléments orientables selon la course du soleil de manière à profiter des heures d'ensoleillement les plus favorables le plus nombre d'heures possibles.

Les besoins en énergie et l'évaluation des impacts environnementaux par phase de cycle de vie, issus des études énergétiques et environnementales par analyse de cycle de vie ACV de bâtiment, sont seuls les deux paramètres déterminants et d'aide à la décision.

13.2.9. Cinquième niveau de simulation :

Cette dernière étape du travail consiste à intervenir sur les sources d'énergie. Le bâtiment est raccordé aux différents réseaux d'électricité, de gaz et eau potable (seules sources d'énergie), et au réseau d'assainissement. Pour un mix énergétique du bâtiment, le travail abouti sur le mode de production d'énergie du bâtiment par l'intégration de système d'énergie renouvelable (le solaire), pour une maîtrise, une économie de l'énergie et une réduction de la facture énergétique.

13.3. Les systèmes HVAC: (Heating, Ventilation, Air Conditioning)

Dans un bâtiment de bureaux situé dans les zones arides à climat chaud et sec, le confort thermique des usagers ne peut être atteint sans le recours aux différents systèmes HVAC, système de climatisation, de chauffage, et de ventilation de tous les espaces et particulièrement les bureaux.

- a. En hiver, la ville de Biskra peut enregistrer une température moyenne minimale de 2,4°C, alors que la température de confort est de l'ordre de 19°C, ce qui conduit à l'utilisation d'un système de chauffage, et donc des besoins en énergie pour atteindre la température de confort souhaité par les usagers.
- b. L'été à Biskra est très chaud, les températures élevées sont relevées à partir du mois d'Avril jusqu'au mois d'Octobre avec une moyenne maximale de 43.3°C, ce qui démontre une consommation excessive de l'énergie pour le fonctionnement du système de climatisation afin d'atteindre la température de consigne qui est de 26°C.

Et donc, un choix judicieux des systèmes de climatisation et de chauffage est plus qu'important.

On opte donc, pour *une climatisation* de type VRV, (Spleet System) avec l'électricité comme source d'énergie, ou un mix d'énergie à envisager.

Le système VRV (Variable Réfrigérant Volume) fonctionne avec le principe d'un réfrigérant dont le volume est variable selon les besoins des unités intérieures de confort. Que cela soit pour climatiser ou pour chauffer, le système VRV fonctionne avec le principe thermodynamique de pompe à chaleur en hiver et de groupe frigorifique en été.

Aussi, on opte pour *un chauffage* de type individuel (chaque bureau est chauffé individuellement) avec comme source d'énergie, le gaz naturel.

13.4. La ventilation : sera de type ventilation naturelle : Dans ce cas, la circulation de l'air ne s'effectue que grâce à la différence de pression résultant du vent et / ou de la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur des bureaux. Il existe plusieurs possibilités :

- a. Ventilation par simple ouverture des fenêtres ou par dispositif placé sur celle-ci.
- b. Ventilation par les inétanchéités des fenêtres et des portes.
- c. Ventilation par effet de cheminée d'un conduit vertical et par de dispositif en toiture qui est utilisé dans des constructions industrielles.

Cette ventilation (aération) nécessaire pour renouveler l'air dans les bureaux, doit cependant être limitée pour deux raisons:

a. La consommation de chauffage :

L'air utilisé pour aérer le bureau est pris à l'extérieur, et à une température fraîche pendant l'hiver et doit être réchauffé. L'énergie nécessaire représente une part non négligeable des déperditions pouvant atteindre 50 à 60 % quand les bâtiments sont très bien isolés.

b. Le confort :

Une aération intempestive peut provoquer des courants d'air qui sont nuisibles au confort dès que leur vitesse dépasse 0.1 m/s(gêner les usagers à accomplir leurs tâches administratives, déplacement de papiers,...).

13.5. Les systèmes d'énergie:

L'Energie utilisée pour tous les bâtiments est issue des raccordements aux différents réseaux publics, et est présentée sous deux formes :

1. Le gaz naturel (gaz de ville) pour alimenter les systèmes de chauffage, chaufferie, cuisine, four, etc....
2. L'électricité est l'énergie la plus utilisée dans tous les bâtiments pour l'éclairage des espaces, et pour faire fonctionner tous les systèmes de climatisations, appareils et équipements bureautiques et informatiques.

L'intégration des systèmes de production d'énergie tels que (panneaux photovoltaïques, panneaux solaires thermiques, etc....) à base d'énergie renouvelable non polluante, pour la production de l'électricité, est nécessaire pour le bon fonctionnement des systèmes HVAC,

l'éclairage et l'eau chaude sanitaire. D'autre part, cet apport d'énergie sera déduit de la quantité totale demandée par le bâtiment (total des besoins en énergie du bâtiment).

Il est à noter qu'un 1.00 m² de surface photovoltaïque permet de produire une quantité de : 100kWh /an en moyenne et jusqu'à 130 kWh/an pour les zones ensoleillées (ce qui coïncide à notre contexte d'étude, la ville Biskra), avec le rendement de la technologie photovoltaïque est de 14 à 18%. Ainsi, le délai nécessaire pour rentabiliser financièrement (l'amortissement financier) toute l'installation et les équipements est généralement entre sept 7 à 10 dix ans. Aussi la durée de vie d'un système photovoltaïque est de 20 à 30 ans. Et, sur le plan environnemental, on doit souligner que 1m² de panneau photovoltaïque économise l'émission de 100kg de CO₂ par an (Energies-Plus).

Conclusion:

Cette recherche s'appuie sur une approche analyse de cycle de vie ACV de bâtiment, qui consiste à une étude thermique dynamique et une seconde étude environnementale.

La première étude, est énergétique ayant comme objectif de quantifier tous les besoins en énergie par rapport à un niveau de confort à atteindre dans tous les espaces de bureaux et à chaque étage de ce bâtiment, tout en fixant la température intérieure et le taux d'humidité relative à ne pas dépasser (en respectant les plages de confort de température entre 19°C et 26°C, et d'humidité relative de 30% à 60%).

La seconde étude, est environnementale pour évaluer tous les impacts et les émissions sur l'environnement du bâtiment durant tout le long de son cycle de vie.

Le premier objectif est de vérifier les performances thermiques, la qualité de l'isolation de l'enveloppe pour une optimisation et une économie dans les consommations de l'énergie.

Le but de cette recherche ne s'arrête pas là, on procède ensuite à définir les critères de la performance environnementale de ce bâtiment, et de vérifier cette empreinte par rapport à des indicateurs environnementaux normalisés selon les standards ISO de l'approche type Analyse de Cycle de Vie, pour la protection de l'environnement et la préservation de l'énergie.

A cet effet, l'enveloppe est le lieu privilégié des relations et d'échanges entre espaces intérieurs et extérieurs. L'orientation du bâtiment est le paramètre clé des interactions thermiques, acoustiques et visuelles d'un bâtiment.

L'objectif de la présente étude est d'évaluer, de quantifier et de comparer les impacts environnementaux de l'enveloppe du bâtiment à partir d'un constat à partir de son état initial (selon sa réalisation du bâtiment), et après les différentes alternatives d'améliorations concernant les murs extérieurs, leurs compositions, et leurs systèmes d'isolations concernant aussi bien les matériaux isolants que leurs techniques de mise en place.

La méthode d'évaluation environnementale employée est l'Analyse de Cycle de Vie ACV de bâtiment, c'est une approche scientifique basée sur la série de normes ISO 14000 et 14040, elle permet de réaliser l'écobilan d'un projet, favorisant une meilleure compréhension de l'incidence environnementale, et s'applique dans une politique de protection de l'environnement et d'économie d'énergie.

Trois cas sont donc envisagés, les murs pourvus d'isolants dont les matières sont d'origines diverses: le *Polystyrène expansé*, un matériau d'origine synthétique, aussi la *Ouate de Cellulose* un autre matériau issu du recyclage de papiers et journaux et de cartons

d'emballage. Les deux murs extérieurs à base de ces deux matières isolantes, sont comparés à un mur en briques, isolé d'une façon conventionnelle (une lame d'air de 05cm sépare les deux parois en brique de terre cuite creuses, extérieure de 15cm et intérieure de 10cm).

Ajouté aux choix des isolants, les trois techniques de mise en place de l'isolation des murs extérieurs de l'enveloppe ont été envisagées pour les trois matières isolantes sélectionnées. Au début, l'isolation répartie comme technique conventionnelle, ensuite deux autres alternatives, la première technique est l'isolation des murs extérieurs par l'extérieur ITE, comparée ainsi à la technique de l'isolation par l'intérieur ITI.

Ensuite, le travail concerne aussi, les fenêtres et baies vitrées et leur type de vitrage utilisé et son niveau d'isolation (simple vitrage, double vitrage, et double vitrage à faible émissivité). L'intervention touche le type de vitrage (remplacer le un simple vitrage utilisé, par un double vitrage, ou double vitrage à isolation renforcée ou un vitrage à faible émissivité).

L'étude prend en compte aussi les dispositifs de protection des fenêtres et des baies vitrées, spécifiques aux régions arides à climat chaud et sec.

Aussi, la proposition d'intégration des systèmes d'énergie renouvelable pour contribuer à couvrir certaines quantités et de réduire les besoins en énergie du bâtiment et par conséquent de minimiser ses impacts sur l'environnement.

Dédiée à l'évaluation de l'empreinte environnementale, la présente étude associe de différents matériaux de construction et des assemblages entrant dans l'enveloppe des bâtiments (murs extérieurs), en s'appuyant sur la base de données **Eco-Invent** et sur le logiciel d'analyse de cycle de vie **Nova-Equer** qui est chaîné aux logiciels de simulation thermique dynamique(**Pléiades-Comfie**).

Chapitre VIII :

Résultats & Interprétations.

Introduction:

Un bâtiment de bureaux est destiné essentiellement à l'accueil et au service des usagers.

Il doit donc offrir les conditions favorables à l'accueil, et au travail du personnel présent le long des journées ouvrables de chaque semaine.

Définir les indicateurs de performance d'un bâtiment veut dire avoir bien répertorié les fonctions que le bâtiment doit remplir pour les usagers. Nous nous sommes donc penchés en priorité sur les besoins et le confort des usagers (employés) dans leurs bureaux.

L'organisation spatio-temporelle est importante, elle doit répondre aux besoins spécifiques des employés (administratifs et techniques) et des usagers de ce bâtiment tertiaire : en l'occurrence, le siège de l'agence foncière de la wilaya de Biskra.

La plupart de ces besoins seront traduits par les indicateurs de qualité de vie et de confort d'usage (visuel, thermique, qualité de l'air,...) pour les occupants des espaces de ce bâtiment.

Les résultats des simulations énergétiques permettent de définir les consommations énergétiques de ce même bâtiment durant tout son cycle de vie, commençant par le bâtiment dans son état initial, et après chaque niveau d'amélioration considéré. Les niveaux et taux de confort ou d'inconfort seront alors définis.

Ensuite, à chaque niveau de consommation d'énergie correspond une empreinte environnementale causée par l'utilisation de ce bâtiment.

Ce sont les indicateurs des impacts environnementaux à un niveau global, ou par phase du cycle de vie du bâtiment et qui sera focalisée par type d'impact sur la santé humaine, la qualité de l'air, l'hygiène et les écosystèmes.

1. Les résultats de l'analyse environnementale :

Les différentes variantes théoriques et alternatives d'amélioration du bâtiment ont été étudiées, et qui se particularisent par le système d'isolation (matériau isolant et la technique d'isolation retenue) des parois extérieures, et le type de vitrage au niveau des baies, ainsi que le dispositif de protections solaires envisagées et à intégrer à l'enveloppe du bâtiment.

Aussi, l'intégration des sources d'énergie renouvelables, influent positivement sur le bilan énergétique et environnemental du bâtiment.

L'analyse de cycle de vie ACV, évalue les besoins en énergies et les impacts environnementaux. Elle permet de déterminer le matériau isolant le plus performant ainsi que la technique de mise en place. Elle nous oriente aussi, aux meilleurs choix des vitrages et de dispositifs de protection solaires, pour une efficacité énergétique, une performance thermique et une empreinte environnementale maîtrisée, durant toute sa durée de vie.

2. Exploitation des résultats:

La méthodologie d'analyse de cycle de vie ACV, proposée dans ce travail a comme objectif de donner aux acteurs du bâtiment (en particulier les concepteurs, et les maîtres d'ouvrage), une aide à la décision pour les choix des matériaux, éléments de compositions de l'enveloppe, systèmes structurels et énergétiques et système HVAC du bâtiment, par la comparaison de différentes alternatives de conception, en fonction de leurs performances thermiques, énergétiques et environnementales.

Pour faciliter leur interprétation, l'interface d'exploitation propose de représenter graphiquement ces résultats de plusieurs façons afin de permettre une bonne lecture de la part des utilisateurs de cette approche ACV du bâtiment:

- a. Les graphes de type Radar, ou appelé « diagramme radar ».
- b. Les histogrammes.
- c. Les barres.
- d. Les secteurs
- e. Les valeurs numériques exportables vers Excel.

2.1. Résultats numériques des impacts du bâtiment:

Tous les impacts environnementaux considérés pour l'analyse de cycle de vie ACV du bâtiment sont quantifiés globalement pour tout l'ensemble de son cycle de vie, et distinctement pour chaque phase de ce cycle de vie (phases de construction, d'utilisation, de

rénovation, et de démolition), permettant ainsi, de mettre l'accent sur laquelle des phases de vie du bâtiment la plus impactant.

Et donc on peut y remédier et d'apporter une aide dans la prise de décision dans les choix conceptuels, par des solutions et d'autres alternatives afin de minimiser les émissions et de réduire les impacts du bâtiment sur l'environnement.

Les impacts environnementaux engendrés durant tout le cycle de vie du bâtiment, sont regroupés en catégories:

- a. Impacts sur les écosystèmes.
- b. Changements climatiques.
- c. Impacts sur les ressources.
- d. Impacts sur la sante humaine.

Aussi, ils peuvent être regroupés en trois 03 grandes familles selon leur aspect :

1. L'aspect **énergétique** regroupe: l'énergie consommée, l'eau utilisée, l'épuisement des ressources abiotiques et les déchets inertes produits.
2. L'aspect **environnemental** regroupe: les déchets radioactifs, l'effet de serre, l'acidification, l'eutrophisation.
3. L'aspect **sanitaire** regroupe: la toxicité humaine, la production d'ozone photochimique, et les odeurs.

Le bâtiment étudié a nécessité une consommation d'énergie assez importante dans la phase de construction (annexe2).

Aussi durant son utilisation, les consommations d'énergie ainsi que l'eau utilisée sont très considérables (annexe2).

Mais l'indicateur de l'épuisement des ressources abiotiques, a des valeurs acceptables.

En fin de vie, c'est l'impact de production des déchets inertes qui est très important dans cette phase finale de la vie du bâtiment (annexe2).

En ce qui concerne l'empreinte environnementale, et par rapport aux différentes phases du cycle de vie de bâtiment, on peut noter que :

- a. Durant la phase de construction : l'acidification est l'impact le plus émergeant.
- b. Pour la phase d'utilisation : c'est l'effet de serre qui est le plus important.
- c. Tandis que l'eutrophisation et les déchets radioactifs présentent des valeurs réduites durant toutes les phases du cycle de vie du bâtiment.

d. Les impacts à aspect sanitaire se manifestent fortement dans les phases de construction et d'utilisation avec des valeurs plus ou moins distincts, dont la toxicité humaine paraît plus importante durant la phase de construction autant que le dégagement des odeurs durant l'utilisation de ce bâtiment.

2.2. Résultats sous forme d'Eco-profil :

L'affichage des résultats de l'analyse de cycle de vie ACV du bâtiment sous forme d'éco-profil, permet une bonne lecture des différents impacts résultants et par phase de cycle de vie. L'éco-profil résume l'ensemble des résultats numériques de cette étude, et donne une lecture comparative des autres alternatives et des solutions d'améliorations à envisager pour le bâtiment (annexe2).

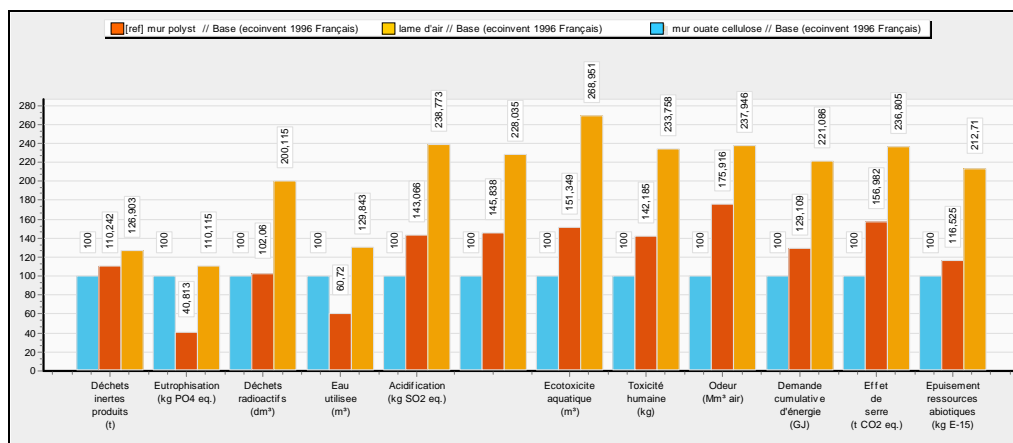


Figure8.1 : Histogramme des alternatives des murs de l'enveloppe du bâtiment. Auteur, 2017.

En ce qui concerne notre bâtiment cas d'étude, il est à noter que l'énergie consommée, l'eau utilisée sont à la tête de la liste des impacts, suivis par, le dégagement des odeurs, la toxicité humaine, et l'acidification. Aussi tous les autres indicateurs d'impacts environnementaux viennent avec des valeurs plus ou moins réduites (annexe2).

On remarque aussi, que la quantité de déchets radioactifs après la démolition, l'énergie consommée et l'effet de serre durant l'utilisation, et la production d'ozone photochimique présentent tous un taux très élevé. L'eutrophisation est le moindre impact de ce bâtiment et durant tout son cycle de vie (annexe2).

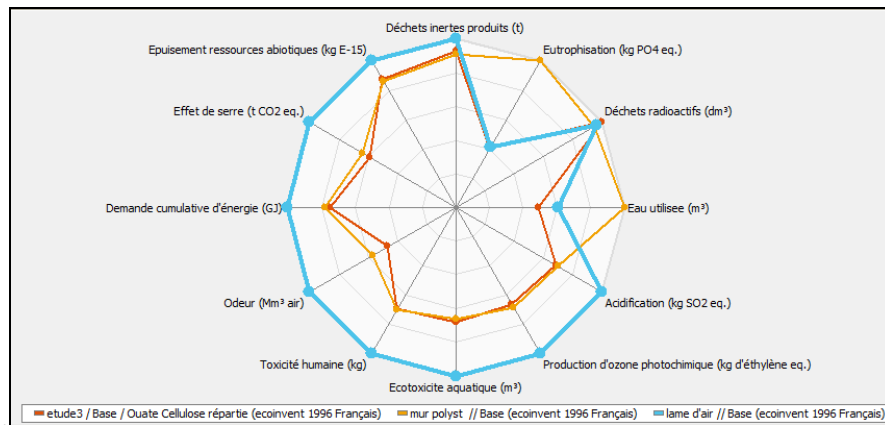


Figure 8.2: Diagramme radar des alternatives des murs de l'enveloppe du bâtiment.
Source : Auteur, 2017.

3. L'énergie utilisée, déchets et rejets du bâtiment :

En ce qui concerne l'étude d'analyse de cycle de vie ACV du bâtiment, les paramètres seront simplifiés. En ce qui concerne les déchets de bureaux, aucun traitement n'a été envisagé, ni le transport des usagers. Aussi, les déchets de construction seront considérés comme inertes.

On considèrera une consommation d'eau froide de 40l/personne/jour et de 20l/personne/jour pour l'eau chaude à 40°C ou 1,75 litre par m² de surface habitable, avec un rendement du réseau d'eau considéré de 80%. L'énergie pour le système de chauffage est le gaz naturel.

Pour le système de la climatisation et l'éclairage des bureaux, l'énergie choisie est l'électricité.

En ce qui concerne l'utilisation des énergies renouvelables dans le bâtiment, l'analyse de cycle de vie ACV, étudie les deux alternatives du bâtiment: une première sans aucune source d'énergie renouvelable (le bâtiment dans état réalisé), et une deuxième variante intégrant les systèmes solaires thermiques et photovoltaïques comme source d'énergies renouvelables.

Le bilan énergétique du bâtiment étudié se présente sous la forme d'un diagramme (diagramme de flux) appelé *Diagramme de Sankey* (annexe1).

Dans ce dernier sont calculés tous les besoins thermiques nets pour assurer : le chauffage, et la climatisation du bâtiment tout en tenant compte des apports internes de:

- Des occupants (leur métabolisme).
- De l'ensoleillement (apports solaires).
- La chaleur dissipée par les équipements d'éclairage (lampes, et luminaires) et les appareils informatiques à l'intérieur de chaque zone étudiée.

La consommation finale sera déduite en fonction du rendement global des équipements de chauffage, des installations de climatisation, et donc des pertes thermiques (production, régulation, distribution et émission) de ces équipements.

Les déperditions ou les besoins bruts sont la quantité totale d'énergie qu'il faut fournir au bâtiment pour compenser les pertes thermiques du bâtiment en fonction des scénarios d'usage relatifs au chauffage, à la climatisation, et à la ventilation.

Elles sont compensées par les apports internes utiles et d'énergie apportée par le système de chauffage (besoins thermiques nets).

4. Tableaux de synthèses :

L'analyse thermique du bâtiment achevée et les résultats apparaissent sous forme de tableaux présentant d'une manière synthétique des indices qui permettent de mettre rapidement l'accent sur les points forts et les points faibles pour chaque zone du bâtiment étudié. Une première lecture permet de dégager les points suivants :

- a. Besoins en énergie pour le Chauffage.
- b. Besoins en énergie pour la Climatisation ou Refroidissement.
- c. Besoins en énergie pour l'éclairage.
- d. Besoins en énergie pour la ventilation.

Elle détermine les Bureaux qui manifestent successivement les plus hauts taux de besoins en chauffage, ou pour la climatisation, et ceux avec des taux diminués, ainsi que les niveaux d'inconfort évalué en taux et en heures.

5. Interprétations des résultats de la simulation:

Par rapport aux caractéristiques thermiques, techniques et isolantes des différents matériaux isolants destinés au secteur de la construction, et pour leur utilisation au niveau de la composition de l'enveloppe du bâtiment (tab.6.10), nous avons sélectionné deux matériaux isolants parmi une liste très élargie de matières isolantes, pour étudier leur comportement dans le système d'isolation des murs de l'enveloppe du bâtiment, dont leurs bilans environnementaux respectifs (tab. 8.1).

Caractéristiques Isolant	Bilan environnemental				
	Énergie grise (utilisée)(kWh/m3)	Effet de serre (kgCO ₂ /UF)	Traitement en fin de vie	Confort d'Été Obtenu	Nature de l'isolant
Lame d'air de 05cm	/	/	/	6/20	/
Polystyrène Expansé de 04cm	450	10	Mise en Décharge 100%	9/20	Synthétique
Ouate de Cellulose de 04cm	50	-10	Recyclable 100%	18/20	Issu du Recyclage

Tableau 8.1: Caractéristiques Environnementales des isolants. Source AFNOR, 2015.

La Ouate de Cellulose est un matériau issu du recyclage de papiers et journaux et cartons d'emballages, matériau recyclable permet un bon confort d'été, avec une quantité très réduite d'énergie grise utilisée.

Les résultats de la simulation thermique dynamique du bâtiment confirment, que ce matériau est aussi plus performant dans sa composition des murs extérieurs du bâtiment. les résultats de l'analyse de cycle de vie permettent donc de faire le choix du matériau isolant dans une première étape du travail par rapport au facteur énergétique.

Les résultats (tab.8.2) de cette simulation thermique dynamique STD des sept variantes des murs extérieurs de l'enveloppe du bâtiment, nous ont permis de définir l'ensemble des besoins en énergie (énergie pour le chauffage, la climatisation, et l'éclairage, et l'eau utilisée,..) pour assurer le niveau de confort, quel que soit la composition du mur étudié.

Variantes		Isolation Répartie			Isolation par l'Extérieur	Isolation par l'Intérieur		
		Variante1 Lame d'air	Variante2 Polystyrène	Variante 3 Ouate Cellulose	Variante 4 Polystyrène	Variante 5 Ouate Cellulose	Variante 6 Polystyrène	Variante 7 Ouate Cellulose
Energie Chauffage	Kwh	10 082,00	888,00	881,00	9 327,00	8 694,00	9 344,00	8 628,00
Energie Chauffage/ m ²	Kwh / m ²	19,00	9,00	9,00	18,00	17,00	18,00	17,00
Energie Climatisation	Kwh	30 772,00	20 350,00	20 169,00	29 567,00	28 774,00	29 384,00	28 851,00
Energie Climatisation/m ²	Kwh /m ²	59,00	213,00	211,00	57,00	55,00	56,00	55,00

Tableau 8.2 : Besoins en Energie des compositions du mur. Source : Auteur 2017.

Après avoir comparé les résultats (tab.8.3), nous avons classé les différentes alternatives de compositions du mur selon les besoins d'énergie et dont le constat de remarquables écarts. Les murs à base de la *Ouate de cellulose* montrent que ce matériau isolant est plus performant par rapport aux autres isolants utilisés (lame d'air et le polystyrène expansé). Les résultats confirment de faibles besoins en énergie pour le chauffage et la climatisation lorsqu'on a utilisé l'isolant *Ouate de cellulose* (tab.8.3).

Par rapport au critère thermique, et quel que soit la variante étudiée, nous avons opté pour l'utilisation de la *Ouate de cellulose* dans la composition du mur extérieur, car cette dernière présente les plus faibles valeurs de besoins en énergie pour le chauffage, et la climatisation relativement par rapport aux autres matériaux isolants, et quelque soit la technique de mise en place, ou la technique d'isolation.

Nous classons, alors, le *Polystyrène expansé* dans le deuxième rang suivi de la *lame d'air* (Tab.8.3), comme le type conventionnel du système d'isolation.

L'étude peut être étendue pour un nombre important d'isolants (on peut étudier d'autres matières isolantes), puis leur comparaison permettra de les comparer et de les classer.

Variantes	Isolation Répartie			Isolation par l'Extérieur		Isolation par l'Intérieur	
	Variante 1 Lame d'air	Variante 2 Polystyrène	Variante 3 Ouate Cellulose	Variante 4 Polystyrène	Variante 5 Ouate Cellulose	Variante 6 Polystyrène	Variante 7 Ouate Cellulose
Besoins d'Énergie							
Énergie Chauffage	3	2	1	2	1	2	1
Énergie Climatisation	3	2	1	2	1	2	1
Classement par Besoins Énergie	3	2	1	2	1	2	1

Tableau 8.3: Classement des murs par rapport au Besoins en Énergie.

Source : Auteur 2017.

Suite aux résultats de cette approche d'analyse de cycle de vie ACV de bâtiment (tab.8.3), nous confirmons que l'empreinte environnementale est résultante du taux de consommations énergétiques et du degré des performances thermiques.

On déduit par conséquent que l'optimisation énergétique du bâtiment dépend de ses performances thermiques, et donc une forte relation entre : « Performances énergétiques à atteindre et performances environnementales à justifier ».

Nous avons fait une évaluation comparative de l'empreinte environnementale des trois matières isolantes, et nous avons confirmé que ces éléments sont plus ou moins impactant.

Impact Environnemental	Isolation Répartie ITR			Isolation par l'Extérieur ITE		Isolation par l'Intérieur ITI	
	Variante1 Lame d'air	Variante2 Polystyrène	Variante3 Ouate Cellulose	Variante4 Polystyrène	Variante5 Ouate Cellulose	Variante6 Polystyrène	Variante7 Ouate Cellulose
Effet de serre (t CO2 eq.)	797,21	753,98	751,46	586,65	533,69	755,70	747,99
Acidification (kg SO2 eq.)	2 619,51	2 486,56	2 515,38	2 324,18	2 125,00	2 492,59	2 504,99
Demande cumulative d'énergie (GJ)	17 920,88	16 927,74	16 980,94	21 585,12	19 808,80	16 955,46	16 880,20
Eau utilisée (m³)	35 821,18	35 133,86	35 379,54	37 519,84	35 975,52	35 162,42	35 319,37
Déchets inertes produits (t)	476,58	470,60	471,93	453,43	447,21	470,85	471,46
Epuisement ressources abiotiques (kg E-15)	6,22	5,88	5,93	9,93	8,56	5,88	5,89
Eutrophisation (kg PO4 eq.)	854,80	843,15	844,98	820,81	2 104,83	843,66	844,06
Production d'ozone photochimique (kg d'éthylène eq.)	1 390,97	1 324,13	1 331,02	1 173,57	1 074,94	1 327,00	1 325,74
Ecotoxicité aquatique (m³)	14 916 261,98	14 066 767,68	14 308 094,30	13 908 914,16	12 312 913,35	14 105 868,40	14 241 240,52
Déchets radioactifs (dm³)	23,18	22,03	22,43	44,35	38,26	22,04	22,28
Toxicité humaine (kg)	3 413,08	3 249,66	3 283,02	3 007,39	2 771,97	3 257,05	3 270,15
Odeur (m³ air)	8 570,37	8 060,43	7 894,46	4 845,60	4 378,50	8 077,86	7 852,38

Tableau 8.4 : Impacts Environnementaux des compositions du mur. Source Auteur 2017.

Nous constatons aussi que les résultats obtenus de l'étude environnementale par analyse de cycle de vie ACV, (tab 8.4) révèlent que le '*mur base de Ouate de Cellulose*' impacte moins l'environnement que '*le mur base Polystyrène expansé*' ou celui du *mur avec une lame d'air* (le mur conventionnel), quel que soit l'indicateur considéré, et ce relevé dans des proportions (soit 8/12 indicateurs envisagés) et sont favorables pour une isolation par l'extérieur des murs extérieurs du bâtiment.

D'après les résultats des impacts environnementaux (tableaux 8. 5a, 8.5b, et 8.5c) durant le cycle de vie du bâtiment (soit 80 ans), nous avons affirmé que la phase d'utilisation est celle dont les impacts sont les plus élevés (annexe2).

Tableau 8.5a : Impacts Environnementaux par phase du cycle de vie: Source Auteur 2017.

Mur isolé avec Polystyrène expansé

Impacts	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Effet de serre (t CO2 eq.)	80,29	672,86	-0,96	1,80	753,98
Acidification (kg SO2 eq.)	332,54	2 133,01	0,48	20,54	2 486,56
Demande cumulative d'énergie (GJ)	979,87	15 903,85	14,63	29,39	16 927,74
Eau utilisée (m ³)	550,30	34 568,14	1,64	13,78	35 133,86
Déchets inertes produits (t)	25,08	95,31	0,08	350,12	470,60
Epuisement ressources abiotiques (kg E-15)	0,27	5,59	0	0,01	5,88
Eutrophisation (kg PO4 eq.)	37,77	802,09	0,08	3,21	843,15
Production d'ozone photochimique (kg d'éthylène eq.)	205,13	1 096,30	0,37	22,33	1 324,13
Ecotoxicité aquatique (m ³)	757 587,95	13 249 259,85	899,69	59 020,18	14 066 767,68
Déchets radioactifs (dm ³)	2,37	19,54	0,02	0,11	22,03
Toxicité humaine (kg)	499,21	2 723,71	2,05	24,69	3 249,66
Odeur (Mm ³ air)	256,22	7 802,16	0,03	2,02	8 060,43

a1 : Mur avec l'isolation répartie avec Polystyrène expansé

Impacts	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Effet de serre (t CO2 eq.)	80,29	674,58	-0,96	1,80	755,70
Acidification (kg SO2 eq.)	332,54	2 139,03	0,48	20,54	2 492,59
Demande cumulative d'énergie (GJ)	979,87	15 931,57	14,63	29,39	16 955,46
Eau utilisée (m ³)	550,30	34 596,70	1,64	13,78	35 162,42
Déchets inertes produits (t)	25,08	95,57	0,08	350,12	470,85
Epuisement ressources abiotiques (kg E-15)	0,27	5,60	0	0,01	5,88
Eutrophisation (kg PO4 eq.)	37,77	802,61	0,08	3,21	843,66
Production d'ozone photochimique (kg d'éthylène eq.)	205,13	1 099,17	0,37	22,33	1 327
Ecotoxicité aquatique (m ³)	757 587,95	13 288 360,57	899,69	59 020,18	868,40
Déchets radioactifs (dm ³)	2,37	19,55	0,02	0,11	22,04
Toxicité humaine (kg)	499,21	2 731,09	2,05	24,69	3 257,05
Odeur (Mm ³ air)	256,22	7 819,58	0,03	2,02	8 077,86

a2: Mur isolé par l'intérieur avec du Polystyrène expansé

6. Besoins d'Energies & Impacts environnementaux:

L'évaluation comparative de l'empreinte environnementale des trois matières isolantes, démontre que ces éléments sont plus ou moins impactant (annexe2).

Après comparaison des différentes variantes de composition du mur (diagrammes Radars 8.1, 8.2, et 8.3), on constate que la configuration *mur base Ouate de cellulose* est la plus intéressante, du point de vue optimisation énergétique et environnementale, relativement aux autres compositions du mur, pour un même niveau de confort souhaité.

Selon les résultats de l'analyse du cycle de vie ACV, le critère énergétique associé au bilan environnemental sont favorables au profit d'une *isolation par l'extérieur* de l'enveloppe du bâtiment considéré (tab 8.1).

L'isolation par l'extérieur, est une technique facile dans sa mise en œuvre, très rapide, élimine les ponts thermiques et bénéficie de l'inertie thermique des murs, et ne réduit pas la surface de l'espace, et elle est réalisée dans les bâtiments neufs et aussi dans les travaux de rénovation.

Aussi, l'isolation répartie ou conventionnelle, réalisée en neuf seulement, assure un niveau de confort mais avec des consommations énergétiques très importantes sur tout le cycle de vie de bâtiment.

Par contre, l'isolation par l'intérieur réalisée surtout dans les travaux de rénovation ou d'amélioration qualitative des bâtiments existants, présente des inconvénients :

- a. elle favorise les ponts thermiques et les points de condensation,
- b. prive de l'inertie thermique des murs,
- c. réduit l'espace intérieur,
- d. en plus du surcoût dans les consommations énergétiques.
- e.

Tableau 8.6b : Impacts Environnementaux par phase du cycle de vie: Source Auteur 2017.

Mur isolé avec Ouate de Cellulose

Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Effet de serre (t CO2 eq.)	80,37	670,24	-0,96	1,80	751,46
Acidification (kg SO2 eq.)	333,53	2 160,79	0,48	20,57	2 515,38
Demande cumulative d'énergie (GJ)	982,43	15 954,45	14,63	29,44	16 980,94
Eau utilisée (m ³)	550,65	34 813,46	1,64	13,80	35 379,54
Déchets inertes produits (t)	25,12	96,04	0,08	350,69	471,93
Epuisement ressources abiotiques (kg E-15)	0,28	5,64	0	0,01	5,93
Eutrophisation (kg PO4 eq.)	37,86	803,82	0,08	3,22	844,98
Production d'ozone photochimique (kg d'éthylène eq.)	205,74	1 102,55	0,37	22,36	1 331,02
Ecotoxicité aquatique (m ³)	760 879,50	13 487 198,95	899,69	59 116,16	14 308 094,30
Déchets radioactifs (dm ³)	2,37	19,94	0,02	0,11	22,43
Toxicité humaine (kg)	500,58	2 755,66	2,05	24,73	3 283,02
Odeur (Mm ³ air)	256,90	7 635,50	0,03	2,03	7 894,46

b1 : Mur avec l'isolation répartie avec Ouate de Cellulose.

Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Effet de serre (t CO2 eq.)	80,37	666,78	-0,96	1,80	747,99
Acidification (kg SO2 eq.)	333,53	2 150,41	0,48	20,57	2 504,99
Demande cumulative d'énergie (GJ)	982,43	15 853,71	14,63	29,44	16 880,20
Eau utilisée (m³)	550,65	34 753,28	1,64	13,80	35 319,37
Déchets inertes produits (t)	25,12	95,56	0,08	350,69	471,46
Epuisement ressources abiotiques (kg E-15)	0,28	5,60	0	0,01	5,89
Eutrophisation (kg PO4 eq.)	37,86	802,91	0,08	3,22	844,06
Production d'ozone photochimique (kg d'éthylène eq.)	205,74	1 097,27	0,37	22,36	1 325,74
Ecotoxicité aquatique (m³)	760 879,50	13 420 345,17	899,69	59 116,16	14 241 240,52
Déchets radioactifs (dm³)	2,37	19,78	0,02	0,11	22,28
Toxicité humaine (kg)	500,58	2 742,79	2,05	24,73	3 270,15
Odeur (Mm³ air)	256,90	7 593,43	0,03	2,03	7 852,38

b2 : Mur isolé par l'intérieur avec Ouate de Cellulose.

Impacts	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Effet de serre (t CO2 eq.)	83,29	449,60	-0,96	1,76	533,69
Acidification (kg SO2 eq.)	345,99	1 758,43	0,48	20,10	2 125
Demande cumulative d'énergie (GJ)	999,98	18 765,42	14,63	28,77	19 808,80
Eau utilisée (m³)	562,50	35 397,89	1,64	13,49	35 975,52
Déchets inertes produits (t)	24,29	80,16	0,08	342,68	447,21
Epuisement ressources abiotiques (kg E-15)	0,29	8,26	0	0,01	8,56
Eutrophisation (kg PO4 eq.)	37,83	2 063,78	0,08	3,14	2 104,83
Production d'ozone photochimique (kg d'éthylène eq.)	217,68	835,04	0,37	21,85	1 074,94
Ecotoxicité aquatique (m³)	834 117,06	11 420 130,83	899,69	57 765,76	12 312 913,35
Déchets radioactifs (dm³)	1,99	36,15	0,02	0,11	38,26
Toxicité humaine (kg)	492,97	2 252,78	2,05	24,17	2 771,97
Odeur (Mm³ air)	314,82	4 061,67	0,03	1,98	4 378,50

b3: Mur isolé par l'extérieur avec Ouate de Cellulose.

Tableau 8.7c : Impacts Environnementaux par phase du cycle de vie: Source Auteur 2017

Mur avec une isolation répartie avec lame d'air

Impacts	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Effet de serre (t CO2 eq.)	80,29	716,08	-0,96	1,80	797,21
Acidification (kg SO2 eq.)	332,54	2 265,95	0,48	20,54	2 619,51
Demande cumulative d'énergie (GJ)	979,87	16 896,99	14,63	29,39	17 920,88
Eau utilisée (m ³)	550,30	35 255,46	1,64	13,78	35 821,18
Déchets inertes produits (t)	25,08	101,30	0,08	350,12	476,58
Epuisement ressources abiotiques (kg E-15)	0,27	5,93	0	0,01	6,22
Eutrophisation (kg PO4 eq.)	37,77	813,74	0,08	3,21	854,80
Production d'ozone photochimique (kg d'éthylène eq.)	205,13	1 163,15	0,37	22,33	1 390,97
Ecotoxicité aquatique (m ³)	757 587,95	14 098 754,16	899,69	59 020,18	14 916 261,98
Déchets radioactifs (dm ³)	2,37	20,69	0,02	0,11	23,18
Toxicité humaine (kg)	499,21	2 888,02	2,05	24,69	3 413,98
Odeur (Mm ³ air)	256,22	8 312,10	0,03	2,02	8 570,37

Aussi, la phase de construction (une durée réduite par rapport au cycle de vie du bâtiment) avec des impacts importants résident essentiellement dans: l'acidification, la demande cumulative d'énergie, d'eau utilisée, la production d'ozone photochimique, et de dégager des déchets inertes, et des odeurs.

Par contre, la phase de rénovation ne génère pas d'impact, et la phase de fin de vie présente des impacts sur les déchets inertes.

Après comparaison des différents diagrammes radars rassemblés (8.1, 8.2, et 8.3), pour les variantes de composition du mur, nous avons enregistré que la configuration mur base Ouate de cellulose est la plus intéressante, du point de vue optimisation énergétique et environnementale, relativement aux autres compositions du mur.

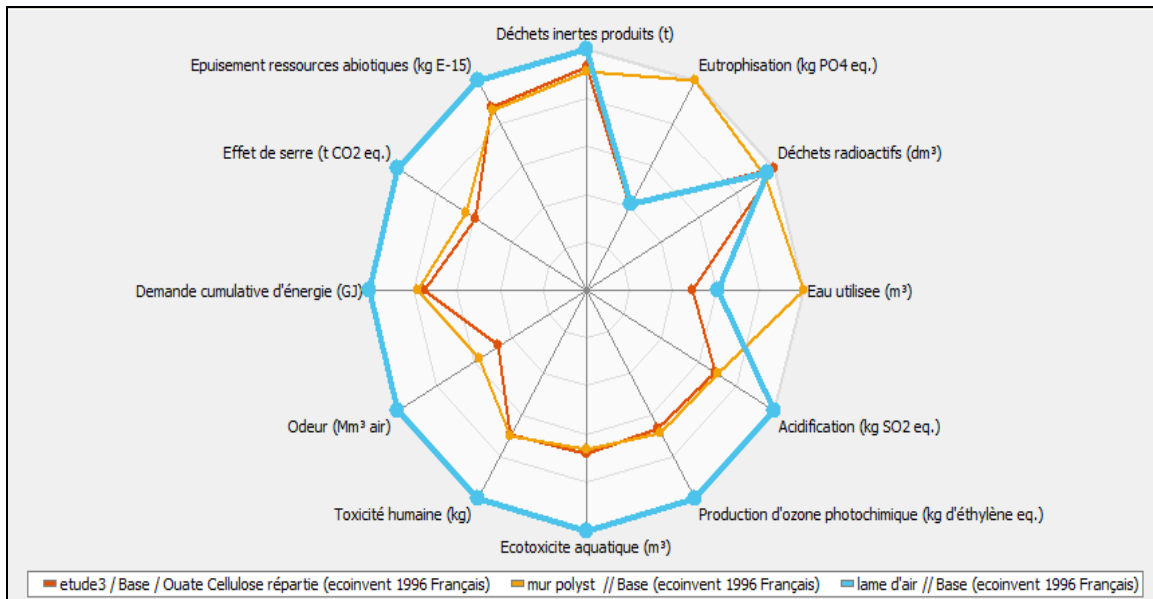


Diagramme radar 8.1 : Cas de l'isolation répartie. Source: Auteur 2017
Avec les isolants : lame d'air, Polystyrène expansé, et Ouate de Cellulose.

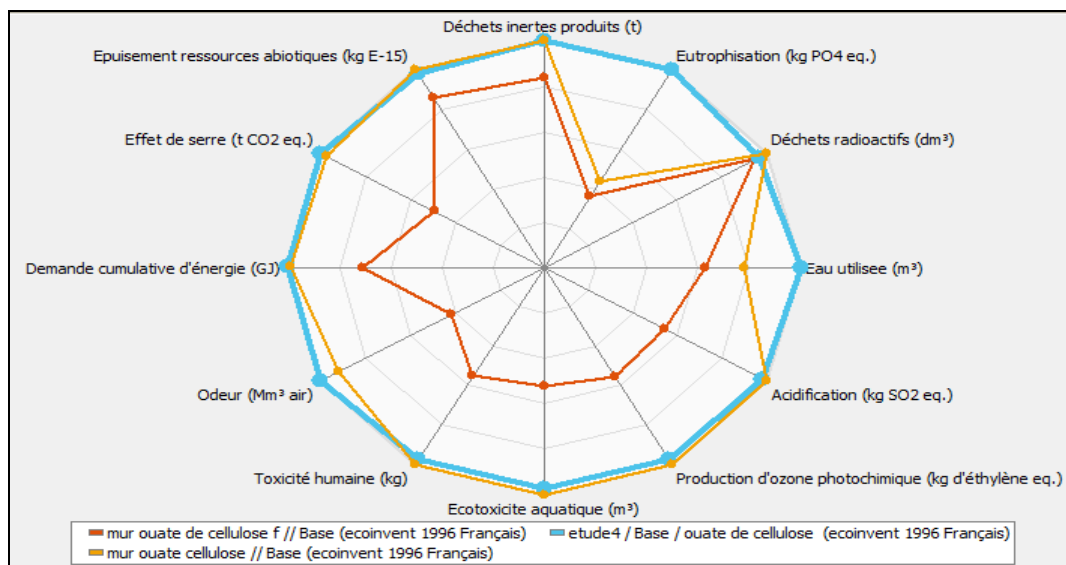


Diagramme radar 8.2 : Cas d'isolation base de Ouate de cellulose. Source: Auteur 2017

Avec les trois techniques d'isolations: Isolation répartie ITR, Isolation par l'Intérieur ITI, et par l'Extérieur ITE.

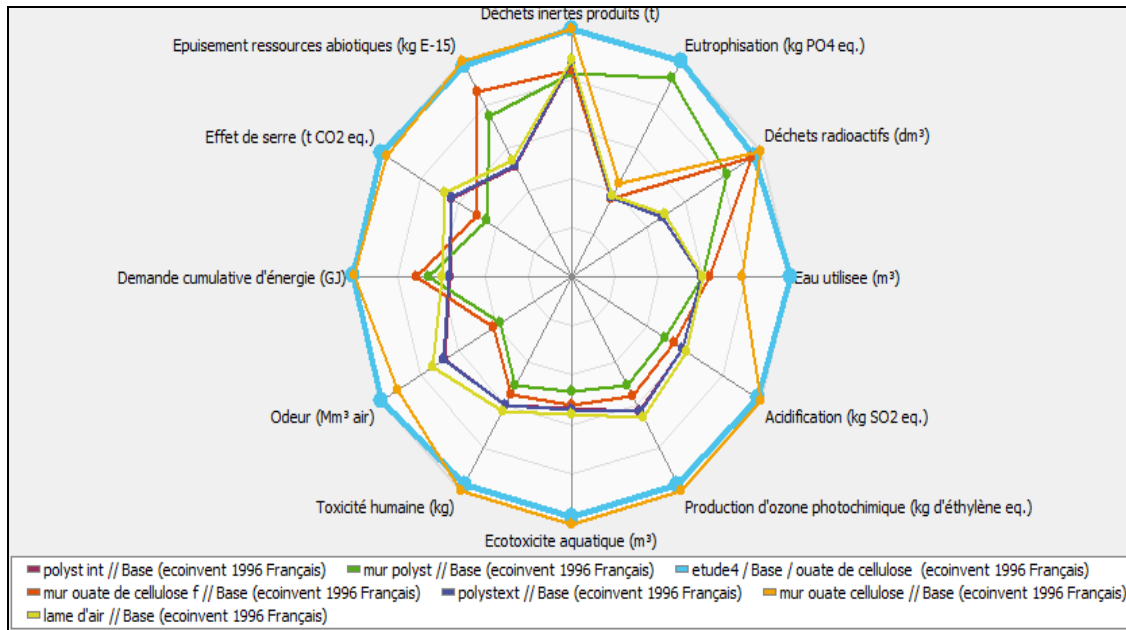


Diagramme radar 8.3 : Cas des sept 7 variantes de composition du mur. Source: Auteur 2017

Aussi, l'un des résultats (tab 8.4) les plus importants qu'on cherche à déterminer à partir de cette simulation, est la technique de l'isolation.

Ainsi nous avons remarqué, tout de suite, que l'isolation par l'extérieur des murs de l'enveloppe du bâtiment présente les impacts environnementaux les plus faibles tels que: l'effet de serre, l'acidification, la quantité cumulée d'énergie, et la quantité d'eau utilisée de même que pour les odeurs et la toxicité humaine, ces indicateurs présentent des écarts très remarquables par rapport aux autres techniques d'isolation (annexe2).

Et donc, le critère énergétique associé au bilan environnemental est favorable au profit d'une isolation par l'extérieur de l'enveloppe du bâtiment. C'est pour cette raison que nous optons pour cette technique d'isolation pour l'enveloppe du bâtiment.

Isoler le bâtiment par l'extérieur est une technique facile dans sa mise en œuvre, très rapide, élimine les ponts thermiques et bénéficie de l'inertie thermique des murs.

En second rang, nous classons l'isolation répartie ou conventionnelle, réalisée en neuf seulement (les bâtiments neufs), elle assure un niveau de confort mais avec des consommations énergétiques très importantes sur tout le cycle de vie de bâtiment. L'isolation par l'intérieur est classée en dernier, vu son utilisation dans les rénovations des bâtiments existants.

6.1. Baies vitrées, Protections Solaires, Energies & Impacts :

Etant réalisé par un vitrage de type simple clair ou teinté pour l'ensemble des fenêtres du bâtiment, dans ce 3^{em} niveau de la simulation, l'objet est d'étudier le type de vitrage utilisé pour les fenêtres et baies initialement utilisé dans ce bâtiment.

Sachant que le facteur solaire d'un vitrage définit les rayonnements directement transmises vers l'intérieur, absorbées ou réfléchies vers l'extérieur (fig. 8.5).

Ainsi autres alternatives d'améliorations du bâtiment résident dans les fenêtres et baies vitrées initialement avec un simple vitrage clair ou teinté, par l'introduction d'un vitrage double, ou d'un double vitrage à faible émissivité ou à isolation renforcée VFE ou VIR.

On conclue que, par rapport au critère thermique, l'étude énergétique démontre que les consommations et les besoins en énergie sont faibles dans le cas de l'utilisation d'un double vitrage avec un taux de 23.68% pour les besoins de chauffage, et un taux de 35.99% pour les besoins de climatisation par à rapport à ceux lors de l'utilisation d'un simple vitrage.

	SIMPLE		VITRAGE							
Zones	Besoins Ch. kWh	Besoins Ch. kWh/m ²	Besoins Clim. kWh	Besoins Clim. kWh/m ²	Puiss. Chauff. W	Puiss. Clim. W	T° Min °C	T° Moyenne °C	T° Max °C	
Zone	8 680,00	23,33	85 358,00	187,72	67 931,20	242 436,80	16,00	22,49	39,25	
Zone 1	89,00	2,54	7 654,00	167,96	4 307,20	24 457,60	16,00	23,29	41,48	
Total	8 769,00	20,79	93 012,00	177,84	72 238,40	266 894,40	16,00	22,57	40,36	
Zones	Apports solaires kWh	Conso Eclair kWh	Heures > T°Incon h	Amplification %	Taux d'inconfort %	Part de beso %	Besoins bruts kWh	Surface m ²	Volume m ³	
Zone	7 964,00	1 453,00	785,00	15,04%	34,00%	0,00%	0,00	473,51	1 515,23	
Zone 1	1 067,00	752,00	956,00	24,59%	32,00%	0,00%	0,00	47,77	152,86	
Total	1 067,00	2 205,00	1 741,00	24,59%	33,00%	0,00%	0,00	521,28	1 668,10	

Tableau 8.8 : Besoins en énergie pour simple vitrage des fenêtres. Source: Auteur 2017

		DOUBLE VITRAGE							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	W	W	°C	°C	°C
Zone	6 657,00	14,25	55 286,00	147,00	42 457,00	151 523,00	16,00	21,18	37,20
Zone 1	35,00	1,25	4 256,00	81,00	2 692,00	15 286,00	16,00	22,08	38,40
Total	6 692,00	13,00	59 542,00	114,00	45 149,00	166 810,00	16,00	21,63	37,80
Zones	Apports sola	Conso Eclair	Heures > T°Incon	Amplification	Taux d'inconfort	Part de beso	Besoins bruts	Surface	Volume
	kWh	kWh	h	%	%	%	kWh	m ²	m ³
Zone	7 964,00	1 453,00	647,00	15,04%	18,00%	0,00%	0,00	473,51	1 515,23
Zone 1	1 067,00	752,00	831,00	24,59%	28,00%	0,00%	0,00	47,77	152,86
Total	9 031,00	2 205,00	1 478,00	19,80%	23,00%			521,28	1 668,10

Tableau 8.9 : Besoins en énergie pour double vitrage des fenêtres. Source: Auteur 2017

Les résultats présentent aussi des heures d'inconfort de 1741heures pour le simple vitrage , et 1478 heures pour le vitrage double, alors que le double vitrage à faible émissivité est de 1271 heures, soit des taux d'inconfort allant de 24.59% pour le simple vitrage, et 19.80% pour un double vitrage et enfin 15.84% pour le double vitrage à faible émissivité, avec une amélioration à chaque niveau de 19.48% d'un type de vitrage simple à un double vitrage, ou un vitrage double FE (annexe2).

Aussi, l'utilisation du double vitrage à faible émissivité confirme aussi l'amélioration des résultats, et la réduction de la facture énergétique de ce même bâtiment avec un taux de 28.80% pour les besoins de chauffage et de 31.68% pour les besoins de climatisation par rapport à un double vitrage, alors que le taux est de 45.67% pour les besoins de chauffage et de 56.27% pour les besoins de climatisation par rapport au simple vitrage (tab.8.11).

		DOUBLE VITRAGE Faible Emissivité							
Zones	Besoins Ch. kWh	Besoins Ch. kWh/m ²	Besoins Clim. kWh	Besoins Clim. kWh/m ²	Puiss. Chauff. W	Puiss. Clim. W	T° Min °C	T° Moyenne °C	T° Max °C
Zone	4 738,16	10,43	36 833,09	118,00	31 418,18	124 248,86	16,00	20,01	34,40
Zone 1	26,54	1,00	3 846,00	49,36	1 992,08	12 534,52	16,00	21,01	36,20
Total	4 764,70	9,43	40 679,09	83,68	33 410,26	136 784,20	16,00	20,51	35,30
Zones	Apports sola kWh	Conso Eclair kWh	Heures > T°Incon h	Amplification %	Taux d'inconfort %	Part de beso %	Besoins bruts kWh	Surface m ²	Volume m ³
Zone	7 964,00	1 453,00	647,00	15,04%	18,00%	0,00%	0,00	473,51	1 515,23
Zone 1	1 067,00	752,00	831,00	24,59%	28,00%	0,00%	0,00	47,77	152,86
Total	9 031,00	2 205,00	1 478,00	19,80%	23,00%			521,28	1 668,10

Tableau8.10: Besoins en énergie pour double vitrage à faible émissivité. Source: Auteur 2017

Ainsi nous remarquons, tout de suite, que l'utilisation d'un vitrage double à faible émissivité utilisé au niveau des fenêtres du bâtiment présente les impacts environnementaux les plus faibles tels que: l'effet de serre, l'acidification, la quantité cumulée d'énergie, et la quantité d'eau utilisée de même que pour les odeurs et la toxicité humaine.

COMPARATIF ENTRE LES TYPES DE VITRAGE							
	SIMPLE	Taux %	DOUBLE	Taux %	DOUBLE FE	Taux %	SIMPLE
Besoins Chauffage .	8 769,00		6 692,00		4 764,70		8 769,00
		76,32%		71,20%		54,33%	
Besoins Ch.		23,68%		28,80%		45,67%	
kWh/m ²	20,79	62,53%	13,00	72,54%	9,43	45,35%	20,79
		37,47%		27,46%		54,65%	
Besoins Climatisation	93 012,00	64,01%	59 542,00	68,32%	40 679,09	43,73%	93 012,00
		35,99%		31,68%		56,27%	
Besoins Clim.	177,84	64,10%	114,00	73,40%	83,68	47,05%	177,84
kWh/m ²		35,90%		26,60%		52,95%	
Heures > T°Inconfort	1 741,00	84,90%	1 478,00	86,00%	1271,08	73,00%	1 741,00
		15,10%		14,00%		27,00%	
Taux d'inconfort	24,59%	80,52%	19,80%	80,52%	15,84%	64,42%	24,59%
%		19,48%		19,48%		35,58%	

Tableau8.11: Comparatif des besoins en énergie pour les types de vitrage. Source: Auteur 2017

Resultat: Base / simple vitrage (co-invent 1996 Français)

Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Effet de serre (t CO2 eq.)	83.37	844.20	-0.96	1.76	928.37
Acidification (kg SO2 eq.)	246.98	2 518.80	0.48	20.14	2 886.39
Demande cumulative d'énergie (GJ)	1 002.54	26 954.33	14.63	28.81	28 000.31
Eau utilisée (m³)	562.84	153 725.55	1.64	13.51	154 303.55
Déchets inertes produits (t)	24.33	114.18	0.08	343.25	481.83
Equipement ressources abiotiques (kg E-15)	0.29	16.46	0.00	0.01	16.76
Eutrophisation (kg PO4 eq.)	37.92	7 401.76	0.08	3.15	7 442.90
Production d'ozone photochimique (kg d'éthylène...)	218.29	1 215.65	0.37	21.89	1 456.20
Ecotoxicité aquatique (m³)	837 408.61	14 232 496.53	899.69	57 861.74	15 128 669.57
Déchets radioactifs (dm³)	1.99	43.30	0.02	0.11	45.41
Toxicité humaine (kg)	494.33	3 206.23	2.05	24.21	3 726.82

Resultat: Base / double vitrage (co-invent 1996 Français)

Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Effet de serre (t CO2 eq.)	83.37	502.47	-0.96	1.76	586.65
Acidification (kg SO2 eq.)	246.98	1 956.59	0.48	20.14	2 324.18
Demande cumulative d'énergie (GJ)	1 002.54	20 539.14	14.63	28.81	21 585.12
Eau utilisée (m³)	562.84	36 941.85	1.64	13.51	37 519.84
Déchets inertes produits (t)	24.33	85.77	0.08	343.25	453.43
Equipement ressources abiotiques (kg E-15)	0.29	9.63	0.00	0.01	9.93
Eutrophisation (kg PO4 eq.)	37.92	779.66	0.08	3.15	820.81
Production d'ozone photochimique (kg d'éthylène...)	218.29	933.02	0.37	21.89	1 173.57
Ecotoxicité aquatique (m³)	837 408.61	13 012 744.12	899.69	57 861.74	13 908 914.16
Déchets radioactifs (dm³)	1.99	42.24	0.02	0.11	44.35
Toxicité humaine (kg)	494.33	2 486.80	2.05	24.21	3 007.39

Resultat: Base / vitrage double FE (co-invent 1996 Français)

Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Effet de serre (t CO2 eq.)	80.29	49.36	-0.96	1.80	130.49
Acidification (kg SO2 eq.)	332.54	322.04	0.48	20.54	675.60
Demande cumulative d'énergie (GJ)	979.87	1 307.15	14.63	29.39	2 331.03
Eau utilisée (m³)	550.30	46 073.10	1.64	13.78	46 638.82
Déchets inertes produits (t)	25.08	9.96	0.08	350.12	385.24
Equipement ressources abiotiques (kg E-15)	0.27	0.41	0.00	0.01	0.70
Eutrophisation (kg PO4 eq.)	37.77	2 334.54	0.08	3.21	2 375.60
Production d'ozone photochimique (kg d'éthylène...)	205.13	154.97	0.37	22.33	382.80
Ecotoxicité aquatique (m³)	757 587.95	1 396 952.93	899.69	59 020.18	2 214 460.76
Déchets radioactifs (dm³)	2.37	2.48	0.02	0.11	4.97
Toxicité humaine (kg)	499.21	505.59	2.05	24.69	1 031.55

Tableau8.12: Impacts environnementaux durant les phases de vie du bâtiment selon les types de vitrage.

Source: Auteur 2017.

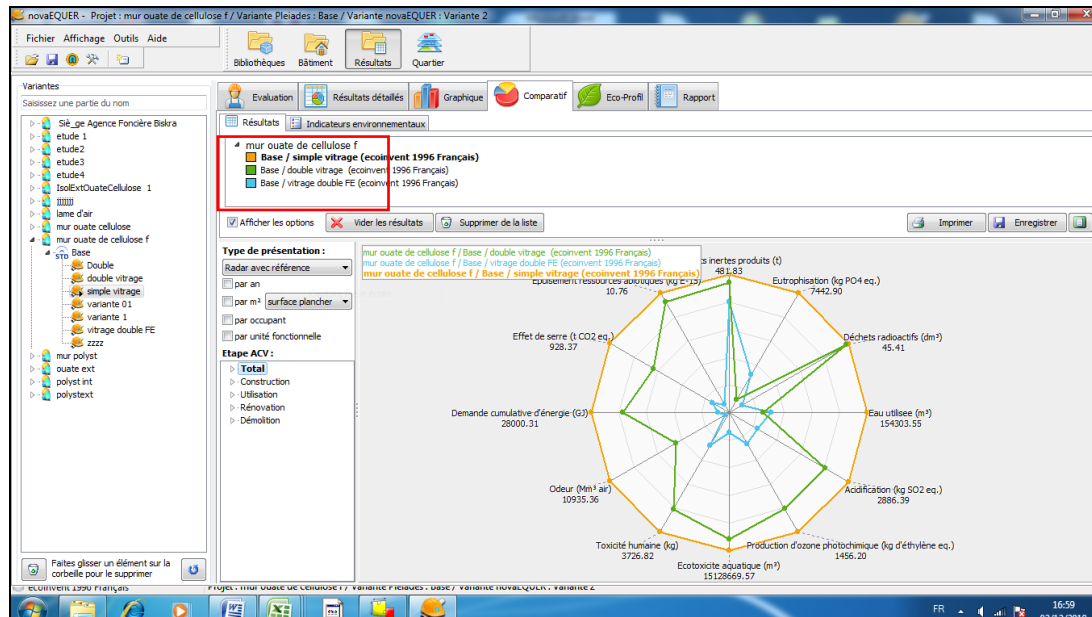


Diagramme Radar 8.4: Impacts environnementaux du bâtiment selon les types de vitrage.
Source: Auteur 2017.

Et donc, le critère énergétique associé au bilan environnemental est favorable au profit d'un double vitrage à isolation renforcée ou à faible émissivité (annexe2).

6.2. Protections Solaires, Energie & Impacts:

Concernant l'intégration de dispositifs de protections des fenêtres et des baies vitrées de l'enveloppe, ont pour effet de protéger le bâtiment contre les excès d'irradiations solaires, gains et de surchauffes, et de contrôler les quantités de lumières pour un éclairage naturel uniforme, sans les taches noires et effets d'éblouissement.

La simulation énergétique démontre que ces dispositifs de protection solaire permettent de réduire considérablement les besoins d'énergie nécessaire, et la facture énergétique.

BÂTIMENT ETAT INITIAL DE PROTECTION AVEC DOUBLE VITRAGE									
Zones	Besoins Ch.	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	W	W	°C	°C	°C
Zone	6 657,00	14,25	55 286,00	147,00	42 457,00	151 523,00	16,00	21,18	37,20
Zone 1	35,00	1,25	4 256,00	81,00	2 692,00	15 286,00	16,00	22,08	38,40
Total	6 692,00	13,00	59 542,00	114,00	45 149,00	166 810,00	16,00	21,63	37,80
Zones	Apports sola	Conso Eclair	Heures > T°Inconfort	Amplification	Taux d'inconfort	Part de beso	Besoins bruts	Surface	Volume
	kWh	kWh	h	%	%	%	kWh	m ²	m ³
Zone	7 964,00	1 453,00	647,00	15,04%	18,00%	0,00%	0,00	473,51	1 515,23
Zone 1	1 067,00	752,00	831,00	24,59%	28,00%	0,00%	0,00	47,77	152,86
Total	9 031,00	2 205,00	1 478,00	19,80%	23,00%			521,28	1 668,10

Tableau8.13: Besoins en énergie pour double vitrage et sans protection solaire. Source: Auteur 2017.

On conclue que, par rapport au critère thermique, l'étude énergétique démontre que les consommations et les besoins en énergie sont faibles dans le cas de l'utilisation d'un double vitrage pour le bâtiment avec un dispositif de protection solaire selon la réglementation thermique. Le bâtiment présente un taux de 23% pour les besoins de chauffage, et un taux de 22% pour les besoins de climatisation par à rapport à ceux du bâtiment selon son dispositif initial de protection solaire (tab. 8. 14).

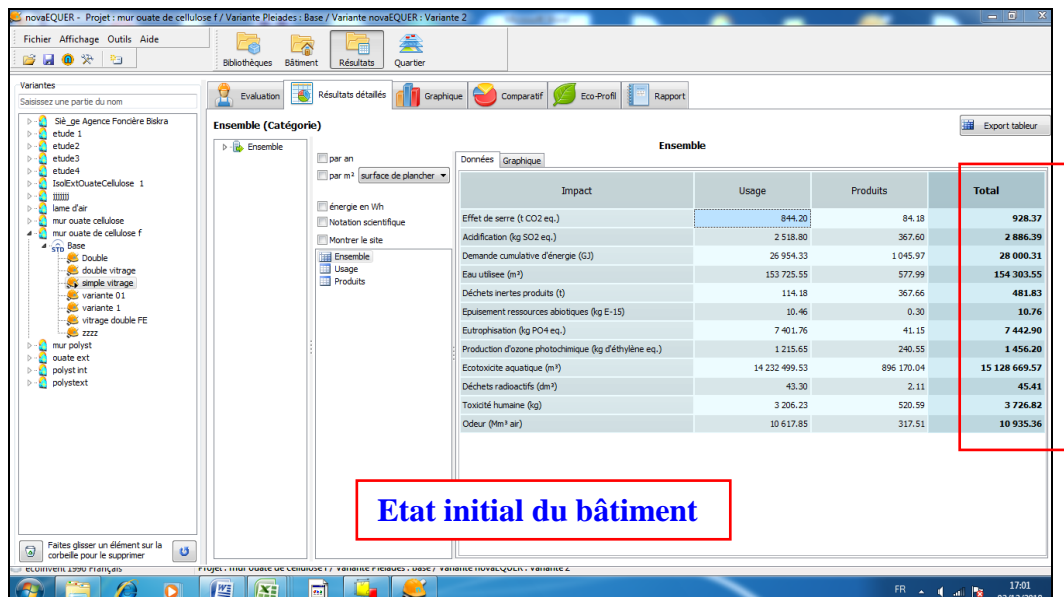
BÂTIMENT AVEC DOUBLE VITRAGE ET SYSTÈME DE PROTECTION SOLAIRE									
Zones	Besoins Ch.	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	W	W	°C	°C	°C
Zone	5 085,23	10,92	42 099,37	123,72	31 418,18	124 248,86	16,00	20,01	34,40
Zone 1	27,46	1,00	3 926,60	52,30	1 992,08	12 534,52	16,00	21,01	36,20
Total	5 112,69	9,92	46 025,97	88,01	33 410,26	136 784,20	16,00	20,51	35,30
Zones	Apports sola	Conso Eclair	Heures > T°Inconfort	Amplification	Taux d'inconfort	Part de beso	Besoins bruts	Surface	Volume
	kWh	kWh	h	%	%	%	kWh	m ²	m ³
Zone	5 640,00	1 453,00	524,60	15,04%	15,00%	0,00%	0,00	473,51	1 515,23
Zone 1	1 067,00	752,00	628,24	24,59%	21,62%	0,00%	0,00	47,77	152,86
Total	6 707,00	2 205,00	1 152,84	19,80%	18,31%			521,28	1 668,10

Tableau8.14: Besoins en énergie pour double vitrage et avec protection solaire. Source: Auteur 2017.

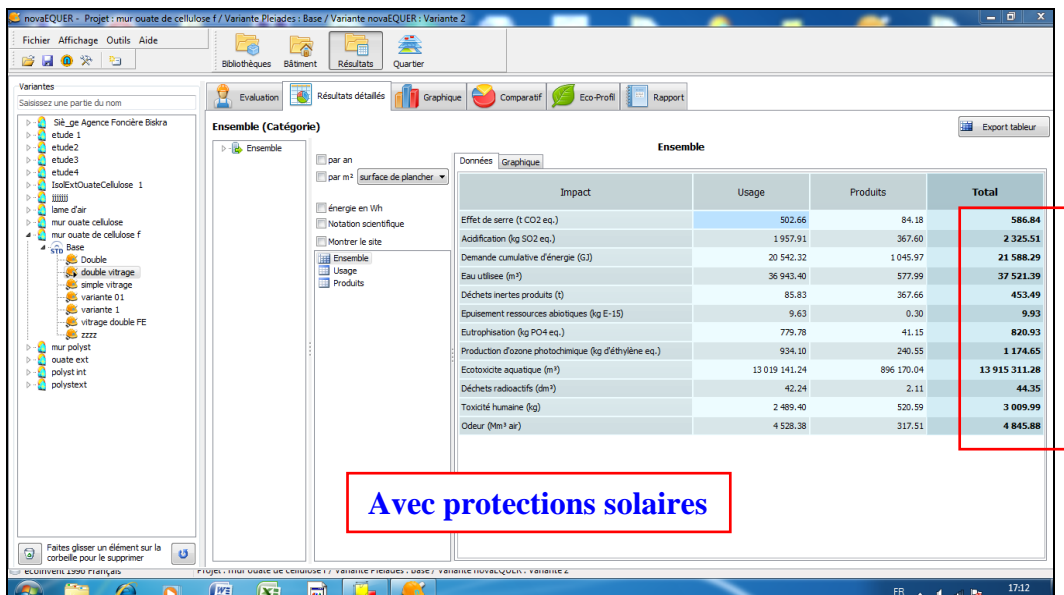
Les résultats présentent aussi des heures d'inconfort de 1152.84 Heures pour la variante avec dispositif de protection solaire des fenêtres et avec un taux d'inconfort de 23% , contre 1478 Heures et un taux d'inconfort de 18.31% pour la variante initiale du bâtiment (annexe2).

COMPARATIF PAR RAPPORT AUX PROTECTIONS SOLAIRES			
	SANS PROTECTION	Taux %	AVEC PROTECTION
Besoins Chauffage .	6 692,00		5 112,69
		76,40%	
Besoins Ch.		23,60%	
<i>kWh/m²</i>	13,00	76,30%	9,92
		23,70%	
Besoins Climatisation	59 542,00	77,30%	46 025,97
		22,70%	
Besoins Clim.	114,00	77,20%	88,01
<i>kWh/m²</i>		22,80%	
Heures > T°Inconfort	1 478,00	78,00%	1152,84
		22,00%	
Taux d'inconfort	23,00%	79,60%	18,31%
%		20,40%	

Tableau8.15: Comparatif des besoins en énergie du bâtiment avec et sans protections solaires.
Source: Auteur 2017.



Etat initial du bâtiment



Avec protections solaires

Tableau 8.16: Impacts environnementaux du bâtiment selon les dispositifs de protection des fenêtres.

Source: Auteur 2017.

Ainsi les alternatives d'améliorations du bâtiment par l'introduction des dispositifs de protections solaires, sont aussi favorables par rapport au critère environnemental, ou les indicateurs environnementaux recensés le démontrent (tab.8.12).

En intégrant les dispositifs de protections solaires, les indicateurs des impacts démontrent une réduction très remarquable par rapport à l'état initial de ce bâtiment.

En ce qui concerne l'énergie, l'indicateur d'impacts " les demandes cumulatives d'énergies " sont réduites avec un taux de 24%.

Pour le réchauffement climatique par son indicateur d'impact "des gaz à effet de serre GES" présentant une diminution de 63%. Les autres impacts se présentent aussi avec des taux plus ou moins réduits (annexe2).

6.3. Sources d'Énergie Renouvelables & Impacts :

L'intégration d'autres sources d'énergie renouvelables est très envisageable pour tous les bâtiments tertiaires, sans pour autant, s'en passer des énergies provenant des réseaux publics auxquels tous les bâtiments sont raccordés (réseaux d'électricité, de gaz, d'eau potable, d'assainissement).

Il est intéressant d'intégrer le soleil comme énergie renouvelable par l'intégration des panneaux photovoltaïques au bâtiment, pouvant réduire les besoins en énergie à des taux très remarquable, et donc une économie de la facture énergétique (annexe2).

Sachant que pour les zones ensoleillées (cas de la ville de Biskra), qu'un 1.00 m² de surface photovoltaïque permet de produire une quantité de: 130kWh /an en moyenne, avec un rendement de la technologie photovoltaïque est de 14 à 18%. Toute l'installation et les équipements sont amortis dès la 7^{ème} année d'exploitation du système énergétique.

L'installation de 100m² de surface de panneaux photovoltaïques nous permet de produire une quantité égale à 13000KWh/an ce qui correspond à 20% des besoins en énergie pour le chauffage ainsi que pour la climatisation évaluée à 66 700 KWh que nécessite ce bâtiment.

Ainsi nous remarquons, tout de suite, que l'installation des panneaux photovoltaïques permettent une réduction allant jusqu'à 40 % des besoins d'énergie d'électricité nécessaire pour le fonctionnement de l'éclairage, des systèmes HVAC, du matériel informatique, et des pompes pour l'eau chaude sanitaire selon cette même étude thermique (annexe2).

Par conséquent les impacts sur l'environnement sont très réduits, du fait qu'il s'agit d'une source d'énergie propre, sans émissions de gaz à effet de serre, et sans aucune émission de déchets dans l'eau, dans l'air ou dans le sol.

7. Amélioration énergétique du bâtiment :

Les résultats de la simulation thermique dynamique du bâtiment, pour assurer le confort souhaité des usagers, montrent le besoin d'une consommation énergétique élevée, et d'une empreinte environnementale très remarquable.

Afin d'arriver à une maîtrise et à l'optimisation de ses consommations énergétiques, on doit appliquer au bâtiment de différentes solutions techniques et des stratégies passives, permettant ainsi une réduction des émissions et des impacts sur l'environnement.

7.1. Le solaire thermique, comme solution active :

L'installation solaire thermique à envisager consiste en une génératrice d'eau chaude sanitaire à appoint intégré, avec une génératrice électrique de puissance 1,2 kW, reliée à un ballon d'eau chaude de 200 l, avec capteurs solaires tubulaires de 4 m² de surface, orientés au sud (azimut = 0°) avec une inclinaison de 45° (fig.8.19).

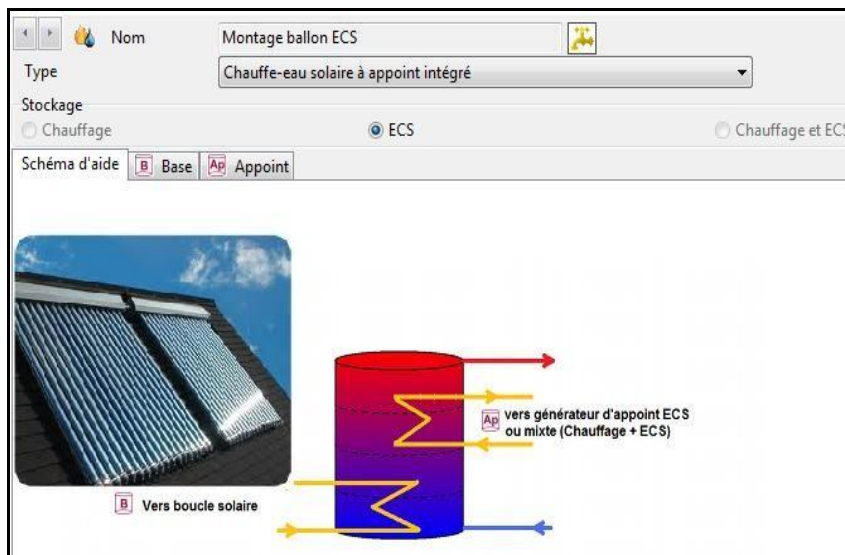
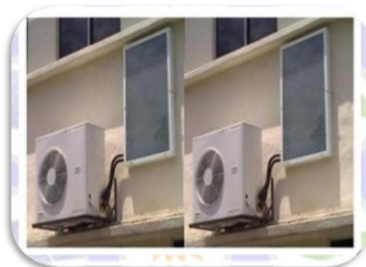


Figure 8.19: Principe du Solaire Thermique. Source: Comfie-Pleiades, 2016.

L'application d'un système de chauffe-eau solaire dans les bâtiments tertiaires pour le cas de notre site d'étude, assure un niveau de confort des usagers de ces bâtiments, et permet d'alléger donc la consommation annuelle d'énergie et la réduction de la facture énergétique. Ainsi, la consommation électrique (énergie finale) nécessaire pour assurer les besoins en ECS durant toute l'année en utilisant cette solution solaire est de 5,6 kWh/m², ce qui correspond à moins du cinquième 1/5^{em} de la quantité dans les solutions traditionnelles.



La climatisation Solaire



La Télésurveillance par l'énergie Solaire

Figure 8.20: Intégration des Energies Renouvelables.

Source: Auteur, 2017.

7.2. Les systèmes passifs et stratégies durables :

Les résultats de notre étude montrent que la consommation énergétique (climatisation, chauffage, éclairage et ECS) est élevée. Nous pouvons remarquer d'ailleurs que certains indices présentent des valeurs remarquables : un taux d'inconfort très élevé dans le bâtiment, des apports solaires, durant la saison estivale, très importants, ce qui explique l'augmentation significative de la température intérieure dans les espaces bureaux. Cet objectif suit la logique de développement durable et se traduit par les stratégies de durabilité et d'une conception bioclimatique pour atteindre l'optimisation énergétique des bâtiments, leur efficacité thermique, et la réduction des impacts, et la diminution des émissions sur l'environnement, en évitant l'utilisation de systèmes actifs.

Parmi ces stratégies passives : l'isolation de l'enveloppe du bâtiment, l'isolation de la toiture, aussi l'isolation transparente, l'utilisation de fenêtres performantes (double vitrage basse émissivité), le puits canadien, l'utilisation des matériaux à changement de phase (MCP), des stores opaques et des dispositifs de protection des baies.

On peut se référer à plusieurs études qui ont été réalisées dans le but d'augmenter l'efficacité énergétique dans les bâtiments des régions du Sud de la Méditerranée montre une réduction des besoins d'un facteur 4 (C. Flory-Celini, 2008).

7.3. Impacts Environnementaux réduits par l'amélioration thermique du bâtiment :

L'amélioration thermique d'un bâtiment consiste à une pratique constructive de quelques techniques et de stratégies passives dont l'objectif de maintenir un niveau de confort avec une maîtrise de l'énergie consommée. Ces stratégies ne présentent aucune incidence financière au coût de réalisation du bâtiment, mais consentent une économie de la facture énergétique durant tout le cycle de vie de ce dernier.

Ainsi, une réduction dans les besoins d'énergie permet de minimiser les émissions et les impacts sur l'environnement. Ce qui traduit la durabilité d'un bâtiment, d'un quartier ou même d'une ville.

7.3.1. Réduire les apports de chaleur et de froid :

Le plus important pour l'amélioration thermique d'un bâtiment réside dans la réduction des apports de chaleur pour le rafraîchissement et les apports de froid pour l'échauffement des espaces de ce bâtiment.

Comme il est très difficile de faire évacuer les apports de chaleur des bâtiments, il est donc plus important de les limiter. En été, il est nécessaire de limiter les apports de chaleur, aussi bien les apports de chaleur internes qu'externes.

En hiver, il faut intervenir pour limiter les apports de froid pour assurer l'échauffement des espaces intérieurs, et une température de confort constante.

7.3.1.1. Apports internes

Les apports internes proviennent en premier lieu des usagers. Leur métabolisme, est en effet une source d'apports de chaleur. Il est variable en fonction de l'activité de l'utilisateur dans cet espace (selon l'activité de l'utilisateur de l'espace).

Les apports internes proviennent également des équipements électriques, et électroniques. La majeure partie de l'électricité consommée est rejetée sous forme de chaleur. Il est nécessaire d'opter pour des appareils performants afin de limiter les consommations énergétiques.

7.3.1.2. Apports externes

Si les apports internes de chaleur sont difficiles à réduire, notre travail doit être focalisé sur la réduction des apports externes. Ces apports sont constitués par les apports solaires directs ou diffus qui pénètrent dans le bâtiment par les vitrages et les parois externes.

Les apports solaires directs doivent être notamment limités au niveau des ouvertures.

Les rayons du soleil qui arrivent sur le vitrage génèrent un effet de serre. Afin de limiter cet apport direct, on peut, d'une part, agir sur le type de vitrage, qui peut limiter la transmission des rayons lumineux.

D'autre part, les protections solaires doivent être mises en place afin d'éviter l'effet de serre, malgré la persistance des apports diffus.

Aussi une isolation des parois doit également, être réalisée pour limiter les apports par conduction à travers la paroi. Il faut également veiller à ne pas faire pénétrer l'air chaud de l'extérieur ; un travail sur les stratégies de ventilation est donc nécessaire à réaliser.

Aussi, une bonne étanchéité à l'air est également très importante.

Ces apports sont donc des apports par rayonnement, combinés ensuite à ceux de la convection à l'intérieur du bâtiment.

Il est nécessaire donc, d'opter pour des stratégies à limiter ce rayonnement.

Les systèmes à mettre en œuvre pour ce faire sont donc :

a. Un vitrage performant (double vitrage, ou double vitrage à faible émissivité, ou à isolation renforcée, ou même un triple vitrage).

b. Une protection solaire : brise-soleil, masques architecturaux et stores.

c. Une isolation : l'isolation joue un rôle très important, notamment pour le confort d'hiver, car les pertes thermiques sont réduites. En été, l'isolation permet, de diminuer les apports de chaleur par les parois, mais, pour cela, elle doit être mise en œuvre par l'extérieur et être couplée à la ventilation et bénéficier de l'effet d'inertie des parois.

L'isolation par l'extérieur limite également les ponts thermiques et permet d'utiliser l'inertie des murs. Par contre pour le cas de l'isolation par l'intérieur, la chaleur peut entrer mais reste stockée dans les structures intérieures.

7.3.2. Évacuer la chaleur pour le confort d'été :

Les apports de chaleur dans le bâtiment sont inévitables, en premier lieu car un bâtiment a pour vocation d'être occupé, et que les usagers et leurs activités dégagent de la chaleur. Des solutions pour évacuer la chaleur sont alors à mettre en place. Une stratégie de ventilation semble assez adéquate pour répondre à ce besoin.

7.4. Les choix de solutions & stratégies passives :

Dans le but d'assurer le confort des usagers dans ce bâtiment de bureaux et en fonction des spécifications du site, l'application des solutions et stratégies possibles pour notre cas justifie l'objectif de réduire les besoins énergétiques pour la climatisation l'été et de chauffage pour l'hiver.

7.4.1. Pour la consommation en climatisation et le confort d'été :

- a. Diminution des apports internes par l'utilisation d'appareils électriques performants.
- b. Dispositifs d'ombrage: l'énergie solaire pénètre dans les locaux au travers de vitres non protégées, et de manière directe. On doit donc, utiliser des dispositifs de protections (brise-soleil, masques architecturaux et stores), et qui ont une l'importance dans la réduction des besoins énergétiques et des apports solaires en été. Et une influence sur le bilan énergétique du bâtiment.
- c. Ventilation: **passive**, par la mise en œuvre de concepts architecturaux intégrant l'environnement du bâtiment, son orientation par rapport au soleil et aux vents dominants, ou **active**, ou par une ventilation **forcée** pour évacuer l'air intérieur chaud et le remplacer par l'air extérieur frais.
- d. Inertie : la mise en place d'une masse thermique permet de déphaser et d'amortir les apports de chaleur externe.
- e. Orientation des bâtiments: durant la conception architecturale, il est très important pour rechercher du vent et de l'ombre pour le bâtiment (géométrie du bâtiment).

7.4.2. Pour le besoin de chauffage en hiver :

- a. Orientation des bâtiments: durant la conception architecturale, il est très important pour rechercher du soleil et de la lumière pour le bâtiment (géométrie du bâtiment).
- b. Fenêtres performantes : c'est un élément essentiel de l'approche passive, avec un rôle important aux niveaux énergétique et visuel.
- c. Isolation : ce système d'amélioration apporte des avantages pour l'hiver comme pour l'été s'il est placé à l'extérieur. En ce qui concerne l'hiver, l'isolation extérieure peut diminuer l'échange thermique et les déperditions de chaleur avec l'extérieur. En été, l'isolation joue un rôle dans la diminution des apports de chaleur de l'extérieur par les parois, et empêche l'entrée de la chaleur extérieure par les parois.

Conclusion:

S'appuyant sur une approche analyse de cycle de vie ACV de bâtiment, qui consiste à une étude thermique dynamique et une seconde étude environnementale, l'objectif de cette recherche est de vérifier les performances thermiques, la qualité de l'isolation de l'enveloppe pour une optimisation et une économie dans les consommations de l'énergie.

En comparant globalement les résultats des simulations des différentes configurations des murs, on constate que pour la totalité des impacts, la *Ouate de cellulose* est un matériau plus respectueux de l'environnement que les autres matériaux isolants. Le polystyrène expansé donne de résultats thermiques très acceptables, mais reste un matériau très impactant sur l'environnement tout le long de la vie du bâtiment.

Aussi, les techniques d'isolation jouent un rôle très déterminant sur l'aspect énergétique, lié étroitement aux impacts environnementaux engendrés. Par conséquent la performance thermique d'un bâtiment est tributaire d'une optimisation énergétique à atteindre et des performances environnementales à justifier.

Ces derniers démontrent que *l'isolation par l'extérieur* est la plus efficace et elle présente des degrés d'impacts très réduits par rapport à ceux de l'isolation répartie et aussi avec moins de consommation énergétique. L'isolation par l'intérieur présente plus d'inconvénients énergétiques que d'avantages thermiques.

Par conséquent, l'isolation par l'extérieur est la plus performante dans la mesure où elle élimine notamment les ponts thermiques, et permet de bénéficier de l'inertie thermique des parois. Il convient par ailleurs, dès lors que *la Ouate de cellulose* serait davantage utilisée dans la construction, en tant que matériau écologique issu de la récupération et du recyclage, et non plus comme un déchet, et donc s'insérer à l'économie, l'un des principes du développement durable.

Aussi, il serait plus intéressant d'opter pour la technique de *l'isolation par l'extérieur* pour une maîtrise de l'énergie, d'économie de la facture énergétique et de moins d'émissions et de réduction des impacts environnementaux engendrés.

L'étude a enfin, permis une aide à la décision pour le choix des matériaux isolants les plus performants, avec une maîtrise des techniques d'une isolation optimale d'un bâtiment de bureau sans réduire son niveau de confort.

En ce qui concerne le traitement des fenêtres et baies vitrées, les résultats de la simulation nous orientent à l'utilisation d'un double vitrage à faible émissivité VFE ou à isolation renforcée VIR au lieu d'un vitrage simple. Le double vitrage permet d'éviter les surchauffes, et les gains de chaleur, et de réduire, ainsi, les besoins en énergie pour le fonctionnement des systèmes HVAC, et en particulier le système de la climatisation (rafraîchissement) pour les zones arides à climat chaud et sec.

Pour un niveau de performance plus élevé, les dispositifs de protection des fenêtres et baies vitrées, doivent contribuer par des corrections par rapport à l'orientation du bâtiment, de fenêtres et baies vitrées, afin d'atténuer l'effet néfaste du soleil sur le bâtiment, leur permettant d'assurer un éclairage naturel uniformément réparti dans les bureaux, et une transparence (la transparence est présente dans l'architecture tertiaire), et de plus éviter les gains solaires et les surchauffes. Ainsi, une utilisation rationnelle des systèmes HVAC, et par conséquent une économie par rapport aux besoins énergétiques et une réduction des impacts sur l'environnement.

L'intégration des sources d'énergie renouvelable permet aussi de réduire la facture énergétique. L'énergie solaire est une source d'énergie à exploiter par l'installation des panneaux photovoltaïques assurant l'éclairage des espaces extérieurs, l'entrée, le parking, cour de service et quelques autres espaces hall, cage d'escalier et bureaux.

La solution peut se développer vers un rafraîchissement des bureaux par un système de climatisation solaire ce qui permettra de réduire la facture énergétique de ce bâtiment.

Conclusions Générales:

Conclusions générales :

Afin de situer le contexte de cette recherche, on pourra se référer à l'actualité : un mois ne passe sans que les personnages de politique, les écologistes, les associations de préservation de la nature et de l'environnement, la communauté scientifique et les médias ne fassent référence aux changements climatiques et à l'implication de l'homme dans ce phénomène (énergie et bâtiments, de transport et mobilité des personnes, déchets engendrés de l'utilisation des divers bâtiments, émissions de gaz à effet de serre GES,..).

Le respect de l'engagement de Kyoto sollicite une réduction considérable des gaz à effets de serre, de la part des pays membres et signataires de ces recommandations environnementales.

A cet effet, des objectifs correspondants ont été fixés dans une stratégie de développement durable notamment dans le secteur des bâtiments et en particulier pour les bâtiments résidentiels et tertiaires. Ainsi, l'amélioration énergétique des bâtiments est une démarche écologique, permettant de lutter contre le réchauffement climatique, la diminution des émissions des gaz à effet de serre GES, et la réduction des impacts sur l'environnement.

La dimension environnementale est aujourd'hui une préoccupation majeure à l'échelle internationale, et les approches curatives ont montré leurs limites ce qui a exigé son intégration dans le processus de conception des produits, matériaux et procédés avec le respect des principes de développement durable (l'économie, le social, et l'environnement). Pour ce faire, différents outils d'évaluation, d'expertise, et de bilans (bilan Carbone) sont à la disposition des concepteurs, des acteurs et des constructeurs (industriels, constructeurs, agriculteurs, etc.) ; la méthodologie de l'analyse de cycle de vie ACV en fait partie.

L'évaluation des impacts environnementaux résultants à l'exploitation d'un bâtiment relève de plusieurs disciplines, qui ont encore du mal à travailler ensemble dans un objectif de réduction des impacts sur l'environnement.

La volonté de ce travail est d'amener une contribution à cette lourde problématique environnementale résultant de la mauvaise conception des bâtiments où nous habitons (bâtiments tertiaires en particulier). Le constat primordial réside dans leur conception qui ne prend pas compte les aspects énergétiques et environnementaux de ces bâtiments, et non plus de leur contexte.

Une attention particulière doit être accordée aux performances thermiques, la maîtrise de l'énergie consommée, et de l'empreinte environnementale de ces bâtiments tertiaires durant

le long de leur cycle de vie (une durée de vie d'un bâtiment est de 80 ans). Le secteur des bâtiments tertiaires offre des possibilités importantes pour cerner le rapport Energie / Impacts.

L'objectif de cette recherche est d'évaluer à travers un bâtiment de bureaux échantillon, situé dans les zones arides, « le Siège de l'Agence Foncière de Biskra », le comportement de son enveloppe vis-à-vis des aléas du climat et son implication sur le confort intérieur des usagers. Ce bâtiment récemment construit, est réalisé dans l'ère des réglementations thermiques des bâtiments, d'une politique de développement durable et d'économie, et de la maîtrise d'énergie, et de protection de l'environnement.

Le travail effectué s'intègre dans une démarche de modélisation orientée vers l'aide à la conception des bâtiments. Cette recherche vise tout d'abord à présenter l'analyse de cycle de vie ACV dans ses grandes lignes et à rechercher un compromis pertinent entre le niveau de finesse de modélisation et la convivialité d'utilisation des produits, matériaux, et systèmes pour le secteur de la construction.

La performance thermique d'un bâtiment, est un levier important pour réduire la consommation d'énergie, pour l'économie, la concrétisation de la politique de la maîtrise énergétique, et de l'efficacité du bâtiment, ainsi que de la réduction des émissions de gaz à effet de serre GES et la diminution des impacts du bâtiment sur l'environnement. Et ce qui justifie le concept majeur de l'approche Analyse de Cycle de Vie ACV de bâtiment.

A cet effet, l'enveloppe est le lieu privilégié des relations et d'échanges entre espaces intérieurs et extérieurs du bâtiment. Aussi, l'orientation est le paramètre clé des interactions thermiques, acoustiques et visuelles de ce dernier.

Pour cela il faut intervenir sur l'enveloppe de ce bâtiment, et améliorer ses composantes par une bonne isolation et étanchéité, et un meilleur choix des matériaux, et de dispositifs de protections solaires, ainsi qu'un choix judicieux et un dimensionnement adéquat des équipements de refroidissement et de chauffage (les systèmes HVAC), aussi d'opter pour intégrer d'autres sources d'énergies renouvelables(soleil).

Les résultats de notre recherche montrent que l'efficacité thermique réside dans la création du confort thermique en réduisant les consommations énergétiques par l'adoption d'un système d'isolation performant de l'enveloppe, des fenêtres et des baies vitrées.

La réduction des besoins en énergie dans le bâtiment s'opère essentiellement par une bonne isolation et une étanchéité très performante permettant d'atteindre l'objectif de bâtiment à basse consommation d'énergie BBC.

De plus, augmenter la performance thermique d'un bâtiment implique à la fois une multiplication de composants de son enveloppe qui devient un élément à considérer en priorité dans la maîtrise énergétique et la réduction des impacts environnementaux.

Il est donc important que les acteurs du bâtiment (les maîtres d'œuvre et d'ouvrage) œuvrent à une conception cohérente en tenant un équilibre entre performances énergétiques à atteindre et performances environnementales à justifier.

Le présent travail s'inscrit dans cette ligne de conduite, permettant ainsi de concevoir des parois de bâtiments performantes et respectueuses des économies d'énergies et de respect de l'environnement par la réduction des émissions des gaz à effet de serre GES et impacts.

Il est donc important d'une part, d'améliorer la performance énergétique des bâtiments, et d'autre part, de disposer d'outils multicritères, suffisamment fiables, permettant de mettre en évidence les sources des impacts environnementaux (effet de serre, eutrophisation, consommation d'eau...), d'un bâtiment durant tout le long de son cycle de vie ; impacts issus de toutes les phases de vie de ce dernier, dès la première phase de sa construction, durant son utilisation, et pendant sa rénovation jusqu'à la fin de sa vie (la démolition), ainsi que de les évaluer.

Dans le cadre de cette recherche, l'analyse de cycle de vie ACV réalisée sur le bâtiment de l'Agence Foncière Urbaine de Biskra, a pour comme objectifs de définir quels éléments doivent être particulièrement pris en considération, et durant quelle phase de vie de ce bâtiment il serait important d'agir afin de réduire les impacts environnementaux.

La présente étude s'appuie sur une analyse multicritère, c'est la méthode de l'analyse du cycle de vie (ACV) de bâtiment, qui se déroule selon un protocole normalisé (normes ISO 14000 et 14040), favorisant une meilleure compréhension de l'incidence environnementale du produit. Cette dernière constitue une stratégie d'une politique internationale de protection de l'environnement, de la maîtrise et d'économie d'énergie.

Ce travail est particulièrement dédié à l'évaluation de l'empreinte environnementale associée aux divers matériaux de construction et des assemblages entrant dans les systèmes de bâtiment tels que : murs extérieurs, cloisons intérieures, planchers intermédiaires et planchers terrasses, menuiserie, type de vitrage, et tous les matériaux isolants, ainsi que les techniques d'isolation de l'enveloppe intégrées dans cette construction. Aussi les dispositifs de protections solaires et de masques, ainsi que l'intégration des sources d'énergie renouvelable.

Il s'appuie sur les bases de données **Eco-Invent** et sur le logiciel **nova-Equer** pour l'étude environnementale, ce dernier est chaîné aux applications de la simulation thermique dynamique (STD) du bâtiment, les logiciels **Pleiades** et **Comfie**, pour l'étude énergétique, dans l'objectif d'évaluer les besoins énergétiques pour un niveau de confort des usagers de ces bâtiments de bureaux.

Ainsi, il est question de mettre en évidence l'influence de certains choix techniques (matériaux, systèmes constructifs, choix architectural, isolation, système de ventilation, chauffage, climatisation etc.....) sur les consommations énergétiques dans un bâtiment situé dans les régions arides à climat chaud et sec.

Aussi, l'objectif est de mener une évaluation quantitative précise des impacts environnementaux du bâtiment tout le long de son cycle de vie, permettant ainsi aux acteurs du bâtiment et (concepteurs, architectes et maîtres d'ouvrages) de faire le choix le plus cohérent (de systèmes constructifs et de matériaux de construction, d'équipements, etc....) par rapport à leurs objectifs.

Cette simulation thermique dynamique STD a permis de faire une comparaison de ses différentes solutions et alternatives d'améliorations. Ces dernières permettent de réduire au mieux les besoins en climatisation tout en favorisant l'amélioration du confort d'été.

Ainsi, l'étude environnementale détermine le taux des impacts environnementaux, relativement aux indicateurs comparés, dus à l'utilisation des matériaux et systèmes de construction et des systèmes énergétiques.

En effectuant une série de simulations (énergétique, et environnementale), nous voulions vérifier l'efficacité du système d'isolation par le choix des matériaux isolants et de leurs techniques de mise en place les plus efficaces.

L'objectif est de tester des solutions en variant les isolants ainsi que leurs épaisseurs et la technique de mise en place (l'isolation par l'extérieur, l'isolation par l'intérieur, ou l'isolation répartie), aussi le type de vitrage (du simple au double vitrage peu émissif) pour voir ceux qui correspondent le mieux au bâtiment objet de cette étude.

Après comparaison à d'autres matériaux isolants et par rapport leurs caractéristiques thermiques, isolantes et environnementales, on procède à un choix d'un isolant performant, et écologique *la Ouate de cellulose*, qui est une matière isolante très performante, issue de la récupération de papiers, journaux et cartons d'emballage, présentant des caractéristiques thermiques, isolantes et environnementales très remarquables .

L'isolant le plus performant étant *la Ouate de Cellulose* dont la conductivité thermique est faible, équivalente à 0.037 w/mk, associé à un vitrage double à faible émissivité, d'un pouvoir isolant de 1.455w/m²k.

D'où on peut conclure que l'isolant doit être de faible conductivité thermique et l'emplacement idéal soit du côté externe de la masse thermique (*isolation par l'extérieur*).

En ce qui concerne le vitrage, ayant des fonctions thermiques contradictoires, il constitue une source de surchauffe et d'inconfort. Le choix sera pour un *double vitrage* avec un coefficient de transmission thermique surfacique aussi bas que possible et à *très faible émissivité*. Ce *double vitrage* permet d'éviter les surchauffes, et les gains de chaleur, et de réduire, ainsi, les besoins en énergie pour le fonctionnement des systèmes HVAC, et en particulier le système de la climatisation (rafraîchissement) pour les zones arides à climat chaud et sec.

Une réduction de ces besoins en énergie dans le cas de l'utilisation d'un double vitrage avec un taux de 23.68% pour les besoins de chauffage, et 35.99% pour les besoins de climatisation par rapport à ceux lors de l'utilisation d'un simple vitrage.

Ainsi, l'isolation par l'extérieur de l'enveloppe du bâtiment ainsi que l'utilisation du double vitrage peu émissif et des occultations solaires extérieures, étaient une solution pour améliorer le confort et réduire les consommations énergétiques.

L'analyse de cycle de vie démontre que l'intégration des dispositifs de protection des fenêtres, garantit une réduction des besoins en énergie de l'ordre de 30%, et assure une empreinte favorable par rapport au critère environnemental, où les impacts sur l'environnement sont remarquablement réduits.

En ce qui concerne les sources d'énergie, il est intéressant d'intégrer le soleil comme énergie renouvelable par l'intégration des panneaux photovoltaïques au bâtiment, pouvant réduire les besoins en énergie de 30 % à 40 %. Aussi avec des impacts environnementaux très réduits, du fait qu'il s'agit d'une source d'énergie propre.

2. Recommandations :

Les résultats de cette recherche nous orientent à proposer quelques recommandations relatives au secteur du bâtiment :

1. Utilisation de l'approche Analyse de Cycle de Vie, dès les premières phases de conception de bâtiments.

2. Généraliser l'utilisation de l'analyse de cycle de vie ACV pour le cas des bâtiments résidentiels, et l'élargir à l'échelle urbaine, celle du quartier.
3. L'ACV, une approche à intégrer dans le code d'architecture et d'Urbanisme pour l'approbation des projets de bâtiments publics.
4. Proposer des Service de Contrôle de l'Empreinte Environnementale des bâtiments pour validation et approbation des études de bâtiments selon une approche analyse de cycle de vie ACV bâtiments.
5. L'Analyse de Cycle de Vie, est un moyen de sélection des projets lors des concours d'architecture de bâtiments.

3. Futures pistes de recherche:

Les résultats obtenus dans cette présente recherche peuvent constituer un inventaire des stratégies à adopter pour une bonne maîtrise de l'énergie et une réduction de l'empreinte environnementale pour le secteur du bâtiment.

D'autres axes de recherche s'ouvrent au moyen des simulations thermique dynamique STD pour l'étude énergétique, et aussi pour l'étude environnementale des bâtiments par une approche cycle de vie ACV. Elles contribuent à apporter une aide à la décision pour le choix des matériaux, de techniques constructives, et de systèmes structurels et énergétiques, ainsi que les aménagements des espaces publics dans les quartiers.

Les champs d'investigation concernant l'analyse de cycle de vie ACV des bâtiments sont aussi vastes que nombreux. Plusieurs autres domaines d'application liés au bâtiment (ou groupe de bâtiments) un quartier, restent aussi à développer par cette approche d'analyse de cycle de vie ACV.

Les axes de recherche suivants constituent aussi, nos perspectives de recherche :

Généraliser l'utilisation de l'approche analyse de cycle de vie ACV qui représente un outil d'aide à la décision dès les premières phases du processus de conception par les acteurs de bâtiments (les architectes, ingénieurs, les maitres d'ouvrages, et les collectivités locales).

L'analyse de cycle de vie ACV de bâtiment, constitue une approche incontournable à intégrer dans le code d'architecture et d'urbanisme pour l'évaluation des meilleures propositions lors des concours d'architecture de bâtiments publics. Et, donc concrétiser les principes du développement durable pour le secteur du bâtiment.

Une économie dans les coûts d'un bâtiment réside dans son évaluation par une analyse de son cycle de vie ACV, pour réduire les coûts de construction du bâtiment, et maîtriser

surtout les coûts durant son utilisation (coûts de consommation énergétique) tout le long de sa durée de vie (coût de fonctionnement).

Il serait également intéressant d'établir une recherche sur la possibilité de combiner entre l'ACV bâtiment et d'autres filières en architecture telle la typologie des bâtiments.

A coté de l'approche cycle de vie sur les bâtiments neufs, il conviendra d'appliquer cette analyse de cycle de vie ACV pour la gestion des bâtiments existants, et la généraliser pour les opérations de rénovation des anciens bâtiments dans le cadre de la préservation du patrimoine architectural et urbain de la région de Biskra.

Une autre piste de recherche consiste à généraliser l'utilisation de l'ACV dans les bâtiments résidentiels, et l'élargir à l'échelle urbaine, celle d'un quartier résidentiel, afin de maîtriser l'utilisation de l'énergie dans les espaces urbains durant le cycle de vie du quartier.

Une perspective intéressante consisterait à étudier le gisement solaire des régions arides, comme source d'énergie renouvelable, comment il peut contribuer à réduire la facture énergétique par son utilisation comme source d'énergie pour l'éclairage public, la gestion des réseaux et de signalisation routière à l'échelle du quartier.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE :

1. **Abdou S.**, (2003) « *Investigation sur l'intégration climatique de l'habitat traditionnel en région aride et semi-aride d'Algérie, cas de Constantine et Ouargla* », Thèse de doctorat d'état, Université de Constantine 2003.
2. **Adalberth K.**, (2000) « *Energy Use and Environmental Impact of New Residential Buildings* », *Department of Building Physics, Lund University*.
3. **ADEME & AICVF**, (1993), « *Enseignement : programmer, concevoir, gérer les bâtiments à hautes performances énergétiques* ». Pyc Edition, Paris.
4. **ADEME**, (1999), Guide d'audit énergétique, U.R.E. « utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment », 1999, chapitre 9, p. 29.
5. **ADEME**,(2005), Note de synthèse externe, « Introduction à l'analyse de cycle de vie(ACV) ».
6. **ADEME**, (2015), « *Climat, air et énergie; Chiffres-clés* ». Edition 2015.
7. **ADEME**, (2015), Guide de l'éco-construction». Edition 2015.
8. **Adra N.** (2001), « *Proposition d'une procédure de certification énergétique des logements et application au contexte libanais*. [en ligne] <http://www.docina.insa-lyon.fr>
9. **Adriaanse A.**,(1993), «*Environmental Policy Performance Indicators: a study on the development of indicators for environmental policy in the Netherlands*», *Sdu Uitgeverij Koninginnegracht, The Netherlands*.
10. **AFNOR**. Norme NF EN ISO 14041(1998), *Management environnemental. « Analyse du cycle de vie - Définition de l'objectif et du champ de l'étude et analyse de l'inventaire »*.
11. **AFNOR**,(Association Française de Normalisation),NF P01-010 (2004),« *Qualité environnementale des produits de construction, déclaration environnementale et sanitaire des produits de construction* » ISSN 0335-3931.
12. **ANR**, Projet BENEFIG (2011), « *Bilan Energétique et Environnemental Fiable Simple et reproductible des bâtiments* » ANR-GUI-AAP-04-Doc Scientifique.
13. **APRUE**, Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie(2017). « *Consommation énergétique finale de l'Algérie chiffres clés Année 2015* ». Algérie : Ministère de l'Energie et des Mines.
14. **APRUE**(2015), « *Recueil de textes législatifs et réglementaires sur la maîtrise de l'énergie* ». Algérie : Ministère de l'Energie et des Mines.
15. **APRUE**(2015), « *Programme de développement de l'Efficacité énergétique à l'horizon 2030* ». Algérie : Ministère de l'Energie et des Mines.

16. **APRUE**(2015), « Programme des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique». Algérie : Ministère de l'Energie et des Mines.
17. **Arnal E.**,(2013) « *Modélisation et commandes hiérarchisées du bâtiment pour l'amélioration des performances énergétiques, thermiques et optiques* ». Thèse de Doctorat, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France.
18. **Arthur G.** (2001), « *Stratégies contemporaines* » Ecritures, modèles et simulations dynamiques pour l'architecture. Mémoire de 3^{ème} Cycle.
19. **Al-Hamoud M.S.**, (2005) « *Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials* », Building and Environment 40pp :353-366.
20. **Al-Shibami F.H.**, (2004), « *Thermal Comfort and Energy Efficiency in Yemeni Houses* », Thèse de Doctorat, Université Sheffield, Angleterre.
21. **Baddah S. & Draoui A. & Menezo C.H. & Yezou R. & Ben Abdelouahab J.**, (2005), « *Evaluation Energétique des Bâtiments au Nord du Maroc* », Actes des 12èmes Journées Internationales de Thermique, pp235-238, Tanger, Maroc, 15- 17 Novembre2005.
22. **Belakehal A.**,(2000), « *Microclimat et architecture bioclimatique contemporaine. Référence aux milieux arides à climat chaud et sec*. Proceedings C.H.E.M.S.S.2000, 13-6/05/2000, Alger, Institut de Mécanique de Blida, pp.19-23.
23. **Belakehal A.**, (1995), « *La Façade entre l'Esthétique et le Contrôle du Rayonnement Solaire. Cas de l'Habitation Individuelle Urbaine dans les Milieux Arides et Semi-arides des Pays Islamiques*. Thèse de Magistère en Architecture, Institut d'Architecture, centre Universitaire de Biskra, décembre 1995.
24. **Belakehal A.**, (2007), « *Etude des aspects qualitatifs de l'éclairage naturel dans les espaces architecturaux. Cas des milieux arides à climat chaud et sec* ». Thèse de doctorat en Architecture. Département d'architecture de Biskra.
25. **Belengini G. A.**, (2006), « *Life cycle assessment tools for sustainable development: Case studies for the mining and construction industries in Italy and Portugal*». *Thèse de doctorat, Université technique de LISBOA, Institut supérieur technique*.
26. **Belli-Riz P. & Sadoux S.** (2011), « *Eco-quartiers français en quête d'exemplarité : de l'exception à la règle ?*», Séminaire BASC 2011 à Biskra.
27. **Benkari N.** (2011), « *le concept de développement durable dans les programmes d'Architecture aux Emirats Arabes Unis* », Séminaire BASC 2011 à Biskra.
28. **Bondill A. et al** (1978), « *Isolation thermique* ». Edition Eyrolles, France.

29. **Bouchahm G., Bourbia F.** (2010), « *L'Impact de l'orientation des parois transparentes sur le confort thermique dans une salle de classe à Constantine* ». Revue des Sciences et Technologie 31: 71-80.
30. **Boulekbache M.H. & Roubai C.N.** (2011), « *Production architecturale durable, exigences comparées entre deux modèles conceptuels*», Séminaire BASC 2011 à Biskra.
31. **Brill M. et al** (1984), « *Using Office Design to Increase Productivity*». Buffalo, New York, USA.
32. **Blouet. A.,Rivoire. E.,** (1995), « *L'écobilan. Les produits et leurs impacts sur l'environnement* ». Edition Dunod, Paris, 1995. 213p.
33. **Bretz. R.** ,(1998). *SETAC LCA Workgroup : Data availability and data quality*. Gate to EHS: Global LCA Village.
34. **Brigitte Vu,** (2008), « *la maison à zéro énergie* », Edition Eyrolles, Paris.
35. **Brundtland,** (1987), « *Notre avenir à tous* », Rapport Brundtland, Livre de Commission mondiale sur l'Environnement et le Développement, Oxford University Press.
36. **Bodart M., Evrard A., PLEA** (2011) : « *Architecture and Sustainable Développement* » - volume 1 et 2 : 27th International Conférence PLEA 2011, Louvain-la-Neuve, Belgique.
37. **Bodart M. et al.** (2008), *Guide précis d'aide à la construction des modèles réduits*. Université Catholique de Louvain, Belgique.
38. **Bourbia F. & Zeroual D.&, Ahriz A.& Fezzai S.** (2009), « *Impact of form on the energy performance of buildings Case of hot and dry climates*», The Fourth International Energy, Energy and Environment Symposium Sharjah, UAE, 19-23 April, 2009 www.aus.edu/conferences/ieees.
39. **Bourbia F. & Zeroual D.** (2011), « *Impact de la conception des formes sur la performance énergétique des bâtiments - cas des Régions à climat chaud et aride - sous le thème mise en évidence de nouveaux modèles, validation et intégration dans le processus conceptuel* », Séminaire BASC 2011 à BISKRA.
40. **Catherine C.et Outrequin P.** (2006), « *Développement durable et renouvellement urbain : des outils opérationnels pour améliorer la qualité de vie dans nos quartiers* ». Edition L'Harmattan, France.
41. **Catherine C.,Outrequin P.**(2009), « *Vers un urbanisme durable: concevoir un éco-quartier* ». Ed. le Moniteur, Paris.
42. **Capderou M.** (1985), « *Atlas solaire de l'Algérie* » tome2 : aspect énergétique, OPU Alger, 1985 page 398.

43. **Chatelet A.** et **Fernandez P.** et **Lavigne P.** (1998), « *Architecture climatique : une contribution au développement durable* », tome 2 : *Concepts et dispositifs*, Aix-en-Provence, Edi-Sud, France.
44. **Chevalier J.**(2009), « *Analyse du cycle de vie - Utilisation dans le secteur de la construction* ». [en ligne] <http://www.notre-planete.info>
45. **Chevalier J.** (2009), « *Les nouveaux défis de l'énergie –Climat-Economie-Géopolitique* ». Edition Economica. [en ligne] <http://www.notre-planete.info>
46. **CIRAIG** (2005), « *Life Cycle Thinking* ».Interuniversity Research Centre For the Life Cycle of Products, Process and Services. [en ligne] <http://www.ciraig.org>
47. **COIMBA** (2011), « *Connaissance de l'impact environnemental des bâtiments : Développement des outils d'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments par analyse de cycle de vie* ». Salmon N., Duclos L. et Fillit F.: NOBATEK/Peuportier B.et Herfray G.: Armines , CEP/Chevalier J., Schipu N., lasvaux S. et Lebert A.: CSTB/ Jean-Louis Sénégas et Renaud Mikolase: Izuba energie .
48. **Collectif**, (2009), « *Qualité environnementale des bâtiments- Pour un développement durable dans la construction –Recueil de normes* », Librairie Environnement.
49. **Deshayes J.**, Projet ANR Habisol (2008) - SIMINTHEC - L1.1 - Plateforme INCAS – « *description des bâtiments tests et des éléments /systèmes contenus* ».
50. **Djeffal A.**, (2013), « *Analyse de cycle de vie comme outil pour le développement d'une stratégie de construction durable* ». Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magistère, Université Mohamed Kheider – Biskra , Algérie.
51. **D.T.R.**, C3-2(2007), « *Document Technique Règlementaire des bâtiments d'Habitations, Règles de calcul des déperditions calorifiques* », fascicule1, Algérie, Ministère de l'urbanisme et de l'Habitat. ISBN : 978-9961-845-30-1,2007
52. **D.T.R.**, C3-4(2007), « *Document Technique Règlementaire des bâtiments d'Habitations, Règles de calcul des apports calorifiques*», fascicule 2, Algérie, Ministère de l'urbanisme et de l'Habitat. ISBN : 9961-845-19-6,2005.
53. **Duffy F.**, (1997). « *The new office* », Conran Octopus, London.
54. **Dutshu H.**, (1999). « *la technique du bâtiment* », Edition *Le Moniteur*, Paris 1999.
55. **EASE**, Projet européen (Education of architects on solar energy and environment) (2010), «*LCA: the Life Cycle Approach to Buildings*». [www.cep.ensmp.fr/ease/sustain main.html](http://www.cep.ensmp.fr/ease/sustain/main.html).

56. **Eben Salah MA.** ,(1989), «*Impact of thermal insulation location on building in hot dry climates*». Rapport de recherche Saudi Arabia: King Saud University, Department of Architecture and building sciences.
57. **Ecoinvent**, «*Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Ecoinvent Center*». [En ligne] <http://www.ecoinvent.org/>.
58. **Estienne P. et Godard A.** (1970), *Climatologie*, Collection U, Paris, France.
59. **Escourrou G.** (1990), «*La spécificité du climat de l'agglomération parisienne* » Géo- carrefour 1990, pp.85-89.
60. **Fezzioui N. & Draoui B. & Benyamine M. & Larbi S.**, (2008), «*Influence des Caractéristiques Dynamiques de l'Enveloppe d'un Bâtiment sur le Confort Thermique au Sud Algérien* », Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, N°1, pp 25-34, 2008.
61. **Fezzai S., Ahriz A., Alkama D.** (2012), «*Evaluation des performances énergétiques de l'habitat traditionnel dans la région de Souf* », XXX Rencontres AUGC-IBPSA, Chambéry, Savoie, du 6 -8 juin 2012, France.
62. **Fischer G.N.** (1983), «*Le travail et son espace* ». Edition Dunod, Paris.
63. **Fischer G.N.** (1989), «*Psychologie des espaces de travail* ».Edition Armand Colin, Paris.
64. **Finnveden G. et al** (2009), «*Recent Developments in Life Cycle Assessment*», Journal of Environmental Management, Elsevier, vol.91, Issue 1, octobre2009, p.1-21.
65. **Franck M et al** (2011), «*Confort et santé dans les immeubles de bureaux énergétiquement performants : Approche globale et interactions entre confort et performance énergétique* » Edition Steelcase, Etats-Unis.
66. **Gallauziaux T. & Fedullo D.**(2010), «*le grand livre de l'isolation* », Edi Eyrolles, Paris.
67. **Gallo, C.et al**, (1998), «*Architecture: Comfort and Energy*», Elsevier. Royaume-Uni.
68. **Gauzin-Muller D.**, (2001), «*l'architecture écologique ,29 exemples européens* », Edition Le Moniteur, Paris 2001.
69. **Gauzin-Muller D.**, (2005), «*25 maisons écologiques*», Edition Le Moniteur, Paris.
70. **Gossard D.**, (2011), «*Impact de l'enveloppe sur la performance énergétique des bâtiments : de la caractérisation jusqu'à l'optimisation* »,Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France.
71. **Gratia E. et Herde (de)A.**, (2006), «*Thermique des immeubles de bureaux* » Université Catholique de Louvain– Presses Universitaires de Louvain La Neuve, Belgique.
72. **Gauthier D., Mazéas H., Lecouls H.**, (2004), «*Les Analyses de Cycle de Vie* », Académie des Technologies, 88p.

73. **Givoni B.**, (1978), «*L'Homme, L'Architecture et le Climat* » Edition Le Moniteur, Paris.
74. **Givoni B.**, (1994), «*Passive and low energy cooling of building*» Ed John Wiley and sons, Etats-Unis.
75. **Givoni B.**, (1998), «*Climate considerations in building and urban design*». Ed John Wiley and sons, Etats-Unis.
76. **Grisel L., Osset P.** (2004), «*L'analyse du cycle de vie d'un produit ou d'un service. Applications et mise en pratique* ». AFNOR 2004. 357p.
77. **Guechchati R. & Moussaoui M.A. & Mezrhab A. & Mezrhab Abd.** , (2010) «*Simulation de l'effet de l'isolation thermique des Bâtiments. Cas du centre psychopédagogique SAFAA à Oujda(Maroc)* », Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°2 ; pp223-232.
78. **Gobin C.**, (2003) «*Analyse fonctionnelle et construction* » Techniques de l'Ingénieur, Dossier C3-052, novembre 2003 (en ligne) www.ensmp.fr.
79. **Hauglustaine J.M. et al**, (2006) «*l'isolation thermiques des façades verticales : guide pratique pour les architectes* », Ministère de la région Wallonne, Université Catholique de Louvain la Neuve, Belgique.
80. **Herde (de) A., Liebard A.**, (2006) «*Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable* », Edition Le Moniteur 2006.
81. **Herfray G.**, (2011), «*Contribution à l'évaluation des impacts environnementaux des quartiers* ». Thèse de doctorat Paris Tech, France.
82. **INIES.** Base de données INIES. *Base nationale française de référence sur les impacts environnementaux et sanitaires des produits, équipements et services pour l'évaluation de la performance des ouvrages.* [En ligne] <http://www.base-inies.fr/Inies/default.aspx>.
83. **Izard. J.L** (1979), «*Archi- Bio* ». Edition Parenthèses, France.
84. **Izard. J.L** (1993), «*Architecture d'été, construire pour le confort d'été* ». Edi sud, Aix-en-Provence, France.
85. **Jolliet O., Saadé M., Grettaz P, Shaked S.** (2010), «*Analyse du cycle de vie: comprendre et réaliser un écobilan* ». Lausanne : Presses Polytechniques et universitaires, Collection gérer l'Environnement, ISBN : 978-2-88074-886-9.
86. **Journal Officiel de la République Algérienne, Loi n°99-09 du 28 Juillet 1999 Relative à la Maitrise de l'Energie.** J.O.R.A., N°51, Alger, 2 Aout 1999.
87. **Konya A.**, (1984), «*Design primer for hot climates; drawings by Charles Swanpeoel* », Paperback edition.

88. **Lavigne P.** (1994), « *Architecture climatique: une contribution au développement durable* ». Tome 1, Edition Edi Sud, Aix en Provence, France.
89. **Lavigne P.** (1998), « *Architecture climatique: une contribution au développement durable, concepts et dispositifs* ». Tome 2, Edition Edi sud, Aix en Provence, France.
90. **Liébard A., Herde (de)A.**, (2003) « *Guide de bioclimatique* » .6tomes.systemes Solaires, laboratoire architecture et climat, Université Catholique de Louvain, Belgique.
91. **Liébard A., Herde (de)A.**,(2005), *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*. Edition le Moniteur, France.
92. **Leroy, Y.** (2009), « *Développement d'une méthodologie de fiabilisation des prises de décisions environnementales dans le cadre d'analyses de cycle de vie basée sur l'analyse et la gestion des incertitudes sur les données d'inventaires* ». Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, France.
93. **Lhomme J.C.** (2005), « *La maison économe* », Delachaux et Nestlé SA, Paris 2005.
94. **Mansouri O, .F. Bourbia, R. Belarbi** (2018) « *Influence de la réflectivité de l'enveloppe sur la demande énergétique des bâtiments et sur le confort thermique* ». Nature et Technology 18 :33-42.
95. **Malek J., Omrane B.**, (2016), « *La thermique du bâtiment, du confort thermique aux choix des équipements de chauffage et de climatisation*», Edition Dunod, Paris, France.
96. **Medjelekh D.** (2006), « *Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment. Cas de l'habitat de l'époque coloniale à Guelma* », Mémoire de Magister. Université Mentouri, Constantine 2006.
97. **Medjelekh D. & Abdou S.** (2010), « *Impact de l'isolation thermique sur la température intérieure du bâtiment* ». Séminaire International sur le Génie Climatique et l'Énergétique, SIGCLE 2010 , Constantine (Algérie).
98. **Ministère de l'Habitat**(1993), « *Recommandations architecturales* ». Ed. ENAG, Alger.
99. **Ministère de l'Habitat**(1998), *Document Technique Règlementaire (D.T.R. C3-2)*, « *Règlementation thermique des bâtiments d'habitation Règles de calcul des déperditions calorifiques* », Fascicule 1, Centre National d'Etude et de Recherche Intégrées du Bâtiment CNERIB, Alger.
100. **Ministère de l'énergie et des mines**, (22 et 23 mai 2001), Conférence sur la maîtrise de l'énergie et de l'environnement dans un contexte d'économie de marché.
101. **Mitchell McCoy. J.**(2002), « *The Potential Role of the Physical Environment in Fostering Creativity*», Creativity Research Journal, vol14, pp 409-426.

102. **Moreno-Sierra A.** (2012), « *Intégration des aspects énergétiques dans la conception du projet architectural : une approche méthodologique* », Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux 1, France.
103. **Muller E.**, (2010), « *Utilisation d'un système ERP pour soutenir la réalisation d'une ACV* ». Thèse de doctorat ; Génie Industriel : École Polytechnique de Montréal, Canada.
104. **Munaretto F.**, (2014), « *Etude de l'influence de l'inertie thermique sur les performances énergétiques des bâtiments* ». Thèse de doctorat Paris Tech. , France.
105. **Mandallena C.**, (2006), « *Elaboration et application d'une méthode d'évaluation et d'amélioration de la qualité environnementale de bâtiments tertiaires en exploitation* ». Thèse de doctorat : Spécialité Mécanique ; Université Bordeaux1, France.
106. **Nadine A.** (2001), « *Proposition d'une procédure de certification énergétique des logements et application au contexte libanais* », Thèse de doctorat, Université de Lyon.
107. **Nait N.** (2011), « *La réhabilitation énergétique dans les logements collectifs existants* », Mémoire de Magistère, Université de Constantine 2011.
108. **Nezzar S. & Gourdache M.**, (1999), « *Etude des Performances Energétiques d'une conception Bioclimatique en Région Aride* », World Energy Council, 1999.
109. **Nicolas Morel** (2008), « *Energétique du bâtiment* » EPFL Lausanne, Suisse.
110. **OIN**, *Organisation Internationale de Normalisation*(2006), *Norme ISO 14040*, « *Management environnemental- Analyse du cycle de vie- Principes et cadre* ».
111. **OIN**, *Organisation Internationale de Normalisation*(2006), *Norme ISO 14044*, « *Management environnemental- Analyse du cycle de vie- Exigences et lignes directrices* ».
112. **Olgay V**, (1962), *Design with climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism*. Edition Princeton University press.
113. **ONM**, (2017), Office National de la météorologie.
114. **Owens. J. W.** (1997), « *Life-Cycle Assessment. Constraints on moving from inventory to impact assessment*». Journal of Industrial Ecology Vol. 1. N° 1.
115. **Pannier M.**, (2014), « *Analyse de cycle de vie des maisons passives de la plateforme INCAS* ». Centre d'Efficacité Énergétique des Systèmes, Ecole des Mines de Paris Tech & Armines, France.
116. **Peuportier B.** (1998), Projet européen REGENER : « *analyse de cycle de vie des bâtiments* », Ecole des Mines de Paris, 28p. , France.
117. **Peuportier B.** (2003), « *l'éco-conception des bâtiments* ». Ecole des Mines de Paris, France.

118. **Peuportier B.**, (2003), « *Eco-Conception des bâtiments : bâtir en préservant l'environnement* », Ecole des Mines de Paris, France 275 p.
119. **Peuportier B. et Putzeys K.**, (2005), *PRESCO, WP2, Inter-comparaison and benchmarking of LCA-based environmental assessment and design tools for buildings.*
120. **Peuportier B.** (2006), « *La simulation et les nouvelles attentes liées au concept de développement durable* ». Ecole des Mines de Paris, France.
121. **Peuportier B.** (2008), « *l'éco-conception des bâtiments et des quartiers* ». Ecole des Mines de Paris, France.
122. **Peuportier B.**, (2010), « *l'étude d'un modèle simplifié pour l'analyse de cycle de vie des bâtiments* ». Ecole des Mines de Paris, France.
123. **Payet J et Pedrazzini S** (2009), « Analyse de cycle de Vie. Eco-conception du matériel de montagne ». Table Ronde Mountain Riders ; 18 novembre 2009, Chambéry, France.
124. **Popovici E.** (2006), « *Contribution à l'analyse de cycle de vie des quartiers* », thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, 209 p., France.
125. **Richard C, Pierre M.**(2010), « *Complexité du bâtiment durable* ». Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Laboratoire des Sciences de l'Habitat, Université de Lyon, France.
126. **Roulet C.A.**(1987), « *Energétique du bâtiment* », Presses Polytechniques, édition Romandes, Lausanne, Suisse.
127. **Russel A. et al.** (2005), « *Life cycle assessment-introduction and overview* » Journal of Cleaner Production, p. 1207-1210.
128. **Sachs I.** (1974a), « *Environnement et style de développement* » Annales 1974 29-3 pp.553-570.
129. **Sachs I.** (1974b), « *Environnement et planification. Quelques pistes de recherche et d'action* » Information sur les sciences sociales, vol.13, (6), décembre p.17-29.
130. **Sachs I.** (1993), « *L'écodéveloppement. Stratégies de transitions vers le XXI^e siècle* » Edition Syros, Paris (Coll. Alternatives Economiques).
131. **Sambou V.** (2008), « *Transferts thermiques instationnaires: vers une optimisation de parois de bâtiments* » thèse de doctorat, Université de Toulouse, France.
132. **Scartezzini J.L.**(1991). « L'éclairage naturel dans le bâtiment ». Proceedings CISBAT'91, 10-11/Octobre/1991, EPFL, Lausanne, 9 pages.
133. **Shan. R.** (2013), « *Optimization for heating, cooling and lighting load in building façade design* ». Elsevier-Energy Procedia57: 1716-1725.

134. **Sidler O.** (2007), *Sté ENERTECH « les bâtiments à faible consommation d'énergie-éléments de contexte »* journée technique sur l'étanchéité à l'air des bâtiments, Dijon 21 novembre 2007 [en ligne] www.territoire-energie.fr
135. **Szokolay S.V.** (1980), «Environmental science handbook for architects and builders », the construction press Ltd Lancas, England.
136. **Thiers S.** (2008), « *Bilans Énergétiques et Environnementaux de Bâtiments à Énergie Positive* ». Thèse de doctorat: spécialité Energétique ; Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, France.
137. **Trachte S., Herde (de)A.** (2014), «*Sustainable Refurbishment School Buildings*», UCL– Presses Universitaires de Louvain, laboratoire architecture et climat, Université Catholique de Louvain, Louvain la neuve, Belgique.
138. **Trocmé M.** (2009), « *Aide aux choix de conception de bâtiments économes en énergie* ». Thèse de doctorat : spécialité Energétique ; Ecole Nationale Supérieure Des Mines De Paris, France.
139. **Vaillancourt J.G.** (1998), « *Développement durable et participation publique. De la contestation écologiste aux défis de la gouvernance* » Les Presses Universitaires de Montréal, Canada.
140. **Valcea D.E.** (1986), « *l'isolation thermique des constructions en Algérie* » Edition ENAL, Alger.
141. **Velazquez Ernesto E. R.** (2015), « *Processus de conception énergétique des bâtiments durables* » Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris Tech, France.
142. **Watson D. et Camous R.** (1986), « *l'habitat bioclimatique de la conception à la construction* », Edition L'Etincelle Québec, Canada.
143. **Wright D.** (1979), « *Soleil, Nature, Architecture* », Edition Parenthèses, France 1979.
144. **Wenzel K.** (2008), « *Efficacité Energétique dans le Bâtiment-Expériences dans la région MEDA* », Table ronde « énergie et expériences sectorielles », ENERGAI, Montpellier 2008 [en ligne] www.med-enec.com.
145. **Zemmouri N.**, (1986), « *Daylight Optimisation for Energy Conservation with Reference to Algeria* ». Mphil Thesis, School of Architecture and Building , University of Bath.

REVUES , GUIDES ET DOCUMENTS TECHNIQUES :

1. **APRUE** (2017), « Consommation énergétique finale de l'Algérie. Chiffres clés, année 2015 ». Données et Indicateurs,[Alger, APRUE 2017.
2. **Bulletin** des énergies renouvelables, semestriel n°11 Juin 2007.[En ligne] <http://www.cder.dz>
3. **Revue** des énergies renouvelables, *volume9, n°03, 2006*. [en ligne] <http://www.cder.dz>
4. **Guide** des énergies renouvelables, édition 2007. [en ligne] <http://www.cder.dz>
5. **Guide** pratique de l'ADEME « l'isolation thermique ». [en ligne] <http://www.ademe.fr>
6. **Bulletin** trimestriel de l'Aprue 09, Avril 2009. [en ligne] <http://www.aprue.org.dz>
7. **FFB** (2004), Fédération Française du Bâtiment, « Amélioration énergétique des bâtiments existants : les bonnes solutions », Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie(ADEME) et le Comité Scientifique et Technique des Industries Climatiques(COSTIC), Collection recherche développement métier, 2004.
8. Potentiel et opportunité en Algérie, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement de l'Algérie, Agence internationale de l'énergie, IEPF 2004 [en ligne] <http://www.planbleu.org>
9. Les vitrages et menuiseries, fiches techniques [en ligne]<http://www.oikos-ecoconstruction.com>
10. **Schildt J.**, Comment sauver le climat, [en ligne] <http://www.greenpeace.org>
11. Les économies d'énergie dans le bâtiment : la réglementation thermique en mouvement, [en ligne] <http://www.ademe.fr>
12. Algérie : Paradoxe facture Sonelgaz, Juin 2015, [en ligne] <http://www.cder.dz>
13. Efficacité Energétique dans le Secteur du Bâtiment en Méditerranée, [en ligne] <http://www.medenec-gtz.fr>
14. Efficacité énergétique des bâtiments, Un programme de mesures de plus en plus performant 2007-2008, [en ligne] <http://www.ecologie.gouv.fr>
15. Université Catholique du Louvain la Neuve(Belgique), Laboratoire Architecture et Climat (2000), [en ligne] <http://www.energie2.arch.ac.ucl.be>
16. Sonelgaz, Guide de confort.
17. **ADEME**: <http://www.construction-conseil.fr/materiaux-maison/tableau-comparatif-des-isolants>.

SITES WEB:

1. <http://www.ademe.fr>
2. <http://www.algerie-dz.com>
3. <http://www.aprue.org.dz>
4. <http://www.base-inies.fr>
5. <http://www.cstb.fr>
6. <http://www.cder.dz>
7. <http://www.construction-conseil.fr>
8. <http://www.ciraig.org>
9. <http://www.ecologie.gouv.fr>
10. <http://www.energie2.arch.ac.ucl.be>
11. https://www.ecobilan.com/fr_deam.php
12. <http://www.ecoinvent.org>
13. <http://www.ecoinvent.ch>
14. <http://www.energieplus.be>
15. <http://www.ensmp.fr>
16. <http://www.izuba.fr> Izuba énergies
17. <http://www.inies.fr>
18. <http://www.moinsdeco2.com>
19. <http://www.toutsurlisolation.com>
20. <http://www.lemaghrebdz.com>
21. <http://www.med-enec.com>
22. <http://www.suisse-energie.ch>
23. <http://www.notre-planete.info>
24. <http://www.greenpeace.org>
25. <http://www.developpement-durable.gouv.fr>
26. <http://www.planbleu.org>
27. <http://www.oikos-ecoconstruction.com>
28. <http://www.med-enec-gtz.fr>

Annexe : 01

Nova -EQUER

Outil développé par : **ARMINES** **IZUBA Énergies** Disponibilité de l'outil Diffusé depuis 2002 www.izuba.fr
-Version de démonstration gratuite. Licence à 500 €

Vocation / description sommaire de l'outil : EQUER permet d'évaluer les impacts environnementaux d'un bâtiment par analyse de cycle de vie, et de comparer diverses variantes de conception.

Fonctions principales : **Calcul des impacts environnementaux d'un bâtiment.**

Périmètre : domaine d'application	Bâtiments neufs ou existants, transports induits par le choix du site.	Sont exclus :	Bâtiments abritant des procédés industriels
Traitement de la vie en œuvre	<i>Énergie</i>	Chaînage à l'outil de simulation dynamique PLEIADES-COMFIE	
	<i>Eau</i>	Consommation d'eau froide et d'eau chaude	
	<i>Émissions</i>	Déchets d'activité	

Traitement de la fin de vie
Localisation des filières locales de traitement

Distances de transport vers une décharge (déchets inertes et déchets banals), un incinérateur, une usine de recyclage

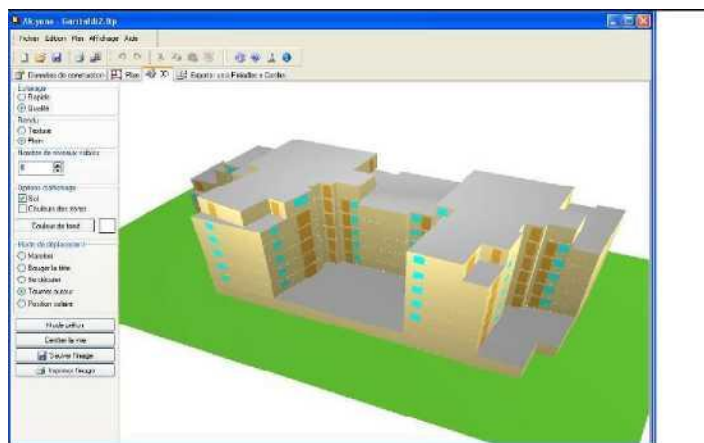
Traitement de la fin de vie
Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)

Mise en décharge, incinération (inventaires différents pour bois, plastiques...), recyclage (verre, acier, béton, aluminium)

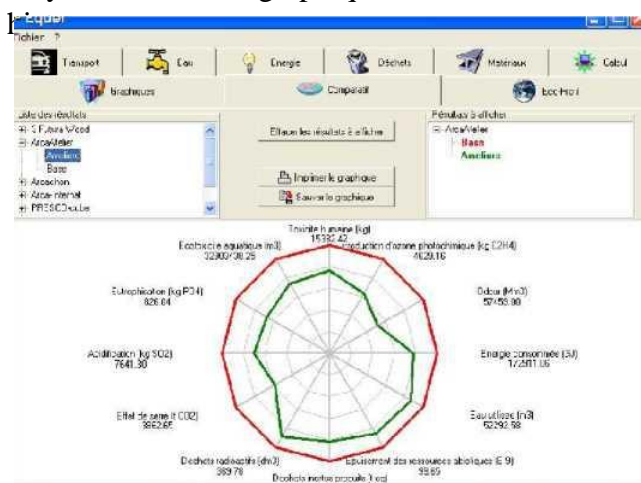
Pour quel public ? Acteurs de la construction. Prise en compte en Toutes.

Quelle étape du projet ? Permet une aide à l'éco-conception des bâtiments (neuf et réhabilitation)

Données d'ACV utilisées : Inventaires comportant plusieurs centaines de substances, pour les matériaux et les procédés. Un inventaire pour un nouveau produit peut être ajouté dans la base Ecoinvent puis exporté vers nova-EQUER.

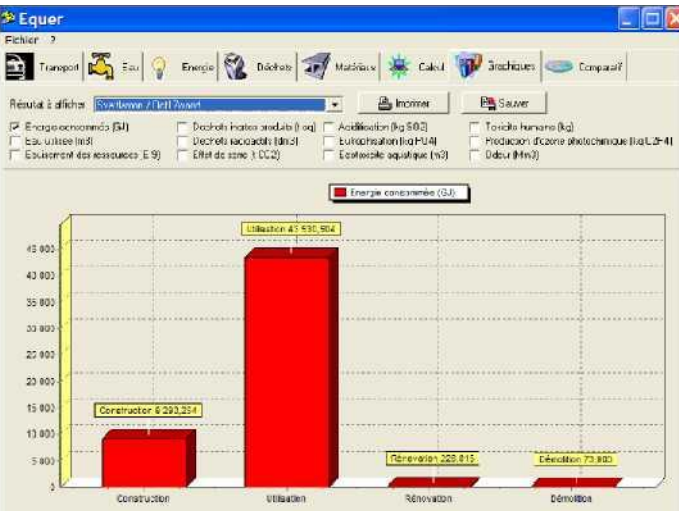


Données du bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> - plans par niveau (visualisation 3D) - techniques de construction (parois, vitrages, équipements...) - scénarios d'utilisation - type d'énergie, mixe de production d'électricité, données sur le site
Relié à quelles bases de données ?	Base Ecoinvent, www.ecoinvent.ch , version 2003
Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i>	<p>Douze indicateurs environnementaux</p> <ul style="list-style-type: none"> - Consommation de ressources énergétiques (énergie primaire totale) en MJ - Épuisement des ressources en kg éq. Antimoine (Sb) - Consommation d'eau totale, en m3 - Déchets ultimes, en tonnes eq. inertes - Déchets radioactifs, en dm3 - Changement climatique, en kg éq. CO₂ - Acidification atmosphérique, en kg éq. SO₂ - Eutrophisation, en kg eq. phosphates - Toxicité humaine, en eq. années de vie perdues - Atteinte à la biodiversité, en % d'espèces disparues x m2x an - Génération d'odeur, en m3 d'air pollué - Formation d'ozone photochimique, en kg éq. éthylène
Présentation des résultats :	Tableaux, graphiques radars et


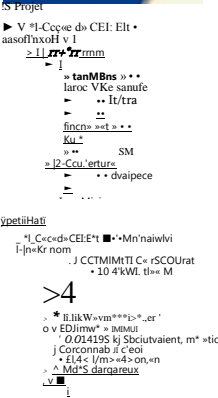
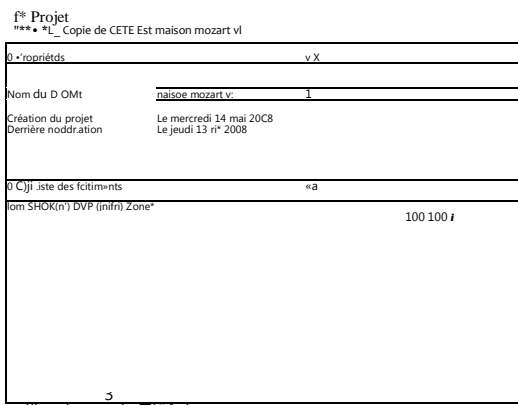


Résultats :
signification et
usage possible

Les résultats pour l'ensemble du bâtiment peuvent être exprimés en équivalent habitant année (profil normalisé)
Les variantes sont comparées sur l'ensemble du cycle de vie. La contribution des différentes phases peut être visualisée par un histogramme pour chaque indicateur.

	 <p>Les résultats sont fournis dans un fichier gérable par Excel pour des analyses spécifiques.</p>
Sources :	<p>Bernd Polster, Thèse de doctorat, École des Mines de Paris, 1995 Bruno Peuportier, Eco-conception des bâtiments, Presses de l'EMP, 2003 http://www.cenerg.ensmp.fr/francais/themes/cycle/index.html</p>

ELODIE

Outil développé par :	CSTB France	Disponibilité de l'outil :	En cours de bêta-test
Vocation / description sommaire de l'outil	ELODIE a été développé dans l'objectif d'utiliser les Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire des produits (FDES) de construction (en utilise pour le moment uniquement les données environnementales). Outil d'aide au choix des produits de construction à l'échelle des composants		
Fonctions principales	Calcule la part produit des impacts environnementaux d'un bâtiment. ELODIE n'est, dans cette version, pas un outil complet d'évaluation		
Périmètre : domaine d'application	Données produits « cradle to grave » à l'échelle du bâtiment. Bâtiments neufs	Sont exclus :	Pas de consommations énergétiques ou d'eau durant la durée de vie du bâtiment lui-même
Traitement de la vie en oeuvre	Energie Eau Emissions	Prévu dans le futur	
Traitement de la fin de vie	non	Traitement de la fin de vie Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)	non
Localisation des filières locales de traitement			
Pour quel public ?	Acteurs de la construction. Prise en main aisée de l'outil.		
Quelle étape du projet ?	Toutes. Permet une aide à la conception environnementale des bâtiments		
Données d'ACV utilisées	- données environnementales des produits et matériaux de construction (extraites automatiquement dans INIES ou gestion d'une base de données personnelle) « cradle to grave » (les dix indicateurs environnementaux de la		
Données du bâtiment	- métré quantitatif du bâtiment à homogénéiser avec les UF des FDES - DVT et DVE des produits de construction - SHON du bâtiment		

Relié à
quelles bases
de données ?

- Base INIES, répertoriant des FDES. (www.inies.fr)
- Possibilité de gérer sa propre base de données et de partager des produits entre les différents utilisateurs.

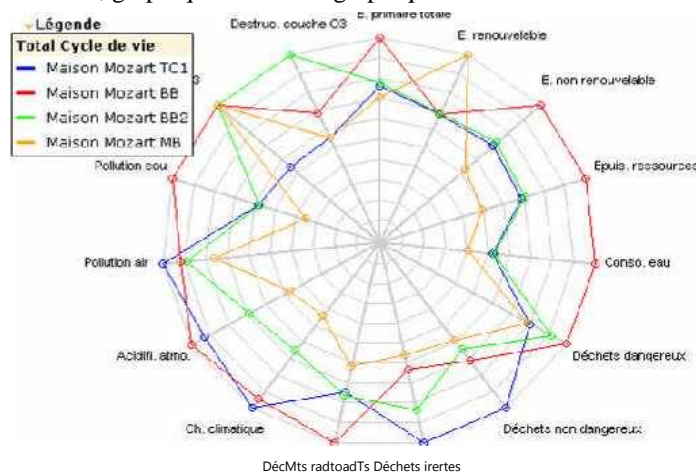
Résultats
principaux :

Les dix indicateurs environnementaux de la norme NF P01-010, excepté les déchets valorisés. Ils sont calculés grâce à l'agrégation des données produits.

Liste des
indicateurs

- Consommation de ressources énergétiques (énergie primaire totale, énergie renouvelable et énergie non renouvelable) en MJ
 - Epuisement des ressources (ADP) en kg éq. Antimoine (Sb)
 - Consommation d'eau totale, en L
 - Déchets solides éliminés (déchets dangereux, déchets non dangereux, déchets radioactifs, déchets inertes), en kg
 - Changement climatique, en kg éq. CO2
 - Acidification atmosphérique, en kg éq. SO2
 - Pollution de l'air, en m3
 - Pollution de l'eau, en m3
 - Destruction de la couche d'ozone stratosphérique, en kg CFC éq. R11
- Tableaux, graphiques radars et graphiques « camemberts ».

Présentation
des résultats :



Pour les résultats pour l'ensemble du bâtiment, les **unités des résultats** peuvent être choisies parmi les suivantes :

- totaux pour l'ensemble du cycle de vie,
- totaux par m² de SHON et
- totaux par m2 de SHON et par annuité.

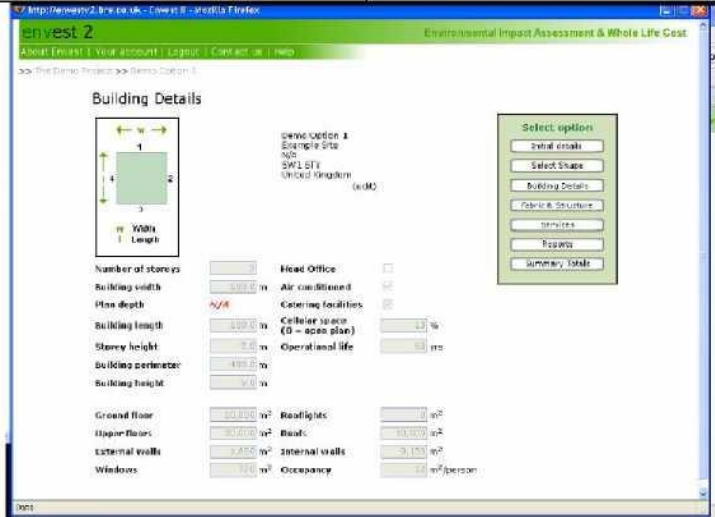
Résultats :
signification
et usage
possible

Les résultats affichés sont le résultat de l'agrégation des données environnementales des produits : les phases de construction et de remplacement sont prises en considération. Les données « produit » intègrent les phases de vie en œuvre et de fin de vie.

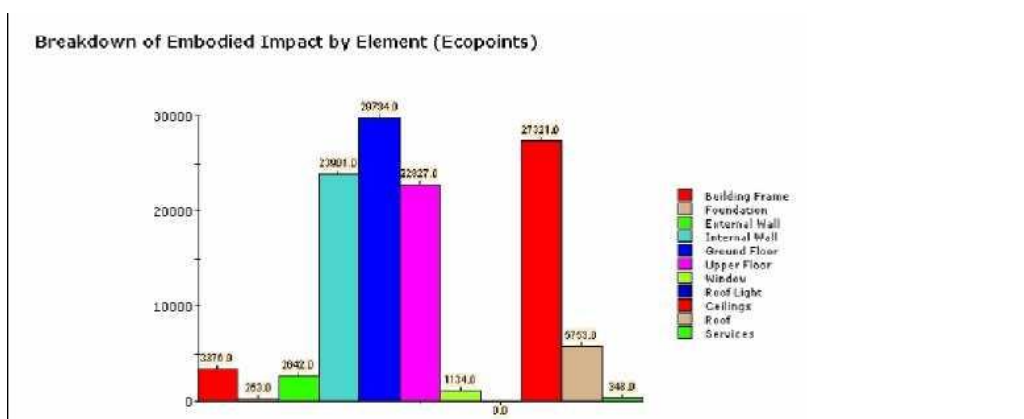
ELODIE met à votre disposition des fonctions de comparaison de solutions constructives ; il est donc possible de comparer plusieurs bâtiments.

Pour chacun des indicateurs environnementaux, un graphique donne la répartition des impacts imputable à chaque zone.



ENVEST			
Outil développé par :	UK	Disponibilité de l'outil :	Envest 2, interface web, sous licence.
Vocation / description sommaire de l'outil	Outil permettant de calculer les impacts environnementaux à l'échelle du bâtiment et le coût global de celui-ci. Il existe 2 logiciels distincts : <i>Envest 2 Estimator</i> (les coûts des produits et leur durée de vie sont prédéterminées et ne peuvent être modifiées) et <i>Envest 2 Calculator</i> (les coûts des produits et leur durée de vie peuvent être modifiés). Il est possible d'échanger des informations avec les autres utilisateurs.		
Fonctions principales	Calcule la part produit des impacts environnementaux d'un bâtiment et la consommation du bâtiment durant sa vie en oeuvre.		
Périmètre : domaine d'application	Bâtiments neufs ou existants. « Cradle to grave »	Sont exclus :	
Traitement de la vie en oeuvre	<i>Énergie</i>	Chauffage (pertes de chaleur par paroi, ...), éclairage (demande de la charge d'éclairage, du type de matériel installé, de l'investissement demandé), ventilation, refroidissement, ascenseurs, ...	
	<i>Eau</i>	Oui	
	<i>Émissions</i>	Non	
Traitement de la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>		Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	
Pour quel public ?	large		
Quelle étape du projet ?	Phase de conception		
Données d'ACV utilisées	Les données d'Envest 2 sont spécifiques au Royaume-Uni: a) la durée de vie b) les facteurs d'expositions c) les référence en matière de consommation d'énergie et d'eau d) les analyse du cycle de vie des matériaux e) les éco-points (la normalisation et la pondération sont spécifiques au Royaume-Uni)		
Données du bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> - Type de bâtiment - Métré quantitatif du bâtiment (nombre d'étage, surfaces, forme du bâtiment, périmètre, hauteur des étages, % de surface vitrées, % de surface occupées par des portes) - durée de vie du bâtiment (et % de perte de performance) - durée d'occupation du bâtiment et nombre d'occupants - type de sol sur lequel le bâtiment est implanté 		

<p>Relié à quelles bases de données ?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Description des équipements techniques (climatisation, éclairage, ascenseurs...) - Composition du bâtiment (nature des matériaux.) - Le logiciel utilise la base de données de BRE. <p>BRE a une base de données répertoriant les impacts environnementaux pour 1 tonne de chacun des matériaux. La performance environnementale des produits est exprimée à l'aide de 13 indicateurs différents, qui donnent le profil environnemental « cradle to gate » des produits. La performance environnementale « cradle to grave » est disponible pour des éléments, la durée de vie ayant été fixée pour tous à 60 ans.</p>
<p>Résultats principaux : Liste des indicateurs</p>	<p>13 indicateurs environnementaux valeur quantitative des indicateurs et un indicateur à points : Ecopoint score Des indicateurs économiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Consommation de ressources énergétiques fossiles, en TEP - Extraction de minéraux, en kg - Consommation d'eau totale, en L - Déchets éliminés, en kg - Changement climatique, en kg éq. CO₂ - Acidification atmosphérique, en kg éq. SO₂ - Destruction de la couche d'ozone stratosphérique, en kg CFC11 - Formation de d'ozone photochimique, en kg éq. Éthylène - La toxicité pour l'homme dans l'air, en kg de toxicité (la toxicité est calculée comme la masse nécessaire pour diluer chaque substance toxique au-dessous de sa concentration maximale tolérable) - La toxicité pour l'homme à l'eau - L'eutrophisation, en kg éq. Phosphate - Écotoxicité, m3 de toxicité <p>Indicateur complémentaire :</p>
<p>Présentation des résultats :</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La pollution associée au transport et à la congestion du trafic, en tonnes. kilomètres <p>Graphique, tableaux, rapports</p> <p>Possibilité de comparer plusieurs bâtiments, plusieurs matériaux de constructions et différentes stratégies de maintenance.</p> <p>Possibilité de comparer l'énergie grise avec l'énergie consommée durant la vie en œuvre. Pour les résultats pour l'ensemble du bâtiment, les unités des résultats peuvent être choisies parmi les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - totaux pour l'ensemble du cycle de vie, - totaux par m².
<p>Résultats : signification et usage possible</p>	<p>Les résultats affichés sont le résultat de l'agrégation des données environnementales des produits : les phases de construction et de remplacement sont prises en considération.</p>



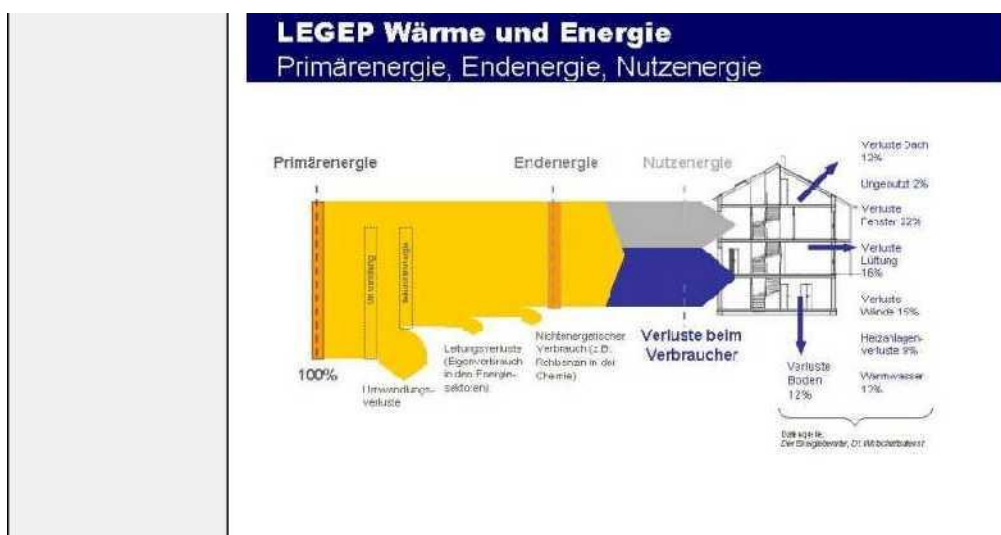
L'indicateur à points « Ecopoints » est calculé en faisant la somme des scores obtenus pour chaque indicateur environnemental. Le score pour un indicateur est obtenu en multipliant l'impact normalisé avec sa pondération.

Sources :

<http://www.bre.co.uk/page.jsp?id=52>
<http://investv2.bre.co.uk/>

LEGEP

Outil développé par :	Allemagne, LEGEP-Software GmbH	Disponibilité de l'outil	Sous licence
Vocation / description sommaire de l'outil	<p>LEGEP a été développé dans l'objectif d'être un outil complet pour évaluer le cycle de vie d'un bâtiment.</p> <p>C'est un outil composé de quatre logiciels, permettant d'obtenir, et ce pour chacune des phases du cycle de vie d'un bâtiment, non seulement</p> <ul style="list-style-type: none"> - ses consommations énergétiques (chauffage, l'eau chaude, l'électricité) - ainsi qu'une évaluation de son coût global (construction, vie en oeuvre - consommations, coût des produits d'entretien-, maintenance, rénovation, démolition) ; 		
Fonctions principales	Calcule les impacts environnementaux d'un bâtiment et son coût global.		
Périmètre : domaine d'application	Données produits « cradle to grave » à l'échelle du bâtiment. Bâtiments neufs et existants ou produits de construction.	Sont exclus :	
Traitement de la vie en oeuvre	Energie	<p>Sont calculées les consommations de chauffage, d'eau chaude, d'électricité ...</p> <p>Construction du diagramme de Sankey sur les consommations et pertes thermiques.</p> <p>Type d'utilisation et densité d'occupation des locaux pour calculer certains usages. Possibilité d'intégrer aux calculs les apports solaires et la production d'électricité à partie de</p>	

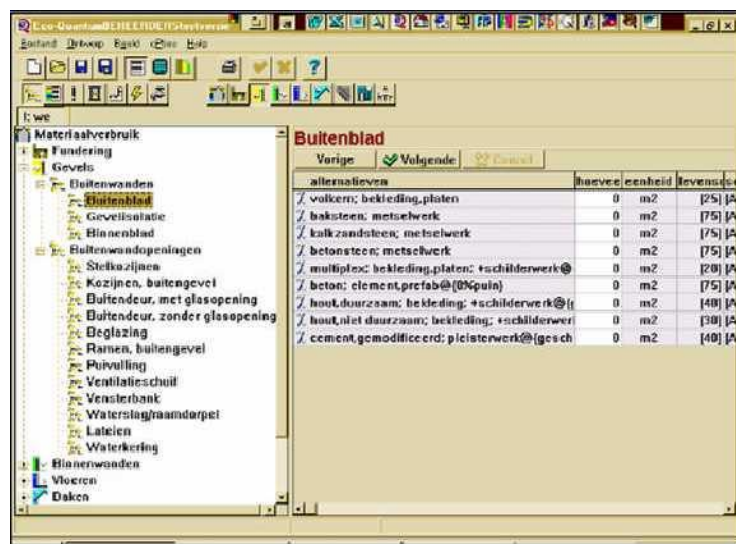


Eau	Type d'utilisation et densité d'occupation des locaux pour calculer la consommation d'eau (à partir de données statistiques). Possibilité d'intégrer l'usage d'eau de pluie.
-----	---

Traitement de	Emissions	Traitement de la fin de vie
la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>		<i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>
Pour quel public ?		
Quelle étape du projet ?	Toutes	
Données d'ACV utilisées	LEGEP récupère différents données : données environnementales, énergétiques et économiques.	
Données du bâtiment	Dans LEGEP, un bâtiment peut être décrit simultanément et de façon complémentaire à différentes échelles : inventaires de cycle de vie, caractéristique des matériaux, données de process, éléments simples, éléments composés (tels que des fenêtres) ou à l'aide de macro-éléments, (tels qu'un toit). L'utilisateur établit également des scénarios de maintenance, d'entretien, et de	
Relié à quelles bases de données ?	LEGEP est organisé autour de quatre logiciels qui ont chacun leur base de données. tous contenus dans une base de données interne au logiciel. L'utilisateur peut également utiliser une base de données de matériaux de construction ou renseigner l'inventaire du cycle de vie d'un produit (à partir des bases de données ECOINVENT, GEMIS, Baustoff Okoinventare et la propre base de LEGEP). Pour évaluer le coût de chaque élément renseigné, LEGEP utilise ainsi une	
Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i>	LEGEP fournit donc les impacts environnementaux pour les étapes de construction, et de vie en oeuvre. Pour les indicateurs environnementaux, LEGEP propose huit indicateurs : - Changement climatique GWP100 ans (méthode CML) en kg éq. CO2 - Acidification atmosphérique, en kg éq. SO2 - Formation d'Ozone photochimique, en kg éq. éthylène - Destruction de la couche d'ozone stratosphérique, en kg.éq CFC-R11 - Eutrophisation, en éq. Phosphate - Consommation d'énergie primaire, en MJ - Consommation d'énergie renouvelable et non-renouvelable, en MJ - Ressources, en kg éq. Antimoine Des indicateurs supplémentaires devraient être bientôt proposés.	
Sources :	http://www.legoe.de/ PRESCO www.etn-presco.net	

ECO QUANTUM			
Outil développé par	Pays Bas_ Financé par le Steering Committee for Experiments in Public Housing, la Fondation pour la Recherche dans la construction, l'Association des Architectes hollandais et le gouvernement	Disponibilité de l'outil :	
Vocation / description sommaire de l'outil	<p>ECO QUANTUM a été développé dans l'objectif d'offrir aux architectes la possibilité d'effectuer une rapide analyse de leurs proposition, de faciliter la communication entre les différents acteurs et d'optimiser la conception des bâtiments.</p> <p>ECO QUANTUM est un outil d'aide à la décision basé sur les ACV donnant des informations quantitatives sur les impacts environnementaux des bâtiments.</p> <p>Il existe deux versions d'ECO QUANTUM :</p> <ul style="list-style-type: none"> - ECO QUANTUM Recherche (qui est un outil pour analyser et développer des conceptions innovatrices et complexes pour des constructions durables) et - ECO QUANTUM Domestique (qui est un outil adaptés aux architectes et révèle rapidement les conséquences environnementales des choix de 		
Fonctions principales	Calcule la part produit des impacts environnementaux d'un bâtiment.		
Périmètre : domaine d'application	Données produits « cradle to grave » à l'échelle du bâtiment.	Sont exclus :	Pas de consommations énergétiques ou d'eau durant la durée de vie du bâtiment lui-même
Traitement de la vie en oeuvre	<i>Énergie</i>	oui	
	<i>Eau</i>		
	<i>Émissions</i>		
Traitement de la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>	oui	Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	
Pour quel public ?	Architectes Maîtrise d'ouvrage		
Quelle étape du projet ?	Toutes. Mais en particulier phase de conception		

Selon la phase de construction, EQ est utilisé différemment : pendant la phase de conception préliminaire : les recommandations sur la forme et des dimensions et rempli des éléments de construction peuvent être le résultat d'EQ. Plus tard dans le processus de construction, les recommandations deviendront plus détaillées. Indiquant par exemple un composant qui devrait être remplacé pour réduire l'impact sur l'environnement de la construction.



Relié à quelles bases de données ?

Données
d'ACV
utilisées

- composants du bâtiment et les quantités

Données du
bâtiment

ECO QUANTUM utilise deux bases de données : les Profils Environnementaux et les Composants. Une version spécifique du LCA SimaPro donne les profils environnementaux pour plus de 100 matériaux de construction et certains process, comme la production d'énergie et l'eau, le transport et le traitement des déchets.

Relié à quelles
bases de
données ?

La base de données est structurée en 4 niveaux : le logement complet, 8 « parties » de bâtiment, 24 éléments et environ 60 composants.

Résultats
principaux :
Liste des
indicateurs

Les onze indicateurs environnementaux et mesures environnementales calculés grâce à l'agrégation des données produits :

- Consommation de ressources énergétiques, en kWh/unité
- Epuisement des ressources, en t de matières premières
- Déchets éliminés, en t/unité
- Déchets dangereux éliminés, en kg
- Changement climatique, en t CO₂/ unité
- Acidification atmosphérique, en kg éq. SO₂
- Destruction de la couche d'ozone stratosphérique, en kg CFC éq. R11
- Formation de d'ozone photochimique, en kg éq. Éthylène
- Toxicité humaine, en kg

- Écotoxicité (eau, sédiments et terrestre), en m3/ kg

- Nutrification

Ces indicateurs sont ensuite agrégés de manière à obtenir 4 scores distincts ; ressources, émissions, énergie et déchets. Chacun de ces indicateurs et scores sont divisés en trois catégories : matériaux, énergie et eau.

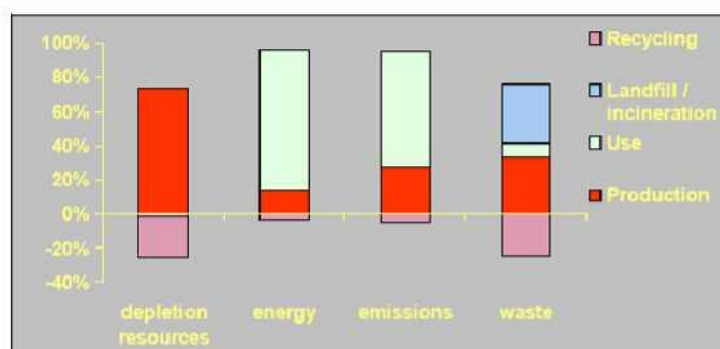
Présentation
des résultats :

Tableaux, graphiques et rapports générés par le logiciel.

Les résultats peuvent être donnés pour le cycle de vie entier d'un bâtiment complet mais également pour des sections transversales diverses du bâtiment, telles qu'un matériel particulier, un simple composant ou une phase du cycle de vie, par m², par m³ ou par personne.

Résultats :
signification
et usage
possible

Les résultats affichés sont le résultat de l'agrégation des données



Sources :

<http://www.uni-weimar.de/scc/PRO/TOOLS/nl-quantum.html> (IEA-BCS Annexe 31 du rapport “Energy related Environmental impact of Buildings”) Centre for Design at RMIT *pour le* Department of the Environment and Heritage, Environment Australia. Greening the Building Life Cycle: Life cycle assessment tools in building and construction. Building LCA. Tools Description. 51 pages. 2001. Disponible sur [<http://buildlca.rmit.edu.au>]

TEAM™ Bâtiment			
Outil développé par	Écobilan_ France	Disponibilité de l'outil :	Outil Web_ accès grand public (après enregistrement) Et accès payant pour les personnes souhaitant prendre connaissance de la partie détaillée de l'évaluation (étape par étape, flux par flux) et réaliser des comparaisons d'inventaires et d'impacts avec l'outil.
Vocation / description sommaire de l'outil	TEAM™ Bâtiment a été développé dans l'objectif d'utiliser les Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire des produits (FDES) de construction (en utilise pour le moment uniquement les données environnementales). Outil d'aide au choix des produits de construction à l'échelle des composants		
Fonctions principales	Calcule la part produit des impacts environnementaux d'un bâtiment.		
Périmètre : domaine d'application	Données produits « cradle to grave » à l'échelle du bâtiment.	Sont exclus :	
Traitement de la vie en oeuvre	<i>Énergie</i>	Oui. Les résultats des simulations thermiques doivent être rentrés pour pouvoir être utilisés	
	<i>Eau</i>	Oui	
	<i>Émissions</i>	Non	
Traitement de la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>	Non	Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	Non
Pour quel public ?	Accès grand public.		
Quelle étape du projet ?	Toutes.		
	Prise en compte de la maintenance/rénovation		
Données d'ACV utilisées	- données environnementales des produits et matériaux de construction (extraites automatiquement dans INIES ou gestion d'une base de données personnelle) « cradle to grave » (les dix indicateurs environnementaux de la		
Données du bâtiment	- mètre quantitatif du bâtiment à homogénéiser avec les UF des FDES (quantités de produits et de matériaux)		
Relié à quelles bases de données ?	- Propre base de FDES constituée à partir de la base INIES (www.inies.fr), de sites web de fédérations ou de FDES provenant directement des fabricants eux-mêmes.		

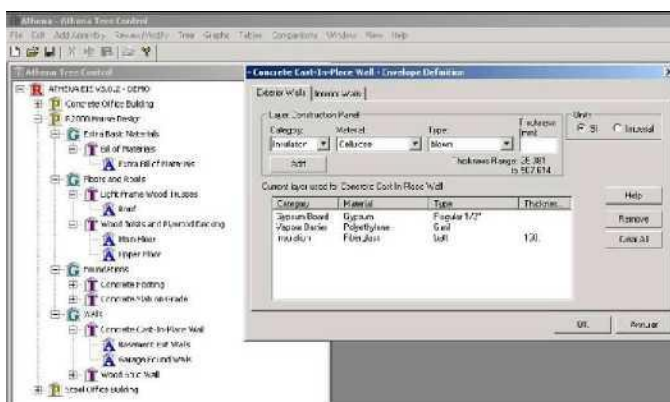
	<p>concernant les énergies et les transports ainsi que des données de sa base de données DEAM.*</p> <ul style="list-style-type: none"> - En absence de FDES, pour décrire certains produits, l’outil permet d’utiliser des modélisations simples (à partir d’ACV publiques différentes des FDES, ou des calculs d’ingénieurs)
<p>Résultats principaux : <i>Liste des indicateurs</i></p>	<p>Les dix indicateurs environnementaux de la norme NF P01-010, excepté les déchets valorisés. Ils sont calculés grâce à l’agrégation des données produits.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Consommation de ressources énergétiques (énergie primaire totale, énergie renouvelable et énergie non renouvelable) en MJ - Épuisement des ressources (ADP) en kg éq. Antimoine (Sb) - Consommation d’eau totale, en L - Déchets solides éliminés (déchets dangereux, déchets non dangereux, déchets radioactifs, déchets inertes), en kg - Changement climatique, en kg éq. CO2 - Acidification atmosphérique, en kg éq. SO2 - Pollution de l’air, en m3 - Pollution de l’eau, en m3 - Destruction de la couche d’ozone stratosphérique, en kg CFC éq. R11 - Formation de d’ozone photochimique, en kg éq. éthylène
Présentation des résultats :	Sous forme tabulaire et graphique.
Résultats : signification et usage possible	<p>Les résultats affichés sont le résultat de l’agrégation des données environnementales des produits.</p> <p>Possibilité de comparer plusieurs bâtiments.</p> <p>Possibilité de comparer les résultats avec des ordres de grandeurs de la vie courante.</p>
Sources :	http://www.ecobilan.com/lci-building/fr/index.php (rien actuellement)

ATHENA Impact Estimator for Buildings

Outil développé par	ASMI_Canada (Athena Sustainable Materials Institute)	Disponibilité de l'outil :	CD distribué par Morrison Hershfield Consulting Engineers CD d'utilisation à \$1100 Version démo téléchargeable
Vocation / description sommaire de l'outil	Le logiciel permet de simuler plus de 1000 combinaisons différentes et permet de modéliser 95% des constructions de bâtiments en Amérique du Nord. L'estimateur tient compte des effets sur l'environnement dus à la fabrication industrielle, y compris l'extraction de ressources, les produits recyclés, les effets du transport, l'incidence régionale de l'utilisation d'énergie, du transport et les autres facteurs... L'outil peut être utilisé de manière autonome ou peut s'adapter dans un système comme par exemple le		
Fonctions principales	<p>Outils de décision, outils d'évaluation environnementale des bâtiments canadiens.</p> <p>Permet d'obtenir un profil environnemental du bâtiment et par conséquent d'établir des comparaisons entre différentes alternatives de conception et d'usage de matériaux.</p> <p>Évalue l'impact du bâtiment en prenant en compte :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la fabrication des matériaux (incluant l'extraction des ressources et le contenu en produits recyclés) - le transport - la construction in-situ - la variation régionale en utilisation d'énergie, transport et autres facteurs - le type de bâtiment et la durée de vie - la maintenance, la réparation et le remplacement - démolition et traitement des déchets - consommations énergétiques liées à l'usage du bâtiment 		
Périmètre : domaine d'application		Sont exclus :	Qualité de l'air intérieur
Traitement de la vie en œuvre	<i>Énergie</i>	OUI	
	<i>Eau</i>	<i>En cours d'élaboration</i>	
	<i>Émissions</i>	<i>En cours d'élaboration</i>	
Traitement de la fin de vie <i>Localisation des filières locales de traitement</i>	Pas de filières identifiées	Traitement de la fin de vie <i>Recyclage des matériaux (Démontabilité, Séparabilité, Recyclabilité, Recyclage effectif)</i>	OUI : Énergie nécessaire à la démolition des systèmes structurels.
Pour quel public ?	Architectes Ingénieurs Chercheurs		
Quelle étape	Toutes		

du projet ?

Conçu pour les bâtiments neufs industriels et institutionnels, les bureaux et les bâtiments résidentiels à usage individuel ou



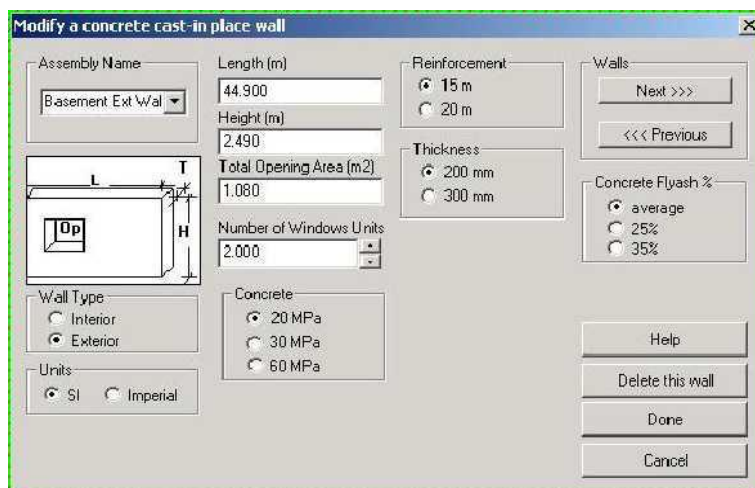
Données d'ACV utilisées

Bases de données ACV (qui contiennent 90-95% des systèmes structurels (bois, acier, et béton ; produits pour les revêtements ; isolants ; plaques de plâtre et matériaux de finition, choix de marques des fenêtres et des vitrages)). Consommation d'énergie et émissions sur l'air pour la construction in situ d'assemblages ; Énergie nécessaire à la démolition des systèmes structurels. **Evolutions actuelles en termes de nouveaux produits et sur les étapes opérationnelles (pendant l'usage) et de**

Données du bâtiment

- Durée de vie du bâtiment
- Localisation du projet
- Type de bâtiment
- Sources et quantités d'énergie durant l'utilisation du bâtiment

L'utilisateur précise le type ou l'épaisseur des matériaux, ainsi que le mètre pour chaque élément



Relié à quelles bases de données ?

Utilise les bases de données de l'institut Athena internationalement reconnues pour l'inventaire du cycle de vie, couvrant plus de 90 matériaux de structure et d'enveloppe. Utilise également les données de la US Life Cycle Inventory Database (www.nrel.gov/lci).

Résultats principaux : Liste des indicateurs

Consommation d'énergie (GJ)
 Index de pollution d'air
 Index de pollution de l'eau
 Production de déchets solides (Tonnes)
 Changement climatique : GWP (Tonnes éq. CO₂)
 Épuisement des ressources (T) *Weighted Resource*

Présentation des résultats : **Graphiques et tableaux** Graphes de synthèse
 - Graphiques par étapes du cycle de vie (disponibles pour les 6 indicateurs)

Primary El	Primary Energy	Embodied Energy	Insulation	Particulate Emission	NOx Emission	SOx Emission	Life Cycle GHG Emission (Giga Joules)	Life Cycle Acid Equivalent Emission (Giga Joules)	Stages	0	10	00
Manufacturing-												
Construction-												
O&M-												
Total Embodied-												
Annual Op. En -												

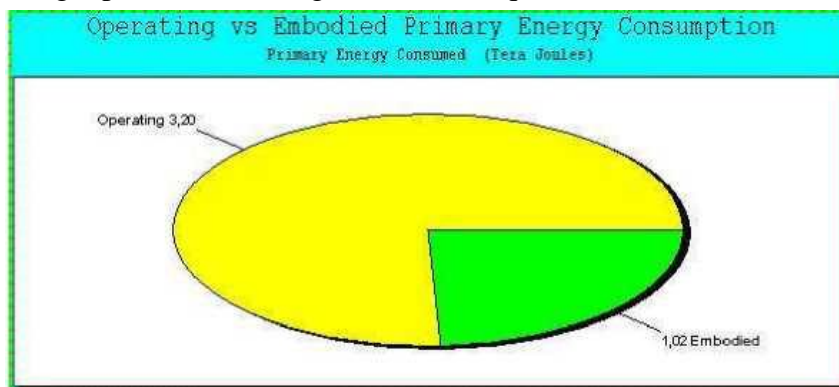
Material Transportation Annual Op. Energy

- Graphiques par groupes d'assemblage (enveloppe extérieure détaillée, structure et enveloppe...) : disponibles pour les 6

Primary Energy	Embodied Energy	Insulation	Particulate Emission	NOx Emission	SOx Emission	Life Cycle GHG Emission (Giga Joules)	Life Cycle Acid Equivalent Emission (Giga Joules)	Stages	0	10	00
Foundation-											
Walls-											
Floor&Roof-Extra											
Total-											

Structural Cladding Insulation Windows Others

- Camembert de comparaison des opérations de maintenance et de l'énergie grise du bâtiment (disponible uniquement pour les indicateurs suivants : énergie primaire et changement climatique)

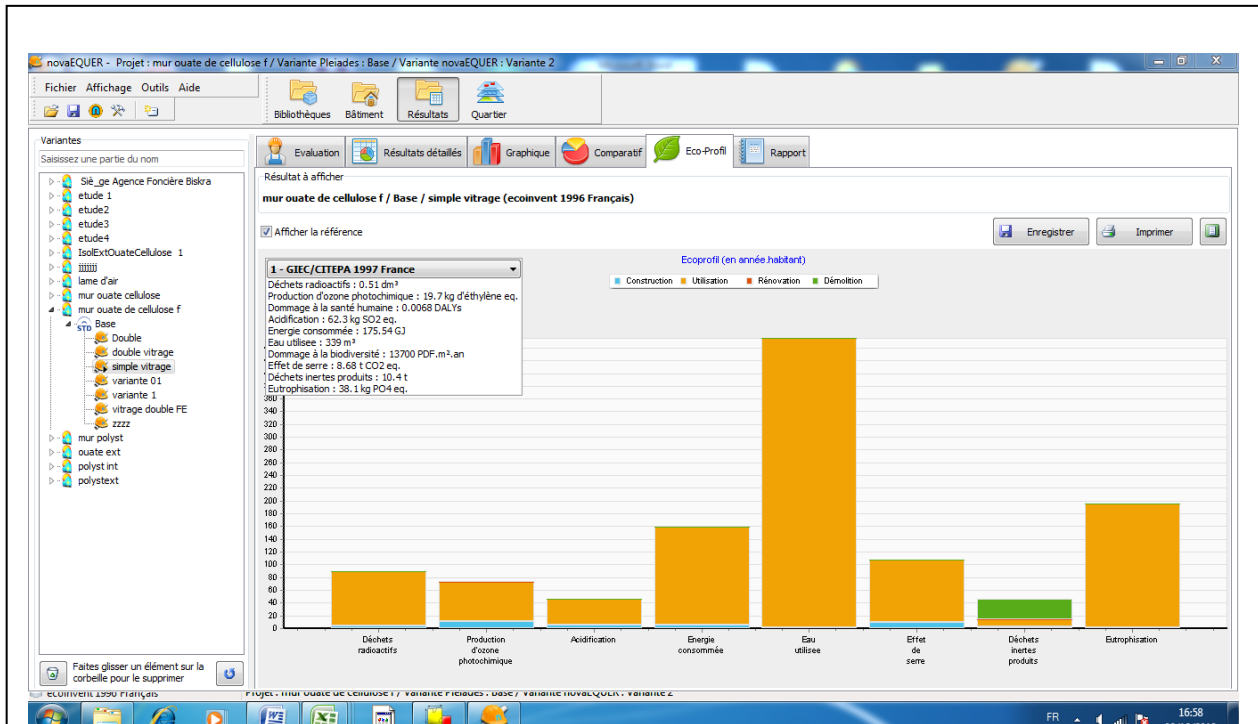


Tableaux

Synthèse par étape du cycle de vie (tableau de résultats annuels et tableau de résultat sur la durée de vie)

Annexe :02

Variante : Bâtiment avec simple vitrage.



Ecoprofil des impacts environnementaux par phase du cycle de vie du bâtiment.

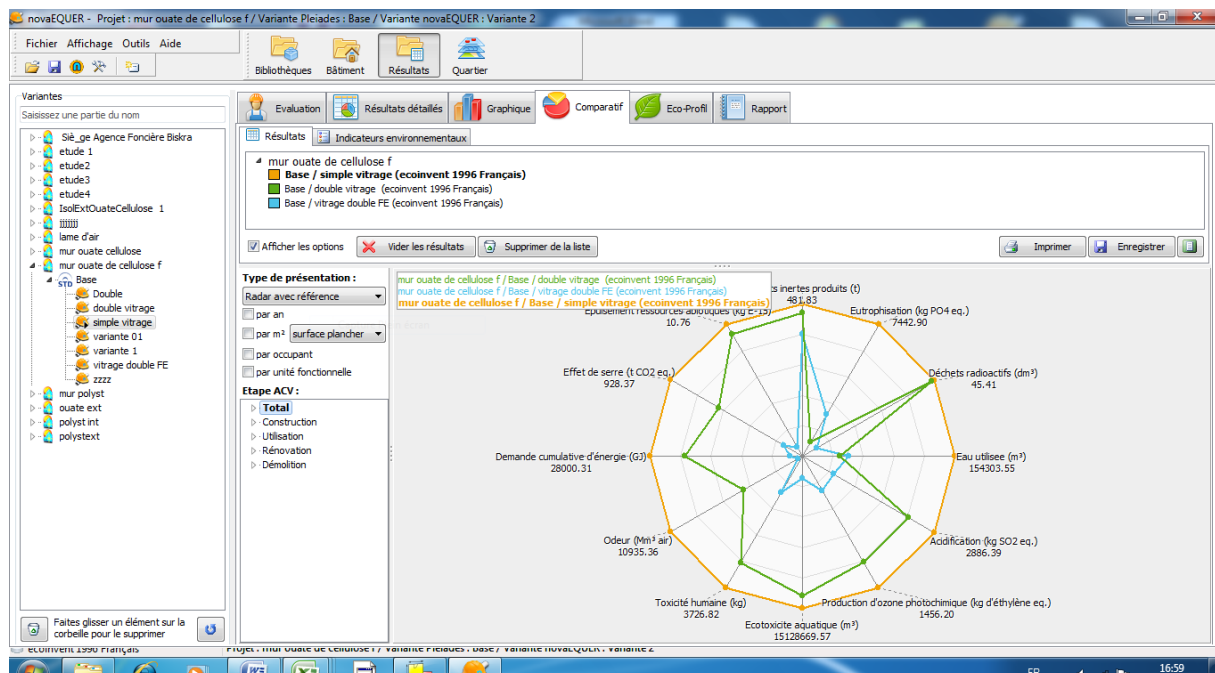
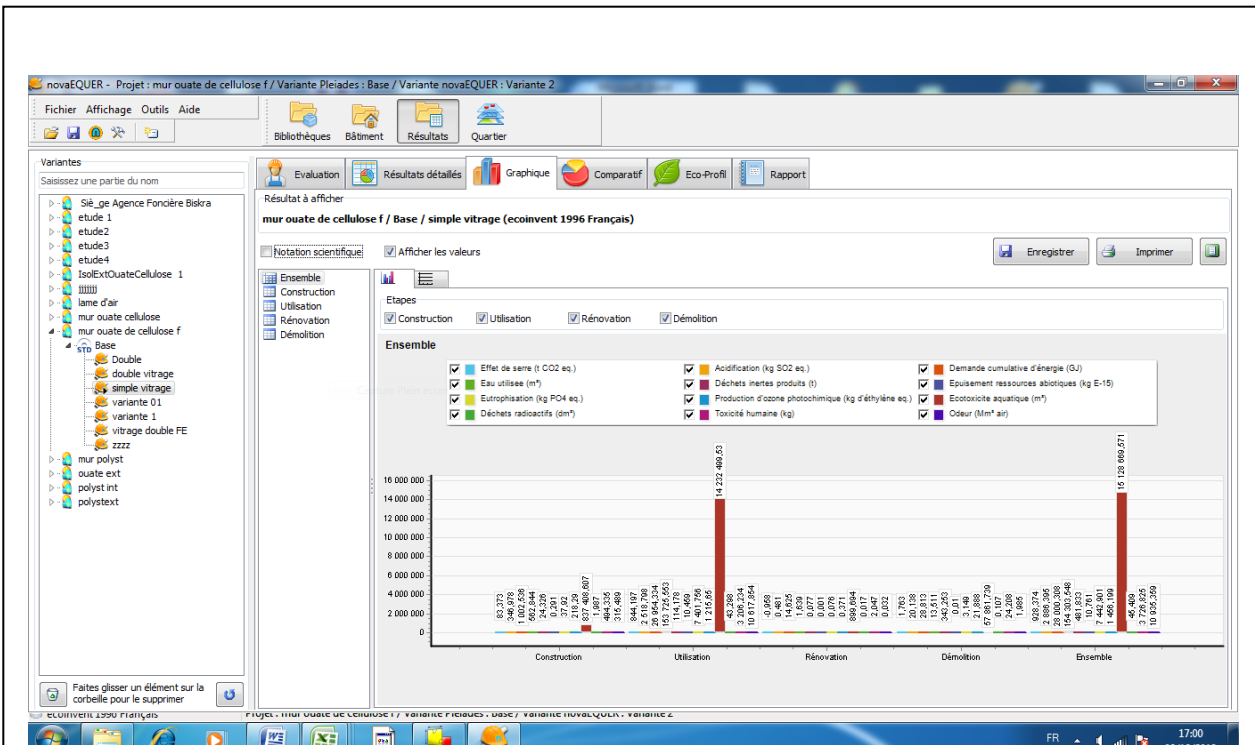
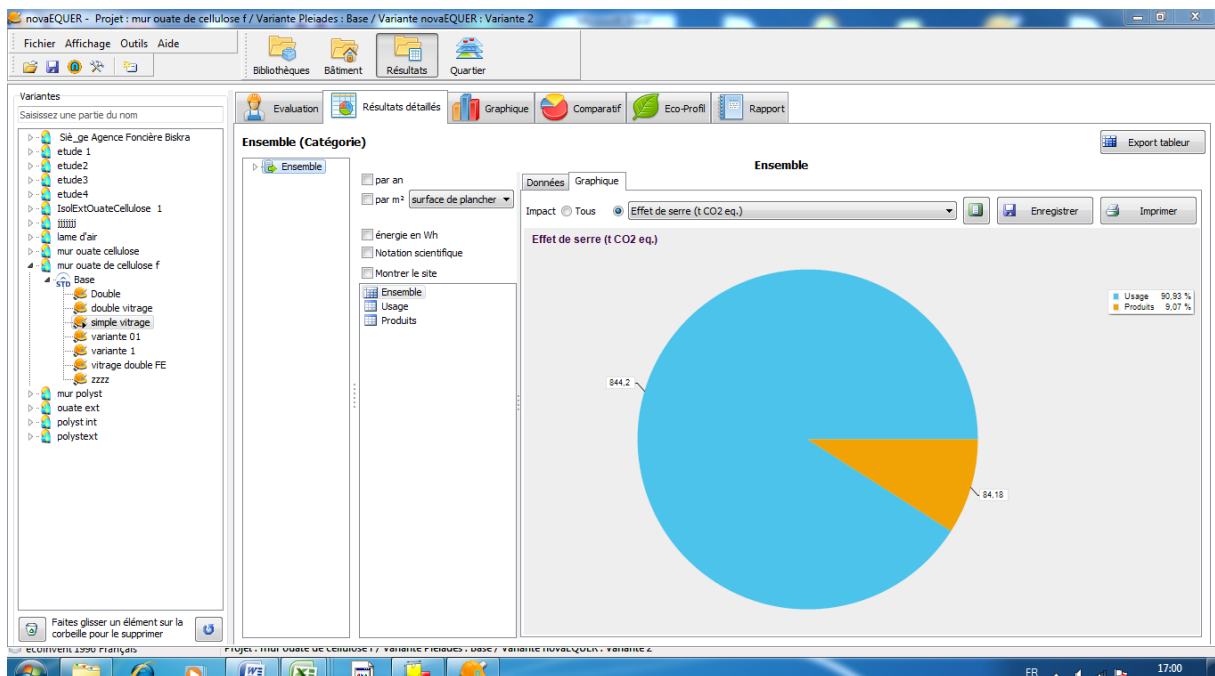


Diagramme radar comparatif des variantes du bâtiment.



Valeurs des impacts environnementaux par phase du cycle de vie du bâtiment.



Valeurs des Effet de serre (t CO2 eq.) par usage du bâtiment.

Ensemble (Catégorie)

Ensemble

Impact	Usage	Produits	Total
Effet de serre (t CO2 eq.)	844.20	84.18	928.37
Acidification (kg SO2 eq.)	2 518.80	367.60	2 886.39
Demande cumulative d'énergie (GJ)	26 954.33	1 045.97	28 000.31
Eau utilisée (m³)	153 725.55	577.99	154 303.55
Déchets inertes produits (t)	114.18	367.66	481.83
Épuisement ressources abiotiques (kg E-15)	10.46	0.30	10.76
Eutrophisation (kg PO4 eq.)	7 401.76	41.15	7 442.90
Production d'ozone photochimique (kg d'éthylène eq.)	1 215.65	240.55	1 456.20
Ecotoxicité aquatique (m³)	14 232 499.53	896 170.04	15 128 669.57
Déchets radioactifs (dm³)	43.30	2.11	45.41
Toxicité humaine (kg)	3 206.23	520.59	3 726.82
Odeur (Mm³ air)	10 617.85	317.51	10 935.36

Valeurs des impacts environnementaux par phase du cycle de vie du bâtiment.

Résultat

Base / simple vitrage (ecoinvent 1996 Français)

Impacts

Ensemble

Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Effet de serre (t CO2 eq.)	83.37	844.20	-0.95	1.76	928.37
Acidification (kg SO2 eq.)	346.98	2 518.80	0.48	20.14	2 886.39
Demande cumulative d'énergie (GJ)	1 002.54	26 954.33	14.63	28.81	28 000.31
Eau utilisée (m³)	562.84	153 725.55	1.64	13.51	154 303.55
Déchets inertes produits (t)	24.33	114.18	0.08	343.25	481.83
Épuisement ressources abiotiques (kg E-15)	0.29	10.46	0.00	0.01	10.76
Eutrophisation (kg PO4 eq.)	37.92	7 401.76	0.08	3.15	7 442.90
Production d'ozone photochimique (kg d'éthylène...)	218.29	1 215.65	0.37	21.89	1 456.20
Ecotoxicité aquatique (m³)	837 408.61	14 232 499.53	899.69	57 861.74	15 128 669.57
Déchets radioactifs (dm³)	1.99	43.30	0.02	0.11	45.41
Toxicité humaine (kg)	494.33	3 206.23	2.05	24.21	3 726.82

Variante : Bâtiment avec double vitrage.

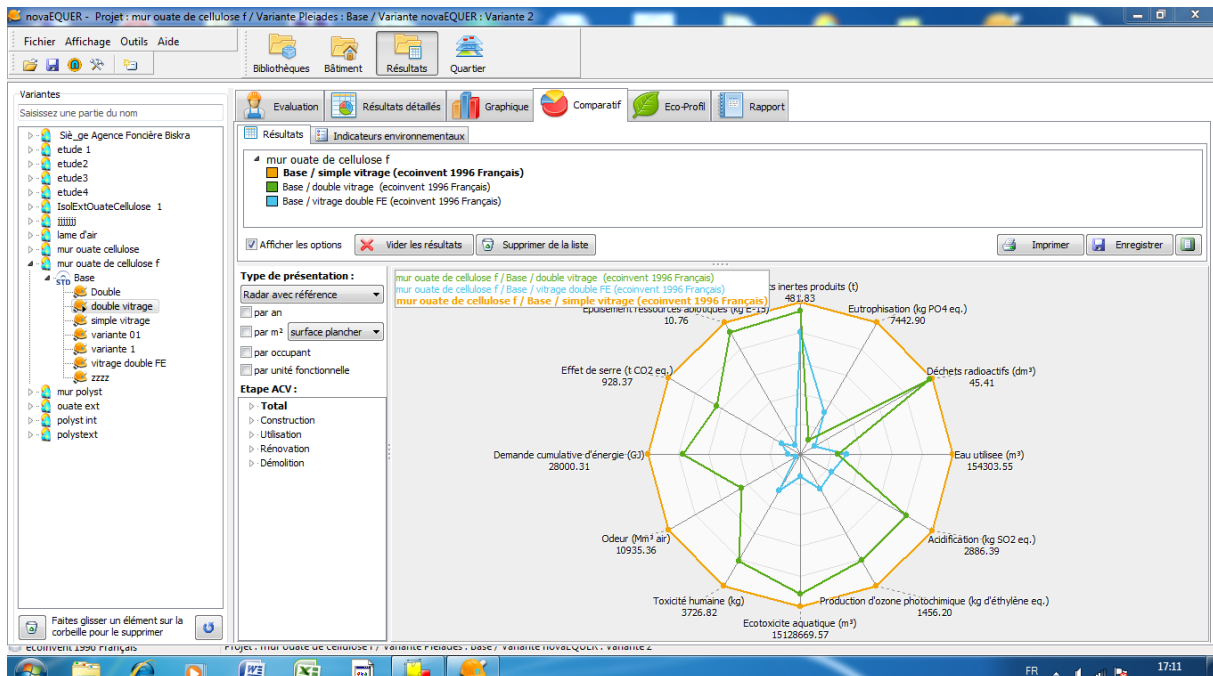
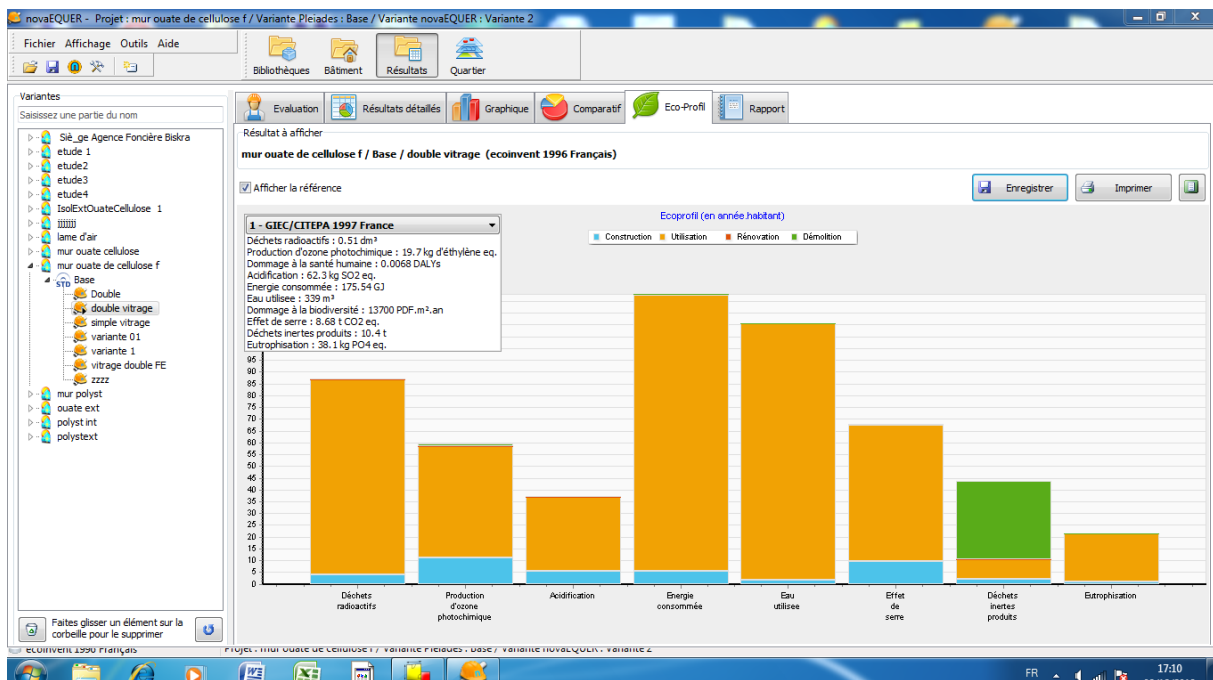
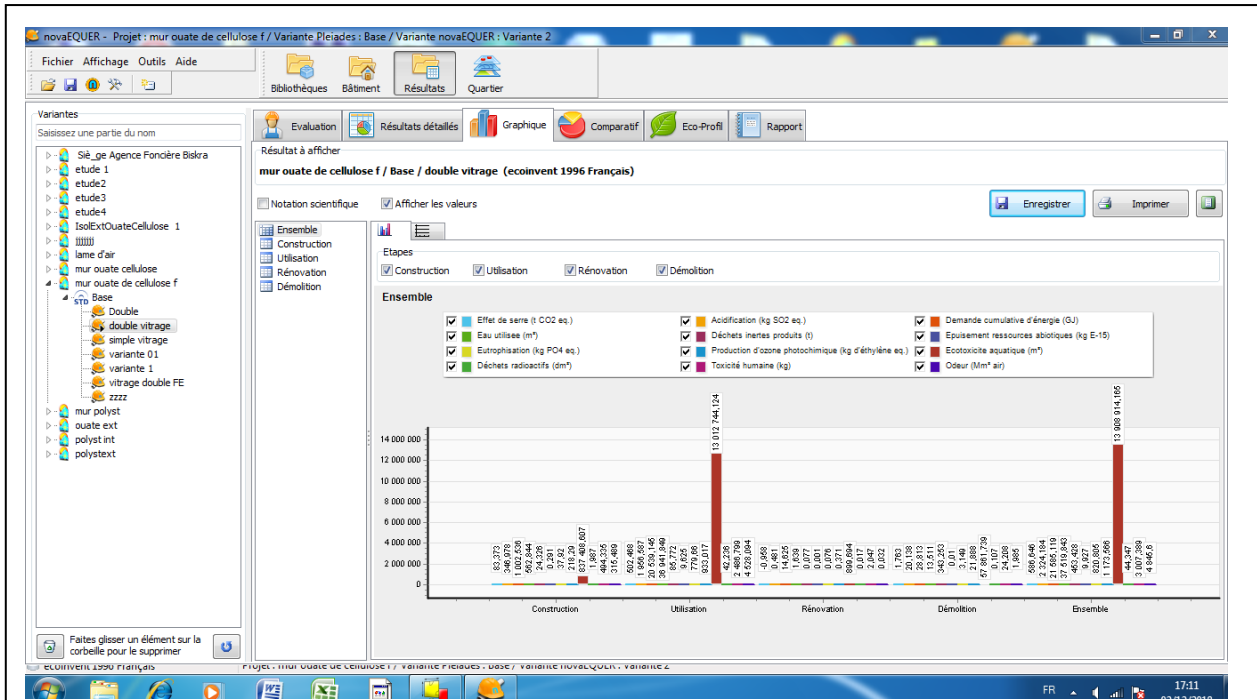
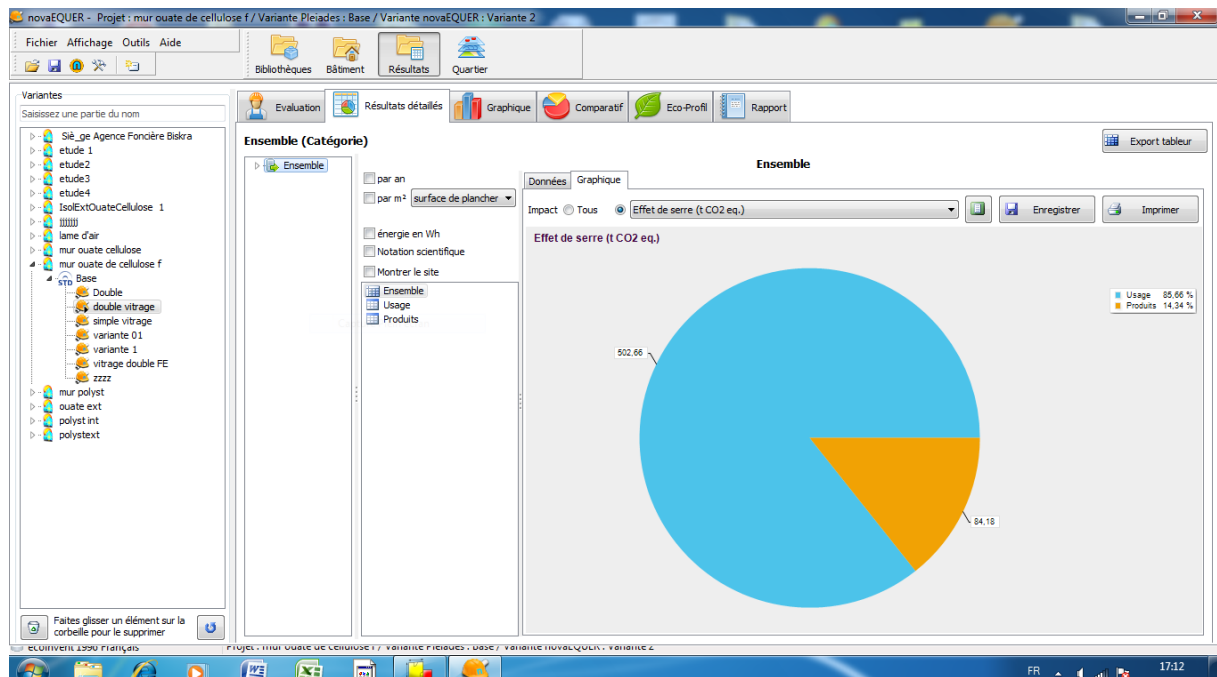


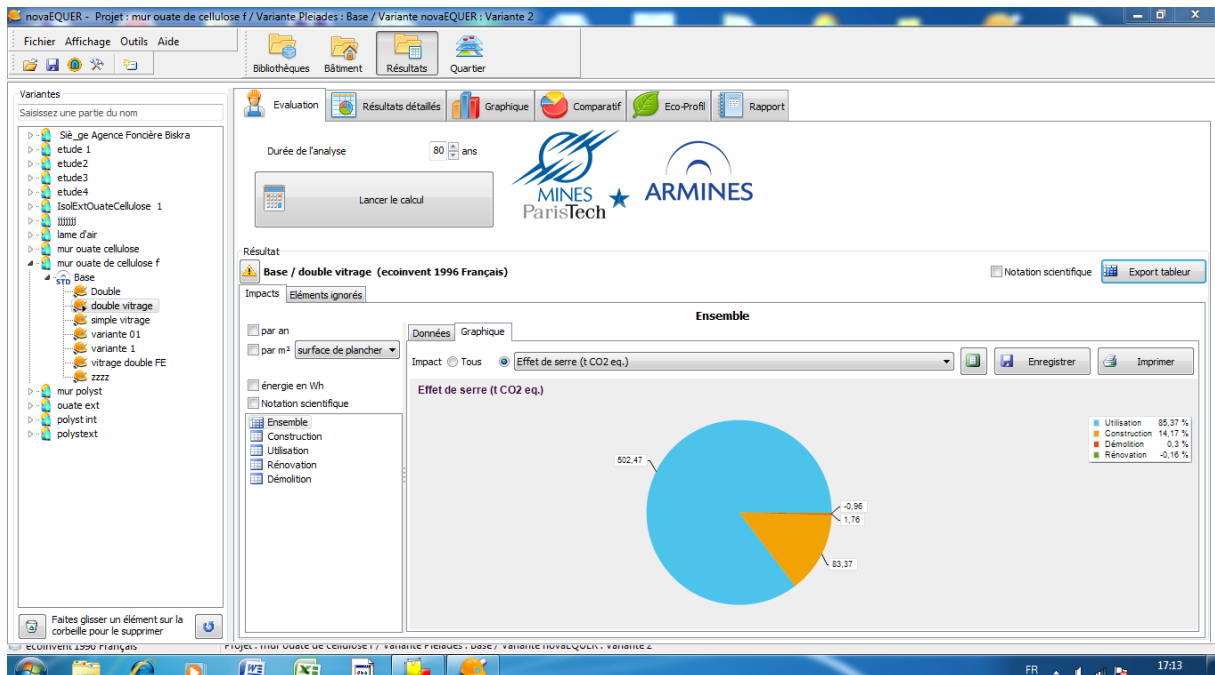
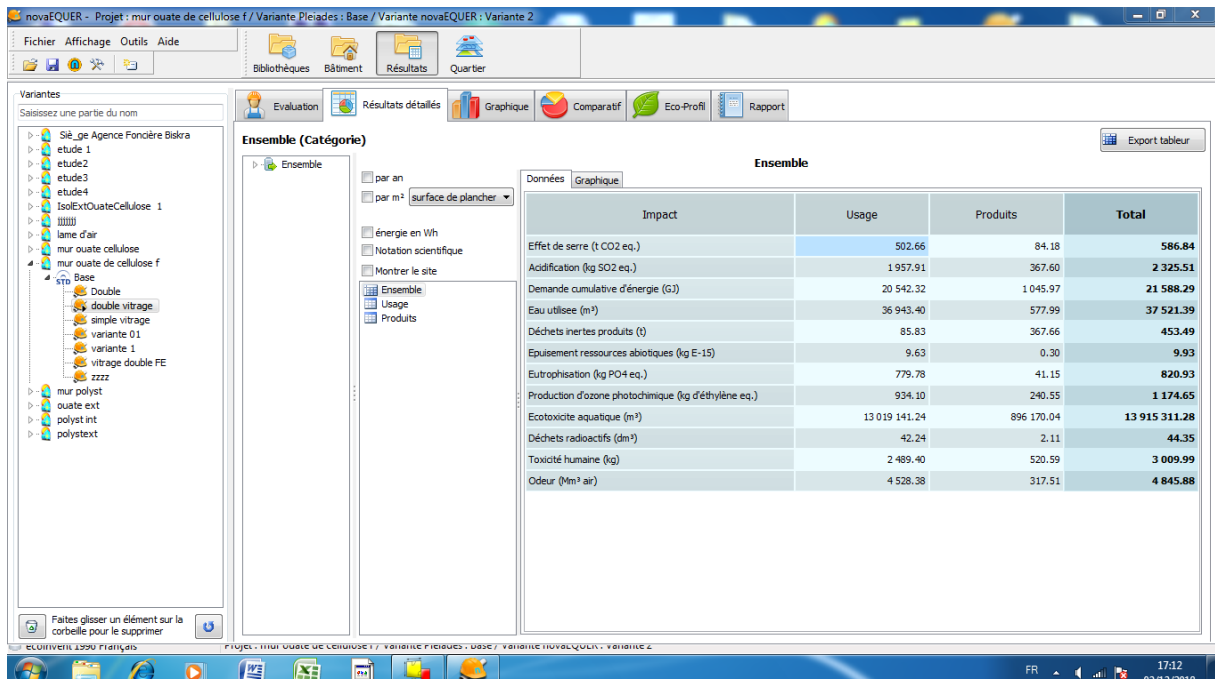
Diagramme radar comparatif des variantes du bâtiment.



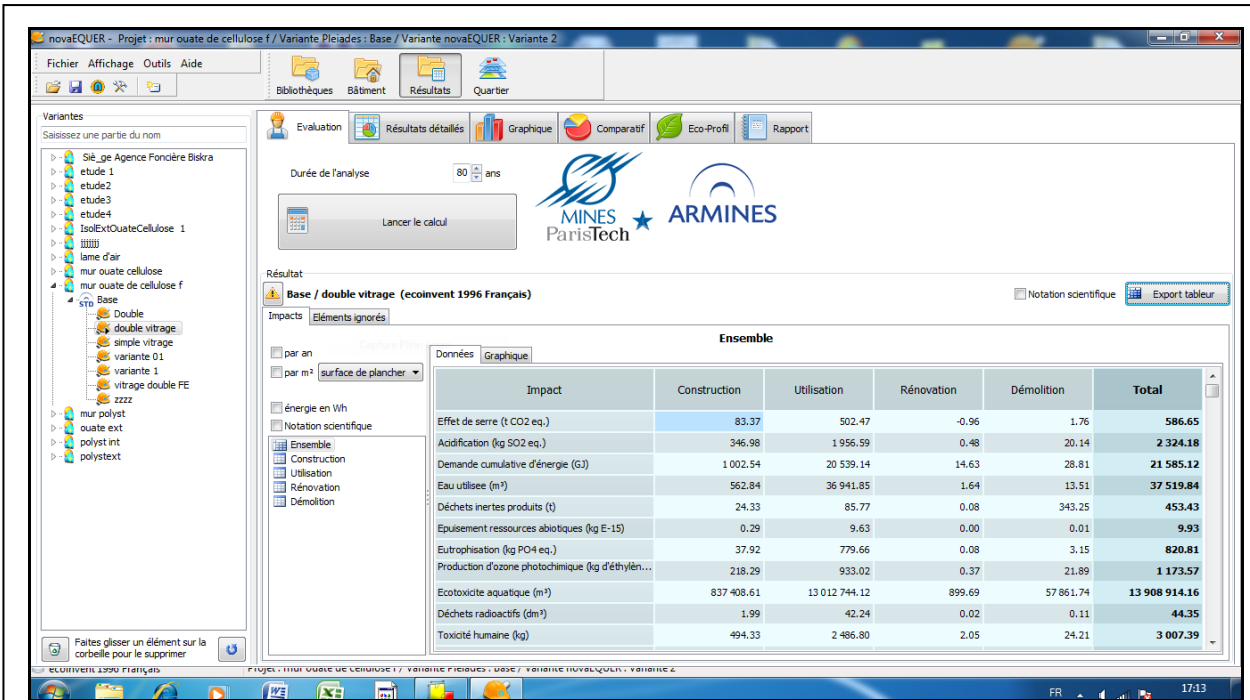
Valeurs des impacts environnementaux par phase du cycle de vie du bâtiment.



Valeurs des Effet de serre (t CO2 eq.) par usage du bâtiment.



Effet de serre pour toutes les phases du cycle de vie du bâtiment.



Impacts pour toutes les phases du cycle de vie du bâtiment.

Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Effet de serre (t CO2 eq.)	83,37	502,47	-0,96	1,76	586,65
Acidification (kg SO2 eq.)	346,98	1 956,59	0,48	20,14	2 324,18
Demande cumulative d'énergie (GJ)	1 002,54	20 539,14	14,63	28,81	21 585,12
Eau utilisée (m³)	562,84	36 941,85	1,64	13,51	37 519,84
Déchets inertes produits (t)	24,33	85,77	0,08	343,25	453,43
Epuisement ressources abiotiques (kg E-15)	0,29	9,63	0	0,01	9,93
Eutrophisation (kg PO4 eq.)	37,92	779,66	0,08	3,15	820,81
Production d'ozone photochimique (kg d'éthylèneoxyde eq.)	218,29	933,02	0,37	21,89	1 173,57
Ecotoxicité aquatique (m³)	837 408,61	13 012 744,12	899,69	57 861,74	13 908 914,16
Déchets radioactifs (dm³)	1,99	42,24	0,02	0,11	44,35
Toxicité humaine (kg)	494,33	2 486,80	2,05	24,21	3 007,39
Odeur (Mm³ air)	315,49	4 528,09	0,03	1,98	4 845,60

Impact	Façades	Cloisons	Plancher intermédiaire	Portes	Plancher bas	Toitures	Transport	Total
Effet de serre (t CO2 eq.)	0,07	23,15	25,80	-0,49	15,10	12,75	7	83,37
Acidification (kg SO2 eq.)	0,84	88,49	78,84	0,09	65,11	35,06	78,56	346,98
Demande cumulative d'énergie (GJ)	2,33	283,73	280,04	7,09	182,58	131,26	115,51	1 002,54
Eau utilisée (m³)	0,24	138,03	179,10	0,72	100,12	93,53	51,10	562,84
Déchets inertes produits (t)	0,03	4,47	8,14	0,03	3,48	4,65	3,53	24,33
Epuisement ressources abiotiques (kg E-15)	0	0,08	0,08	0	0,05	0,03	0,05	0,29
Eutrophisation (kg PO4 eq.)	0,07	6,38	8,40	0,01	6,46	4,41	12,19	37,92
Production d'ozone photochimique (kg d'éthylèneoxyde eq.)	0,44	42,89	32,67	0,02	44,19	13,15	84,92	218,29
Ecotoxicité aquatique (m³)	2 836,59	235 617,44	142 217,95	0	180 295,95	46 461,45	229 979,23	837 408,61
Déchets radioactifs (dm³)	0	0	0,87	0,01	0,08	0,60	0,43	1,99
Toxicité humaine (kg)	1,18	108,65	137,89	0,84	79,59	71,49	94,69	494,33
Odeur (Mm³ air)	0,66	166,35	56,47	0	81,54	2,38	8,09	315,49

Impacts pour la phase De Construction du bâtiment.

Impact	Chauffage	ECS	Eau	Electricité spécifique	Climatisation	Transport	Total
Effet de serre (t CO2 eq.)	18,16	52,15	12,09	140,23	264,39	15,44	502,47
Acidification (kg SO2 eq.)	21,54	61,84	76,93	595,32	1 094,87	106,08	1 956,59
Demande cumulative d'énergie (GJ)	337,10	967,92	387,14	11 577,70	7 015,31	253,97	20 539,14
Eau utilisée (m³)	22,42	64,36	24 282,19	5 965,46	6 483,52	123,90	36 941,85
Déchets inertes produits (t)	1,48	4,24	2,07	27,96	45,20	4,83	85,77
Epuisement ressources abiotiques (t)	0,09	0,27	0,07	6,39	2,68	0,12	9,63
Eutrophisation (kg PO4 eq.)	2,56	7,36	620,63	48,80	90,40	9,91	779,66
Production d'ozone photochimique	18,23	52,35	21,58	264,34	489,72	86,79	933,02
Ecotoxicité aquatique (m³)	80 855,32	232 164,51	312 562,33	4 401 319,53	7 474 072,85	511 769,60	13 012 744,12
Déchets radioactifs (dm³)	0,11	0,33	0,87	29,72	10,95	0,26	42,24
Toxicité humaine (kg)	28,93	83,06	102,63	729,41	1 334,43	208,33	2 486,80
Odeur (Mm³ air)	344,67	989,67	30,97	1 089,41	2 050,89	22,50	4 528,09

Impacts pour la phase **D'Utilisation** du bâtiment.

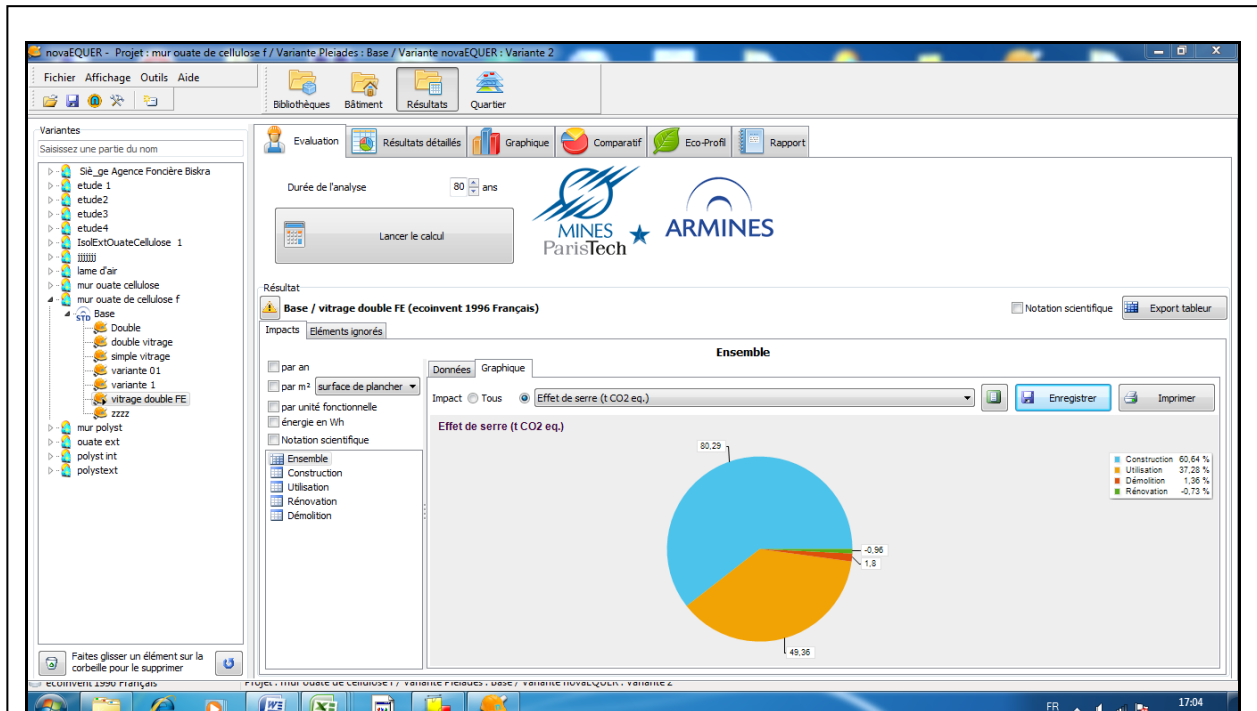
Impact	Portes	Transport	Total
Effet de serre (t CO2 eq.)	-0,99	0,03	-0,96
Acidification (kg SO2 eq.)	0,17	0,31	0,48
Demande cumulative d'énergie (GJ)	14,17	0,45	14,63
Eau utilisée (m³)	1,44	0,20	1,64
Déchets inertes produits (t)	0,06	0,01	0,08
Epuisement ressources abiotiques (kg E-15)	0	0	0
Eutrophisation (kg PO4 eq.)	0,03	0,05	0,08
Production d'ozone photochimique (kg d'éthylène eq.)	0,04	0,33	0,37
Ecotoxicité aquatique (m³)	0	899,69	899,69
Déchets radioactifs (dm³)	0,02	0	0,02
Toxicité humaine (kg)	1,68	0,37	2,05
Odeur (Mm³ air)	0	0,03	0,03

Impacts pour la phase **De Rénovation** du bâtiment.

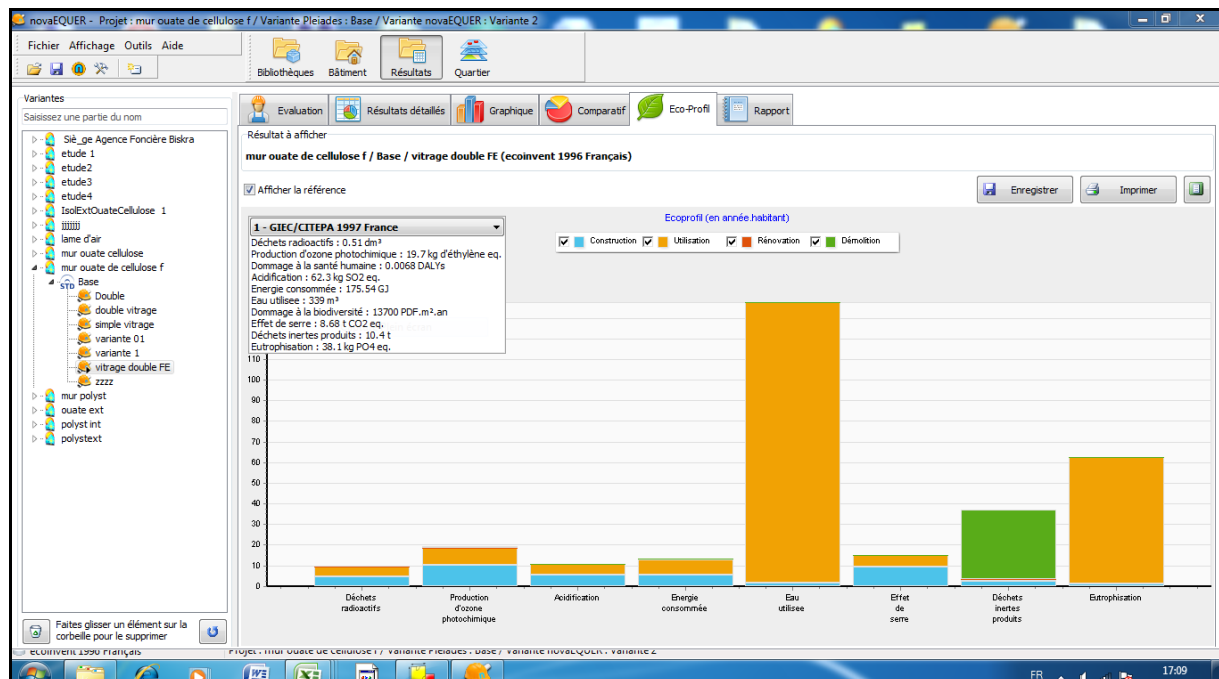
Impact	Façades	Cloisons	Plancher intermédiaire	Plancher bas	Toitures	Transport	Total
Effet de serre (t CO2 eq.)	0	0,05	0,07	0,03	0,04	1,58	1,76
Acidification (kg SO2 eq.)	0	0,64	0,92	0,40	0,49	17,68	20,14
Demande cumulative d'énergie (GJ)	0	0,74	1,05	0,46	0,57	25,99	28,81
Eau utilisée (m³)	0	0,52	0,75	0,33	0,40	11,50	13,51
Déchets inertes produits (t)	0,57	89,41	127,83	55,88	68,77	0,79	343,25
Epuisement ressources abiotiques (t)	0	0	0	0	0	0,01	0,01
Eutrophisation (kg PO4 eq.)	0	0,11	0,15	0,07	0,08	2,74	3,15
Production d'ozone photochimique	0	0,73	1,04	0,45	0,56	19,11	21,89
Ecotoxicité aquatique (m³)	10,13	1 595,02	2 280,53	996,93	1 226,84	51 752,28	57 861,74
Déchets radioactifs (dm³)	0	0	0	0	0	0,10	0,11
Toxicité humaine (kg)	0	0,76	1,08	0,47	0,58	21,31	24,21
Odeur (Mm³ air)	0	0,04	0,06	0,03	0,03	1,82	1,98

Impacts pour la phase **De Démolition** du bâtiment.

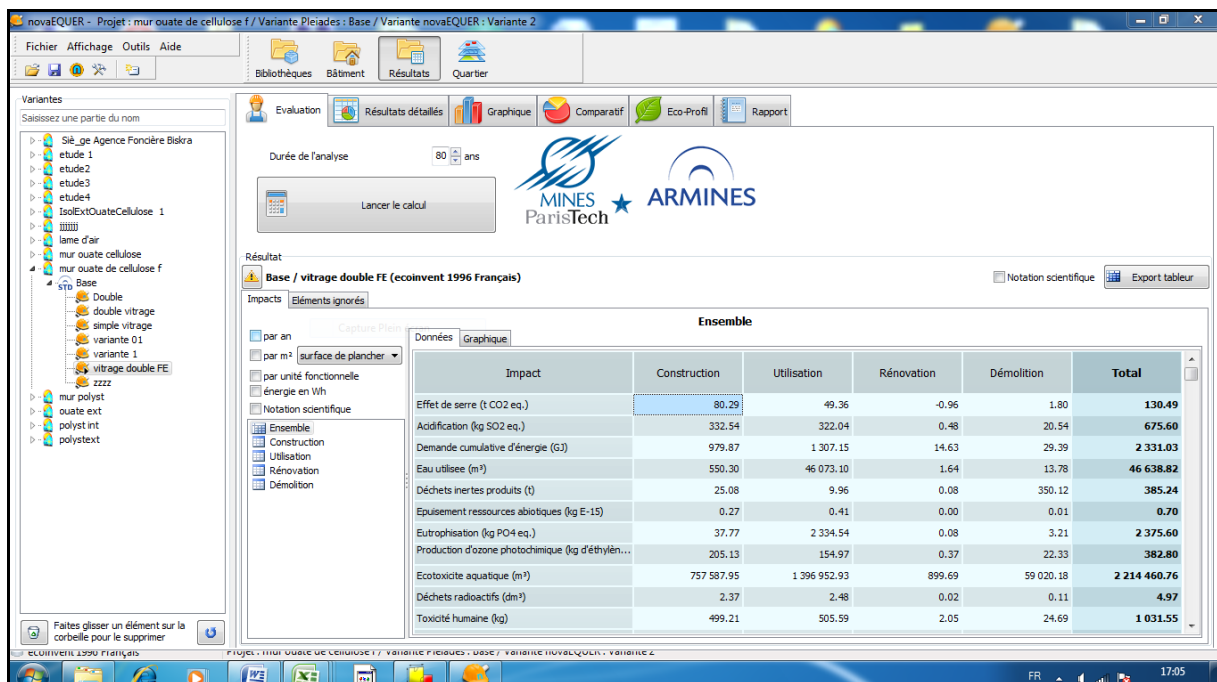
Variante : Bâtiment avec double vitrage à faible émissivité.



Effet de serre pour toutes les phases du cycle de vie du bâtiment.

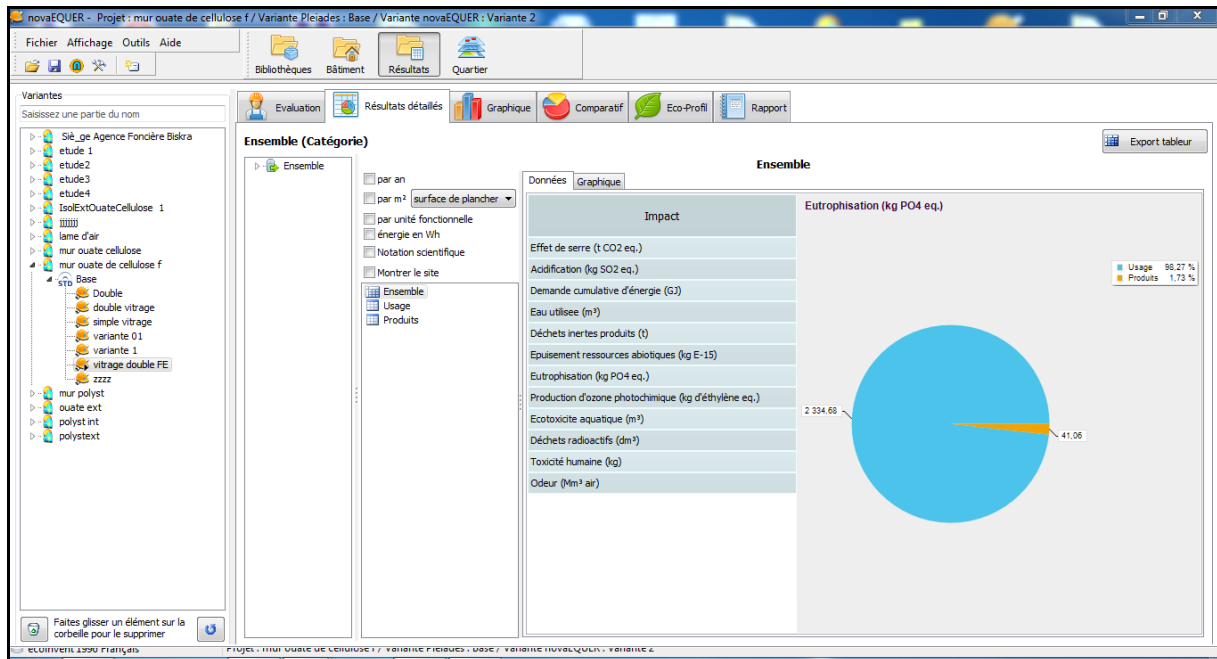


Ecoprofiles pour toutes les phases du cycle de vie du bâtiment.

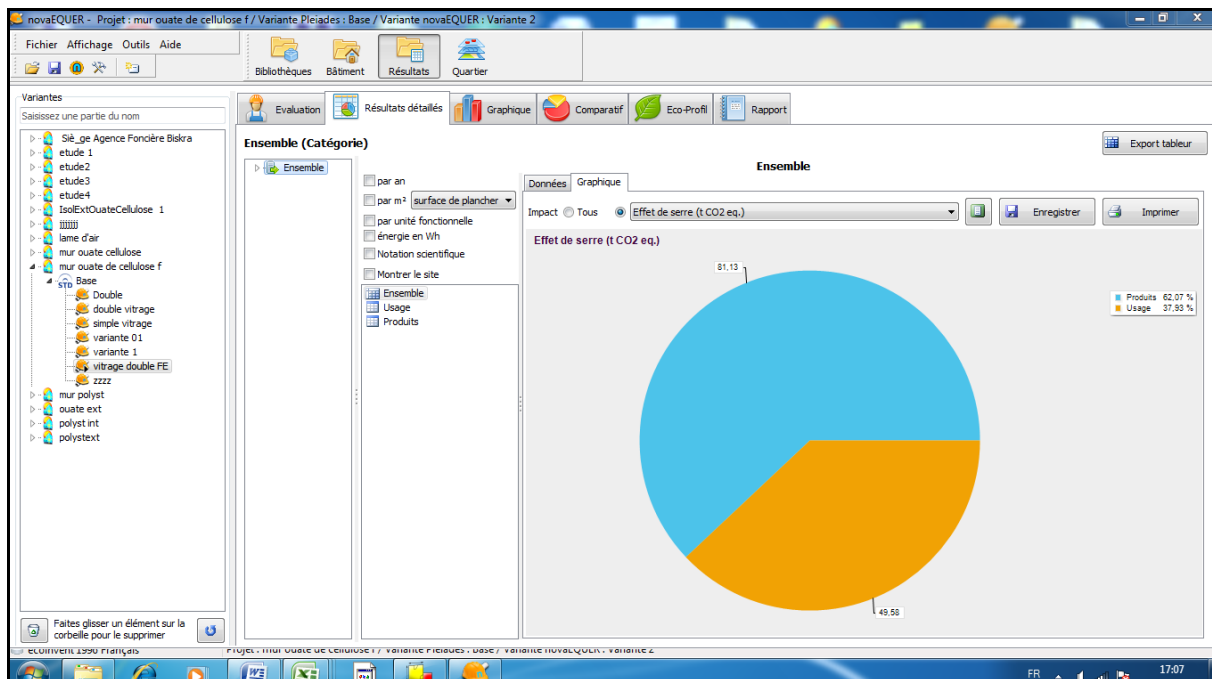


Impacts pour toutes les phases du cycle de vie du bâtiment.

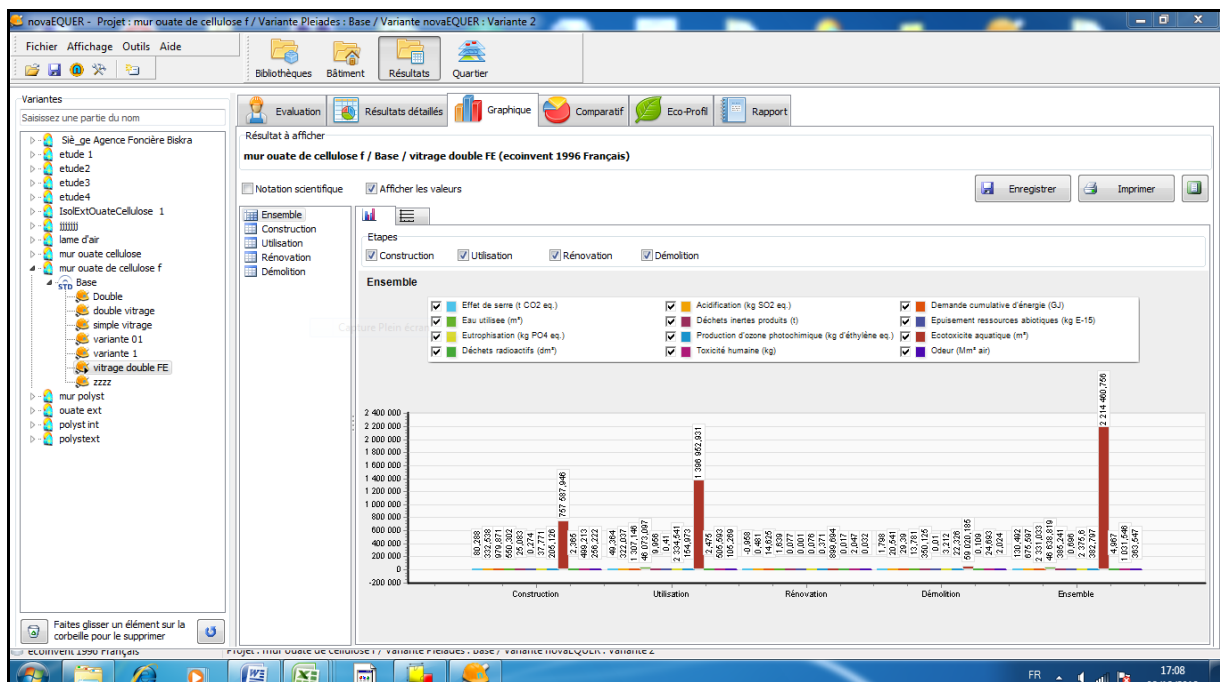
Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Effet de serre (t CO2 eq.)	80,29	49,36	-0,96	1,80	130,49
Acidification (kg SO2 eq.)	332,54	322,04	0,48	20,54	675,60
Demande cumulative d'énergie (GJ)	979,87	1 307,15	14,63	29,39	2 331,03
Eau utilisée (m³)	550,30	46 073,10	1,64	13,78	46 638,82
Déchets inertes produits (t)	25,08	9,96	0,08	350,12	385,24
Épuisement ressources abiotiques (kg E-15)	0,27	0,41	0	0,01	0,70
Eutrophisation (kg PO4 eq.)	37,77	2 334,54	0,08	3,21	2 375,60
Production d'ozone photochimique (kg d'éthy)	205,13	154,97	0,37	22,33	382,80
Ecotoxicité aquatique (m³)	757 587,95	1 396 952,93	899,69	59 020,18	2 214 460,76
Déchets radioactifs (dm³)	2,37	2,48	0,02	0,11	4,97
Toxicité humaine (kg)	499,21	505,59	2,05	24,69	1 031,55
Odeur (Mm³ air)	256,22	105,27	0,03	2,02	363,55



Eutrophication pour toutes les phases du cycle de vie du bâtiment.



Effets de serre pour toutes les phases du cycle de vie du bâtiment.



Valeurs des impacts environnementaux par phase du cycle de vie du bâtiment.

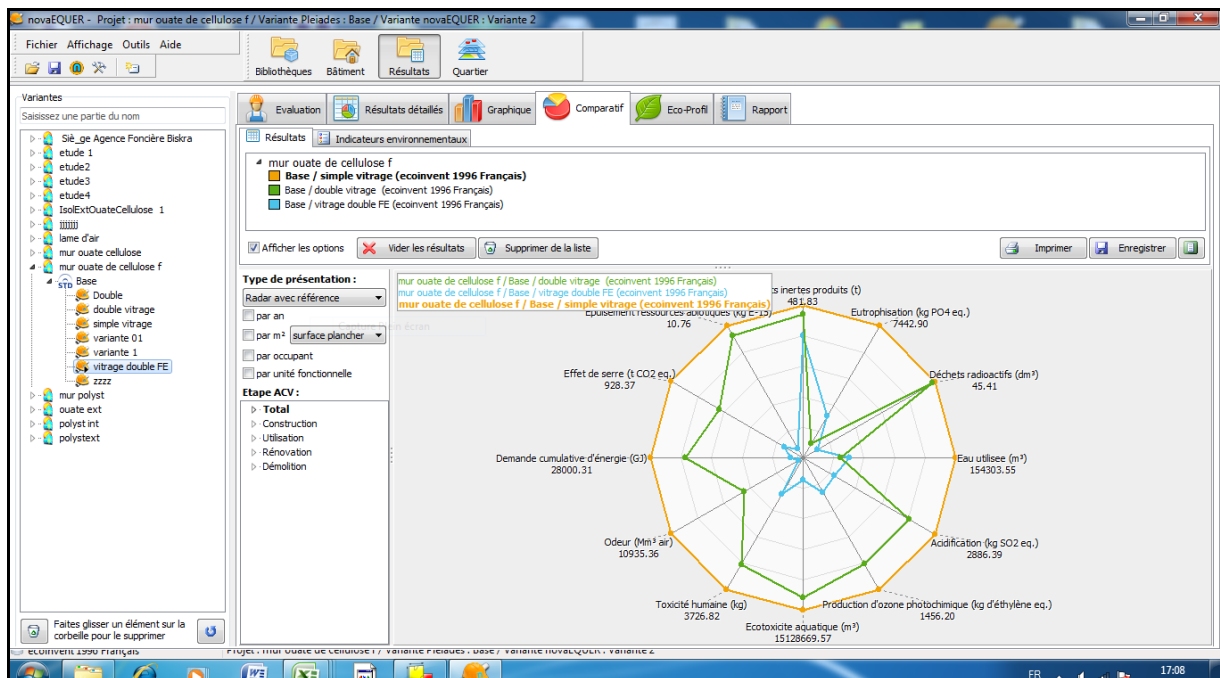


Diagramme radar comparatif des variantes du bâtiment.

Annexe : 03



Rapport d'analyse par simulation thermique dynamique

etude 1 Variante Base



Données administratives

Maître d'ouvrage	
Nom :	
Adresse	
Contact tél/mél :	

Maître d'œuvre	
Nom :	
Adresse	
Contact tél/mél :	

Bureau d'étude thermique	
Nom :	
Adresse	
Contact tél/mél :	

Bureau de contrôle	
Nom :	
Adresse	
Contact tél/mél :	

Opération	
Nom :	
Adresse	
Stade d'avancement	1

1 Synthèse des résultats de la semaine 26 à la semaine 29

1.1 Consommations des systèmes de chauffage clim et ECS

Total

	Gaz (kWh _{Pcs})	Fioul (kWh _{Pcs})	Bois (kWh _{Pci})	Electricité (kWh)	Réseaux (kWh)	Sous dimensionnement (heures)
Total						
Chauffage						
Refroidissement						
ECS						
Auxiliaires de ventilation						
Auxiliaires de chauffage						
Eclairage						
Production PV						
Electricité spécifique						

1.2 Consommations d'éclairage par zone

Zone	Consommation d'éclairage artificiel
Zone	0 kWh

1.3 Critères de confort des occupants

Limite haute d'inconfort	27°C
Limite basse d'inconfort	16 °C

Zone	Inconfort	
	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)
Zone	0.00 %	0 h

2 Résultats Détaillés

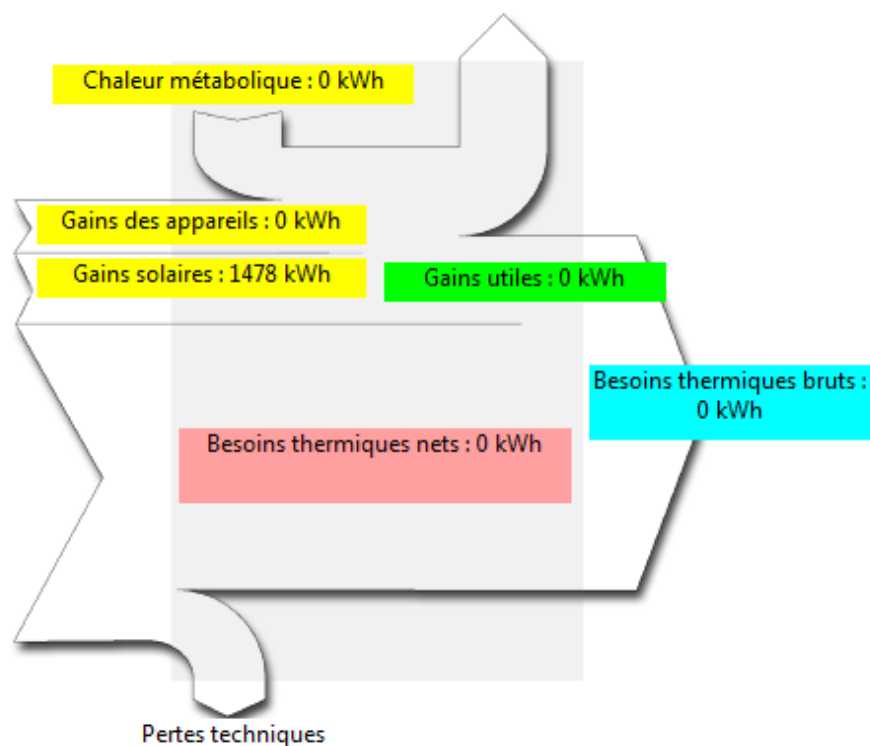
2.1 Températures remarquables

Zone	Température
------	-------------

	Minimum (°C)	Moyenne (°C)	Maximum (°C)
Zone	38.76	41.64	45.53

2.2 Autres indicateurs bioclimatiques

Zone	Apports solaires bruts kWh	Amplification de température extérieure %	Part de besoins nets %	Besoins bruts kWh
Zone	1478	14.80	0.00	0



2.3 Résultats mensuels

Température minimale (°C)

Zone	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Zone	?	?	?	?	?	38.76	39.26	?	?	?	?	?
Extérieur	?	?	?	?	?	25.10	26.60	?	?	?	?	?

Température moyenne (°C)

Zone	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Zone	?	?	?	?	?	8.18	29.70	?	?	?	?	?
Extérieur	?	?	?	?	?	6.62	25.63	?	?	?	?	?

Température maximale (°C)

Zone	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Zone	?	?	?	?	?	43.74	45.53	?	?	?	?	?
Extérieur	?	?	?	?	?	44.30	48.30	?	?	?	?	?

Besoins de chauffage (kWh)

Zone	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Zone	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Besoins de rafraîchissement (kWh)

Zone	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Zone	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3 Hypothèses de base

3.1 Caractéristiques du site

Site

Nom	Biskra-été chaud	Altitude	86 m
------------	------------------	-----------------	------

Station météorologique

Nom	Biskra - été chaud fichier Biskratchaud.try	Altitude	86 m
Longitude	5° 43' 59"E	Latitude	34° 48' 0"N
Températures	Minimale	Maximale	Moyenne
	3.00°C	48.30°C	23.48°C

Degrés Jours Unifiés base 18°C

An-nuels	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
678	209	138	64	9	0	0	0	0	0	3	77	178

Compositions de paroi

mur 15

Complement	
Origine des données	
Valeur Up	- Up indicatif : 2.63 W/(m².K)

Composante : Simple	Epaisseur (cm)	λ W/(m.K)	ρ kg/m³	CS Wh/(kg.K)	U W/(m².K)	R (m².K)/W
Plâtre courant d'enduit intérieur (? = 1000)	1.5	0.400	1000	0.278	26.67	0.04
Terre cuite	15.0	1.150	1900	0.250	7.67	0.13
Plâtre courant d'enduit intérieur (? = 1000)	1.5	0.400	1000	0.278	26.67	0.04
Total					4.87	0.21

mur double iso lame d'air

Complement	
Origine des données	CSTB
Valeur Up	- Up indicatif : 1.01 W/(m².K)

Composante : Simple	Epaisseur (cm)	λ W/(m.K)	ρ kg/m³	CS Wh/(kg.K)	U W/(m².K)	R (m².K)/W
Enduit extérieur	2.0	1.150	1700	0.278	57.50	0.02
Terres cuites (?n 1200 kg/m³)	15.0	0.410	1150	0.278	2.73	0.37
Lame d'air > 1.3 cm	1.5	0.094	1	0.340	6.25	0.16
Terres cuites (?n 1200 kg/m³)	10.0	0.410	1150	0.278	4.10	0.24
Plâtre courant d'enduit intérieur (1000 = ? = 1300)	1.5	0.570	1150	0.278	38.00	0.03
Total					1.23	0.81

Plancher terre plein isolé

Complement	Isolé en sous face
Origine des données	
Valeur Up	

Composante : Simple	Epaisseur (cm)	λ W/(m.K)	ρ kg/m³	CS Wh/(kg.K)	U W/(m².K)	R (m².K)/W
Panneau de liège	4.0	0.040	120	0.390	1.00	1.00
Béton lourd	10.0	1.750	2300	0.256	17.50	0.06

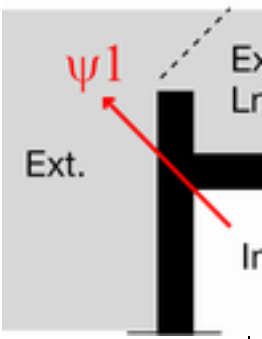
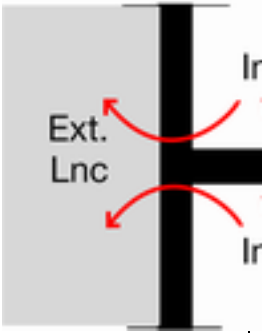
Mortier	3.0	1.150	2000	0.233	38.33	0.03
Terre cuite	3.0	1.150	1900	0.250	38.33	0.03
Total					0.90	1.11

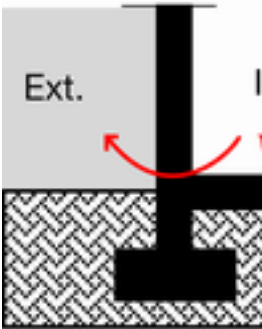
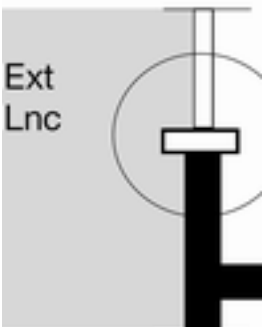
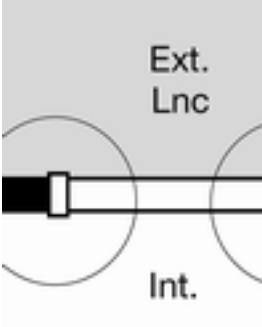
Pl. courant en hourdis

Complement	--
Origine des données	
Valeur Up	

Composante : Simple	Epaisseur (cm)	λ W/(m.K)	ρ kg/m ³	CS Wh/(kg.K)	U W/(m ² .K)	R (m ² .K)/W
Placoplatre BA 13	1.3	0.325	850	0.222	25.00	0.04
Hourdis de 12 en béton	12.0	1.091	1300	0.180	9.09	0.11
Béton lourd	4.0	1.750	2300	0.256	43.75	0.02
Mortier	5.0	1.150	2000	0.233	23.00	0.04
Carrelage	1.0	1.700	2300	0.194	170.00	0.00
Total					4.50	0.22

3.2 Ponts thermiques

Nom	Classif.	Origine	ψ	ψ_1	ψ_2	ψ_3		
c.1 - Pl haut / mur extérieur	3.1	CSTB	0.71	0.71	0.00	0.00		
b.1 - Pl. intermédiaire	2.1	CSTB	0.78	0.39	0.39	0.00		

<p>a.1 - Pl. bas sur TP / mur extérieur</p>	<p>1.1</p>	<p>CSTB</p>	<p>0.55</p>	<p>0.55</p>	<p>0.00</p>	<p>0.00</p>	
<p>simplifié - appui de fenetre</p>	<p>5.1</p>	<p>CSTB</p>	<p>0.07</p>	<p>0.07</p>	<p>0.00</p>	<p>0.00</p>	
<p>simplifié - tableau ou linteau</p>	<p>tout</p>	<p>CSTB</p>	<p>0.00</p>	<p>0.00</p>	<p>0.00</p>	<p>0.00</p>	

3.3 Fenêtres et portes

Fen bat alu DV A1+A1 4.6.4

Caractéristiques globales	Nombre vitrages	Coeff Uw (W/(m ² .K))	Facteur Solaire Sw
	2	3.74	0.53
Ouverture	Non ouvrable		

Portes

Nom	Coeff U en W/(m ² .K)
Porte bois intérieure	5.00

4 Systèmes

4.1 Générateurs

4.2 Eclairage artificiel

Bureau - usage 16

Calcul de la référence de la pièce en lux	Moyenne des points après exclusion de 23% les plus sombres
Puissance totale de l'éclairage	10 W/m ²
Puissance des auxiliaires	0 W/m ²
Type de bâtiment	16 Bureaux
Type de local	Bureau
Gestion de l'éclairage	Interrupteur manuel marche/arret
Coefficient de foisonnement C1 lié à la typologie du local et son mode de gestion	0.9
Gradation de l'éclairage	Gestion manuelle avec la lumière du jour
Eclairement minimum pour lequel C2 = 1	100 lux
Eclairement du point B	700 lux
Coefficient C2 du point B	0.3
Eclairement pour lequel C2 = 0	2800 lux
Origine des données	
Complément	

5 Description du projet

5.1 Saisons de chauffage et de climatisation

	Semaine début	Semaine fin
Saison de chauffage	42	18
Saison de climatisation	25	38

5.2 Récapitulatif des zones thermiques et pièces

Zone	Pièces	Surface (m ²)	Volume (m ³)
Zone		521.23 m ²	1667.93 m ³
	RDC - 1 - Dégagement 2	28.65 m ²	91.69 m ³
	RDC - 2 - Bureau 2	48.66 m ²	155.71 m ³
	RDC - 3 - Bureau 1	47.77 m ²	152.86 m ³
	RDC - 4 - Bureau 3	48.66 m ²	155.71 m ³
	R+1 - 5 - Dégagement 2_1	28.65 m ²	91.69 m ³
	R+1 - 6 - Bureau 2_1	48.66 m ²	155.71 m ³
	R+1 - 7 - Bureau 1_1	47.77 m ²	152.86 m ³
	R+1 - 8 - Bureau 3_1	48.66 m ²	155.71 m ³
	R+2 - 9 - Dégagement 2_2	28.65 m ²	91.69 m ³
	R+2 - 10 - Bureau 2_2	48.66 m ²	155.71 m ³
	R+2 - 11 - Bureau 1_2	47.77 m ²	152.86 m ³
	R+2 - 12 - Bureau 3_2	48.66 m ²	155.71 m ³

5.3 Fonctionnement

Zone

5.4 Récapitulatif des calculs d'éclairage artificiel

Zone	Pièces	Scénario d'éclairage	Equipement
Zone			
	RDC - 1 - Dégagement 2	500	
	RDC - 2 - Bureau 2	500	
	RDC - 3 - Bureau 1	500	
	RDC - 4 - Bureau 3	500	
	R+1 - 5 - Dégagement 2_1	300	
	R+1 - 6 - Bureau 2_1	300	

5.5 Systèmes

5.6 Systèmes de ventilation

5.7 Synthèse bâti

Orientation générale

Orientation °	Surface brute m ²	Surface opaque m ²	Surface vitrée m ²	Pourcentage %
Vertical sud	115.20	115.20	0.00	0.00
Vertical Est	144.00	144.00	0.00	0.00
Vertical nord	115.20	115.20	0.00	0.00
Vertical ouest	144.00	108.90	35.10	24.38
Toiture sud	180.00	180.00	0.00	0.00
Toiture Est	0.00	0.00	0.00	0.00
Toiture nord	0.00	0.00	0.00	0.00
Toiture ouest	0.00	0.00	0.00	0.00

Compositions

Composition	Surface interne m ²	Surface externe m ²	R (m ² .K)/W
Plancher terre plein isolé	130.00	0.00	1.11
Pl. courant en hourdis	260.00	180.00	0.22
mur double iso lame d'air	0.00	483.30	0.81
Porte bois intérieure	18.90	0.00	0.20
mur 15	463.64	0.00	0.21
Fen bat alu DV A1+A1 4.6.4	0.00	35.10	0.27

Parois opaques

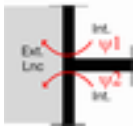
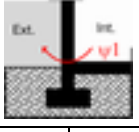
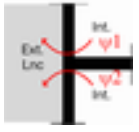
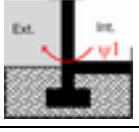
Orientation °	Inclinaison °	Surface brute m ²	Surface nette m ²
-80.00	90.00	144.00	144.00
-170.00	90.00	115.20	115.20
10.00	90.00	115.20	115.20
100.00	90.00	144.00	108.90

Vitrages

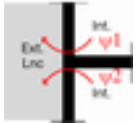
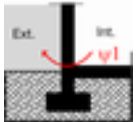
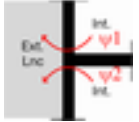
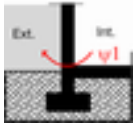
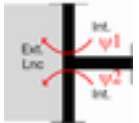
Orientation °	Inclinaison °	Surface m ²
100.00	90.00	35.10

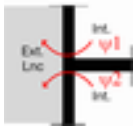
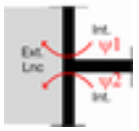
5.8 Description détaillée du bâti

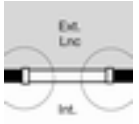
Zone - RDC - 1 - Dégagement 2

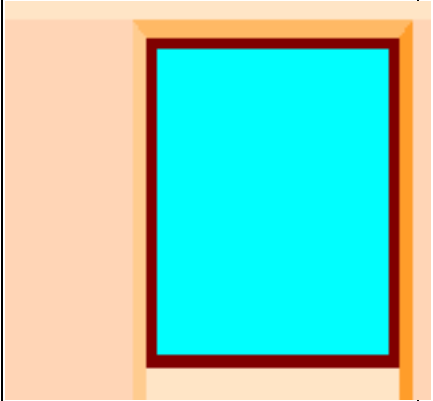
PAROI	Surf. nette (m ²)	H (m)	L (m)	Composition	Ori-entation	Incli-naison	Expo-sition au vent	En liaison avec	Etat de surface interne	Etat de surface externe	Occul-tation	Albedo	Ecran végétal	
Plancher 1/1	30.00	5.48	5.48	Plancher terre plein isolé	0°	180°	Normal e	Sol	Défaut	Défaut	Aucun	Aucun	Aucun	
Plafond Int. 1/2	30.00	5.48	5.48	Pl. courant en hourdis Définie de R+1 - 5 - Dégagement 2_1 vers RDC - 1 - Dégagement 2	0°	0°	Normal e	Plancher Int. 5/1	Défaut	Défaut	Aucun	Aucun	Aucun	
Façade 1/3	16.00	3.20	5.00	mur double iso lame d'air	-80°	90°	Normal e	Ext.	Défaut	Défaut	Aucun	Aucun	Aucun	
		b.1 - Pl. intermédiaire $\Psi 2 : 0.39 \text{ W/(m.K)}$ – Longueur :5.00 m												
		a.1 - Pl. bas sur TP / mur extérieur $\Psi 1 : 0.55 \text{ W/(m.K)}$ – Longueur :5.00 m												
Façade 1/4	16.00	3.20	5.00	mur double iso lame d'air	-80°	90°	Normal e	Ext.	Défaut	Défaut	Aucun	Aucun	Aucun	
		b.1 - Pl. intermédiaire $\Psi 2 : 0.39 \text{ W/(m.K)}$ – Longueur :5.00 m												
		a.1 - Pl. bas sur TP / mur extérieur $\Psi 1 : 0.55 \text{ W/(m.K)}$ – Longueur :5.00 m												

Annexes

Façade 1/5	16.00	3.20	5.00	mur double iso lame d'air	-80°	90°	Normale	Ext.	Défaut	Défaut	Aucun	Aucun	Aucun	
		b.1 - Pl. intermédiaire $\psi 2 : 0.39 \text{ W/(m.K)}$ – Longueur :5.00 m												
		a.1 - Pl. bas sur TP / mur extérieur $\psi 1 : 0.55 \text{ W/(m.K)}$ – Longueur :5.00 m												
Façade 1/6	6.40	3.20	2.00	mur double iso lame d'air	-170°	90°	Normale	Ext.	Défaut	Défaut	Aucun	Aucun	Aucun	
		b.1 - Pl. intermédiaire $\psi 2 : 0.39 \text{ W/(m.K)}$ – Longueur :2.00 m												
		a.1 - Pl. bas sur TP / mur extérieur $\psi 1 : 0.55 \text{ W/(m.K)}$ – Longueur :2.00 m												
Cloison 1/7	13.76	3.20	4.96	mur 15	100°	90°	Normale	Cloison 4/3	Défaut	Défaut	Aucun	Aucun	Aucun	
Cloison 1/8	13.61	3.20	4.91	mur 15	100°	90°	Normale	Cloison 3/3	Défaut	Défaut	Aucun	Aucun	Aucun	
Cloison 1/9	13.76	3.20	4.96	mur 15	100°	90°	Normale	Cloison 2/3	Défaut	Défaut	Aucun	Aucun	Aucun	
Façade 1/10	6.40	3.20	2.00	mur double iso lame d'air	10°	90°	Normale	Ext.	Défaut	Défaut	Aucun	Aucun	Aucun	
		b.1 - Pl. intermédiaire $\psi 2 : 0.39 \text{ W/(m.K)}$ – Longueur :2.00 m												

Ouvertures	Surf. nette (m ²)	H (m)	L (m)	Composition	Orien- tation	Incli- naiso n	Masque proche				Masque intégré		
Ouverture (allège : 0 m)	2.10	2.10	1.00	Porte bois intérieure	100°	90°							
Ouverture (allège : 0 m)	2.10	2.10	1.00	Porte bois intérieure	100°	90°							
Ouverture (allège : 0 m)	2.10	2.10	1.00	Porte bois intérieure	100°	90°							
PAROI	Surf. nette (m ²)	H (m)	L (m)	Composition	Orien- tation	Incli- naiso n	Expo- sition au vent	En liaison avec	Etat de surface interne	Etat de surface externe	Occul- tation	Albedo	Ecran végétal
Plancher Int. 6/1	50.00	7.07	7.07	Pl. courant en hourdis Définie de R+1 - 6 - Bureau 2_1 vers RDC - 2 - Bureau 2	0°	180°	Normal e	Plafond Int. 2/2	Défaut	Défaut	Aucun	Aucun	Aucun
Plafond Int. 6/2	50.00	7.07	7.07	Pl. courant en hourdis Définie de R+2 - 10 - Bureau 2_2 vers R+1 - 6 - Bureau 2_1	0°	0°	Normal e	Plancher Int. 10/1	Défaut	Défaut	Aucun	Aucun	Aucun
Cloison 6/3	13.76	3.20	4.96	mur 15	-80°	90°	Normal e	Cloison 5/9	Défaut	Défaut	Aucun	Aucun	Aucun
Cloison 6/4	31.71	3.20	9.91	mur 15	-170°	90°	Normal e	Cloison 7/6	Défaut	Défaut	Aucun	Aucun	Aucun
Façade 6/5	12.10	3.20	5.00	mur double iso lame d'air	100°	90°	Normal e	Ext.	Défaut	Défaut	Aucun	Aucun	Aucun
		b.1 - Pl. intermédiaire $\Psi 2 : 0.39 \text{ W/(m.K)}$ - Longueur : 5.00 m											
		b.1 - Pl. intermédiaire $\Psi 1 : 0.39 \text{ W/(m.K)}$ - Longueur : 5.00 m											

			simplifié - tableau ou linteau $\Psi 1 : 0.00 \text{ W/(m.K)}$ – Longueur : 1.00 m										
Cloison 12/6	31.71	3.20	9.91	mur 15	10°	90°	Normale	Cloison 11/4	Défaut	Défaut	Aucun	Aucun	Aucun

Ouvertures	Surf. nette (m²)	H (m)	L (m)	Composition	Orient - tation	Incli - naison	Masque proche	Masque intégré
Ouverture (allège : 0 m)	2.10	2.10	1.00	Porte aluminium intérieure	-80°	90°		
Ouverture (allège : 0.90 m)	1.30	1.30	0.6	Fen bat alu DV A1+A1 4.6.4	100°	90°		

6 Hypothèses de fonctionnement

6.1 Paramètres de simulation

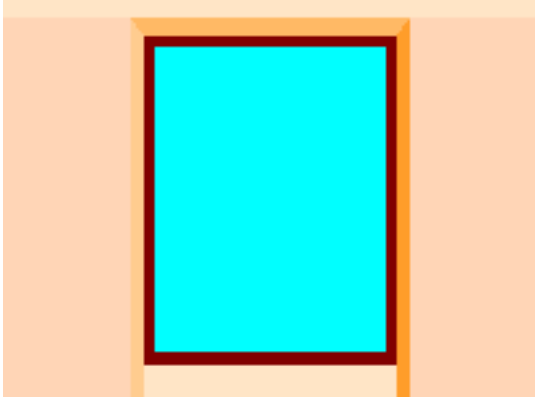
Période de simulation	Semaine début : 26	Semaine fin : 29
Période de mise en température	4 semaine(s)	
Pas de temps de simulation	1/4 heure	
Puissance dissipées occupant	80 W	
Options		
Calcul éclairage	Non	
Calcul aéraulique	Oui	
Pénalisation des équipements non certifiés	Non	
Paramètres experts	Rho limite : 2 kg/m ³ lambda limite : 0,12 W/(m.K)	

6.2 Autres hypothèses

Etats de surface

Nom	Emissivité	Absorptivité

Masques intégrés à la construction

Masque intégré			Masque intégré 1	
Distance	Gauche	0.00 m		
	Droite	0.00 m		
	Haute	0.00 m		
Débord	Gauche	0.20 m		
	Droite	0.20 m		
	Haut	0.20 m		
Transparence				
0.00%				
Paroi				Ouverture
Façade 2/5			Fen bat alu DV A1+A1 4.6.4 1m x 1.3m	
Façade 2/5			Fen bat alu DV A1+A1 4.6.4 1m x 1.3m	
Façade 2/5			Fen bat alu DV A1+A1 4.6.4 1m x 1.3m	

Résumés:

ملخص:

تتناول هذه الدراسة حالة مبنى اداري (مكاتب) يقع في مدينة بسكرة (الجزائر) التي تتسم بمناخ حار وجاف. يعتمد العمل على منهجية تحليل دورة الحياة التي تجري وفق بروتوكول تطبيع معايير موحدة (المعيار ايزو 14000 / 14040) الذي يسمح بفهم افضل للبيئة. و يشكل هذا الاخير استراتيجية ضمن سياسة دولية لحماية و الحفاظ على البيئة و توفير الطاقة. ان هذا العمل موجه خصيصا لتقييم الاثر البيئي المرتبط بمختلف مواد البناء التي تشكل نظم انشاء المباني مثل: الجدران الداخلية, الجدران الخارجية, الاسقف المتوسطة و العلوية للسطح و كذا التليس و النجارة الخ...

و البرنامج يستند الى قواعد البيانات Eco-Invent و لبرنامج المحاكاة Nova-Equer الذي يرتبط مع تطبيقات المحاكاة الحرارية الدينامكية للمبنى بواسطة برنامج Comfie-Pleiades. و الهدف من ذلك هو تقديم دعم لصنع القرار لتصميم المباني العامة, و التقليل الى ادنى حد من الاثار المترتبة على البيئة دون تخفيض مستوى الراحة للمبنى. ذلك لتسليط الضوء على تأثير بعض الخيارات التقنية مواد البناء و النظام الانشائي, الطابع المعماري, العزل و نظام التهوية, نظام التدفئة و التكييف, الخ... و التقليل من استهلاك الطاقة للمبنى المتواجد في المناطق شبه الجافة. ان الغاية من هذه الدراسة هو تقويم ومقارنة الاثر البيئي لمبنى اداري مع اختلاف لمكوناته المتعلقة بالجدران الخارجية من حيث المواد العازلة المدمجة ضمن تركيبة الجدار وكذا خصائص المادة العازلة حسب مقارنة تحليلية لدورة حياة المبنى والتي تقدر بـ ثمانون 80 سنة وهي المدة التي تدرس فيها كل التأثيرات البيئية الناجمة على استعمال المبنى طوال مدة حياته. وهذه المقاربة خاضعة لمعايير الايزو 14000 و 14040. اضافة الى نوعية المواد العازلة فان التقنيات المستعملة لعملية وضع المادة العازلة لها اهمية جد كبيرة للتقليل من استعمال الطاقة و بالتالي تحديد من التأثيرات السلبية على البيئة ومحيط القريب او البعيد للمبنى. و تقوم الدراسة بتغطية لكل عناصر غطاء المبنى بما فيها الجدران الخارجية جميع انواع الفتحات و انواعها بما تشمل من نوعية للزجاج المستعمل ونسبه على مستوى الفتحات. ان هذه المقاربة التحليلية تساعد على اخذ القرار المتعلق باختيار للمواد الصديقة للبيئة والتي تمكن من التقليل في استغلال الطاقة بما يساعد في اقتصاد بيئي وكذا حماية للبيئة من خلال التقليل المعتبر للآثار البيئية المنجزة من المباني.

Résumé :

La présente étude traite du cas d'un bâtiment de bureaux, situé dans la ville de Biskra (Algérie), caractérisée par un climat chaud et sec. Ce travail est particulièrement dédié à l'évaluation de l'empreinte environnementale associée aux divers matériaux de construction et des assemblages entrant dans les systèmes de bâtiment tels que : murs extérieurs, cloisons intérieures, planchers intermédiaires et planchers terrasses, menuiserie, etc. L'objectif est de fournir une aide à la décision pour la conception du bâtiment public, et de minimiser les impacts sur l'environnement sans réduire le niveau de confort de ce dernier. Aussi, il est question de mettre en évidence l'influence de certains choix techniques (matériaux, systèmes constructifs, choix architectural, isolation, système de ventilation, chauffage, climatisation etc.) sur les consommations énergétiques dans un bâtiment situé dans les régions arides à climat chaud et sec.

L'objectif de la présente étude était de quantifier et de comparer les impacts environnementaux de trois murs pourvus d'isolants dont la matière est d'origine diverses : i) synthétique : le Polystyrène expansé, ii) issus du recyclage : la Ouate de Cellulose ; comparés à un mur isolé conventionnellement (paroi double en brique de terre cuite avec lame d'air). Aussi, de comparer le type de vitrage pour les fenêtres et de modifier le simple vitrage utilisé par un double vitrage, et une autre alternative par un double vitrage à faible émissivité, ainsi que de vérifier l'efficacité des dispositifs de protections solaires. Les besoins en énergies et impacts engendrés sont comparés pour permettre de choisir lequel des matériaux et systèmes constructifs le plus performant.

La méthode d'évaluation environnementale employée est l'Analyse de Cycle de Vie, conformément aux Normes ISO 14040 à 14044. Elle associe différents matériaux de construction et des assemblages entrant dans l'enveloppe des bâtiments, en s'appuyant sur la base de données **Eco-Invent** et sur le Logiciel d'analyse de cycle de vie **Nova-Equer** qui est chaîné aux logiciels de simulation thermique dynamique(**Pléiades-Comfie**). En comparant globalement les résultats des différentes configurations des murs, on constate que pour la totalité des impacts, *la Ouate de cellulose* est un matériau plus respectueux de l'environnement que les autres matériaux isolants. Le polystyrène expansé donne de résultats thermiques très acceptables, mais très impactant sur l'environnement.

Aussi, les techniques d'isolation jouent un rôle très déterminant sur l'aspect énergétique, lié étroitement aux impacts environnementaux engendrés. Par conséquent la performance thermique d'un bâtiment est tributaire d'une optimisation énergétique à atteindre et des performances environnementales à justifier. Ces derniers démontrent que l'isolation par l'extérieur est la plus efficace et elle présente des degrés d'impacts très proches que ceux de l'isolation répartie mais avec moins d'efficacité énergétique. L'isolation par l'intérieur présente plus d'inconvénients énergétiques que d'avantages thermiques. Par conséquent, l'isolation par l'extérieur est la plus performante dans la mesure où elle élimine notamment les ponts thermiques, et permet de bénéficier de l'inertie thermique des parois. Il convient par ailleurs, dès lors que *la Ouate de cellulose* serait davantage utilisée dans la construction, en tant que matériau écologique issu de la récupération et du recyclage, et non plus comme un déchet. Aussi, il serait plus intéressant d'opter pour la technique de *l'isolation par l'extérieur* pour plus de gains d'énergie, d'économie et de moins d'impacts environnementaux engendrés. aussi l'utilisation d'un vitrage double et de dispositifs de protection solaire favorise l'efficacité énergétique et la réduction des impacts environnementaux du bâtiment . L'étude a enfin, permis une aide à la décision pour le choix des matériaux isolants les plus performants, avec une maîtrise des techniques d'une isolation optimale d'un bâtiment de bureau sans réduire son niveau de confort. Ainsi, une performance énergétique d'un bâtiment est garantie avec de moindres impacts environnementaux recensés.

Abstract:

The present study deals with the case of a building of offices, situated in the city of Biskra (Algeria), characterized by a hot and dry climate. It uses the method of the life cycle assessment (LCA) which takes place according to a normalized protocol (standards ISO 14000 and 14040), favoring a better understanding of the environmental incidence. The latter establishes a strategy of a international politics of environmental protection and energy saving. This work is particularly dedicated to the evaluation of the environmental footprint associated with the diverse building materials and the assemblies entering the systems of building such as: walls outsides, internal partitions, intermediate floors and floors terraces, joinery, etc. The objective is to supply a decision-making support for the design of the public building, and to minimize the impacts on the environment without reducing the comfort level of the latter. So, it is about to highlight the influence of certain technical choices (materials, constructive systems, architectural choice, insulation, system of ventilation, heating, cooling, air conditioning etc...) on the energy consumptions in a building situated in the dry regions with hot and dry climate.

The objective of the present study was to quantify and to compare the environmental impacts of three walls provided with insulations the material of which is of origin diverse: i) synthetic material: the Expanded polystyrene, ii) stemming from the recycling: the Absorbent cotton of Cellulose. The used environmental valuation method is the Life cycle analysis, according to the Standards ISO 14040 - 14044. It associates various building materials and assemblies entering the envelope of buildings, resting on the database Eco-Invent and on the Software of life cycle assessment Nova-Equer which is chained in softwares of dynamic thermal simulation (Pléiades-Comfie).

By comparing globally the results of the various configurations of walls, we notice that for all of the impacts, the Absorbent cotton of cellulose is a material more environment-friendly than other isolation materials.

So, the techniques of insulation play a very determining role on the energy aspect, bound closely to the engendered environmental impacts. Consequently the thermal performance of a building is dependent on an energy optimization to be reached and environmental performances to be justified. The latter demonstrate that the insulation around is the most effective and she presents degrees of very close impacts that those of the distributed insulation but with less energy efficiency.

The insulation by the inside presents more energy inconveniences than thermal advantages. Consequently, the insulation around is the most successful as far as it eliminates in particular the thermal bridges, and allows to benefit from the thermal inertia of walls. It is besides advisable, dice while the Absorbent cotton of cellulose would more be used in the construction, as ecological material stemming from the recovery and from the recycling, and either as a waste. So, he would be more interesting to opt for the technique of the insulation around for more of earnings of energy, economy and fewer engendered environmental impacts.

The study has finally, allowed a decision-making support for the choice of the most successful isolation materials, with a control of the techniques of an optimal insulation of a building of office without reducing its comfort level. So, an energy performance of a building is guaranteed with lesser listed environmental impacts.