

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed Seddik Benyahia - JIJEL
Faculté des Sciences et de la Technologie



DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

N° d'Ordre
Série

THESE
Pour l'Obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences
Option : ARCHITECTURE

Présentée par
KAOULA Dalel

Thème :

**ELABORATION ET APPLICATION D'UNE METHODE
D'EVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES
BATIMENTS TOURISTIQUES PAR ANALYSE DU CYCLE DE
VIE**

Sous la direction de : Pr Ammar BOUCHAIR
Date de soutenance: 11/04/2017

Devant le Jury :

Président	Djamel ALKAMA	Professeur	Université 8 mai 45, Guelma
Rapporteur	Ammar BOUCHAIR	Professeur	Université Mohamed Seddik Benyahia, Jijel
Membres	Nadia MESSACI	Professeur	École Internationale Algérienne, Paris
	Youcef LARABA	MCA	Université Constantine 3, Constantine
	Ammar KORICHI	MCA	Université Constantine 3, Constantine
	Riad Benzaid	MCA	Université Mohamed Seddik Benyahia, Jijel

*“La science est infaillible ;
mais les savants se trompent toujours”*

(Anatole France)

**À la mémoire de mon père
À ma mère**

REMERCIEMENTS

Volonté, tâtonnement, certitude, désillusion et rebondissement ont longtemps jalonné ce parcours qu'il m'a fallu faire pour réaliser ce travail de thèse, le bout du tunnel m'a paru tellement loin, tellement difficile à atteindre, et pourtant aujourd'hui, il est là, apaisement et satisfaction ont enfin pris le dessus !

Je dois ma plus vive reconnaissance et toute ma gratitude au Pr BOUCHAIR Ammar, entant que directeur de ma thèse pour son soutien, son apport scientifique, ses conseils pertinents, sa disponibilité et pour le suivi de ma thèse avec beaucoup d'attention et de rigueur.

Je lui adresse aussi tous mes remerciements mais cette fois-ci entant que directeur du laboratoire CBE pour toute la logistique mise à ma disponibilité pour la réalisation des mesures in situ.

Je remercie les membres du jury qui m'ont fait l'honneur de leur présence pour ma soutenance.

Je tiens à remercier également toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail qui ne sont pas forcément impliquées dans cette recherche et pourtant elles ont fait quelques petits bouts de chemins avec moi, je ne les cite peut-être pas et pourtant elles y sont.

Et enfin je témoigne chaleureusement ma reconnaissance à toute ma famille, surtout à ma mère pour ses encouragements et ses prières, qu'elle trouve dans ce travail, le fruit de tous ses efforts afin que je sois celle que je suis aujourd'hui.

RESUME

L'objet de ce travail est l'élaboration d'une méthode visant l'évaluation de la qualité environnementale du bâtiment touristique type hôtelier à travers une quantification des impacts environnementaux générés par ce dernier sur l'environnement.

Plus précisément, notre méthode est basée sur l'application d'une composante de l'évaluation environnementale qui s'illustre à travers l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) qui permet d'évaluer les impacts environnementaux d'un produit depuis le prélèvement des ressources naturelles jusqu'au traitement des déchets ultimes ; pour cette fin, nous élaborerons et appliquerons une méthode nous permettant d'assurer un lien entre une analyse énergétique et une analyse environnementale, cette alliance se basera sur la quantification d'indicateurs associés à des thèmes liés aux impacts environnementaux générés par le bâtiment en question à l'aide d'outils de simulation thermique, énergétique et d'ACV mais également à des thèmes qualitatifs afférents à la qualité de confort. Cette méthode nécessitera d'autre part une délimitation et une modélisation du système bâtiment, en outre, par l'application de cette dernière, nous étudierons l'influence des composants du bâtiment sur son bilan énergétique et environnemental ce qui nous permettra de savoir sur quels points faudrait-il intervenir afin d'améliorer ces bilans et aboutir suite à cela à une variante éco-conceptuel générant le minimum d'impacts.

Notre méthode ouvre la voie aux concepteurs soucieux de leur environnement et du devenir du tourisme pour concevoir écologiquement un bâtiment hôtelier dont les impacts environnementaux ont été réduits au maximum et cela dès les phases amonts du projet, sa fluidité constitue une aide à la décision pour les acteurs du bâtiment, tous secteurs confondus, en leur permettant d'évaluer ou de comparer différentes alternatives d'un projet afin de déterminer l'alternative la mieux appropriée à la notion complexe de développement durable.

Mots clés : ACV ; Indicateurs ; Simulation ; Impacts ; Évaluation ; Environnement ; Analyse multi critères ; Bâtiment.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	1
Préface	2
Problématique.....	3
Intérêt de la recherche.....	6
Objectif de la recherche.....	8
Méthodologie de recherche.....	10
Structure de la thèse.....	13
PREMIERE PARTIE : IMPACTS, ENJEUX ET REPONSES	14
Introduction à la première partie.....	15
CHAPITRE I : CONCEPTS ENVIRONNEMENTAUX	16
Introduction	17
I. La notion du développement durable, environnement et impact environnemental...	17
I.1 La notion du développement durable.....	17
I.1.1 Apparition et genèse de la notion du « développement durable ».....	18
I.1.2 Quelques définitions	20
I.2 Le concept de l'environnement.....	24
I.3 Le concept de l'impact environnemental.....	26
I.3.1 De la substance environnementale à l'impact environnemental.....	26
I.4 Le bâtiment touristique, ses enjeux et ses rôles.....	30
I.4.1 Les facettes fonctionnelles d'un bâtiment touristique.....	31
I.4.2 Les enjeux environnementaux liés au bâtiment touristique.....	32
I.4.3 Les émissions du bâtiment touristique.....	34
I.4.4 Les consommations du bâtiment touristique.....	35
I.4.5 Répartition de la consommation électrique par usage.....	37
I.4.6 Les phases de vie d'un bâtiment touristique.....	38
I.4.6.1 La phase de conception	38
I.4.6.2 La phase de réalisation ou de construction.....	38
I.4.6.3 La phase d'utilisation ou d'exploitation.....	39
I.4.6.4 La phase de rénovation	39
I.4.6.5 La phase de démolition ou de déconstruction	39
II. Spécificités des différents impacts environnementaux	40
II.1 L'échelle planétaire	40
II.1.1 L'effet de serre.....	40
II.1.2 La destruction de la couche d'ozone.....	43
II.1.3 Épuisement des ressources.....	43
II.1.4 Les atteintes à la biodiversité.....	44
II.1.5 Pollution et acidification des mers.....	45
II.2 L'échelle régionale.....	46
II.2.1 Les effets liés à la pollution de l'air.....	46
II.2.1.1 L'acidification	46
II.2.1.2 Dépérissements forestiers nouveaux.....	46
II.2.1.3 Le smog.....	47
II.2.2 Les effets liés à la pollution de l'eau.....	47

II.2.2.1 La dystrophisation.....	48
II.2.2.2 Les métaux lourds.....	48
II.2.2.3 Les eaux usées.....	50
II.2.3 Les effets liés à la pollution des sols.....	50
II.2.3.1 Substances polluantes.....	51
II.2.3.2 Acidification du sol.....	52
II.2.3.3 Métaux lourds.....	52
II.2.3.4 Les déchets.....	54
II.2.3.5 Sites pollués.....	56
Conclusion	57

CHAPITRE II : REPONSES INTERNATIONALES AUX ENJEUX ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX : ELEMENTS DE REFLEXION SUR LES METHODES ET OUTILS D’EVALUATION ENVIRONNEMENTALE.....

Introduction	58
I. Portée de l’évaluation environnementale du bâtiment	59
I.1 Importance des méthodes d’évaluation environnementale.....	59
I.2 Les différents contextes d’une opération d’évaluation environnementale.....	61
I.3 Le cycle d’une démarche d’évaluation environnementale.....	62
I.3.1 Intervenants et aboutissants dans une opération d’évaluation environnementale.....	64
I.3.1.1.a Acteurs de la phase de conception.....	64
I.3.1.1.b Acteurs de la phase de construction.....	64
I.3.1.1.c Acteurs de la phase d’exploitation.....	65
I.3.1.1.d Acteurs de la phase de réhabilitation.....	65
I.3.1.1.e Acteurs de la phase de déconstruction.....	66
I.3.1.2 Les aboutissants.....	67
I.3.1.2.a Aboutissants en fonction du moment d’intervention.....	67
I.3.1.2.b Aboutissants en fonction de la nature de l’intervenant.....	68
I.3.1.2.c Aboutissants en fonction de La nature du destinataire.....	69
II Réponses internationales à la problématique environnementale	70
II.1 Typologie des méthodes d’évaluation environnementale.....	70
II.1.1 Les méthodes de type check-list.....	70
II.1.1.1 Typologie des listes existantes.....	70
II.1.1.2 Spécificités des méthodes check-list.....	71
II.1.2 Les méthodes de labellisation.....	71
II.1.2.1 Les matrices d’impacts.....	71
II.1.2.1.1 Typologie des matrices.....	71
II.1.2.1.2 Spécificités.....	72
II.1.3 Les méthodes d’analyse du cycle de vie (ACV).....	72
II.1.4 Les méthodes d’aide à la décision.....	72
II.1.5 Méthode d’aide multicritère à la décision.....	74
II.2 État des lieux des différentes méthodes.....	75
II.2.1 Usage des différentes méthodes.....	75
II.2.2 Critères de choix.....	75
II.2.3 Discussion sur les méthodes d’évaluation.....	76
II.3 Les outils d’évaluation environnementale.....	77
II.3.1 Les outils conçus en Europe.....	77
II.3.1.1 Le système de labellisation.....	77

II.3.1.1.a BREEAM.....	77
II.3.1.1.b HQE : La Haute Qualité Environnementale	78
II.3.1.1.c ESCALE.....	82
II.3.1.2 Le système d'ACV.....	83
II.3.1.2.a ENVEST 2	83
II.3.1.2.b EQUER	84
II.3.1.2.c PAPOOSE	84
II.3.1.2.d TEAM 4.0	84
II.3.1.3 Le système de check-list.....	85
II.3.1.3.a Check-lists SEEDA	85
II.3.2 Les outils conçus hors Europe.....	85
II.3.2.1 Le système de labellisation.....	85
II.3.2.1.a LEED	85
II.3.2.1.b GB Tool (Green Building Tool)	86
II.3.2.1.c NABERS (National Australian Building Environmental Rating System)	86
II.3.2.1.d CASBEE (Comprehensive Assessment Sustainable Building Environmental Efficiency).....	86
II.3.2.2 Le système d'ACV.....	87
II.3.2.2.a BEES (Building Environmental and Economic Sustainability)	87
II.3.2.2.b ATHENA (Athena Environmental Impact Estimator)	87
II.3.2.2.c LISA (Life Cycle Analysis In Sustainable Architecture)	87
II.4 Les applications des outils d'évaluation environnementale.....	89
II.4.1 Selon la typologie du bâtiment	89
II.4.2 Selon les étapes de réalisation du bâtiment	89
II.4.3 Selon la catégorie de performance environnementale : l'énergie.....	90
II.4.4 Selon la catégorie de performance environnementale : matériaux.....	90
II.4.5 Selon la catégorie de performance environnementale : santé.....	90
II.4.6 Selon la catégorie de performance environnementale : environnement.....	91
II.5 Discussion sur les outils d'évaluation	91
III. Retour d'expérience sur les méthodes d'évaluation environnementale	92
III.1 Étude sur les impacts environnementaux du bâtiment par phase de vie.....	92
III.2 Étude expérimentale d'une maison individuelle	96
III.2.1 Présentation de la maison.....	96
III.2.2 Méthodologie menée.....	96
III.3 Étude expérimentale d'un bâtiment tertiaire	97
III.3.1 Présentation du bâtiment.....	97
III.3.2 Méthodologie menée	98
III.4 Étude expérimentale d'une maison individuelle standard (exposition ECOLOGIS)	99
III.4.1 Présentation de la maison	99
III.4.2 Méthodologie menée	100
III.5 Étude de la contribution relative des différentes sources d'impacts	102
III.5.1 Présentation des données	102
III.5.2 Méthodologie menée	103
III.6 Étude de la requalification d'un quartier	106
III.6.1 Présentation du quartier.....	106
III.6.2 Méthodologie menée	106
III.6.3 L'étude thermique.....	106
III.6.4 L'analyse du cycle de vie.....	108

III.7 Étude d'un aménagement durable d'un quartier	111
III.7.1 Présentation du quartier.....	111
III.7.2 Méthodologie menée.....	111
III.8 D'autres études sur l'ACV.....	114
III.9 Discussion	115
Conclusion	117
DEUXIEME PARTIE : CONSTRUCTION D'UNE METHODE D'EVALUATION DU BATIMENT HOTELIER.....	118
Introduction à la deuxième partie.....	119
CHAPITRE III : ETUDE PROSPECTIVE DU SYSTEME RETENU « L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE ».....	120
Introduction	121
I Présentation et définition de l'ACV	121
I.1 Historique.....	121
I.2 La méthodologie de l'ACV.....	123
I.2.1 Le bilan matières/énergie.....	123
I.2.2 L'évaluation de l'impact du cycle de vie.....	123
I.2.3 La recherche des améliorations.....	123
I.3 Les étapes d'une ACV.....	125
I.3.1 Définition des objectifs et du cadre de l'analyse du cycle de vie	125
I.3.2 Inventaire du cycle de vie	125
I.3.3 Évaluation de l'impact du cycle de vie.....	126
I.3.4 Interprétations du cycle de vie.....	127
I.4 Différentes méthodes utilisées dans l'ACV.....	127
I.4.1 La méthode des émissions polluantes.....	128
I.4.2 La méthode des flux des substances.....	128
I.4.3 La méthode de monétarisation	128
I.5 Les apports d'une ACV pour l'évaluation des bâtiments	129
I.6 Principaux domaines d'application de l'ACV.....	133
I.7 Principes généraux de la méthode	134
I.7.1 Aide à la décision et approche choisie.....	134
I.7.2 L'évaluation d'une alternative.....	135
I.7.3 Comparaison d'alternatives.....	136
I.7.4 Utilisation d'une référence.....	137
I.8 Buts, visées, limites et destinataires de la méthodologie.....	137
I.8.1 Buts attendus de la méthodologie d'évaluation.....	137
I.8.2 Les visées directes de la méthodologie d'évaluation.....	138
I.8.3 Les enjeux à relever.....	138
I.8.4 Les destinataires de la méthodologie d'évaluation.....	138
I.8.5 Limites de la méthodologie ACV.....	139
II. Frontières du système et aspects méthodologiques d'évaluation	140
II.1 Aspects du système étudié par l'ACV « bâtiment-usagers ».....	140
II.1.1 Détermination des frontières du système.....	140
II.1.2 Flux pris en compte dans le système concerné.....	140
II.1.3 Spécification de l'échelle spatiale et temporelle de l'évaluation.....	141
II.1.3.1 L'échelle spatiale.....	141

II.1.3.2 L'échelle temporelle.....	144
II.1.4 Aspects de l'objet d'étude par le système ACV : le bâtiment touristique.....	145
II.2 Aspects méthodologiques d'évaluation.....	146
II.2.1 Définition et importance d'un thème d'évaluation.....	146
II.2.2 Définition et importance des référentiels.....	146
II.2.3 Définition et importance d'un indicateur.....	147
II.2.3.1 Éléments de définition.....	147
II.2.3.2 Éléments de typologie.....	148
II.2.3.3 Critères de choix des indicateurs.....	152
II.2.3.4 Étapes de construction des indicateurs.....	153
II.2.4 Agrégation et pondération des critères.....	154
II.2.4.1 Importance de l'agrégation et pondération des critères.....	155
II.2.2.2 Différentes méthodes utilisées dans l'agrégation et pondération des critères.....	156
III. Présentation des thèmes environnementaux et indicateurs considérés par la méthode.....	160
III.1 Catégories d'impacts prises dans une ACV.....	160
III.2 Choix des thèmes et indicateurs environnementaux.....	162
III.2.1 Indicateurs environnementaux retenus.....	162
III.2.2 Thèmes environnementaux retenus.....	164
III.2.3 Les effets intermédiaires et finaux des indicateurs retenus.....	166
III.2.2.1 Thème 1 : Ressources.....	166
III.2.2.2 Thème 2 : Environnement.....	167
III.2.2.3 Thème 3 : Confort.....	169
III.3 Causes, polluants et effets potentiels des indicateurs retenus.....	170
III.4 Interaction des indicateurs environnementaux retenus avec les différentes méthodes d'évaluation environnementale.....	173
III.4.1 L'évaluation des risques sanitaires.....	173
III.4.2 L'évaluation des risques pour les écosystèmes.....	173
Conclusion.....	176
CHAPITRE IV : QUANTIFICATION DES INDICATEURS.....	177
Introduction.....	178
I. Présentation des étapes fondamentales de traitement des indicateurs dans une ACV.....	178
I.1 Quantification des indicateurs.....	178
I.1.1 Méthode de normalisation choisie.....	180
I.1.1 La normalisation statistique.....	180
I.1.2 La moyenne empirique.....	180
I.1.3 La normalisation axiologique.....	181
I.1.4 La normalisation mathématique.....	181
I.1.2 Méthode d'agrégation choisie.....	182
I.1.3 La méthode AHP.....	184
I.1.3.1 Principales étapes de la méthode.....	184
I.1.3.2 Les points forts et faibles de la méthode.....	186
I.2 Les spécificités intrinsèques à notre méthode.....	191
II. Traitement des indicateurs.....	193
II.1 Premier thème : Ressources.....	193

II.1.1	Épuisement des ressources	193
II.1.2	Consommation de l'énergie	195
II.1.3	Consommation de l'eau.....	197
II.2	Deuxième thème : Environnement.....	197
II.2.1	Les indicateurs de potentiel.....	197
II.2.1.1	Effet de serre.....	197
II.2.1.2	Acidification.....	199
II.2.1.3	Eutrophisation.....	200
II.2.1.4	Ozone photochimique (smog).....	201
II.2.2	Les indicateurs de volume critique.....	202
II.2.2.1	Écotoxicité	202
II.2.2.2	Toxicité humaine.....	203
II.2.2.3	Odeurs.....	205
II.2.3	Les indicateurs de génération des déchets.....	206
II.2.3.1	Déchets inertes.....	206
II.2.3.2	Déchets radioactifs.....	207
II.3	Troisième thème : Confort.....	208
II.3.1	Le confort hygrothermique	209
II.3.2	Le confort aéraulique.....	212
II.3.3	Le confort acoustique	212
II.3.4	Le confort visuel	216
III.	Visualisation des indicateurs.....	218
III.1	Option de visualisation des indicateurs retenus.....	218
III.1.1	Première option	219
III.1.2	Deuxième option	220
III.1.3	Troisième option	222
III.1.4	Quatrième option	223
III.1.5	Cinquième option	224
III.2	Avantages et inconvénients des différentes options de visualisation.....	227
III.2.1	La première option	227
III.2.2	La deuxième option	228
III.2.3	La troisième option	228
III.2.4	La quatrième option	228
III.2.5	La cinquième option	229
III.2.6	Quid du mode de diagramme radar ?.....	229
III.2.7	Quelle option choisir ?.....	229
III.3	Outils de simulations retenus.....	230
III.3.1	Les raisons de ce choix.....	230
III.3.2	L'outil EQUER.....	231
III.3.2.1	Développement de l'outil.....	231
III.3.2.2	Le rôle de l'outil.....	232
III.3.2.3	Phases du bâtiment et paramètres considérés par EQUER.....	232
III.3.2.4	Les sorties du logiciel.....	232
III.3.2.5	La représentation graphique des indicateurs.....	233
III.3.2.6	La modélisation du bâtiment.....	234
III.3.3	L'outil COMFIE.....	234
III.3.3.1	Le développement de l'outil.....	234
III.3.3.2	Le rôle de l'outil.....	234

III.3.3.3 Les modules graphiques et de calcul associés à COMFIE.....	235
III.3.3.4 Les modules de fonctionnement associés à CONFIE.....	236
III.3.4 La corrélation entre les outils.....	237
III.3.5 Validation des logiciels.....	238
III.3.5.1 Études comparatives du logiciel EQUER.....	238
III.3.5.2 Études comparatives du logiciel COMFIE.....	241
Conclusion	244
TROISIEME PARTIE : APPLICATION DE LA METHODE ET RESULTATS OBTENUS	245
Introduction à la troisième partie.....	246
CHAPITRE V : ETUDE DE CAS, MESURES ET ENQUETE	247
Introduction	248
I. Étude de cas– synoptiques des mesures et d’enquête	248
I.1 Présentation des projets hôteliers.....	248
I.1.1 Premier cas d’étude : l’hôtel « Es-Safir »	248
I.1.2 Second cas d’étude : l’hôtel « Les roses ».....	251
I.1.3 Troisième cas d’étude : l’hôtel « Golden tulipes ».....	256
I.1.3.1 Les points techniques de l’hôtel.....	260
I.1.3.1.a l’eau chaude sanitaire (ECS).....	260
I.1.3.1.b chauffage et ventilation.....	260
I.1.4 Synthèse des caractéristiques des trois hôtels.....	262
I.2 Critères de choix.....	262
I.3 Conditions climatologiques régnants sur les trois hôtels.....	263
I.4 Moyens techniques mis en œuvre	265
I.4.1 Protocole de la campagne de mesures de la qualité du confort	265
I.4.1.1 Les journées de prise.....	265
I.4.1.2 Les paramètres mesurés.....	266
I.4.1.3 Position et hauteur des mesures.....	266
I.4.1.4 Objectifs des mesures	267
I.4.1.5 Synoptique de la campagne de mesures.....	267
I.4.2 Protocole de l’enquête auprès des usagers.....	268
I.4.2.1 Principales étapes de l’enquête.....	268
I.4.2.2 Méthode d'enquête.....	269
I.4.2.3 Les techniques des observations.....	270
I.4.2.4 L'échantillon des interlocuteurs.....	271
I.4.2.5 Le guide d'entretien semi directif : les principales thématiques abordées.....	271
I.4.2.6 Objectif de l'enquête.....	272
I.4.2.7 Les items abordés par l’enquête de satisfaction	272
II. Application de la méthode	275
II.1 Évaluation de la qualité de confort par la campagne de mesures.....	275
II.1.1 Mesures de la température.....	275
II.1.1.1 Interprétation des résultats	277
II.1.2 Mesures de l’humidité.....	278
II.1.2.1 Interprétation des résultats.....	280
II.1.3 Comparaison du comportement hygrothermique des deux bâtiments hôteliers.....	281
II.1.3.1 Le comportement hygrométrique.....	281

II.1.3.2 Le comportement thermique.....	282
II.1.4 Mesures de la vitesse de l'air.....	284
II.1.4.1 Interprétation des résultats.....	285
II.1.5 Mesures du niveau d'éclairement.....	287
II.1.5.1 Interprétation des résultats.....	289
II.1.6 Mesures du niveau de bruit.....	290
II.1.6.1 Interprétation des résultats.....	290
II.1.7 Conclusions tirées de la campagne des mesures	291
II.2 Évaluation de la qualité du confort par l'enquête de satisfaction auprès des usagers.....	292
II.2.1 Méthode de construction des référentiels	293
II.2.1.1 Référentiel du confort aéraulique.....	294
II.2.1.2 Référentiel du confort visuel	295
II.2.1.3 Référentiel du confort acoustique	296
II.2.2 Résultats d'évaluation par l'enquête de satisfaction.....	296
II.2.2.1 Interprétation des résultats.....	298
II.2.3 Performance des variantes à la qualité du confort par type de référentiel.....	301
II.2.3.1 Discussion.....	302
Conclusion	302

CHAPITRE VI : SIMULATION DYNAMIQUE MULTIZONE ET CALCUL DES INDICATEURS	303
Introduction	304
I. Évaluation thermique, énergétique et environnementale des variantes	304
I.1 Caractéristiques générales des variantes.....	304
I.2 Démarche de simulation suivie.....	307
I.3 Simulation énergétique et thermique des trois variantes.....	311
I.3.1 Interprétation des résultats.....	312
I.3.2 Simulation du confort via le diagramme de Brager.....	313
I.3.2.1 Interprétation des résultats	314
I.4 Quantification des impacts via une simulation environnementale par ACV	315
I.4.1 Thème 1 : Ressources.....	316
I.4.1.1 Discussion	316
I.4.2 Thème 2 : Environnement.....	317
I.4.2.1 Discussion.....	318
I.4.3 Comparaison de l'ACV.....	319
I.4.3.1 Discussion	320
I.4.3.2 Discussion	320
I.5 Hypothèses sur la génération d'impacts : influence des composants du bâtiment sur ses performances thermiques, énergétiques et environnementales	321
I.5.1 Influence de l'enveloppe	321
I.5.2 Influence des scenarios.....	321
I.5.3 Influence du climat.....	322
I.5.4 Influence de la surface et de la forme du bâtiment.....	322
I.6 Résultats	322
I.6.1 Influence de l'enveloppe.....	322
I.6.2 Influence des scenarios.....	325
I.6.3 Influence du climat.....	327
I.6.4 Influence de la surface et de la forme du bâtiment.....	330
I.7 Interprétation des résultats.....	332

I.7.1	Influence de l'enveloppe.....	332
I.7.2	Influence des scénarios.....	333
I.7.3	Influence du climat.....	334
I.7.4	Influence de la surface et la forme du bâtiment.....	334
I.8	Amélioration du bilan environnemental par ACV.....	336
I.8.1	Caractéristiques du BFI.....	336
I.8.2	Simulation énergétique et thermique	337
I.8.2.1	Interprétation des résultats.....	339
I.8.3	Simulation environnementale.....	341
I.7.3.1	Discussion	342
II.	Calcul des indicateurs et comparaison des variantes	343
II.1	Valeurs de référence des indicateurs.....	343
II.2	Valeurs des indicateurs pour les trois variantes de base.....	349
II.3	Comparaison des variantes de base.....	350
II.3.1	Comparaison des variantes pour les indicateurs du thème « Ressources ».....	350
II.3.1.1	Discussion	350
II.3.2	Comparaison des variantes pour les indicateurs du thème « Environnement ».....	351
II.3.2.1	Discussion	351
II.3.3	Comparaison des variantes pour le thème « Confort »	352
II.3.3.1	Discussion	352
II.3.4	Comparaison de l'ensemble des indicateurs	353
II.3.4.1	Discussion.....	353
II.4	Valeurs des indicateurs des sous variantes	354
II.5	Comparaison des sous variantes	355
II.5.1	Comparaison des sous variantes pour les indicateurs du thème « Ressources ».....	355
II.5.1.1	Discussion	356
II.5.2	Comparaison des sous variantes pour les indicateurs du thème « Environnement »	356
II.5.2.1	Discussion	357
II.6	Validation des résultats	358
II.6.1	Validation des résultats des mesures thermiques par les températures simulées par COMFIE.....	358
II.6.1.1	Températures du bâtiment à enveloppe traditionnel.....	358
II.6.1.2	Températures du bâtiment à enveloppe standard.....	359
II.6.1.3	Discussion.....	359
II.6.2	Validation des résultats des différentes mesures par ceux de l'enquête de satisfaction.....	359
II.6.2.1	Bâtiment hôtelier à enveloppe traditionnelle (hôtel Es-Safir).....	360
II.6.2.2	Bâtiment hôtelier à enveloppe standard (hôtel Les Roses).....	362
II.6.2.3	Discussion	363
II.6.3	Recommandations.....	364
	Conclusion	367
	CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	368
	Conclusion générale.....	369
	Perspectives	373
	Bibliographie	376

Annexe.....	Ai
Annexe 1.....	Aii
Annexe 2.....	Aiv
Annexe 3.....	Avi
Annexe 4.....	Avii
Annexe 5.....	Aviii
Annexe 6.....	Axiii
Annexe 7.....	Axiv
Annexe 8.....	Axvii

LISTE DES FIGURES

Fig. 1 : Vue générale sur les préoccupations de recherche et la problématique posée	5
Fig. 2 : Récapitulation de la méthode d'évaluation	12
Fig. 3 : Les principales dates du développement durable (source : Brodhag, 2004).....	20
Fig. 4 : Le développement durable au centre des trois pôles ; économie, société et environnement, Modèle de Jacobs et Sadler datant de 1990 (source : ARPE 2001).....	21
Fig. 5 : Les cinq dimensions du développement durable (source : Sachs, 1993).....	22
Fig. 6 : Le triptyque du développement durable (source : Bertrand, 2004).....	23
Fig. 7 : Une représentation dynamique du développement durable (source : Ferron, 1993).....	23
Fig. 8 : Différentes images du développement durable (source : Khalfan 2002).....	24
Fig. 9 : Les champs de l'environnement (source : Theys, 1994).....	25
Fig. 10 : Modèle simple concernant la répartition de substances entre les trois compartiments de l'environnement : l'atmosphère, l'eau et le sol (source : Bliefert et Perraud, 2004).....	27
Fig. 11 : Systématique des pollutions de l'environnement (source : Bliefert et Perraud, 2004).....	27
Fig. 12 : Classification internationale des impacts environnementaux.....	29
Fig.13 : Structuration des domaines environnementaux dans un bâtiment hôtelier (source : ADEME).....	31
Fig. 14 :Flux entre le bâtiment touristique et les différents compartiments de l'environnement.....	32
Fig. 15 : Les impacts environnementaux générés par le bâtiment touristique.....	33
Fig. 16 : Consommation moyenne totale journalière en électricité d'un hôtel 3* (source : Enertech, 2003).....	36
Fig. 17 : Profil d'appel de puissance en hiver d'un hôtel 3* (source : Enertech, 2003).....	37
Fig. 18 Consommation électrique par usage d'un hôtel 3* (source : Enertech, 2003).....	37
Fig. 19 : Phases de vie d'un bâtiment touristique	38
Fig. 20 : Les cinq compartiments structurant la terre (source : Bliefert et Perraud , 2004).....	40
Fig. 21 : Schéma simplifié de l'effet de serre (source : Minh, 1998).....	41
Fig. 22 : Les scénarios GIEC pour le réchauffement global (source : PNUD, 2007).....	42
Fig. 23 : Schéma simplifié du cycle des métaux (source : Bliefert et Perraud, 2004).....	49
Fig. 24 : Relation dose-effet d'éléments essentiels (expZn, Cu) et non nécessaires (exp Cd, Pb) (source : Bliefert, Perraud, 2004).....	49

Fig. 25 : Influence du stockage des substances nutritives dans le sol (source : Bliefert ; Perraud, 2004).....	50
Fig. 26 : Comportement des polluants dans le sol (source : Bliefert ; Perraud, 2004).....	51
Fig. 27 : Trajets des métaux lourds dans l'environnement (source : Bliefert ; Perraud, 2004).....	53
Fig. 28 : Origine des déchets et leur interférence dans l'environnement (source : Bliefert ; Perraud, 2004).....	54
Fig. 29 : Contribution d'un procédé industriel et des produits, à la formation de déchet (source : Bliefert ; Perraud, 2004).....	55
Fig. 30 : Interactions entre la production, la consommation, l'utilisation, le recyclage et le traitement (source : Bliefert ; Perraud, 2004).....	56
Fig. 31 : Pollution possible à partir des anciennes décharges et des anciennes plates-formes industrielles (source : Bliefert ; Perraud, 2004).....	57
Fig.32 : Les cotextes d'une opération d'évaluation environnementale	61
Fig. 33 : Corrélation entre contexte, échelle et données liées aux différents projets (source : Weissenstein et Bignon, 2010).....	62
Fig. 34 : Le cycle d'une démarche d'évaluation environnementale du bâtiment	63
Fig. 35 : Acteurs de la phase d'exploitation	66
Fig. 36 : Recherche de la solution optimum (source : Brunner et Starkl, 2004).....	73
Fig. 37 : Présentation de la démarche HQE et des 14 cibles (source : Cherki, 2005).....	81
Fig. 38 : Schéma de principe de la méthode ESCALE (source : Abdelghani-Idrissi et al, 2004).....	83
Fig. 39 : Simulation de consommation d'énergie par phases de vie (source : Mandallena, 2006).....	94
Fig. 40 : Consommation d'énergie finale en fonction des postes d'usage et phases de vie du bâtiment (source : Mandallena, 2006).....	94
Fig. 41 : Importance relative des indicateurs environnementaux par phase de vie (source : Mandallena, 2006).....	95
Fig. 42 : Projet de bâtiment tertiaire (source :Peuportier, 2000).....	98
Fig. 43 : Eco profil comparatif des deux bâtiments tertiaires (source :Peuportier, 2000)...	99
Fig. 44 : Esquisse de la maison réalisée pour l'exposition EcoLogis (source : Peuportier et Polster, 2004).....	100
Fig. 45 : Profil comparatif de la maison EcoLogie et la maison standard actuelle (source : Peuportier et Polster, 2004).....	101
Fig. 46 : Contribution relative aux différentes sources d'impact (source : Peuportier et Polster, 2004).....	103

Fig. 47 : Comparaison des différentes variantes avec la référence pour le thème « effet de serre » (source : Peuportier et Polster, 2004).....	105
Fig. 48 : La zone d'étude (source : Trocmé et Peuportier, 2008).....	106
Fig. 49 : Modélisation des îlots (source : Trocmé et Peuportier, 2008).....	107
Fig. 50 : Besoins de chauffages des trois variantes (source : Trocmé et Peuportier, 2008)...	108
Fig. 51 : Analyse de cycle de vie comparative des trois variantes (source : Trocmé et Peuportier, 2008).....	110
Fig. 52 : Proposition d'aménagement du quartier est de la gare de la Rochelle (source : Cherqui, 2005).....	111
Fig. 53 : Capture d'écran du logiciel ALCYONE (représentation en 3D) (source :Cherqui, 2005).....	112
Fig. 54 : Capture d'écran du logiciel ALCYONE (vue en plan) (source :Cherqui, 2005)...	112
Fig. 55 : Présentation de la variante de juillet (a) et de septembre (b) (source :Cherqui, 2005).....	113
Fig. 56 : Comparaison des deux alternatives pour l'objectif « préserver les ressources » (source : Cherqui, 2005).....	114
Fig.57 : Les étapes de l'ACV (source : Boeglin et Veuillet, 2005).....	124
Fig. 58 : Le cycle de vie d'un bâtiment (source : Liébard et De herde. 2006).....	126
Fig. 59 : Procédure pour établir le bilan d'inventaire et le bilan des conséquences ainsi que l'évaluation dans une analyse du cycle de vie (source :Bliefert et Perraud, 2004)	127
Fig. 60 :L'ACV permet d'éviter les déplacements de pollutions d'un impact à l'autre pour différentes alternatives (source : Papadopoulo, 2009).....	129
Fig. 61 : L'ACV permet d'éviter les déplacements de pollutions d'une étape à l'autre pour différentes alternatives (source : Papadopoulo, 2009).....	130
Fig. 62 : La maison économe engendre à postériori un impact négatif sur l'environnement (source : Papadopoulo, 2009).....	131
Fig. 63 : Comparaison du coût de la construction et de l'utilisation pour différents bâtiments (source : Terrin, 2010).....	132
Fig. 64 : Évaluation de la valeur de différentes opérations liées au bâtiment durant son cycle de vie (source : Terrin, 2010).....	132
Fig. 65 : Mode d'emploi d'une ACV (source : Papadopoulo, 2009).....	133
Fig.66 : Approche ascendante et descendante lors de l'étude d'un projet de construction (source : Cherqui, 2005).....	135
Fig. 67 : Exemple d'une représentation d'évaluation d'impacts d'un bâtiment tertiaire à travers un diagramme radar (source : Peuportier, 2000).....	136

Fig. 68 : Changement de position d'indicateurs dans un diagramme radar : l'évaluation est restée la même	136
Fig. 69 : Diagramme radar comparatif (source : Trocmé ; Peuprtier, 2008).....	137
Fig. 70 : Flux pris en considération dans le système	141
Fig. 71 : Corrélation du bâtiment aux différentes échelles.....	143
Fig.72 : Positionnement de la méthode par rapport aux phases du cycle de vie du bâtiment	144
Fig. 73 : Modèle PSR de l'OCDE (source : Charlot-Valdieu et Outrequin 2002; Dufrasnes et Achard 2004).....	149
Fig. 74 : Modèle DPSIR (source : Charlot-Valdieu et Outrequin 2002).....	150
Fig. 75 : Les trois sous-systèmes principaux de l'approche système (source : Bossel 1999).	151
Fig.76 : Triangle d'agrégation de données d'évaluation environnementale (source : Personne, 1998).....	155
Fig. 77 : Étapes du développement d'indicateurs environnementaux (source : Olsthoorn et al. 2001, Tyteca, 2002a).....	156
Fig. 78 : Illustration de la méthode d'agrégation de JAGGI & FREEDMAN dans le cas de trois critères (source : Tyteca, 2002a).....	157
Fig. 79 : Calcul d'un indicateur environnemental suivant la méthode d'efficacité productive. Les points représentent des unités productrices de l'échantillon considéré (source : Tyteca, 2002a).....	157
Fig. 80 : Les indicateurs environnementaux retenus par notre méthode	163
Fig. 81 : Organisation des indicateurs environnementaux retenus par notre méthode par rapports aux phases de vie du bâtiment	164
Fig. 82 : Interaction entre les différents indicateurs environnementaux	165
Fig. 83 : Les effets des indicateurs du thème « Ressources » et leur interaction avec les enjeux environnementaux	166
Fig. 84 : Les effets des indicateurs de potentiel du thème « Environnement » et leur interaction avec les enjeux environnementaux	168
Fig. 85 : Les effets des indicateurs de volume critique du thème « Environnement » et leur interaction avec les enjeux environnementaux	169
Fig. 86 : Les cibles de confort retenues par notre méthode	170
Fig. 87 : Carte de perception des enjeux environnementaux avec les méthodes d'évaluation environnementales (source : RECORDS, 2005).....	175
Fig. 88 : Représentation du processus d'aide à la décision (source : Guitouni et al., 1999).....	179
Fig. 89 : Structure hiérarchique d'un problème selon la méthode AHP (source : Hammami, 2003).....	185

Fig. 90 : Relation entre le PPD et la température de l'air selon l'activité (source : Energie+)	211
Fig. 91 :Diagramme radar ; première option –premier mode (radar simple)	219
Fig. 92 : Diagramme radar ; première option –premier mode (radar plein)	220
Fig. 93 : Diagramme radar ; deuxième option –thème 1 (radar simple)	220
Fig. 94 : Diagramme radar ; deuxième option –thème 1 (radar plein)	220
Fig. 95 :Diagramme radar ; deuxième option –thème 2 (radar simple)	221
Fig. 96 : Diagramme radar ; deuxième option –thème 2 (radar plein)	221
Fig. 97 : Diagramme radar ; deuxième option –thème 3 (radar simple)	221
Fig. 98 : Diagramme radar ; deuxième option –thème 3 (radar plein)	222
Fig. 99 : Diagramme radar ; deuxième option –thème4 (radar simple)	222
Fig. 100 : Diagramme radar ; deuxième option –thème 4(radar plein)	222
Fig. 101 : Diagramme radar ; troisième option-premier mode (radar simple)	223
Fig. 102 :Diagramme radar ; troisième option-deuxième mode (radar plein)	223
Fig. 103 : Diagramme radar ; quatrième option-premier mode (radar simple)	223
Fig. 104 :Diagramme radar ; quatrième option-deuxième mode (radar plein)	224
Fig. 105 :Diagramme radar ; cinquième option-variante 1 (radar simple)	224
Fig. 106 : Diagramme radar ; cinquième option-variante 1 (radar plein- l'aire de la variante en premier plan)	225
Fig. 107 : Diagramme radar ; cinquième option-variante 1 (radar plein- l'aire de la variante en arrière-plan)	225
Fig. 108 : Diagramme radar ; cinquième option-variante 2 (radar simple)	225
Fig. 109 : Diagramme radar ; cinquième option-variante 2 (radar plein- l'aire de la variante en premier plan)	226
Fig. 110 : Diagramme radar ; cinquième option-variante 2 (radar plein- l'aire de la variante en arrière-plan)	226
Fig. 111 : Diagramme radar ; cinquième option-variante 3 (radar simple)	226
Fig. 112 : Diagramme radar ; cinquième option-variante 3 (radar plein- l'aire de la variante en premier plan)	227
Fig. 113 : Diagramme radar ; cinquième option-variante 3 (radar plein- l'aire de la variante en arrière-plan)	227
Fig. 114 : Les différents paramètres liés aux différentes phases considérés par le logiciel EQUER (source : IZUBA)	232

Fig. 115 : La représentation graphique des indicateurs via un histogramme (source : IZUBA).....	233
Fig. 116 : La représentation graphique des indicateurs via un diagramme radar (source : IZUBA).....	233
Fig. 117 : La modélisation du bâtiment par le logiciel EQUER (source : IZUBA).....	234
Fig. 118 : La saisie graphique des projets en 2D par le module ALCYONE (source : IZUBA).....	235
Fig. 119 : La saisie graphique des projets en 3D par le module ALCYONE (source : IZUBA).....	236
Fig. 120 : Corrélation entre le logiciel COMFIE et les modules qui lui sont associés (source : IZUBA).....	237
Fig. 121 :Structure de la suite logicielle Alcyone/Pléiades+Comfie/Equer (source : Thiers, 2008).....	238
Fig. 122 : Simulation des gaz à effet de serre de plus de 50 ans à partir de 1 kg de béton (source : (source : kellenberger, 2007)	239
Fig. 123 : Simulation des gaz à effet de serre de plus de 50 ans à partir d'une structure cubique simple source : (source : kellenberger, 2007)	239
Fig. 124 : La maison Suisse « FUTURA » considérée par l'étude (source : kellenberger, 2007)	240
Fig. 125 : Simulation du potentiel du réchauffement global de la maison « FUTURA » à partir de différents matériaux (source : kellenberger, 2007).....	240
Fig. 126 : Comparaison des charges de climatisation selon différents logiciels (Peuportier, 2005).....	241
Fig. 127 : Comparaison des besoins annuels de chauffage du bâtiment selon différents logiciels (Peuportier, 2005).....	242
Fig. 128 : Comparaison des besoins annuels de climatisation du bâtiment selon différents logiciels (Peuportier, 2005).....	242
Fig. 129 : Différentes variantes des maisons expérimentales de la plateforme INCAS (Peuportier, 2015).....	243
Fig. 130 : Comparaison des besoins de chauffage et les puissances maximales (Peuportier, 2015).....	243
Fig. 131 : Profil de température en été pour le RDC selon différents logiciels (Peuportier, 2015).....	244
Fig. 132 : Plan de situation de l'hôtel Es-Safir (source : Google earth).....	249
Fig. 133 : Plan de masse de l'hôtel Es-Safir (source : Google earth).....	249
Fig. 134 : Plan RDC	250
Fig. 135 : Plan du 1 ^{er} étage.....	250

Fig. 136: Plan du 2 ^{ème} étage.....	250
Fig. 137: Plan de l'étage courant.....	250
Fig. 138: Façades et environnement extérieur de l'hôtel Es-Safir.....	251
Fig. 139: Espaces intérieurs de l'hôtel.....	251
Fig. 140: Situation de l'hôtel « Les roses » (source : Google earth).....	252
Fig. 141: Plan de masse de l'hôtel « Les roses » (source : Google earth).....	252
Fig. 142: Plan de toiture de l'hôtel « Les roses ».....	253
Fig. 143: Plan du RDC de l'hôtel « Les roses »	253
Fig. 144: Plan du 1 ^{er} étage de l'hôtel « Les roses ».....	254
Fig. 145: Plan du 2 ^{ème} étage de l'hôtel « Les roses ».....	254
Fig. 146: Plan du 3 ^{ème} étage de l'hôtel « Les roses »	255
Fig. 147: Plan du 4 ^{ème} étage de l'hôtel « Les roses »	255
Fig. 148 : Façade et entrée principales de l'hôtel.....	256
Fig. 149 : Vue sur l'intérieur de l'hôtel.....	256
Fig. 150: Plan d'implantation de l'hôtel BBC (source : Google earth).....	257
Fig. 151 : Plan de masse de l'hôtel BBC (source : Google earth).....	257
Fig. 152 : L'idée conceptuelle qui s'émerge de la nature (a) et la réalisation concrète du projet (b) (source : Vincent, 2009).....	258
Fig. 153 : Coupe verticale de l'hôtel BBC (source : Vincent, 2009).....	258
Fig. 154 : Plan du RDC de l'hôtel BBC (source : Vincent, 2009).....	259
Fig. 155 : Plan de l'étage courant de l'hôtel BBC (source : Vincent, 2009).....	259
Fig. 156: Synoptique de la campagne de mesure et variabilité des aspects considérés par notre méthode	268
Fig. 157: Principales étapes d'investigations	269
Fig. 158: Relation entre le PPD et le PMV (source : Roulet, 2004).....	273
Fig. 159: Température opérative idéale en fonction de l'habillement et du métabolisme (d'après ISO1993)(source : Roulet, 2004).....	274
Fig. 160: Mesures comparatives de la température extérieure et intérieure au bâtiment traditionnel en saison hivernale	275
Fig. 161: Mesures comparatives de la température extérieure et intérieure au bâtiment traditionnel en saison estivale	275
Fig. 162: Mesures comparative de la température extérieure et intérieure au bâtiment standard en saison hivernale	276

Fig. 163 : Mesures comparative de la température extérieure et intérieure au bâtiment standard en saison estivale.....	276
Fig. 164: Mesures comparatives du % d'humidité relative extérieure et intérieure du bâtiment traditionnel en saison hivernale	278
Fig. 165: Mesures comparatives du % d'humidité relative extérieure et intérieure du bâtiment traditionnel en saison estivale	278
Fig. 166: Mesures comparatives du % d'humidité relative extérieure et intérieure du bâtiment standard en saison hivernale	279
Fig. 167: Mesures comparatives du % d'humidité relative extérieure et intérieure du bâtiment standard en saison estivale	279
Fig. 168: Évolution dans le temps du taux d'humidité du bâtiment à enveloppe traditionnel et du bâtiment à enveloppe standard.....	281
Fig. 169: Comparaison du comportement thermique du bâtiment à enveloppe traditionnelle et du bâtiment à enveloppe standard	282
Fig. 170: Variation de la température intérieure du bâtiment à enveloppe traditionnelle et du bâtiment à enveloppe standard	283
Fig. 171: Mesures de la vitesse de l'air intérieur au bâtiment traditionnel en saison hivernale	284
Fig. 172: Mesures de la vitesse de l'air intérieur au bâtiment traditionnel en saison estivale.....	284
Fig. 173: Mesures de la vitesse de l'air intérieur au bâtiment standard en saison hivernale...	285
Fig. 174: Mesures de la vitesse de l'air intérieur au bâtiment standard en saison estivale...	285
Fig. 175: Mesures de l'éclairement estérieur et itérieur du bâtiment traditionnel en saison hivernale	287
Fig. 176 : Mesures de l'éclairement estérieur et itérieur du bâtiment traditionnel en saison estivale.....	287
Fig. 177: Mesures de l'éclairement estérieur et itérieur du bâtiment standard en saison hivernale.....	288
Fig. 178: Mesures de l'éclairement estérieur et itérieur du bâtiment standard en saison estivale.....	288
Fig. 179: Mesure du niveau de bruit en saison hivernale.....	290
Fig. 180: Mesure du niveau de bruit en saison estivale	290
Fig. 181: Échelle d'appréciation de la vitesse de l'air à l'intérieur du bâtiment.....	291
Fig. 182: Le mode de représentation des référentiels	293
Fig. 183: Référentiel du confort (premier type)	294
Fig. 184: Référentiel du confort aéraulique	295

Fig. 185: Référentiel du confort visuel	295
Fig. 186: Référentiel du confort acoustique	296
Fig. 187: Résultats d'enquête sur les items du confort aéraulique	296
Fig. 188: Résultats d'enquête sur les items du confort visuel	297
Fig. 189: Résultats de l'enquête sur les items du confort acoustique	297
Fig. 190: Résultats de l'enquête sur la qualité du confort thermique (insatisfaction des usagers à l'échelle de Fanger PPD) en saison estivale (a) et en saison hivernale (b)	298
Fig. 191: Synthèse des résultats d'enquête de satisfaction sur la qualité du confort	300
Fig. 192: Résultats de l'enquête sur les items de la qualité de l'environnement extérieur...	300
Fig. 193: Zonage thermique de l'étage courant du bâtiment traditionnel via ALCYONE...	307
Fig. 194 : Zonage thermique du plan de l'étage courant du bâtiment standard via ALCYONE.....	308
Fig. 195: Zonage thermique de l'étage courant du BBC via ALCYONE	308
Fig. 196 : Modélisation en 3D des trois bâtiments (a) et zonage thermique attribué (b) via le logiciel ALCYONE	310
Fig. 197 : Besoins annuels de chauffage pour les trois variantes	311
Fig. 198 : Étude comparative de l'évolution de la température extérieure et de la température intérieure de différentes zones du bâtiment traditionnel (a) et du bâtiment standard (b) durant la semaine la plus chaude	311
Fig. 199 : Étude comparative de l'évolution de la température extérieure et de la température intérieure de différentes zones du bâtiment traditionnel (a) et du bâtiment standard (b) durant la semaine la plus froide	312
Fig. 200 : Étude comparative de l'évolution de la température extérieure et de la température intérieure de différentes zones du BBC durant la semaine la plus chaude (a) et la semaine la plus froide (b)	312
Fig. 201: Diagramme de Brager pour des chambres orientées vers le sud du bâtiment traditionnel.....	314
Fig. 202: Diagramme de Brager pour des chambres orientées vers le sud du bâtiment standard	314
Fig. 203 : Diagramme de Brager pour des chambres orientées vers le sud du BBC	314
Fig. 204 : ACV comparative des trois variantes (valeur d'impact/occupant/m ²)	319
Fig. 205 : ACV comparative des trois variantes (valeur d'impact)	320
Fig. 206: Influence de l'enveloppe sur les besoins de chauffage annuels	322
Fig. 207 : Influence de l'enveloppe sur l'évolution de la température intérieure du bâtiment traditionnel (a) et du bâtiment standard (b) durant la semaine la plus chaude	323

Fig. 208 : Influence de l'enveloppe sur l'évolution de la température intérieure du bâtiment traditionnel (a) et du bâtiment standard (b) durant la semaine la plus froide	323
Fig. 209 : ACV comparative illustrant l'influence de l'enveloppe sur la génération des impacts (valeur d'impact/occupant/m ²)	324
Fig. 210 : ACV comparative illustrant l'influence de l'enveloppe sur la génération des impacts (valeur d'impact)	324
Fig. 211 : Influence des scénarios sur les besoins de chauffage annuels	325
Fig. 212 : Influence des scénarios sur l'évolution de la température intérieure du bâtiment traditionnel (a) et du bâtiment standard (b) durant la semaine la plus chaude	325
Fig. 213 : Influence des scénarios sur l'évolution de la température intérieure du bâtiment traditionnel (c) et du bâtiment standard (d) durant la semaine la plus froide	326
Fig. 214 : ACV comparative montrant l'influence des scénarios sur la génération des impacts (valeur d'impact/occupant/m ²)	326
Fig. 215 : ACV comparative montrant l'influence des scénarios sur la génération des impacts (valeur d'impact)	327
Fig. 216 : Influence des données climatiques sur les besoins de chauffage annuels	327
Fig. 217 : Influence du climat sur l'évolution de la température intérieure du bâtiment traditionnel (a) et du bâtiment standard (b) durant la semaine la plus chaude	328
Fig. 218 : Influence du climat sur l'évolution de la température intérieure du bâtiment traditionnel (c) et du bâtiment standard (d) durant la semaine la plus froide	328
Fig. 219 : ACV comparative montrant l'influence du climat sur la génération des impacts (valeur d'impact/occupant/m ²)	329
Fig. 220 : ACV comparative montrant l'influence du climat sur la génération des impacts (valeur d'impact)	329
Fig. 221 : Influence de la surface et de la forme du bâtiment sur les besoins de chauffage annuel	330
Fig. 222 : Influence la surface et de la forme du bâtiment sur l'évolution de la température intérieure du bâtiment traditionnel (a) et du bâtiment standard (b) durant la semaine la plus chaude	330
Fig. 223 : Influence la surface et de la forme du bâtiment sur l'évolution de la température intérieure du bâtiment traditionnel (c) et du bâtiment standard (d) durant la semaine la plus chaude	331
Fig. 224 : ACV comparative montrant l'influence de la surface et de la forme du bâtiment sur la génération des impacts (valeur d'impact/occupant/m ²)	331
Fig. 225 : ACV comparative montrant l'influence de la surface et de la forme du bâtiment sur la génération des impacts (valeur d'impact)	332
Fig. 226 : Comparaison des besoins de chauffage	337

Fig. 227 : Simulation thermique comparative de la température intérieure et extérieure du BFI traditionnel (a) et du bâtiment traditionnel (b) durant la semaine la plus chaude	338
Fig. 228 : Simulation thermique comparative de la température intérieure et extérieure du BFI traditionnel (a) et du bâtiment traditionnel (b) durant la semaine la plus froide	338
Fig. 229 : Simulation thermique comparative de la température intérieure et extérieure du BFI standard (a) et du bâtiment standard (b) durant la semaine la plus chaude	339
Fig. 230 : Simulation thermique comparative de la température intérieure et extérieure du BFI standard (a) et du bâtiment standard (b) durant la semaine la plus froide	339
Fig. 231 : Comparaison du diagramme de Brager pour le BFI traditionnel (a) et le bâtiment traditionnel (b) durant l'année	340
Fig. 232 : Comparaison du diagramme de Brager pour le BFI standard (a) et le bâtiment standard (b) durant l'année	340
Fig. 233 : ACV comparative du BFI traditionnel /bâtiment traditionnel (a) et BFI standard/bâtiment standard (b)	341
Fig. 234 : ACV comparative du BFI traditionnel /bâtiment traditionnel (a) et BFI standard/bâtiment standard (b)	342
Fig. 235 : Comparaison des variantes pour les indicateurs du thème « Ressources ».....	350
Fig. 236 : Comparaison des variantes pour les indicateurs du thème « Environnement »...	351
Fig. 237 : Comparaison des variantes pour les indicateurs du thème « Confort » pour le confort d'été (a) et le confort d'hiver (b)	352
Fig. 238 : Comparaison des variantes pour l'ensemble des indicateurs avec le confort d'été (a) et avec le confort d'hiver (b)	353
Fig. 239 :Comparaison des différentes sous variantes du bâtiment traditionnel pour les indicateurs du thème « Ressources ».....	355
Fig. 240 : Comparaison des différentes sous variantes du bâtiment standard pour les indicateurs du thème « Ressources ».....	355
Fig. 241 :Comparaison des différentes sous variantes du bâtiment traditionnel pour les indicateurs du thème « Environnement ».....	356
Fig. 242 : Comparaison des différentes sous variantes du bâtiment standard pour les indicateurs du thème « Environnement ».....	357
Fig. 243 : Comparaison entre la température mesurée et la température simulée du bâtiment à enveloppe traditionnelle en saison estivale	358
Fig. 244 : Comparaison entre la température mesurée et la température simulée du bâtiment à enveloppe traditionnelle en saison hivernale	358
Fig. 245 : Comparaison entre la température mesurée et la température simulée du bâtiment à enveloppe standard en saison estivale	359
Fig. 246 : Comparaison entre la température mesurée et la température simulée du bâtiment à enveloppe standard en saison hivernale	359

Fig. 247: Référentiel des mesures par type de confort	360
Fig. 248 : Comparaison des résultats d'enquête et de mesures de hôtel Es-Safir- bâtiment à enveloppe traditionnelle via un graphique polaire de synthèse en saison estivale (a) et en saison hivernale (b)	361
Fig.249: Comparaison des résultats d'enquête et de mesures hôtel Les Roses- bâtiment à enveloppe standard via un graphique polaire de synthèse en saison estivale (a) et en saison hivernale (b).....	362
Fig. 250 : Diagramme de Givoni des bâtiments sous effet d'un climat méditerranéen littoral.....	365
Fig. 251 : Diagramme de Givoni des bâtiments sous effet d'un climat méditerranéen intérieur.....	365
Fig. 252 : Diagramme de Givoni des bâtiments sous effet d'un climat semi continental ...	366

LISTE DES TABLEAUX

Tab. 1: Exemples de pollutions de l'environnement par des substances à différentes échelles (locale, régionale et globale) (source : Bliefert ; Perraud, 2004).....	28
Tab. 2 : Fonctions diverses selon la qualité environnementale du bâtiment touristique.....	32
Tab. 3 : Les enjeux environnementaux liés au bâtiment touristique ; effets, sources et usages (source : inspiré du modèle de Mandallena, 2006).....	33
Tab. 4: La réserve en eau de la terre- au total 1409.10^6 km^3 source : (source : Bliefert et Perraud, 2004).....	48
Tab. 5: Quelques substances et groupes de substances avec un potentiel de dangerosité éprouvé pour le sol (source : Bliefert et Perraud, 2004).....	52
Tab. 6: Teneur en métaux lourds dans les sols de différentes régions (source : Bliefert ; Perraud, 2004).....	53
Tab. 7 : Persistance de différents types de déchets (source : Peuportier, 2003).....	55
Tab. 8 : Actions des usagers principaux sur le bâtiment touristique et flux générés.....	67
Tab. 9 : Les aboutissants d'une opération d'évaluation environnementale en fonction du moment d'intervention.....	68
Tab. 10 : Les aboutissants d'une opération d'évaluation environnementale en fonction de la nature de l'intervenant.....	69
Tab. 11 : Les aboutissants d'une opération d'évaluation environnementale en fonction de la nature du destinataire	69
Tab. 12: Typologie de liste des méthodes de contrôle (source : André et al. 2003).....	70
Tab. 13 : Typologie des matrices (source : Cherqui, 2005).....	71
Tab. 14 : Les différentes problématiques de l'aide multicritères (source : Roy ; Bouyssou 1993).....	74
Tab.15 : Usage des différentes méthodes d'évaluation	75
Tab. 16 : Quelques critères pour le choix d'une méthode d'évaluation	76
Tab. 17 : Champs d'application de l'outil BREEAM dans le bâtiment (source : Abdelghani-Idrissi et al, 2004).....	78
Tab.18 : Les catégories d'évaluation de la méthode BREEAM (source : (source : Abdelghani-Idrissi et al, 2004).....	78
Tab.19 : Cibles correspondant aux différentes catégories d'impacts (source : Hetzel, 2003).....	82
Tab.20: Rôles et spécificités des différents outils de CASBEE (source : Abdelghani-Idrissi et al, 2004).....	87
Tab. 21 : Synthèse des outils d'évaluation des impacts environnementaux engendrés par les bâtiments (source : Mandallena, 2006)	88
Tab. 22: Applications des outils environnementaux selon la typologie du bâtiment (source : Foliente et al, 2004 ; Abdelghani-Idrissi et al, 2004).....	89

Tab. 23 : Applications des outils environnementaux selon les étapes de réalisation du bâtiment (source : Foliente et al, 2004 ; Abdelghani-Idrissi et al, 2004).....	89
Tab. 24: Applications des outils environnementaux selon la catégorie de performance environnementale : l'énergie (source : Foliente et al, 2004 ; Abdelghani-Idrissi et al, 2004).....	90
Tab. 25 : Applications des outils environnementaux selon la catégorie de performance environnementale : les matériaux (source : Foliente et al, 2004 ; Abdelghani-Idrissi et al, 2004).....	90
Tab. 26: Applications des outils environnementaux selon la catégorie de performance environnementale : la santé (source : Foliente et al, 2004 ; Abdelghani-Idrissi et al, 2004).....	90
Tab. 27 : Applications des outils environnementaux selon la catégorie de performance environnementale : l'environnement (source : Foliente et al, 2004 ; Abdelghani-Idrissi et al, 2004).....	91
Tab. 28: Résultats de l'ACV de la maison (source :Peuportier, 2000).....	97
Tab. 29: Spécificités des deux bâtiments tertiaires (source :Peuportier, 2000).....	98
Tab. 30 : Besoins de chauffage et de climatisation des deux bâtiments tertiaires (source :Peuportier, 2000).....	99
Tab. 31: Récapitulation des données inhérentes à la maison standard actuelle (source : Peuportier ; Polster, 2004).....	102
Tab. 32 : Caractéristiques thermiques des variantes comparées (source : Trocmé ; Peuportier, 2008).....	108
Tab. 33 : Données de l'analyse de cycle de vie des bâtiments (source : Trocmé et Peuportier, 2008).....	109
Tab. 34: Spécificités des deux variantes des espaces publics (source : Trocmé et Peuportier, 2008).....	109
Tab. 35 : Émissions des gaz à effet de serre des bâtiments et espaces publics (source : Trocmé et Peuportier, 2008).....	110
Tab. 36: Résultat des calculs effectués par EQUER sur le bâtiment 17 (alternative de juillet) (source : Cherqui, 2005).....	113
Tab. 37 : Historique de l'utilisation des ACV (source : Gauthier et al, 2005).....	122
Tab. 38 : Exemple de critères et effets de certains produits sur l'environnement (source :Bliefert et Perraud, 2004).....	126
Tab.39 : Influence du bâtiment sur différentes données sitologiques, climatiques et environnementales	142
Tab. 40 : Conséquences spatiales vis-à-vis des besoins des usagers d'un bâtiment touristique	145
Tab. 41: Critères auxquels devraient répondre les indicateurs environnementaux (source : Rump, 1996).....	153

Tab.42 : Critères d'évaluation des méthodes utilisées dans l'agrégation des impacts environnementaux (source : Titeca, 2002a).....	158
Tab. 43 : Méthodes de pondération des indicateurs utilisées dans une approche multicritères (source : Cherqui, 2005).....	158
Tab. 44 : Catégories d'impact prises en compte dans une ACV (source : RECORD, 2005).....	160
Tab. 45 : Causes, polluants et effets potentiels des impacts présentés par les indicateurs retenus par notre méthode	170
Tab. 46 : Comparaison des méthodes appartenant à l'approche du critère unique de synthèse.....	183
Tab. 47 : Échelle d'importance entre indicateurs (source : Saaty, 1977).....	185
Tab. 48 : Indice de cohérence moyen (source : Hammami, 2003).....	186
Tab. 49 : Ressources abiotiques épuisables et leurs réserves (source : Peuportier 2003)...	194
Tab. 50 : Équivalence entre énergie consommée et énergie primaire (source : Peuportier, 2003).....	196
Tab. 51 : Potentiels de réchauffement global des substances impliquées dans l'effet de serre (source : Peuportier, 2003).....	198
Tab. 52 : Potentiel d'acidification des différentes substances (source : Peuportier, 2003)...	199
Tab. 53 : Potentiels d'eutrophisation (source : Peuportier, 2003).....	200
Tab. 54 : Valeurs d'indices des substances impliquées dans le smog d'été (source :Peuportier ; Polster, 2004).....	201
Tab. 55 : Valeurs de substances responsables de la toxicité dans le milieu aquatique (source : Peuportier, 2003).....	202
Tab. 56 : Valeurs des indices de certaines substances responsables de la toxicité humaine (source :Peuportier et Polster, 2004).....	204
Tab. 57 : Valeurs d'indices des substances impliquées dans la génération des odeurs (source :Peuportier et Polster, 2004).....	205
Tab. 58 : Facteurs d'équivalence par types de déchets (source : Peuportier, 2003).....	207
Tab.59 : Températures recommandées dans les principaux espaces d'un hôtel (source :Energie+, 2006).....	211
Tab. 60 : Échelle proposée pour l'attribution d'une note aux paramètres du confort hygrothermique	212
Tab. 61 : L'isolement acoustique pondéré de différentes pièces dans un hôtel (source : JO, 2003).....	214
Tab. 62 : Echelle proposée pour l'attribution d'une note à l'isolement acoustique	214
Tab. 63 : Le niveau sonore en db(A) des principaux espaces d'un hôtel (source : Energie+, 2006).....	215
Tab. 64 : L'échelle des notes du niveau sonore (Energie+, 2006).....	215

Tab. 65: Éclairage recommandé dans les différents espaces d'un bâtiment hôtelier (source : LUX, 2004).....	217
Tab. 66: Échelle proposée au FLJ et éclairage dans les espaces d'un hôtel	217
Tab. 67: Exemple de valeurs fictives d'indicateurs environnementaux	218
Tab. 68 : Exemple de valeurs fictives des variantes par thèmes	219
Tab. 69 : Caractéristiques principales des hôtels retenus	262
Tab. 70 : Échantillon de fiche de mesure	266
Tab. 71: Type d'entretien à privilégier en fonction du but recherché (source : Ghiglione et Matalon, 1998).....	270
Tab. 72 : Principales thématiques abordées dans l'enquête de satisfaction et leurs référence aux cibles de la HQE	272
Tab. 73: L'échelle de confort thermique de Fanger (source : Fanger, 1982).....	273
Tab. 74: Transposition des résultats d'enquête sur le référentiel général	301
Tab. 75: Transposition des résultats d'enquête sur les référentiels spécifiques aux différents types de confort	301
Tab.76 : Caractéristiques générales des variantes comparées et scénarios retenus	305
Tab.77 : Principales caractéristiques techniques des variantes comparées	306
Tab.78 : Valeurs des impacts du thème « Ressources » calculés par EQUER pour le bâtiment traditionnel.....	316
Tab.79: Valeurs des impacts du thème « Ressources » calculés par EQUER pour le bâtiment standard.....	316
Tab.80: Valeurs des impacts du thème « Ressources » calculés par EQUER pour le BBC..	316
Tab. 81 : Valeurs des impacts du thème « Environnement » calculés par EQUER pour le bâtiment traditionnel	317
Tab.82: Valeurs des impacts du thème « Environnement » calculés par EQUER pour le bâtiment standard	318
Tab.83: Valeurs des impacts du thème « Environnement » calculés par EQUER pour le BBC.....	318
Tab. 84 : Valeurs de référence proposées des indicateurs retenus pour le BBC	344
Tab. 85 : Valeurs de références des indicateurs de la qualité du confort proposées pour le BBC.....	345
Tab. 86: Valeurs de référence proposées des indicateurs retenus pour le bâtiment traditionnel	346
Tab. 87 : Valeurs de références des indicateurs de la qualité du confort proposées pour le bâtiment traditionnel	347
Tab. 88 : Valeurs de référence proposées des indicateurs retenus pour le bâtiment standard.....	347

Tab. 89 : Valeurs de références des indicateurs de la qualité du confort proposées pour le bâtiment standard	348
Tab.90 : valeurs des indicateurs associés aux thèmes de nos trois variantes	349
Tab.91 : Valeurs des indicateurs associés aux thèmes de nos huit sous variantes	354
Tab.92 : Synthèse comparative des résultats obtenus (hôtel Es-Safir)	361
Tab.93 : Synthèse comparative des résultats obtenus (hôtel Les Roses).....	362

LISTE DES EQUATIONS

Equation.1 : Formule basique de calcul des valeurs de référence des indicateurs d'épuisement des ressources, de consommation de l'énergie et de la consommation de l'eau.....	189
Equation.2 :Formule basique de calcul des valeurs de référence des indicateurs d'acidification, d'eutrophisation, d'écotoxicité et de déchets inertes.....	189
Equation.3 :Formule basique de calcul des valeurs de référence des indicateurs de toxicité humaine, du smog, des odeurs, de l'effet de serre et des déchets radioactifs.....	189
Equation.4 : Formule basique de calcul des indicateurs normalisés d'épuisement des ressources, de la consommation de l'énergie et de la consommation de l'eau.....	190
Equation.5 :Formule basique de calcul des indicateurs normalisés d'acidification, d'eutrophisation, d'écotoxicité et des déchets inertes.....	190
Equation.6 : Formule basique de calcul des indicateurs normalisés de la toxicité humaine, du smog, des odeurs, de l'effet de serre et des déchets radioactifs.....	190
Equation.7 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé de consommation des ressources abiotiques épuisables (1 ^{ère} possibilité).	194
Equation.8 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé de consommation des ressources abiotiques épuisables (2 ^{ème} possibilité).....	195
Equation.9 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé de consommation des ressources abiotiques épuisables (3 ^{ème} possibilité).....	195
Equation.10 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé de consommation énergétique primaire.....	196
Equation.11 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé de consommation d'eau.....	197
Equation.12 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé d'émission de gaz à effet de serre... ..	198
Equation.13 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé d'émission de substances entraînant des pluies acides.....	199
Equation.14 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé d'émission de substances conduisant à une eutrophisation excessive	200
Equation.15 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé d'émission de substances de smog d'été.....	201
Equation.16 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé d'impact des émissions de polluants toxiques dans le milieu aquatique.....	203
Equation.17 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé d'impact des émissions de polluants toxiques dans le milieu terrestre.....	203
Equation.18 : Formule de calcul de l'indicateur d'émission de substances toxiques.....	205

Equation.19 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé d'émission de substances impliquées dans la génération des odeurs.....	206
Equation.20 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé de production des déchets inertes ultime.	207
Equation.21 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé de production de déchets radioactifs.....	208
Equation.22 : Formule de calcul de la valeur de référence de l'indicateur du confort hygrothermique.....	210
Equation.23 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé du confort hygrothermique.....	210
Equation.24 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé du confort acoustique (1 ^{ère} possibilité).....	213
Equation.25 : Formule de calcul de la valeur de référence de l'indicateur du confort acoustique (1 ^{ère} possibilité).....	213
Equation.26 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé du confort acoustique (2 ^{ème} possibilité).....	215
Equation.27 : Formule de calcul de la valeur de référence de l'indicateur du confort acoustique (2 ^{ème} possibilité).....	215
Equation.28 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé du confort visuel.....	216
Equation.29 : Formule de calcul de la valeur de référence de l'indicateur du confort visuel.....	217

LISTE DES ABREVIATIONS

ACI : Indice de cohérence moyen

ACV : Analyse du Cycle de Vie

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Énergie

ADEQUA : Aménagement Durable à l'Échelle du Quartier

APRUE : Agence nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie

AEE : Agence Européenne de l'Environnement

AFIT : Agence Française de l'Ingénierie Touristique

AHP : : Analytic Hierarchy Process

AICVF : Association des Ingénieurs en Climatique, Ventilation et Froid

ARPE : Agence Régionale Pour l'Environnement

ASTM: Standart Test Metod for détermination of Air

ATEQUE : ATelier d'évaluation de la QUalité Environnementale des bâtiments

ATHENA: Athena Environmental Impact Estimator

BBC : Bâtiment à Basse Consommation

BEES: Builing Environmental and Economic Sustainability

BFI: Bâtiment à Faible Impact

BREEAM: Building Research Establishment Environmental Assesment Method

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

BS : Bâtiment Standard

BT : Bâtiment Traditionnel

CASBEE: Comprehensive Assessment Sustainable Building Environmental Efficiency

CESI : Chauffe-Eau Solaire Individuel

CDD : Commission du Développement Durable

CFC : Chlorofluorocarbures

CMED Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement

CNUED : Conférence des Nation Unies sur l'Environnement et le Développement

COP : Coefficient de Performance

COP (avec année) : Conference of Parties (conférences des parties)

COVNM : Composés Organiques Volatiles Non Méthanique

CSTB Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

CTA : Centrale de Traitement d'Air

CVCA : Chauffage, Ventilation et Climatisation de l'Air

DCE : Dossier de Consultation des Entreprises

DEPE : Directive Européenne de Performance Énergétique
DRAM: Dynamic Random Access Memory
DPSIR : Drives forces Pressure State Impact Response
ECS : Eau Chaude Sanitaire
EDF : Électricité De France
EDIP: Environmental Design of Industrial Products
EEB : Efficacité Environnementale du Bâtiment
EER : Energy Efficiency Ratio
EIA : Étude d'Impacts des Activités
EIE : Étude d'Impact sur l'Environnement
FA : Faible Activité
FLJ : Facteur de Lumière de Jour
FPEIR Forces motrices Pression État Impact Réponse
GBC: Green Building Challenge
GB Tool: Green Building Tool
GES : Gaz à Effet de Serre
GHB: Protocole GreenHouse Building
GIEC : Groupe Intergouvernementale sur l'Évolution du Climat
GWP: Global Warming Potential
HA: Haute Activité
HCA: Human toxicological Classification factor for the Air
HCS: Human toxicological Classification factor for the Soil
HCW Human toxicological Classification factor for Water
HQE : Haute Qualité Environnementale
HCFC : Hydro-Chloro-Fluorocarbures
IC : Indice de cohérence
IFEN : Institut Français de l'Environnement
INERIS : Institut d'Évaluation des Risques Industriels
INESTENE : Institut d'évaluations des stratégies énergétiques Européennes
INSEE : Institut National de la Statistique et des Études Économiques
ISO : International Organization for Standardization
LCI: Life Cycle Inventory
LEED: Leadership in Energy and Environmental Design
LISA : Life Cycle Analysis In Sustainable Architecture

MA: Moyenne Activité

MATE : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

MAUT : Multiple Attribute Utility Theory

MAVT : Multiple Attribute Value Theory

MCP : Matériaux à Changement de Phase

MES : Matières En Suspension

MI : matières inhibitrices

MO : Matières Organiques

MPOC : Maladie Pulmonaire Obstructive Chronique

NABERS: National Australian Building Environmental Rating System

NRC : Nuclear Regulatory Commission

OCDE : Organisation pour la Coopération et le Développement Économique

OMT : Organisation Mondiale du Tourisme

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PAPOOSE : Programmation et Analyse de Projets d'Ouvrage et d'Opération Soucieux de l'Environnement

PAC : Pompe A Chaleur

PAO : Potentiel d'Appauvrissement de l'Ozone

PH : Potentiel Hydrogène

PIB : Produit Intérieur Brut

PMV : Predicted Mean Vote

PNUE : Programme des Nations Unis pour l'Environnement

PPD : Predicted Percentage Dissatisfied

PRESCO : Practical Recommendations for Sustainable Construction

PS: Particule en Suspension

PSD : Plancher Solaire Direct

PSR : Pressure State Response

PUCA ;Plan Urbanisme Construction Architecture

REPAs : Resource and Environmental Profiles Analyses

RECORD : REseau COopératif de Recherche sur les Déchets.

RSE : Responsabilité Sociétale des Entreprises

RS : ratio de cohérence

SEEDA: South East England Development Agency

SETAC: Society of Environmental Toxicology and Chemistry

SHON : Surface Hors Œuvre Nette

SIG: Système d'Information Géographique
SMART : Simple Multi-Attribute Rating Technique
SSC : Système Solaire Combiné
TFA : Très Faible Activités
TIM : Transparent Isolant Material
TOPSIS: Technique for Order by Similarity to Ideal Solution
UICN : Union Internationale de la Conservation de la Nature
US-EPA : US Environmental Protection Agency
UTA : Utility Theory Additive
VMC : Ventilation Mécanique Contrôlée
WCED: World Commission on Environment and Development

LISTE DES INDICATEURS

Iacidification : indicateur normalisé d'émission de substances entraînant des pluies acides

Iconfort acoustique : indicateur normalisé de confort acoustique

Iconfort hygrothermique : indicateur normalisé de confort hygrothermique

Iconfort visuel : indicateur normalisé de confort visuel

Idéchets inertes : indicateur normalisé de production des déchets inertes ultime

Idéchets radioactifs : indicateur normalisé de production de déchets radioactifs

Ieau : indicateur normalisé de consommation d'eau

Iécotoxicité _A : indicateur normalisé d'impact des émissions de polluants toxiques dans le milieu aquatique

Iécotoxicité _T : indicateur normalisé d'impact des émissions de polluants toxiques dans le milieu terrestre

Ieffet de serre : indicateur normalisé d'émission de gaz à effet de serre

Iénergie : indicateur normalisé de consommation énergétique primaire

Iépuis ressources : indicateur normalisé de consommation des ressources abiotiques épuisables

Ieutrophisation : indicateur normalisé d'émission de substances conduisant à une eutrophisation excessive

Iodeurs : indicateur normalisé d'émission de substances impliquées dans la génération des odeurs

Ismog d'été : indicateur normalisé d'émission de substances de smog d'été

ITH : indicateur normalisé d'émission de substances toxiques

LISTE DE LA NOMENCLATURE

I. Nomenclature avec unité

AP : potentiel d'acidification (kg.eqSO₂/kg de substance)

C_{totale eau} : la consommation totale en eau pour le cycle de vie du bâtiment et dont l'unité est (m³)

C_{énergie consommée} la consommation totale d'énergie consommée (i) tout au long du cycle de vie du bâtiment (kwh)

E_{air}_{subs j} : émission dans l'air de la substance j (kg)

ECA_{substances j} : facteur de classification d'écotoxicité dans le milieu aquatique exprimé en m³ d'eau.

ECT_{substances j} : facteur de classification d'écotoxicité dans le milieu terrestre exprimé en kg de sol pollué.

E_{eau}_{subs j} : émission dans l'eau de la substance j (kg)

Em_{substances A j} : l'émission de la substance j contribuant à l'écotoxicité du milieu aquatique, exprimé en kg

Em_{substances j} : l'émission de la substance j conduisant à une eutrophisation, exprimé en kg

Em_{substances j} : l'émission de la substance j entraînant des pluies acides, exprimé en kg

Em_{substances T j} : l'émission de la substance j contribuant dans l'écotoxicité du milieu terrestre, exprimé en kg

E_{sol}_{subst j} : émission dans le sol de la substance j (kg)

FE_{déchet j} : facteur d'équivalence du type de déchet j (dernière colonne), exprimé en kg.eq/kg de déchet.

GWP_{100 substance j} : potentiel de réchauffement global de la substance j sur une échelle de 100ans (Global Warning Potential), exprimé en kg.eqCO₂/kg de substance émise

HCA : Facteur de toxicologie humaine dans l'air [(kg de chair contaminée)/(kg de substance)]

HCS : Facteur de toxicologie humaine dans le sol [(kg de chair contaminée)/(kg de substance)]

HCW : Facteur de toxicologie humaine dans l'eau [(kg de chair contaminée)/(kg de substance)]

l/p/j : litre/personne/jour

NP_{substances j} : le potentiel d'eutrophisation de la substance j (kg.eqPO_{4,3}-/kg de substance émise)

N_{usagers} est le nombre d'usagers du bâtiment (personnes)

OTV : valeur d'indice de la substance j exprimée en kg/m³ d'air malodorant.

PCI : le pouvoir calorifique inférieur (MJ/Unité)

PCS : le pouvoir calorifique supérieur (MJ/Unité)

P_{étude} est la période d'étude choisie (années)

P_{déchet j} : le poids du déchet j exprimé en kg.

PS_{substance j} : le potentiel de smog de la substance j exprimé en kg.eqC₂H₄/kg de substance émise

Sp : surface de la pièce (m²)

S_{SHON} est la surface estimée du SHON du bâtiment (m²)

U cadre : coefficient de transmission thermique du cadre seul exprimé en W/(m².K)

V_j : le volume du déchet radioactif j exprimé en dm³

II. Nomenclature sans unité

CI_{rareté} : est le coefficient correspondant à l'indice de rareté des ressources

ICSD : index de développement durable composite

N_{DnT,A} : note attribuée à l'isolement acoustique

N_{DnT,AI} : note attribuée à la valeur idéale à atteindre pour l'isolement acoustique

N_{éclairage A} : la note attribuée à l'éclairage artificiel

N_{éclairage A I} : note attribuée à la valeur idéale de l'éclairage artificiel

N_{éclairage N} : la note attribuée à l'éclairage naturel

N_{éclairage N I} : note attribuée à la valeur idéale de l'éclairage naturel

N_{Hr} : note attribuée à l'humidité relative

N_{Hr I} : note attribuée à la valeur idéale de l'humidité de l'air

N_{Tair} : note attribuée à la température de l'air

N_{Tair I} : note attribuée à la valeur idéale de la température de l'air

N_{Vair} : note attribuée à la vitesse de l'air

N_{Vair I} : note attribuée à la valeur idéale de la vitesse de l'air

P_{IR} : production des déchets de la référence

V_R : valeur de référence

LISTE DES ANNEXES

Annexe.1 : Types de critères dans une méthodologie multicritère d'aide à la décision

Annexe.2 : Emplacement des points de mesure

Annexe.3 : Description des appareils de mesure

Annexe 4 : Durée, fréquence et date par type de mesure

Annexe 5 : Questionnaire d'enquête

Annexe 6 : Equation de Fanger

Annexe 7 : Stations météorologiques

Annexe 8 : Résultats des impacts environnementaux

INTRODUCTION GENERALE

Les générations futures risquent fort de se poser la question : « à quoi pensaient nos parents ? Pourquoi ne se sont-ils pas réveillés lorsqu'il était encore temps ? » Cette question nous devons l'entendre dès à présent.

Al Gore, « An Inconvenient Truth »

PREFACE

L'aliénation entre l'homme et son environnement a fait subir à ce dernier une altération conséquente dont les retombées font passer à l'arrière-plan les questions qui nous semblent aujourd'hui brûlantes, ces dommages se sont amplifiés davantage et acquièrent une dimension planétaire, leur gravité se multiplie au prorata de la macrocéphalie humaine, de l'essor technologique et de l'industrialisation du bâtiment. Hélas, il fallait s'y attendre, en effet de nombreuses pensées, exprimées depuis un considérable laps de temps, attestaient la relation tumultueuse de l'homme avec son environnement et qui a abouti à ce divorce, telle que celle relatée par un sage indien "*Les Blancs se moquent de la terre, du daim ou de l'ours. Lorsque nous, Indiens, cherchons les racines, nous faisons de petits trous. Lorsque nous édifions nos tipis, nous faisons de petits trous. Nous n'utilisons que le bois mort. L'homme blanc, lui, retourne le sol, abat les arbres, détruit tout. L'arbre dit « Arrête, je suis blessé, ne me fais pas mal ». Mais il l'abat et le débite. L'esprit de la terre le hait. Il arrache les arbres et les ébranle jusqu'à leurs racines. Il scie les arbres. Cela leur fait mal. Les Indiens ne font jamais de mal, alors que l'homme blanc démolit tout. Il fait exploser les rochers et les laisse épars sur le sol. La roche dit « Arrête, tu me fais mal ». Mais l'homme blanc n'y fait pas attention. Quand les Indiens utilisent les pierres, ils les prennent petites et rondes pour y faire leur feu... Comment l'esprit de la terre pourrait-il aimer l'homme blanc ?... Partout où il la touche, il y laisse une plaie.*" Vieille sage Wintu (Indiens de Californie)

Ce présent travail vise à offrir non pas une panacée utopique aux dommages constatés et les ressources englouties durant les 60 dernières années, mais un moyen susceptible d'alléger l'intensité de cette décrépitude environnementale à travers une méthode permettant d'évaluer les impacts environnementaux générés par le bâtiment dans le but de les réduire, une méthode qui nous offre le pouvoir d'anticiper pour mieux décider, de comprendre pour mieux agir et d'agir pour mieux protéger. Comprendre en quoi le bâtiment influence l'environnement est notre champ d'investigation, car nous ne sommes pas contents uniquement d'élaborer cette méthode, mais également nous nous sommes évertués de montrer où faudrait-il intervenir pour mieux agir à travers plusieurs séries de simulations sur différents composants décortiqués du bâtiment.

Renouer l'homme avec son environnement et assurer une frugalité comportementale vis-à-vis de ce dernier est donc l'ambition de ce travail à travers une approche analytique et rigoureuse basée sur des calculs et des formules mais qui se soldent par un socle synthétique mettant en avant les colonnes de base sur lesquelles sera basée une volonté d'une réflexion purement écologique.

PROBLEMATIQUE

La macrocéphalie humaine que connaît le monde d'aujourd'hui a conduit à d'innombrables répercussions sur l'environnement provoquant son ataxie; cela a pour corollaire un cataclysme naturel qui s'accompagne d'une multitude de retombées négatives transversales, mais également et surtout d'une vague de conscience qui confronte les périls environnementaux redoutés. Cela concerne une panoplie d'activités transdisciplinaires notamment touristiques dont la facette environnementale qui s'y resurgit, à l'origine globale et d'essence planétaire, se réduit peu à peu pour atteindre l'échelle du bâtiment qui présente une déliquescence accrue vis-à-vis de l'environnement en le dénudant de son aspect écologique et de ses ressources qui certainement ne suffisent plus aux sept milliard quatre cent millions d'êtres humains¹ vivant sur cette planète.

En Algérie, le secteur du bâtiment est le secteur le plus énergivore, avec une consommation dépassant 41% de la consommation énergétique finale nationale, il représente, en outre, plus de 16% des émissions de CO₂ avec une valeur de 6312 TeqCO₂, contribuant ainsi à l'effet de serre et au réchauffement planétaire, ce qui le place en troisième rang après les industries énergétiques et le transport (Denker et al, 2015). Cette spirale étourdissante va s'accroître de manière encore plus criarde d'ici 2020 d'après les statistiques, qui prévoient une concentration de 82% de la population algérienne dans les villes (APRUE), ce qui va augmenter davantage le niveau d'urbanisation en provoquant une lourde pression sur l'environnement. Ce dernier qui fournit le support et le prétexte au tourisme durable, et par conséquent à ses bâtiments, subit à l'inverse, les effets et les impacts de ces derniers, engendrant des catastrophes dont l'invisibilité et l'imprévisibilité nourrissent une problématique des plus récente et des plus pressante, et positionnent dans une large mesure, le bâtiment touristique dans une double réflexion liée à la fois à la pérennité environnementale et la durabilité touristique.

À partir de ce constat et de l'ensemble de ces réflexions, nous posons la problématique suivante de recherche sur les bâtiments touristiques type hôteliers :

Comment évaluer pertinemment les impacts environnementaux générés par un bâtiment dans le but de les minimiser et améliorer ainsi sa qualité environnementale ?

Nous pouvons décliner cette problématique en cinq points principaux :

- Quelle méthode adopter pour concrétiser cette évaluation ?

¹ Population mondiale, 2016, disponible sur l'adresse : www.populationmondiale.com

- ❑ Comment analyser le cycle de vie d'un bâtiment ? et quel est la contribution de ses phases de vie au bilan global ?
- ❑ Comment peut-on choisir la meilleure alternative parmi tant d'autres ?
- ❑ Ou faudrait-il intervenir afin d'améliorer à la fois le bilan énergétique et environnemental du bâtiment ?
- ❑ Comment une ACV d'un bâtiment peut nous conduire à son écoconception afin d'améliorer ses performances environnementales et ainsi minimiser ses éventuels impacts ? nous élaborerons dans ce contexte une variante susceptible de répondre à ces exigences.

Pour répondre à notre problématique, on est amené à satisfaire les besoins de recherche suivants :

- Étude de la notion du développement durable, et des concepts environnementaux en l'occurrence les impacts environnementaux générés à différentes échelles ;
- Étude des différents outils et méthodes d'évaluation environnementale existantes, ainsi que le système ACV sur lequel sera basée notre propre méthode ;
- Évaluation environnementale des cas d'étude en passant par un couplage d'analyse thermique, énergétique et environnementale par ACV à travers différentes séries de simulations tout en appliquant la méthode élaborée.

L'ensemble de ces réflexions, contribue dans une large mesure à répondre aux questions pressantes de notre problématique dépassant amplement leur laconisme, et dont les éléments de réponse devront amorcer un changement de mentalité chez tous ; aussi bien chez ceux qui décident de l'avenir du tourisme, édiles et gouvernants, que ceux qui assistent impuissants à la déliquescence de leur environnement, qui constitue pourtant la condition à même d'assurer l'essor de toute vie sur notre planète notamment celle de l'humanité, car sa survie en dépend indubitablement ; or, le déclin de l'environnement conduit celle-ci à assister à sa propre agonie, ainsi, c'est ce changement, et lui seul qui permettra de s'approprier un nouveau comportement différent du tropisme habituel, visant le déclin d'un processus nuisible avant qu'il ne devienne, dans un court laps de temps, irréversible.

Les différents points inhérents à la problématique posée ainsi que les préoccupations autour desquelles s'articule notre recherche sont récapitulés dans la figure suivante (Fig. 1) :

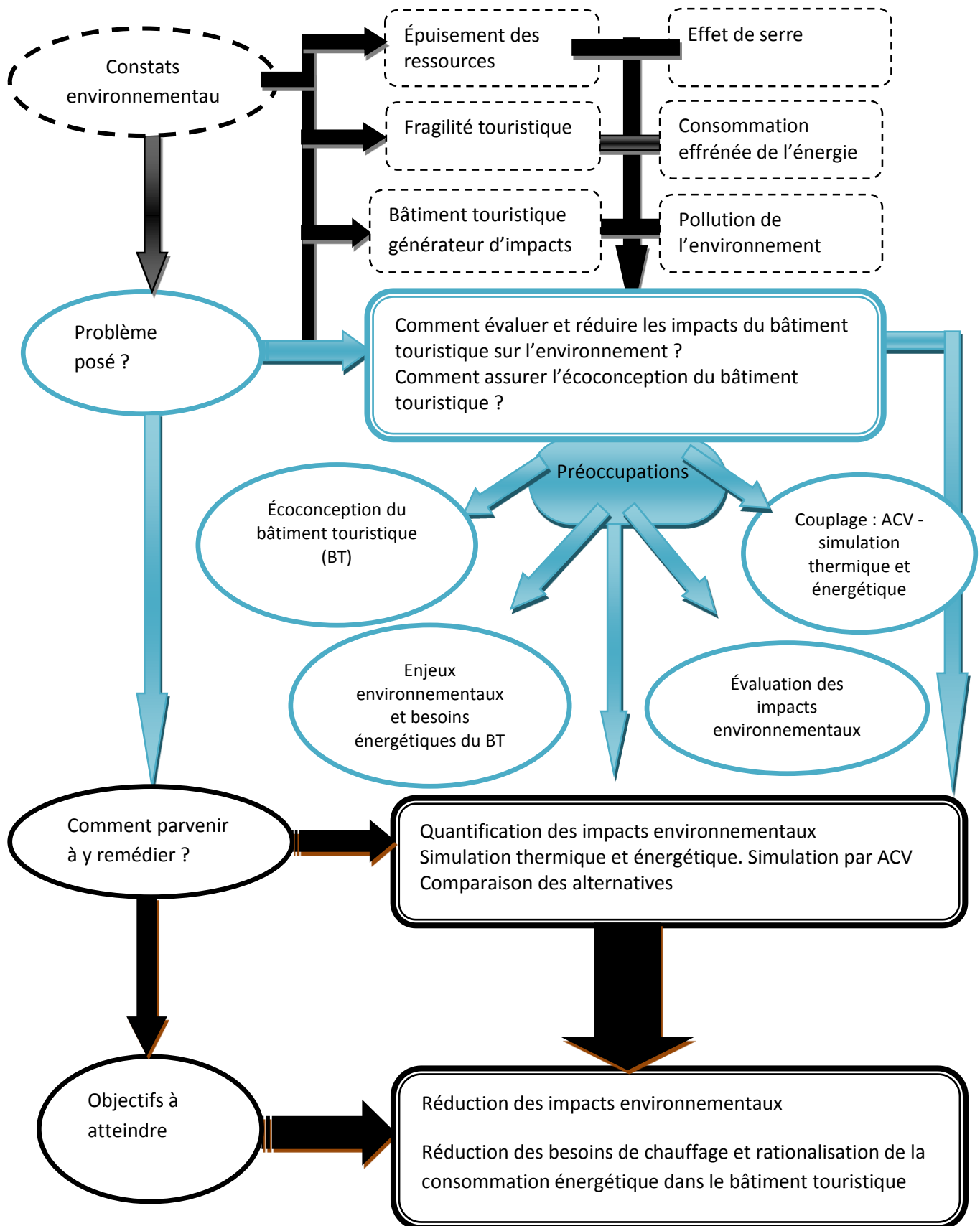


Fig. 1 : Vue générale sur les préoccupations de recherche et la problématique posée

INTERET DE LA RECHERCHE

Le contexte général de notre recherche, à savoir la durabilité environnementale, est l'un des plus féconds, il appartient au plus volumineux champ de recherche dans les différentes villes du monde, il en résulte des thèses et des antithèses résultant elles-mêmes de nombreuses investigations dans ce domaine inhérent à l'environnement, il continue à jouir d'un très grand intérêt parmi les chercheurs.

Toutefois, la recherche dans le cadre du développement durable du tourisme prend de plus en plus d'ampleur, à fortiori sur le volet économique et social, et si le volet environnemental pour sa part suscite incessamment un grand intérêt parmi les chercheurs notamment dans sa dimension écologique, il en va pas de même pour sa dimension liée à la qualité environnementale de ses bâtiments à fortiori les impacts générés par ces derniers, en effet si un grand nombre de travaux s'inscrivent dans ce champs, s'y rattachent contextuellement et le citent fréquemment, on est amené à signaler que peu de travaux de recherche ont abordé spécifiquement notre thème comme objet de recherche à part entière, et qui traite de manière spécifique et pertinente une composante de l'évaluation de la qualité environnementale du bâtiment par ACV . Cela suscite un champ spacieux d'investigation et qui nécessite pour ce faire des recherches rigoureuses traitant pertinemment les propriétés intrinsèques à la source même de la problématique posée, en l'occurrence le bâtiment.

Notre travail apporte une contribution à améliorer la qualité environnementale des bâtiments hôteliers, en portant une réflexion à long terme et globale en matière des impacts environnementaux générés par ces derniers par Analyse du Cycle de Vie, en outre, il permet aux acteurs du bâtiment de savoir sur quel aspect doivent-ils agir afin d'améliorer au mieux son confort thermique, ses performances énergétiques et environnementales en réduisant entre autres ses besoins de chauffage, sa consommation des ressources naturelles et sa production des déchets.

Par ailleurs, les différents travaux déjà réalisés dans le contexte de l'ACV du bâtiment, ne traitent qu'un seul paramètre à la fois, et aucun travail aussi profond n'a été réalisé via des simulations afin de comparer plusieurs composants d'un bâtiment traditionnel et un autre répondant aux exigences techniques actuelles sur une base de données aussi importante.

En effet, notre travail, traite trois comportements à la fois (thermique, énergétique et environnemental) en se basant sur différents et plusieurs paramètres à la fois (enveloppe, scénarios climat, occupation, surface et forme du bâtiment), le nombre de variantes que nous avons simulées

afin de trouver le meilleur couplage entre les paramètres cités constitue la robustesse de ce travail et donne une richesse pertinente et novatrice à cette étude

Au vu de cela, notre tentative d'altérer la conjoncture actuelle en matière de délinquance environnementale, se traduit à travers l'élaboration d'une méthode d'évaluation environnementale en se basant sur l'analyse du cycle de vie (ACV), qui se présente comme une contribution à minimiser l'implication du bâtiment touristique, et d'autres bâtiments aux usages différents, dans la dégradation environnementale, cette méthode permet non seulement d'évaluer les impacts environnementaux de ce dernier mais également de les réduire en retenant l'alternative la mieux appropriée au contexte étudié, elle permet une vision globale, d'établir des indicateurs quantifiables de performance environnementale, et permet tout simplement de poser les bonnes questions ; elle constitue de ce fait un outil d'aide à la décision.

Cet effort de pensée a été mené dans le but de contribuer à l'enrichissement de cette approche qui apparaît comme une approche rigoureuse, évolutive et réaliste pour l'évaluation des aspects quantifiables et qualitatifs de la qualité de l'environnement au sein d'un bâtiment depuis ses phases amonts.

OBJECTIF DE LA RECHERCHE

C'est un truisme de répéter que l'homme ne cesse d'épuiser, de conquérir et d'exploiter les ressources naturelles, mettant ainsi en péril sa propre vie et celle de ses futurs congénères, cela a poussé les experts à s'accorder de l'urgence de changer de paradigme, de passer de celui de conquête et d'exploitation à celui de symbiose, de ce qu'on appelle aujourd'hui de développement durable afin que l'homme puisse construire son avenir, préserver la planète dans laquelle il vit et les ressources dont il a besoin pour sa subsistance, il est temps pour lui de se redresser pour assumer son propre avenir et son devenir qui paraît incertain.

Dans ce contexte, le bâtiment est considéré comme l'un des secteurs les plus consommateurs d'énergie, l'un des plus piseurs des ressources naturelles et des plus pollueurs aussi, il explique une part non négligeable d'une dégradation environnementale accrue qui nourrit une problématique d'essence planétaire mais également inhérente à d'autres échelles qui touchent la ville, le quartier et surtout les bâtiments qui les structurent, la solution ne demeure pas pour autant facile à trouver.

Dans cette optique, l'objectif de notre travail se présente comme suit :

- ❑ Une contribution à minimiser le problème posé en l'occurrence réduire la contribution du bâtiment aux impacts environnementaux et minimiser son implication dans la déliquescence environnementale et cela, à travers l'élaboration d'une méthode d'évaluation environnementale des impacts en question;
- ❑ Apporter une aide pertinente aux acteurs des bâtiments dans leurs décisions à travers l'élaboration d'une méthode permettant d'évaluer les impacts environnementaux et ainsi choisir la meilleure alternative pour les réduire ;
- ❑ D'assurer une alliance entre le tourisme et sa matière brute en se focalisant sur le point névralgique de ce secteur, notamment le bâtiment, qui inflige des péripéties agressives à son environnement ;
- ❑ Cela nous conduit à une réflexion liée à l'écoconception du bâtiment dont le but majeur est d'assurer un lien fusionnel avec la notion et les paramètres du développement durable, de réduire ses impacts sur l'environnement extérieur tout en assurant un environnement intérieur satisfaisant ;
- ❑ Le présent travail aborde plus particulièrement une composante de l'évaluation de la qualité environnementale du bâtiment : l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) qui s'illustre à travers la quantification des effets sur l'environnement en mettant en avant, autre les éléments intrinsèques

à cette analyse, une évaluation énergétique, qui nous permettra de savoir comment peut-on assurer un confort au sein de notre bâtiment, tout en respectant l'environnement, en l'occurrence maintenir une ambiance thermique la plus confortable possible en consommant le moins possible d'énergie à la source ;

□ D'autre part, cette composante d'évaluation environnementale (ACV) nous permettra de mieux cerner les sources d'impacts et ainsi pouvoir aboutir à une variante d'un bâtiment dont la contribution aux problèmes environnementaux tel que l'effet de serre, l'acidification ou la quantité des déchets générés a été réduite au maximum.

Ainsi, par le biais de l'ACV, on mettra l'accent sur le point névralgique du secteur touristique, le bâtiment hôtelier, par une double évaluation, en étudiant successivement le contexte énergétique de ce dernier par une simulation thermique et le contexte environnemental en faisant recours à une simulation par analyse du cycle de vie du bâtiment en question ; ce lien entre l'évaluation énergétique et l'évaluation environnementale sera effectué à l'aide de logiciels.

Le choix de cet axe n'est pas fortuit, au contraire, il répond à une réflexion à double facette liée au bâtiment, l'une est afférente au bâtiment en tant que domaine clé au développement durable par son implication dans les altérations environnementales à travers sa dimension de confort et sa dimension technique qui épuise des ressources renouvelables et non renouvelables, et l'autre facette porte une réflexion à long terme et globale sur les impacts environnementaux générés par le bâtiment en se basant sur une ACV.

Les enjeux de celui-ci sont finalement bien clairs, ils sont désormais et incontestablement environnementaux.

METHODOLOGIE DE RECHERCHE

La méthodologie que nous avons suivie afin de réaliser ce travail de recherche est basée sur les étapes suivantes :

- ❑ Dans un premier temps, nous définissons la portée, c'est-à-dire l'échelle spatiale et temporelle de l'étude menée et les utilisateurs concernés par cette étude, cette échelle est très importante puisqu'elle déterminera les paramètres sur lesquels il est possible d'agir et les aspects à considérer ;
- ❑ Dans un deuxième temps, il s'agira d'un recensement des méthodes utilisables et de l'état d'art des démarches et projets relatifs à l'évaluation environnementale. Ainsi, on se basant sur ce recensement, il nous serait possible de justifier notre choix par rapport au système retenu et l'outil d'évaluation choisi, ce système sera ensuite étudié prospectivement, cette démarche est d'autant plus pertinente que l'aspect novateur du thème de la recherche ;
- ❑ Dans un troisième temps, nous définissons les thèmes et dénombrons pertinemment des indicateurs en faisant référence à la littérature internationale, et réalisons une recherche d'une méthode et moyens nous permettant de quantifier ces indicateurs, il nous est indispensable après de porter une analyse qui aboutit à un agencement et une hiérarchisation judicieuse des indicateurs en question, la quantification et la normalisation de ces derniers sera basée sur des formules adaptées aux spécificités de chaque indicateur en question et au contexte de notre étude ;
- ❑ Après le traitement et la normalisation des indicateurs, nous testerons notre méthode en grandeur nature sur des bâtiments touristiques type hôteliers à travers une campagne de mesures, auprès de cette dernière, nous réaliserons une enquête visant à déterminer le seuil de satisfaction des occupants de ces bâtiments, et qui se présente comme un outil incontournable d'une récolte fidèle de l'expérience et du seuil de satisfaction des usagers.
- ❑ Ensuite nous réaliserons plusieurs séries de simulations dynamiques multizones sur nos cas d'étude à l'aide d'un chainage de logiciels : ALCYONE-PLEIADES-COMFIE-EQUER, ces derniers calculent l'inventaire global des entrants et sortants d'un bâtiment ; l'agrégation des données de cet inventaire sur les différents thèmes environnementaux déterminés auparavant, conduira à un profil environnemental.

- ❑ Ces simulations concernent le volet thermique, énergétique et environnemental par ACV ; elles sont précédées par une modélisation de nos variantes via le logiciel ALCYONE, et par une définition de leurs caractéristiques et scénarios de fonctionnement ainsi que par une création de stations météorologiques via le logiciel PLEAIDES.
- ❑ Par la suite, nous comparerons les résultats d'ACV et réaliserons, à partir de ces derniers, une autre série de simulations qui nous permettra de connaître l'influence des différents composants du bâtiment sur ses performances thermiques, énergétiques et environnementales, et de là, aboutir à la définition des composants d'une variante la moins génératrice d'impacts.
- ❑ Enfin, nous comparerons les indicateurs, en appliquant les formules de notre méthode et nous validerons les résultats obtenus qui vont être mis en parallèle avec les résultats de la campagne de mesures et ceux de l'enquête, et valider ainsi notre méthode.

Il importe de signaler enfin que le choix des outils précités n'est pas fortuit, d'une part ils constituent une aide à la décision aux différents acteurs intervenant dans les différentes phases d'un bâtiment, et d'autre part, ils nous permettent d'assurer un lien entre l'analyse énergétique, par simulation thermique, et l'analyse environnementale, par une simulation de l'analyse du cycle de vie. Enfin, cette méthode permet d'évaluer ou de comparer plusieurs alternatives d'un projet touristique, ainsi l'alternative la mieux appropriée aux objectifs tracés sera facilement déterminée et choisie. La méthode élaborée peut être en outre appliquée à d'autres types de bâtiments.

La méthode d'évaluation du bâtiment élaborée est résumée dans la figure suivante (Fig. 2)

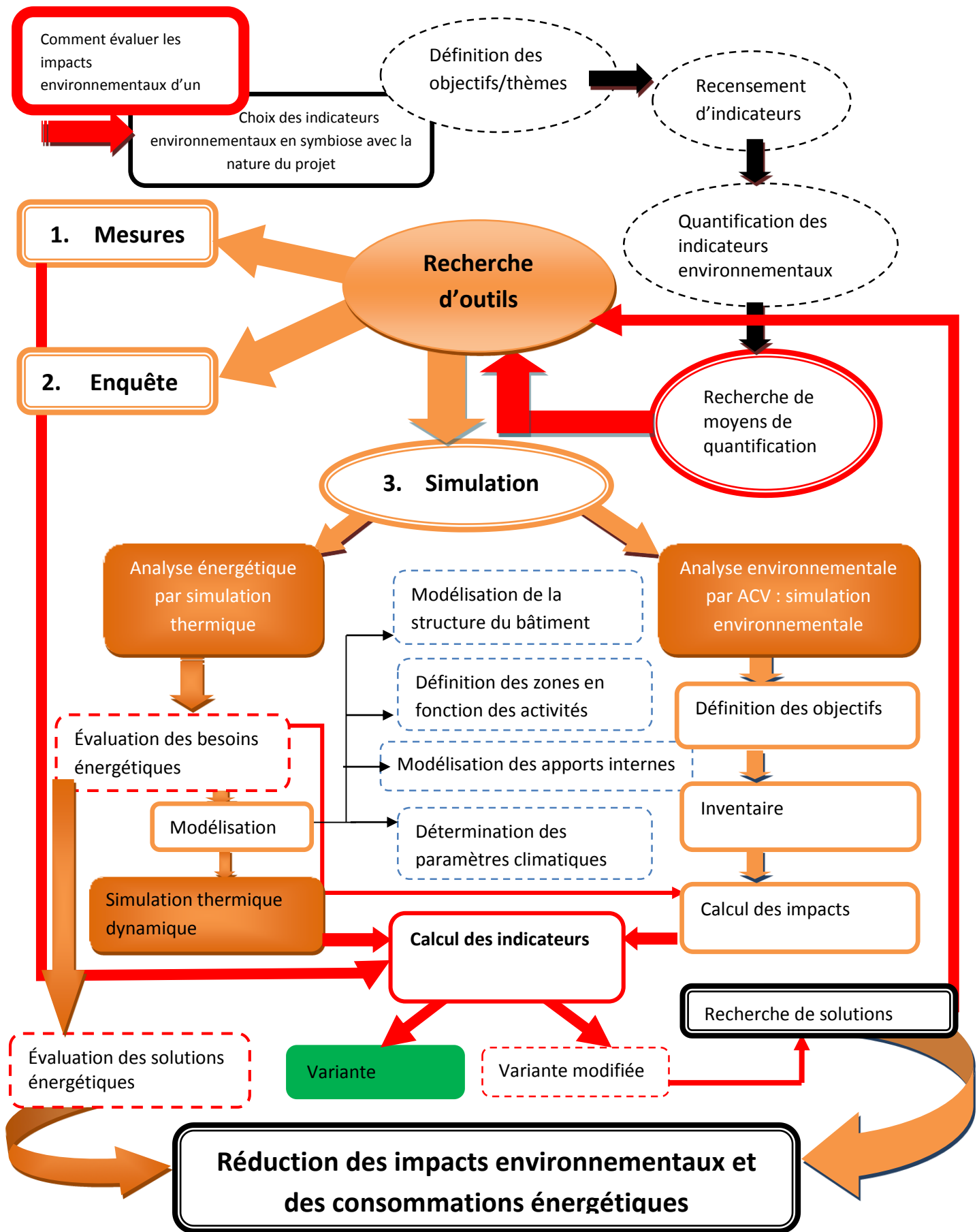


Fig. 2 : Récapitulation de la méthode d'évaluation

STRUCTURE DE LA THESE

fin de traiter et répondre aux questions problématiques de notre thèse, nous avons structuré cette dernière en trois parties qui se présentent comme suit :

A

La **première partie** de notre thèse s'attache à éclaircir le cadre auquel appartient notre problématique : le cadre environnemental, pour cela, et à travers le chapitre I on est amené à spécifier d'une part les différentes notions afférentes à ce cadre, à étudier les

impacts environnementaux générés par le bâtiment et d'autre part, se focaliser sur la problématique environnementale du bâtiment touristique en spécifiant ses enjeux, ses émissions et ses consommations. Le chapitre II sera en outre dédié aux réponses internationales à ces enjeux et impacts environnementaux, et cela à travers une réflexion portée sur les méthodes et outils d'évaluation environnementale élaborés et appliqués dans le secteur du bâtiment ainsi qu'à travers un retour d'expérience sur ces derniers mettant en exergue la réduction des différents impacts.

La **deuxième partie** de notre thèse sera consacrée à la construction d'une méthode d'évaluation environnementale du bâtiment hôtelier. Cette partie est composée de deux chapitres ; en premier lieu, le chapitre III sera consacré à une étude prospective du système retenu pour l'élaboration de notre méthode, à savoir le système ACV, par ailleurs, le chapitre IV se focalisera sur la quantification et le traitement des indicateurs concernés par notre méthode, ainsi la méthode de quantification, de normalisation retenue ainsi que celle de traitement de ces indicateurs sera dévoilée, justifiée et développée au sein de ce chapitre.

La **troisième partie** de ce travail sera consacrée à l'application de la méthode et aux résultats obtenus, elle est également composée de deux chapitres ; dans le chapitre V, nous étudierons nos cas d'étude, en les présentant tout d'abord, et en menant ensuite une campagne de mesures et d'enquête en leur sein sur les différents paramètres qui nous importent. Enfin, le chapitre VI sera consacré à une phase clé de notre méthode, en l'occurrence, la simulation dynamique multizone et le calcul des indicateurs, en effet dans ce chapitre, non seulement nous prendrons connaissance des résultats obtenus liés à l'ACV de nos cas d'étude, mais également de l'influence des différents composants du bâtiment sur ses performances thermiques, énergétiques et environnementales à travers une série de simulation, cela nous permettra d'aboutir à définir les composants d'une variante susceptible d'amoindrir significativement les différents impacts environnementaux.

Première partie

IMPACTS, ENJEUX ET REPONSES

« Ce nom éclaire à la fois ce sur quoi et en quoi l'homme fonde son séjour. Cela, nous le nommons la terre.... La terre, c'est le sein dans lequel l'épanouissement reprend, en tant que tel, tout ce qui s'épanouit. En tout ce qui s'épanouit, la terre est présente en tant que qui héberge ».

Martin Heidegger

Introduction à la première partie

Par ses facettes polymorphes, le bâtiment est considéré comme un maillon des plus important de l'avenir de l'environnement, en particulier le bâtiment touristique dont le secteur auquel il appartient représente, après le trafic d'arme, la principale activité à l'échelle internationale, supérieure à l'industrie automobile ou pétrolière, avec 11% de PIB mondial (Chien, 2007), il devra connaître en outre une croissance moyenne annuelle de 3.8% à long terme, on prévoit que cette croissance dépassera en continu celle de l'économie mondiale et celle des autres industries (WTTC, 2015).

Dans cette optique, cette première partie de la thèse se focalisera sur les impacts environnementaux à différentes échelles qui menacent notre planète ainsi que sur les enjeux environnementaux du bâtiment touristique en l'occurrence, hôtelier.

Nous étudieront en outre les différentes réponses internationales à cette problématique environnementale.

Le but principal de cette première partie est d'étudier, d'analyser et de comprendre les éléments qui alimentent la problématique environnementale dans ses différentes échelles, à fortiori l'échelle du bâtiment.

Chapitre I

CONCEPTS ENVIRONNEMENTAUX

"L'humanité gémit, à demi écrasée sous le poids des progrès qu'elle a fait. Elle ne sait pas assez que son avenir dépend d'elle. A elle de voir d'abord si elle veut continuer à vivre "

Henri Bergson, Les deux sources de la morale et de la religion, 1932

INTRODUCTION

L'environnement s'inscrit au cœur d'un enjeu planétaire, et dont la prise en compte a abouti à de nouvelles approches le faisant allier au développement durable, c'est sur cette problématique de l'environnement, des impacts environnementaux et du développement durable que va se focaliser ce premier chapitre, cette notion qui ne cesse de prendre de l'ampleur, ne se mesure pas seulement à l'échelle environnementale, le bâtiment est désormais l'un des volets les plus importants de cette approche.

Ainsi, ce chapitre, après avoir étudié certains concepts environnementaux, se focalisera sur les impacts environnementaux et les enjeux liés au bâtiment hôtelier. Les conclusions de ce premier chapitre, nous permettront de cerner objectivement la problématique posée et de dégager les axes à mener dans les chapitres suivants.

I. LA NOTION DU DEVELOPPEMENT DURABLE, ENVIRONNEMENT ET IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Le constat planétaire d'aujourd'hui n'est pas satisfaisant, pire encore il est menaçant et inquiétant ; un climat déstabilisé, des ressources exagérément exploitées, des pollutions persistantes, et la liste est encore longue... La notion du développement durable ne cesse de connaître une large expansion dans le but de se développer autrement. Néanmoins, largement utilisée, cette notion reste difficile à maîtriser de manière précise vu la diversité des définitions émanant de perceptions aussi diverses que personnelles.

Dans cette optique, nous nous évertuons dans cette première section de cerner objectivement cette notion qui s'inscrit au cœur de notre travail de recherche à travers une approche globale, les sections suivantes nous permettront d'avoir une vision plus précise de l'approche en question.

I.1 LA NOTION DU DEVELOPPEMENT DURABLE

Plusieurs caractéristiques spécifiques peuvent être attribuées aux problèmes écologiques contemporains dont la gestation et la prise de conscience n'ont commencé qu'après la seconde guerre mondiale. Dominique Bourg (Bourg, 2002)² leur reconnaît quatre caractéristiques essentielles :

² cité par (Bertrand, 2004)

- Leur *échelle planétaire* : les impacts liés à cette échelle sont globaux et réparables ;
- Leur *invisibilité* : la plupart des impacts sont intangibles, tel que l'effet de serre, la destruction de la couche d'ozone et les déchets radioactifs, ce qui les rends invisibles ;
- Leur *imprévisibilité* : cette dernière est due à leur complexité, et leur interaction dans le milieu naturel, dans ce contexte, Dominique Bourg les nomme les « risques différés cumulatifs globaux » (Bourg et Ermine, 2002, cité par Bertrand 2004) ;
- La forme d'*inertie* : en effet, leur réduction brusque entrainerait certaines perturbations à différentes échelles, de la même manière une diminution immédiate et drastique des émissions de gaz à effet de serre entrainerait un déséquilibre climatique.

Ces problèmes et dommages causés à l'environnement et dont l'ampleur ne cesse de s'approfondir à l'heure actuelle avait donc pour origine une rupture forte entre l'homme et sa terre, une rupture dont les prémisses se sont dévoilés il y a des siècles de cela, Cette rupture avec la nature et la terre, a finalement alimenté et marqué les prémisses de la problématique qui finira par aboutir vers 1980 à la formulation du concept du développement durable.

I.1.1 Apparition et genèse de la notion du « développement durable »

Intéressons-nous maintenant à l'évolution de la notion du développement durable entant que terme, ce dernier a été utilisé pour la première fois en 1980 par l'Union Internationale de la Conservation de la Nature (UICN)³, il a bénéficié ensuite d'une définition mis à l'honneur par la Commission Mondiale pour l'Environnement et le Développement (CMED) en 1987 : « *le chemin du progrès humain qui satisfait les besoins et les aspirations de la génération présente sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs* », une définition aujourd'hui communément acceptée.

Cependant les principes de base du développement durable ont été adoptés en 1972 lors de la conférence de Stockholm : « *c'est à l'homme qu'incombe la responsabilité de la protection et de l'amélioration de l'environnement pour les générations présentes et futures ; la sauvegarde des ressources naturelles de la Terre doit faire l'objet d'une programmation et d'une gestion appropriées et vigilantes, tandis que la capacité de la terre à produire des ressources vitales renouvelables doit être conservée et améliorée* », ces derniers ont été confiés au programme des nation unies pour l'environnement (PNUE) qui a été créé à cette occasion.

³ cité dans l'ouvrage « stratégie mondiale de la conservation »

En 1992, 172 pays (dont 120 chefs d'états) se sont réunis à Rio de Janeiro pour une conférence des nations unies sur l'environnement et le développement (CNUED), nommée communément le sommet de la terre ou bien encore la conférence de Rio, qui s'est soldée hormis une série de conventions en faveur de la protection de l'environnement, par une charte « la charte de la terre » accompagnée d'un programme d'action baptisé « agenda 21 », cette charte a énoncé des directives pour la mise en place de politiques économiques plus équilibrées, de son côté l'agenda 21 s'est structuré en quatre sections et quatre chapitres qui « abordent les problèmes urgents d'aujourd'hui et cherchent aussi à préparer le monde aux tâches qui l'attendent au cours du siècle prochain ».

Suite à cette conférence, et en application à ses recommandations, une Commission du Développement Durable s'est créée (CDD) qui s'est chargée de suivre l'application des mesures prises lors de la conférence de Rio et promulgué dans son agenda 21.

En 1994, une conférence sur les villes durables s'est tenue à Alborg en Danemark, dans laquelle ont été tirés les axes et principes de base pour un développement durable des villes.

En 1997, cinq ans après la conférence de Rio, une autre conférence d'envergure internationale s'est tenue à Kyoto en Japon, qui a défini un protocole précis et contraignant, qui engage les pays industrialisés et en transition de réduire leurs émissions en gaz à effet de serre à l'horizon 2008-2012 de 5,2%.

En 2002, un sommet mondial du développement durable a eu lieu à Johannesburg en Afrique du sud, à l'occasion du dixième anniversaire du sommet de la terre, dans le but de redynamiser les engagements mondiaux en faveur du développement durable.

En 2005, 55 pays ont ratifié le protocole de Kyoto

En 2009, s'est tenue la COP 15 à Copenhague dont l'objectif était la façon de traiter les changements climatiques par la réduction des émissions des gaz à effet de serre et la limitation à 2°C du réchauffement climatique.

En 2011, des accords à Durban ont eu lieu qui visaient l'adoption d'un accord universel en 2015 et sa mise en œuvre dès 2020

En 2014, à Lima, s'est tenue la COP 20, afin d'atteindre cet objectif de maintenir le réchauffement climatique en deçà de 2°C d'ici à 2100.

En 2015, à Paris, s'est tenue la COP 21, un accord historique a été signé par les états membre sur la limitation du réchauffement climatique à 1.5°C

En 2016, à Marrakech, s'est tenue la COP 22, où il a été décidé de mettre au point, d'ici à décembre 2018, les règles d'application de l'accord sur le climat conclu lors de la COP 21 à Paris.

Ce qu'on peut dire finalement, est que la naissance de ce concept est alimentée par une nuée de catastrophes naturelles qui ont affecté et submergé la planète, cette dernière avait besoin peut être d'une provocation écologique assez violente qui peut lui assurer une propulsion extrême pour que ses habitants réagissent enfin, n'est-il pas vrais que c'est dans la crise qu'on peut remettre les pendules à Zéro et que la création de l'environnement renaît de sa propre destruction ?

cependant, il faut signaler l'importante conception terminologique qui a accompagné la naissance de la réflexion durable, en effet, ce concept a abouti à la naissance de nouveaux concepts tels que « la Responsabilité Sociétale des Entreprises »(RSE) et « la performance économique sociale et environnementale », il illustre en outre l'implication de différents acteurs dans cette démarche, édiles, entreprises, ONG⁴ et consommateurs sont tous désormais concernés (Fig. 3).

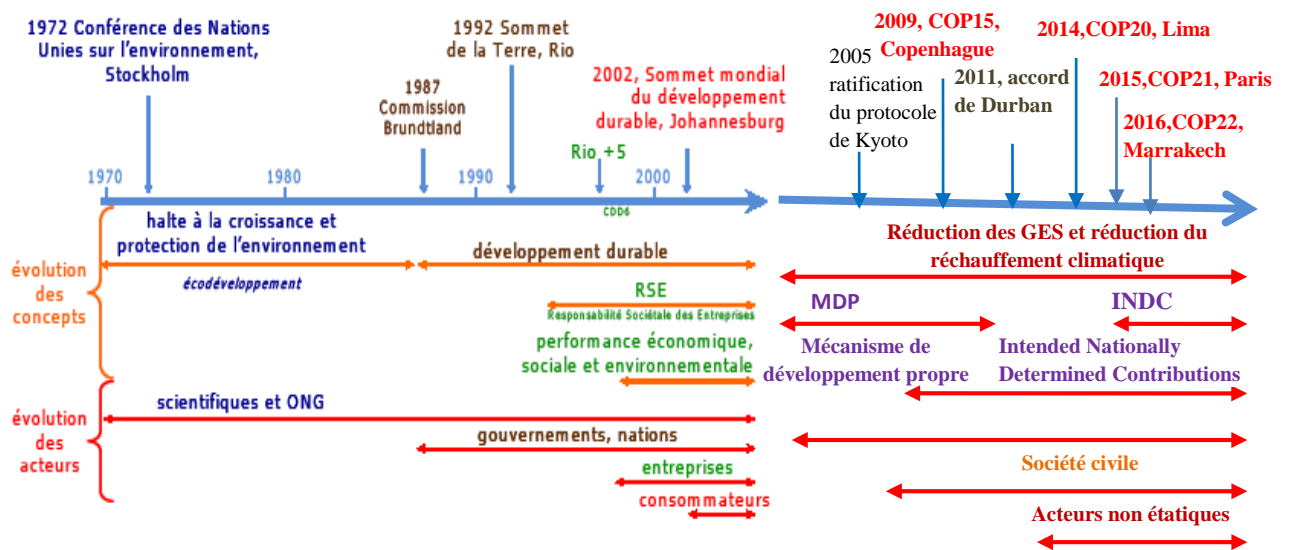


Fig. 3: Les principales dates du développement durable (source : Brodhag, 2004)⁵

I.1.2 Quelques définitions

Rarement, un concept n'a bénéficié d'un engouement aussi fort que celui du développement durable, d'un caractère multi-acteur et transdisciplinaire, ce concept concerne une nuée de secteurs : géographie, urbanisme, aménagement du territoire, économie, science de la terre et de l'environnement, architecture et la liste est encore longue, il s'avère que tous les domaines sont concernés et par le même biais impliqués dans cette démarche en faveur de la planète que plus de sept milliards de personnes se partagent.

⁴ Organisation Non Gouvernementale

⁵ Schéma actualisé par l'auteur

Néanmoins, nous proposons dans cette première section d'établir une relecture progressive définissant cette notion étant donné qu'elle fait toujours l'objet d'une littérature abondante et d'un intérêt incontestable, et cela à travers différents modèles illustrant des définitions aussi diverses que pertinentes sans reprendre celle qui a été donnée par la CMED en 1987 et cité précédemment. Commençons par le terme lui-même ; « développement durable » est la traduction française du terme anglo-saxon « sustainable development », on le présente souvent comme élément conciliateur visant l'équilibre entre trois pôles ; le social, l'économique et l'environnemental, cette représentation correspond au modèle de Jacobs et Sadler cité par l'Agence Régionale pour l'Environnement (ARPE, 2001), inspiré de la théorie des ensembles (Cherqui, 2005) (Fig. 4). Cette représentation se forme à travers l'intersection et l'interdépendance de trois cercles traduisant les trois pôles cités précédemment et dont chacun assure un ensemble d'actions humaines afin d'atteindre les buts escomptés tout en assurant un équilibre entre eux et évitant toute considération en faveur de l'un et au détriment de l'autre.

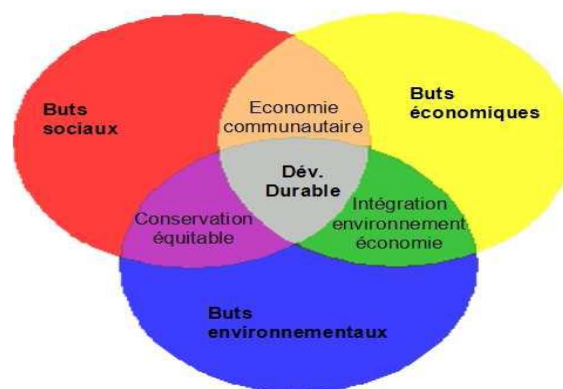


Fig. 4 : Le développement durable au centre des trois pôles ; économie, société et environnement, Modèle de (Jacobs et Sadler, 1990) (source : ARPE 2001)

(Da Cunha.A, et al, 2005), évoquent le concept de développement durable en précisant que son modèle de référence n'est pas celui d'un schéma utopique figé et défini d'avance, renvoyant à plus tard la recherche et la mise en œuvre des réponses aux problèmes sociaux et environnementaux que nous percevons aujourd'hui. Ils ajoutent que la démarche durabiliste est plutôt celle de la mobilisation des savoirs scientifiques et de l'engagement de processus de changement fondé sur l'apprentissage collectif, sur dessein stratégique et, comme le souligne la commission mondiale du développement et de l'environnement (WCED), un projet dans lequel l'exploitation des ressources, l'orientation des investissements, l'orientation du développement technologique et les changements institutionnels cadrent avec les exigences du futur autant qu'avec celles du présent (WCED, 1987).

Certaines définitions du concept du développement durable, renvoient plutôt au système économique, comme celle évoquée par Bliefert et Perraud (Bliefert et Perraud, 2004) ; «*On pense à un processus économique, qui en principe peut être maintenu pendant une période infiniment longue, sans que pour autant l'écosystème terre soit surchargé* ». Ils se réfèrent dans cette signification au 13^{ème} et 14^{ème} siècle, où une sorte de système de production durable du bois existait en France. Par ailleurs, Hueting et Bosch (Hueting et Bosch, 1994), ont défini les exigences normatives de la durabilité forte, notion évoquée dans le concept du développement durable : « *l'utilisation des ressources renouvelables doit rester inférieure à leur taux de renouvellement ; l'émission des déchets doit être inférieure à la capacité d'assimilation et d'auto-épuration de l'environnement ; l'utilisation des ressources non renouvelables doit rester inférieure au taux de remplacement par des ressources renouvelables, pour autant évidemment que cette substitution s'avère possible* ». ⁶ Toutefois, il faut signaler que plusieurs variantes traduisant le concept du développement durable ont été proposées telle celle proposée par Sachs (Sachs, 1993), il distingue cinq dimensions inhérentes au développement durable ; la viabilité sociale, la viabilité économique, la viabilité écologique, la viabilité spatiale (répartition de la population et étalement urbain...) et la viabilité culturelle (respect de la diversité des cultures et des collectivités humaines) ⁷, ce modèle fait partie d'une représentation statique du développement durable (Fig. 5), auprès du modèle triptyque de ce concept (Fig. 6). Un projet de développement durable doit :

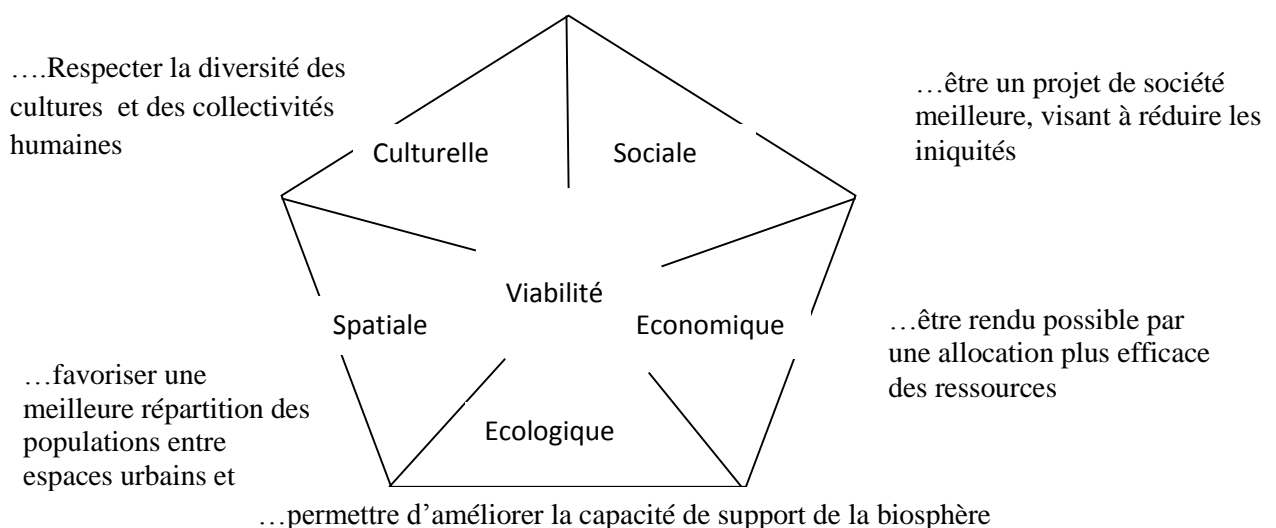


Fig. 5: Les cinq dimensions du développement durable (source : Sachs, 1993)

⁶ cité par (Da Cunha et al, 2005)

⁷ cité par (Cherki, 2005)

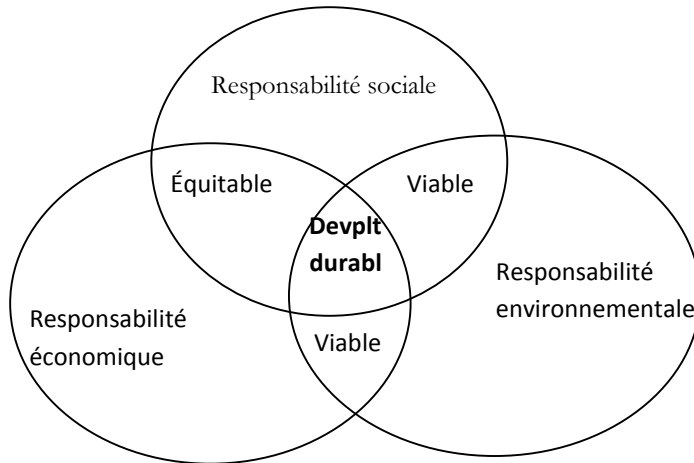


Fig. 6: le triptyque du développement durable (source : Bertrand, 2004)

Face à la représentation statique du développement durable, existe une autre représentation du type dynamique (Fig. 7) qui tend vers un resserrement des trois cercles structurant le développement durable à travers leur intersection ; Selon Pierre Ferron, seuls les ensembles de l'équité sociaux politiques (buts sociaux) et de l'équité économique peuvent se déplacer vers celui de l'environnement qui est presque à sa limite (Ferron, 1993).

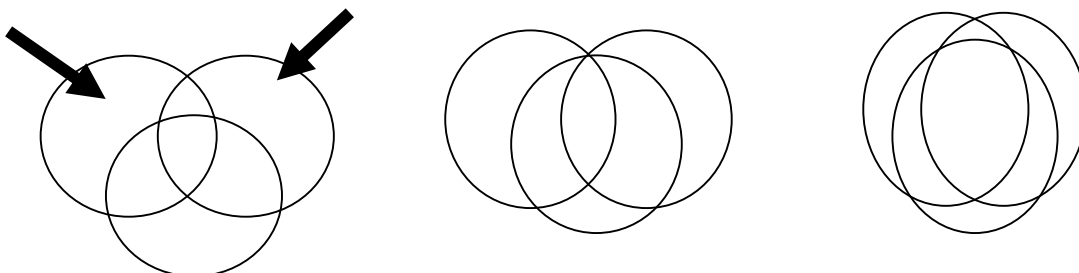


Fig. 7: Une représentation dynamique du développement durable (source : Ferron, 1993)

Enfin, on note que l'appréhension du concept du développement durable diffère selon la fonction qu'occupe chaque individu, celle-ci influence voire déforme la vision que peut porter chacun sur ce concept, force est de constater que plusieurs champs de connaissance l'on apprivoisé, exploré, critiqué et analysé ; ainsi différentes images peuvent être associées au concept du développement durable émanant de perceptions individuelles (Fig.8) dont aucune n'est celle qui le reflète avec perfection, il s'avère la nécessité d'apporter une vision transversale de ce concept à chaque individu.

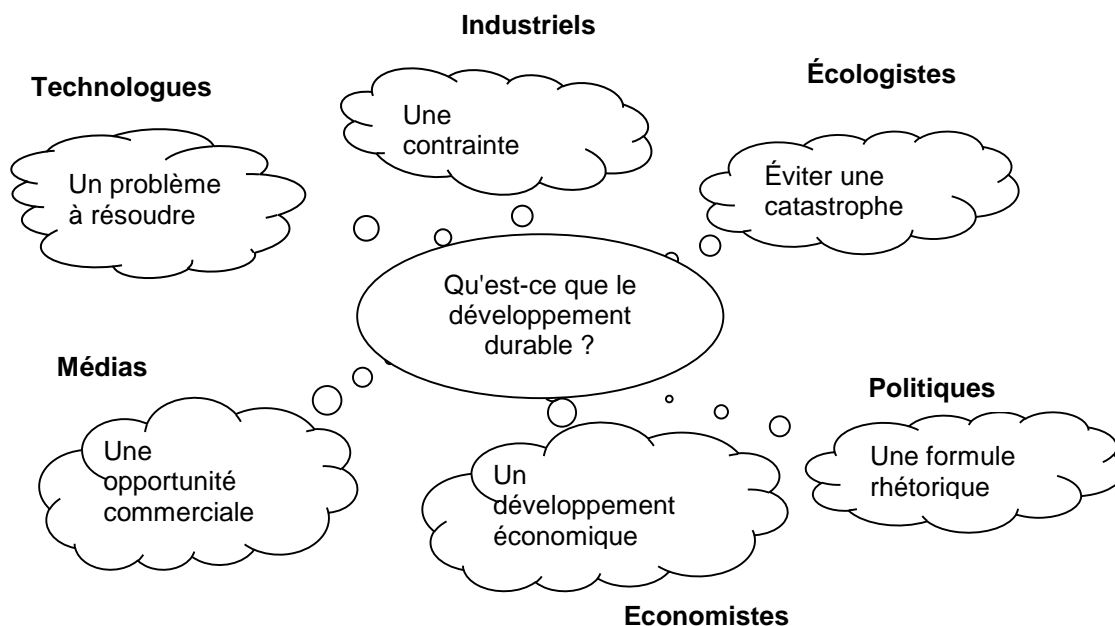


Fig. 8 : Différentes images du développement durable (source : Khalfan 2002)

I.2 LE CONCEPT DE L'ENVIRONNEMENT

La notion de l'environnement renvoie à différents aspects et couvre une panoplie de significations qui l'éloigne relativement d'une clarté dans son utilisation, souvent cette notion se rapporte aux espèces vivantes et à tout ce qui vit; aux hommes, aux animaux, aux plantes et aux microorganismes, ces dernières sont interdépendantes les unes par rapport aux autres et vis-à-vis de leur milieu dans lequel se trouvent « les facteurs écologiques » qui correspondent aux innombrables influences auxquelles sont exposées toutes les espèces vivantes. Ces influences peuvent être réparties différemment selon divers points de vue, ainsi on distingue :

- Influences dues à des facteurs abiotiques, sans vie, et biotiques, vivants ;
- Influences climatiques, chimiques ou mécaniques ;
- Influences naturelles et anthropogéniques.

Ainsi, l'environnement est l'ensemble de toutes les influences directes et indirectes exercées sur l'être vivant et de ses relations avec le reste du monde. Au sens le plus large, à côté de l'environnement naturel, les environnements sociaux et intellectuels en font également partie (Bliefert et Perraud, 2004).

Actuellement, l'environnement constitue une des préoccupations majeures et permanentes des responsables politiques, administratifs et économiques. Certes, le souci de la qualité environnementale a toujours été présent dans les réflexions, mais on assiste maintenant à la concrétisation de cette réflexion, désormais l'environnement touche progressivement différents

champs (Fig. 9) et tous les compartiments de la vie d'une entreprise, d'un hôtel, d'une habitation, d'un équipement, bref, d'un bâtiment tout simplement.

D'ailleurs, c'est à l'échelle du bâtiment qu'on peut distinguer deux types d'environnement ; l'un intérieur et l'autre extérieur (Peuportier, 2003) :

- *L'environnement intérieur* : il constitue l'environnement pour les occupants du bâtiment, c'est un environnement construit et doit satisfaire aux exigences de qualité aux paramètres de confort, de santé et de qualité de vie.
- *L'environnement extérieur* : il se constitue depuis les abords du bâtiment, le site proche, la région jusqu'au niveau planétaire. Sa protection est liée à la minimisation des impacts à ces différentes échelles, liés au climat, les ressources, la santé, la faune, la flore et le paysage.

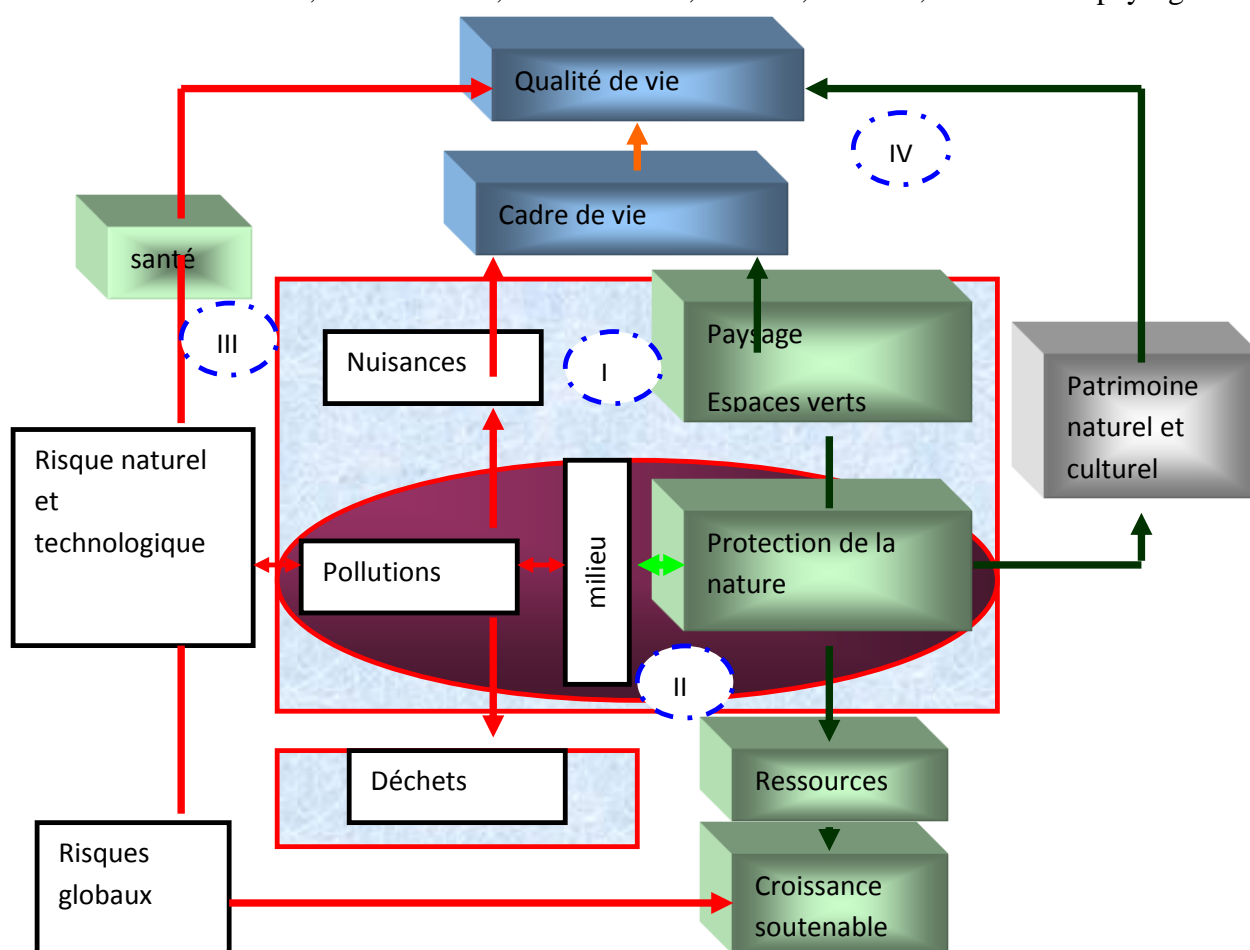


Fig. 9: Les champs de l'environnement⁸ (Source : Theys, 1994)

⁸Les niveaux I et II correspondent aux noyaux durs de l'environnement (champs traditionnellement admis). Les niveaux III et IV correspondent aux domaines élargis de l'environnement, on voit se caractériser en particulier deux notions, celle des ressources (l'exploitation a des finalités fonctionnalistes de l'environnement, avec des visées économiques de croissance ou de développement), et celle du cadre de vie (qualité de vie et qualité du milieu).

1.3 LE CONCEPT DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Nous avons vu que l'apparition de la notion du développement durable avait pour catalyseur une problématique majeure liée à une série de catastrophes qui persistent à saccager l'environnement, à ponctionner ses ressources, en lui infligeant des dommages irréversibles. Ces derniers se manifestent à différentes échelles, à ces dernières se superpose l'échelle temporelle qui voudrait qu'on intègre la notion du long terme dans nos réflexions afin d'assurer la pérennité environnementale et ainsi mettre en avant l'intérêt des générations futures. Dans cette optique, et dans le cadre de cette présente recherche, il nous est fort important d'évoquer les impacts alarmants dont pâtit l'environnement à différentes échelles, mais avant cela, s'interrogeons-nous un peu sur le terme « impact » et sa signification dans le contexte environnemental.

Selon Bliefert. C et Perraud. R, nous entendons par ce terme l'ensemble de tous les facteurs qui perturbent l'environnement ; de telles perturbations environnementales ont lieu, quand l'environnement naturel- l'état normal- est influencé par des interventions physiques, chimiques, biologiques et technologiques, comme par exemple lorsque des matériaux sont soustraits de l'environnement en grande quantité par l'exploitation des richesses naturelles ou lorsque certains domaines de l'environnement sont remplis de matières non naturelles, comme les gaz d'échappement, les eaux usées et les déchets. On outre, lorsque il se produit des dommages vis-à-vis de la nature par l'introduction de substances, on parle souvent de pollution de l'environnement⁹ (Bliefert et Perraud. R, 2004). Dans cette optique, une question se pose ; quelles sont les substances présentes dans l'environnement qui alimentent les impacts et pollutions que subit l'environnement ? Pour y répondre, et afin de pouvoir appréhender les impacts environnementaux, on est amené de présenter les notions de base liées à ces substances.

I.3.1 De la substance environnementale à l'impact environnemental

L'environnement est composé de différentes substances dont l'importance de leur influence dépend de leur quantité et les voies par lesquelles elles parviennent dans ses différents compartiments à savoir ; air, eau, sol et tous les êtres vivants, elle dépend également de ses interdépendances avec ces derniers. Ainsi l'impact est ressenti lorsqu'elles atteignent les êtres vivants en se propageant dans les différents milieux de l'environnement à travers des processus différents tels que les précipitations, la dissolution, la vaporisation, l'adsorption et la désorption (Fig. 10).

⁹angl ; environmental pollution

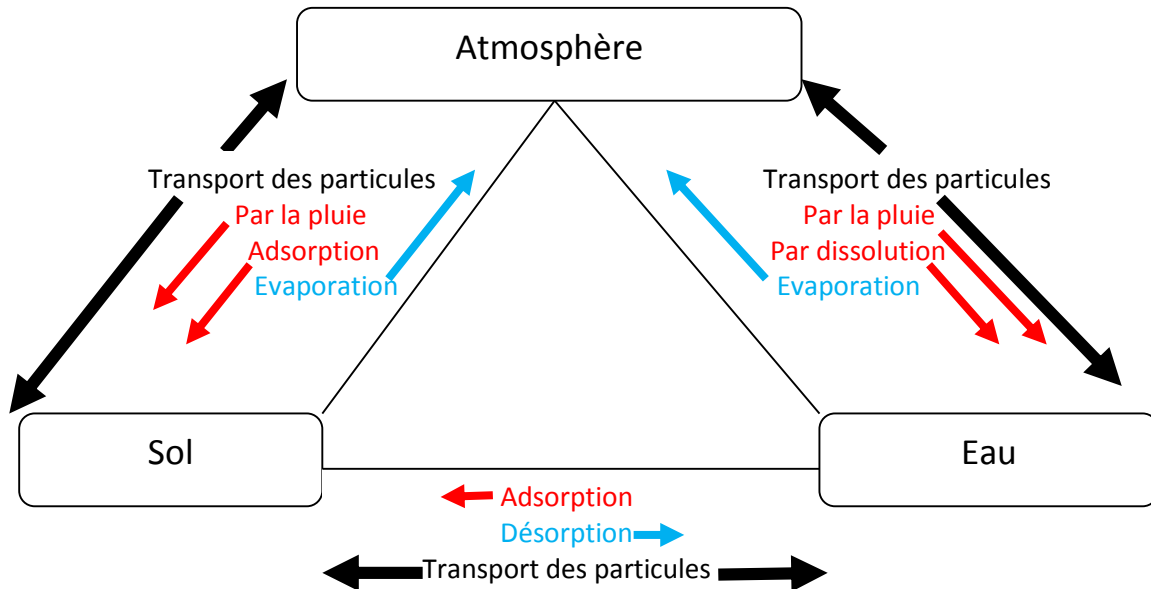


Fig. 10: Modèle simple concernant la répartition de substances entre les trois compartiments de l'environnement : l'atmosphère, l'eau et le sol (source : Bliefert et Perraud, 2004)

Il importe de savoir dans ce contexte que les pollutions provoquées par les substances se présentent comme pollutions exclusives de l'environnement qui est également influencé par d'autres pollutions mais dans une moindre mesure à côté de celles causées par les substances, il s'agit de la pollution créée par la consommation de l'espace vital et les pollutions physiques (Fig. 11).

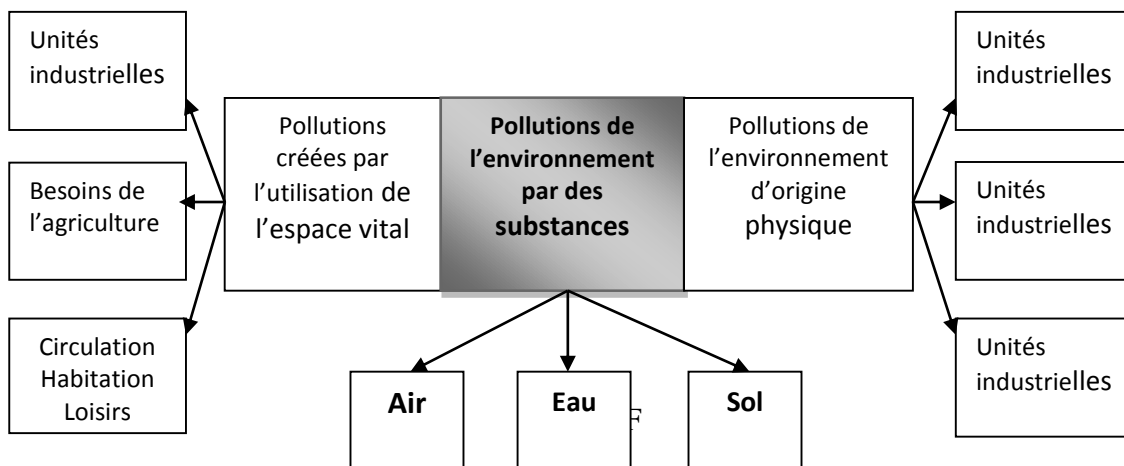


Fig. 11 : Systématique des pollutions de l'environnement (source: Bliefert et Perraud. , 2004)

Le transport des différentes substances vers l'environnement se fait selon des voies différentes qui définissent une panoplie de possibilités, à titre d'exemple, les produits chimiques issus du secteur industriel parviennent dans l'environnement et jusqu'aux organismes lors des phases suivantes (Bliefert et Perraud, 2004) :

- ❑ Lors de la production directement à travers l'air, les eaux usées ou indirectement lors des traitements des déchets liés au procédé ;
- ❑ Lors de la défaillance des installations de sécurité pendant la production, le stockage ou le transport des substances ;
- ❑ Lors de l'utilisation finale, par exemple de laques, de pesticides ou de solvants On distingue également dans ce contexte deux types d'introductions des substances dans l'environnement ; on parle d'introduction naturelle lorsque ces dernières parviennent dans l'environnement à travers la respiration ou les excréments des êtres vivants, ou lorsqu'il s'agit d'éruptions volcaniques, en outre l'introduction anthropogénique est celle afférente aux différentes activités humaines.

D'autre part, on peut différencier les pollutions de l'environnement par les substances selon la manière dont ils sont répandus géographiquement, plusieurs échelles resurgissent (Bliefert et Perraud, 2004) (Tab. 1) :

- ❑ L'échelle globale ou planétaire : elle concerne les pollutions qui sont totalement indépendantes de leurs milieux, et sont observées un peu partout dans le monde, à travers la quasi-totalité de la planète ;
- ❑ L'échelle régionale : elle concerne les pollutions qui sont éloignées de leur sources d'environ 1000 Km ;
- ❑ L'échelle locale : elle concerne les pollutions qui atteignent environ 100 Km, et qui se concentrent dans les trois compartiments de l'environnement, en l'occurrence l'air, l'eau et le sol ;
- ❑ L'échelle du bâtiment : elle concerne les pollutions qui se concentrent à l'intérieur du bâtiment et dont pâtissent les occupants, il s'agit entre autres de la qualité intérieure de l'air, de l'eau, les champs électromagnétiques ainsi que les différentes sources d'inconfort.

Tab. 1: Exemples de pollutions de l'environnement par des substances à différentes échelles (locale, régionale et globale) (source : Bliefert et Perraud, 2004)

Milieu	Rayon d'action		
	<i>Locale (jusqu'à 100 km)</i>	<i>Régionale (jusqu'à 1000 km)</i>	<i>Globale</i>
<i>Air</i>	Smog des grandes villes (NOx, CO, O3, hydrocarbures)	Pluies acides (SO2, NOx)	Destruction de l'ozone stratosphérique (CFC, CH4...)
<i>Eau</i>	Pollution des nappes phréatiques (pesticides, nitrates)	Pollution des océans (déchets chimiques et communaux)	

Sol	Pollutions du sol immobiles (résidus fixés, métaux lourds)		
-----	--	--	--

Dans le cadre de notre recherche, il nous est fort important d'étudier les différents impacts et pollutions que nous allons recenser ultérieurement à différentes échelles et qui représentent la toile de fond de cette thèse, afin de mieux cerner les enjeux environnementaux liés au bâtiment. Force est de constater d'autre part que le bâtiment représente un maillon catalyseur de la délinquance environnementale constatée, nous allons ainsi s'intéresser à cette dernière à travers les différents impacts que subit continuellement l'environnement en les chiffrant et en intégrant le contexte national quand cela est possible. La figure ci-dessous (Fig. 12) récapitule la classification internationale des impacts environnementaux avec les classes (en bleu) et les sous-classes qui leurs sont associés, ceux que nous avons retenus pour notre recherche seront présentés et étudiés dans les chapitres suivants.

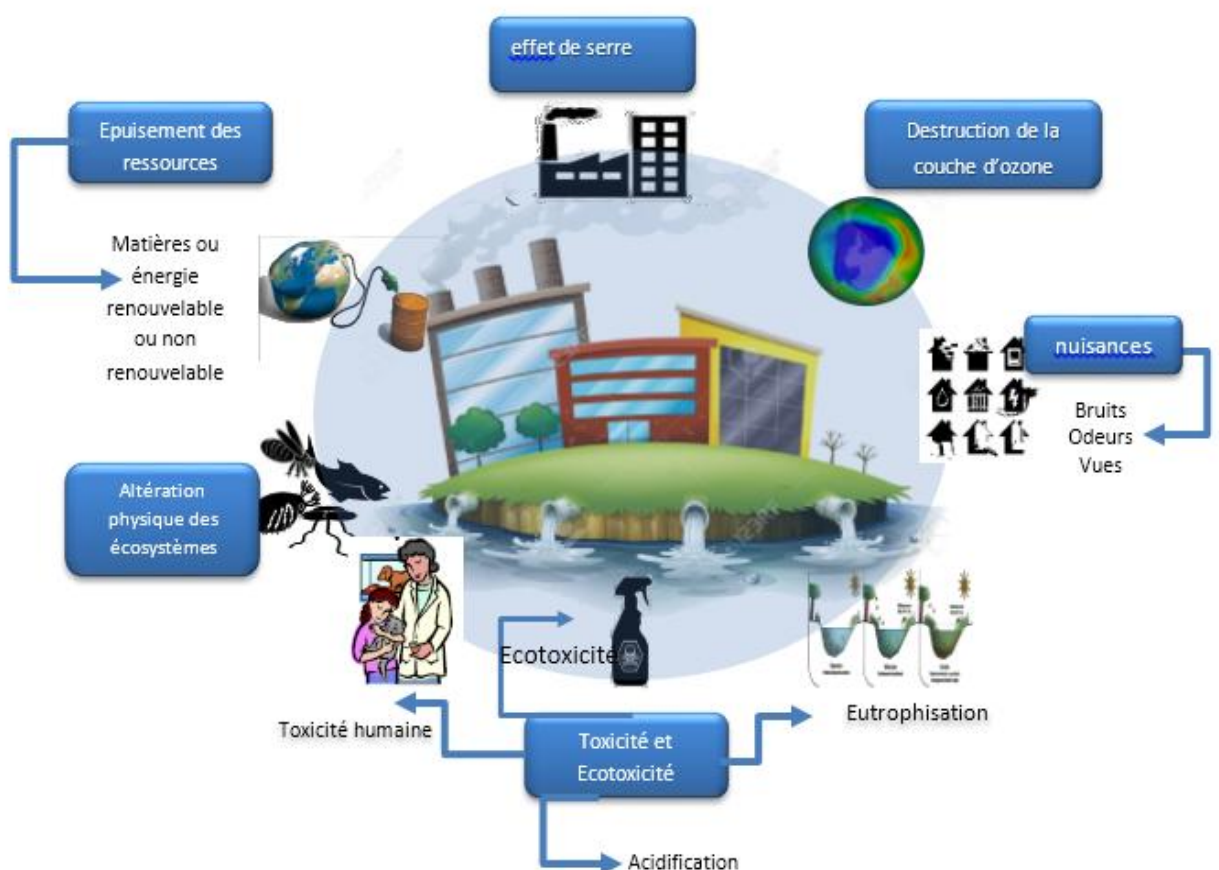


Fig.12 : Classification internationale des impacts environnementaux

I.4 LE BATIMENT TOURISTIQUE, SES ENJEUX ET SES ROLES

Définir un bâtiment touristique revient à définir en premier lieu le bâtiment en tant que construction abritant la fonction touristique tout en se référant aux définitions couramment données dans les dictionnaires.

Le bâtiment est toute construction destinée à abriter ses habitants ou usagers et les protéger des conditions environnementales et climatologiques extérieures tout en offrant un environnement intérieur satisfaisant et peu dépendant de celui qui règne à l'extérieur. De cela on peut définir le bâtiment touristique comme un bâtiment doté des aspects précédents et destiné à abriter une fonction inhérente au secteur touristique. Il a pour première fonction, et selon sa typologie, d'assurer l'hébergement et des logements à ses usagers. Mais ce qui nous importe le plus dans le contexte de notre étude est de savoir qu'à travers les fonctionnalités du bâtiment touristique, ce dernier se présente comme un catalyseur de flux de diverses natures, à fortiori ceux de l'énergie, de l'eau et des matières premières provoquant ainsi une nuée d'impacts environnementaux aussi périlleux que multiples. Enfin, ses rôles sont divers étant donné que le tourisme se trouve en corrélation avec divers domaines, ainsi le bâtiment touristique peut jouer plusieurs rôles :

- ❑ Rôle économique : étant donné qu'il est considéré comme un établissement commercial ;
- ❑ Rôle social : étant donné qu'il abrite différents usagers ;
- ❑ Rôle culturel : par sa première fonction qu'est l'hébergement ainsi que par les autres activités qu'il remplit, le bâtiment touristique permet un brassage culturel indéniable ;
- ❑ Rôle urbain : il peut engendrer un maillage urbain homogène qui assure la fluidité au sein de la ville avec laquelle il se lie à travers un réseau routier, des entrants et des sortants ;
- ❑ Rôle architectural : rien que par son architecture il peut être l'emblème d'un pays.

Le bâtiment touristique peut être d'autre part considéré comme un organisme vivant possédant des entrants (énergie, eau et autres matières) et des sortants (déchets, eaux usées, émissions gazeuses, bruits, lumière, chaleur, odeurs, occupation de sol...), il subit en outre diverses influences extérieures (Fig. 13).

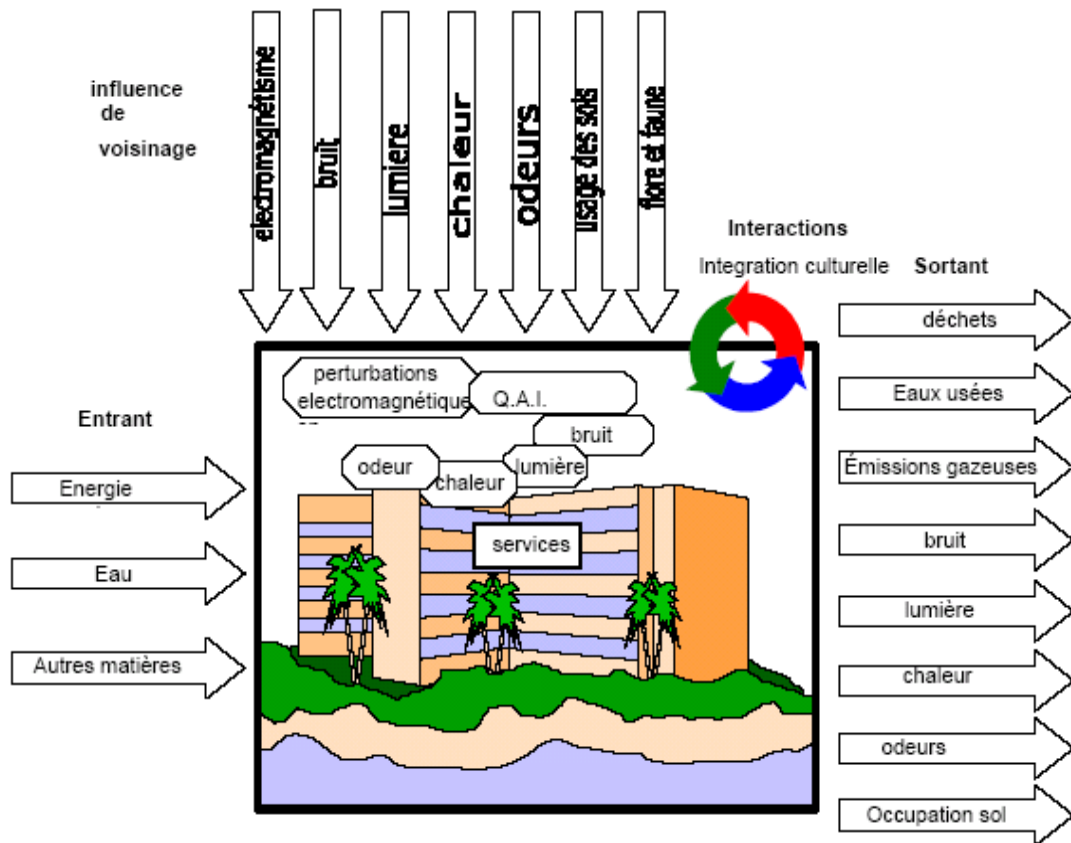


Fig. 13 : Structuration des domaines environnementaux dans un bâtiment hôtelier (Source : ADEME¹⁰)

Ainsi toutes ces perturbations s'interagissent aboutissant à une organisation structurale complexe alimentée par toute sorte de réseaux tout en abritant une panoplie d'activités touristiques. Cette interaction qui s'allie à ces activités engendre des impacts et des retombées négatives sur l'environnement tout en réduisant les performances environnementales du bâtiment touristique.

I.4.1 Les facettes fonctionnelles d'un bâtiment touristique

Le bâtiment touristique remplit une panoplie de fonctions durant ses différentes phases de vie notamment celle liée à son exploitation. Ces fonctions peuvent revêtir divers aspects selon le seuil de la qualité environnementale du bâtiment touristique, ainsi nous pouvons répartir ces fonctions en quatre catégories : fonctions de base, fonctions classiques, fonctions bioclimatiques et enfin fonctions de haute qualité environnementale ; bien entendu il s'agit de différents aspects que le bâtiment touristique peut revêtir et de là, ses fonctions doivent être au mieux adaptées à ces derniers (Tab. 2).

¹⁰Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Énergie

Tab. 2 : Fonctions diverses selon la qualité environnementale du bâtiment touristique¹¹

Fonctions de base de tout bâtiment	Fonctions d'un bâtiment classique	Fonctions d'un bâtiment touristique bioclimatique	Fonctions d'un bâtiment touristique HQE
<ul style="list-style-type: none"> • Abriter • Protéger • Chauffer • Éclairer 	<ul style="list-style-type: none"> • Abriter • Protéger • Chauffer • Éclairer • Héberger • Restaurer • Loisirs • Café • Gestion • Respecter la réglementation afférente aux besoins de confort 	<p>En plus des fonctions classiques, ce type de bâtiment a pour mission d'optimiser :</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'énergie solaire, • L'éclairage, • La ventilation • Le confort hygrothermique • utilisation des énergies renouvelables 	<p>En plus des fonctions classiques, ce type de bâtiment a pour mission d'optimiser :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le confort thermique • Le confort aéraulique • Le confort olfactif • Le confort acoustique • Minimisation des impacts environnementaux • Améliorer la qualité environnementale intérieure au bâtiment touristique

I.4.2 Les enjeux environnementaux liés au bâtiment touristique

Le bâtiment touristique à l'instar des autres types de bâtiments, exerce des pressions négatives sur l'environnement. Il effectue des prélèvements sur l'environnement et émet des émissions de toutes sortes sur ses compartiments engendrant ainsi de véritables dommages pour la plupart irréversibles (Fig. 14)

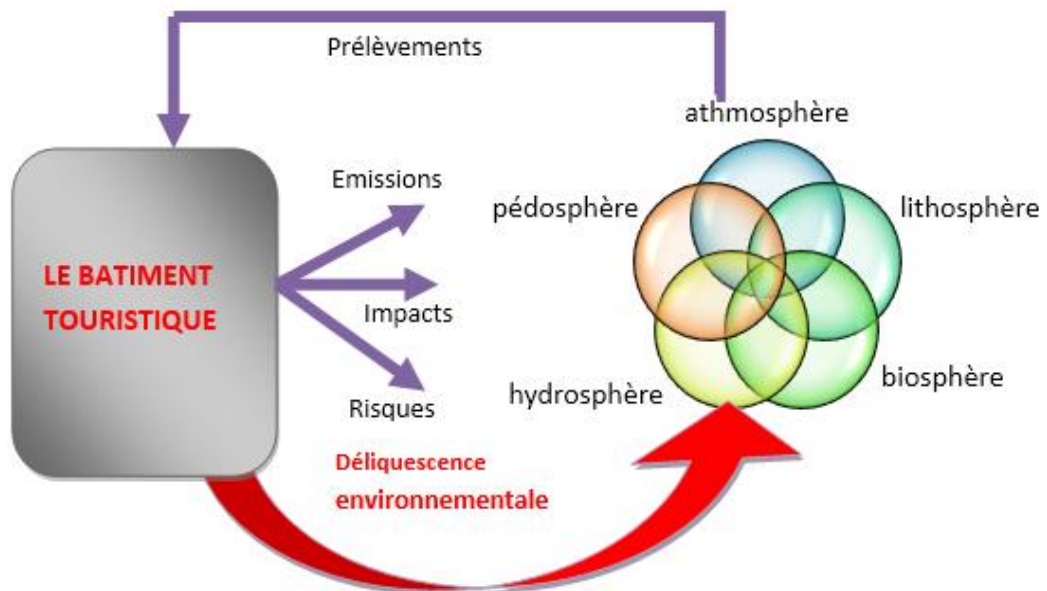


Fig.14 : Flux entre le bâtiment touristique et les différents compartiments de l'environnement

¹¹inspiré du modèle (Mandallena, 2006)

Ces enjeux sont multiples et concernent la quasi-totalité des impacts environnementaux, ces derniers seront étudiés dans les paragraphes suivants (Fig.15)

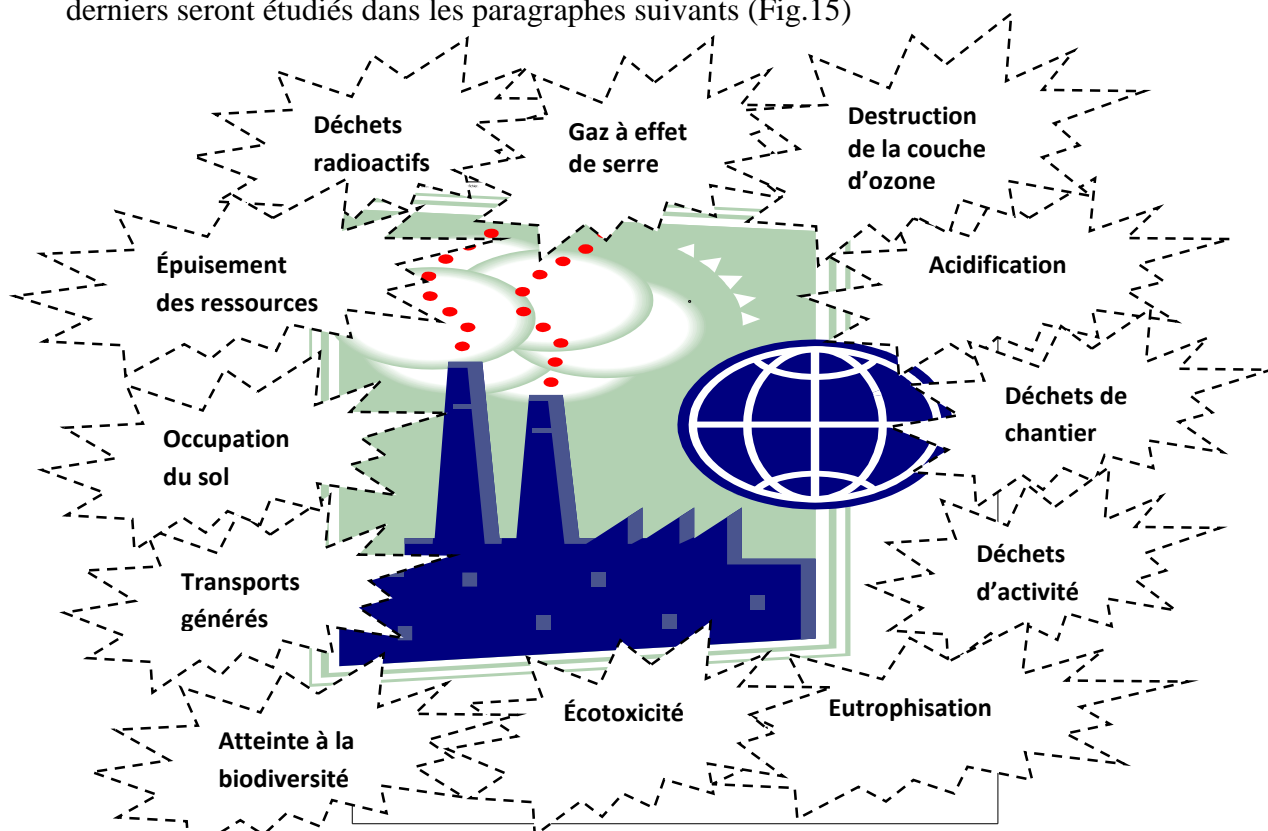


Fig. 15 : Les impacts environnementaux générés par le bâtiment touristique

Nous allons à présent tenter de mettre en exergue la corrélation entre les enjeux environnementaux liés au bâtiment touristique et les effets qui en ressortissent tout en évoquant l'usage responsable de leur génération. Tout ceci est récapitulé dans le tableau suivant (Tab. 3).

Tab. 3 : Les enjeux environnementaux liés au bâtiment touristique ; effets, sources et usages (source : inspiré du modèle de Mandallena, 2006)

Enjeux environnementaux	Impacts/effets	Sources	Usage responsable dans le bâtiment
Changements climatiques	Réchauffements climatiques	Émissions des GES	Chauffage par combustion
Atteintes aux différents compartiments de 'environnement eau, air et sol	Contamination potentielle des endroits de stockage, danger de dispersion en cas d'accident majeur. Effet mutagène sur les êtres vivants.	Déchets radioactifs	Chauffage électrique Utilisation de l'électricité
Épuisement des ressources naturelles Atteintes à la biodiversité	Appauvrissement des ressources non renouvelables	Utilisation des matières premières non renouvelables,	Fabrication de matériaux

Changement de l'albédo et accentuation de l'effet de serre		exploitation forestières	
Dégradations des forêts, des sols...	Pluies acides	Émission de SOx et NOx	Chauffage par combustion, matériaux, bois
Appauvrissement des ressources en eau potable	Dégradation de la qualité des nappes phréatiques	Polluants chimiques microbiologiques	Lavage, rejets directs des déchets aqueux ou non

I.4.3 Les émissions du bâtiment touristique

Le bâtiment touristique type hébergement est considéré comme l'un des plus grands émetteurs de gaz à effet de serre, il a émis en 2005 à l'échelle mondiale 274 millions de tonnes de CO₂ soit 21% de la quantité totale émise par le secteur touristique mondial qui lui-même représente 95% du total monde (PNUE, 2007). Un pourcentage qui lui vaut une place avant celle de l'Inde, le Japon, l'Allemagne, le Canada, l'Angleterre la Corée du sud et l'Italie.

En Algérie la part d'émission de CO₂ par habitant est de 5,5 tonne en 2004 par rapport à 3 tonne en 1990 soit une variation de 10, 8 en 14 ans. Ainsi seul l'ensemble des bâtiments touristiques (type hébergement) en Algérie émettent une quantité supérieure à 467,5.10³ tonne de CO₂ (MEM, 2007).

Ces chiffres effrayants induisent de graves changements à l'échelle climatique et c'est un truisme bien sûr de répéter que le tourisme dépend de manière draconienne du climat, et tout changement à son niveau aura des répercussions néfastes sur le tourisme, ainsi, il subit les conséquences de ce que lui-même fait subir à l'environnement, de ces impacts on peut citer :

☐ Ceux qui ont des effets directs sur les ressources climatiques : il s'agit à fortiori de la hausse des températures qui induit des étés plus chauds, de la modification des précipitations qui induisent subséquemment un manque d'eau mais également des inondations, il s'agit également des modifications extrêmes tels que les cyclones, canicules etc... tous ces phénomènes créés en partie par le tourisme impliqueront de graves retombées pour ce dernier à différentes échéances.

☐ Ceux qui ont des effets indirects sur les ressources environnementales du tourisme, de ceux-là on peut citer :

- *La consommation d'énergie au sein des bâtiments touristiques (type hébergement)* : les paramètres de réalisation, d'entretien et d'exploitation des bâtiments touristiques est largement corrélés aux conditions climatiques, une montée de la chaleur peut entrer en résonance avec une demande accrue pour la climatisation. Il importe également de signaler que le climat chaud et humide tel celui qui caractérise l'Algérie dégrade fortement les

bâtiments touristiques à l’instar des autres types de bâtiments ; le bilan énergétique des bâtiments touristiques s’en trouvera sans conteste fortement modifié.

- *Les ressources en eau* : le tourisme dépend dramatiquement des ressources en eau, or ces dernières se voient menacées devant l’ampleur des changements climatiques planétaires, qui conduisent à une répartition très différente de ces ressources selon les saisons ; durant la saison hivernale, saison très peu touristique en Algérie, les précipitations connaissent une augmentation très importante, or les autres saisons connaissent une réelle baisse à fortiori durant l’été et le printemps. Le tourisme sera ainsi fortement affecté, résumons les conséquences possibles :
 - Interdiction du canoë-kayak
 - Interdiction de pêche
 - Marnages trop importants et découvrant au-delà des plages aménagées les fonds des plans d’eau.
 - Enfin eutrophisation des plans d’eau
- *Élévation du niveau de mer* : ce phénomène constituera un risque imminent pour toutes les villes se trouvant sur la bande littorale misant sur la mer pour un fort attrait des touristes.
- *Paysage et biodiversité* : ils constituent la matière brute du tourisme et pourtant en conséquence des émissions de CO₂ et les changements climatiques résultants, ces derniers sont dramatiquement affectés présentant ainsi un déséquilibre accentué pour tout le biotope qui en dépend mais présentant aussi un réel risque pour l’essor du tourisme.

I.4.4 Les consommations du bâtiment touristique

Il s’agira dans ce contexte d’étudier la consommation énergétique du bâtiment hôtelier étant donné que cette dernière représente sa plus grande consommation.

Nous rappelons cependant, que le bâtiment hôtelier est considéré comme l’un des plus grands secteurs consommateurs d’énergie, sa consommation comprend l’énergie utilisée tout au long du cycle de vie de sa construction :

- Pour la fabrication des matériaux et leur transport ;
- Pendant le chantier ;
- Pendant la phase d’exploitation, pour le chauffage, la ventilation, la production d’eau chaude sanitaire, l’éclairage et l’alimentation des équipements ;
- Pour la démolition et l’élimination des déchets.

Cette utilisation accrue de l'énergie dans les bâtiments hôteliers, aggrave davantage la pollution de l'environnement et met en péril les ressources naturelles non renouvelables qui ne cessent de se raréfier. Lors de la phase d'exploitation, l'énergie dans le bâtiment hôtelier est consommée par l'ensemble des activités qui s'y exercent en son sein, et varie cependant selon les espaces et la capacité d'accueil du bâtiment hôtelier. Les espaces accueillant ces différentes activités vont être les premiers concernés par une stratégie d'économie d'énergie visant à assurer une bonne qualité environnementale à cette échelle hôtelière.

Les figures suivantes récapitulent la consommation d'un hôtel 3* en électricité, qui est équivalente à une moyenne de 4705kwh/jour soit 1.7GWh/an (Fig. 16) et l'appel de puissance en hiver par les différents espaces de l'hôtel (Fig. 17.).

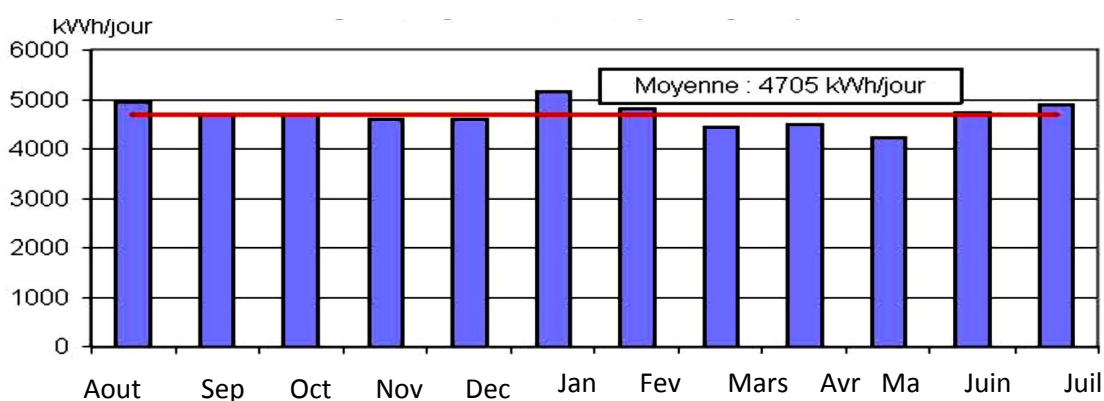


Fig. 16 : Consommation moyenne totale journalière en électricité d'un hôtel 3* (source : Enertech, 2003)

Nous remarquons que les variations mensuelles sont assez faibles étant donné que les consommations hivernales en chauffage remplacent celles de climatisation en été et sans oublier les appareils d'éclairage, de ventilation et les minibars aux niveaux des chambres, engendrant ainsi une consommation continue en électricité. En outre, en mi-saison, la consommation ne diminue pas de manière significative, cela s'explique par la production simultanée du froid par les PAC (Pompe À Chaleur) le jour et de la chaleur par les résistances la nuit dont est équipé cet hôtel.

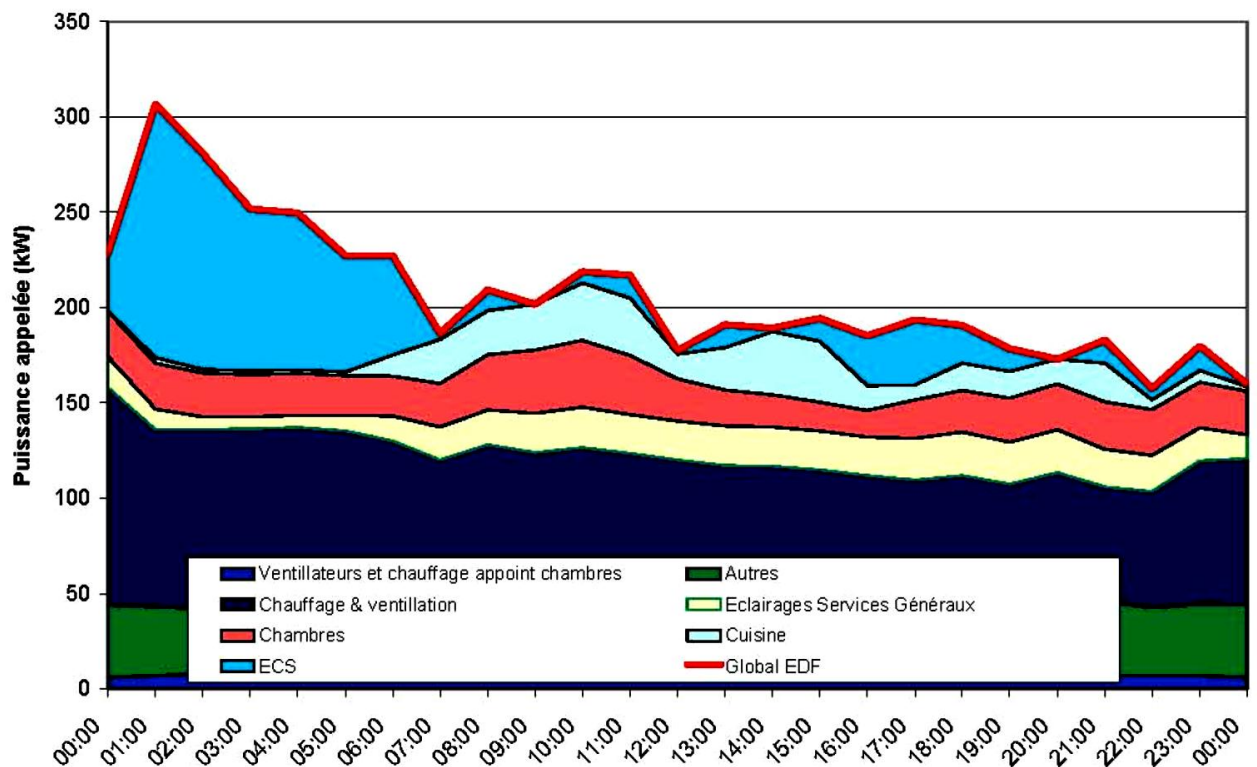


Fig. 17 : Profil d'appel de puissance en hiver d'un hôtel 3* (source : Enertech, 2003)

I.4.5 Répartition de la consommation électrique par usage

Le conditionnement de l'air de l'hôtel (climatisation, ventilation et chauffage du bâtiment) représente sa plus grande consommation électrique soit près de la moitié de la consommation totale qui atteint 4670 kWh/jour soit 261 kWh/m²/an, les chambres quant à elles représentent moins de 10% des consommations totales¹² (Fig. 18)

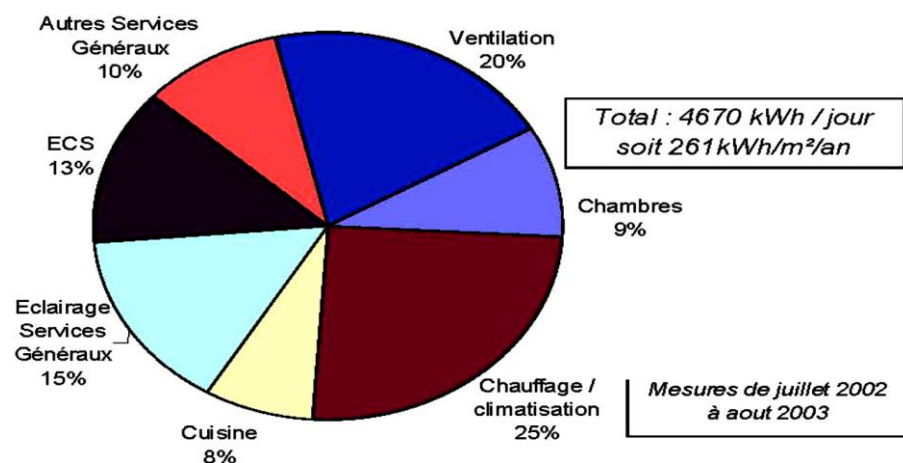


Fig. 18 : Consommation électrique par usage d'un hôtel 3* (source : Enertech, 2003)

¹² Signalons que cette consommation diffère d'un hôtel à un autre selon son équipement en appareils, son occupation, sa taille et la fréquence d'utilisation de ses appareils par les usagers.

I.4.6 Les phases de vie d'un bâtiment touristique

Le bâtiment touristique comme tout autre bâtiment passe par différentes phases au cours de sa vie, ces dernières se diffèrent en durée de vie, en type d'impacts et en intensité de ces derniers. Nous allons essayer de récapituler les différentes phases de vie dans la figure suivante (Fig. 19) tout en s'évertuant d'estimer la durée moyenne de chaque phase en prenant en compte les spécificités techniques et fonctionnelles du bâtiment touristique.

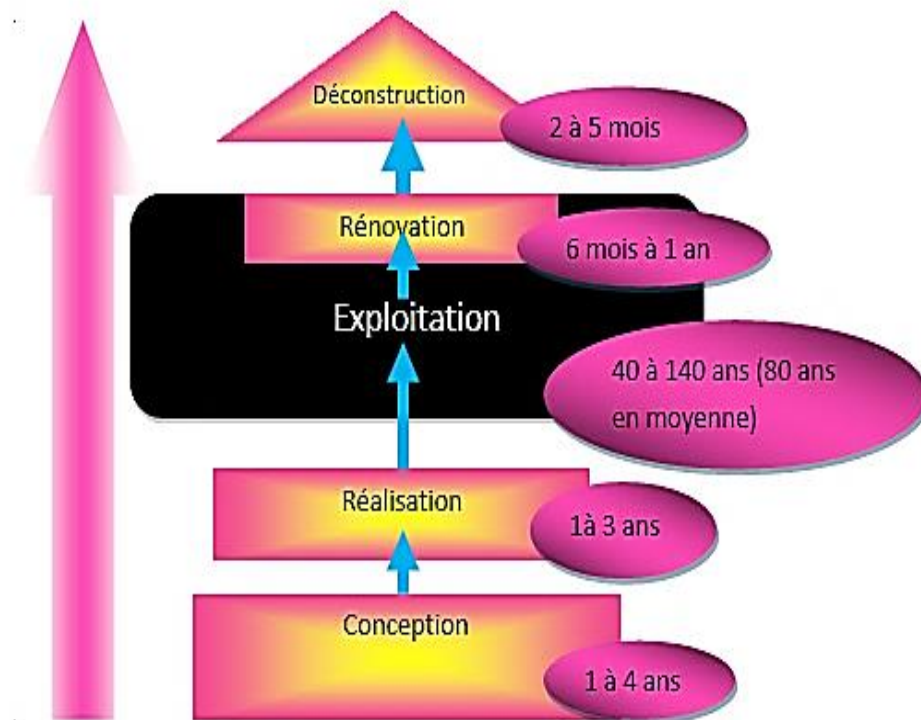


Fig. 19 : Phases de vie d'un bâtiment touristique

Telles sont les différentes phases de vie d'un bâtiment touristique, voyons maintenant l'importance et les spécificités de chacune d'elle :

I.4.6.1 La phase de conception

Cette phase comprend différentes études et étapes, à savoir : Étude de faisabilité ; Implantation ; Choix d'une assistance technique ; Programmation ; Esquisse ; Avant-projet sommaire (APS) ; Avant-projet définitif (APD)

I.4.6.2 La phase de réalisation ou de construction

Cette étape est très délicate car tout défaut de réalisation peut s'avérer irréversible par la suite pour le bâtiment hôtelier, elle peut minimiser sa qualité environnementale et amplifier par la même occasion les impacts environnementaux ; ces impacts sont liés à l'énergie lors de l'extraction des

matières premières, la fabrication des matériaux utilisés et aux transports de l'usine au chantier, mais il s'agit également de l'eau utilisée pour la fabrication des matériaux, les émissions des GES et l'épuisement des ressources naturelles.

I.4.6.3 La phase d'utilisation ou d'exploitation

Cette phase est cruciale dans la vie du bâtiment hôtelier, c'est surtout au sein de cette phase que ce bâtiment se comporte comme un organisme vivant, la qualité environnementale se manifesterà à ce stade, le seuil de cette dernière sera largement corrélé à la qualité des ambiances intérieures que ce bâtiment offre à ses usagers, à ses nombreuses consommations, au type de gestion adopté, ainsi qu'à la maintenance et à son entretien dont il a besoin au cours de cette phase de vie.

Les différents flux qui peuvent ressurgir durant cette phase sont :

- Le type et la quantité d'énergie employée pour le chauffage et la climatisation ;
- La consommation d'eau ;
- La production et la gestion des déchets domestiques ;
- Le transport quotidien des occupants.

I.4.6.4 La phase de rénovation

La rénovation est incluse dans la phase d'exploitation qui se manifeste tous les 30 ans à 40 ans. Elle peut inclure divers impacts environnementaux liés au changement des composants qui induit forcément une énergie pour leur fabrication.

I.4.6.5 La phase de démolition ou de déconstruction

C'est la phase de la fin de vie d'un bâtiment touristique, elle est également la plus courte en durée (2 à 5 mois). Le seuil d'impacts engendrés dépendra de la compétence des entreprises de démolition, du management de l'opération ainsi que des clauses prescrites dans le cahier des charges.

II. SPECIFICITE DES DIFFERENTS IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Les statistiques alarmantes et vertigineuses attestant la fragilité écologique due aux activités anthropiques sous différents formats, nous incitent à méditer sur cette problématique calamiteuse et à orienter nos réflexions vers les points névralgiques qui ont suscité l'ampleur des dégâts qui alimentent la problématique actuelle, il s'agit en l'occurrence des impacts dont pâtit l'environnement qui se présentent à différentes échelles et dont chacun est associé à un indicateur spécifique, certainement cela présente un cadre très vaste, ainsi nous nous intéresserons dans ce contexte de recherche à présenter certains impacts en mettant en avant ceux liés au bâtiment.

II.1 L'ECHELLE PLANETAIRE

II.1.1 L'effet de serre

La terre est enveloppée d'une couche mince qu'on appelle l'atmosphère, cette dernière est d'une importance sans équivoque pour la vie sur terre, en effet, les variations survenant dans cette couche affectent considérablement l'environnement, elle fait partie des cinq compartiments structurant la terre, en l'occurrence la pédosphère, la biosphère, l'hydrosphère et la lithosphère, néanmoins l'atmosphère est le compartiment le plus important pour le transport des polluants (Fig. 20).

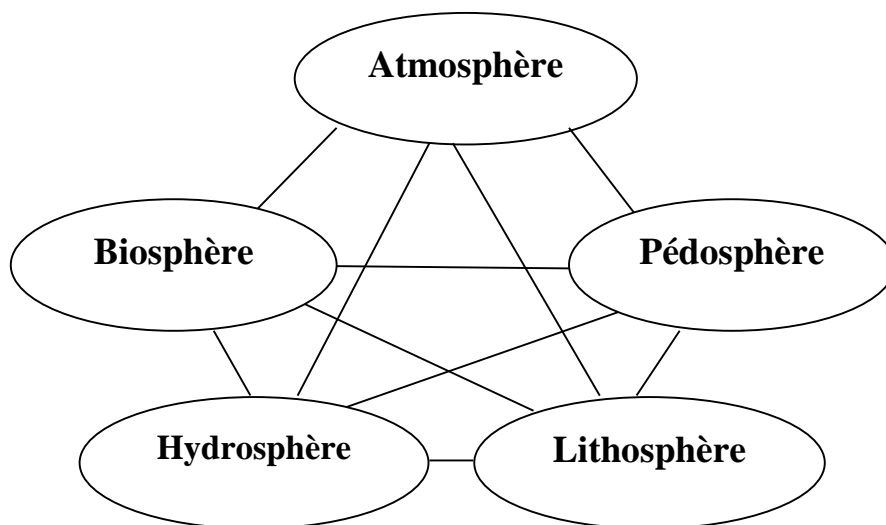


Fig. 20: Les cinq compartiments structurant la terre (source : Bliefert et Perraud, 2004)

Ainsi toute dégradation en cette couche conduit à des conséquences désastreuses pour l'environnement, on parle désormais de l'effet de serre et de ses gaz (GES) résultant de l'absorption des rayons infrarouges par l'atmosphère émis par la terre, modifiant ainsi le bilan énergétique de la planète. Or, c'est un truisme de répéter que sans la présence des gaz à effet de serre (GES) la terre serait inhabitable, sa température serait de -18° , leur présence amène celle-ci

à 15°, la problématique qui se pose est liée à leur concentration dans l'atmosphère qui dérègle le climat des planètes. Ces gaz affectent le bilan énergétique du système climatique, selon le mécanisme schématisé (Fig. 21)¹³.

Les gaz responsables de l'effet de serre d'origine anthropique sont le gaz carbonique (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O), l'ozone troposphérique (O₃), les CFC et les HCFC: gaz de synthèse responsable de l'attaque de la couche d'ozone, ainsi que les substituts des CFC: HCFC, PFC et SF₆. Ces gaz sont naturellement très peu abondants, mais du fait de l'activité humaine, la concentration de ces gaz dans l'atmosphère s'est sensiblement modifiée ; ainsi, la concentration en CO₂, principal GES, a augmenté de 30% depuis l'ère préindustrielle. Les effets combinés de tous les GES équivalents aujourd'hui à une augmentation de 50% de CO₂ depuis cette période (Peuportier, 2003).

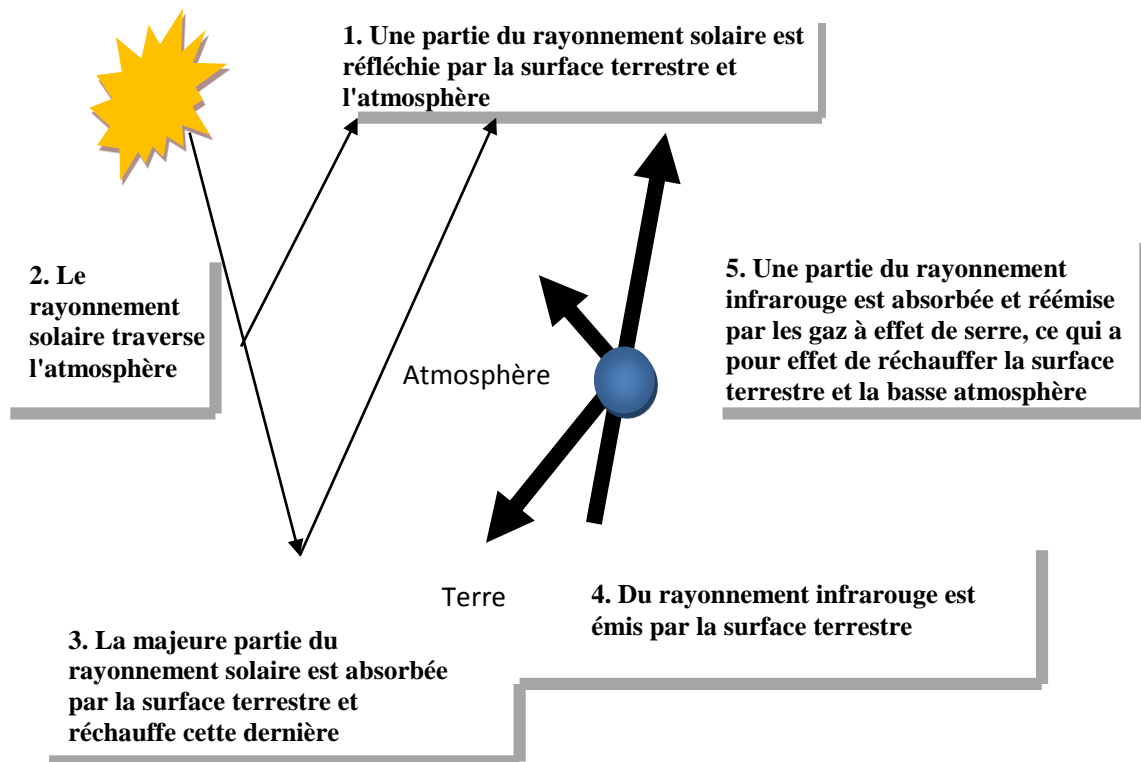


Fig. 21: Schéma simplifié de l'effet de serre (source : Minh, 1998)

¹³ exprimé déjà en 1824 par Fourier mais surtout connu depuis la fin du 19e siècle grâce à Arrhenius (OCDE, 1997 cité par Minh, 1998).

La conséquence directe de l'augmentation de concentration des GES est à multiple visages, d'une part il s'agit d'une augmentation vertigineuse de la température terrestre¹⁴ induisant des changements climatiques périlleux pour tous les êtres vivant sur terre, d'autre part, il s'agit de véritable élévation des niveaux des mers qui aura des conséquences dramatiques sur les villes côtières, il s'agit également de désertification de nombreux continents et un déplacement des isothermes sur la surface du globe à une vitesse conduisant à une inadaptation des espèces végétales et animales (Meunier, 2005).

Depuis l'ère préindustrielle, les réserves de CO₂ dans l'atmosphère ont progressé d'un tiers, soit un taux sans précédent au cours des 20 000 dernières années. Des traces présentes sur des calottes de glace démontrent que les concentrations atmosphériques actuelles dépassent la plage naturelle des 650 000 dernières années. Cette augmentation des réserves de CO₂ s'est accompagnée d'un renforcement de concentration d'autres gaz à effet de serre (PNUD, 2007). Les scénarios de GIEC¹⁵ pour le réchauffement global jusqu'à 2100 sont présentés dans la figure suivante (Fig.22).

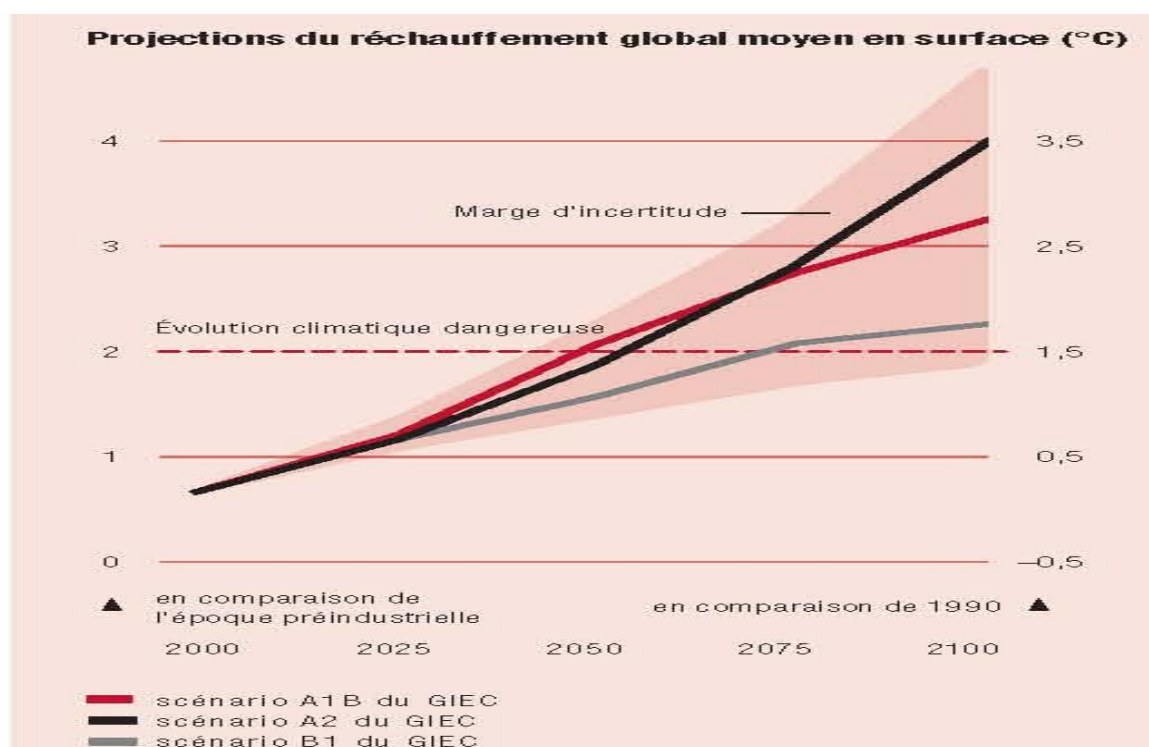


Fig. 22: Les scénarios GIEC pour le réchauffement global jusqu'à 2100¹⁶ (source : PNUD, 2007)

¹⁴selon le PNUD (PNUD, 2007) la terre s'est réchauffée de 0,7 °C au cours des 100 dernières années. En outre, la tendance linéaire du réchauffement pendant les 50 dernières années est égale à deux fois celle des 100 dernières années.

¹⁵ Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

¹⁶ Selon les scénarios actuels de GIEC (Fig. 22), le risque d'une augmentation de température de plus de 5c° représente plus de 50%, cela traduit la forte probabilité de ce risque d'augmentation de 5c° pour le monde au lieu de se cantonner à 2c°.

II.1.2 La destruction de la couche d'ozone

La destruction de cette couche d'ozone engendre des conséquences des plus nocives notamment pour la santé humaine, dans ce processus de destruction, la pierre est jetée sur les CFC, les chlorofluorocarbures, issus des activités anthropiques, et ayant diverses applications¹⁷. Ces derniers sont des gaz dont les molécules, atteignant la couche d'ozone, se décomposent par les rayons ultraviolets du soleil et libèrent un atome de chlore, ce dernier se dirige vers une molécule d'ozone en lui arrachant un atome d'oxygène ; résultat, deux molécules formées et une molécule d'ozone détruite, l'une de ces deux molécules formées (monoxyde de chlore) est caractérisée par sa grande instabilité, une caractéristique qui lui permet de libérer deux atomes, un d'oxygène et l'autre de chlore, ainsi ce dernier en se dirigeant vers une molécule d'ozone, va refaire une seconde fois le processus de destruction.

II.1.3 Épuisement des ressources

L'épuisement des ressources figure également comme un danger imminent pour la planète et ses ressources ; l'utilisation continue de ces dernières amène à leur raréfaction à une échéance plus ou moins proche, il s'agit notamment du pétrole dont les réserves sont estimées à 1600 milliards de barils, mais également du mercure, du cadmium, de l'étain, du nickel, du plomb, du zinc et du cuivre. D'autres combustibles comme le gaz ou l'uranium s'élève à 36000 tonne (40000 tonnes en 1995), dont 11000 au Canada, 7500 en Australie, 3500 au Niger et 2500 au Kazakhstan, en Ouzbékistan et en Russie (Peuportier, 2003).

Il s'agit également de la déforestation qui réduit excessivement le bois dont la première cause est le défrichage dans le but d'accroître les surfaces cultivées, ainsi la surface de la forêt tropicale a été réduite de moitié et 10 000 Km² disparaissent chaque année (soit 1% de la surface forestière totale, mais jusqu'à 6% en Afrique occidentale).

Dans cet engouement pour la destruction, le proverbe chinois « *Une génération plante un arbre, la suivante profite de son ombre.* » ne trouve plus sa place, l'homme ne se soucie guère aujourd'hui des conséquences désastreuses de son irrespect envers sa terre, de ces dernières on cite :

¹⁷comme frigorigènes pour réfrigérateurs et climatiseurs, gaz propulseurs de bombes aérosols, agents moussants pour la fabrication des mousses et agents de nettoyage pour équipements électroniques. Mais on trouve comme substitut les HCFC avec un PAO qui ne permet pas l'utilisation à long terme.

- ❑ Atteinte à la biodiversité, causant un péril pour les nombreuses espèces végétales et animales voire leur disparition totale pourtant si utile pour l'homme ;
- ❑ Changement climatique, en effet la disparition de la forêt, notamment amazonienne, est une cause manifeste de changement climatique à l'échelle locale et globale, engendrant une augmentation de température et une diminution de pluie ;
- ❑ Augmentation des quantités de carbone résultant du fait que la déforestation implique de brûler des milliers de troncs d'arbres abattus, manifestement cela contribue aux changements climatiques qui alimentent une problématique des plus épineuses de ce siècle.

II.1.4 Les atteintes à la biodiversité

Si le changement global s'intensifie, ses conséquences seront dramatiques pour la biodiversité, cette dernière a connu une profonde régression qui s'est amplifiée davantage avec la macrocéphalie humaine qui a fait disparaître depuis le XVII^e siècle 2.1% des espèces de mammifères et 1.3% des espèces d'oiseaux. Ceci nous pousse à connaître le lien relationnel entre le changement global et la biodiversité (Morand, 2006) :

- ❑ en terme de vitesse et d'accélération ; en effet, les processus de ces phénomènes ne se déroulent pas sur les mêmes pas de temps, et leurs vitesses n'est pas la même ; le temps n'est pas une variable isomorphe pour étudier les phénomènes qui nous intéressent ; ce point est particulièrement crucial quand nous voudrions comparer passé, présent et projection du futur ;
- ❑ en terme d'interaction : la biodiversité c'est d'abord des interactions entre des niveaux d'organisation du vivant (du génome à l'écosystème) où l'humain est un acteur important ;
- ❑ en terme de changement d'échelle : les interactions à un niveau d'organisation, ont des conséquences sur les interactions à d'autres niveaux, et réciproquement ;
- ❑ en terme de capacités adaptatives; qui pose le problème de l'adaptation des humains au changement de biodiversité.

La connaissance de ces liens nous enseigne au mieux la nécessité et l'urgence de la préservation de ce patrimoine naturel qui est la biodiversité dont les intérêts sont multiples :

- ❑ Sur le plan économique, elle nous procure la matière première de nos besoins quotidiens ; aliments, habillement et même de nos médicaments, étant donné que 60% des médicaments sont issus du règne végétal ;
- ❑ Sur le plan écologique, elle représente l'essence même et la condition vitale de l'équilibre naturel qui connaît aujourd'hui une perturbation inquiétante ;

- ❑ Sur le plan scientifique, elle représente un élément catalyseur de la recherche scientifique dans le contexte écologique, en effet toute atteinte à la biodiversité conduit à la régression des solutions de la biosphère aux problèmes futurs qui éventuellement se prolifèreront
- ❑ Sur le plan éthique et esthétique, elle permet l'épanouissement et la créativité grâce à la diversité et beauté qu'elle peut offrir si on saura la préserver.

II.1.5 Pollution et acidification des mers

Parmi les impacts environnementaux, on compte aussi la pollution des mers et des océans par des polluants très variés¹⁸. L'acidification engendre la modification de l'équilibre naturel de la mer susceptible de mettre en danger la santé de l'homme et surtout de nuire aux ressources biologiques, à la flore et à la faune marine¹⁹.

A l'heure actuelle, l'océan absorbe une quantité de dioxyde de carbone (CO₂) sans précédent, provoquant ainsi inexorablement son acidification menaçant toutes les espèces marines qui s'y trouve. Les résultats initiaux des observations, des recherches et des modèles conduits jusqu'ici indiquent que dans un monde à fort taux de CO₂ (Magdelaine, 2005) :

- ❑ L'océan serait globalement plus acide, et serait également plus stratifié dans les hautes latitudes, ce qui conduit à des changements nuisibles à beaucoup d'espèces en altérant la composition des communautés biologiques dans une proportion et d'une façon encore inconnues à ce jour.
- ❑ L'élévation des températures - combinées avec une augmentation du CO₂ et une diminution du pH - constitue une menace sérieuse pour les récifs coralliens, voire leur élimination totale.

¹⁸tels que le pétrole, les hydrocarbures, les effluents industriels, les métaux lourds, les détergents et la liste est encore longue

¹⁹on signale dans ce contexte la disparition de nombreux oiseaux marins, tout en sachant en outre qu'un sac de plastique tue chaque année un million d'oiseaux de mer et 100000 poisson marins.

II.2 L'ECHELLE REGIONALE

II.2.1 Les effets liés à la pollution de l'air

II.2.1.1 L'acidification

L'un des effets de la pollution de l'air généré en premier lieu par les activités humaines est l'acidification ; par laquelle tous les composés solubles dans l'eau sont de nouveau transportés sur la terre, il s'agit du nitrates et du sulfates et même de l'acide nitrique à l'origine le dioxyde de soufre avant transformation, ainsi l'intensité de la pollution dépend relativement des précipitations ; plus celle-ci est constituée de gouttes fines, plus elle entraîne des polluants ; ces derniers vont toucher directement les aiguilles et les feuilles des arbres en altérant leur couche de cire protectrice et en entraînant un lessivage du calcium et du magnésium présents dans la composition de la chlorophylle, ainsi que les éléments nutritifs du sol (calcium, magnésium, potassium).

Le lessivage s'entraîne de deux manières :

- ❑ Les composés peuvent être entraînés sous forme de dépôt humide par les gouttes de pluie (ang : wash out) ; ils sont alors absorbés par l'eau de pluie comme dans le cas du lavage de gaz ;
- ❑ Les polluants peuvent être aussi transportés par la pluie, adsorbés sur des particules, qui ont agi comme des germes de condensation vis-à-vis des gouttes d'eau dans les nuages (ang : rain out).

Les polluants responsables de ce phénomène sont émis par différentes sources, en l'occurrence le dioxyde de soufre qui est émis principalement par la combustion énergétique et industrielle, en outre,- le transport routier est le premier responsable des oxydes d'azotes à côté de la production industrielle, d'autre part, l'ammoniac figure parmi les polluants les plus éminents dans le contexte de l'acidification, ce polluant a pour origine principale l'agriculture. D'autres polluants, comme l'acide chlorhydrique, participent également à l'acidification mais leur intervention est beaucoup plus faibles que ceux cités précédemment.

II.2.1.2 Dépérissements forestiers nouveaux

Ce phénomène se manifeste dans les forêts en provoquant une série d'aspects préjudiciables pour ces dernières, citons entre autres : leur décoloration, la perte de leurs aiguilles et de leurs feuilles, éclaircissement de leurs cimes, des chutes de feuilles en été, pousses raccourcies ou névrosées et des fissures aux écorces. Les émissions du dioxyde de soufre, même de courte durée entraîne une pollution intense des feuilles et des aiguilles sous forme de dépôt sec . Il importe de savoir en

outre, que les causes de dépérissement des forêts ne sont pas encore élucidées, vu la multiplication des facteurs qui s'interagissent et provoquent ainsi ce phénomène.

II.2.1.3 Le smog

Le smog est une forme de la pollution particulièrement désagréable et directement perceptible, ce terme est issu des mots anglais « smoke », fumée et « fog », brouillard, un néologisme inventé par Henry Antoine Des Vœux en 1905 pour décrire le mélange de brouillard et de fumée qui accablait périodiquement Londres et les autres grandes villes d'Europe. Il est constitué d'une dispersion de composés solides et liquides dans l'air, qui prend naissance à travers des processus thermiques et/ou chimiques et des phénomènes de condensation. Il est parfois invisible car certains polluants sont des gaz ou des particules si fines qu'il est impossible de les voir à l'œil nu. mais parfois il est visible et se présente sous forme d'un voile brumeux.

Une exposition prolongée au smog est très nuisible aux êtres vivants²⁰, on peut résumer cependant les conséquences de l'effet du smog sur la santé, il s'agit à fortiori de :

- Cause des problèmes respiratoires et des maladies pulmonaires ;
- Aggrave les symptômes de maladies pulmonaires comme l'asthme et la MPOC ;
- Aggrave les symptômes de la maladie cardiovasculaire (du cœur) ;
- Des crises cardiaques chez certaines personnes (ayant des problèmes cardiaques) ;

II.2.2 Les effets liés à la pollution de l'eau

La terre est recouverte de grandes parties d'eau dont la surface a atteint environ 70% revêtant trois états ; liquide, solide et gazeux, on appelle cette enveloppe aqueuse l'hydrosphère, elle se présente sous forme d'océan, de lacs, de cours d'eau, de nappes phréatiques, de glaces polaires et de glaciers. Moins de 3% de l'hydrosphère se trouvent sur les continents sous forme de glace, de neige, de lacs, de fleuves ou de nappes phréatiques ; plus de 95% de l'eau se trouvent dans les océans (Bliefert et Perraud, 2004), ainsi les réserves en eau se répartissent entre plusieurs réservoirs (Tab. 4) qui revêtent de nombreux aspects importants dans la vie des hommes, or cette eau se fragilise et se salie mettant en péril l'essor de la planète,

²⁰en 1952 durant 14 jours de smog, environ 4000 personnes (âgés de plus de 45 ans et nourrissons d'un an et moins) ont trouvé la mort.

Tab. 4: La réserve en eau de la terre- au total 1409.10^6 km^3 ^{source} : (source : Bliefert et Perraud, 2004)

Domaine de l'hydrosphère	Volume de l'eau (en 10^6 km^3)
Les mers	1370
La glace et la neige (pôles entre autres)	29
Les nappes phréatiques	9,5
Eaux de surface (lacs et fleuves)	0,13
Atmosphère	0,013
Biosphère	0,0006

De nos jours, les effets liés à la pollution de l'eau alimentent une problématique majeure dont dépend amplement l'essor de la planète et de l'humanité avec, il s'agit principalement de :

II.2.2.1 La dystrophisation

La dystrophisation est l'enrichissement de l'eau en éléments nutritifs, notamment en composés de l'azote et/ou du phosphore, ce qui accélère le développement des algues et des végétaux d'espèces supérieures mais cette accélération n'est pas sans conséquence, elle entraîne un déséquilibre des organismes présents dans l'eau dont la qualité va se dégrader également. À contrario, l'eutrophisation est un processus similaire d'enrichissement des eaux en sels minéraux, mais qui se fait lentement dans des conditions naturelles sur une échelle géologique de temps (Peuportier, 2003).

Ainsi, les algues qui vont se développer suite à la dystrophisation vont créer une sorte de voile empêchant la lumière de pénétrer dans couches des eaux profondes ce qui entraîne une réduction de la photosynthèse et de l'oxygène. D'autre part, le peu d'oxygène produit est partagé entre des algues mortes et les organismes supérieurs ce qui le rend insuffisant entraînant la mort de ces derniers. Par ailleurs, l'eau peut prendre une couleur bleue ou verte due à l'apparition d'algues ayant ces couleurs, on parle alors de *fleurs d'algues* ou de *fleurs des eaux*, la dystrophisation peut conduire en outre dans des cas extrêmes à l'asphyxie des eaux ; si l'oxygène est consommé, la dégradation se poursuit de manière anaérobie (Bliefert, Perraud, 2004).

II.2.2.2 Les métaux lourds

Les métaux lourds sont des métaux ayant une densité $>5\text{g/cm}^3$, leur présence est possible dans les différents compartiments de l'environnement ; air, eau et sol. Les êtres vivant dans ces derniers se voient menacés lors de la combustion de différentes ressources telle que le pétrole, le charbon et le bois qui contiennent des quantités différentes de métaux lourds ; ces derniers vont se propager dans l'environnement sous forme de traces ce qui présente un danger pour tous les être vivant surtout s'il s'agit des métaux les plus toxiques tel que : le plomb, le cadmium et le mercure. Le compartiment « eau », présente en outre une des plus grandes pollutions entant que réceptacle de

nombreuses réactions chimiques mais surtout entant que moyen de transport de ces métaux en les encastrant dans les chaînes alimentaires qui s'y retrouvent (algues, poissons...etc).

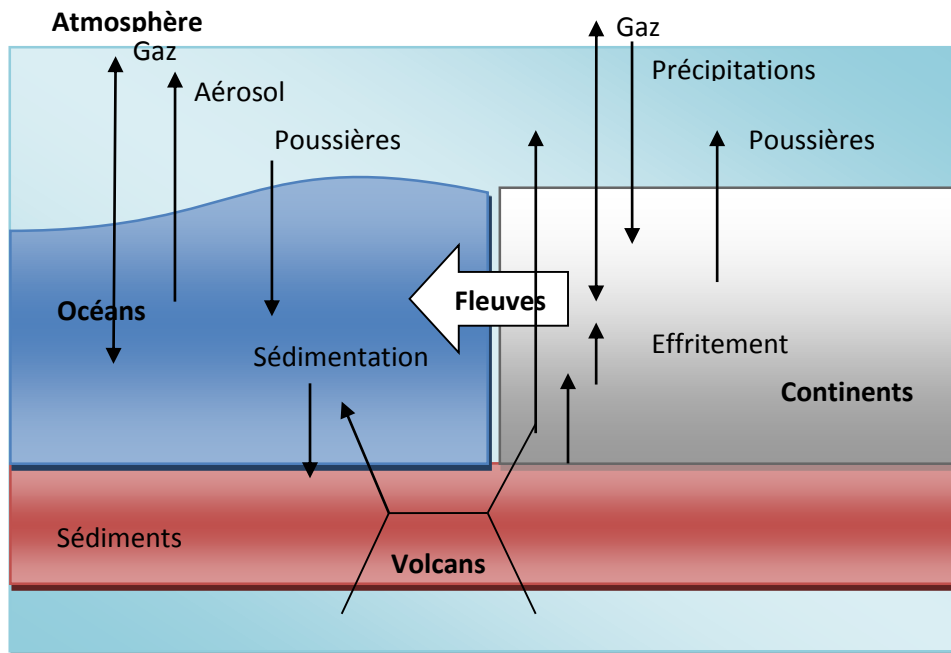


Fig. 23: Schéma simplifié du cycle des métaux (source : Bliefert et Perraud, 2004)

Toutefois, il importe de signaler, que certains métaux peuvent être essentiels pour les organismes (une plante ou un animal), ou peuvent être « non nécessaires », en fait, ils ne sont pas indispensables à la vie, mais ils peuvent perturber le processus métabolique même à l'état de traces (Bliefert et Perraud, 2004) (Fig. 24).

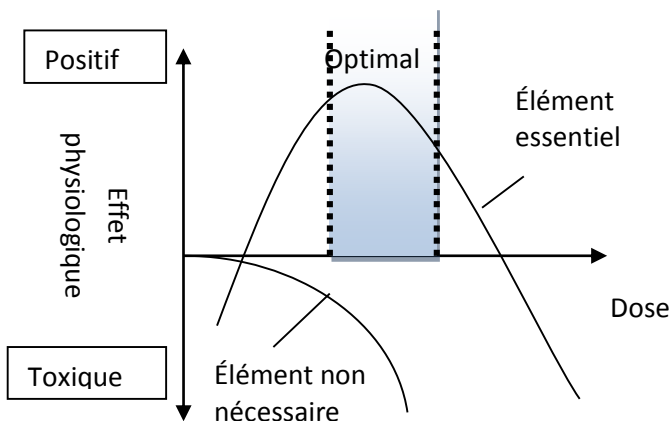


Figure 24: Relation dose-effet d'éléments essentiels (exp Zn, Cu) et non nécessaires (exp Cd, Pb) (source : Bliefert et Perraud, 2004)

II.2.2.3 Les eaux usées

Les eaux usées sont toutes celles, y compris les eaux de pluies, qui proviennent dans les canalisations des eaux usées et dont les propriétés naturelles ont subi des transformations suite à des activités domestiques agricoles ou industrielles. On distingue plusieurs catégories de polluants (Bliefert et Perraud, 2004) :

- ❑ Les matières en suspension (MES) : elles désignent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau et la troublent ;
- ❑ Les matières organiques (MO) : elles sont tous les déchets carbonés, tels que la cellulose produite par les papeteries, le sucre ou le lactosérum des industries agroalimentaires ;
- ❑ Les matières inhibitrices (MI) : on trouve parmi ces dernières des métaux ou des métalloïdes (mercure et plomb), des pesticides, notamment les organochlorés, certaines huiles minérales et certains hydrocarbures.

II.2.3 Les effets liés à la pollution des sols

Le sol est l'espace de vie de plusieurs espèces vivantes, il remplit en outre différentes fonctions, citons entre autres :

- ❑ C'est un grenier de substances nutritives organiques et inorganiques nécessaires pour la survie et le développement des plantes et les animaux du sol ainsi que pour les microorganismes, en outre, il importe de savoir qu'en dépit de la perte continue de ces substances à travers les plantes, le lessivage avec l'eau, l'effritement, l'érosion et l'émission de gaz, le sol arrive à les récupérer grâce à la minéralisation des substances organiques mortes, l'érosion des roches et grâce aux apports de l'atmosphère (Fig.25) ;

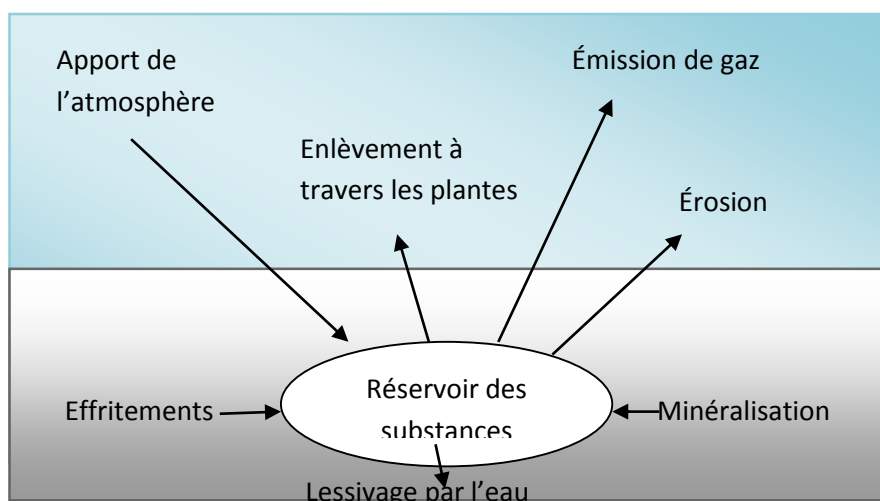


Fig. 25 : influence du stockage des substances nutritives dans le sol (source : Bliefert, Perraud, 2004).

- ❑ Il filtre l'eau de ses composants solides éliminant toute trace de pollution, des substances sont souvent renouvelées en son sein.

- ❑ il transforme des polluants émanant de l'habitat, de la circulation et d'agriculture ;

Pour toutes ces raisons, il s'avère crucial de protéger le sol de tout type de pollution susceptible de le fragiliser, de perturber sa composition et de nuire la biosphère qui y vive ; différents effets liés à la pollution du sol y sont concernés :

II.2.3.1 Substances polluantes

Le sol reçoit une quantité importante de substances dont beaucoup sont nuisibles pour les animaux, les plantes, les microorganismes et même pour les êtres humains. Cette pollution peut agir de deux manières :

- ❑ Un effet direct sur les plantes et dans certains cas les animaux et les êtres humains ;
- ❑ Un effet indirect sur les êtres vivants à travers la nappe phréatique et même les eaux de surface auxquelles peuvent parvenir ces substances par lessivage affectant ainsi ces eaux. Elles peuvent parvenir également aux animaux et plantes en même temps que leurs substances nutritives ou entant que nourriture (Fig. 26).

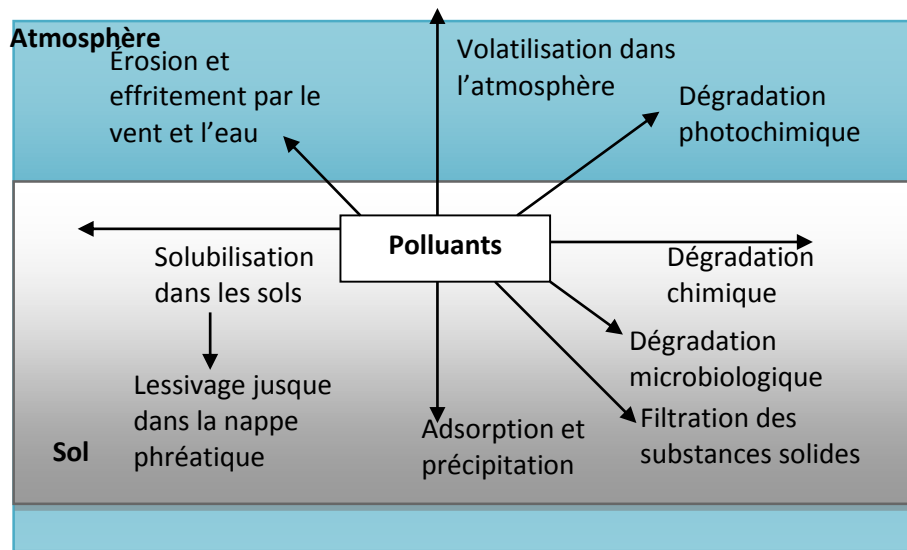


Fig. 26 : Comportement des polluants dans le sol (source : Bliefert et Perraud, 2004).

Il importe de signaler dans ce contexte, que l'importance de la pollution par ces substances est relative à sa persistance et à sa résistance, à la dégradation ou à sa disparition par lessivage ou autre procédé. Cela peut conduire à leur accumulation dans le sol causant ainsi fortement une perturbation des phénomènes naturels qui ont lieu en son sein. Les substances susceptibles d'avoir un potentiel de dangerosité pour le sol sont résumées dans le tableau suivant (Tab. 5).

Tab. 5: Quelques substances et groupes de substances avec un potentiel de dangerosité éprouvé pour le sol (source : Bliefert et Perraud, 2004)

Substances avec un potentiel de dangerosité éprouvé, qui sont largement répandues et/ou ont des effets particulièrement nocifs	Substances avec un potentiel de dangerosité éprouvé, mais avec une importance locale
Arsenic	Chrome
Aluminium	Thalium
Mercure	Cobalt
Plomb	Uranium
Zinc	Acide hydrofluorique, fluorures
Nickel	Cyanures
Cuivre	Huiles
Acide nitrique/nitrates	Phénols
Acide sulfurique/sulfates	Aromatiques nitrés
Polychlorobiphényles (PCB)	Hydrocarbures aromatiques, en particulier benzène, toluène, naphthalène
Polychloroterphényles (PCT)	
Polychloronaphtalènes (PCN)	
Hexachlorobenzène (HCB)	
1,1,1-trichloro-2,2-bis (4-chlorophényl)-éthane (DDT) et dérivés	
Pentachlorophénol (PCP)	
Hexachlorocyclohexane (HCH)	
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	
Hydrocarbures chlorés volatils (trichloroéthane, perchloroéthylènes)	
Dibenzodioxines polychlorées (PCDD) et dibenzofuranes polychlorés (PCDF)	

Les pollutions apparaissent dans le sol de différentes manières par déposition sèche, à travers l'air, ou bien par déposition humide, à travers les précipitations. L'acidification du sol est provoquée de cette manière à travers un apport important de composés acides.

II.2.3.2 Acidification du sol

L'acidification est un phénomène généré en grande partie par les pluies acides ; ces dernières deviennent ainsi suite à l'émission dans l'air des gaz acides comme SO₂ et NO_x qui se dissolvent dans les gouttes de pluie augmentant ainsi leur PH qui était à l'origine voisin de 5,6. Le sol devient ainsi très acide ce qui provoque une diminution de croissance des plantes ce qui rend le sol infertile, par ailleurs ce phénomène conduit également au dépérissement forestier.

II.2.3.3 Métaux lourds

Les métaux lourds parviennent également aux chaînes alimentaires en se fixant dans les argiles, leur concentration peut être de plusieurs puissances de 10 à celles trouvées dans l'eau ou dans l'air. Cela peut aller plus loin qu'une plante ou un animal ne puisse plus servir de nourriture pour l'homme (Bliefert et Perraud, 2004).

la propagation dans l'environnement des métaux lourds suit un trajet qui implique différents éléments en affectant à la fin les hommes, les plantes et les animaux (Fig. 27).

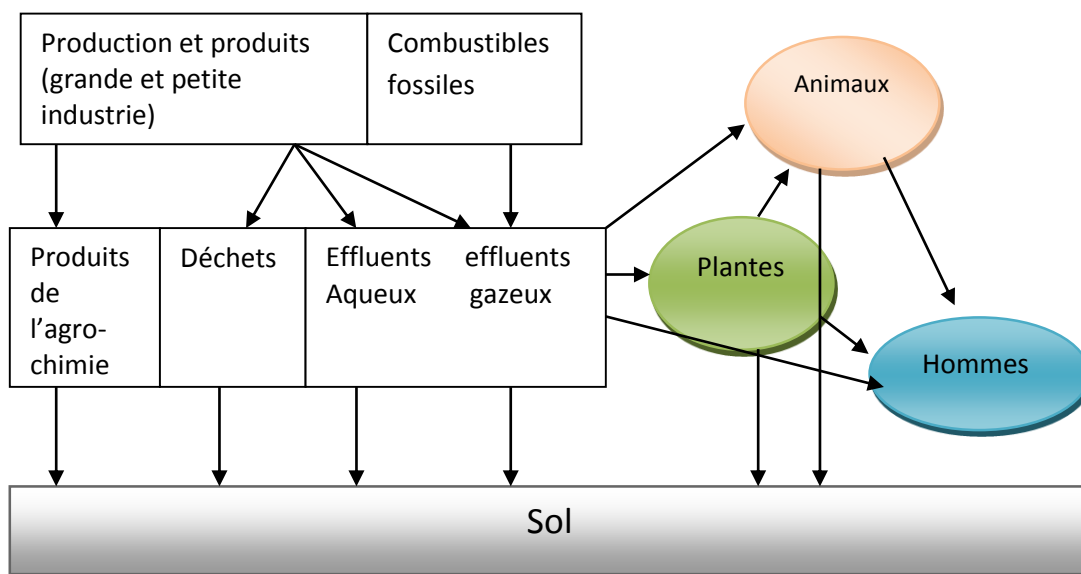


Fig. 27: Trajets des métaux lourds dans l'environnement (source : Bliefert, Perraud, 2004).

D'autre part, la teneur en métaux lourds diffère selon les régions ; elle est plus légère dans les sols des régions rurales que ceux des régions urbaines et industrielles, les concentrations de ces métaux dans ces différentes régions se situent à peu près dans un rapport 1 :10 :100 (Tab. 6).

Tab. 6: Teneur en métaux lourds dans les sols de différentes régions (source : Bliefert ; Perraud, 2004).

Région	Pb	Cd	Zn
Teneur en métaux lourds dans le sol (en mg/kg)			
Rurale	40	1	40
Urbaine	300	4	1300
Industrielle	2000	70	6000

La quantité de ces métaux est en outre dépendante de la composition du sol ; un sol léger et sableux a un pouvoir d'adsorption faible vis-à-vis des métaux lourds, étant donné qu'il ne contient qu'une quantité limitée d'argile susceptible de fixer ces métaux, comparés aux sols lourds considérés comme un bon refuge pour ces métaux vu leur grande composition argileuse à laquelle se fixent ces derniers.

II.2.3.4 Les déchets

Un déchet est toute substance ou objet abandonné ou destiné à l'élimination pour une raison de santé publique. Toutefois l'abandon n'est pas un critère de distinction des déchets, puisque ces derniers se caractérisent également par leur mobilité. Une vieille maison n'est pas un déchet mais ses décombres le sont. Il existe plusieurs types de déchets, classés selon leurs effets sur l'environnement et la santé:

- Les déchets toxiques: sont considérés comme étant les plus dangereux ;
- Les déchets ménagers : sont appelés également des déchets banals qui peuvent polluer l'air, le sol et l'eau ;
- Les déchets inertes: ils sont sans odeurs, non fermentescibles et non toxiques ;
- Les déchets ultimes : ces derniers constituent un nouveau concept, il s'agit des déchets qui ne peuvent plus faire l'objet d'une valorisation ou d'un traitement.

Les déchets ont donc une origine, un trajet, un cycle et un aboutissement, ce dernier représente un impact considérable sur les différents compartiments de l'environnement et par conséquent sur la santé des hommes (Fig. 28).

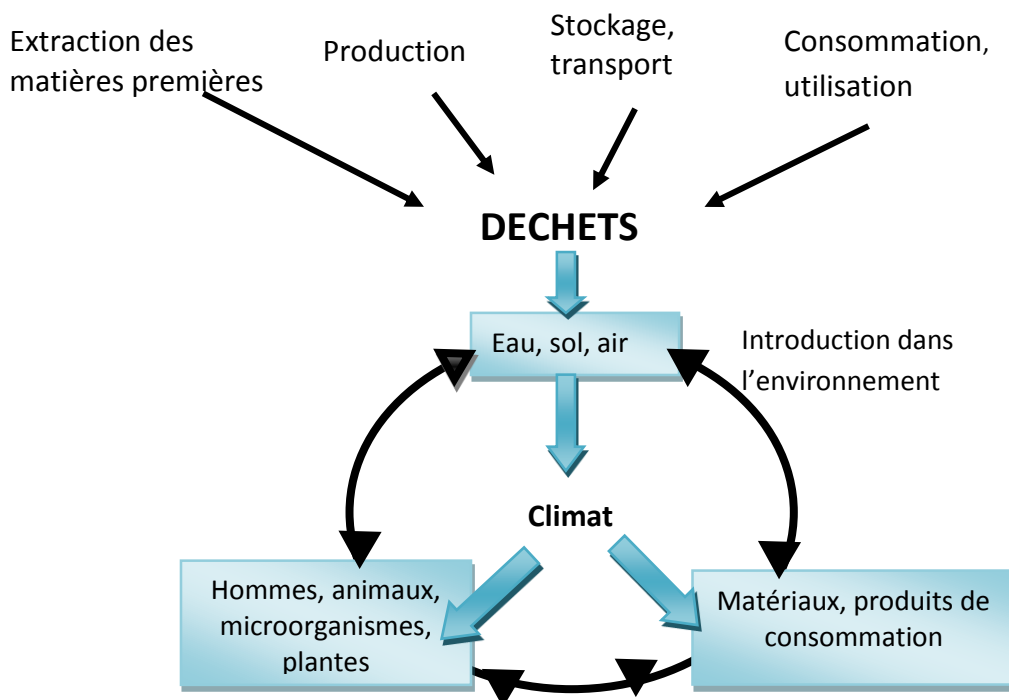


Fig. 28 : Origine des déchets et leur interférence dans l'environnement (source : Bliefert et Perraud, 2004).

La durée de vie des déchets varie selon leur type, certains peuvent aller jusqu'à 4000 ans (Tab. 7), c'est pourquoi il est important de réduire leur formation afin de minimiser leurs effets néfastes sur l'environnement.

Tab. 7 : Persistance de différents types de déchets (source : Peuportier, 2003)

Types de déchets	Estimation de la durée de vie
Trognon de pomme	Quelques jours à 6 mois
Mouchoir en papier	3 mois
Ticket de bus	3 à 4 mois
Corde en chanvre	3 à 4 mois
Mégot sans filtre	1 à 2 ans
Allumette	6 mois
Chewing gum	5 ans
Planche de bois	13 à 15 ans
Boîte de conserve en fer	10 à 100 ans
Briquet jetable	100 ans
Canette en aluminium	200 à 500 ans
Sac en plastique	450 ans
Bouteille en plastique	100 à 1000 ans
Bouteille en verre	4000 ans

Les déchets naissent lors des procédés de production qui nécessitent des matières premières, des matières auxiliaires et d'autres composés qui conduisent systématiquement à leur production (Fig.29), de même que lorsqu'un produit est utilisé pour satisfaire un besoin quotidien domestique ou industriel, tout compte fait, les produits qu'on utilise aujourd'hui créent les déchets de demain.

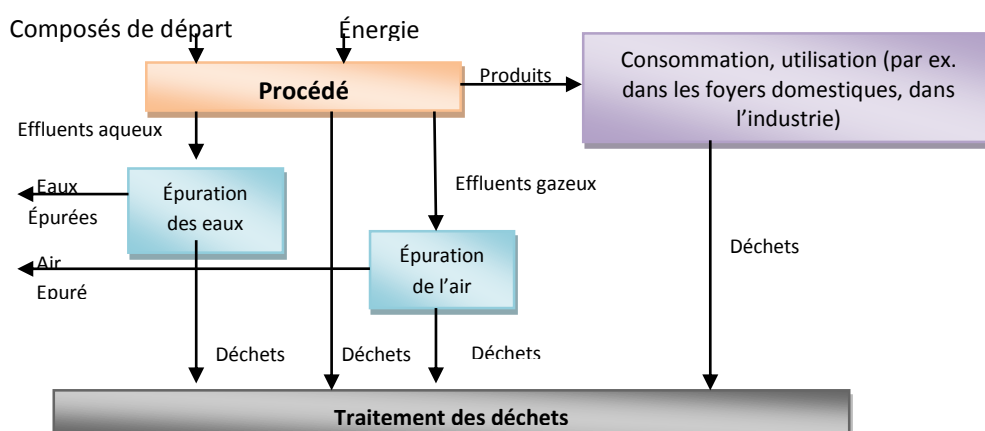


Fig. 29: contribution d'un procédé industriel et des produits, à la formation de déchet (source : Bliefert et Perraud, 2004)

Sachant enfin la grande interdépendance entre la production, l'utilisation, la consommation des produits, leur recyclage et le traitement des déchets (Fig. 30)

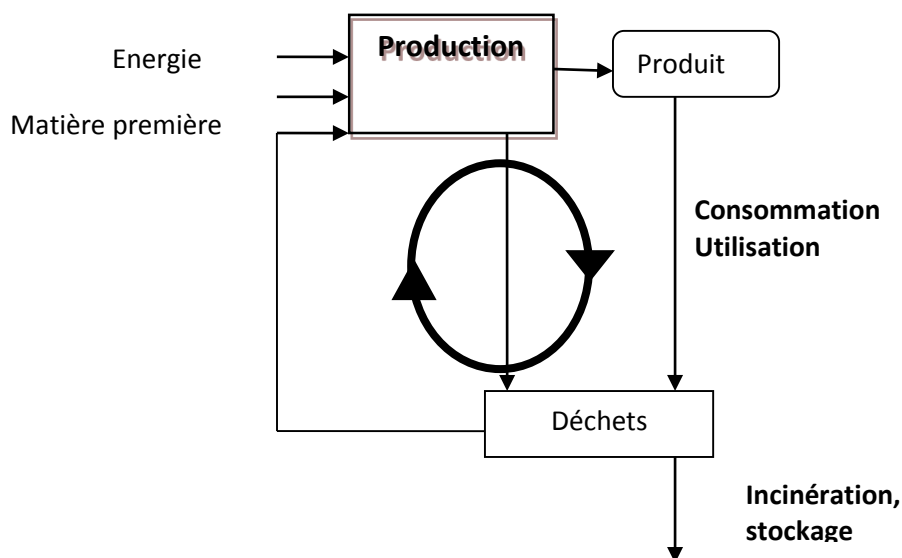


Fig. 30: Interactions entre la production, la consommation, l'utilisation, le recyclage et le traitement (source : Bliefert et Perraud, 2004).

II.2.3.5 Sites pollués

D'autres pollutions peuvent avoir lieu et affecter ainsi les constituants du sol et déséquilibrer les phénomènes naturels qui s'y créent en son sein, il s'agit entre autres des sites pollués, ces derniers sont des sites qui du fait, d'anciens dépôts de déchets ou d'infiltration de substances polluantes, présentent une pollution susceptible de provoquer un risque pour l'environnement ou la sécurité des personnes²¹.

Il s'agit également des sites contaminés, sur lesquels, dans le passé, il y'a eu une introduction importante de substances polluantes dans le sol affectant ses composants et ses substances nutritives. Ces pollutions ont également un impact sur la nappe phréatique ainsi que sur l'utilisation ultérieure du terrain et son environnement immédiat.

La figure suivante (Fig. 31) récapitule les effets néfastes des sites pollués sur les plantes, les animaux et les êtres humains qui se propagent à travers les trois compartiments de l'environnement : l'air, les eaux d'infiltration et la nappe phréatique.

²¹ d'après le MATE ; *Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement*

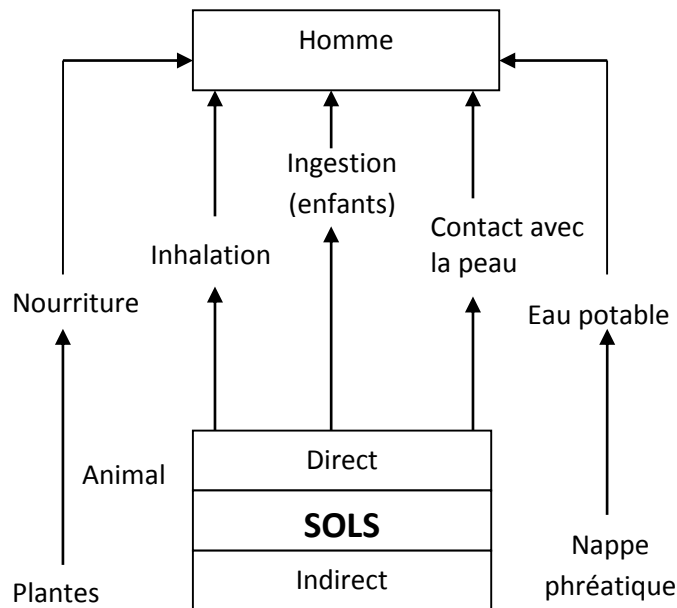


Fig. 31: Pollution possible à partir des anciennes décharges et des anciennes plates-formes industrielles (source : Bliefert et Perraud, 2004).

CONCLUSION

Nous avons constaté dans ce chapitre, que l'environnement se heurte à une grande problématique liée aux bâtiments et aux activités anthropiques qui génèrent des impacts à différentes échelles affectant différents compartiments de l'environnement et dont l'effet peut être non seulement nuisible mais désastreux pour tous les êtres vivants.

Face à cela, plusieurs opérations ont été menées, afin de minimiser ces impacts négatifs dont la dangerosité ne cesse de s'amplifier, ces dernières vont être objectivement étudiées dans le chapitre suivant qui va se focaliser sur les réponses internationales face aux enjeux et impacts environnementaux en mettant en exergue les méthodes et outils d'évaluation environnementale qui ont été adoptés afin de mettre fin à la délinquance environnementale constatée à travers une réduction des impacts environnementaux.

Chapitre II

REPONSES INTERNATIONALES AUX ENJEUX ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX :

Éléments de réflexion sur les méthodes et outils d'évaluation environnementale

« L'homme n'a pas tissé la toile de la vie, il n'est qu'un fil de cette toile. Quoi qu'il fasse à la toile, il le fait à lui-même. »

Chef Seattle, 1854

INTRODUCTION

Face aux différents enjeux et impacts environnementaux étudiés précédemment, des réponses susceptibles d'apporter une contribution majeure dans la réduction des impacts environnementaux des bâtiments et la préservation de l'environnement ont été initiées par plusieurs pays, dans ce contexte, l'Algérie s'est engagée à réaliser une production nationale d'électricité de 27% grâce aux énergies renouvelables, à réduire de 9% sa consommation nationale d'énergie à l'horizon 2030 (Boisgibault, 2015), et de 7% ses GES à partir de 2020 (Rainfroy, 2015) afin d'atténuer les changements climatiques, mais cela doit passer par une évaluation pertinente du bâtiment qui explique une grande part dans cette altération environnementale.

Ce présent chapitre s'intéresse donc aux différentes méthodes et aux outils d'évaluation environnementale, nous le concluons par un retour d'expériences sur ces méthodes via des études expérimentales afin d'avoir une vision globale, objective et pertinente sur le choix que nous devons porter sur les méthodes et outils en question.

I. PORTEE DE L'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE DU BATIMENT

Il s'agira dans cette section de mettre l'accent sur certains axes des méthodes d'évaluation environnementale, dans un premier temps, nous définissons leur portée au sens global corrélée à leur importance dans le secteur du bâtiment, l'échelle spatiale et l'échelle temporelle inhérentes à notre méthode seront spécifiées dans cette section ce qui va nous permettre d'intégrer notre méthode dans un cadre bien précis, on abordera dans un second temps son processus d'élaboration et les différents acteurs qui y interviennent ; l'étude de ces axes sera perçue comme une introduction à une prospection de l'état de l'art lié aux méthodes d'évaluation existantes qui sera effectuée dans la seconde section.

I.1 IMPORTANCE DES METHODES D'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE

L'évaluation environnementale est très importante dans le contexte du bâtiment, elle permet de considérer ce dernier comme un élément évoluant dans le temps revêtant une disparité d'aspects, à la fois fonctionnels, matériels et techniques, de porter une réflexion objective sur différents volets liés au bâtiment tel que la programmation, la volumétrie et le choix des matériaux, et cela dès l'amont du projet tout en anticipant d'éventuels changements dans l'occupation du bâtiment ou dans son environnement contribuant ainsi à l'aspect évolutif de l'architecture.

Il importe également dans ce cadre de préciser que ces méthodes revêtent une nuée de critères à la fois quantitatifs et qualitatifs, on n'en recense plusieurs :

- Consommations énergétiques ;
- Production des déchets de différentes classes ;
- Les émissions toxiques, émissions des GES ;
- Les effluents liquides ;
- Pollution des différents compartiments de l'environnement en l'occurrence air, sol et eau ;
- Dégradation des écosystèmes ;
- Mais également les différents types de confort et la santé des usagers.

Il en ressort ainsi une évaluation pertinente du bâtiment dont le but majeur est la maîtrise des impacts environnementaux générés par ce dernier. Pour sa concrétisation, des outils sont conçus pour une utilisation durant les différentes phases de vie du bâtiment, d'autres sont spécifiques à des domaines précis, or, on signale que ces outils se concentrent à fortiori sur la phase de conception au détriment des autres phases, nous revenons sur ces outils dans les paragraphes suivants. Ainsi, nous pouvons récapituler l'importance de l'évaluation environnementale du bâtiment en ceci :

- Elle permet la maîtrise des impacts environnementaux générés par le bâtiment ;
- Elle permet une meilleure gestion énergétique du bâtiment ;
- Elle permet la maîtrise et ainsi la réduction de la production des déchets par le bâtiment ;
- Elle permet l'aboutissement à une écoconception du bâtiment ;
- Elle permet un choix judicieux d'alternatives vis-à-vis d'un matériau ou une conception ou une autre opération afférente au bâtiment ;
- Elle permet de repérer la phase de vie du bâtiment qui engendre le plus de pollution ce qui permettra de mieux intervenir ;
- Elle permet également de repérer le ou les matériaux les plus générateurs d'impacts environnementaux utilisés dans le bâtiment et ainsi aboutir au meilleur choix ;
- En outre, elle permet d'aider à prendre les meilleures décisions par les responsables du secteur du bâtiment dans différentes opérations.

Les apports d'une évaluation sont encore plus nombreux, il convient finalement de dire que pour réduire les impacts environnementaux engendrés par un bâtiment, celui-ci doit passer par une évaluation environnementale dont les outils à utiliser doivent être congrus aux spécificités qui lui sont intrinsèques et en diapason avec les visées attendues.

Signalons enfin, qu'en dépit de sa grande importance et son grand rôle dans le bâtiment qui aboutit à une anticipation comportementale par simulation et à une proposition de solutions types pour des problèmes pré-diagnostiqués, l'évaluation environnementale connaît certaines difficultés non encore résolues par ses méthodes, on s'évertuera d'y mettre fin par celle que nous allons proposer au fil de ce présent travail.

I.2 LES DIFFERENTS CONTEXTES D'UNE OPERATION D'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE

Une opération d'évaluation environnementale est issue de différents contextes qui renvoient à différents champs (social, économique, environnemental, etc..) et à différentes échelles (planétaire, régionale, locale et transversale).

La spécification de ces contextes dépend de la nature et de la taille des problèmes posés, plus précisément, les champs pluridisciplinaires sont corrélés aux spécificités inhérentes à la problématique posée, alors que l'échelle permet de limiter le champ d'intervention en définissant le point de vue à partir duquel la problématique posée sera traitée. En outre, certaines données peuvent être communes et donc partagées par plusieurs projets s'inscrivant dans une échelle donnée, de la même manière, d'autres données ne le sont pas et demeurent individuelles et propres à chaque projet qui s'inscrivent plutôt dans une échelle locale.

La figure suivante illustre ces différents contextes via des exemples sur des données communes et distinctes (Fig.32)

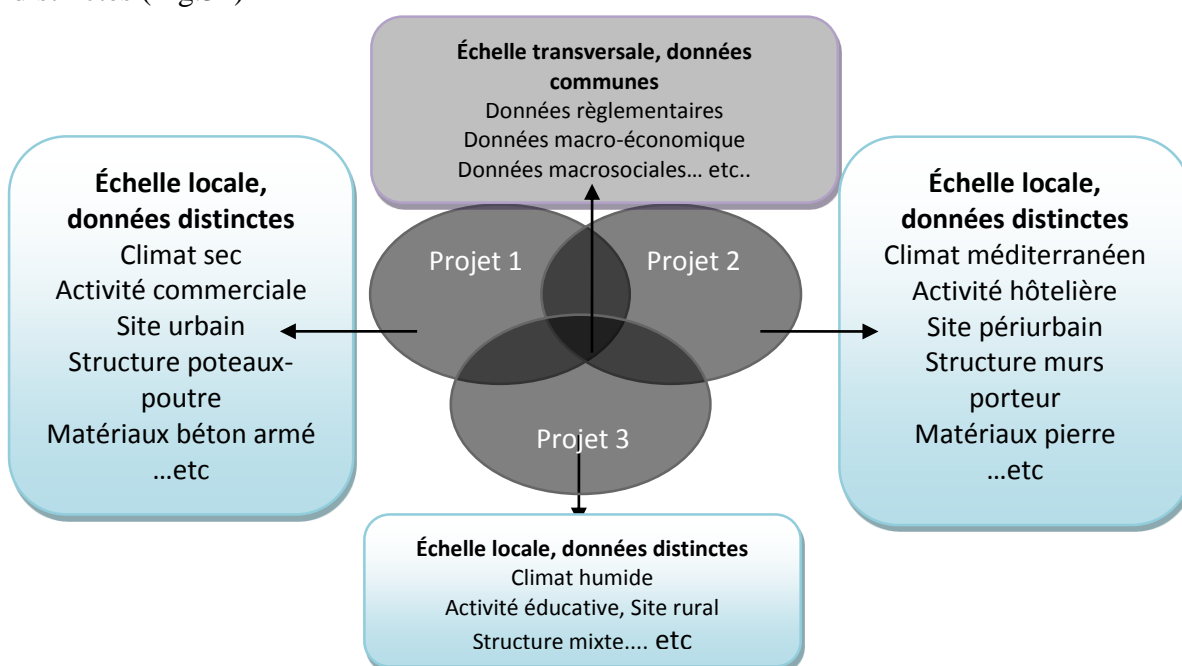


Fig. 32 : Les contextes d'une opération d'évaluation environnementale

La clarté et la précision du contexte dépend des différentes données appartenant aux différents champs et à différentes échelles, en effet plus le nombre de champs est important, et plus les données des différents projets sont nombreuses, ce qui permet au contexte d'être spécifique mais assez complexe, à l'inverse, s'il s'agit d'un champ transversal dominant, le contexte devient plus simple mais imprécis (Fig.33).

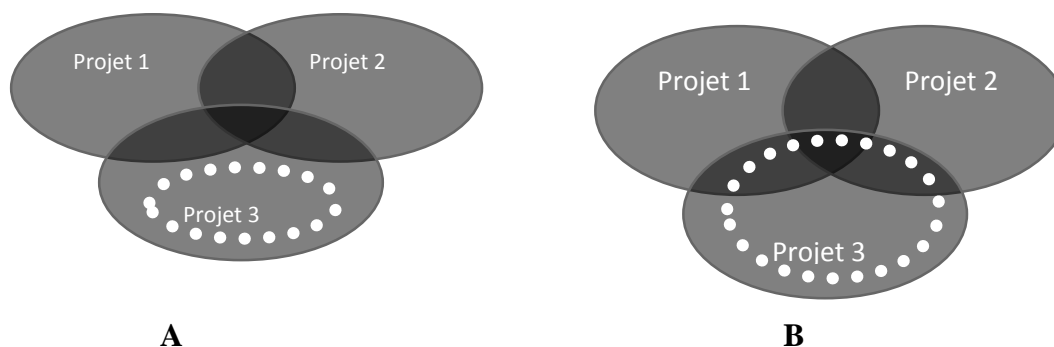


Fig. 33 : Corrélation entre contexte, échelle et données liées aux différents projets (source : Weissenstein et Bignon, 2010) :

- A : échelle transversale, données limitées, contexte simple mais imprécis
- B : échelle locale, données nombreuses, contexte complexe mais précis

Afin de palier à ces lacunes, notre méthode se veut être un compromis entre ces deux cas, en s'appuyant sur une approche transversale reposant sur un nombre suffisant de données permettant une clarté et une pertinence à notre évaluation, elle sera étudiée prospectivement dans les chapitres suivants.

I.3 LE CYCLE D'UNE DEMARCHE D'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE

Dans une démarche d'évaluation environnementale, existe une nuée de relations entre acteurs intervenants, impacts environnementaux, phases de vie et système d'exploitation du bâtiment, l'ensemble de ces relations ainsi établies crée un cycle définissant la démarche d'évaluation environnementale.

L'utilisateur, quel qu'il soit et selon sa convenance, intervient dans le bâtiment durant une phase de vie ou plusieurs, il exploite le bâtiment en respectant le cadre pour lequel il est présent, cette exploitation se fait via les services offerts par le bâtiment qu'il occupe (équipements énergétiques, équipements aérauliques, équipements sanitaires et équipements d'évacuations des déchets).

Une fois que ces services sont utilisés, nous pouvons les interpréter à des données par le biais d'indicateurs congrus vis-à-vis de chaque service qui indiqueraient les entrants (énergies, air neuf, eau...) et les sortants (les déchets, air vicié, eaux usées, impacts..) dans le bâtiment.

Nous pouvons résumer les étapes du cycle d'une démarche d'évaluation environnementale dans ce qui suit :

- ❑ Consommation des services offerts par le bâtiment ;
- ❑ Étude des différentes données et informations amenées par l'étape précédente ;
- ❑ Interprétation des données par des indicateurs ;
- ❑ Évaluation des impacts environnementaux via les indicateurs ;
- ❑ Informer le gestionnaire et sensibiliser l'occupant ;
- ❑ Réduire les impacts environnementaux ;
- ❑ Consommation écologique des services offerts par le bâtiment ;
- ❑ Participer à l'écoconception du bâtiment.

La figure suivante illustre le cycle en question depuis l'intervention des usagers jusqu'aux impacts engendrés par le bâtiment (Fig.34).

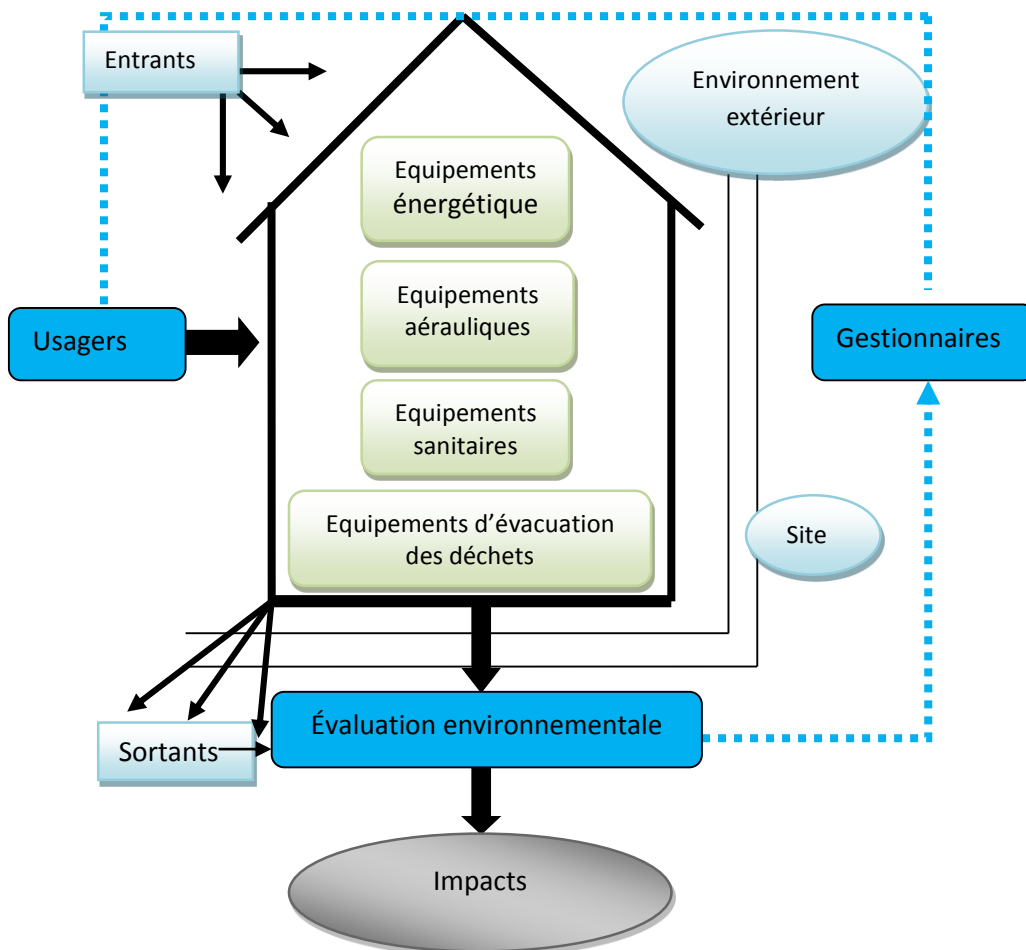


Fig.34 : Le cycle d'une démarche d'évaluation environnementale du bâtiment

I.3.1 Intervenants et aboutissants dans une opération d'évaluation environnementale

I.3.1.1 Les intervenants

Différentes catégories de personnes interviennent dans les différentes phases de vie du bâtiment touristique, ces personnes sont aussi différentes que multiples, d'autant plus que la diversité des fonctions exercées par le bâtiment touristique entraîne incontestablement une divergence d'usagers. Dans le contexte de notre étude, nous avons procédé à une identification des différents acteurs pouvant intervenir dans chacune des phases de vie du bâtiment touristique, il s'agit principalement de :

I.3.1.1.a Acteurs de la phase de conception

Cette phase se déroule principalement via les acteurs suivants :

- Les urbanistes : ils interviennent principalement dans le choix d'un site qui pourra s'intégrer au bâtiment touristique, ses fonctions, ses activités ;
- Les laborantins : ils sont chargés de l'étude exhaustive du sol ;
- Le maître d'ouvrage : il intervient pratiquement dans toutes les phases de vie du bâtiment touristique, ils sont fortement et largement impliqués dans le secteur touristique ;
- Les économistes et les financiers: ils interviennent principalement pour estimer et affiner les coûts de construction qui incluent ceux de l'exploitation, de maintenance y compris les coûts externes environnementaux et sociaux ;
- Les architectes : ils sont responsables de la conception architecturale du bâtiment touristique qui doit répondre à certaines exigences qui peuvent mettre en avant la qualité environnementale de ce dernier ;
- Les techniciens : ils interviennent dans le choix des procédés techniques durant toute des étapes de conception.

L'équipe de mise en œuvre devrait ainsi être multidisciplinaire.

I.3.1.1.b Acteurs de la phase de construction

Les principaux acteurs de cette phase sont les suivants :

- Les entreprises : on en trouve plusieurs ; de construction, de second œuvre, de menuiserie, de peinture, de recyclage, de déchets etc..
- Les techniciens : il s'agit notamment des chauffagistes, éclairagistes, ainsi que les installateurs de tous les équipements de ventilation et autres nécessaires dans la phase d'exploitation du bâtiment touristique.
- Les moniteurs d'environnement : ils prennent en considération tous les critères environnementaux afin de réduire les éventuels impacts du bâtiment.

I.3.1.1.c Acteurs de la phase d'exploitation

Les acteurs de cette phase sont les suivants (Fig.35) :

- ❑ Les usagers principaux : se sont manifestement les clients qui occupent le bâtiment touristique durant une période déterminée tout en exerçant des activités particulières et en faisant fortement appel au divers services fournis par le bâtiment ;
- ❑ Les administrateurs : ce sont des agents administratifs qui sont responsables de l'administration du bâtiment touristique, de la gestion financière mais aussi de la planification programmatique d'occupation de ce bâtiment. Lorsque ce dernier revêt un caractère public, cette catégorie d'acteurs peut être le propriétaire ;
- ❑ Les gestionnaires : ce sont ceux qui s'occupent de la gestion du bâtiment touristique. Parmi les tâches considérées par cette catégorie de personnes, on trouve la gestion des systèmes de chauffage (démarrage et arrêt), entretiens et achat des produits nécessaires pour cela, choix des entreprises. Ils sont responsables ainsi des grands choix de gestion, du management des équipements du bâtiment ainsi que de la performance technique et de la bonne prestation des services, ils ont pour rôle également d'exécuter les exigences des responsables administratifs ;
- ❑ Les agents d'entretiens : ces derniers sont sous les commandes des gestionnaires ; ils se chargent de l'entretien du bâtiment touristique, ils peuvent se répartir selon différentes spécialités (nettoyage, lavage, gestion des déchets...) ;
- ❑ Les agents de maintenance : cette catégorie d'intervenants se distingue par sa technicité étant donné qu'elle se charge du réglage, du suivi des équipements de chauffage et de ventilation ainsi que les éventuelles réparations qui peuvent resurgir ;
- ❑ Les visiteurs occasionnels : ce sont ceux qui utilisent le bâtiment sporadiquement.

I.3.1.1.d Acteurs de la phase de réhabilitation

- ❑ Les architectes : ils interviennent principalement dans la conception des façades seulement car le parti architectural n'est pas remis en cause ;
- ❑ Les acteurs de la phase de construction : car une opération de réhabilitation est plutôt analogue au processus de montage d'un projet de construction.

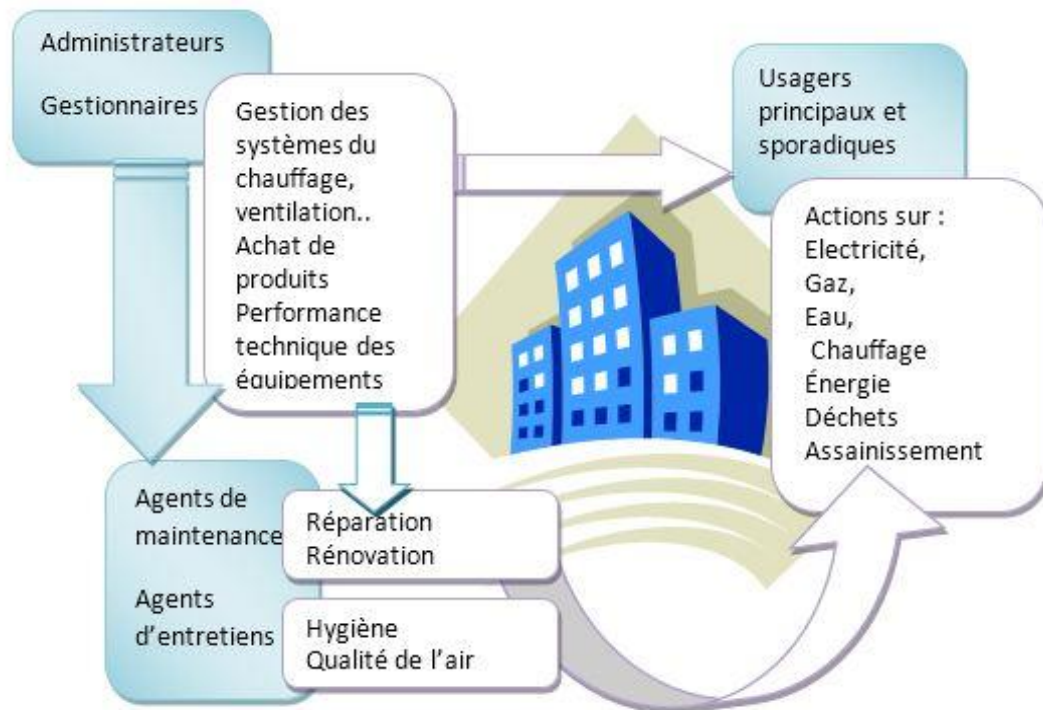


Fig.35 : Acteurs de la phase d'exploitation

I.3.1.1.e Acteurs de la phase de déconstruction

- ❑ Les entreprises de déconstruction : ce sont des entreprises spécialisées dans le démontage complet du bâtiment s'il ne s'agit pas d'une démolition, toutefois elles doivent être entourées d'architectes et de techniciens afin de mener l'opération dans les meilleures conditions notamment environnementales.

On peut comprendre ainsi que les vrais utilisateurs du bâtiment touristique sont les clients qui finalement sont assimilés aux habitants de ce bâtiment, quant aux autres catégories, ils ont un rôle gestionnaire, technique, administratif, de maintenance ou de service. Il y a finalement une grande interférence d'action entre ces différentes catégories, force est de constater que par leur appel aux services et fonctions du bâtiment, les usagers principaux s'impliquent considérablement dans le seuil de performance environnementale du bâtiment touristique.

Or, il est difficile de quantifier la contribution de chaque acteur dans la dégradation environnementale, nous pouvons cependant résumer l'action des usagers principaux sur le bâtiment durant la phase d'exploitation et les flux qui s'y génèrent dans le tableau suivant (Tab.8) :

Tab. 8 : Actions des principaux usagers sur le bâtiment touristique et flux générés²²

Catégorie d'action	Sous-catégorie d'action	Actions des usagers	Besoins pour l'utilisateur	Flux impliqués
Confort	Thermique	Utiliser le chauffage Régler le thermostat	Se chauffer Régler la température ambiante	Électricité, fioul, gaz, bois... selon le système de chauffage
	Aéraulique	Ouvrir les fenêtres Utiliser la ventilation mécanique	Aérer naturellement Réduire l'humidité Baisser la température	Électricité Gaz, fioul, bois en cas de sur ventilation
	Visuel	Allumer les lampes (lumière artificielle)	Éclairer un espace	Électricité
Restauration	Cuisson Restaurer	Utiliser des équipements pour cuisson	S'alimenter	Électricité, gaz, fioul, bois selon l'équipement choisi Déchets organiques
Loisir et distraction	Audiovisuel	Allumer le téléviseurs, radio..	Regarder la TV Écouter la musique	Électricité
	Célébrations occasionnelles	Utiliser des équipements audiovisuels	Fêter un événement	Électricité Gaz, fioul, bois
Circulation	Circulation verticale	Utiliser l'ascenseur	Se déplacer	Électricité
Sanitaire	WC SDB Cuisine	Utiliser les robinets d'eau utiliser les WC	Hygiène	Eau, électricité, combustibles, déchets organiques, produits d'entretiens
Autres	Différentes catégories selon les activités	Utiliser des équipements liés aux activités	Créer un environnement propice à l'activité	Électricités Déchets

I.3.1.2 Les aboutissants

Les aboutissants d'une opération d'évaluation environnementale concernent toutes les données et éléments engendrés par l'implication de tous les intervenants de cette même opération et cités précédemment, ils reflètent en outre la flexibilité qui caractérise l'opération en question vu son champs d'application et sa vocation multidisciplinaire, cependant les aboutissants en question sont afférents à différents critères liés au projet, on peut ainsi les spécifier par rapport à ces derniers:

I.3.1.2.a Aboutissants en fonction du moment d'intervention

Il s'agit en fait du moment d'application de la méthode d'évaluation dans le bâtiment, le moment choisi va définir les finalités attendues, ce critère est très important dans une opération d'évaluation, pour cela il importe de présenter un classement des moments d'intervention qui se présente comme suit :

- Intervention à priori: il s'agit d'une application de l'évaluation dès l'amont du projet, lors des phases d'étude et avant celles de la réalisation ;

²² inspiré du modèle de (Mandallena, 2006)

- Intervention concomitante : elle coïncide avec la réalisation du bâtiment ;
- Intervention à posteriori : ce moment concerne l'application de l'évaluation après la réalisation du bâtiment, et qui coïncidera avec l'exploitation et l'utilisation du bâtiment.

Les aboutissants qui en découlent sont résumés dans le tableau suivant (Tab. 9) :

Tab. 9 : Les aboutissants d'une opération d'évaluation environnementale en fonction du moment d'intervention

Critère	Classement des moments d'intervention de l'évaluation	ABOUTISSANTS
Le moment d'intervention	Intervention a priori	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Prise pertinente de décisions ➤ Défense ou rejet préalable du projet ➤ Défense de l'environnement
	Intervention concomitante	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Impacts environnementaux engendrés durant la phase d'exploitation réduits ➤ Contrôle de toutes les étapes de réalisation du bâtiment ➤ Erreurs de réalisation, susceptibles d'altérer l'environnement, réduites voir supprimées ➤ Utilisation de matériaux, dits écologiques, susceptibles de contribuer à la durabilité du bâtiment
	Intervention a posteriori	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Exploitation durable du bâtiment ➤ Constater les lacunes lors de l'exploitation du bâtiment ➤ Eviter les erreurs d'une exploitation pouvant compromettre la durabilité du bâtiment

La concrétisation de l'évaluation environnementale nécessite évidemment l'utilisation d'outils susceptibles de faciliter son application, mais il n'est pas toujours évident d'intercepter le type d'outil vis-à-vis d'un moment précis, ceci relève de l'hétérogénéité qui caractérise les outils en question, étant donné que certains de ces derniers peuvent être utilisés à divers moments du cycle d'une opération d'évaluation environnementale.

I.3.1.2.b Aboutissants en fonction de la nature de l'intervenant

Ce type de critère importe considérablement dans une opération d'évaluation environnementale, chaque intervenant contribue dans le cadre qu'il occupe au déroulement de l'opération et influe de ce fait sur tout le processus d'évaluation, ainsi, les aboutissants qui en découlent sont aussi nombreux et divers que les intervenants en question.

Le tableau suivant récapitule et nous donne une vision synthétique sur les aboutissants les plus importants qui découlent de différentes natures d'intervenants, ainsi, on peut établir une typologie d'évaluation en fonction de ces derniers (Tab. 10)

Tab. 10 : Les aboutissants d'une opération d'évaluation environnementale en fonction de la nature de l'intervenant

Critère	Typologie d'évaluation en fonction de la nature d'intervenant	Aboutissants
Nature de l'intervenant	Évaluation urbaine	➤ développement durable des quartiers, villes etc..
	Évaluation architecturale	➤ Bâtiment durable ➤ Impacts environnementaux réduits ➤ Altération environnementale écartée
	Évaluation gestionnaire	➤ Gestion du bâtiment améliorée ➤ Ressources humaines et financières rationnellement réparties
	Évaluation économique	➤ Évaluation pertinente des coûts d'exploitation, de construction ainsi que les coûts sociaux et environnementaux
	Évaluation décisionnelle	➤ Prise des décisions pertinentes vis-à-vis de l'exploitation et la gestion du bâtiment
	Évaluation environnementale	➤ Elle est si globale qu'elle rassemble tous les autres types d'évaluation

I.3.1.2.c Aboutissants en fonction de La nature du destinataire

Il s'agit des destinataires suivants :

- Gestionnaires : cet intervenant peut être aussi un destinataire ;
- Usagers du bâtiment : leurs actions diffèrent d'un usager à un autre, elles peuvent être intermédiaires entre une implication parfaite et globale et une influence indirecte sur le processus d'évaluation, en cela qu'ils font intervenir divers aboutissants ;
- Édiles : ils diffèrent suivant leurs tendances politiques et sociales ;
- Le grand public : c'est une catégorie de destinataires très importante dans une évaluation qui permet à travers une implication pertinente de se forger dans le cycle d'une évaluation et rendre celle-ci efficiente.

La nature du destinataire a son importance dans le cycle d'évaluation environnementale étant donné que la nature de l'aboutissant en dépend (Tab. 11)

Tab. 11 : Les aboutissants d'une opération d'évaluation environnementale en fonction de la nature du destinataire

Critère	Typologie d'évaluation en fonction de la nature du destinataire	Aboutissants
La nature du destinataire	Évaluation gestionnaire/ de control	➤ Efficacité de la gestion environnementale
	Évaluation globale/intermédiaire	➤ Contribution à l'exploitation durable du bâtiment
	Évaluation administrative	➤ Aide à la décision
	Évaluation informative/ de sensibilisation	➤ Grand public sensibilisé ➤ Formation des profanes sur la qualité environnementale du bâtiment ➤ Se forger une opinion sur l'importance d'une évaluation environnementale pour le grand public

II REPONSES INTERNATIONALES A LA PROBLEMATIQUE ENVIRONNEMENTALE

Nous nous focalisons dans cette section sur les outils d'évaluation environnementale, où nous allons faire un état d'art exhaustif de diverses méthodes qui ont été développées dans le cadre d'une évaluation environnementale d'un projet, quelle que soit son échelle ; du bâtiment à celle du quartier. La multiplicité des choix offerte par ces outils permet à l'évaluation de prendre plusieurs échelles de la plus simple via un questionnaire à la plus détaillée via une ACV.

II.1 TYPOLOGIE DES METHODES D'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE

Nous allons recenser dans ces paragraphes, les méthodes d'évaluation les plus utilisées pour évaluer les performances d'un projet sur différents aspects à fortiori les impacts environnementaux. En outre, il importe de savoir que l'ensemble des méthodes que nous allons présenter peuvent inclure un système de labellisation ou de cotation :

- Le système de labellisation : ce système définit les seuils et les performances à atteindre ;
- Le système de cotation : il définit les paramètres de quantification et de pondération.

II.1.1 Les méthodes de type check-list

Ce type de méthodes, appelées également les méthodes de contrôle, sont les plus connues et les plus simples à utiliser pour évaluer un projet, elles sont constituées d'un ensemble de listes comprenant des critères avec des listes de cases à cocher, ainsi, l'utilisateur associe à chaque élément du système de cotation un poids qui varie selon ses spécificités, une pondération de la cotation des éléments en question est nécessaire pour arriver au résultat final.

II.1.1.1 Typologie des listes existantes

Le tableau suivant récapitule cinq listes définies par (André et al. 2003) (Tab. 12) :

Tab. 12: Typologie de liste des méthodes de contrôle (source : André et al. 2003)

Type de listes	Descriptif
Liste simple	Énumération de points de contrôle servant à attirer l'attention du professionnel sur les points essentiels
Liste descriptive	Énumération des points de vigilance compléter d'informations sur les moyens de contrôle et d'optimisation
Listes avec seuils	Énumération des points avec des valeurs seuils minimales ou maximales permettant de les juger précisément
Liste avec échelle et pondération	Liste d'indices globaux calculés à partir de sous indices pondérés et bornés de 0 à 1. Les sous indices sont en général calculés subjectivement
Questionnaires	Ensemble de questions et leurs réponses, regroupés par catégories. Les réponses permettent d'établir les limites de la connaissance et d'apprécier les conséquences éventuelles du projet

II.1.1.2 Spécificités des méthodes check-list

Ces méthodes ont des avantages et des inconvénients qu'il importe de connaître :

- ❑ **Pour les avantages** : il s'agit surtout de la simplicité d'utilisation, l'adaptabilité et la rapidité d'évaluation, elles permettent en outre de faire des compensations entre les différents éléments de la liste, et de se rappeler des points essentiels de l'évaluation.
- ❑ **Pour les inconvénients** : il s'agit à fortiori de la connaissance détaillée exigée des éléments du projet à évaluer, elles présentent également un problème de lisibilité vu l'absence d'un référentiel commun et d'une étude commune des éléments, l'évaluation en elle-même est plutôt subjective et qualitative et ne reflète pas une objectivité détaillée de tous les points du projet, pour pallier à cela, il est nécessaire de recourir aux listes comportant des pondérations, des échelles et des seuils qui doivent être actualisées faute de quoi les listes risqueraient de devenir obsolètes. D'autre part, le nombre d'éléments à évaluer est limité aux impacts essentiels afin d'éviter toute complexité et ambiguïté de l'évaluation.

II.1.2 Les méthodes de labellisation

Ces types de méthodes sont des référentiels où un label est attribué à un projet, ce label représente le seuil de la qualité environnementale du bâtiment, cependant plusieurs démarches s'inscrivent dans ce cadre, telle que la démarche HQE que nous allons voir ultérieurement.

II.1.2.1 Les matrices d'impacts

Elles concernent à fortiori les activités qui se font au sein d'un bâtiment et leurs conséquences sur l'environnement, faisant ressortir ainsi une relation de cause engendrée par une action à effet reflétant un impact environnemental, Les matrices peuvent être génériques, sectorielles ou adaptées à un projet donné (Cherqui, 2005). Leopold (Leopold et al.1971) fut le premier ayant utilisé cette méthode et dont l'application concernait le recensement d'impacts d'un projet.

II.1.2.1.1 Typologie des matrices

On peut avoir plusieurs types de matrices selon les spécificités inhérentes à chacune, le tableau suivant répertorie les types en question (Tab. 13)

Tab. 13 : Typologie des matrices (source : Cherqui, 2005)

Types de matrices	Caractéristiques
Les matrices simples	Contiennent une indication d'interaction ou non
Les matrices descriptives	Contiennent un texte indiquant la nature, la grandeur, l'importance ou la signification de l'impact,
Les matrices numériques	Contiennent des nombres entiers ou des réels caractérisant l'impact (évaluation et importance),
Les matrices à symboles	Décrivent visuellement la valeur de l'impact (mineur, significatif, majeur).

II.1.2.1.2 Spécificités

Ce type de méthodes partage des avantages et des inconvénients similaires à ceux des méthodes de type check-list, mais plus encore, les spécificités inhérentes à ce type de méthodes sont les suivantes :

- Une évaluation plus détaillée du projet ;
- Complication éventuelle dans le traitement des informations ;
- Recours souvent à l’outil informatique ;
- Performantes pour l’intégration des interactions des activités du projet à évaluer ;
- Elles permettent la visualisation des impacts.

II.1.3 Les méthodes d’analyse du cycle de vie (ACV)

Ces dernières font partie des méthodes d’aide à la décision, leur objectif est l’évaluation des impacts environnementaux d’un objet ou de tout un système à travers différentes catégories (réchauffement planétaire, acidification, eutrophisation...), leur calcul complexe nécessite un recours à des outils et logiciels tel que le logiciel EQUER via des indicateurs. Ces logiciels se réfèrent à une base de données sur les matériaux, leurs caractéristiques et les ressources impliquées durant les différentes phases de vie du bâtiment. D’autre part, les méthodes d’ACV dépendent de la définition du périmètre d’étude du projet à évaluer, et du seuil de précision des connaissances afférentes aux impacts environnementaux engendrés par le bâtiment.

Nous revenons sur ces méthodes qui seront exhaustivement étudiées ultérieurement.

II.1.4 Les méthodes d’aide à la décision

Elles permettent de porter un choix sur une ou plusieurs options concernant certaines spécificités liées au projet, telle que sa construction ou sa programmation, ainsi que la prise d’une décision finale portant sur une alternative parmi tant d’autres. L’intérêt de ces méthodes réside dans le cas où la solution n’est pas immédiate, afin d’illustrer cela, nous faisons recours à un exemple établi par Brunner et Starkl (Brunner et Starkl, 2004), la problématique de l’exemple pris par ce dernier, est la recherche optimisant les impacts x et les couts y (Fig.36)

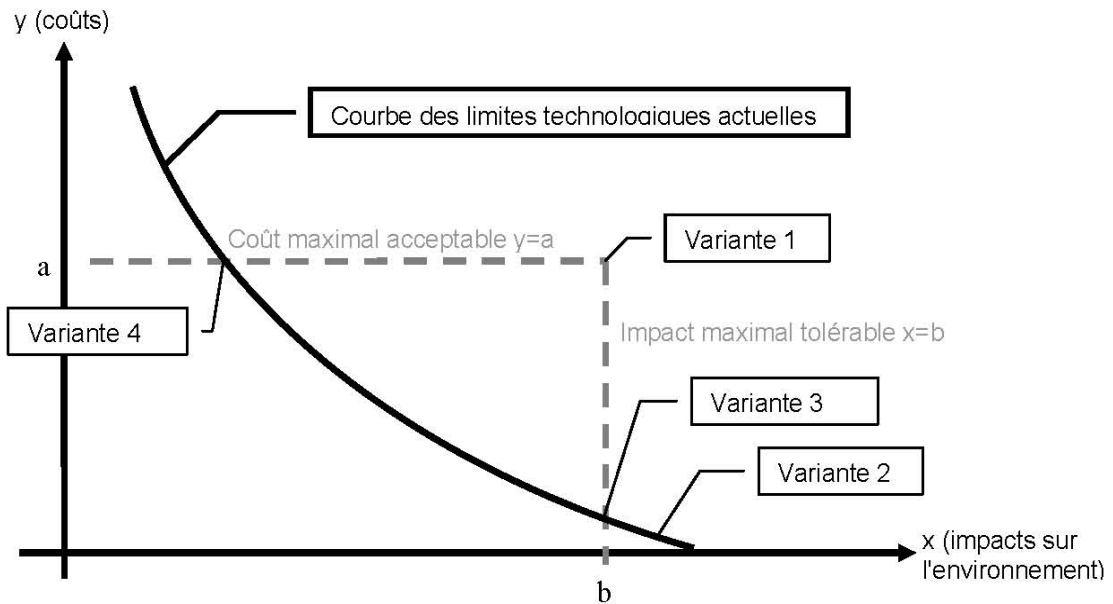


Fig.36: Recherche de la solution optimum (source : Brunner et Starkl, 2004)

La solution idéale à trouver dans la problématique posée par cet exemple, est que les impacts soient inférieurs à la valeur de l'impact maximal tolérable (qui est de $x=b$) et dont le coût doit être également inférieur à la valeur du coût maximal tolérable (qui est de $y=a$), de cela, nous pouvons déduire que :

- La variante 1 est écartée : le coût peut être corrélé à un impact équivalent ou vice versa, ce qui rend cette variante non optimisée ;
- La variante 2 est écartée : elle se situe en dehors de la valeur de l'impact maximal tolérable ;
- Les variantes 3 e 4 sont optimisées : elles ne dépassent pas les valeurs de l'impact et du coût maximaux, plus précisément :
 - ✓ La variante3 : représente une solution acceptable du point de vue environnemental à un coût minimal ;
 - ✓ La variante 4 : représente la meilleure solution technologique disponible à un coût acceptable ;

Toutes les variantes se trouvant sur la courbe des limites technologiques actuelles, et se situant entre la variante 3 et la variante 4 sont optimisées, ainsi, la contribution de cette méthode sera focalisée sur la recherche de la meilleure solution entre ces variantes tout en justifiant ce choix.

II.1.5 Méthode d'aide multicritère à la décision

Cette méthode dont le but est de faire ressortir l'alternative qui correspond au mieux aux objectifs fixés dans une évaluation, est basée sur l'ordonnance de différentes alternatives selon une approche multicritère (sur la base de plusieurs critères).

Les étapes essentielles de cette démarche sont résumées dans les points suivants :

- Détermination et définition des différents acteurs intervenants dans la démarche ;
- Définition des différentes alternatives ou variantes du projet à évaluer ;
- Établissement des critères ;
- Pondération des critères ;
- Évaluation de chaque critère pour chaque évaluation selon une matrice alternative/critère ;
- Classement des alternatives suite aux résultats obtenus de l'évaluation de la matrice ;
- Choix de la variante la mieux adaptée aux objectifs de l'évaluation.

Il existe également d'autres méthodes qui s'inscrivent dans le cadre de l'aide à la décision, leurs spécificités seront détaillées ultérieurement.

Les méthodes d'aide à la décision se singularisent par leur avantage de répondre à quatre problématiques différentes, ces dernières sont présentées dans le tableau suivant (Tab. 14) :

Tab. 14: Les différentes problématiques de l'aide multicritères (source : Roy et Bouyssou, 1993)

Problématique	Objectifs	Résultats
P1	Éclairer la décision par le choix d'un sous-ensemble aussi restreint que possible en vue d'un choix final, ce sous-ensemble contenant les "meilleures" actions ou à défaut les actions "satisfaisantes".	Un choix ou une procédure de sélection
P2	Éclairer la décision par un tri résultant d'une affectation de chaque action à une catégorie, les catégories étant définies a priori en fonction de normes ayant un rapport avec la suite à donner aux actions qu'elles sont destinées à recevoir.	Un tri ou une procédure d'affectation
P3	Éclairer la décision par un rangement obtenu en regroupant tout ou partie ("les plus satisfaisantes") des actions en classes d'équivalence, ces classes étant ordonnées, de façon complète ou partielle, conformément aux préférences.	Un rangement ou une procédure de classement
P4	Éclairer la décision par une description, par un langage approprié, des actions et de leurs Conséquences	Une description ou une procédure cognitive

II.2 ETAT DES LIEUX DES DIFFERENTES METHODES

II.2.1 Usage des différentes méthodes

Auprès d'autres critères que nous allons exhiber dans les paragraphes suivants, il importe de connaître les usages de chaque méthode afin de pouvoir effectuer un choix judicieux lors d'une évaluation, on peut résumer les usages des méthodes en question dans le tableau suivant (Tab. 15) :

Tab.15 : Usage des différentes méthodes d'évaluation

Méthode	Usage
Méthodes de type check-list	✓ Étudier les impacts d'un projet de construction sur un site ; ✓ Guide pour les promoteurs et les concepteurs lorsque plusieurs choix sont offerts.
Méthodes d'ACV	✓ Évaluation des impacts environnementaux ; ✓ Elles fournissent la possibilité de choisir la meilleure alternative parmi tant d'autres ; ✓ Repérer la phase de vie du bâtiment responsable des impacts ; ✓ Etc....
Méthodes de labellisation	✓ Attribution d'une certification, d'un label à un bâtiment reflétant le seuil de sa qualité environnementale.
Méthodes des matrices	✓ Recensement et estimation des impacts d'un projet ✓ Faire ressortir les relations entre les activités d'un projet et leurs conséquences éventuelles.
Méthodes d'aide à la décision	✓ Répondre aux différentes problématiques présentées dans le tableau ci-dessus (Tab.14)

II.2.2 Critères de choix

Quelle méthode choisir ? Cette question se pose d'elle-même devant l'embarras du choix qui s'offre à l'évaluateur, cependant ce dernier ne retient pas une méthode fortuitement mais plutôt en se référant à certains critères tels que :

- La simplicité de l'utilisation ;
- La fiabilité ;
- La précision et la finesse de l'évaluation ;
- La flexibilité qui permet une éventuelle actualisation des données pour une autre utilisation ;
- L'adaptabilité ;
- La clarté des résultats.

Selon Pictet (Pictet, 1996), il est préférable de combiner plusieurs méthodes lors d'une évaluation plutôt que de se contenter d'une seule. Dans le tableau suivant nous résumons les principaux paramètres dont dépend l'utilisation d'une méthode d'évaluation (Tab. 16).

Tab. 16 : Quelques critères pour le choix d'une méthode d'évaluation

Critères de choix	Cadre des critères
L'échelle temporelle	Il s'agit de l'échelle d'étude qu'il importe de préciser et qui diffère d'une méthode à une autre.
L'échelle spatiale	
La disponibilité et la fiabilité des données	La méthode dont les données sont disponibles sera plus facile à utiliser.
L'objectif de l'évaluation	Il importe de préciser le champ d'intervention de la méthode qui peut concerner soit l'ensemble d'impacts ou toucher certains d'entre eux.
Facteurs exogènes liés à l'exploitation de la méthode	Il s'agit du cadre financier, économique et gestionnaire pouvant faciliter la mise en service de la méthode.

II.2.3 Discussion sur les méthodes d'évaluation

À la lecture de ces méthodes, nous pouvons conclure ce qui suit :

- Les check-lists sont très opérantes en phase de tri préliminaire ;
- Les ACV sont performantes dans l'évaluation des impacts environnementaux ;
- les méthodes de labellisation permettent d'élaborer un label par rapport auquel on pourra se référer ;
- Les matrices considèrent parfaitement les interactions entre les activités d'un projet ;
- Les méthodes d'aide à la décision permettent de choisir la meilleure alternative qui se présente en comparant différentes options.

La réponse à notre problématique nécessite une évaluation des impacts environnementaux et une comparaison entre différentes alternatives, dans ce contexte un premier choix est porté sur la méthode ACV et les méthodes multicritères à la décision sur lesquelles sera élaborée notre méthode, vu les avantages qu'offrent ces dernières et leurs spécificités qui vont en accord parfait avec les visées de la nôtre ; Il s'agit à fortiori du traitement des impacts environnementaux en considérant les différentes phases de vie par ACV et les réponses possibles aux problématiques de l'aide multicritère, nous revenons sur ces méthodes dans le chapitre suivant.

Par ailleurs, d'autres constats sont observés :

- Les différentes méthodes existantes sont consacrées soit aux aspects quantitatifs de l'objet d'évaluation (les matrices), soit les aspects qualitatifs (les check-lists), or l'évaluation d'un bâtiment nécessite un couplage entre ces deux aspects ;
- Elles se focalisent sur la phase de conception au détriment des autres phases ;
- Elles ne se réfèrent pas à un cadre référentiel ou une étude référentielle des éléments ;
- Ces méthodes se consacrent surtout aux principaux impacts environnementaux en colmatant les aspects liés au confort ;

- Nous remarquons que ces méthodes nécessitent une connaissance détaillée exagérée des éléments de l'objet d'étude, ce qui rend l'évaluation fastidieuse ;
- Elles ne considèrent que peu l'utilisateur dans l'évaluation environnementale, or sa contribution aux impacts environnementaux et au seuil de confort intérieur est très significative ;

À partir de tous ces constats, il s'avère nécessaire d'élaborer une méthode permettant d'évaluer les différents impacts environnementaux tout en considérant les différentes phases de vie, de prendre en compte l'utilisateur dans la contribution des impacts, cette méthode doit également permettre une évaluation des aspects à la fois quantitatifs et qualitatifs en se basant sur des indicateurs normalisés par un cadre référentiel étudié pertinemment. Elle se basera, comme nous l'avons indiqué précédemment, sur un couplage entre la méthode ACV et les méthodes d'aides à la décision multicritères tout en palliant aux carences constatées.

Mais l'élaboration de notre méthode nécessite d'intégrer des outils-logiciels d'évaluation environnementale, nous proposons dans ce qui suit un panorama exhaustif des outils d'évaluation environnementale les plus utilisés.

II.3 LES OUTILS D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE

Dans le domaine de l'évaluation environnementale du bâtiment, on compte plusieurs outils d'évaluation qui se sont développés selon les spécificités et critères d'évaluation et selon les objectifs escomptés de cette dernière ; nous détaillons dans ce qui suit les outils les plus utilisés, ceux qui appartiennent à l'Europe et hors Europe, et leurs champs d'application, ces derniers se réfèrent aux trois premiers systèmes développés précédemment :

II.3.1 Les outils conçus en Europe

II.3.1.1 Le système de labellisation

Dans ce système, nous trouvons les outils suivants :

II.3.1.1.a BREEAM

Building Research Establishment Environmental Assessment Method : cette méthode considérée comme étant la meilleure en Grande Bretagne où elle a été initiée en 1990, s'est vite développée partout dans le monde pour devenir la source d'inspiration d'autres outils d'évaluation. Son champ d'application est résumé dans le tableau suivant (Tab. 17) :

Tab. 17 : Champs d'application de l'outil BREEAM dans le bâtiment (source : Abdelghani-Idrissi et al, 2004)

	Conception et équipements
	Fonctionnement et gestion
	Intérieur
Maisons	EcoHome
Locaux des activités économiques tertiaires	Conception et équipements
	Équipement pour la location
	Fonctionnement et gestion

□ Principes d'évaluation de BREEAM

Pour son évaluation, BREEAM se réfère à neuf catégories évaluées par un système de cotation attribué selon des critères prédéterminés (sans aucun critère individuel) par comité spécialisé. Ce qui aboutit à une évaluation à travers neuf points de catégories dont l'estimation est de « passable », « bon », « très bon » ou « excellent » (Abdelghani-Idrissi et al, 2004).

Les neuf catégories d'évaluation de la méthode BREEAM ainsi que leurs critères sont répertoriés dans le tableau suivant (Tab. 18).

Tab.18 : Les catégories d'évaluation de la méthode BREEAM (source : (source : Abdelghani-Idrissi et al, 2004)

Catégories	Critères
Gestion	Politique globale, commissionnement et procédures
Santé et confort	Effets intérieur et extérieur affectant la santé et le bien-être (éclairage, qualité d'air, bruit d'intérieur..)
Énergie	Efficacité énergétique et émission du CO ₂
Transport	Émission du CO ₂ relative au transport et facteurs relatifs
Consommation de l'eau	Consommation et efficacité d'usage de l'eau
Matériaux	Impacts environnementaux des matériaux de construction
Utilisation du sol	Espaces verts et espaces urbanisés
Écologie du site	Valeur écologique de l'emplacement
Pollution	Pollution de l'air et de l'eau

II.3.1.1.b HQE : La Haute Qualité Environnementale

La haute qualité environnementale est un concept qui est apparu au début des années 90, depuis, il n'a cessé de se développer et prendre une ampleur des plus importantes. Il est maintenant la focalisation d'un mouvement important dont la thématique englobe le monde du bâtiment. Ce concept peut être défini comme étant, une démarche qui vise d'une part à limiter les impacts d'une opération de construction, réhabilitation, rénovation ou autre sur l'environnement, d'autre part, elle vise à assurer des conditions de vie saines, confortables, écologiques et durabilité au sein du

bâtiment. Afin qu'elle soit assurée dans tout bâtiment, les exigences environnementales devraient être définies à l'origine de tout projet.

❑ **Principes d'évaluation de la HQE**

Afin de nourrir et développer cette démarche, plusieurs principes lui ont été imposés, nous présentons ici ceux qui ont été cités par Hetzel (Hetzel, 2003):

- a. **Premier principe** : Mettre en place une approche environnementale et sanitaire des évaluations en respectant les différents niveaux d'impacts (niveau planétaire, niveau régional et niveau local) ;
- b. **Deuxième principe** : Appliquer l'approche "cycle de vie" qui permet de fournir un cadre et un contenu à la démarche ;
- c. **Troisième principe** : Ce principe est relatif à l'unité fonctionnelle, c'est-à-dire à la définition par type de bâtiment d'un usage représentatif avec une durée de vie typique qui permet de comparer des situations proches en terme d'usage ;
- d. **Quatrième principe** : Il rappelle que cette démarche est inscrite dans le cadre du développement durable dont les trois éléments sont l'environnement, le social et l'économie ;
- e. **Cinquième principe** : La démarche s'applique aux bâtiments neufs et existants en phase de conception, de réalisation, d'utilisation et de construction ;
- f. **Sixième principe** : L'approche économique ne peut être qu'en coût global afin d'identifier le poids relatif des choix des différents acteurs ;
- g. **Septième principe** : La conception ou la réhabilitation doivent relever de l'écoconception HQE ;
- h. **Huitième principe** : L'expérience montre qu'il n'est pas possible d'affirmer qu'une solution technique résout définitivement la question complexe des impacts environnementaux et sanitaires. Il faut choisir des solutions avec discernement en sachant qu'il est nécessaire de suivre l'évolution des connaissances.

❑ **Les cibles de la méthode HQE et identification de leur contribution à la réduction des impacts**

La HQE est dotée de 14 cibles dont chacune contribue à la réduction d'impacts sur l'environnement, il s'agit en l'occurrence de (Hetzel, 2003) :

- a. **La cible 1**: "**Relation harmonieuse du bâtiment avec son environnement immédiat**" vise la réduction des impacts générés par le bâtiment et sa parcelle sur l'environnement extérieur.

- b. **La cible 2: "Choix des produits et procédés"** envisage les impacts globaux des produits et procédés en terme de ressources consommées mais également d'émissions et de contribution aux grands équilibres environnementaux.
- c. **La cible 3: "Chantier à faibles nuisances"** a une influence sur les ressources locales mais également sur les ressources globales pour la partie énergie, fluides et consommations de produits et les déchets qu'elle contribue à réduire ou à maîtriser.
- d. **La cible 4: "Gestion de l'énergie"** a une influence sur les grands équilibres environnementaux, qu'elle contribue à réduire ou à accroître.
- e. **La cible 5: "Gestion de l'eau"** a un impact essentiellement régional en terme de bassin.
- f. **La cible 6: "Déchets d'activités"** est très proche de la cible 3 en terme d'impacts.
- g. **La cible 7: "Entretien et maintenance"** est proche de la cible 2 et contribue à la charge globale environnementale du bâtiment.
- h. **La cible 8: "Confort hygrothermique"** est un des facteurs déterminants du confort des usagers, en terme d'impact environnemental; il s'agit des impacts liés aux contributions globales.
- i. **La cible 9: "Confort acoustique", la cible 10: "confort visuel" et la cible 11: "confort olfactif"**, ces trois cibles ont une contribution essentiellement locale mais une forte contribution sociale pour la qualification du bien-être.
- j. **La cible 12: "Qualité sanitaire des espaces"** et **cible 13: "qualité sanitaire de l'air"**, ont une contribution locale et ont une forte contribution en terme de réponses aux attentes sociales des usagers.
- k. **La cible 14: " Qualité sanitaire de l'eau"** a des contributions locales et régionales aux impacts sanitaires.

La figure suivante illustre la démarche (HQE) et ses 14 cibles²³ (Fig. 37).

²³ Récemment, en 2015, la démarche HQE a été remplacé par le cadre de référence du bâtiment durable, où les 14 cibles ont disparu au profit d'une démarche globale qui se structure autour de 4 engagements et 12 objectifs et le tout piloté par 5 grands principes, par ailleurs il ne s'agit plus de qualité environnementale du bâtiment mais de bâtiment durable, tous secteurs confondus et toutes les phases de vie sont considérées

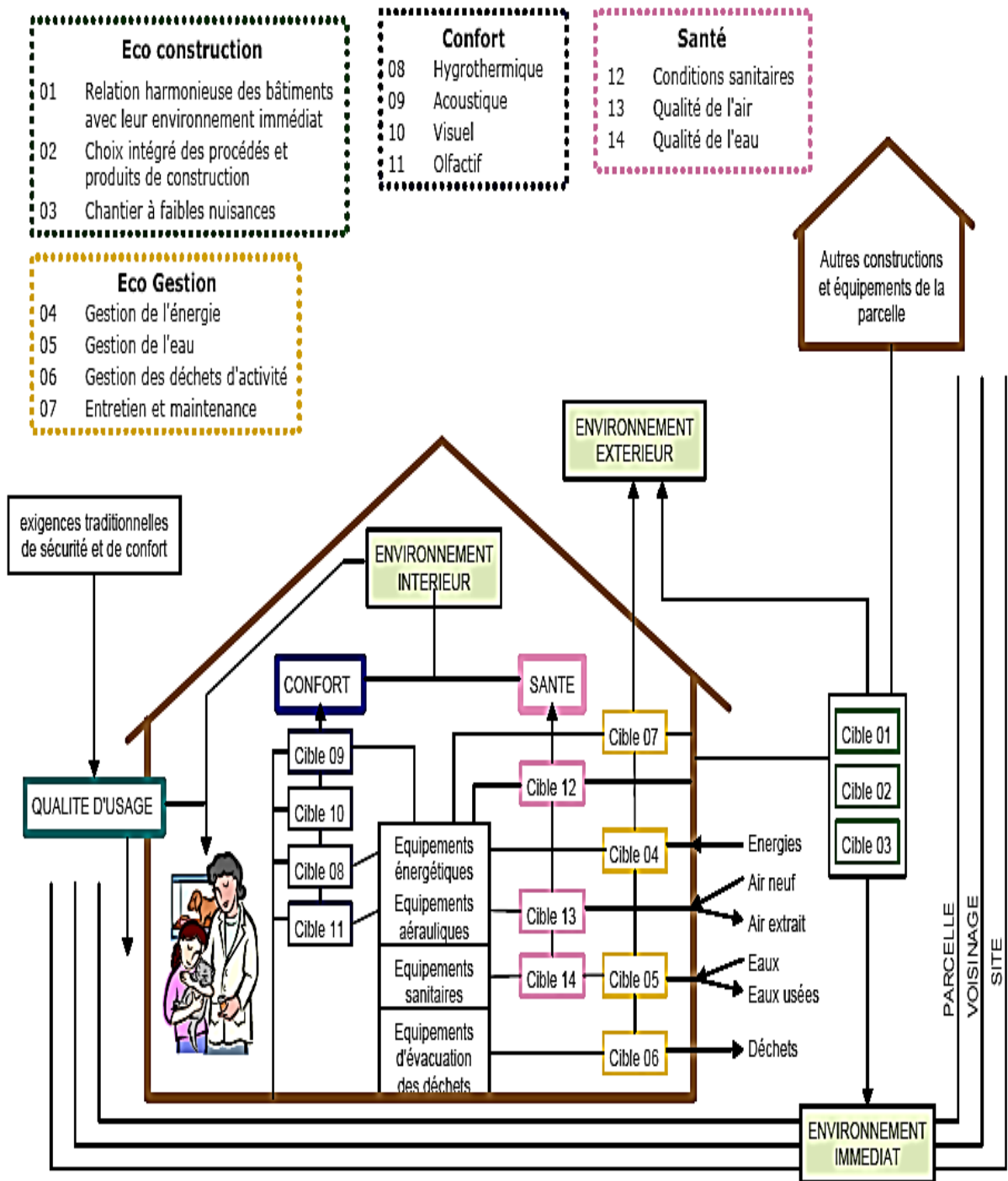


Fig.37: Présentation de la démarche HQE et des 14 cibles (source : Cherki, 2005)

On peut cependant récapituler la contribution des différentes cibles aux catégories d'impacts dans le tableau suivant (Tab. 19) :

Tab.19 : Cibles correspondant aux différentes catégories d'impacts (source : Hetzel, 2003)

Catégories d'impacts	Cibles
Consommation de ressources énergétiques: (MJ/UF)	2
a) Energie primaire totale	3
b) Energie renouvelable	4
c) Energie non renouvelable	7;8;11;13
Consommation des ressources non énergétiques	1; 2; 3
Consommation d'eau	2; 3; 5; 7; 12; 14
Déchets solides (kg/UF)	2
Déchets valorisés	3
Déchets éliminés	6; 7
Changement climatique	2; 3; 4; 7; 8; 11; 13
Acidification	2; 3; 4; 7; 8; 11; 13
pollution de l'air	2; 3; 4; 7; 8; 11; 13
Pollution de l'eau	2; 3; 5; 7; 12; 14
Pollution des sols	1; 2; 3; 6; 7
Destruction de la couche d'ozone stratosphérique	2; 3; 5; 7; 12; 14
Formation d'ozone photochimique	2; 3; 5; 7; 12; 14
Modification de la biodiversité	1; 2; 3; 5; 6; 7

II.3.1.1.c ESCALE

La méthode ESCALE développée par le CSTB, fournit en dehors d'une évaluation environnementale, des éléments de réponse et des résultats objectifs et interprétables, servant à une meilleure prise de décision lors de la conception en incluant certainement les phénomènes environnementaux mais aussi le cadre humain comprenant tous les acteurs impliqués dans la conception du bâtiment.

❑ Principes d'évaluation de ESCALE

La méthode ESCALE se réfère à 11 critères qui peuvent être déclinés en d'autres sous critères, pour chaque critère une valeur est attribuée à son indicateur qui se situe sur une échelle allant de (-1) à (+5), chacune de ces valeurs reflète le seuil de performance des pratiques réalisées :

-1 : seuil des pratiques au-dessous de la normale ;

0 : seuil de référence pour les pratiques courantes ;

+5 : seuil des pratiques au-dessus de la normale.

Le résultat de l'évaluation est obtenu par pondération des évaluations des différents niveaux récapitulés dans la figure suivante (Fig.38) :

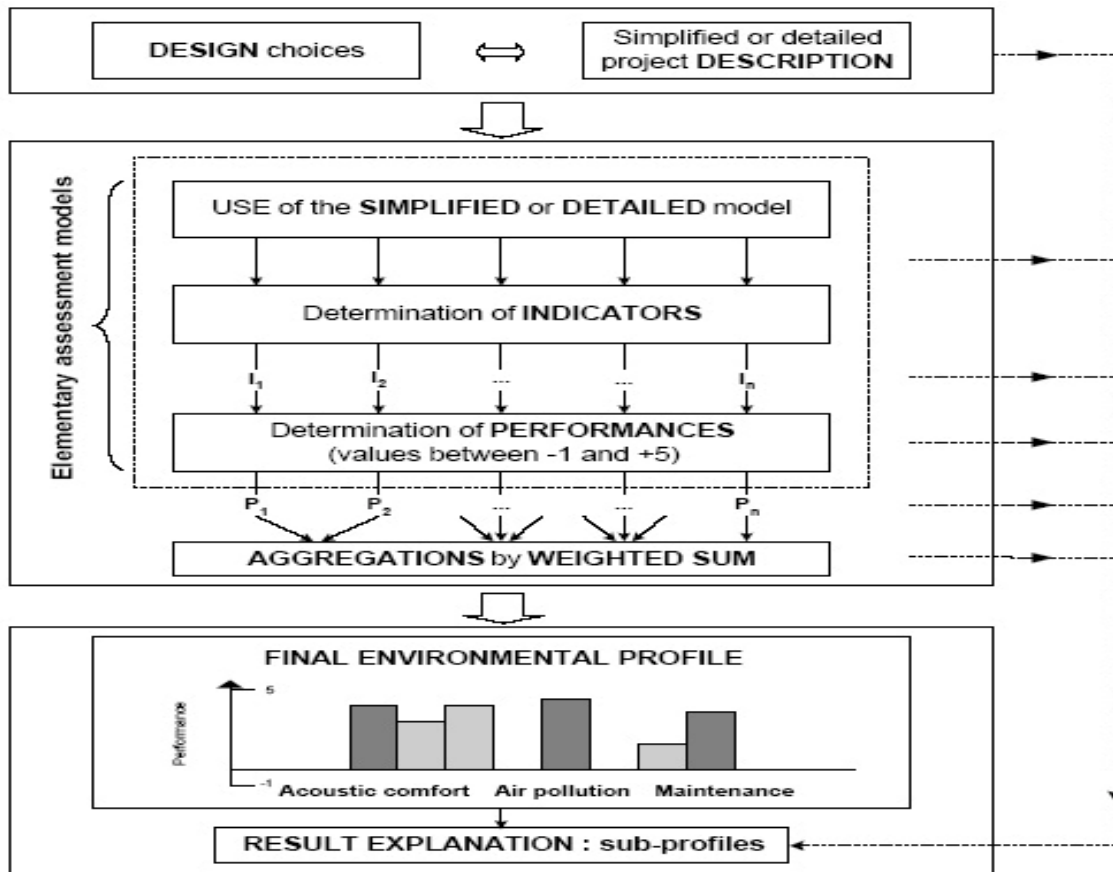


Fig.38: Schéma de principe de la méthode ESCALE (source : Abdelghani-Idrissi et al, 2004)

II.3.1.2 Le système d'ACV

Dans ce système, nous trouvons les outils suivants :

II.3.1.2.a ENVEST 2

Cet outil logiciel, sert à évaluer les impacts environnementaux du bâtiment mais aussi à évaluer les coûts globaux de son cycle de vie durant la phase de conception.

❑ Principes d'évaluation de ENVEST 2

Les critères de conception du bâtiment sont saisis dans le microordinateur, le logiciel suite à cette saisie identifie celui qui a le plus d'impact sur l'environnement pour effectuer ensuite un calcul afin de connaître le coût global durant le cycle de vie du bâtiment, en outre il permet également de connaître la meilleure alternative de chauffage, de rafraîchissement et de fonctionnement du bâtiment vis-à-vis de leurs impacts environnementaux et économique (coût global). D'autre part, ENVEST 2, dans son évaluation environnementale se réfère à 12 impacts environnementaux, en l'occurrence : changement climatique, épuisement de l'ozone, acidification, toxicité humaine, épuisement des ressources, écotoxicité, eutrophication, traitement des déchets, extraction de l'eau, pollution de l'eau et extraction des minerais.

II.3.1.2.b EQUER

EQUER est un logiciel développé par l'école des mines de Paris, il permet le calcul des impacts environnementaux à travers une série de 12 indicateurs et en se basant sur la méthode ACV. Le but attendu est la réduction de ces impacts.

□ **Principes d'évaluation de EQUER**

Afin de calculer les impacts environnementaux, EQUER est couplé à une suite logicielle : un outil de modélisation, PLEIADES, qui permet la modélisation graphique du bâtiment ainsi que le choix des scénarios de fonctionnement et son zonage thermique et un outil de simulation dynamique thermique, COMFIE, qui permet de calculer les besoins énergétiques qui seront par la suite transféré à EQUER, ce dernier pour son calcul emploie des bases de données, il intègre les différentes phases de vie du bâtiment et permet une visualisation multicritère ce qui fait de lui un outil d'aide à la décision.

II.3.1.2.c PAPOOSE

PAPOOSE (Programmation et Analyse de Projets d'Ouvrage et d'Opération Soucieux de l'Environnement) est un logiciel simple didactique développé par le bureau d'étude TRIBU, spécialisé dans le développement durable appliqué au bâtiment et à l'urbain, il a été conçu pour sensibiliser les stagiaires aux paramètres de conception bioclimatique et non pas pour effectuer des calculs précis comme les autres outils.

□ **Principes d'évaluation de PAPOOSE**

Pour effectuer une évaluation, PAPOOSE exige une liste de matériaux, des quantités, des schémas et des scénarios couvrant les phases du cycle de vie du bâtiment excepté celle de la construction, toutefois, l'évaluation environnementale est basée sur les indicateurs environnementaux suivants : (Abdelghani-Idrissi et al, 2004).

- a. **Énergie** : Consommation d'énergie ; Énergie primaire.
- b. **Pollution** : Émissions de CO₂ ; NO_x émissions ; SO_x émissions.
- c. **Matériaux** : Matériaux recyclables [%] ; Matériaux de réutilisation [%] ; Matériaux renouvelables [%].
- d. **Santé et bien-être** : Facteur d'ensoleillement ; Niveau acoustique.
- e. **Eau** : Consommation de l'eau.

II.3.1.2.d TEAM 4.0

Cet outil logiciel d'évaluation concerne non seulement le bâtiment mais également différents produits, il couvre en outre toutes les étapes de vie du bâtiment. Il permet de modéliser des bâtiments, voire même des quartiers pour effectuer ensuite des comparaisons, leur bilan

environnemental est ensuite obtenu via des indicateurs environnementaux et des catégories d'impacts classées en trois groupes qui sont les suivants :

- ❑ **Groupe A** : catégorie d'impacts obligatoires : ces derniers doivent être inclus dans presque toutes les études d'ACV ;
- ❑ **Groupe B** : catégorie d'impacts additionnels :
 - L'indicateur opérationnel de catégorie existe ;
 - Pas souvent incluse dans les études ACV.
- ❑ **Groupe C** : autres catégorie d'impacts :
 - Aucun indicateur opérationnel de catégorie n'existe ;
 - Pas encore incluse dans les études ACV.

II.3.1.3 Le système de check-list

II.3.1.3.a Check-lists SEEDA

Cet outil (South East England Development Agency) initié en Angleterre apporte un aspect spécifique de la région sud-est de l'Angleterre et contribue largement au développement durable des projets de construction.

❑ **Principes d'évaluation de SEEDA :**

La check-list SEEDA s'appuie sur un facteur de certitude qui prend la valeur de 0 ou 1 où :

0 : est attribué lorsque le contenu n'est pas considéré ;

1 : est attribué pour désigner la certitude totale.

Les points sont ensuite additionnés pour obtenir trois points globaux qui correspondent à la performance environnementale, sociale et économique.

D'autre part, nous signalons que différents critères structurent la check-list SEEDA, en l'occurrence : Impact sur l'extérieur – Impact sur la population ; Utilisation du sol, urbanisme et conception ; Transport ; Énergie ; Impact des bâtiments ; Impact des infrastructures ; Ressources naturelles ; Écologie ; Aspects sociétal ; Économique.

II.3.2 Les outils conçus hors Europe

II.3.2.1 Le système de labellisation

Dans ce système nous trouvons les outils suivants :

II.3.2.1.a LEED

Cet outil d'évaluation des performances environnementales du bâtiment (Leadership in Energy and Environmental Design) a été initié aux États-Unis, il se base dans son évaluation des bâtiments

neufs sur six catégories dont chacune contient des crédits et un ensemble de critères qui lui correspond, dans le cas où ces derniers sont satisfaits, des points pouvant atteindre le seuil de 69 seront crédités ; la certification du bâtiment est finalement attribuée selon le nombre de points atteints. Les catégories en question sont les suivantes :

- Le site ; La gestion de l'eau ;
- Énergie et atmosphère ;
- Qualité de l'environnement intérieur ;
- Matériaux ; Conception innovante.

II.3.2.1.b GB Tool (Green Building Tool)

Ce deuxième outil d'évaluation qui est un logiciel utilisant les feuilles de calcul d'Excel, a été initié au Canada dans le cadre de GBC (Green Building Challenge) ou (challenge de bâtiments écologiques), il est le résultat des efforts d'un consortium de vingt pays qui ont travaillé sur ce projet afin de créer un logiciel permettant de décrire les spécificités inhérentes à la conception et la réalisation du bâtiment, il donne en outre aux utilisateurs des repères régionaux ; son premier but demeure la comparaison entre différentes méthodes d'évaluation environnementale du bâtiment.

II.3.2.1.c NABERS (National Australian Building Environmental Rating System)

L'outil de NABERS évalue les impacts environnementaux du bâtiment en se référant à différentes catégories dont chacune comporte une cotation allant de 1 à 5 étoiles, ces dernières sont considérées comme l'unité de mesure dans les opérations d'évaluation effectuées par l'outil dont le but reste celui d'évaluer le seuil du développement durable dans le bâtiment, nous signalons enfin que cet outil a été développé en Australie.

II.3.2.1.d CASBEE (Comprehensive Assessment Sustainable Building Environmental Efficiency)

Cet outil qui a été conçu au Japon, a été créé pour suivre le bâtiment dans ses différentes phases de vie, depuis l'amont de l'opération de conception jusqu'à son éventuel rénovation. CASBEE est constitué de plusieurs autres outils dont chacun se caractérise par des spécificités qui lui sont inhérentes, mises pour une meilleure exploitation dans son suivi des bâtiments concernés, en l'occurrence : les bureaux, les écoles et les bâtiments résidentiels collectifs. Les outils et leurs spécificités dont est composé CASBEE sont répertoriés dans le tableau suivant (Tab. 20) :

Tab.20: Rôles et spécificités des différents outils de CASBEE (source : Abdelghani-Idrissi et al, 2004)

Outils	Spécificités	Rôles
Outil 0	Outil d'évaluation d'avant-projet	suggère le choix d'emplacement urbanistique et l'impact du projet. Cet outil reste à compléter
Outil 1	Outil d'environnement pour la conception	améliorer l'efficacité environnementale du bâtiment (EEB) pendant la phase de conception
Outil 2	Outil d'écolabel	évaluer l'efficacité environnementale de bâtiment (EEB) des bâtiments jusqu'à la fin de la conception. Cet outil peut également être utilisé pour déterminer la valeur de base du bâtiment.
Outil 3	L'outil de gestion de bâtiment et de rénovation	fournit aux Maîtres d'Ouvrage et aux promoteurs les informations pour améliorer l'EEB pendant la phase post-conception.

II.3.2.2 Le système d'ACV

Nous trouvons les outils suivants

II.3.2.2.a BEES (Building Environmental and Economic Sustainability)

Cet outil d'ACV a été conçu aux États-Unis pour évaluer les impacts du bâtiment vis-à-vis des aspects environnementaux et économiques, son but est d'offrir la possibilité d'effectuer un choix de produits du bâtiment revêtant un aspect durable, écologique et économique afin de minimiser ses impacts sur l'environnement, et d'assurer en outre la viabilité économique.

Dans son évaluation, BEES, se réfère à des critères environnementaux divers, entre autres : le réchauffement planétaire, l'épuisement des ressources, l'acidification, etc...., tout en se basant sur des normes qui permettent à la méthode d'acquérir une flexibilité, une cohérence et une facilité d'utilisation.

II.3.2.2.b ATHENA (Athena Environmental Impact Estimator)

Comme son nom l'indique, cet outil qui a été créé au CANADA estime les impacts environnementaux des bâtiments en analysant leurs cycles de vie. Pour l'inventaire de ces derniers, cet outil se réfère à une base de données internationalement reconnue, c'est celle de l'institut ATHENA qui offre une multitude de simulation et de modélisation tout en proposant une très riche typologie de matériaux et d'enveloppe du bâtiment. Enfin, différents effets sur l'environnement sont pris en compte par ATHENA, tel que l'extraction des ressources, les effets du transport, le recyclage des produits, etc...

II.3.2.2.c LISA (Life Cycle Analysis In Sustainable Architecture)

LISA a été créée en Australie pour analyser le cycle de vie des bâtiments dans le cadre de l'architecture durable, il est considéré comme un outil d'aide à la décision. En se basant sur un modèle mathématique, cet outil permet de montrer les différents impacts environnementaux afférents à chaque phase de vie du bâtiment en l'occurrence : Ressources énergétiques GJ ; GHB

(Protocol Green House Building) tones éq. CO₂ ; PS (Particule en Suspension) ; COVNM (Composés Organiques Volatiles Non Méthanique) ; Eau ; NO_x ; SO_x ; Données sur les matières premières et quantification.

Dans le tableau suivant (Tab. 21), nous synthétisons d'autres outils d'évaluation environnementale du bâtiment qui n'ont pas été étudiés précédemment, où nous allons exhiber leurs spécificités ainsi que la phase de vie de leur utilisation.

Tab. 21 : Synthèse des outils d'évaluation des impacts environnementaux engendrés par les bâtiments (source : Mandallena, 2006)

Nom	Spécificités de l'outil			Pays	Prise en compte des aspects liés		Support de l'outil	Phase (s) de vie d'utilisation de l'outil
	Phases du cycle de vie rendue	Méthode, thème (s)	Auteur		Aux données financières	Aux usagers		
Approche du SBI	Ensemble du cycle de vie	ACV Énergie Émission	Institut de recherche sur le bâtiment	Danemark	non	non	logiciel	Conception
BATIMPACT	Ensemble du cycle de vie	Méthode globale	SA Carat environnement	France	non	non	logiciel	conception
BEPAC	Fabrication de produits-utilisation	Méthode globale	SA Fraic Maibc	Vancouver Canada	non	non	Label/certification	Conception
EACB	Ensemble du cycle de vie	Méthode globale	Danish Building and Urban Research Institute	Danemark	non	non	logiciel	Conception
ECO-QUANTUM	Ensemble du cycle de vie	Énergie émissions matières	W/E Sustainable Building	Pays-Bas	non	non	logiciel	conception
ECOWEB	Exploitation	Énergie, CO ₂ , déchets, eau	Eco Campus	France	oui	non	Logiciel en ligne	exploitation
Green Housing A-Z	Ensemble du cycle de vie	ACV	Univ. Utsunomiya	Japon	non	non	logiciel	conception
Méthode de SOCOTEC	Ensemble du cycle de vie	Méthode globale	SOCOTEC	France	non	non	logiciel	conception
OPTIMIZE	Fabrication de produits	Energie émissions	Canadian Housing Information Centre	Canada	oui	non	logiciel	conception

II.4 LES APPLICATIONS DES OUTILS D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE

Dans ce qui suit, nous allons présenter les applications des différents outils d'évaluation environnementale vis-à-vis de différents critères du bâtiment et selon les catégories de performance environnementale (Tab.22, Tab.23, Tab.24, Tab.25, Tab.26 et Tab.27):

II.4.1 Selon la typologie du bâtiment

Tab. 22: Applications des outils environnementaux selon la typologie du bâtiment (source : Foliente et al, 2004 ; Abdelghani-Idrissi et al, 2004)

Outil	Commercial et tertiaire	Résidentiel	Mixte	Partie Bâtiment	Bâtiment Entier	Groupe de bâtiments	Neuf	Rénovation
BREEAM	■	■	■	■	■	■	■	■
Ecohome		■		■	■		■	■
Envest 2	■				■		■	
Checklist SEEDA	■	■	■			■	■	
HQE	■				■		■	
EQUER	■	■		■	■		■	
ESCALE	■				■		■	
PAPOOSE	■	■		■	■	■	■	■
TEAM 4.0	■	■	■	■	■	■	■	

II.4.2 Selon les étapes de réalisation du bâtiment

Tab. 23 : Applications des outils environnementaux selon les étapes de réalisation du bâtiment (source : Foliente et al, 2004 ; Abdelghani-Idrissi et al, 2004)

Outil	Planification	Conception	Fonctionnement et entretien	Fin de vie
BREEAM	■	■	■	■
Ecohome	■	■	■	■
Envest 2		■		
Checklist SEEDA	■	■	■	
HQE	■	■		
EQUER		■	■	■
ESCALE		■	■	
PAPOOSE		■	■	
TEAM 4.0		■	■	■

II.4.3 Selon la catégorie de performance environnementale : l'énergie

Tab. 24: Applications des outils environnementaux selon sa catégorie de performance environnementale : l'énergie (source : Foliente et al, 2004 ; Abdelghani I -Idrissi et al, 2004)

Outil	Énergie intégrée	Fonctionnement	Efficacité	Charge thermique	renouvelable	transport
BREEAM		▪	▪			▪
Ecohome		▪	▪			▪
Invest 2	▪	▪	▪	▪		
Checklist SEEDA			▪		▪	▪
HQE	▪	▪	▪	▪	▪	▪
EQUER	▪	▪				▪
ESCALE	▪	▪				
PAPOOSE	▪	▪				
TEAM 4.0	▪	▪				

II.4.4 Selon la catégorie de performance environnementale : matériaux

Tab.25 : Applications des outils environnementaux selon la catégorie de performance environnementale : les matériaux (source : Foliente et al, 2004 ; Abdelghani-Idrissi et al, 2004)

Outil	Consommation	Recyclage	Déchets	Services
BREEAM	▪	▪		▪
Ecohome	▪	▪		
Invest 2			▪	▪
Checklist SEEDA		▪		
HQE	▪	▪	▪	▪
EQUER	▪		▪	
ESCALE	▪		▪	
PAPOOSE	▪	▪	▪	
TEAM 4.0	▪		▪	

II.4.5 Selon la catégorie de performance environnementale : santé

Tab.26: Applications des outils environnementaux selon la catégorie de performance environnementale : la santé (source : Foliente et al, 2004 ; Abdelghani-Idrissi et al, 2004)

Outil	Qualité de l'environnement intérieur			L'eau			
	Confort thermique	éclairage	Qualité de l'air	Bruit	Fonctionnement	Efficacité	réutilisation
BREEAM	▪	▪	▪	▪	▪	▪	
Ecohome	▪	▪	▪	▪	▪		
Invest 2				▪		▪	
Checklist SEEDA				▪		▪	▪
HQE	▪	▪	▪	▪	▪	▪	▪
EQUER					▪		
ESCALE	▪	▪	▪	▪	▪		
PAPOOSE		▪		▪	▪	▪	
TEAM 4.0					▪		

II.4.6 Selon la catégorie de performance environnementale : environnement

Tab.27 : Applications des outils environnementaux selon la catégorie de performance environnementale : l'environnement (source : Foliente et al, 2004 ; Abdelghani-Idrissi et al, 2004)

Outil	Réchauffement global	Épuisement de l'ozone	acidification	Eutrophication	Toxicité humaine	Écotoxicité	Pollution de l'air	Pollution de l'eau	Pollution du sol	Fumée	Biodiversité
BREEAM	■	■			■	■	■		■		
Ecohome											
Envest 2	■	■	■		■	■	■	■			
Checklist SEEDA							■	■			
HQE	■	■	■		■	■	■	■	■	■	
EQUER	■		■	■	■	■				■	
ESCALE	■	■	■		■		■	■	■		
PAPOOSE	■						■				
TEAM 4.0	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

II.5 Discussion sur les outils d'évaluation :

A la lecture des différents outils d'évaluation présentés précédemment, nous pouvons faire les constats suivants :

- BREEAM : est considéré comme le meilleur outil pratique en grande Bretagne, il permet l'obtention de points lorsque des actions sont menées au profit de l'environnement, mais la critique que nous pouvons faire est l'absence d'un point de passage obligatoire ce qui peut mener à une exagération en poussant l'évaluateur à avoir une note élevée sans que cela reflète le nombre d'action menées en faveur de l'environnement, en outre cet outil additionne plusieurs aspects hétérogènes.
- Ecohome : bien qu'il soit la version de BREEAM spécialisé dans le résidentiel, mais il ne partage pas tous les points positifs de ce dernier, nous critiquons surtout le fait qu'il n'évalue aucun aspect environnemental en l'occurrence les impacts environnementaux.
- HQE^R : elle considère uniquement les aspects qualitatifs ce qui rend l'évaluation subjective, elle se focalise en outre sur la phase de conception au détriment des autres phases du bâtiment.
- Envest, BEES, EQUER, PAPOOSE et TEAM : sont des outils basés sur l'ACV qui évaluent les impacts environnementaux, certains incluent les aspects économiques (BEES), les coûts de produits et de technologie (TEAM) et l'énergie (Envest), nous critiquons,

cependant, le fait qu'elles font appel à des inventaires et des bases de données complexes qui nécessitent une actualisation et un achèvement pour la plupart.

- Un autre constat lié à (GBtools) est qu'il ne désigne pas toujours l'évaluation d'un impact ou d'un effet selon des critères.

Les mêmes constats sont observés pour les autres outils.

Cependant nous pouvons conclure ce qui suit :

- Tout d'abord, cette étude nous a apporté différents outils d'évaluation à appliquer à l'échelle du bâtiment, nonobstant, ces outils ne sont pas toujours disponibles ;
- Complexité d'utilisation des outils d'évaluation disponibles ;
- Les outils se basant sur la méthode ACV semblent être très rigoureux en matière d'évaluation des impacts environnementaux, mais ils se focalisent sur les aspects quantitatifs sans aucune considération des aspects qualitatifs tels que ceux liés à la qualité de confort ;
- De nombreux outils se consacrent à la phase de conception, et lorsque la phase d'utilisation est considérée, celle-ci est modélisée par des scénarios de fonctionnement sans autre évaluation de cette dernière in situ.

À partir de ce qui a été dit, notre méthode qui se veut être une aide à la décision et qui se basera sur le système ACV, comme nous l'avons indiqué précédemment, va recourir à l'outil logiciel EQUER pour l'évaluation des impacts environnementaux, mais vu les carences précédentes, nous élaborerons une méthode qui combinera, d'une part, cette évaluation environnementale avec une autre évaluation thermique et énergétique en couplant EQUER avec d'autres logiciels, et d'autre part, les aspects quantitatifs avec ceux liés à la qualité de confort.

Cependant, l'élaboration de notre méthode dépend également des retours d'expérience et le bilan qui en ressort.

IV. RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES METHODES D'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE

La qualité environnementale du bâtiment a fait l'objet de plusieurs études concluantes parmi les chercheurs, nous pouvons citer (Bouchair, 1987, Bouchair, 1989, Mandallena, 2006, Bencheikh et Bouchair, 2008, Bouchair, 2008, Lebert et al, 2011, Bouchair, 2014, Bouchair, 2015 et Hoxha, 2015), ces études visaient principalement l'amélioration de la qualité environnementale du bâtiment afin de minimiser ses impacts sur l'environnement.

Dans ce contexte, nous allons essayer d'exhiber un panoramas de différents travaux et études sur la qualité environnementale du bâtiment mais ayant fait recours à certains outils et méthodes d'évaluation précités, cela va nous aider à définir un cadre de travail pour la mise en place de notre méthode.

III.1 ÉTUDE SUR LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU BATIMENT PAR PHASE DE VIE

Rares sont les études d'évaluation des impacts environnementaux qui prennent en considération la part de responsabilité des différentes phases de vie de ce dernier. Face à cette carence et faute d'étude d'impacts environnementaux du bâtiment touristique et devant l'absence totale de bâtiments écologiques dans notre pays, nous nous somme évertuer de chercher des exemples explicites sur les impacts environnementaux générés par le bâtiment durant ses différentes phases de vie même si tout le monde s'accorde sur la responsabilité majeur de la phase d'exploitation. Ainsi, on était amené à des études françaises sur différents bâtiments HQE et existants de type résidentiels et tertiaires. Les résultats de ces études sont vraisemblablement deux références majeures qui s'inscrivent dans le contexte de notre travail, il s'agit des études de (Nibel, Rialh, 1999 et Guiavarch, 2003).

(Nibel ; Riah, 1999) font référence à quatre outils de simulation d'indicateurs environnementaux :

- EQUER, logiciel d'analyse du cycle de vie des bâtiments ;
- ESCALE, méthode d'évaluation de la performance environnementale des bâtiments au stade de la conception ;
- PAPOOSE, outil de programmation et d'analyse de projets ;
- TEAM, outil d'analyse de cycle de vie.

Et prennent en considération les indicateurs communs appliqués sur un projet HQE (50 maisons individuelles près de Toulouse), les indicateurs en question sont :

- Énergie primaire ;

- Effet de serre ;
- Émissions des déchets radioactifs ;
- Eau.

Un seul indicateur de comparaison entre les différents outils de simulation (EQUER, PAPOOSE et TEAM) sur les différentes phases de vie du bâtiment a été choisi vu son importance, il s'agit de l'énergie primaire dont les résultats sont illustrés dans la figure suivante (Fig. 39).

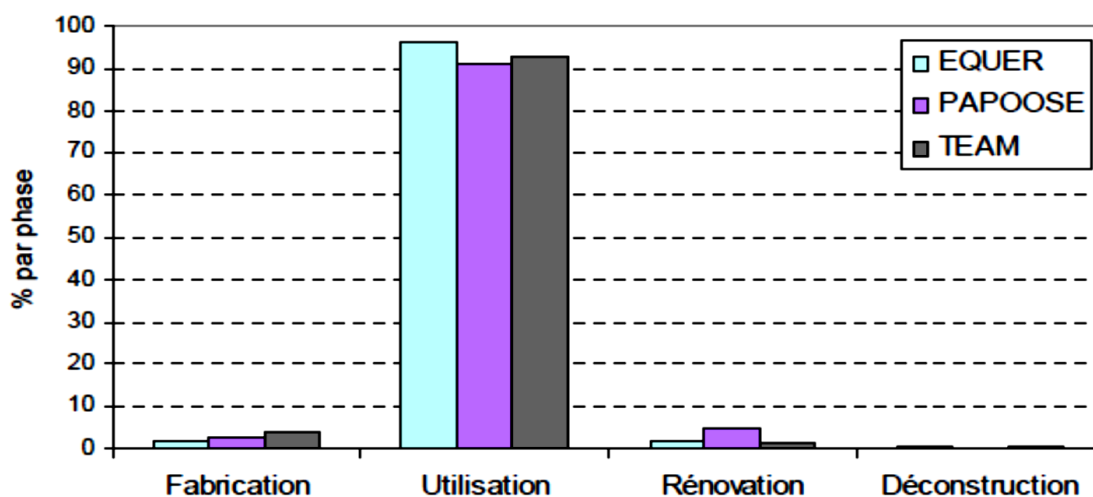


Fig. 39: Simulation de consommation d'énergie par phases de vie (source : Mandallena, 2006)

La deuxième série des résultats est afférente à la consommation d'énergie finale en fonction des postes d'usages au sein du bâtiment durant les différentes phases de vie du bâtiment (Fig. 40) :

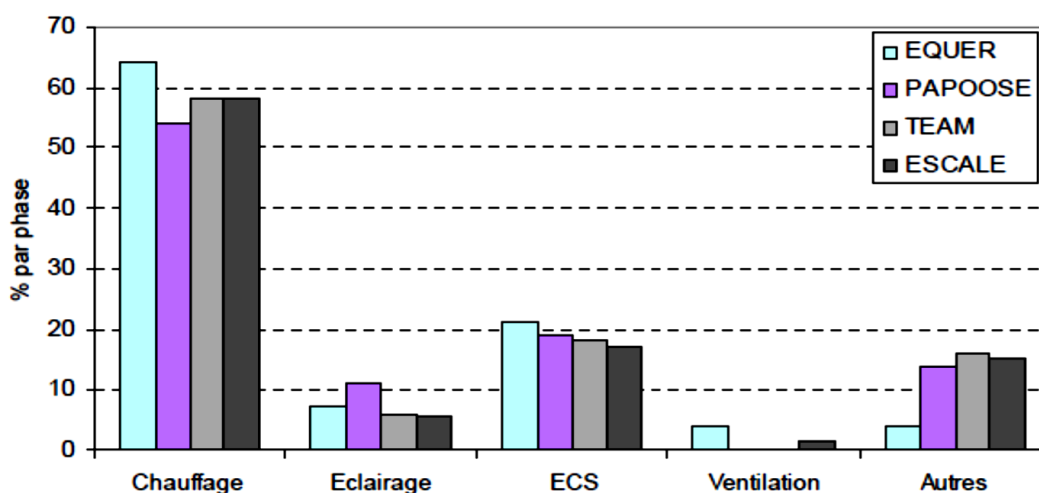


Fig. 40: Consommation d'énergie finale en fonction des postes d'usage et phases de vie du bâtiment (source : Mandallena, 2006)

Les résultats obtenus démontrent l'importance de la phase d'utilisation vis-à-vis des impacts environnementaux générés sur l'ensemble de la durée de vie du bâtiment simulée à 80 ans. D'autre part, il apparaît clairement que le chauffage est le poste le plus consommateur d'énergie au sein du bâtiment.

(Guiavarch, 2003) a mené une autre étude, cette fois-ci sur un bâtiment performant de bureaux de 1700 m² sur une durée de vie simulée à 80 ans avec une rénovation majeure, l'auteur a conclu qu'un bâtiment performant est celui ayant les seuils énergétiques suivants selon ses différentes phases de vie :

- 6% de consommation d'énergie primaire pour la phase de construction ;
- 93% pour la phase d'exploitation ;
- Moins de 1% pour la phase de rénovation ;
- Moins de 1% pour la phase de démolition.

L'ensemble des résultats présentés précédemment est relatif à des études menées sur deux projets de bâtiments, l'un HQE et l'autre performant en terme énergétique, prenons maintenant une autre étude qui a été menée par (Nibel, Rialh, 1999) sur des bâtiments existants qui ne sont ni de type HQE ni performants énergétiquement, les résultats obtenus en terme de différents indicateurs environnementaux développés par l'outil EQUER et selon les différentes phases de vie du bâtiment sont présentés dans la figure suivante (Fig. 41).

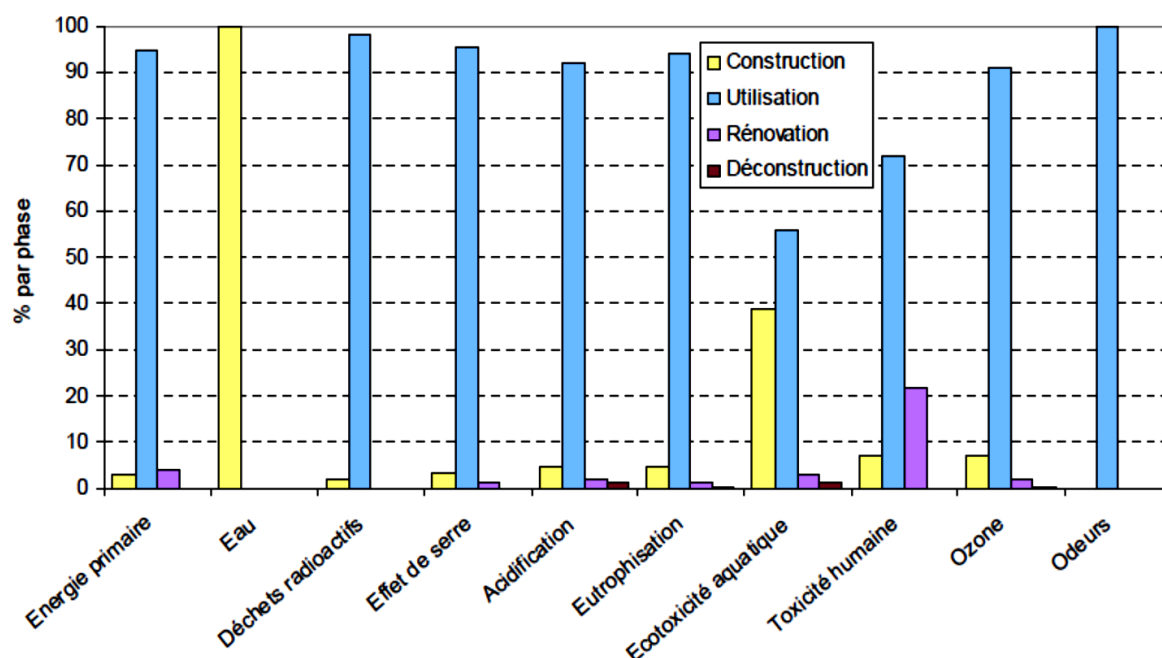


Fig. 41: Importance relative des indicateurs environnementaux par phase de vie (source : Mandallena, 2006)

Ce que nous pouvons comprendre de ces résultats est que les préoccupations majeures à porter doivent se concentrer dans les bâtiments existants, en outre une considération majeure et une optimisation doivent se focaliser sur la phase d'exploitation.

Nous citons, dans le même contexte de cette étude des impacts, les travaux de Matasci (Matasci et al ; 2006) qui ont réalisé une ACV sur 20 bâtiments (habitations) à Zurich afin de mettre en évidence les principales causes de leurs impacts sur l'environnement, cette étude a mis en évidence l'importance de la phase de rénovation, et a montré que la phase à plus grand impact est l'utilisation.

III.2 ETUDE EXPERIMENTALE D'UNE MAISON INDIVIDUELLE

III.2.1 Présentation de la maison

La maison, objet de cette étude expérimentale, s'inscrit dans le cadre d'une opération de HQE qui a été menée lors de la réalisation d'un quartier en France dont elle fait partie. C'est une étude qui a été effectuée dans le cadre de l'atelier de l'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments (ATEQUE) organisé par le Plan d'Urbanisme, Construction et Architecture (PUCA, Ministère chargé du logement).

III.2.2 Méthodologie menée

La première étape de cette étude fut la modélisation de la maison en quatre zones thermiques, deux au niveau du premier orienté sud-est, et deux autres au deuxième niveau orienté nord-ouest, l'orientation est prise en compte afin de pouvoir observer son influence sur les performances thermiques de la maison. Le garage, espace non chauffé, fut lui aussi considéré comme un espace tampon qui a servi à considérer les pertes thermiques depuis les différentes zones chauffées.

La deuxième étape consistait à introduire quelques données avant l'utilisation du logiciel COMFIE pour la simulation thermique, il s'est agi des données suivantes :

- Durée de vie considérée : 80ans ;
- Durée de vie de la menuiserie : 30ans ;
- Durée de vie des revêtements des murs : 10ans ;

Les données collectées pour le projet REGENER, qui a associé 8 partenaires de divers pays (Italie, France, Allemagne, Pays Bas et Finlande) durant deux années (1995-96) et qui a été mené entre autres pour définir une méthode permettant l'application de l'ACV des bâtiments, ont été appliqués pour les matériaux suivants : (briques, laine minérale, enduit minéral extérieur, carreaux de plâtre, Placoplatre, béton, carrelage, sol souple, tuiles, bois, peinture).

Les résultats obtenus de l'ACV de cette maison sont récapitulés dans le tableau suivant (Tab. 28) :

Tab.28: Résultats de l'ACV de la maison (source :Peuportier, 2000)

Impact	Unité	Cycle de vie
Énergie	GJ	14000
Eau	M ³	23000
Ressources	E-9	90
Déchets	t eq	270
Déchets radioactifs	dm ³	20
GWP100	tCO ₂	630
Acidification	Kg SO ₂	2400
EUTROPHICATION	Kg PO ₄	290
Écotoxicité dans l'eau	m ³	850000
Toxicité humaine	Kg	3900
O ³ smog	Kg	140
Odeurs	Mm ³	26000

Ces résultats ont été comparés ensuite à ceux d'une maison standard obtenus dans le cadre d'un travail mené par l'atelier ATEQUE, où il a été observé une faible différence de performances reflétant la faible qualité thermique de la maison.

Suite à cela, l'équipe a cherché les possibilités d'amélioration des performances de cette dernière en agissant sur les points suivants :

- Réorientation de la façade la plus large vers le sud ;
- Augmentation du pourcentage du vitrage de la façade précitée;
- La mise en place de l'isolation à l'extérieur ;
- La mise en place d'une ventilation à double flux de 0.5 d'efficacité d'échangeur.

Le résultat obtenu suite à ces modifications, était la diminution des besoins de chauffage d'environ 40%. Notons toutefois que les performances de cette maison auraient pu être davantage améliorées ainsi qu'une réduction du coût de ses matériaux de construction, s'il y a eu intervention sur le plan de masse en intégrant la dimension bioclimatique.

III.3 ETUDE EXPERIMENTALE D'UN BATIMENT TERTIAIRE

III.3.1 Présentation du bâtiment

Ce deuxième exemple concerne un bâtiment tertiaire se situant à Mèze (Hérault), son étude a pour but la réduction de ses impacts environnementaux, plus précisément, la réduction d'un facteur 4 les émissions sur son cycle de vie.

Ce bâtiment portant le nom (le Nautille) est organisé en arc de cercle (Fig.42) entre le sud-est où se trouve une serre, et le sud-ouest, ce qui permet de valoriser au maximum les gains solaires tout en se protégeant de son intensité via de larges casquettes au niveau des ouvertures.

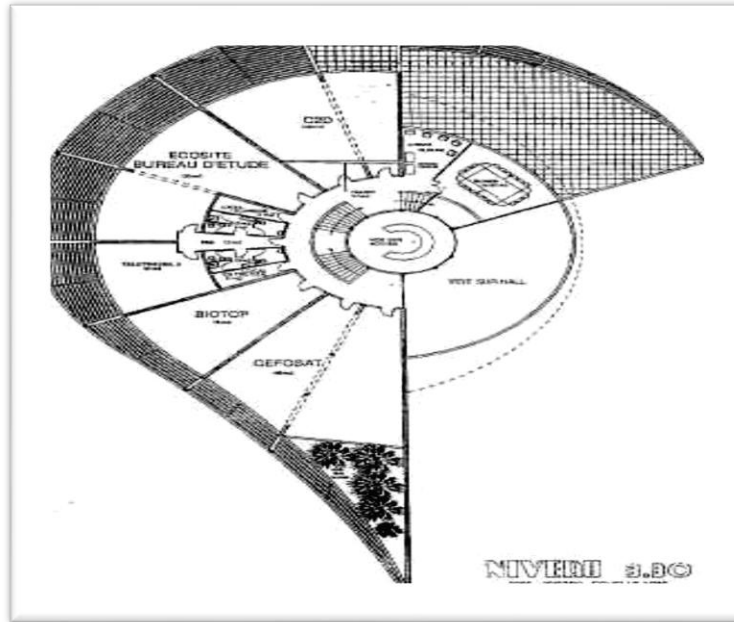


Fig.42 : Projet de bâtiment tertiaire (source :Peuportier, 2000)

III.3.2 Méthodologie menée

Une comparaison a été menée avec un autre bâtiment tertiaire typique de la région de Montpellier, ses spécificités ainsi que celles du bâtiment étudié sont présentées dans le tableau suivant (Tab. 29) :

Tab. 29: Spécificités des deux bâtiments tertiaires (source :Peuportier, 2000)

Spécificités		Bâtiment étudié	Bâtiment de référence
Superficie utile		1870 m ²	1870 m ²
Parois	Épaisseur des parois	10 cm	20cm
	Matériaux des parois	Bois	Béton
	Type d'isolation	Cellulose recyclé	Polystyrène extrudé
	Largeur de l'isolation	10cm	8cm
Isolation de la Toiture	Épaisseur	16	9 cm
	Type	Cellulose	Polystyrène
Vitrage	Vitrage	Vitrage à basse émissivité	Double vitrage classique
	Inertie thermique	Renforcée par des cloisons en terre crue	-
Échanges d'air		Pris en compte	-

Avant l'utilisation du logiciel EQUER pour la simulation de l'ACV, les performances énergétiques ont été d'abord calculées via le logiciel COMFIE, les résultats obtenus en terme de besoins de chauffage et de climatisation du bâtiment étudié ainsi que le bâtiment de référence sont présentés dans le tableau suivant (Tab. 30) :

Tab. 30 : Besoins de chauffage et de climatisation des deux bâtiments tertiaires
(source :Peuportier, 2000)

Bâtiment	Besoins de chauffage annuels (kwh/an)	Besoins de climatisation annuels (kwh/an)
Bâtiment de référence	68130	92984
Le Nautile	28595	10597

Après l'évaluation des performances énergétiques, une analyse des impacts environnementaux, a été effectuée en utilisant le logiciel EQUER pour les deux bâtiments, les sources d'impacts concernées par cette évaluation sont les suivantes : le chauffage, l'éclairage, la ventilation et les matériaux de construction (fabrication et construction, rénovation et démolition).

Les résultats obtenus sont illustrés dans l'éco profil d'au-dessous (Fig.43) :

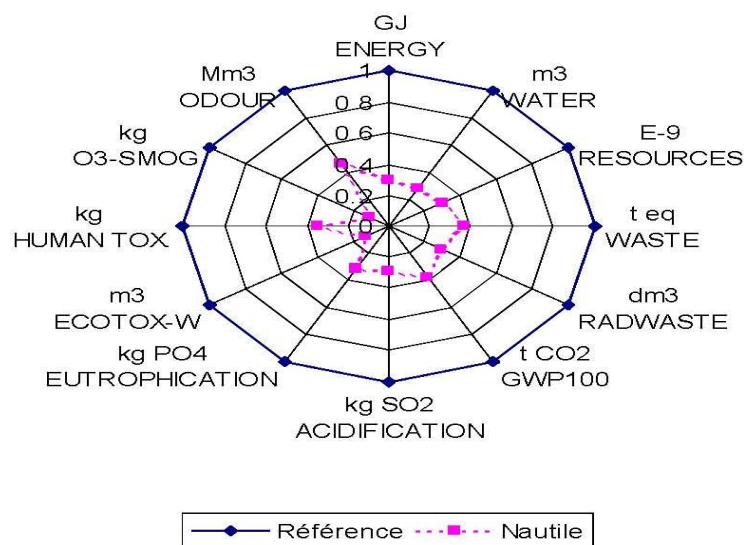


Fig.43: Eco profil comparatif des deux bâtiments tertiaires (source :Peuportier, 2000)

Aux termes de cette étude, nous pouvons conclure que la réduction des impacts environnementaux du bâtiment est étroitement corrélée à la conception thermique de ce dernier.

Dans cet exemple, la réduction a été d'un facteur 3, confortant davantage les études menées dans ce contexte liées à la réduction des impacts environnementaux du bâtiment.

III.4 ETUDE EXPERIMENTALE D'UNE MAISON INDIVIDUELLE STANDARD (EXPOSITION ECOLOGIS)

III.4.1 Présentation de la maison

La maison, objet de cette étude, a été conçue pour l'exposition EcoLogis (Fig.44), elle répond au cahier de charge du concours EcoLogis en matière de performances environnementales

s'inscrivant dans le cadre des engagements pris lors de la conférence de Rio sur l'environnement et le développement.



Fig.44: Esquisse de la maison réalisée pour l'exposition EcoLogis (source : Peuportier et Polster, 2004)

III.4.2 Méthodologie menée

L'esquisse de la maison réalisée pour l'exposition EcoLogis, a été évaluée d'abord avec le logiciel EQUER, suite à cela des modifications ont été apportées sur les points suivants :

- Réduction de la surface vitrée entre la véranda et le logement ;
- Choisir un double vitrage à basse émissivité ;
- Protection de la fenêtre orientée ouest ;
- Réduire la surface des lanterneaux.

Suite à ces modifications, une évaluation du projet finale a été menée via le logiciel EQUER et dont les résultats ont été comparés à une autre maison référence représentant le standard actuel de la construction neuve en Iles de France, la maison de référence a été définie dans le cadre de l'ATEQUE.

On a définis ensuite un scénario d'utilisation moyen pour les deux maisons concernant les points suivants :

- Chauffage : 19° ;
- Taux de renouvellement d'air : 0.6volume/heure ;
- Gains internes : 400w ;
- Consommation d'eau froide (respectivement d'eau chaude, à 50°C) :100 litres par personne et par jour (respectivement 40 litres) ;
- Génération des déchets ménagers : 1kg/Hab/jour (dont 12% de verre et 30% de papier) ;
- Le transport domicile-travail n'a pas été pris en compte.

Nous signalons toutefois que la surface de la maison EcoLogis est supérieure à celle de la maison référence choisie, pour cela les résultats sont donnés en valeurs relatives.

Ces derniers montrent une économie d'énergie de 20% dans la maison d'EcoLogis en se rapportant à 1m², grâce à l'ouverture solaire qui permet un gain solaire, les vitrages à isolation renforcée qui limitent les déperditions thermiques et l'échangeur de chaleur sur la ventilation qui permet à son tour cette économie en énergie.

En répartissant cette économie sur :

- Le débit d'eau des équipements sanitaires : 50% ;
- La consommation d'électricité : 7% ;
- Le tri du papier : 40% ;
- Le tri du verre : 60%.

Nous obtenons les résultats représentés sur le profil comparatif ci-dessous, en matière d'impacts environnementaux, ce profil comparatif est obtenu en utilisant le logiciel EQUER (Fig. 45).

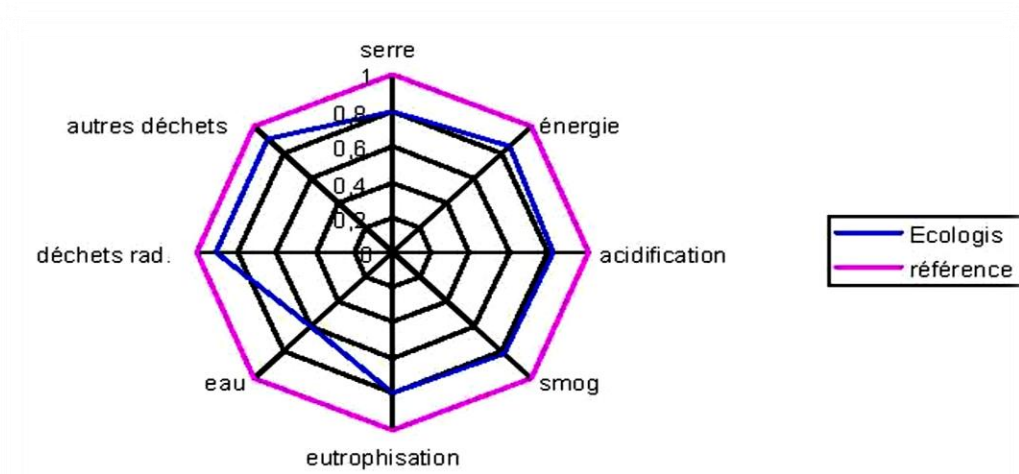


Fig. 45: Profil comparatif de la maison EcoLogie et la maison standard actuelle (source : Peuportier et Polster, 2004)

Nous remarquons clairement, une réduction des impacts environnementaux dans la maison EcoLogis, cette réduction peut être davantage augmentée par une amélioration des performances thermiques de la maison, en intervenant entre autres sur le vitrage, l'inertie thermique, l'isolation et les matériaux.

III.5 ETUDE DE LA CONTRIBUTION RELATIVE DES DIFFERENTES SOURCES D'IMPACTS

III.5.1 Présentation des données

Cette étude d'impacts, a été réalisée pour la maison standard précitée qui se situe en Ile de France, il s'agit dans cet exemple d'étudier sa contribution à générer certaines sources d'impacts environnementaux, ses données sont répertoriées dans le tableau suivant (Tab. 31) :

Tab. 31: Récapitulation des données inhérentes à la maison standard actuelle (source : Peuportier ; Polster, 2004)

Données		Spécificités
Superficie		100m ²
Murs	Matériau	Béton
	Épaisseur des murs	16cm
Dalle		10cm
Isolation	Type	Extérieure
	Pour les murs	8cm
	Pour la dalle	14cm
	Pour le plafond	5cm
Vitrage	Type	Double vitrage
	Orientation	Sud
	Surface	10m ²
Alimentation du chauffage et eau		gaz
Température du chauffage		19°C
Besoins de chauffage		8500kwh/an
Durée d'analyse de la maison		80ans
Occupation du bâtiment		300 jours/an/famille avec deux enfants
Consommation d'électricité		3200kwh/an
Production des déchets ménagers		1kg/personne /jour (dont 12% de verre et 30% de papier)
Consommation d'eau		140litres/jour/personne (dont 40 litres d'eau chaude)

Nous signalons que les matériaux qui ont été considérés dans cette évaluation sont les suivants :

- Le béton ; La laine de verre ; Le polystyrène ; Le verre et le bois (menuiserie) avec une distance de transport de 100km, entre les sites de fabrication et le chantier

La distance domicile-travail, est équivalente à une moyenne de 12km pour l'Ile de France correspondant à une distance effectuée par deux personnes pendant 230 jours par an, l'une en voiture individuelle et l'autre en train. Cette évaluation a été effectuée par l'INESTENE (Institut d'évaluations des stratégies énergétiques Européennes) dont les statistiques montrent que la répartition modale en Ile de France serait de 60% pour les transports en commun et 30% pour la voiture individuelle (Radanne et al, 1994).

III.5.2 Méthodologie menée

La maison, dont les données et spécificités ont été clairement exhibées, a été évaluée via le logiciel EQUER, afin de connaître la contribution relative des différentes sources d'impacts, cela est illustré dans la figure suivante (Fig.46)

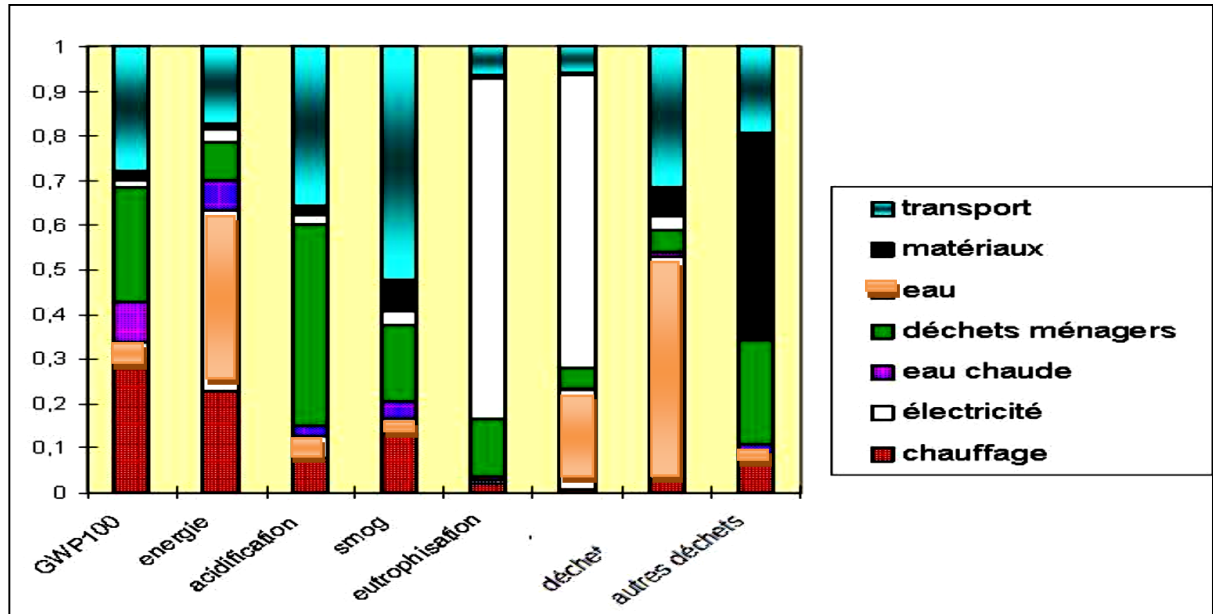


Fig.46 : Contribution relative aux différentes sources d'impact (source : Peuportier et Polster, 2004)

Nous observons nettement que :

- L'effet de serre est généré grandement par le chauffage, l'incinération des déchets ménagers et le transport ;
- La production d'électricité est quant à elle responsable de la source d'impact énergie ;
- L'eau représente la plus grande contribution à l'eutrophisation et la production des déchets ;
- Quant aux matériaux, ils sont surtout responsables de la production des déchets lors de la démolition du bâtiment et sa rénovation.

Après avoir mené cette évaluation, il était possible de comparer des variantes afin de trouver celle dont les performances seront nettement améliorées afin de réduire sa contribution dans la génération des impacts environnementaux. Cependant, ces variantes ont été conçues en apportant des modifications sur différentes composantes de la performance environnementale, susceptibles de rendre la maison plus respectueuse de l'environnement en améliorant son bilan écologique. Les variantes en question sont les suivantes :

1^{ère} variante : cette première variante intervient au niveau de la distance et le transport utilisé entre le domicile et le travail dans le but de réduire les émissions générées par ce dernier, les données de cette variante sont les suivantes :

- a. La distance domicile-travail est de 2 km ;
- b. Un déplacement en bus pour les deux personnes ;
- c. L'usage du vélo peut être étudié également.

2^{ème} variante : la deuxième variante vise à réduire les besoins de chauffage par une conception bioclimatique en agissant sur différents paramètres qui sont les suivants :

- d. Isolation extérieure ;
- e. Orientation sud-est et sud-ouest des ouvertures ;
- f. Isolation thermique renforcée des vitrages ;
- g. Préchauffage de l'air dans une véranda ;
- h. Utilisation d'appareils économes en énergie.

Ces actions ont mené à une réduction équivalente à 40% sur les besoins de chauffage.

3^{ème} variante : le but de la troisième variante est la réduction de la production des déchets, pour cela, il a été considéré que :

- i. Les habitants trient 40% de leurs papiers et cartons et 60% du verre ;
- j. L'incinérateur alimente un réseau de chaleur ;
- k. Le compost et la réduction de la consommation des emballages sont des aspects à envisager.

4^{ème} variante : la dernière variante concerne la réduction de la consommation de l'eau en menant les actions suivantes :

- l. Utilisation d'équipements sanitaires à débit réduit ;
- m. Utilisation d'un chauffe-eau solaire pouvant couvrir jusqu'à 40% des besoins énergétiques pour l'eau chaude sanitaire.

L'ensemble de ces variantes a été ensuite comparé à la maison référence d'Ile de France, les résultats obtenus pour le thème de l'effet de serre sont présentés dans la figure suivante (Fig. 47).

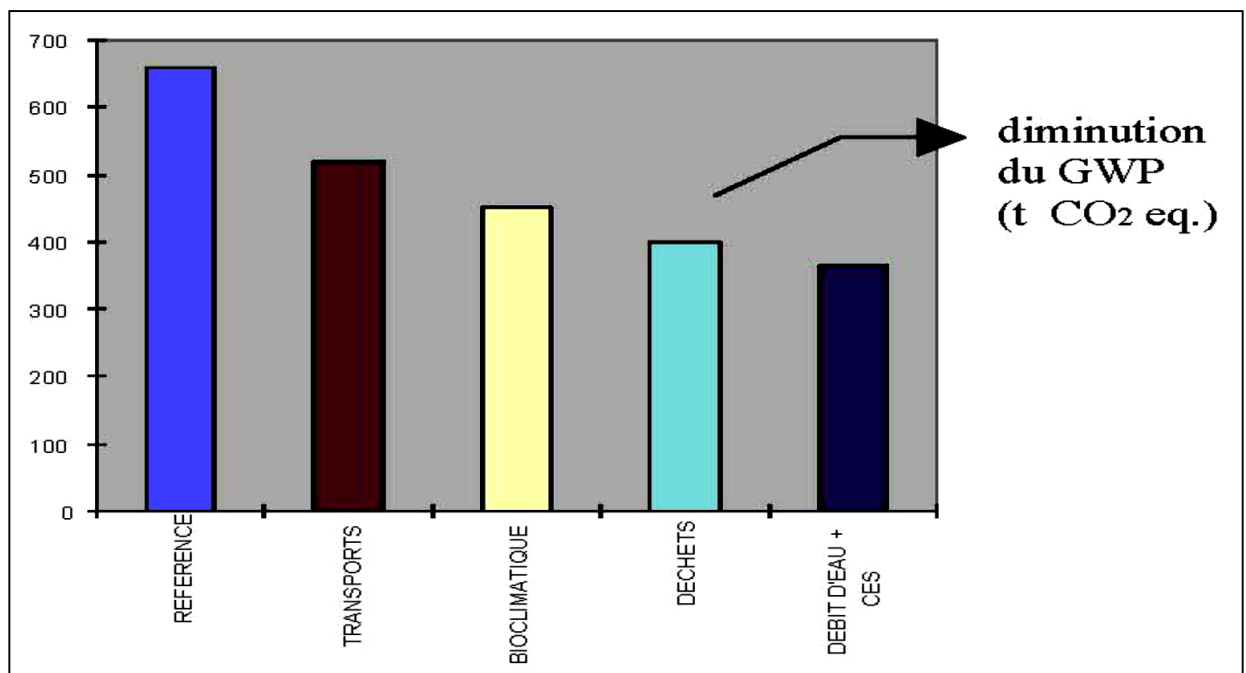


Fig. 47 : Comparaison des différentes variantes avec la référence pour le thème « effet de serre » (source : Peuportier et Polster, 2004)

Nous observons, que les actions menées ont abouti à une réduction de 40% des émissions des gaz à effet de serre, ce qui est très intéressant pour promouvoir la conception bioclimatique en agissant sur ses différents paramètres sans que le confort intérieur n'en pâtisse.

Nous rappelons dans ce contexte, les expériences qui ont été menées et qui ont abouti à des labels en matière énergétique qui sont représentés par trois types d'habitation, à savoir (sciences et vie, 2007) :

- **La maison à basse consommation** : elle correspond à des labels français comme haute performance énergétique (HPE), elle consomme moins de 100kwh/m²/an, dont 60kwh/m²/an de chauffage ;
- **La maison passive** : elle est inspirée des labels allemand (PassivHaus) et suisse (Minergie) dont (Effinergie) est l'équivalent français, sa consommation est inférieure à 50kwh /m²/an, dont 15kwh /m²/an maximum de chauffage, ceci peut être réalisé en faisant recours à des équipements à basse consommation énergétique, ou capable d'extraire de l'énergie, ou en optimisant isolation et ventilation ;
- **La maison à énergie positive** : sa production annuelle d'énergie excède la dépense en utilisant par exemple des panneaux solaires photovoltaïques.

III.6 ETUDE DE LA REQUALIFICATION D'UN QUARTIER

III.6.1 Présentation du quartier

Il s'agit dans cet exemple de la requalification de l'ensemble d'une presque île se situant entre le Rhône et la Saône à Lyon CONFLUENCE, sa superficie est de 150 ha, la zone d'étude a une superficie quant à elle de 60 000 m² dont 60 000m² de logements, 15 000m² de bureaux et 70 000 m² d'espaces publics. La figure suivante (Fig. 48) représente la zone d'étude dont les îlots concernés sont A, B et C



Fig. 48 : La zone d'étude (source : Trocmé et Peuportier, 2008)

III.6.2 Méthodologie menée

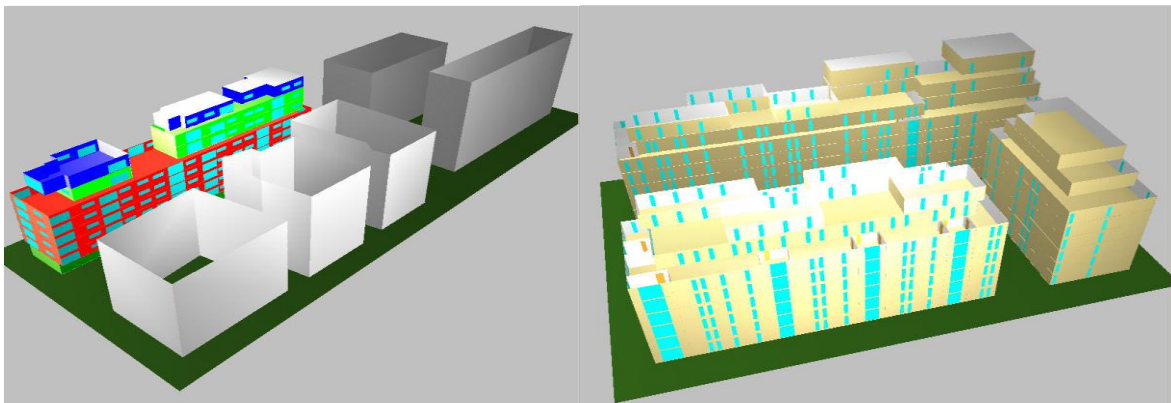
Trois variantes ont été définies, la première est celle qui représente le projet d'étude, quant à la deuxième et la troisième variante, elles représentent deux références auxquelles le projet d'étude sera comparé, l'une représentant le standard actuel et l'autre correspond aux meilleures pratiques. :

- **Le projet d'étude** : se caractérise par une consommation énergétique de - 40% par rapport à la RT2000 française ;
- **Le standard actuel** : correspond à la RT2005 en matière d'exigences réglementaires en construction neuve appliquées en France ;
- **Les meilleures pratiques** : correspondent aux meilleures techniques qui existent et qui offrent une meilleure performance dans le bâtiment.

III.6.3 L'étude thermique

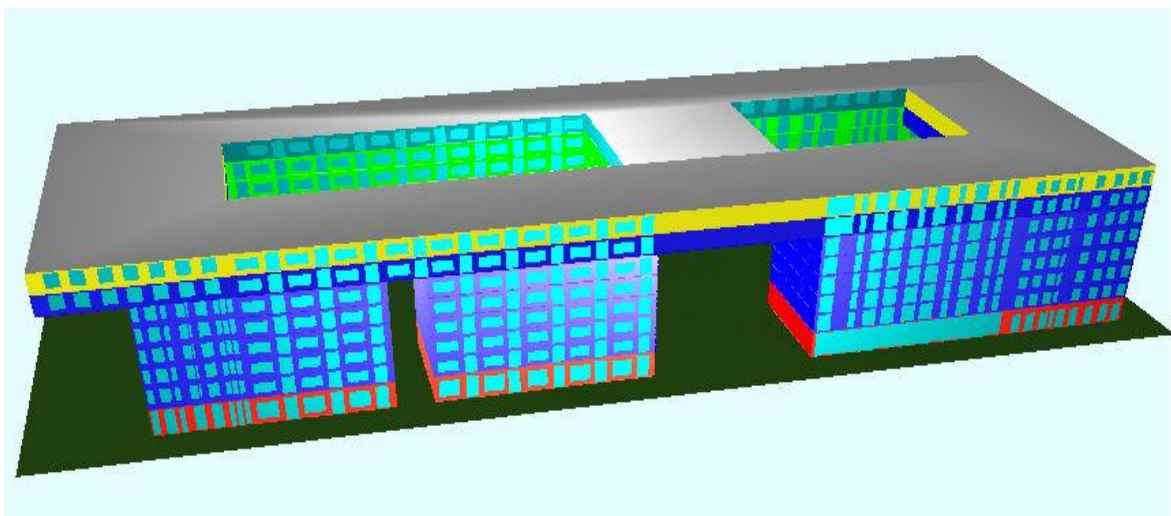
Une étude thermique a été effectuée en modélisant tous les bâtiments qui structurent la zone d'étude, en considérant plusieurs zones thermiques et les masques générés par les bâtiments voisins.

La figure suivante (Fig. 49) illustre la modélisation des îlots via le logiciel ALCYONE



îlot A (partie nord)

îlot B (partie sud)



Ilot C (côté logements)

Fig. 49 : Modélisation des îlots (source : Trocmé et Peuportier, 2008)

Une comparaison a été ensuite réalisée entre le projet de base et les deux autres variantes ; dans le cadre de cette comparaison, nous signalons que ces trois variantes partagent certains points et se différencient par d'autres :

Pour les points en commun :

- Température de 20°C constante ;
- Les apports internes de 21kWh/m² ;
- L'occupation des résidents : 25% entre 8 heures et 18 heures la semaine et 100% le reste du temps (avec 90w par résident).

Quant aux différences, il s'agit surtout des techniques utilisées dans les bâtiments, celles liées à la ventilation, ou bien à l'isolation, ou même au chauffage, mais il a été observé que la consommation peut différer même à techniques identiques. Les caractéristiques thermiques des trois variantes sont présentées dans le tableau suivant (Tab. 32) :

Tab. 32 : Caractéristiques thermiques des variantes comparées (source : Trocmé; Peuportier, 2008)

	Standard	Projet de base	Meilleures pratiques
Épaisseur d'isolant dans les murs extérieurs	10 cm	12 (A); 20 (B) & 17 (C) cm	15 cm
Ventilation	Simple flux (0.6 vol/h)	Simple Flux Hygroréglable ou Double Flux	Double Flux (0,6 vol /h, efficacité de 0,7)
Ponts thermiques	0,7 W / mK pour tous les éléments	0,2 W / mK pour tous les éléments	0,5 W / mK pour le plancher bas
U moyen de vitrage	1,8 W / m ² K (logements) 2,1 W / m ² K (bureaux)	1,5 W / m ² K	0,7 W / m ² K (triple vitrage)

Pour la consommation de chauffage, et après avoir simulé les trois variantes via le logiciel COMFIE, il a été observé, qu'elles correspondent aux exigences du cahier de charge dont la limite est à 60kwh/m² pour les logements et à 40kwh/m² pour les bureaux, celles des trois variantes sont illustrées dans la figure suivante (Fig. 50) :

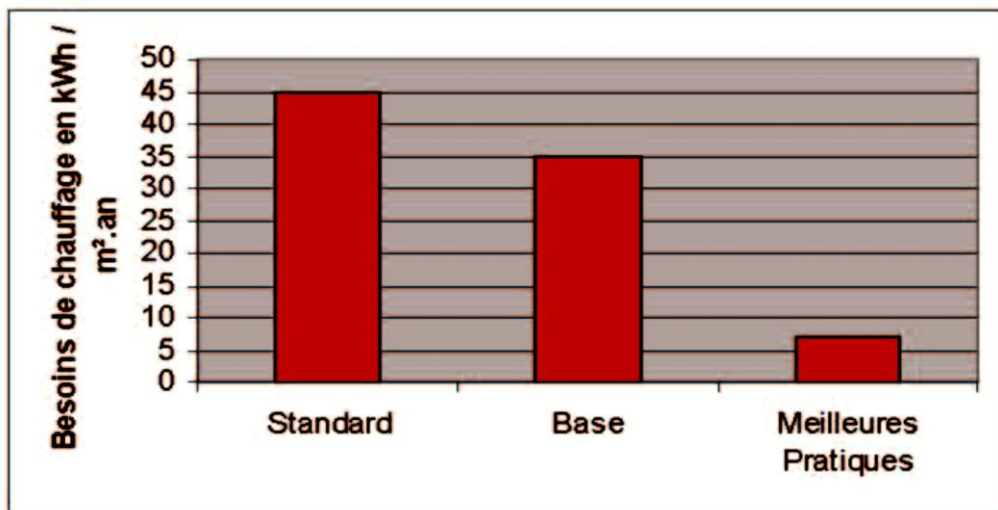


Fig.50 : Besoins de chauffages des trois variantes (source : Trocmé et Peuportier, 2008)

III.6.4 L'analyse du cycle de vie

Cette analyse a été effectuée à l'aide du logiciel EQUER, en considérant ce qui suit :

- a) Chauffage des bâtiments :
 - a. 100% au gaz dans la variante standard ;
 - b. 80% bois et 20% gaz dans la variante base et meilleures pratiques.
- b) Consommation électrique :

50% de l'électricité est produite par les panneaux solaires photovoltaïques
- c) Consommation d'eau :

- a. 40% de réduction de la consommation en eau est considérée dans les variantes base et meilleures pratiques ;
- b. 40% des besoins en eau chaude sont couverts par les systèmes d'eau chaude sanitaire solaire.

La consommation d'électricité ainsi que celle d'eau chaude et d'eau froide pour les trois variantes sont récapitulées dans le tableau suivant (Tab. 33) :

Tab. 33 : Données de l'analyse de cycle de vie des bâtiments (source : Trocmé et Peuportier, 2008)

	Standard	Projet de base	Meilleures pratiques
Consommation électrique	3000 kWh / logement / an	2125 kWh / logement / an	1800 kWh / logement / an
Consommation d'eau chaude	40 l / résident / jour	14,4 l / résident / jour	14,4 l / résident / jour
Consommation d'eau froide	100 l / résident / jour	69,9 l / résident / jour	69,9 l / résident / jour

L'analyse du cycle de vie a été effectuée également pour les espaces publics auxquels sont associés les bâtiments précédents, deux variantes ont été définies :

1. Espaces publics standard : qui s'associe à la variante « standard »;
2. Espaces publics base : qui s'associe aux deux variantes « base et meilleures pratiques ».

Les données inhérentes aux deux variantes des espaces publics sont présentées dans le tableau suivant (Tab.34) :

Tab.34: Spécificités des deux variantes des espaces publics (source : Trocmé et Peuportier, 2008)

	Standard	Base
Consommation électrique des rues, places et quais	30 kWh / (m ² .an) (incandescent)	6 kWh / (m ² .an) (sodium)
Consommation électrique des espaces verts	15 kWh / (m ² .an)	3 kWh / (m ² .an)
Imperméabilité des rues	95%	95%
Imperméabilité des quais et de la dalle ouest de l'îlot C	85%	40%
Imperméabilité dalle en béton	85%	85%
Imperméabilité des espaces verts	25%	25%
Pourcentage eau de pluie rejetée vers systèmes de rétention	10%	90%
Arrosage	Eau du réseau	Eau récupérée

L'analyse du cycle de vie des bâtiments ainsi que celle des espaces publics qui leurs sont associés sont illustrées dans la figure suivante (Fig. 51), cette analyse a été réalisée via le logiciel EQUER :

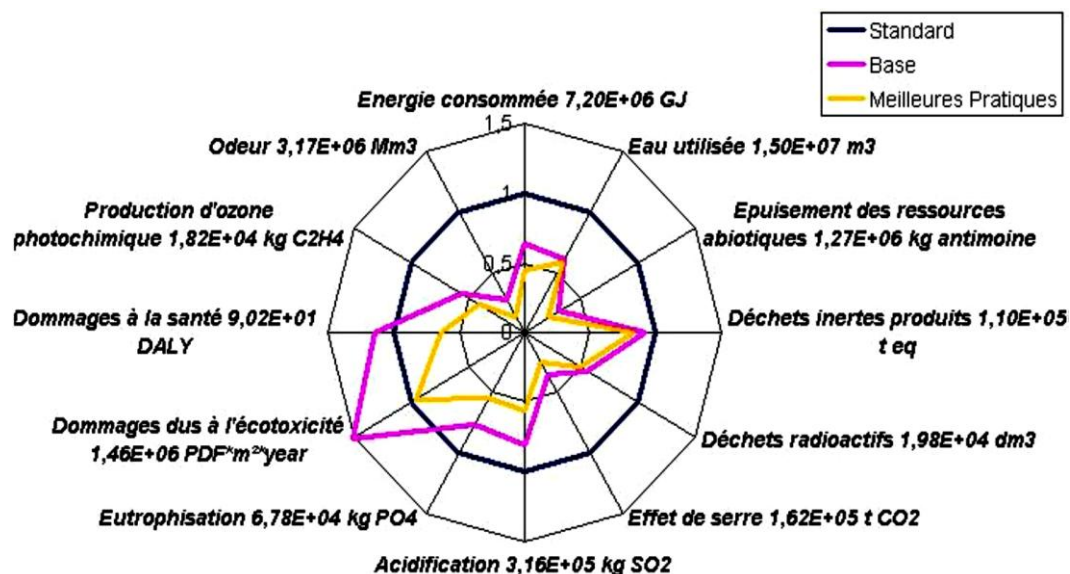


Fig. 51 : Analyse du cycle de vie comparative des trois variantes (source : Trocmé et Peuportier, 2008)

Dans cette figure, nous pouvons observer que la maison base est moins génératrice des impacts environnementaux que la maison standard, exception faite pour les dommages dus à l'écotoxicité, cela est dû à l'utilisation du bois en chauffage.

Concernant l'influence des espaces publics, nous remarquons qu'elle est assez faible vu les bonnes pratiques qui ont été retenues, signalons toutefois, que l'utilisation des pratiques standards dans ces espaces auraient sans doute fait augmenter leur consommation énergétique à 32%. Le tableau suivant présente les émissions des gaz à effet de serre des espaces publics et des bâtiments présentés précédemment (Tab.35)

Tab. 35 : Émissions des gaz à effet de serre des bâtiments et espaces publics (source : Trocmé et Peuportier, 2008)

Émissions de gaz à effet de serre en kg CO2 éq. / (m ² .an)			
Variante	Standard	Base	Meilleures pratiques
Bâtiments	21,9	7,9	5,6
Espaces publics	2,2	0,4	0,4

Nous observons que les bâtiments Base et Meilleures pratiques sont 64% moins émetteurs de gaz à effet de serre que les bâtiments standard, ce résultat revient à leurs performances énergétiques et thermiques et l'intégration des énergies renouvelables. Une réduction de 82% en émission de CO2 des espaces publics est également observée.

III.7 ETUDE D'UN AMENAGEMENT DURABLE D'UN QUARTIER

III.7.1 Présentation du quartier

Cette étude porte sur un quartier situé au centre-ville de la Rochelle, et plus précisément à l'est de la gare de la Rochelle (Fig.52)



Fig. 52: Proposition d'aménagement du quartier est de la gare de la Rochelle (source : Cherqui, 2005)

Les principes sur lesquels s'est appuyé l'aménagement de ce quartier sont les suivants (Cherqui, 2005) :

- Structurer le boulevard Joffre "inachevé" et en lui donnant une "façade urbaine" côté gare et un vis-à-vis à la façade Sud du boulevard ;
- Participer à la mise en scène du monument de la gare lui-même grâce à un front bâti ;
- Affirmer un alignement côté boulevard qui cadre des fenêtres, perspectives ouvertes sur le cœur d'îlots et au-delà des voies ferrées, offrant ainsi une épaisseur et des plans visuels travaillés ;
- Articuler avec le bassin de chasse, grâce à la mise en place d'espaces jardinés au centre du quartier.

III.7.2 Méthodologie menée

Cette étude a concerné quatre objectifs avec leurs indicateurs qui ont été évalués via des logiciels de simulation, de ces derniers figurent EQUER, ALCYONE et COMFIE qui ont été utilisés pour l'évaluation thermique, les consommations énergétiques et la simulation de l'ACV.

Tout d'abord, ALCYONE a été utilisé pour définir la géométrie du bâtiment et les masques proches des bâtiments voisins (Fig.53), pour définir également la position et la taille des ouvertures ainsi que les différentes zones à l'intérieur du bâtiment (Fig.54), ainsi ce logiciel a fourni des données afférentes à la composition des bâtiments ; ces dernières ont été ensuite importées par le logiciel COMFIE pour effectuer une évaluation thermique du bâtiment.

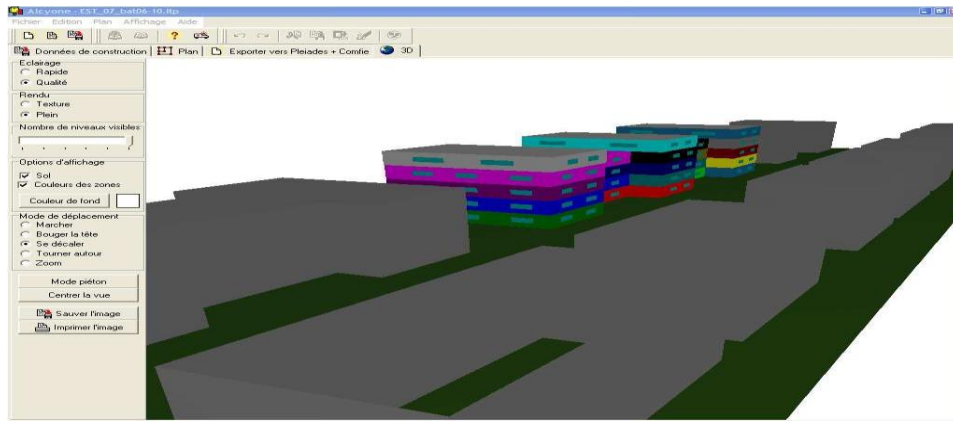


Fig. 53 : Capture d'écran du logiciel ALCYONE (représentation en 3D) (source :Cherqui, 2005)

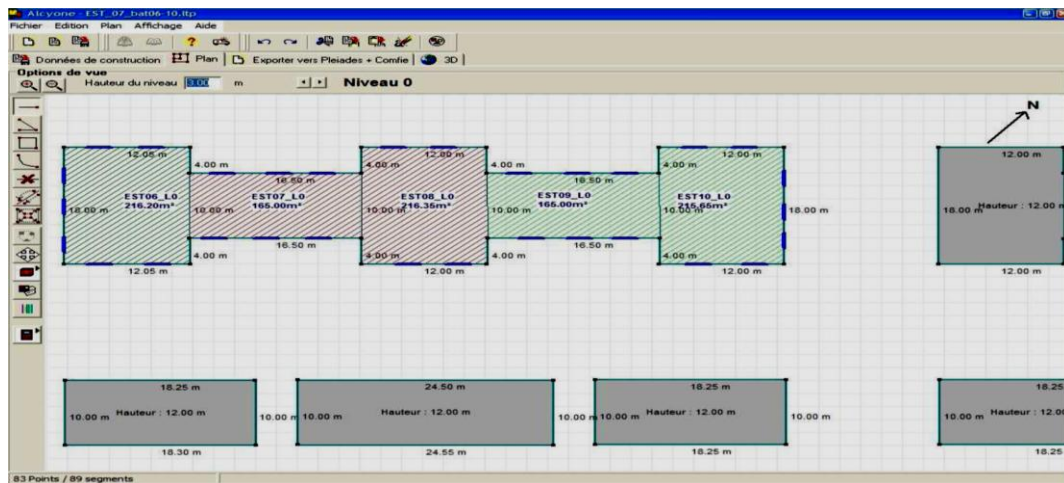


Fig.54: Capture d'écran du logiciel ALCYONE (vue en plan) (source :Cherqui, 2005)

Grâce à COMFIE, les besoins en chauffage (de l'ordre de 40kwh/m^2), les températures minimales, moyennes et maximales ainsi que le taux d'inconfort ont été obtenus.

EQUER intervient en dernier pour effectuer les calculs d'ACV en exploitant les données fournies par COMFIE, et en fonction d'hypothèses sur le mix de production électrique de base et pour le chauffage, le rendement du réseau d'eau, la consommation d'eau par personne, les déchets (collecte, tri, incinération et distance au site de tri ou recyclage) et sur les transports (type, distance, mode). Les valeurs proposées par défaut par le logiciel sont retenues lorsqu'il n'y a pas d'informations spécifiques sur le quartier (Cherqui, 2005).

Les calculs établis par EQUER ont fournis différentes valeurs aux indicateurs des différents objectifs, nous présentons dans le tableau suivant (Tab.36) les résultats des calculs effectués par EQUER pour l'ensemble des bâtiments du quartier pour l'objectif « préserver les ressources » et pour une seule alternative. La même démarche a été appliquée pour la deuxième alternative.

Tab. 36: Résultat des calculs effectués par EQUER sur le bâtiment 17 (alternative de juillet)
(source : Cherqui, 2005)

Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Energie consommée [GJ]	1 900	45 300	300	100	47 600
Eau utilisée [m3]	1 200	108 100	320	40	109 660
Epuisement des ressources abiotiques [10-9]	1	16	3	0	20
Déchets inertes produits [t eq]	120	680	0	980	1780
Déchets radioactifs [dm3]	10	60	0	0	70
Effet de serre [t CO2]	1900	1720	10	10	1930
Acidification [kg SO2]	760	4080	60	60	4960
Eutrophisation [kg PO4]	100	410	0	10	520
Ecotoxicité aquatique [m3]	1104400	18931200	215400	164800	20415800
Toxicité humaine [kg]	1500	8500	230	100	10330
Production d'ozone photochimique [kg C2H4]	400	2800	20	60	3300

La première observation que nous pouvons tirer de ce tableau porte sur la phase d'utilisation qui s'est avérée responsable de la plus grande consommation de l'énergie primaire.

Le calcul doit se faire ensuite pour l'ensemble des bâtiments du quartier, les résultats sont ensuite sommés pour les deux alternatives proposées (celle de juillet et de septembre), les valeurs obtenues pour la consommation d'énergie primaire sont respectivement de 190 000 MWh et 16 000 MWh pour les deux alternatives de juillet et de septembre.

Cette différence de valeur s'explique par la différence d'occupation des bâtiments des deux quartiers mais surtout par l'implantation de ces derniers, en effet les bâtiments de l'alternative de septembre sont plus regroupés et de formes régulières (Fig.55) offrant des parois dont les déperditions énergétiques sont nettement inférieures à celles de l'alternative de juillet (Fig.56).

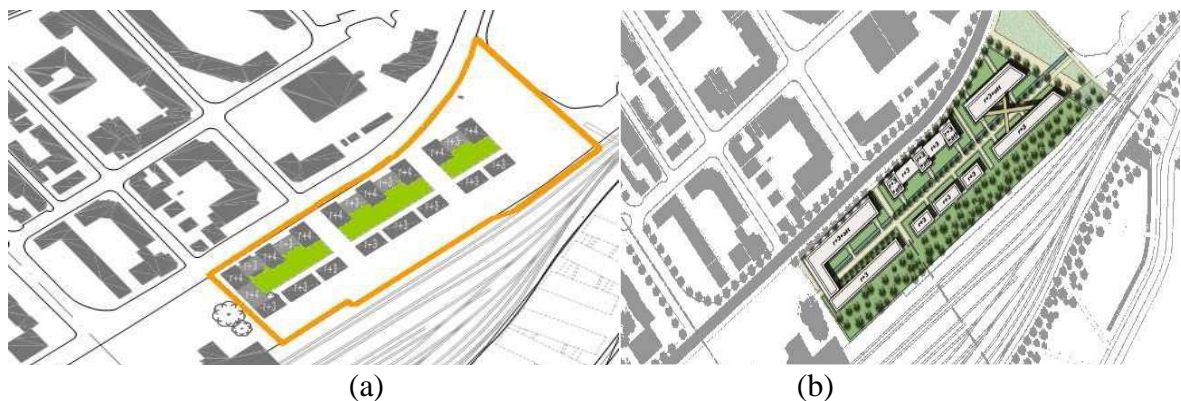


Fig. 55: Présentation de la variante de juillet (a) et de septembre (b) (source :Cherqui, 2005)

Après le calcul de tous les indicateurs associés aux objectifs pour les deux alternatives, une comparaison a été réalisée entre ces deux dernières, les valeurs des indicateurs pour les alternatives en question sont illustrées dans les diagrammes radar suivants (Fig.135)

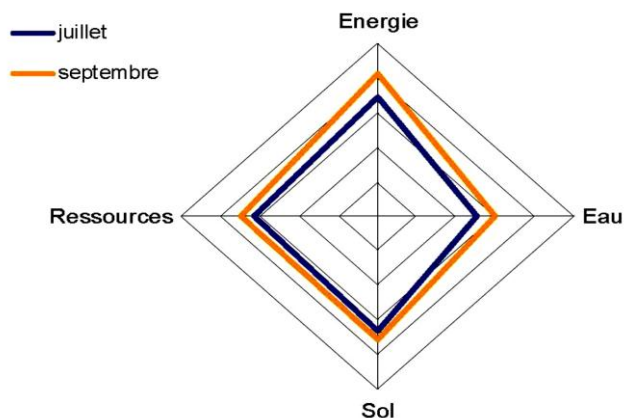


Fig. 56 : Comparaison des deux alternatives pour l'objectif « préserver les ressources » (source : Cherqui, 2005)

Nous remarquons dans la figure ci-dessus, que la différence entre les deux alternatives pour les quatre indicateurs de l'objectif « préserver les ressources » est assez faible :

- Pour les deux indicateurs « ressources et énergie » : la différence entre les deux alternatives s'explique pour la réduction de la consommation énergétique pour l'alternative de septembre à cause de la réduction des parois et l'implantation des bâtiments comme nous l'avons expliqué précédemment ;
- Pour l'indicateur « sol » : l'amélioration de son occupation est due à la présence d'une grande surface d'espaces verts ;
- Pour l'indicateur « eau » : le gain au niveau de sa consommation s'explique par la grande surface de récupération d'eau et par l'occupation qui diffère d'une alternative à une autre.

Pour les autres indicateurs des autres objectifs, la même démarche a été appliquée pour la comparaison des différentes alternatives ainsi que pour le mode de représentation.

III.8 D'autres études sur l'ACV

Dans le même contexte de ces études, nous pouvons citer d'autres travaux qui ont touché de près ou de loin, l'évaluation des impacts environnementaux ainsi que l'ACV, dans ce contexte, nous trouvons (Asdrubali et al,2013), qui ont démontré que l'usage des stratégies bioclimatiques dans le bâtiment peut être salvateur pour les énergies non renouvelables et réduire leur épuisement, elles permettent, en outre, la réduction des gaz à effet de serre (GES), Ils ont travaillé sur l'évaluation

et la comparaison des impacts durant le cycle de vie de trois bâtiments italiens typiques (deux résidentiels et un immeuble de bureaux). Ils ont constaté que la phase d'exploitation a la plus grande contribution à l'impact total : 77% pour maisons individuelles et 85% pour l'immeuble de bureaux. Alors que l'impact de la phase de construction va de 14% (bâtiment de bureaux) à 21% (maisons individuelles).

Kua et Wong (Kua et Wong, 2012) ont analysé le cycle de vie des émissions de gaz à effet de serre et la consommation d'énergie d'un immeuble commercial à étages à Singapour d'un point de vue élargi de la frontière du système. Ils ont essayé de déterminer comment la technologie et la conception des bâtiments pouvaient être modifiées afin que le recyclage des déchets puisse être amélioré. Ils ont conclu que les GES émanant de la gestion des déchets sont plus importants que ceux émanant de la phase d'exploitation. Un cadre stratégique intégré a été recommandé pour explorer des méthodes permettant aux stratégies de construction de travailler avec d'autres pour traiter la question de la réduction, de la collecte, du stockage et du recyclage des déchets.

Paulsen et Sposto (Paulsen et Sposto, 2013) ont évalué la consommation d'énergie au cours du cycle de vie d'un logement social au Brésil. Les résultats ont montré que l'énergie incorporée dans le logement social brésilien représente 30% de l'énergie totale du cycle de vie alors que l'énergie opérationnelle est 2,5 fois plus élevée. L'étude indique que le plus grand potentiel d'amélioration pour réduire l'énergie incarnée peut être fait en choisissant des matériaux et des systèmes avec moins d'énergie incarnée et une plus grande durabilité pour réduire la nécessité d'entretien et de substitution de matériaux.

Hu et al. (Hu et al., 2013) ont quantifié les impacts environnementaux associés à la fabrication dynamique de mémoire à accès aléatoire (DRAM) ou (Dynamic Random Access Memory) et à l'utilisation d'énergie dans les bâtiments de haute technologie dans une région subtropicale en utilisant le système ACV. Ils ont constaté que les gaz à effet de serre, l'acidification, les métaux lourds, le smog hivernal et les ressources énergétiques figuraient parmi les catégories d'impact les plus significatives. Ils ont indiqué que l'impact environnemental principal provenait de l'électricité, alors que l'utilisation de la vapeur pouvait modérer l'impact environnemental global.

III.9 DISCUSSION :

À l'étude des outils d'évaluation et les retours d'expérience présentés, nous pouvons énoncer les conclusions suivantes :

- Ces études nous proposent différentes méthodologie d'évaluation environnementale des bâtiments en intégrant un système d'indicateurs et nous renseignent sur les principaux

indicateurs à considérer dans une évaluation de bâtiment, notre choix vis-à-vis des indicateurs d'aspects quantitatifs s'est fait à partir de l'étude sur le quartier de la Rochelle (Cherqui, 2005), tout en les combinant à d'autres indicateurs d'aspect qualitatif qui n'ont pas été abordés par ces études (confort) mais que nous allons présenter et développer ultérieurement ;

- Elles nous renseignent sur les aspects à prendre en compte dans une démarche d'évaluation tel que les références ;
- À partir des conclusions de ces études, nous avons pu définir les leviers de performances environnementales, des besoins de chauffages et sur quels points faut-il agir afin d'améliorer la qualité environnementale du bâtiment (étude de la maison individuelle par ATEQUE et de la maison EcoLogie), nous avons pu connaître en outre l'influence de la conception thermique sur le bilan environnemental (étude du bâtiment tertiaire le Nautille)
- Elles nous permettent de connaître la contribution des sources d'impact au bilan global et connaître la phase de vie à plus grand impact selon le cas d'étude ;
- Les études sur les quartiers (la Rochelle et Lyon confluence) nous renseignent sur la possibilité d'élargir le champ d'application du système ACV au-delà de l'échelle du bâtiment et renvoient à la fiabilité de ce dernier en matière de quantification des impacts environnementaux à différentes échelles, ce qui conforte davantage notre choix par rapport à ce système ;
- Les différents outils utilisés dans les différentes études, consolident notre choix vis-à-vis de certains outils logiciels d'évaluation en l'occurrence EQUER
- Par ailleurs, ces études font part de la nécessité de précéder à l'évaluation environnementale par une autre thermique et énergétique, elles nous proposent le logiciel COMFIE pour la réalisation de cette dernière, dans ce contexte ces études dont les résultats sont concluants montrent la performance de combiner ces deux types d'évaluations ;
- Ces études nous aident à élaborer un choix vis-à-vis de la nature de la représentation graphique des résultats des indicateurs pour différentes alternatives, le diagramme radar, utilisé dans la quasi-totalité des études présentées, s'avère un graphique pertinent pour comparer plusieurs alternatives ;

Finalement la lecture profonde et l'étude fine de ces nombreuses études, nous ont aidées à construire notre méthode à partir d'un système de thèmes et d'indicateurs normalisés par un cadre référentiel pertinent et dont les aspects et les étapes sont présentées dans le chapitre suivant.

CONCLUSION

Nous avons exhibé et étudié différentes réponses internationales aux impacts environnementaux, ces réponses s'illustrent à travers des méthodes et outils d'évaluation environnementale, nous avons consolidé ces réponses à travers un retour d'expérience qui nous a permis d'étudier certaines démarches faisant recours à différents outils d'évaluation environnementale, levant le voile sur les points forts et faibles de ces derniers, les résultats des différentes évaluations sont concluants et font part de la nécessité de ce type d'outils pour une évaluation pertinente. Le système ACV, par ailleurs, s'avère très pertinent, il permet la quantification des flux de matière et d'énergie depuis le prélèvement des ressources jusqu'au traitement des déchets ultimes, il considère, à cet effet, toutes les phases de vie du bâtiment, ce qui rend ce système adéquat aux visées de notre méthode auprès de la méthode d'aide à la décision multicritère à laquelle il sera combiné. En outre, ce chapitre, nous a permis de connaître les outils de simulation susceptibles de nous permettre de calculer l'inventaire global des entrants et sortants d'un bâtiment, ces outils qui ont été usités dans les différentes évaluations précitées ont contribué à la clarté et la pertinence des résultats.

La partie suivante sera consacrée à l'étude du système ACV que nous avons retenu et à la construction de notre propre méthode qui vaudra être fluide, claire et objective.

Deuxième partie

CONSTRUCTION D'UNE METHODE D'EVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU BATIMENT HOTELIER

« Le progrès humain n'est ni automatique ni inévitable. Nous n'échapperons pas désormais au fait que demain est déjà là. Nous sommes confrontés à l'urgence aiguë du < maintenant >. Dans cette énigme qui se déroule devant nous en mêlant la vie et l'histoire, nous ne pouvons pas nous permettre de retard... Nous pouvons supplier le temps de suspendre son vol, mais il n'écoute aucun grief et continue sans ralentir. Au-dessus des os blanchis et des ruines de nombreuses civilisations, on peut lire ces mots pathétiques : trop tard. »

Martin Luther King Jr, « *Where do we go from here: chaos or community* » (Et maintenant? Le chaos ou la communauté ?)

Introduction à la deuxième partie

Dans une optique méthodologique, et après avoir clarifier les différents enjeux environnementaux, il s'avère que le besoin d'une approche globale claire et compréhensible de ces derniers est fortement ressenti.

Il s'agit dans ce contexte, d'évaluer correctement les impacts environnementaux via une méthode adaptée aux objectifs de notre recherche étant donné que l'évaluateur dispose d'une panoplie de méthodes qui diffèrent de par les enjeux environnementaux pris en compte.

Dans un premier temps, et à travers le chapitre III, nous étudierons prospectivement le système ACV sur lequel se basera notre méthode, nous présenterons par la suite les indicateurs et thèmes considérés par notre méthode ; et dans un second temps, nous étudierons, dans le chapitre IV, différentes méthodes d'agrégation et de pondération des critères et de normalisation des indicateurs afin de choisir la plus adaptée à notre méthode et pouvoir ainsi traiter et quantifier nos indicateurs.

Chapitre III

ETUDE PROSPECTIVE DU SYSTEME RETENU « L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE »

*« De plus en plus, les consommateurs s'intéressent au monde situé derrière le produit qu'ils achètent.
Penser en termes de Cycle de Vie signifie que chacun, dans la chaîne de vie d'un produit "du berceau à la tombe", a une responsabilité et un rôle à jouer, en tenant compte de tous les effets externes. À toutes les étapes du cycle de vie, les impacts doivent être examinés de façon approfondie, pour aboutir à des décisions réfléchies sur les modes de production et de consommation, sur les règles globales et sur les stratégies de gestion »*

Klaus Töpfer, Directeur de l'UNEP

INTRODUCTION

Appliquée dans le bâtiment, l'ACV permet une évaluation environnementale de ce dernier, en quantifiant ses flux de matières et d'énergie depuis le prélèvement des ressources naturelles jusqu'au traitement des déchets ultimes. Dans ce qui suit, nous évertuons d'étudier plus profondément ce système, de connaître ses principes, ses enjeux, ses aspects ainsi que sa méthodologie et ses usages.

I. PRESENTATION ET DEFINITION DE L'ACV

Le concept du « cycle de vie » est d'origine industrielle dont la notion originale est « du berceau à la tombe », elle implique différents acteurs soucieux des aspects environnementaux de leurs produits et plus pertinemment encore les concepteurs vis-à-vis de la qualité environnementale de leurs projets de bâtiments et la minimisation des impacts environnementaux générés par ces derniers. Controversée et complexe, cette méthode a suscité et suscite encore beaucoup d'interrogations, néanmoins, elle permet de lever le voile sur les impacts environnementaux générés par un produit ou un bâtiment en portant une évaluation détaillée sur les flux de matière et d'énergie dans un contexte déterminé.

I.1 Historique

L'origine industrielle à laquelle appartiennent les ACV se reflétait tout d'abord à travers des comparaisons de matériaux entre eux, ensuite à travers des mesures appliquées toujours aux produits industriels, suite aux chocs pétroliers, afin de déterminer l'impact des facteurs énergétiques dans le processus production et distribution de ces derniers.

Dès 1970, les États-Unis ont procédé à des méthodes d'analyse des profils environnementaux et d'utilisation des ressources naturelles. Cette méthode qui concernait les emballages portait le nom de « REPAs » pour *Resource and Environmental Profiles Analyses*, elle focalisait notamment sur les consommations d'énergie, les consommations de matières premières, de ressources naturelles et la production des déchets.

Cependant, et en raison de l'hétérogénéité des différentes données utilisées constatée dans la pratique de cette méthode qui aboutissait à des résultats difficilement exploitables d'un pays à un autre, les industriels et les pouvoirs publics cherchèrent une méthode systématique fournissant des résultats plus pertinents et offrant une facilité de comparaison entre pays et régions de différentes échelles.

Pour cela, et afin d'obtenir une base de données solides pouvant crédibiliser au mieux les ACV, la SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) a proposé, dès 1993, un code de bonnes pratiques qui a constitué la référence des développements ultérieurs. En parallèle, à Paris, l'analyse du cycle de vie a été inscrite dans le programme de développement des normes relevant du management environnemental par l'organisation internationale de normalisation (ISO).

La SETAC a développé, par la suite, une méthode appelée EDIP (*Environmental Design of Industrial Products ou conception environnementale des produits industriels*) dans le cadre de la normalisation afférente aux aspects environnementaux devant être prise dans la conception des produits.

Enfin, il nous importe fortement dans le contexte de notre recherche de souligner que cette méthode a été assimilée au secteur du bâtiment grâce aux travaux de Bruno Peuportier notamment avec le projet REGENER (Peuportier, 1998), ainsi que d'autres travaux qui ont contribué à l'élaboration d'indicateurs à l'échelle du bâtiment (Peuportier, 1998) et (Peuportier, 2003), des outils d'ACV ont été dans ce cadre proposés pour le bâtiment (Peuportier et al, 2004)

Le tableau suivant (Tab. 37) récapitule les principaux repères historiques afférents à l'utilisation de l'analyse du cycle de vie ainsi que les événements qui leur étaient assimilés.

Tab.37 : Historique de l'utilisation des ACV (source : Gauthier et al, 2005)

Période	Phases	Évènements
1960-1990	Approche bilan matière, bilans énergétiques dans l'industrie	Chocs pétrolier Crises industrielles Évolution de la réglementation environnementale
1988-1991	Phase d'initiation	Développement des systèmes de management environnemental Premiers bureaux d'études spécialisés en ACV
1991-1995	Phase d'apprentissage	Directive sur le traitement et la valorisation des déchets d'emballages Lancement des ACV pour la grande industrie (énergie, acier/aluminium, papier/ plastiques) Écolabels. Premières controverses publicitaires
1995-2000	Phase de normalisation	Systématisation des certifications ISO 14001 de l'EMAS et des rapports environnement. Groupe de travail ISO sur les normes 14040. Edition des premières normes. Utilisation de l'ACV en appui technique pré réglementaire.
>2000	Période d'usage Banalisé	Comptabilité effet de serre Application de l'IPP et Écoconception Déclaration environnementale systématisée.

I.2 La méthodologie de l'ACV

La méthodologie de l'ACV a été utilisée dans des contextes différents et par une panoplie d'acteurs appartenant à des groupes internationaux qui ont abouti à une harmonisation de la démarche en question et un foisonnement d'idées et d'efforts. Il s'est agi par exemple des universités, cabinets de consultants travaillant pour des autorités nationales (américaine, canadienne, suisse, allemande, hollandaise notamment), dans certains cas industriels (comme l'industrie automobile en Suède, l'industrie papetière en Finlande et au Canada, etc. ...).

Cependant, nous soulignons que la méthodologie actuelle qui regroupe les étapes d'une analyse du cycle de vie était l'aboutissement certainement de la contribution des acteurs précédents mais particulièrement grâce aux travaux de la SETAC, citée précédemment, réalisés entre 1991 et 1993. Il s'agit en l'occurrence des étapes suivantes étudiées par Gauthier (Gauthier et al, 2005) :

I.2.1 Le bilan matières/énergie

(Inventory ou LCI - life cycle inventory) est un inventaire des flux entrants (matières premières, eau, énergie) et des flux sortants (effluents liquides, gazeux et rejets solides) durant tout le cycle de vie du produit communément appelé "du berceau à la tombe". Il peut être concerné la totalité de ce cycle comme il peut être limité à une partie uniquement sous certaines réserves ;

I.2.2 L'évaluation de l'impact du cycle de vie

(life cycle impact assessment) consiste à identifier et évaluer les impacts influant la santé humaine et l'environnement, en considérant l'utilisation des ressources (énergie et matières) et des rejets dans l'environnement ;

I.2.3 La recherche des améliorations

(Ou improvement assessment) consiste à proposer des améliorations susceptibles de réduire les impacts environnementaux..

Sur ces bases, l'ACV a fait l'objet d'une normalisation :

- ❑ **Norme ISO14040** : Management environnemental. Analyse du cycle de vie : principes et cadre. Elle décrit les caractéristiques principales et les bonnes pratiques à suivre pour une bonne application de l'ACV
- ❑ **Norme ISO14041, ISO14042 et ISO14043** : s'adressent particulièrement aux professionnels, elles définissent respectivement, l'objectif et champs de l'étude, la phase d'évaluation de l'impact du cycle de vie et les exigences relatifs à l'interprétation des résultats de l'ACV.
- ❑ **Norme ISO14044** : Management environnemental. Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices

La norme internationale ISO 14040 donne la définition suivante de l'analyse du cycle de vie : "*Compilation et évaluation des entrants et des sortants ainsi que les impacts potentiels environnementaux d'un système de produits au cours de son cycle de vie*". Cette norme identifie quatre étapes pour cette méthode (Fig. 57) , à savoir :

- ❑ Une phase de définition des objectifs et du cadre de l'analyse de cycle de vie ;
- ❑ Une phase d'inventaire du cycle de vie dans laquelle il est question de quantifier les entrant et sortant en terme de flux de matière et d'énergie ;
- ❑ Une phase d'évaluation des impacts ;
- ❑ Une phase d'interprétation des résultats et la recherche d'amélioration.

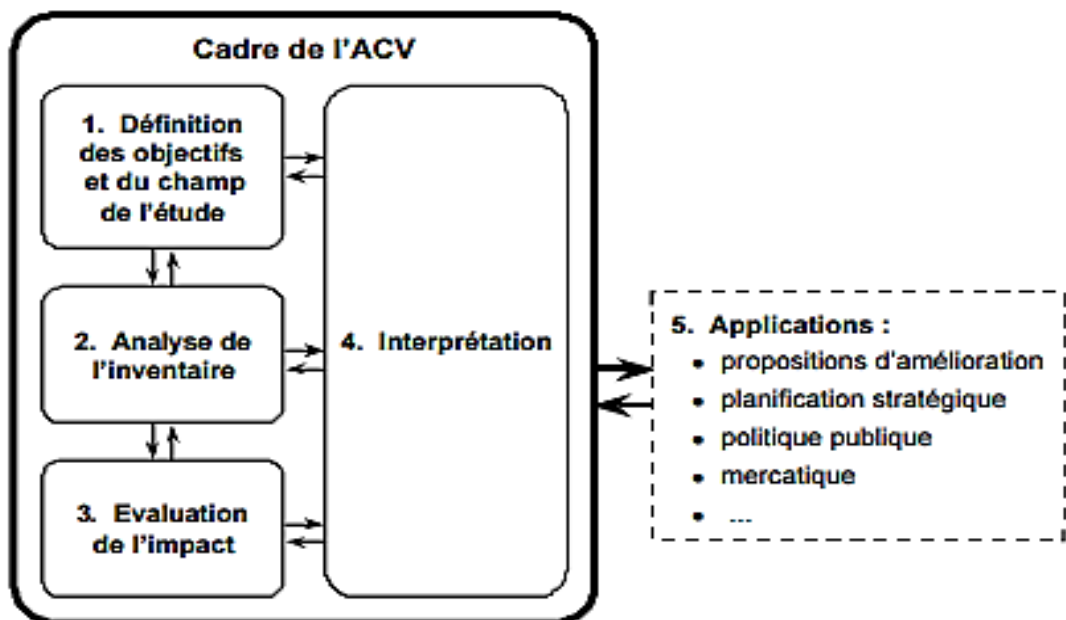


Fig. 57 : Les étapes de l'ACV (source : Boeglin et Veuillet, 2005)

Ces derniers sont présentés et expliqués dans les paragraphes suivants, il importe par ailleurs de présenter deux éléments essentiels qui déterminent le champs d'application d'une telle étude, en l'occurrence :

- **L'unité fonctionnelle de l'étude** : elle détermine la fonction remplie par le système étudié, et permet de ramener les impacts à une unité de mesure ;
- **Les frontières de l'étude** : cet élément permet de déterminer le contexte précis de l'étude, qu'il s'agisse du bâtiment seul ou bien avec les transports, et de l'étape ou de l'ensemble des étapes de vie à étudier.

Nous déterminons les nôtres ultérieurement.

I.3 LES ÉTAPES D'UNE ACV

I.3.1 Définition des objectifs et du cadre de l'analyse du cycle de vie

L'analyse du cycle de vie peut être utilisée pour répondre à des objectifs différents, nous reviendront sur les nôtres ultérieurement.

Cependant, l'application de cette méthode dans tout projet nécessite, pour sa meilleure maîtrise, de développer une liste de références environnementales qui permet d'une part et dans un premier temps de réunir tous les impacts susceptibles d'influencer le projet en question, et d'autre part, et dans un second temps de procéder à un tri des catégories d'impacts en gardant celles dont l'influence est importante et en éliminant le reste dont l'influence peut être insignifiante.

Ainsi les objectifs qui doivent être fixés par cette première phase sont entre autres :

- Découvrir les points faibles des procédés de production afin de savoir à y pallier ;
- Propulser le développement des aspects respectant l'environnement ;
- Contribuer à prendre la meilleure décision dès l'amont du projet ou de l'opération sujette de cette analyse ;
- Promouvoir des produits et des procédés propres ;
- Comparer des propositions qui se présentent ;
- Proposer des pistes objectives afin d'agir au mieux.

I.3.2 Inventaire du cycle de vie

Selon la normalisation internationale ISO 14040, la définition de l'inventaire du cycle de vie est la suivante : « *Phase de l'analyse de cycle de vie impliquant la compilation et la quantification des entrants et des sortants pour un système de produits donné au cours de son cycle de vie* ». Ainsi, l'inventaire du cycle de vie comprend les étapes suivantes :

- La collecte des données ;
- La construction d'un modèle ;
- L'analyse des résultats de la modélisation et la réalisation d'un rapport de présentation de ces résultats ;
- L'interprétation des résultats et les conclusions.

Pour la bonne maîtrise de cette phase, il importe de décrire toutes les transformations concernant les substances, l'énergie et leurs retombés sur l'environnement et cela depuis « le berceau » jusqu'à « la tombe », autrement dit lors de ses phases de prélèvements, de fabrication, d'utilisation, et dans certains cas de traitement.

Dans cette même phase on examine (Fig.58) :

- Les consommations des matières premières et des sources d'énergie

- Les émissions dans les différents compartiments de l'environnement causés par le produit ou le bâtiment en question
- Les déchets produits lors des différentes phases de vie

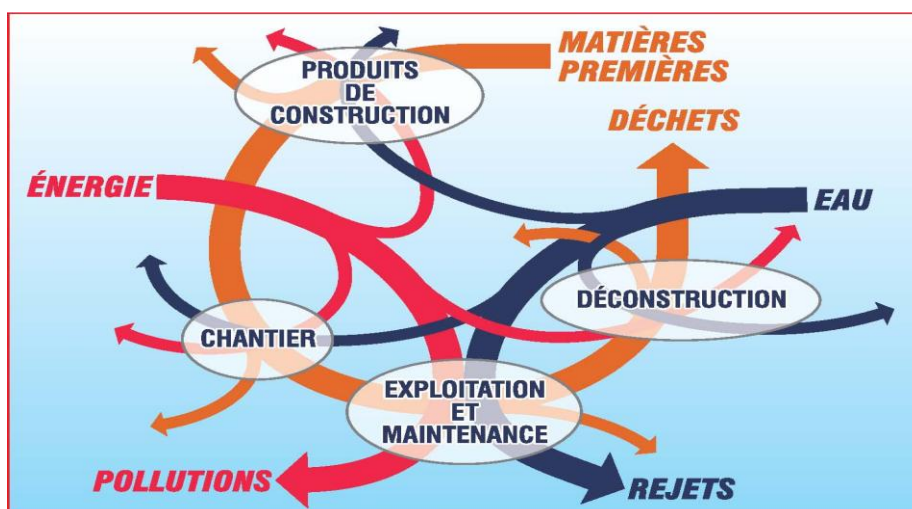


Fig. 58 : Le cycle de vie d'un bâtiment (source : Liébard et De herde. 2006 (a))

Enfin, et concernant les critères qui nous permettent d'apprécier les différents effets d'un produit sur l'environnement, il faut savoir que ces derniers sont nombreux et dépendent de chacun des produits examinés. Le tableau suivant (Tab. 38) récapitule ces critères avec quelques exemples.

Tab.38 : Exemple de critères et effets de certains produits sur l'environnement (source :Bliefert et Perraud, 2004)

Critères orientés vers l'environnement	Aspects spécifiques (exemples)
Matières premières, produits précurseurs et leur préparation	Utilisation d'une substance (type et quantité), utilisation d'énergie (type et quantité), consommation d'eau consommation du pays, émissions.
Fabrication des produits, composés auxiliaires et matières de base	Déchets, utilisation de substances et d'énergie (type et quantité), consommation d'eau, émissions
Transport, transfert, stockage	Emballages, utilisation d'énergie, déchets, consommation du pays
Utilisation, consommation	Utilisation d'énergie, consommation d'eau, utilisation de substances, émissions, durée de vie, déchets, information des consommateurs et des utilisateurs
Valorisation, traitement	Recyclage, traitement des résidus, déchets

I.3.3 Évaluation de l'impact du cycle de vie

Cette phase est largement corrélée aux phases précédentes, en effet, elle dépend indubitablement des résultats obtenus au cours de l'inventaire, ces derniers doivent être interprétés en termes d'impacts environnementaux qui doivent eux-mêmes revêtir un aspect à la fois synthétique et explicite.

I.3.4 Interprétations du cycle de vie

C'est la dernière phase d'une ACV dans laquelle les principes d'action seront dégagés, en réalisant une estimation du bilan d'inventaire et celui des conséquences ainsi que la recherche des améliorations visant à réduire les impacts environnementaux qui seront à la fois identifiés et évalués, afin de prendre des décisions respectant l'environnement. Le schéma suivant (Fig.59) récapitule la procédure en question.

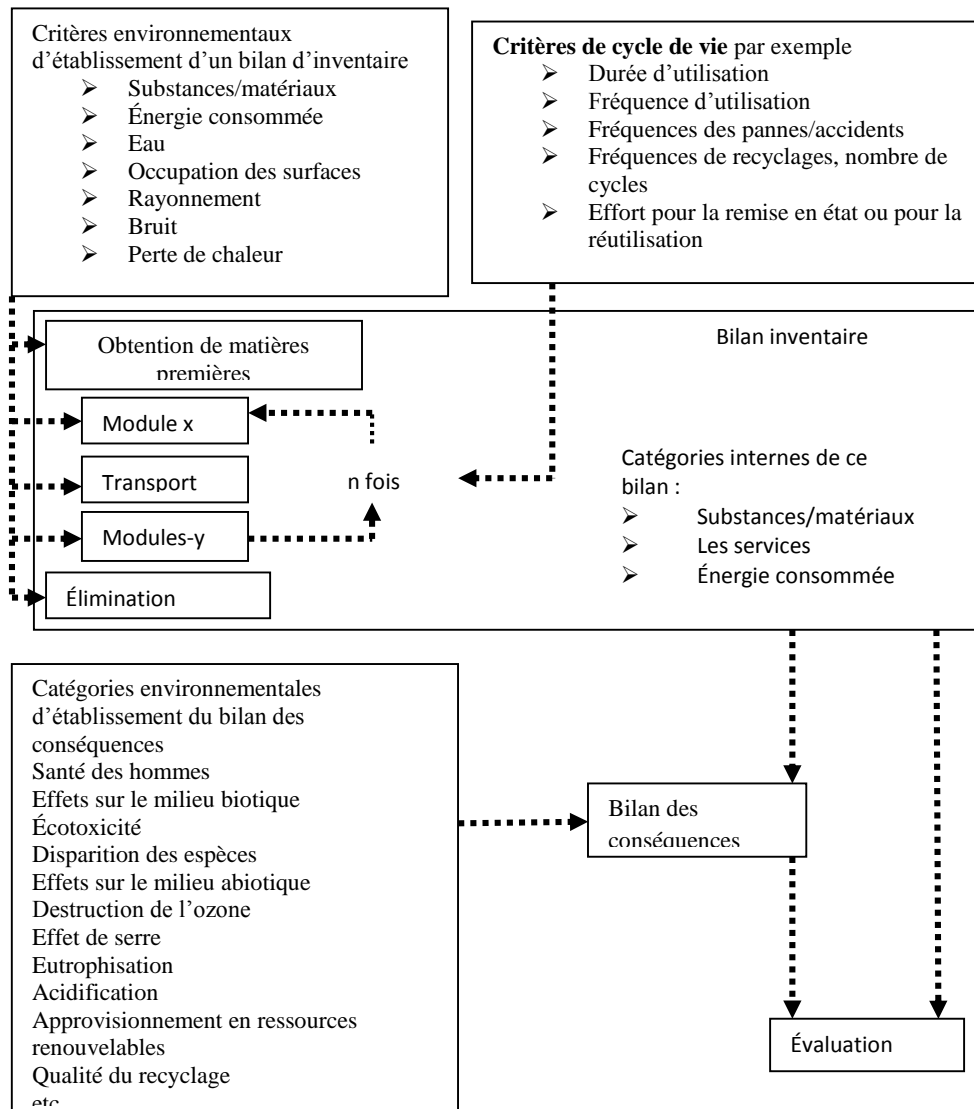


Fig. 59: Procédure pour établir le bilan d'inventaire et le bilan des conséquences ainsi que l'évaluation dans une analyse du cycle de vie (source :Bliefert et Perraud, 2004)

I.4 DIFFERENTES METHODES UTILISEES DANS L'ACV

Différentes méthodes ont été proposées pour réaliser une analyse du cycle de vie, les plus importantes sont les suivantes (Bliefert et Perraud, 2004) :

I.4.1 La méthode des émissions polluantes

La première méthode repose sur les émissions polluantes, elle concerne tout composé introduit dans l'un des compartiment de l'environnement (air, eau, sol), son évaluation se base sur des « valeurs limites d'immission²⁴ qui permettent la pondération des émissions en question, ainsi, plus le transfert des émissions de polluants aux immissions est élevé, plus l'appréciation est mauvaise quand on fait le bilan ; l'inconvénient de cette méthode est que les valeurs limites sont fixées de manière arbitraire ce qui peut aboutir à des résultats distants de la réalité.

I.4.2 La méthode des flux des substances

La seconde méthode est celle des flux des substances, son évaluation se base sur le seuil de rareté écologique et sur les émissions : l'importance des émissions est corrélée inversement à l'utilisation des matière premières, plus ces dernières sont limitées et plus importantes seront les émissions, ce qui rend l'appréciation du produit négative. Tous les impacts environnementaux sont sommés pour aboutir à un seul chiffre, dont la valeur basse classifie le produit dans le rang des produits respectueux de l'environnement et vice versa.

I.4.3 La méthode de monétarisation

La troisième méthode quant à elle repose, pour l'évaluation des impacts sur l'environnement, sur des valeurs monétaires attribuées à ces derniers ; et qui seront traduits en coûts de pollution et en coûts engagés ce qui permettra de prévenir les dommages produits et les remplacer, mettant en exergue l'importance de tel ou tel produit du point vue environnemental.

Cependant, il importe de signaler que l'ensemble de ces méthodes présentent des inconvénients qui se traduisent par des faiblesses méthodologiques. Néanmoins, et en dépit de l'absence d'un consensus sur les étapes de ces méthodes, l'ACV continue d'avoir un intérêt considérable parmi les chercheurs qui ne cessent de développer des logiciels et des méthodologies susceptibles d'apporter une meilleure maîtrise de ce type d'évaluation tout en élargissant son domaine d'application.

Dans ce contexte, nous citons l'application de cette méthode dans le domaine du bâtiment qui vise une évaluation objective et praticable et une meilleure maîtrise des impacts environnementaux impliquant considérablement l'environnement. Pour cela des logiciels de simulation ont été créés afin d'apporter une contribution pertinente : aider les acteurs dans leurs décisions en tirant parti des modèles physiques de plus en plus précis et en couvrant un domaine toujours plus large.

²⁴ dose sans effet

Celui qui nous intéresse et qui nous importe dans la présente recherche est celui qui a été développé par l'école des mines de Paris, et qu'on a baptisé « EQUER » ; nous y reviendrons ultérieurement.

I.5 LES APPORTS D'UNE ACV POUR L'EVALUATION DES BATIMENTS

La méthode de l'ACV que nous avons choisie d'appliquer dans le contexte de cette recherche présente d'innombrables avantages et offre des apports très considérables que nous résumons dans les paragraphes suivants :

- ❑ Aider à rationaliser les décisions : comme nous l'avons signalé auparavant, l'ACV permet de comparer plusieurs alternatives, c'est cette propriété qui fait de cette méthode une aide à la décision afin de retenir et développer la meilleure alternative qui se présente;
- ❑ L'ACV permet grandement d'éviter les déplacements de pollution ;
 - *d'un impact à l'autre* : prenant l'exemple de l'électricité charbon à l'électricité nucléaire, l'impact est déplacé de l'effet de serre à la production des déchets radioactifs (Fig.60) ;

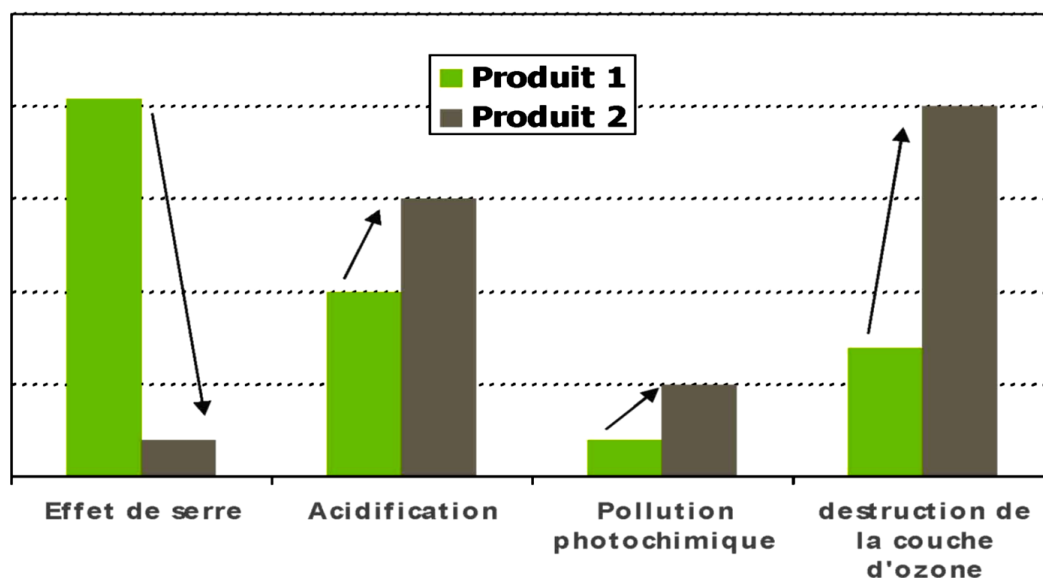


Fig. 60 :L'ACV permet d'éviter les déplacements de pollutions d'un impact à l'autre pour différentes alternatives (source : Papadopoulo, 2009)

- *d'une étape à l'autre* : l'ACV permet de repérer l'étape qui engendre le plus d'impacts et ainsi d'éviter le déplacement de ces derniers aux autres alternatives (Fig.61) ;

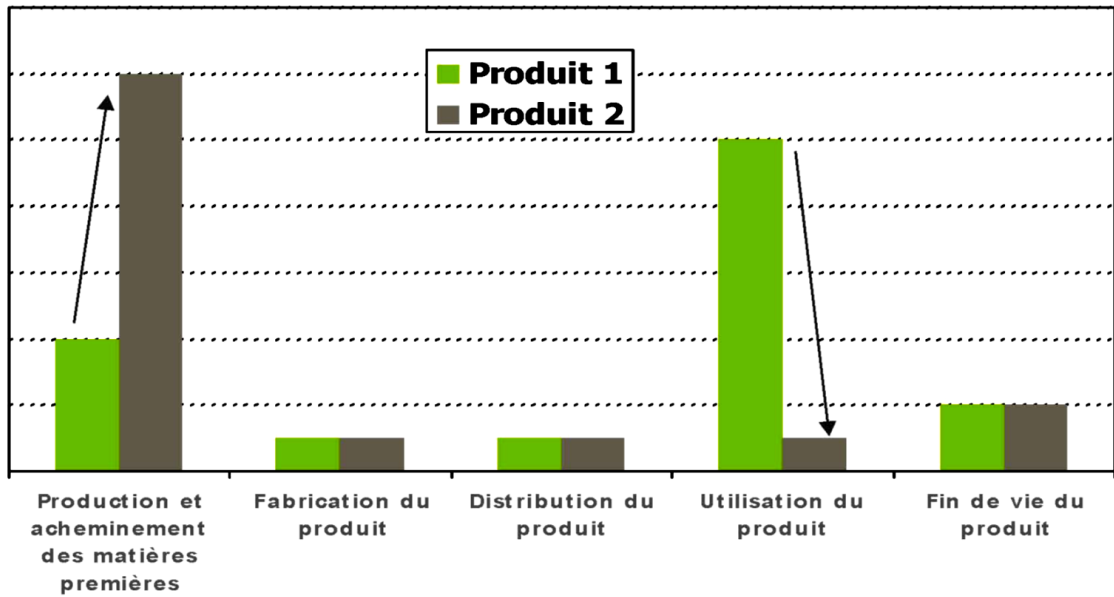
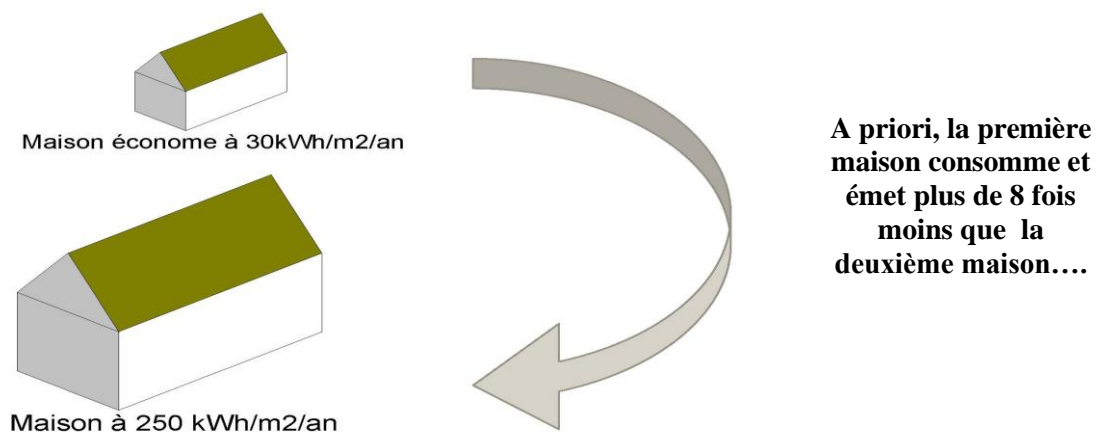
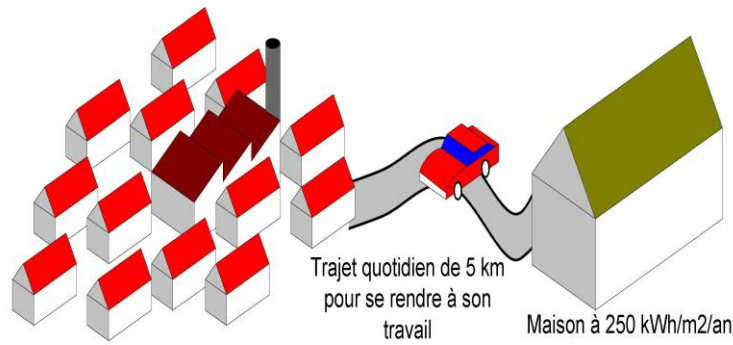


Fig. 61: L'ACV permet d'éviter les déplacements de pollutions d'une étape à l'autre pour différentes alternatives (source : Papadopoulo, 2009)

- ❑ l'un des plus grands apports de l'ACV pour l'évaluation des bâtiments réside dans le choix judicieux de la meilleure alternative parmi plusieurs, en effet certaines alternatives peuvent présenter des avantages pour un ou plusieurs indicateurs au détriment des autres indicateurs, ainsi, l'ACV permet de retenir le meilleur choix et d'éviter des erreurs escamotés à priori par un apport donné ;

Prenant l'exemple d'une maison à énergie positive, en dépit de l'apport économique en énergie de cette maison, cette dernière peut par la même occasion provoquer une réelle dégradation environnementale par les GES qu'elle peut émettre (Fig.62).





La maison économe en énergie émet en fin de compte plus de 50% de GES que l'autre maison si on considère les transports

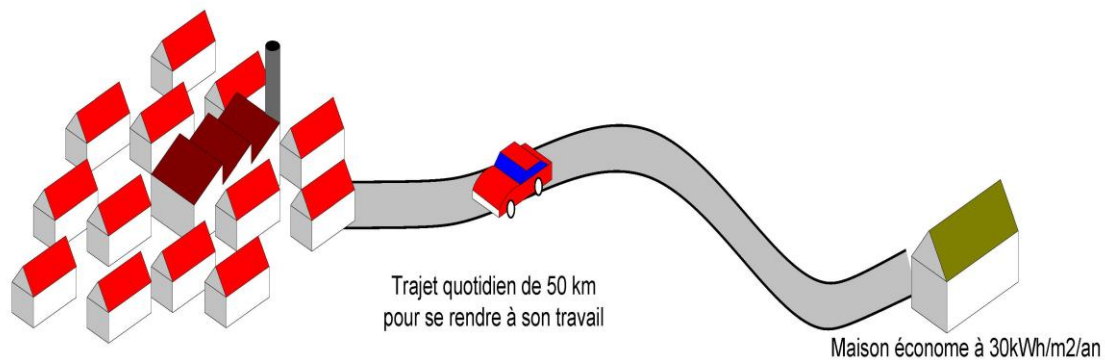


Fig. 62: La maison économe engendre à postériori un impact négatif sur l'environnement (source : Papadopoulo, 2009)

- ❑ L'ACV permet de prendre en considération toutes les consommations du bâtiment en terme de matériaux, d'énergie et de transport
- ❑ Cet outil permet également de prendre en compte la production (des matériaux par exemple) et de leur acheminement, de leur lieu de production jusqu'au chantier, de même pour toutes les autres sources de consommation et cela sur toutes les étapes de vie du bâtiment considéré ;
- ❑ En outre, l'ACV, permet une grande maîtrise des étapes de vie du bâtiment qui sont toutes prises en compte et permet en outre un suivi de tous les éventuels impacts du bâtiment offrant ainsi au bout de toute évaluation une alliance avec l'environnement.
- ❑ N'oublions pas d'autre part, que l'ACV permet l'évaluation du coût de construction et celui de l'utilisation du bâtiment durant son cycle de vie, et comparer par la même occasion ces coûts inhérents à différents bâtiments (Fig. 63)

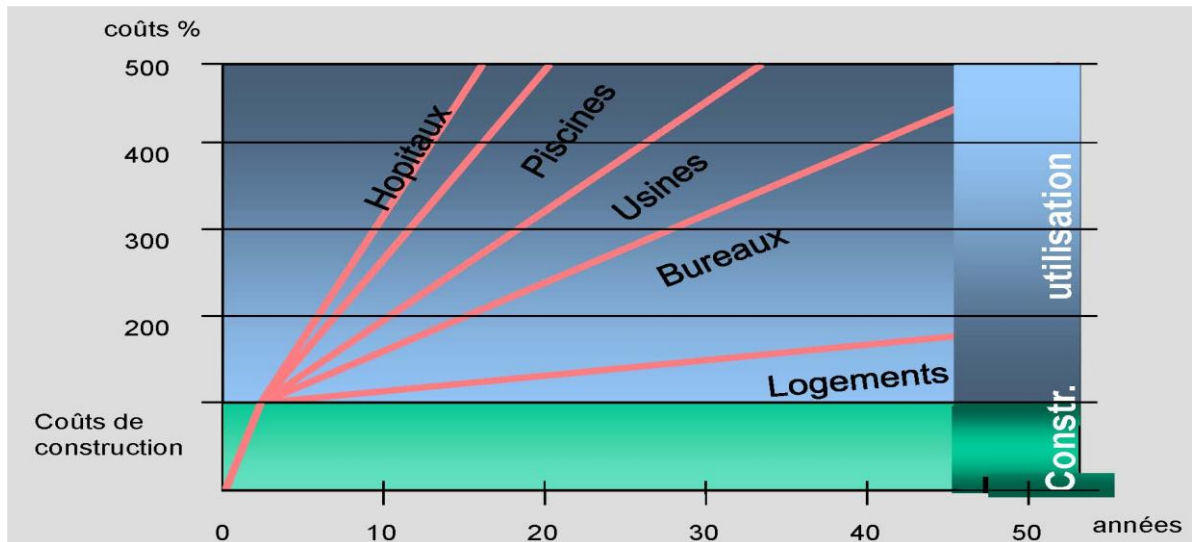


Fig. 63 : Comparaison du coût de la construction et de l'utilisation pour différents bâtiments (source : Terrin, 2010)

- Enfin, elle permet l'évaluation de la valeur de différentes opérations liées au bâtiment telle que la réhabilitation, la rénovation ou la reconstruction, et cela tout au long du cycle de vie du bâtiment, et à partir de là le décideur pourra retenir l'opération la plus compatible à l'environnement et à la convenance de sa mission (Fig.64).

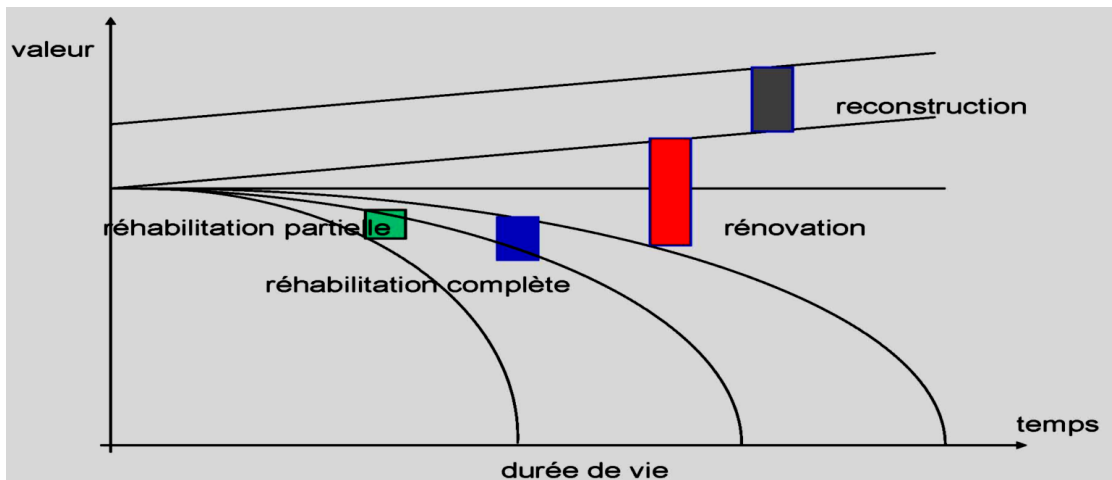


Fig. 64 : Évaluation de la valeur de différentes opérations liées au bâtiment durant son cycle de vie (source : Terrin, 2010)

Grace à tous ces apports, l'ACV connaît une grande application dans différents domaines et à fortiori dans le secteur du bâtiment, le mode d'emploi de cette méthode est résumé dans la figure suivante (Fig.65), ses domaines d'application sont résumés quant à eux dans les paragraphes suivants.

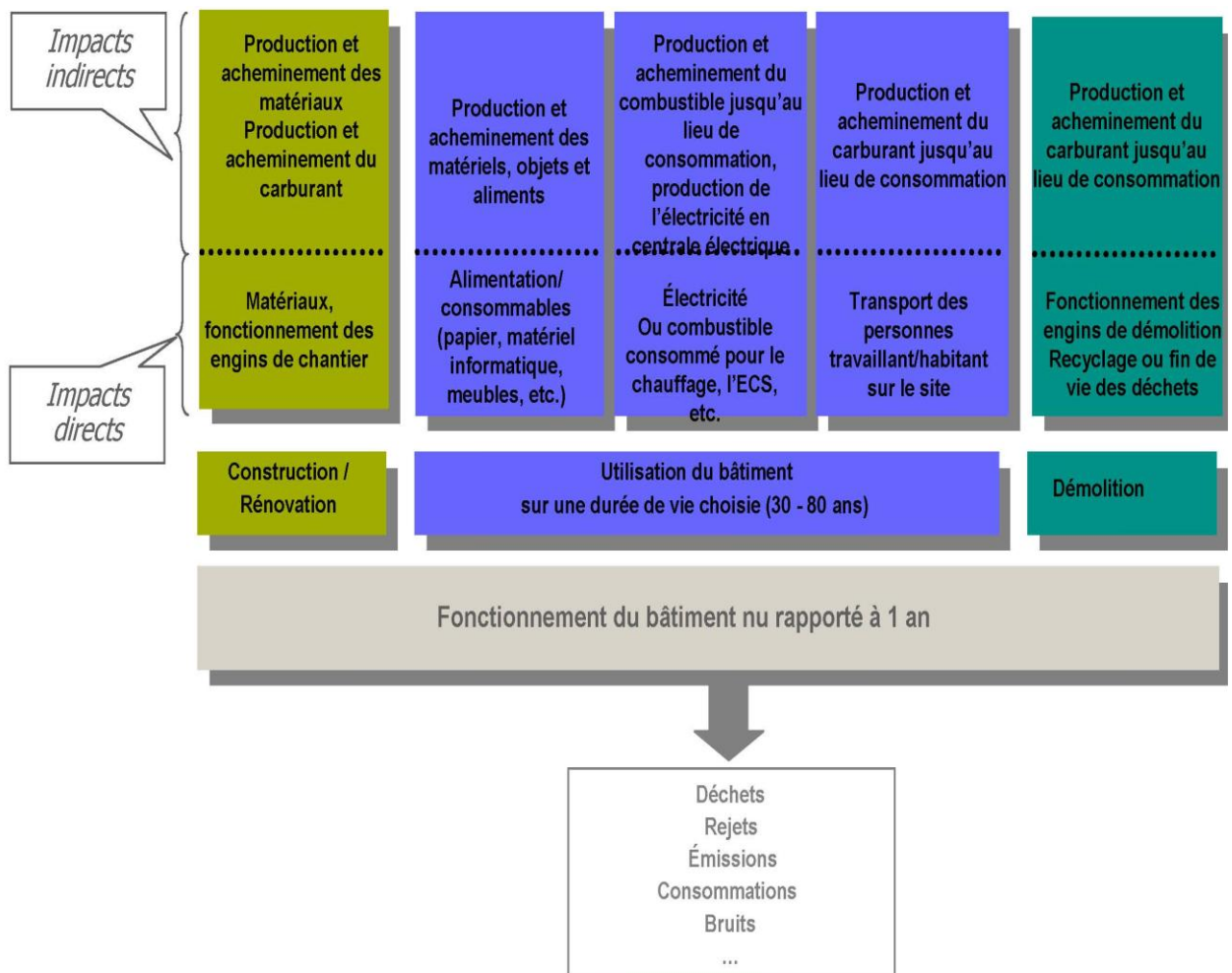


Fig. 65: Mode d'emploi d'une ACV (source : Papadopoulo, 2009)

I.6 PRINCIPAUX DOMAINES D'APPLICATION DE L'ACV

Nous pouvons synthétiser les domaines d'application de l'ACV en trois groupes (RECORD, 2005) :

- ❑ **1^{er} groupe : quantifier l'impact environnemental d'une politique ou d'un choix stratégique** ; cela permet de connaître les conséquences qui découlent d'une décision d'un choix, et de maîtriser ainsi les changements impliqués vis-à-vis de la situation initiale.
- ❑ **2^{ème} groupe : comparer les produits entre eux** ; ce domaine d'application concerne la comparaison entre différents systèmes ayant différentes fonctions, pour cela il faut définir « l'unité fonctionnelle », cette comparaison permet :
 - De choisir le meilleur produit ou la meilleure alternative ;
 - Repérer les erreurs ;
 - Imposer des normes liées à l'écoconception ou créer des écolabels à travers la sensibilisation ;

- ❑ **3^{ème} groupe : Améliorer la performance environnementale** ; il s'agit ici d'améliorer la performance environnementale d'un système tel que l'écoconception d'un bâtiment, ou le développement d'un produit déjà existant en le rendant plus propre et plus respectueux de l'environnement.

L'ACV répond ainsi à des besoins à la fois internes et externes :

- ❑ **Les besoins internes :**

- Quantification et gestion des flux entrant et sortant ;
- Comparaison pertinente entre différents systèmes, bâtiments ou même quartier ;
- Aide à la décision ;
- Aide à promouvoir la conception écologique des produits ;
- Optimisation de la fin de vie des produits ou système concerné par l'ACV.

- ❑ **Les besoins externes :**

- Sensibilisation des acteurs extérieurs dans la prise des meilleures décisions afférentes au système concerné par l'ACV ;
- Contribution à des lobbies à différentes échelles ;
- Sensibilisation de la société vis-à-vis de l'environnement.

I.7 PRINCIPES GENERAUX DE LA METHODE

I.7.1 Aide à la décision et approche choisie

Le système ACV que nous avons choisi offre par excellence une aide considérable à la décision en exhibant les points positifs et négatifs de différentes alternatives de projets à travers des données exhaustives afin de permettre une prise de décisions pertinentes par les décideurs.

Cependant, et pour une meilleure maîtrise, l'ACV doit s'appuyer sur des objectifs ou thèmes dont chacun est évalué à l'aide d'un ensemble d'indicateurs appropriés qui aboutiront à des critères mettant ainsi en fin de compte l'accent sur des données précises concises et exhaustives. La démarche qui épouse ce processus identifie une approche qu'on appelle « descendante » illustrée dans la figure suivante (Fig.66).

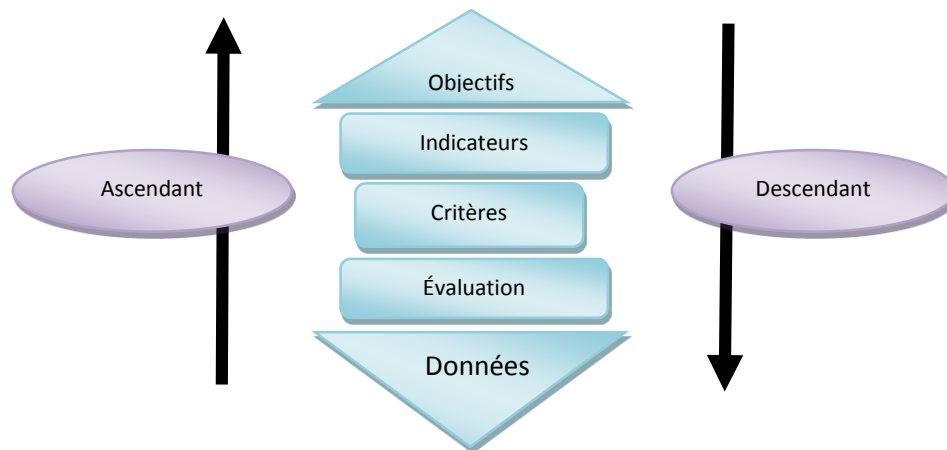


Fig. 66 : Approche ascendante et descendante lors de l'étude d'un projet de construction (source : Cherqui, 2005)

L'autre démarche qui épouse un processus inverse identifie une approche « ascendante » ; elle s'appuie au préalable sur des données, mais n'aboutit pas forcément sur un système d'objectifs équilibrés contrairement à la première démarche, que nous avons choisie, qui considère amplement les objectifs attendus. Nous revenons sur l'importance de ces derniers ultérieurement dans la section suivante.

I.7.2 L'évaluation d'une alternative

En suivant le processus d'une approche descendante, l'évaluation d'une alternative va systématiquement procéder par la détermination de différents thèmes, ces derniers sont définis à travers un ensemble d'indicateurs selon des critères précis, que nous allons développer ultérieurement, nous retenons ensuite ceux qui correspondent au mieux aux objectifs de la recherche.

Il importe en outre de signaler que les résultats de l'évaluation seront représentés par le biais d'un diagramme radar ou pieuvre (Fig.67) dont les avantages sont les suivants :

- Il permet d'afficher tous les thèmes tracés en un seul radar ;
- Il permet la visualisation des différents indicateurs associés aux thèmes mettant ainsi l'accent sur les points forts ;
- Il permet de comparer différentes alternatives ;
- Il permet d'afficher les données non commensurables ;
- Il assure une grande transparence ;
- Il permet enfin de visualiser les limites du projet ; la courbe extérieure est considérée comme l'optimum du projet.

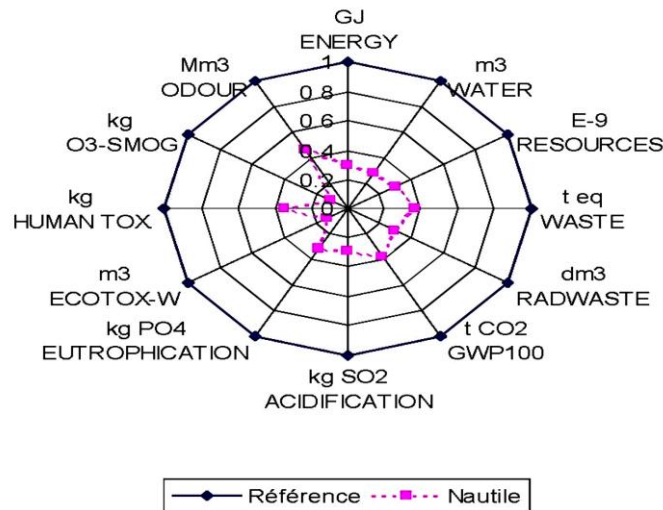


Fig.67 : Exemple d'une représentation d'évaluation d'impacts d'un bâtiment tertiaire à travers un diagramme radar (source : Peuportier, 2000)

I.7.3 Comparaison d'alternatives

Nous avons évoqué précédemment la possibilité de comparer différentes alternatives d'un projet par un diagramme radar, cet avantage permet ainsi de repérer les points forts et les faiblesses d'une alternative, ainsi l'alternative la plus intéressante serait celle située près de la courbe extérieure et la plus éloignée du centre. En outre, il peut y avoir des confusions entre les alternatives du même radar, dans ce cas, il faut plutôt se référer à la courbe circulaire qui reflète une meilleure synthèse vis-à-vis des différents critères. La position des critères ou indicateurs, influence d'autre part l'évaluation visuelle qui ne doit pas se référer à l'aire occupée par chaque alternative.

La figure suivante²⁵ (Fig. 68) montre clairement que l'évaluation n'a pas changé en dépit de l'évolution de l'aire du diagramme (aire en rouge) après avoir inversé les deux indicateurs (C et F).

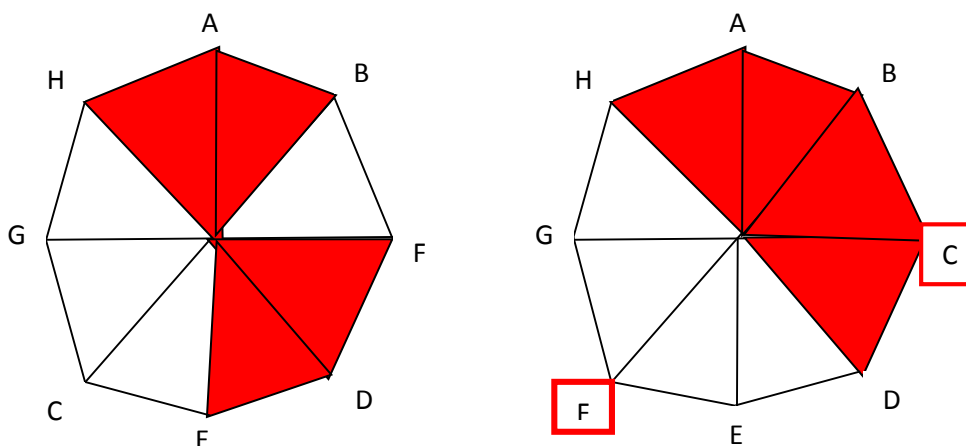


Fig.68: Changement de position d'indicateurs dans un diagramme radar : l'évaluation est restée la même (source : inspiré du modèle de Cherqui, 2005)

²⁵ inspirée de l'exemple de Cherqui (Cherqui, 2005)

Par contre, il est clair que le changement de la position des critères ou thèmes a influencé considérablement la taille de l'aire occupée par le diagramme ; pour cette raison il importe d'éviter de se référer à l'aire afin de comparer des alternatives.

La figure suivante (Fig. 69) illustre l'évaluation de bâtiments à travers trois alternatives qui apparaissent a priori ambigus, pourtant elles sont clairement différentes, l'une est plutôt circulaire alors que les courbes des deux autres ne le sont pas. Mais dans cet exemple, il ne s'agit pas d'indicateurs mais d'impacts, la meilleure alternative dans ce cas est celle qui est la plus proche du centre contrairement à l'exemple précédant.

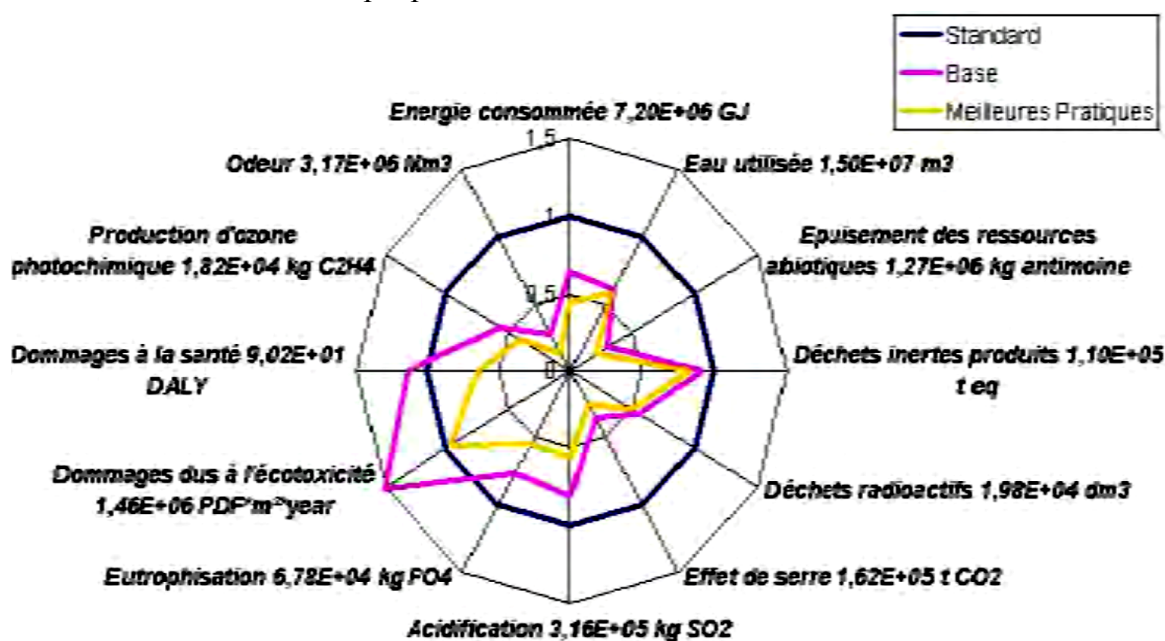


Fig.69 : Diagramme radar comparatif (source : Trocmé ; Peuportier, 2008)

I.7.4 Utilisation d'une référence

Il importe grandement d'utiliser une référence afin de limiter la périphérie du diagramme radar. Mais le choix d'une référence est difficile à réaliser, cette difficulté est afférente surtout aux données qu'il faut prendre pouvant assurer d'établir des références ; nous y reviendront dans les paragraphes suivants.

I.8 BUTS, VISEES, LIMITES ET DESTINATAIRES DE LA METHODOLOGIE

I.8.1 Buts attendus de la méthodologie d'évaluation

La méthode d'évaluation choisie dans le contexte de notre recherche a une triple visée, d'une part elle s'inscrit dans le cadre du développement durable et de la protection de l'environnement, et d'autre part, elle contribue à l'écoconception du bâtiment touristique assurant ainsi une alliance entre tourisme et environnement. Mais en outre elle contribue à évaluer tous les impacts

environnementaux que le bâtiment touristique est susceptible d'engendrer ; Elle constitue ainsi un vrai outil d'aide à la décision. Plus précisément les buts attendus de cette méthodologie sont les suivants :

- Réduire l'impact du bâtiment touristique sur l'environnement ;
- Identifier les impacts liés aux différentes phases de vie du bâtiment ;
- Repérer la phase engendrant le plus d'impacts ;
- Intervenir dès les stades amonts d'un projet ;
- Permettre aux décideurs de choisir la meilleure alternative et prendre ainsi la meilleure décision vis-à-vis de la protection environnementale.

I.8.2 Les visées directes de la méthodologie d'évaluation

Ainsi, nous pouvons résumer les visées directes de l'application de cette méthode comme suit :

- Réduire au maximum les impacts environnementaux de chaque phase de vie du bâtiment;
- Éco-concevoir les bâtiments touristiques et autres bâtiments à usages différents;
- Mettre l'accent sur les performances environnementales du bâtiment touristique ;
- Contribuer à l'économie d'énergie et ainsi à préserver les ressources de l'environnement ;
- Booster le tourisme via ses bâtiments et leurs usagers ;
- La construction d'un outil exploitable par les maitres d'ouvrages et les maitres d'œuvres, permettant une alliance entre les performances énergétiques et environnementales du bâtiment touristique mais également d'autres bâtiments tertiaires.

I.8.3 Les enjeux à relever

En ce qui concerne les enjeux à relever par l'application de notre méthode, ils sont plutôt pluridisciplinaires, ils ne concernent pas uniquement le volet énergétique et environnemental, mais, bien au-delà, ils touchent également :

- La santé des usagers ;
- La durabilité du bâtiment ;
- La productivité du bâtiment ;

I.8.4 Les destinataires de la méthodologie d'évaluation

Les destinataires prévus de cette méthodologie sont nombreux, il s'agit en l'occurrence de :

- Les usagers du bâtiment touristique et par extension de tous les bâtiments tertiaires ;
- Les acteurs du secteur touristique ;
- Les responsables de l'édification des références règlementaires ;
- Les responsables du contrôle et suivi des performances environnementales ;
- Les bureaux d'étude d'architectes et d'ingénieurs en génie civil ;

- Les gestionnaires des bâtiments qui sont responsables des choix de gestion.

I.8.5 Limites de la méthodologie ACV

En dépit de ses nombreux avantages, la méthode ACV est relativement limitée, il importe dans ce contexte d'éclaircir ses limites et le contexte de ces dernières.

- ❑ Le premier contexte est relatif à la pondération des indicateurs reflétant les catégories d'impact, même si cela n'a pas été profondément prouvé, cela fait souvent l'objet de controverses et se base ainsi sur des consensus.
- ❑ Le deuxième contexte concerne la généralisation de l'interprétation des résultats, ainsi chaque modélisation d'un système est spécifique et les résultats obtenus lui sont totalement inhérents. Cela est profondément corrélé aux hypothèses de départ et les choix effectués tout au long de l'étude, qui influe directement sur les résultats, ces derniers afférents à une étude précise sont rarement directement extrapolables à un autre contexte qui diffère de celui défini dans l'étude initiale.

Dans ce contexte il faut impérativement distinguer la fiabilité des résultats de l'ACV de leur validité, l'un (fiabilité) reflète l'exactitude avec laquelle est traité le problème posé, et l'autre (validité) est limitée à un contexte définis au préalable par les hypothèses de départ.

- ❑ L'ACV ne couvre pas l'ensemble des impacts environnementaux en l'occurrence les aspects qualitatifs telle que la qualité de confort.
- ❑ Une autre limite de l'ACV est afférente au contexte des indicateurs, étant donné que cette méthode représente des impacts potentiels évalués à partir d'évaluations antérieures consignés dans une base de données, ainsi l'actualisation ou tout changement de cette base influera systématiquement l'interprétation des résultats.

Toutefois, la méthodologie de l'ACV, reste la plus crédible et la plus efficace pour évaluer un impact environnemental, c'est une approche très rigoureuse, la meilleure d'ailleurs, qui a fait l'objet d'une nuée de travaux scientifiques et qui se sont soldés par sa normalisation.

Une méthode reconnue et normalisée, crédible et fiable, l'ACV est donc la meilleure méthode à appliquer dans un contexte d'évaluation d'impacts environnementaux.

II. FRONTIERES DU SYSTEME ET ASPECTS METHODOLOGIQUES D'EVALUATION

Il s'agit dans cette section de lever le voile sur tous les aspects liés au système retenu (ACV), entre autres le niveau retenu, l'échelle temporelle et spatiale, ainsi que les différents flux pris en compte, en outre, nous étudierons d'autres aspects élémentaires de la méthode d'évaluation tel que les thèmes, les références et les indicateurs.

II.1 ASPECTS DU SYSTEME ETUDIE PAR L'ACV « BATIMENT-USAGERS »

II.1.1 Détermination des frontières du système

La bonne maîtrise de l'évaluation de tout objet suscite la détermination à priori des niveaux d'étude afin de savoir où se positionner vis-à-vis de ces derniers. Ainsi, en se référant à la méthode Bilan Cabonne de l'Ademe (Ademe 2005), nous pouvons dégager les niveaux suivants :

- ❑ Le niveau global : ce dernier est très complexe pour un système qui se définit par bâtiment-usagers, il prend en compte tous les entrants et les sortants, directs et indirects ; autrement dit, ce niveau concerne le système complet depuis le bâtiment jusqu'aux impacts dus à la fabrication des matériaux ;
- ❑ Le niveau intermédiaire : il concerne principalement les entrants et les sortants du système avec les systèmes de production et traitement ultérieur des rejets ;
- ❑ Le niveau interne : il concerne seulement les entrants et sortants directs du système.

Dans le contexte de notre recherche, on s'évertuera d'élargir notre champ d'intervention en abordant les trois niveaux sans pour autant les traiter dans leur totalité, les frontières sont ainsi légèrement variables en fonction des données disponibles sur l'ACV de chaque indicateur.

II.1.2 Flux pris en compte dans le système concerné

Les flux étudiés et pris en compte dans le contexte de notre recherche sont multiples et concernent à la fois les ressources et les émissions (Fig.70) :

- **Flux de ressources** : il s'agit en particulier des ressources énergétiques, des matières premières et d'eau.
- **Émissions** : il s'agit des émissions sous différents aspects ; solides, gazeux et liquides.

Nous signalons cependant que tous les flux concernés par notre système, flux de ressources ou émissions, seront profondément développés dans la dernière section

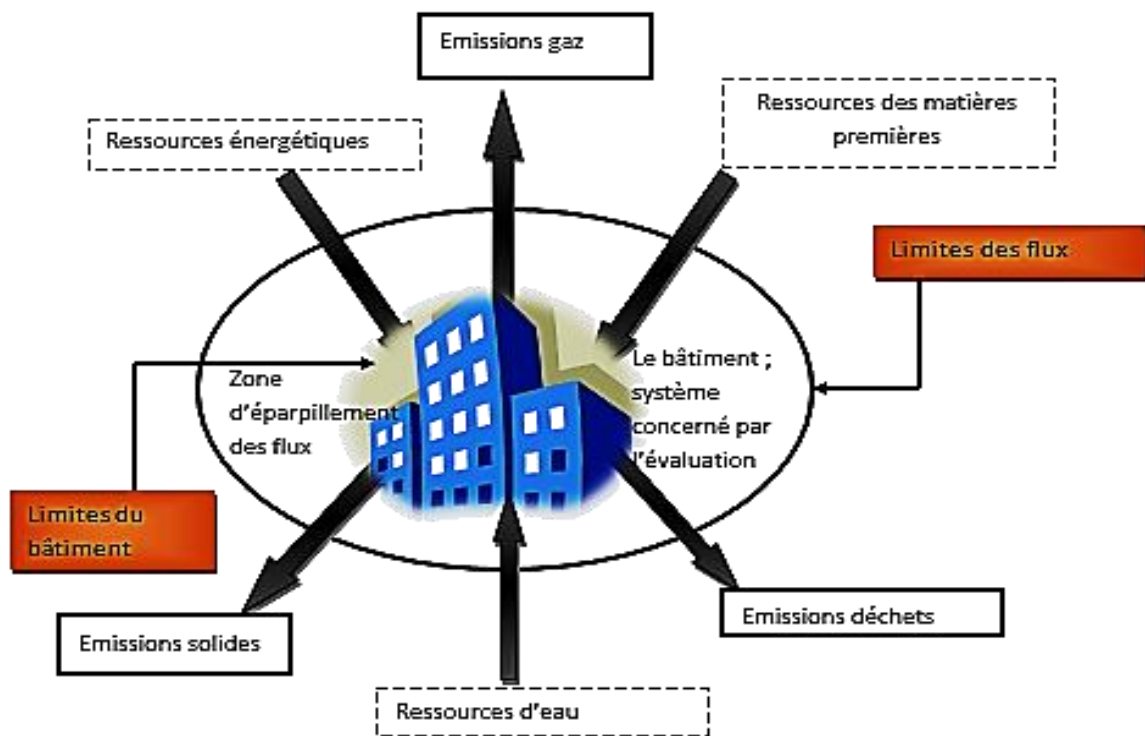


Fig.70: Flux pris en considération dans le système

II.1.3 Spécification de l'échelle spatiale et temporelle de l'évaluation

II.1.3.1 L'échelle spatiale

En prenant en considération les éléments inhérents à notre méthode d'évaluation, nous allons spécifier notre échelle de travail qui va cerner les orientations afférentes à la fois aux objectifs de la méthode ainsi qu'aux éléments disponibles permettant sa concrétisation. Ainsi, nous allons justifier dans ce qui suit, notre choix de l'échelle d'étude vis-à-vis de notre démarche d'évaluation s'inscrivant adéquatement dans le cadre environnemental et de développement durable.

La réflexion portée peut se faire certainement à des échelles très différentes, mais penser efficacement et pertinemment l'environnement et le développement durable suscite un intérêt particulier au maillon responsable de plus d'impacts environnementaux, ce qui implique une focalisation précise et non globale sur ce dernier afin de mieux le cerner et ainsi répondre à nos objectifs ; ce maillon qui est le bâtiment implique une étude pertinente de son échelle, qui doit être précise et objective et dont la maîtrise nous conduit systématiquement à une échelle plus large et une approche globale telle que celle du quartier ou même de la ville qui va prendre en considération l'interaction entre les différents bâtiments qui le structurent. Le système considéré par notre méthode est donc le bâtiment.

Dans le tableau suivant (Tab.39), nous résumons la forte corrélation qui existe entre le bâtiment et les données d'ordre sitologiques, climatiques et environnementales, l'influence du bâtiment sur ces données confirme l'importance d'étudier l'échelle qu'on a choisie et met l'accent sur les éléments à prendre en considération pour une évaluation pertinente du bâtiment.

Tab. 39 : Influence du bâtiment sur différentes données sitologiques, climatiques et environnementales

aspects afférents au bâtiment	Liens et influence du bâtiment sur différentes données environnementales sitologique et autres	
architecture des bâtiments	<p>1. évaluer la prise de connaissance des données du site afin d'en repérer les atouts et les contraintes</p> <ul style="list-style-type: none"> • vues, microclimat, sol, pollutions, radon, perméabilité et nappes, écosystèmes remarquables (faune, flore), de l'environnement et du site, bruits, pollutions aériennes et odeurs, risques naturels, risques technologiques, riverains <p>2. évaluer la pertinence et la cohérence, compte-tenu des précédentes données, des choix concernant le bâtiment</p> <ul style="list-style-type: none"> • choix d'implantation des bâtiments • choix de transparence des façades (part de surface vitrée), des dispositifs de protection (fixes ou mobiles, extérieurs ou intérieurs) • choix de volumétrie et de disposition des locaux en façade • choix du système constructif, des principes d'isolation, inertie, étanchéité d'enveloppe, principes d'aération 	
Espaces extérieurs	qualité et confort des espaces extérieurs	
	qualité des écosystèmes vivants	
	priorité aux déplacements les moins polluants	
	gestion des eaux pluviale	maîtrise de l'imperméabilisation des sols maîtrise des rejets au réseau
	respect des riverains	
Confort intérieur du bâtiment	Confort thermique	Confort d'été
		Confort d'hiver
	Confort acoustique	Bruits extérieurs
		Bruits intérieurs
	Confort visuel	Eclairage naturel
		Qualité de la lumière naturelle
		Qualité de la lumière artificielle
	Santé	stratégie de choix
		Matériaux
		équipements, disposition et aménagement des locaux
ventilation		
sources de pollution radioactive et électromagnétique		
Techniques pour l'éco gestion	qualité de l'enveloppe	isolation
		solarisation
		inertie
		étanchéité à l'air
	Qualité énergétique de la ventilation	

	Qualité des systèmes énergétiques	
	Choix de l'énergie	
cycle de l'eau	économie d'eau potable	
	eaux usées	
	Déchets d'activité	

Nous constatons dans ce tableau, que l'évaluation du bâtiment passe par la prise en compte de nombreux aspects qui lui sont inhérents, or ces derniers se présentent comme des éléments articulatoires entre le bâtiment et son environnement à des échelles différentes, cette diversité des données prises en compte permet encore une fois de positionner le bâtiment au cœur des transitions environnementales et justifie ainsi notre choix pour l'étude de cette échelle qui garde un certain niveau de précision et qui se présente en outre comme le catalyseur à des études d'échelles plus vastes liées à l'aménagement et au territoire et relevant parfois d'une grande complexité.

Nous pouvons résumer cette corrélation entre le bâtiment et les autres échelles liées au quartier, la ville et l'environnement planétaire via la figure suivante (Fig.71), nous constatons que le bâtiment engendre différents impacts qui se définissent à des échelles différentes, il est ainsi un élément catalyseur très important des impacts environnementaux et doit être à cet effet le centre de focalisation de toute étude visant la maîtrise de ces derniers, ce qui rend ainsi l'étude de cette échelle pertinente et judicieuse.

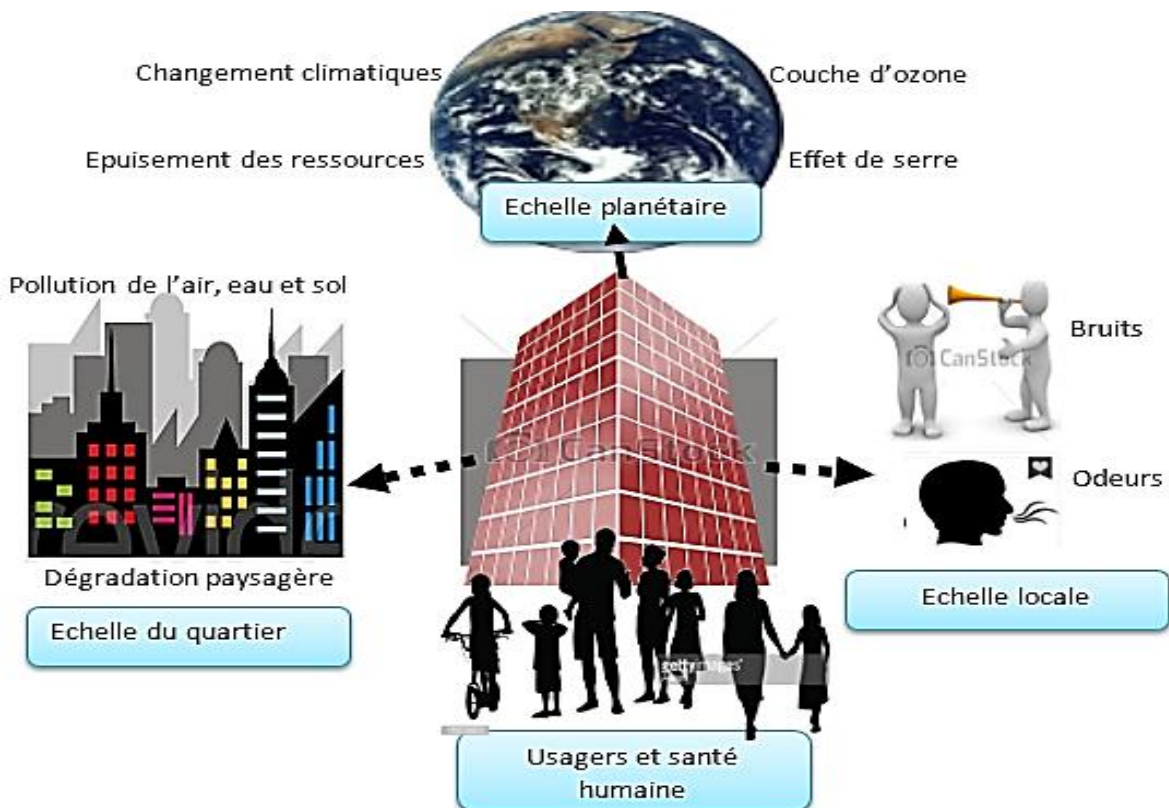


Fig. 71 : Corrélation du bâtiment avec différentes échelles

II.1.3.2 L'échelle temporelle

L'échelle spatiale étant définie, nous allons à présent mettre l'accent sur l'échelle temporelle qui va situer notre méthode dans le temps. Afin de cerner cette échelle, il importe de connaître la phase ou les phases de vie dans lesquelles va intervenir notre méthode, et en outre, si cette dernière concernera le suivi du bâtiment tout au long de son cycle de vie ou bien concernera-t-elle seulement un moment précis de ce cycle.

Or, notre méthode se veut être applicable à chaque phase de vie du bâtiment et qui peut intervenir dès l'amont du projet afin de pouvoir porter des modifications à ce dernier.

La figure suivante (Fig.72) illustre la situation de notre méthode vis-à-vis des phases du cycle de vie du bâtiment.

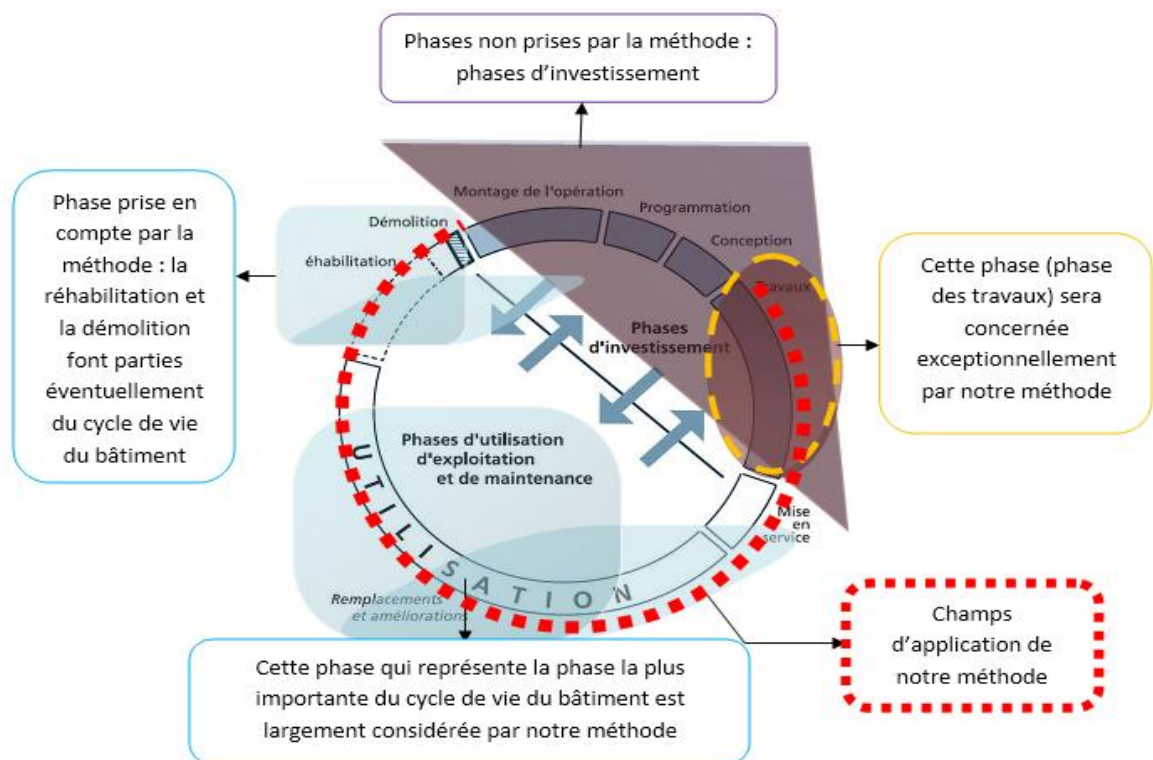


Fig.72 : Positionnement de la méthode par rapport aux phases du cycle de vie du bâtiment

Nous constatons à partir de cette figure que la méthode est applicable pour l'ensemble des phases du cycle de vie du bâtiment, en l'occurrence, la phase d'utilisation et éventuellement la réhabilitation et la démolition, or, la partie d'investissement, constituée des phases suivantes : montage de l'opération, programmation, conception, se situe en dehors du contexte de notre méthode, exception faite pour la phase des travaux ou construction qui sera touchée par le champs d'application de notre méthode de la même manière que les phases d'utilisation, réhabilitation citées précédemment.

D'autre part, nous rappelons que le but tracé par notre méthode est entre autres d'évaluer les impacts environnementaux du bâtiment, de connaître la phase de vie du bâtiment responsable de plus d'impacts environnementaux sans oublier de les identifier par rapport à chaque phase de vie ; cependant tous ces objectifs se feront à travers des comparaisons entre différentes alternatives ayant des enveloppes différentes afin de connaître également celle qui est responsable de plus d'impacts et ainsi contribuer à éco-concevoir nos bâtiments. Ceci étant dit, nous signalons que le suivi du bâtiment ne fait pas partie de nos objectifs et ne rentrera pas ainsi dans le cadre de notre méthode.

II.1.4 Aspects de l'objet d'étude par le système ACV : le bâtiment touristique

Le support spatial qui constitue la toile de fond de cette présente recherche se traduit à travers le bâtiment touristique, il est intéressant dans ce contexte de présenter ses spécificités afin de mieux cerner les enjeux attendus.

Un bâtiment touristique, en l'occurrence hôtelier, se présente sous différents types dont la première fonctionnalité est d'héberger d'éventuels touristes ou de personnes en déplacement qui vont occuper le bâtiment pendant une durée de temps limitée, qui peut être courte ou longue. Cela implique que le bâtiment doit offrir des conditions favorables pour le séjour et une qualité de confort appréciable. Ainsi, la détermination des indicateurs de performance dans ce bâtiment nécessite de répertorier toutes les fonctions qu'il doit remplir. Pour cela, on s'est d'abord focaliser sur les besoins d'un bâtiment touristique type hôtelier, ainsi que sur les conséquences spatiales qui en resurgissent, cela nous permettrait de mieux choisir des indicateurs, à fortiori ceux relevant un aspect qualitatif, appropriés pertinents et adéquats aux spécificités de ce bâtiment. Les besoins en questions ainsi que les conséquences spatiales sont récapitulés dans le tableau suivant (Tab.40), ceux-ci traduisent les éléments importants à prendre en compte dans l'évaluation environnementale du bâtiment hôtelier.

Tab. 40 : Conséquences spatiales vis-à-vis des besoins des usagers d'un bâtiment touristique type hôtelier

Besoins des usagers		Conséquences spatiales
Besoins physiologiques	Ambiance thermique	Maintenance d'une température confortable : <ul style="list-style-type: none"> ✓ 24°C dans les chambres ✓ 21°C dans les cafétérias et restaurants ✓ 17°C dans la cuisine
	Ambiance acoustique	Création d'un environnement acoustique adéquat et non bruyant notamment pour : <ul style="list-style-type: none"> ✓ Les chambres : orientation favorisée pour limiter ou contourner les bruits ✓ Salles de conférences : isolation acoustique

	Ambiance visuelle	Assurer un bon éclairage mais à des degrés différents au dépend de l'activité
	Qualité de l'air	Assurer un renouvellement d'air : <ul style="list-style-type: none"> ✓ Naturel en été ✓ Forcé et contrôlé en hiver ✓ Taux de CO2 à maintenir en dessous de 1000ppm ✓ Interdiction de création de sources d'inconfort aéralique
	Qualité sanitaire	Assurer une qualité sanitaire tout en assurant une qualité architecturale
Besoins moteur	Circulation	Assurer une circulation fluide au sein du bâtiment touristique à travers une organisation spatiale propice Assurer une circulation horizontale et verticale en pensant à toutes les catégories de personnes (âge et validité)
Besoins psychologiques	Appropriation de l'espace	Assurer à l'usager une sensation d'appropriation de l'espace qu'il utilise par un aménagement adéquat et par une satisfaction du besoin d'intimité
	Besoins de sociabilité	Assurer un contact entre les usagers par l'aménagement d'espaces communs abritant des activités de loisirs
	S'héberger et se reposer	Les chambres doivent offrir à l'usager un repos maximal et satisfaisant
Besoins complémentaires	Loisir et divertissement	Prévoir des espaces de loisirs qui assureront l'épanouissement des usagers (toutes catégories confuses)
	Environnement professionnel	Des espaces devraient être prévus pouvant offrir un environnement professionnel pour certains usagers venus exclusivement pour cette raison.

II.2 ASPECTS METHODOLOGIQUES D'EVALUATION

La méthode d'évaluation que nous allons réaliser est largement fondée sur un système de thèmes et d'indicateurs qu'il importe d'en exhiber l'importance.

II.2.1 Définition et importance d'un thème d'évaluation

Un thème d'évaluation est un groupe d'indicateurs cohérents, quantitatifs ou qualitatifs, et provenant ou non d'une ou plusieurs données combinées ou pas à d'autres indicateurs. Ces derniers sont toujours classés par thèmes d'évaluation.

II.2.2 Définition et importance des référentiels

Le référentiel constitue un élément clé dans l'évaluation que nous allons mener, les indicateurs concernés par cette dernière doivent pouvoir se situer par rapport à celui-ci, c'est-à-dire aux référentiels devant être construits au préalable. Ces derniers sont un ensemble de données qui déterminent les références auxquelles devraient se référer un système d'indicateurs pour déterminer une performance et qui devraient être mis à jour pour une meilleure fonctionnalité.

Signalons enfin que les valeurs de notre référentiel seront présentés dans le dernier chapitre.

II.2.3 Définition et importance d'un indicateur

Il ne s'agit pas seulement de définir un indicateur, mais vu son importance, nous avons jugé nécessaire dans le cadre de notre recherche de lever le voile sur une nuée d'éléments d'analyse susceptibles de mettre en valeur ce dernier:

II.2.3.1 Éléments de définition

Un indicateur est une variable quantitative (par exemple, la quantité de Co₂ émise par un bâtiment par an), une variable qualitative (seuil de satisfaction des usagers d'un bâtiment sur la notion du confort au sein de leur bâtiment) ou une fonction de deux ou plusieurs variables (par exemple, le rapport entre déchets recyclés et déchets produits par un bâtiment durant une période déterminée), bref c'est un paramètre utilisé pour suivre l'évolution d'un système dans le temps ou bien pour faire comparaitre deux ou plusieurs systèmes, ainsi, l'indicateur traduit une panoplie de données utilisées dans un but d'information ou bien de prise de décision, ceci suscite d'une part une nuée d'acteurs multidisciplinaires ; experts, édiles, économistes, politiciens et même le grand public qui sont tous considérés comme utilisateurs d'indicateurs, et d'autre part ça suscite une construction personnelle des indicateurs adaptés à chaque utilisateur afin de répondre au mieux à leurs exigences, leurs besoins ainsi qu'à leurs capacités. Ainsi un indicateur doit être pertinent vis-à-vis de l'usage qui en sera fait en permettant de s'adapter aux données intrinsèques d'une situation spécifique, il doit en outre permettre l'adoption d'un système général, voir universel permettant aisément la comparaison.

D'autre part, plusieurs travaux ont abouti à une panoplie d'éléments de définition d'indicateurs, il s'agit en particulier des travaux de l'OCDE (Organisation pour la Coopération et le Développement Économique) qui définit un indicateur comme « *un paramètre ou une valeur calculée à partir de paramètres donnant des indications ou décrivant l'état d'un phénomène, de l'environnement ou d'une zone géographique et d'une portée supérieure aux informations directement liées à la valeur d'un paramètre* »(OCDE, 1993).

De son côté, l'institut français de l'environnement définit un indicateur comme « *une donnée qui a été sélectionnée à partir d'un ensemble statistique plus important car elle possède une signification et une représentativité particulière* »(Ifen, 2004)

Nous pouvons dire au terme de ces définitions qu'un indicateur est utilisé pour mesurer un résultat obtenu, l'état d'un phénomène ou le déroulement d'un processus, une utilisation de ressources, une émission de polluants, un confort, une satisfaction, un critère de qualité (Mandallena, 2006). Il est défini dans l'espace, qu'il soit architectural ou urbain, et dans le temps, concernant ainsi une typologie précise d'usagers de l'espace en question.

II.2.3.2 Éléments de typologie

La typologie concernant les indicateurs d'évaluation environnementale est si diverse, et la littérature internationale en matière de développement de ces derniers à différentes échelles est très riche, nous pouvons citer (Heijungs, 1992, OCDE, 1998 ; Harris, 1999, Commission européenne, 2000 ; Ambiente Italia, 2003 ; Peuportier, 2003 ; Charlot-Valdieu, 2004, Dufrasnes et Achard, 2006 ; Myrsini et al., 2006). Cette typologie se présente sous forme de modèles très disparates dont il convient d'en exhiber l'essentiel ; on trouve dans ce contexte :

□ **Le modèle de l'OCDE** : les travaux de l'OCDE dans le cadre du développement durable ont finalisé le premier modèle d'indicateurs « PER » pour « Pression, État, Réponse » ou « PSR » en anglais pour « Pressure State Response ». ce modèle se définit par une approche de causalité, une approche alimentée par les liens causes et effets entre toutes les données qui sont à la base des indicateurs qui la constituent en l'occurrence :

- Indicateurs de pression : données de pression exercée sur l'environnement ;
- Indicateurs d'état : ils mesurent et décrivent l'état de l'environnement ;
- Indicateurs de réponse : ils concernent le niveau de réponse c'est-à-dire la réaction et les efforts fournis par différents acteurs en faveur de l'environnement.

Ce modèle fournit des liens de causes et d'effets entre tous les indicateurs précités, ainsi, une activité humaine peut engendrer une pression sur l'environnement (d'où les indicateurs de pression), cette pression va altérer l'état de l'environnement (d'où indicateurs d'état) provoquant ainsi une réponse des acteurs de la société afin d'alléger cette altération et minimiser la pression exercée sur l'environnement. (Fig. 73) :

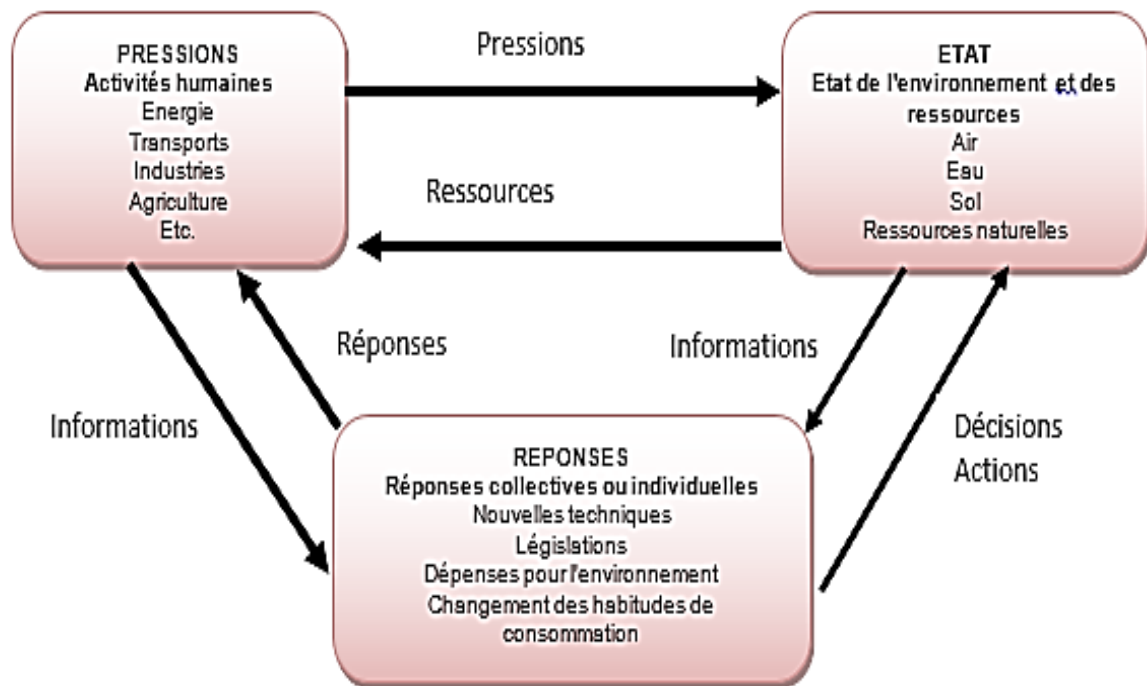


Fig. 73 : Modèle PSR de l'OCDE (source : Charlot-Valdieu et Outrequin 2002; Dufrasnes et Achard 2004)

En dépit de la simplicité de cette approche, les scientifiques sont restés sceptiques et ont trouvé ce modèle incomplet, sans exactitude et ne rend pas compte de la complexité et l'incertitude des connaissances liées à la crise environnementale. Pour cette raison, un autre modèle d'indicateurs a été élaboré par l'AEE.

❑ **Le modèle de l'AEE :** L'AEE ou l'Agence Européenne de l'Environnement a élaboré également un modèle qui est une sorte de dérivé du modèle de l'OCDE cité précédemment, ce modèle porte le nom de FPEIR pour « Forces motrices Pressions Etat Impacts Réponses » qui est la traduction de DPSIR en anglais qui veut dire « Drives forces Pressure State Impact Response ».

Ce modèle complète celui de l'OCDE PER qui ne prenait pas en considération les activités humaines, or FPEIR avec ses indicateurs de *Forces motrices* impliquent ces dernières dans les deux contextes social et économique exerçant ainsi une *Pression* sur l'environnement, cette pression va engendrer l'Altération de son *État* qui à son tour conduira inévitablement à des *Impacts* sur la santé humaine, les ressources de l'environnement et son écosystème ce qui provoquerait une *Réponse* de la société.

D'après (Smeets et Wetering, 1999) cité par (Charlot-Valdieu, Outrequin 2002 et Cherqui, 2005), quatre groupes d'indicateurs peuvent être formés tout en incluant les indicateurs du modèle de l'AEE, il s'agit en l'occurrence de :

- Les indicateurs descriptifs : ce premier groupe comprend tous les indicateurs FPEIR de l'AEE, cités précédemment, à savoir : les Forces motrices, les indicateurs de Pression, les indicateurs d'État, les indicateurs d'Impacts et enfin les indicateurs de Réponse ;
- Les indicateurs de performances : ce groupe d'indicateurs concerne les mesures entre les valeurs des conditions actuelles et celles à escompter ;
- Les indicateurs d'efficacité : comme son nom l'indique, ce groupe d'indicateurs concerne l'efficacité des produits utilisés en terme de ressources exploitées de l'environnement et de pollution générée ;
- Les indicateurs de bien être total : ce dernier groupe concerne une description générale du développement durable.

La figure suivante illustre les tenants et les aboutissants du modèle FPEIR de l'AEE (Fig. 74) :

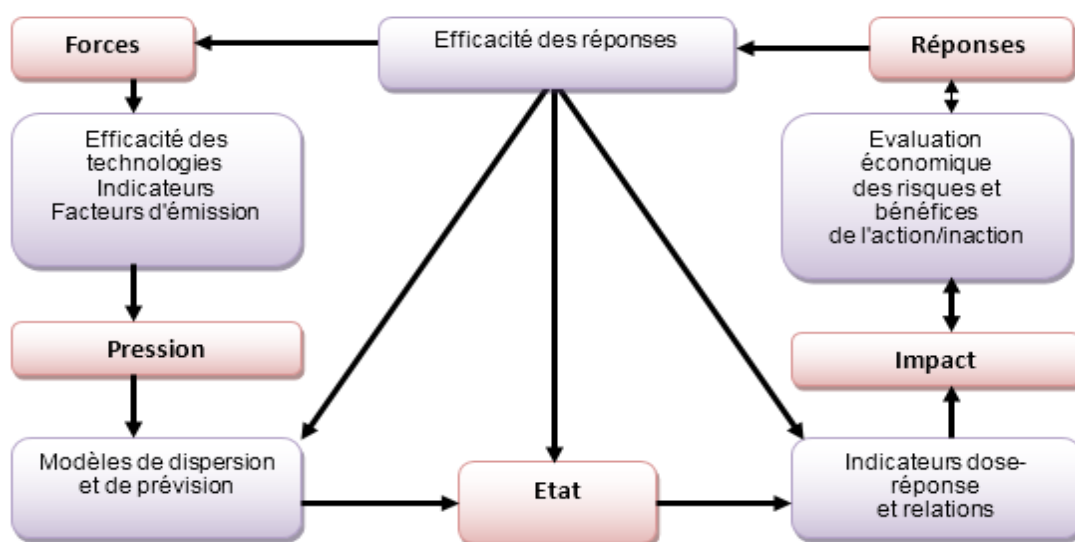


Fig. 74: Modèle DPSIR (source : Charlot-Valdieu et Outrequin 2002)

Ces deux modèles offrent peut-être une avancée pour l'appréhension de l'état environnemental mais certaines zones d'ombre demeurent notamment en ce qui concerne l'exactitude d'évaluation de l'environnement et de toute situation dynamique qui pourra se présenter. Par ailleurs ces deux méthodes n'exigent aucun contenu normatif (Dubois et Ceron, 2003).

❑ **Le modèle systémique** : d'autres recherches ont été réalisées et ont abouti à des systèmes d'indicateurs plus performants et plus adaptés aux exigences de l'évaluation environnementale. Le modèle ou l'approche systémique (Kelly 1998; Bossel 1999; Dhakal 2002, cités par Cherqui, 2005) est l'un de ces derniers dont la méthodologie consiste à diviser le projet à étudier en trois systèmes primaires qui, à leurs tours, seront divisés au nombre voulus de systèmes secondaires.

Les systèmes primaires correspondent au système humain, au système de support et au système naturel. L'identification des autres systèmes est requise pour la bonne maîtrise de cette approche qui est illustrée dans la figure suivante (Fig.75) :

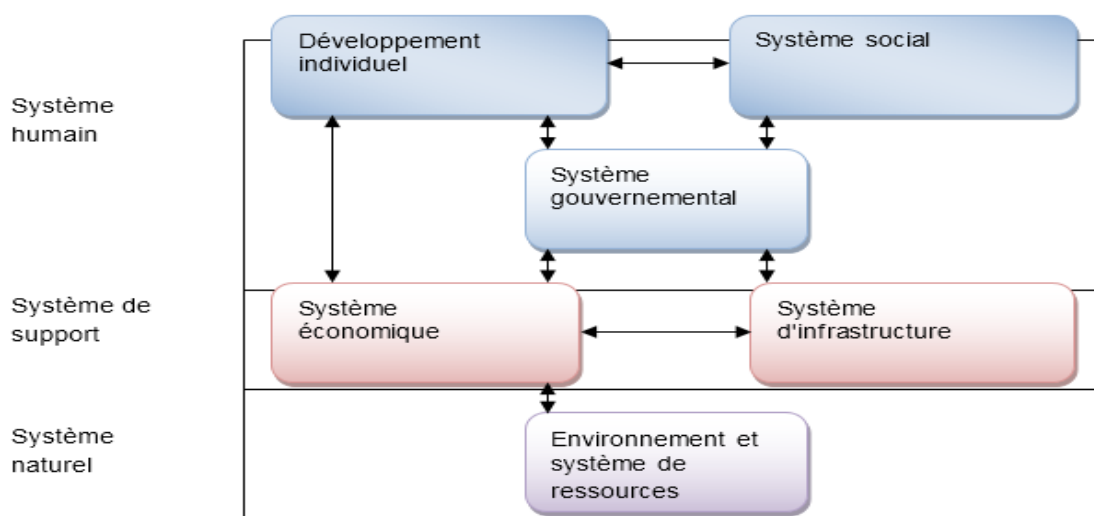


Fig. 75 : Les trois sous-systèmes principaux de l'approche systémique (source : Bossel 1999)

❑ **Le modèle de l'IFEN** : ce modèle a été mis en œuvre par l'Institut Français de l'Environnement (IFEN) en 1997 et a été même appliqué au tourisme vu ses performances vis-à-vis des autres systèmes en intégrant des données sociétales pertinentes dépassant ainsi les focalisations des autres modèles sur les données économiques et environnementales.

Ce modèle se base sur une répartition du projet à étudier en plusieurs modules décrivant un processus de développement :

- Le module 1 : décrit un processus de production produisant des biens, des services et des revenus à partir des données environnementales ou économiques ;
- Les modules de 2 à 5 ainsi que le module 12: décrivent les dynamiques et la qualité des patrimoines et des capitaux environnementaux et économiques ;
- Les modules de 6 à 9 : concerne la répartition des éléments des systèmes de production de manière à s'adapter aux besoins actuels et futurs ;
- Le module 10 : concerne l'imprévisibilité pouvant caractériser la société ou une situation quelconque et la manière de s'y adapter ;
- Le module 11 : décrit la manière de gérer le système par les différents acteurs et institutions.

Les avantages de ce système par rapport aux autres systèmes récapitulés par (Dubois et Ceron, 2003) sont les suivants :

- La temporalité est clairement prise en compte avec un intérêt porté, aux générations présentes et futures, ou des questions comme le rythme de renouvellement de ressources naturelles ou la résilience ;
- Le contenu normatif propre au développement durable est présent et assez fidèlement retransmis ; il s'agit bien d'évaluer comment un développement permet de satisfaire des besoins présents et futurs ;
- La transversalité est ici totale, puisque les questions économiques, sociales et environnementales sont reformulées autour de concepts transversaux comme le patrimoine, les besoins ou les risques.

La spécificité de ce système est qu'il traite tout un processus de développement et donc le caractère dynamique est largement pris en compte contrairement aux systèmes précédents.

II.2.3.3 Critères de choix des indicateurs

Kane (Kane, 1999) a proposé quatre critères à considérer lors d'un choix d'indicateurs à savoir :

- ❑ Critère d'échelle : l'indicateur doit s'adapter pertinemment à l'échelle (*scale*) contextuelle de l'opération d'évaluation
- ❑ Critère relatif au public (*audience*) : l'indicateur doit gérer les domaines d'évaluation inhérents au grand public tel que les indicateurs de gestionnaires de l'eau qui ne sont pas les mêmes que pour ce dernier ;
- ❑ Critère relatif à l'aspect de la soutenabilité du développement (*level of sustainability*) : les indicateurs sont pluridisciplinaires, ils traitent l'environnement, le social, l'économie et d'autres disciplines.
- ❑ Critère lié à l'endroit : les spécificités propres à un indicateur dans un endroit donné ne sont pas forcément les mêmes dans un autre endroit.

Par ailleurs, Les indicateurs environnementaux doivent répondre à certains critères qualitatifs, nous récapitulons ces derniers par la liste des exigences posée par Rump (Rump, 1996) (Tab. 41). Nous trouvons également ces critères en partie ou en totalité dans la bibliographie de (OCDE, 93 ; Weber et Lavoux, 94 ; Labouze et Labouze, 95 ; ISO, 96 ; Rechatin, 1997 ; Personne, 1998 ; Céron et Dubois, 2000).

Tab. 41: Critères auxquels devraient répondre les indicateurs environnementaux (source : Rump, 1996)

1- QUALITE DES DONNEES ET JUSTESSE D'ANALYSE	1.1 valeur scientifique : « l'indicateur doit reposer sur des fondements scientifiques sains et non ambigus...un consensus d'expert doit avoir été dégagé autour de l'utilisation de cet indicateur »
	1.2 disponibilité : celles-ci doivent bien entendu être « disponibles et accessibles » ; « une série chronologique raisonnablement longue devrait pouvoir être consultée et la possibilité de pouvoir disposer dans le futur de données collectées sur une base régulière assurée. La cohérence et la comparabilité des mesures dans le temps et dans l'espace doivent être également établis »
	1.3 qualité : « les données doivent être de bonne qualité, c'est-à-dire précises, robustes et reproductibles, elles doivent pouvoir être facilement manipulées (agrégées, désagrégées...) » et même indiquer les marges d'erreur.
	1.4 Accessibilité : « les données doivent être accessibles à un coût-avantage raisonnable »
2- PERTINENCE VIS-A-VIS DU SUJET ABORDE	2.1 illustration représentative : « l'indicateur doit fournir une illustration représentative de la situation environnementale qu'il décrit »
	2.2 couverture géographique : « l'indicateur doit refléter les spécificités de l'ensemble de la zone d'étude...il doit être adapté à l'échelle choisie (nationale, régionale, locale...) »
	2.3 sensibilité aux évolutions : « l'indicateur doit être sensible aux changements et refléter fidèlement les modifications de l'environnement ou des activités humaines associées »
3- COMMUNICATION	3.1 pertinence : « les anglo-saxon » parlent de la résonance de l'indicateur, c'est-à-dire de sa faculté à éveiller l'intérêt et la compréhension immédiate de l'utilisateur »
	3.2 simplicité : « l'interprétation de l'indicateur par l'utilisateur doit être simple, rapide et non ambiguë »
	3.3 existence d'une valeur de référence : on peut souhaiter qu'un indicateur permette d'évaluer la distance à une norme
	3.4 possibilité de comparaisons : « interrégionales ou internationales... ce qui sous-entend l'existence de méthodologies de calcul communes »
	3.5 possibilité d'utilisation dans le cadre de scénarios prospectifs : « l'indicateur doit pouvoir intervenir dans le cadre de modélisations ».

II.2.3.4 Étapes de construction des indicateurs

Afin d'obtenir un système d'indicateur fiable et valide, une méthode de construction des indicateurs s'avère indispensable, nous résumons dans ce qui suit les étapes de la méthode proposée par Afnor (Cerutti, 1992) pour les indicateurs de la gestion de production mais qui sont parfaitement compatibles avec les indicateurs environnementaux :

- Définition du contexte d'évaluation : c'est-à-dire déterminer le champs d'intervention des indicateurs ;
- Définition des objectifs : les objectifs à atteindre doivent être tracés et bien fixés ;

- Identification des variables : ces dernières nous permettront de s'intégrer dans le contexte des objectifs fixés ;
- Détermination des paramètres mesurables : il s'agit de chercher des paramètres susceptibles de rendre ces variables mesurables tout en s'adaptant à l'objet de l'étude ;
- Sélection des indicateurs : il s'agit dans cette étape de rendre les variables quantifiables afin de pouvoir obtenir des indicateurs représentatifs du phénomène qu'on étudie ;
- Validation des indicateurs : les indicateurs sélectionnés doivent être validés afin de vérifier leur cohérence ;
- Élaboration d'un tableau de bord : il permet une visualisation globale, synthétique, méthodique et concise de l'ensemble des résultats obtenus du calcul des différents indicateurs construits.

II.2.4 Agrégation et pondération des critères

La relation entre les thèmes et indicateurs peut être récapitulée via le triangle d'agrégation inspiré de Personne (Personne, 1998) qui nous procure un exemple très intéressant d'agrégation des données, ces dernières constituant ce triangle (Fig. 76) sont agrégées comme suit :

- Les données de base (premier niveau), qui sont l'ensemble des données retenues pour une évaluation environnementale du bâtiment.
- Les indicateurs (second niveau) qui représentent des informations synthétiques élaborées à partir des données de base, et qui ont pour vocation de servir les décideurs au quotidien.
- Les indices (troisième niveau) qui consistent en une information encore plus synthétisée, on peut les assimiler à des objectifs d'évaluation dans une opération d'évaluation. Les thèmes sont constitués d'un ensemble d'indicateurs, ils peuvent être ainsi classés dans cette case d'agrégation.
- Les indices globaux (quatrième niveau) qui sont adaptés à la communication vers l'extérieur et le grand public.

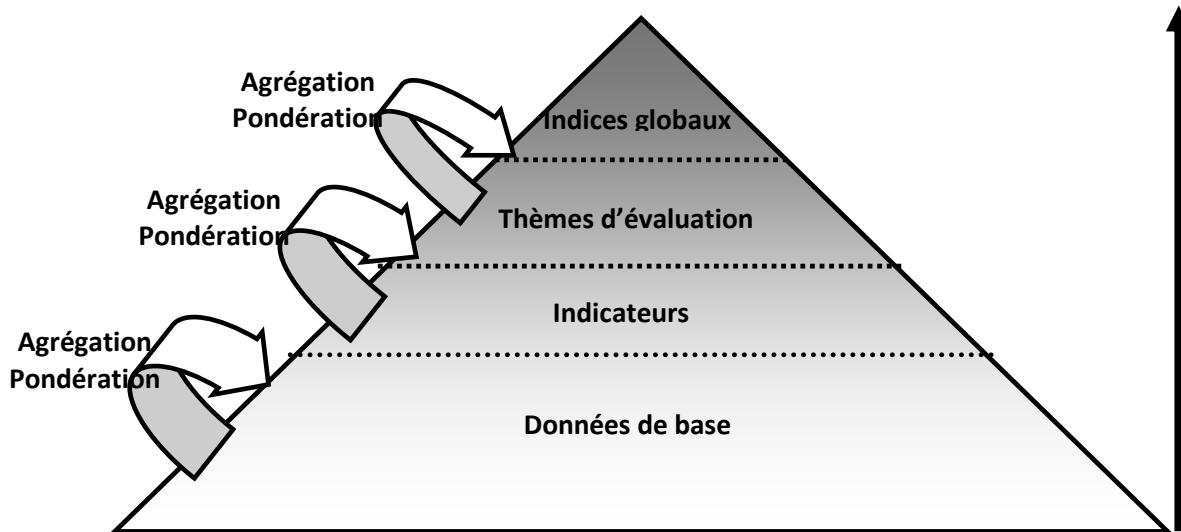


Fig. 76 : Triangle d'agrégation de données d'évaluation environnementale (source : Personne, 1998)

II.2.4.1 Importance de l'agrégation et pondération des critères

L'importance de l'agrégation réside dans le fait qu'elle permet une vision globale et synthétique du problème posé, la synthèse de ce dernier se fait de différentes manières selon qu'il s'agisse d'une approche monocritère ou multicritère ; dans le premier cas, la synthèse se fait sur la totalité de la matrice sous forme d'un vecteur qui va comprendre une seule valeur uniquement par alternative, dans le second cas, toute la matrice est prise en compte, et le nombre de critères serait au moins supérieur à 1.

Toutefois, on signale que l'agrégation des indicateurs peut engendrer une perte de données, en dépit de cela, elle a fait l'objet de plusieurs études fort pertinentes (Hajkowicz et Prato 1998; Tamiz et al. 1998; Saisana, M et Tarantola, S., 2002 ; Bana e Costa et al. 2003; Sharpe et Salzman, 2003, Boulanger 2004; Brunner et Starkl 2004; Krajnc et Glavic 2005; Payraudeau et van der Werf, 2005) elle est en outre indispensable dans de nombreux cas et introduite dans de différents exemples d'utilisation (Al-Harbi 2001; Al Khalil 2002; Mendoza et Prabhu 2003; Molines 2003; Svoray et al. 2005, Cherqui, 2005, Jolliet et al, 2010 ; Loiseau, 2010).

En somme, nous pouvons dire que l'agrégation vise à convertir un nombre important de données en un nombre plus restreint que l'utilisateur, peut valablement exploiter, toutefois, il importe de signaler que si l'évaluateur procèdera à plusieurs opérations d'agrégation, il risque la perte d'information notamment lorsque il s'agit d'aspects environnementaux très précis, face à cela ; Tyteca (Tyteca, 2000a), recommande que l'agrégation de données soit gouvernée par le principe

de subsidiarité, c'est-à-dire agréger les données dans la classe la plus basse de l'organisation hiérarchique contribuant ainsi à une prise de données adéquates.

Le schéma suivant (Fig. 77) récapitule les étapes à suivre afin d'aboutir à une construction d'indicateurs en passant par l'agrégation qui se veut une étape primordiale dans ce processus ; ainsi, il est judicieux au départ de normaliser les données de base, ce n'est qu'après cette étape, que ces données peuvent être standardisées et agrégées afin de répondre à des exigences déjà connues et soulignées par l'utilisateur ce qui permettra de simplifier les données aboutissant ainsi à la fois à une meilleure comparabilité et une meilleure exploitabilité.

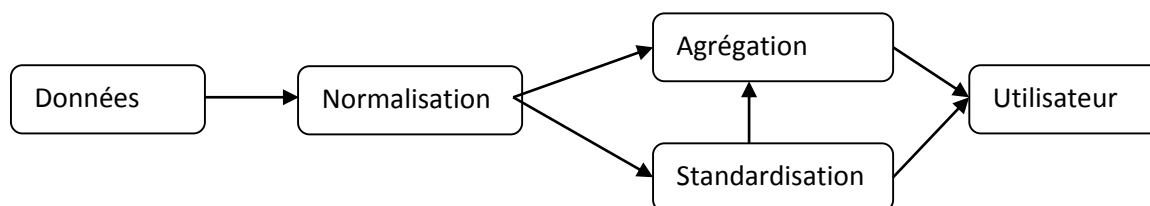


Fig.77: Étapes du développement d'indicateurs environnementaux (source : Olsthoorn et al. 2001, Tyteca, 2002a)

II.2.2.2 Différentes méthodes utilisées dans l'agrégation et pondération des critères

Il existe différentes méthodes d'agrégation des indicateurs environnementaux, nous proposons ici, sommairement, celles qui requièrent une importance particulière en allant de la plus simple à la plus compliquée (Tyteca, 2002b) :

- ❑ La première méthode consiste à faire une moyenne arithmétique entre les données normalisées, c'est la plus simple et la plus fruste méthode utilisée rarement et exceptionnellement pour les indicateurs macroéconomiques ;
- ❑ La deuxième méthode consiste à pondérer la moyenne arithmétique, l'agrégation quant à elle viendra après la standardisation des variables normalisés. Dans le même contexte de cette méthode, Jaggi et Carlens (Jaggi et Freedman 1992 et Carlens et al. 2001) ont plutôt adopté pour tous les critères concernés par l'évaluation une comparaison entre chaque unité de chaque échantillon à la meilleure d'entre elles (Fig. 78) et ainsi l'indicateur agrégé s'obtient également par la pondération de la moyenne arithmétique ;
- ❑ Une autre méthode visant à calculer un indicateur environnemental, dont la pondération se basera sur une référence de normes connues et déterminées auparavant, ce qui nécessite pas une comparaison entre les unités, c'est plutôt l'unité respectant l'ensemble des normes qui sera une clé de voûte référentielle.

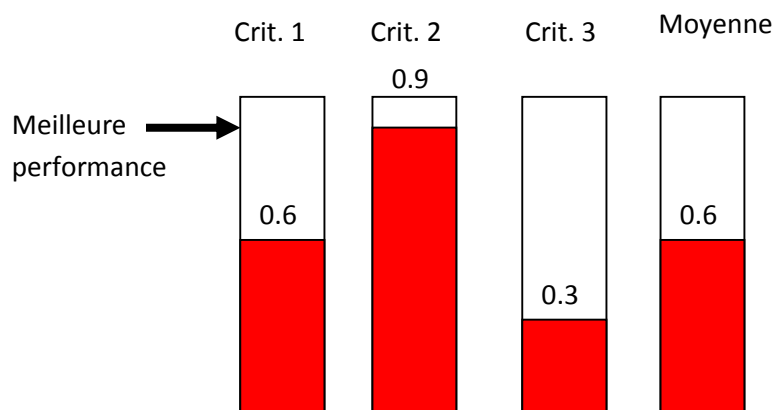


Fig.78: Illustration de la méthode d'agrégation de JAGGI & FREEDMAN dans le cas de trois critères (source : Tyteca, 2002a)

- Il existe en outre d'autres méthodes qui recourent à « une détermination endogènes des facteurs de pondération », afin d'expliquer le principe, nous avons choisi un exemple pertinent présenté par Tyteca (Tyteca, 2002a) (fig.79) :

On considère deux impacts, ceux-ci étant habituellement normalisés (par la division par une quantité commune d'outputs). Une unité telle que B est moins efficace que l'unité A (on dira aussi qu'elle est dominée par A), car ses deux impacts environnementaux considérés sont plus élevés que ceux de A. Tous les points tels que A, qui ne sont dominés par aucun autre point, déterminent la frontière d'efficacité. La performance environnementale d'une unité telle que C s'évalue dès lors par rapport à cette frontière, par le biais de la distance qui sépare C de la frontière. Dans l'exemple considéré, la performance de C est de $\pm 70\%$; la performance des points situés sur la frontière est de 100% . On remarque qu'aucune hypothèse n'est faite quant aux facteurs de pondération dont sont affectés les impacts.

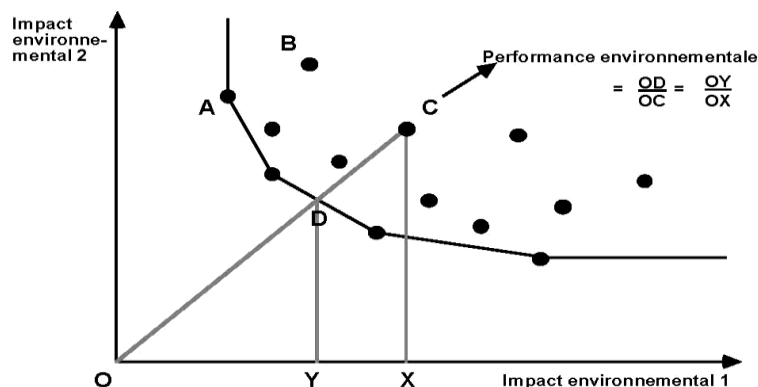


Fig.79: Calcul d'un indicateur environnemental suivant la méthode d'efficacité productive. Les points représentent des unités productrices de l'échantillon considéré (source : Tyteca, 2002a)

Le tableau suivant (Tab.42) récapitule les critères d'évaluation de l'ensemble des méthodes utilisées dans l'agrégation des impacts environnementaux :

Tab. 42 : Critères d'évaluation des méthodes utilisées dans l'agrégation des impacts environnementaux (source : Titeca, 2002a)

Méthode	Objectivité	Disponibilité des Données	Facilité du calcul	Facilité de compréhension	Évaluation Globale
Moyenne arithmétique	--	++	++	++	+
Comparaison Meilleure pratique	0	++	+	+	+
Comparaison aux normes	0	0	+	+	+/0
Poids physiques	+	0	+	+	+
Écobilans	+	--	--	0	-
Coûts -bénéfices	+	-	+	+	+/0
Poids endogènes	++	++	--	--	0

Cependant, dans le chapitre suivant, nous étalons plus profondément et avec plus de détails les différentes méthodes d'agrégation utilisées exclusivement dans une analyse multicritère afin de choisir judicieusement celle qu'on utilisera dans notre méthode.

Par ailleurs, le tableau suivant récapitule les principales méthodes de pondération des indicateurs avec leurs avantages et inconvénients, utilisées dans le cadre d'une approche multicritères (Tab. 43), celle la plus utilisée est la méthode de comparaison par paire qui permet une comparaison d'alternatives et ainsi une meilleure objectivité.

Tab. 43 : Méthodes de pondération des indicateurs utilisées dans une approche multicritère (source : Cherqui, 2005)

Méthode 1 : Méthode d'attribution de scores (fixed point scoring)	
Définition : Répartition d'une somme de points sur l'ensemble des critères (répartition de 100 % par exemple)	
Avantages	Inconvénients
L'attribution d'un poids plus important à un critère réduit l'importance relative d'un autre élément	Difficulté d'appréhender la complexité globale de la réalité (Svoray et al. 2005)
Méthode 2 : Comparaison par paire (paired comparison)	
Définition : Comparaison deux à deux des critères, les plus connus étant la méthode AHP inventée par Saaty (Saaty, 1977) et la méthode MACBETH (Bana e Costa et al. 2003)	
Avantages	Inconvénients
- La méthode est simple d'utilisation - La consistance (cohérence) de l'ensemble des comparaisons est vérifiée - Des logiciels utilisant cette méthode existent : Expert Choice ou MultCSync (Moffett et al. 2005) par exemple.	- Le choix de l'échelle allant de 1 (même importance) jusqu'à 9 (absolument plus important) n'est pas justifié mathématiquement - Le temps de comparaison augmente plus rapidement que le nombre de critères : l'équation ci-après indique le nombre

- Elle permet d'appréhender la complexité du monde réel (Svoray et al. 2005)	de comparaisons nécessaire N_{comp} en fonction du nombre de poids P à déterminer (Hajkowicz et Prato 1998)
$N_{comp} = P \cdot (P-1) / 2$	
Méthode 3 : Analyse de jugement (judgement analysis)	
Définition : Évaluation de l'importance d'alternatives distinctes réelles ou fictives sur des échelles de 1 à 10, 1 à 20 ou 1 à 100. Une procédure inverse permet de calculer les poids des critères en fonction des évaluations des alternatives.	
Avantages	Inconvénients
- Les pondérations sont fonction des comportements révélés des acteurs et non pas de leurs préférences officielles - La méthode permet la prise en compte indirecte de paramètres	- consommatrice en temps ; pour obtenir une signification statistique, un nombre suffisant d'alternatives doit être étudié. - surestimer parfois la capacité cognitive des décideurs lorsque le nombre d'alternatives est important.
Méthode 4 : Méthode des valeurs attendues (expected value method)	
Définition : L'attribution des poids est uniquement en fonction du classement des critères et de leur nombre. Janssen (Janssen , 1992) propose des valeurs de pondération.	
Avantages	Inconvénients
- La méthode est simple et requiert uniquement de classer les critères	- La pondération obtenue ne reflétera pas systématiquement les différences d'importance entre critères
Méthode 5 : Technique du jeu de cartes	
Définition : Distribution d'un "jeu de cartes" sur lesquelles sont inscrits les noms de critères ainsi que des cartes blanches. Le décideur classe les cartes ; il a la possibilité de mettre des cartes ex aequo et de glisser des cartes blanches entre les critères	
Avantages	Inconvénients
- Simple et facilement utilisable	Même inconvénients que la méthode des valeurs attendues et la méthode d'attribution des scores
Méthode 6 : Arbre des pondérations	
Définition : Lorsqu'il est possible de décomposer les critères sous forme d'une arborescence, alors à partir de la pondération de chaque embranchement, la valeur de pondération de chaque critère correspond au produit des coefficients des sous branches et des branches dont il est issu.	
Avantages	Inconvénients
Le nombre d'éléments à comparer est limité	La difficulté réside dans la réalisation de l'arbre

III. PRESENTATION DES THEMES ET INDICATEURS CONSIDERES PAR LA METHODE

Dans cette section, nous allons nous focaliser sur le système de thèmes et les indicateurs environnementaux qui leurs sont associés, retenus par notre méthode, nous allons récapituler les causes principales, les principaux polluants et les effets potentiels des impacts considérés par le système d'indicateurs retenu et cela à titre de rappel et d'interaction entre les impacts et les indicateurs, les critères de leur choix seront par la suite présentés.

III.1 CATEGORIES D'IMPACTS PRISES DANS UNE ACV

Il importe de signaler que le système d'ACV que nous avons retenu ne vise pas à couvrir l'ensemble de la problématique environnementale, ainsi, il concerne ce qui est quantifiable et sommable. Dans ce contexte, on est amenés de mettre l'accent sur les catégories d'impact prises en compte dans une ACV (Tab. 44), et par la même occasion connaître celles qui ne le sont pas, nous présentons ensuite les indicateurs retenus.

Tab. 44: Catégories d'impacts prises en compte dans une ACV (source : RECORD, 2005)

Catégorie d'impact	Domaine d'application	Flux élémentaire principaux	Facteur de caractérisation	Description du facteur de caractérisation
Augmentation de l'effet de serre	Global	CO ₂ , NO ₂ , CH ₄ , CFCs, HCFCs, CH ₃ Br	Potentiel de réchauffement global	Equi. CO ₂
Destruction de la couche d'ozone stratosphérique	Global	CFCs, HCFCs, CH ₃ Br, hallon	Potentiel de la destruction de la couche d'ozone	Equi.CFC-11
Acidification	Régional Local	SO _x , NO _x , HCL, HF, NH ₄	Potentiel d'acidification	Equi.H+
Eutrophisation	Local	PO ₄ , NO, NO ₂ , NH ₄	Potentiel d'eutrophisation	Equi.PO ₄
Smog photochimique	Local	NMVOG	Potentiel de création d'oxydant photochimique	Equi.C ₂ H ₆
Écotoxicité dans le sol	Local	Polluants toxiques pour les rongeurs	DL ₅₀ ⁴¹	Equi. habitant
Écotoxicité dans l'eau	Local	Polluants toxiques pour les poissons	DL ₅₀	Equi.habitant
Toxicité humaine	Global Régional Local	Polluants toxiques dans l'air, l'eau et le sol	DL ₅₀	Equi.habitant
Prélèvement des ressources	Global Régional Local	Quantité des minéraux Quantité d'énergie	Potentiel de réduction des ressources	Ratio entre la quantité des ressources utilisées et les réserves prouvées
Utilisation de l'espace	Global Régional Local	Quantité mise en décharge	Déchets solides	Volume des déchets sur base de la densité

Nous nous intéressons cependant aux catégories d'enjeux environnementaux qui ne sont pas pris en compte dans une ACV, il s'agit en l'occurrence de (RECORD, 2005) :

- ❑ **Dans le contexte des changements climatiques :**
 - Augmentation de la teneur en aérosol dans la stratosphère ;
- ❑ **Dans le contexte de l'utilisation des ressources naturelles :**
 - La disparition de la faune et la flore ;
 - L'altération du paysage ;
- ❑ **Dans le contexte des effets sur la santé humaine :**
 - Les effets sur la santé humaine ; en effet l'ACV quantifie les émissions sur la santé humaine et non pas les effets de ces émissions sur cette dernière, c'est-à-dire qu'il ne considère pas l'exposition des personnes aux différentes substances émises dans l'environnement, cet indicateur se mesure en pondérant les émissions inventoriés par l'ACV en fonction de leur toxicité respective et en les agrégeant après, comme nous allons le voir dans le chapitre suivant ;
 - Les effets craints (OGM, ligne de très haute tension, ondes...) ;
- ❑ **Dans le contexte des rejets dans l'air :**
 - La teneur en aérosols ;
 - Les effets intermédiaires et finaux des enjeux des catégories d'impacts ;
- ❑ **Dans le contexte des rejets dans l'eau :**
 - La pollution microbiologique (pathogènes, bactéries, virus) ;
 - L'excès de matières organiques ou sédiments ;
 - L'augmentation de la teneur en pesticides ;
 - Le développement d'espèces colonisatrices ;
 - L'augmentation de la température de l'eau et de la salinité ;
 - La présence des déchets solides en mer ou le long du littoral (effet local) ;
- ❑ **Dans le contexte des rejets dans le sol :**
 - La perte d'éléments nutritifs dans le sol dû à l'acidification des sols ;
 - La dégradation de la structure du sol (entraînant une diminution de la fertilité et des problèmes d'érosions).

III.2 CHOIX DES THEMES ET INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX

III.2.1 Indicateurs environnementaux retenus

Les indicateurs environnementaux que nous avons retenus pour l'application de notre méthode correspondent à différentes catégories d'impacts générés par le bâtiment, ils ont été choisis en se référant à nos différentes études précédentes afférentes : aux différents impacts environnementaux générés à différentes échelles, aux différentes catégories d'impacts considérées par une ACV et à la bibliographie internationale précédemment citée, entre autres : (Heijungs, 1992, OCDE, 1998 ; Harris, 1999, Kane, 1999 ; Commission européenne, 2000 ; Ambiente Italia, 2003 ; Peuportier, 2003 ; Charlot-Valdieu, 2004, Dufresnes et Achard, 2006 ; Myrsini et al., 2006).

Par ailleurs, certains critères nous ont guidés dans notre choix, à savoir :

- La pertinence vis-à-vis des thèmes choisis ;
- L'objectivité en s'appuyant sur des indicateurs calculables selon des formules adéquates à chaque indicateur ;
- La précision de chaque indicateur en s'appuyant sur la précision des calculs dont les formules seront développées par la suite ;
- La représentativité qui doit permettre de donner une représentation la plus proche d'une réalité complexe ;
- La multiplication qui permet de cerner la complexité des phénomènes ;
- La sensibilité vis-à-vis des petites variations du phénomène ;
- La variabilité qui permet de considérer à la fois les aspects quantitatifs et qualitatifs.

Nous signalons enfin que les indicateurs retenus correspondent aux catégories d'impacts considérés et calculés par EQUER, notre outil de simulation.

Dans la figure ci-dessous (Fig.80), nous allons présenter les indicateurs environnementaux retenus par notre méthode, en indiquant les indicateurs de la bibliographie internationale, ceux retenus et ceux qui sont écartés pour non adaptabilité aux besoins et objectifs de la méthode que nous voulons établir. Les thèmes auxquels seront affiliés ces indicateurs seront développés par la suite.

D'autre part, nous avons considéré le cycle de vie du bâtiment hôtelier lors du choix de ces indicateurs, ainsi les indicateurs retenus, se répartissent dans les différentes phases de vie du bâtiment et ne se concentrent pas uniquement dans une seule phase, l'organisation de ces indicateurs par rapport aux phases de vie du bâtiment est présentée dans la figure (Fig.81).

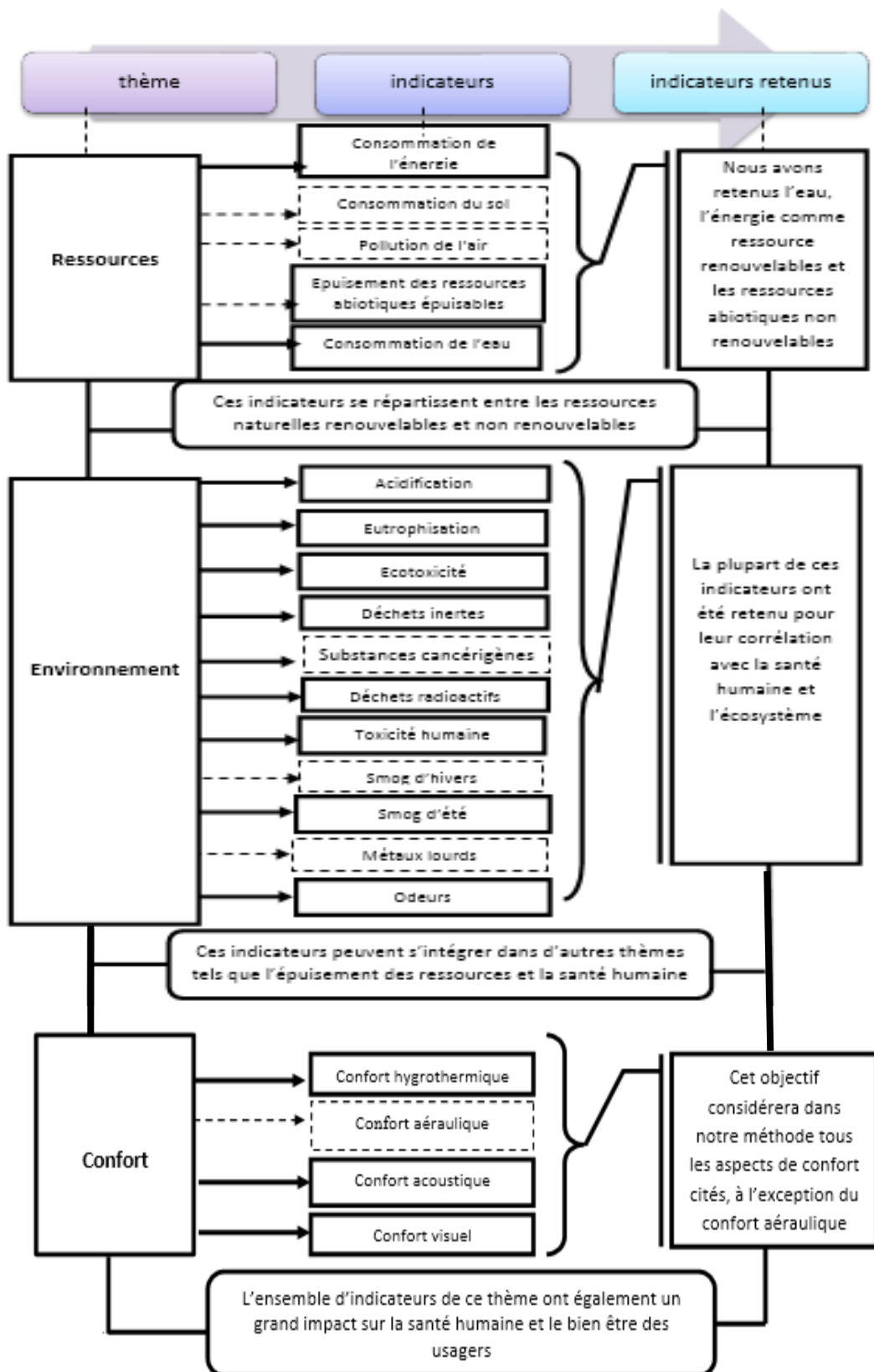


Fig.80 : Les indicateurs environnementaux retenus par notre méthode

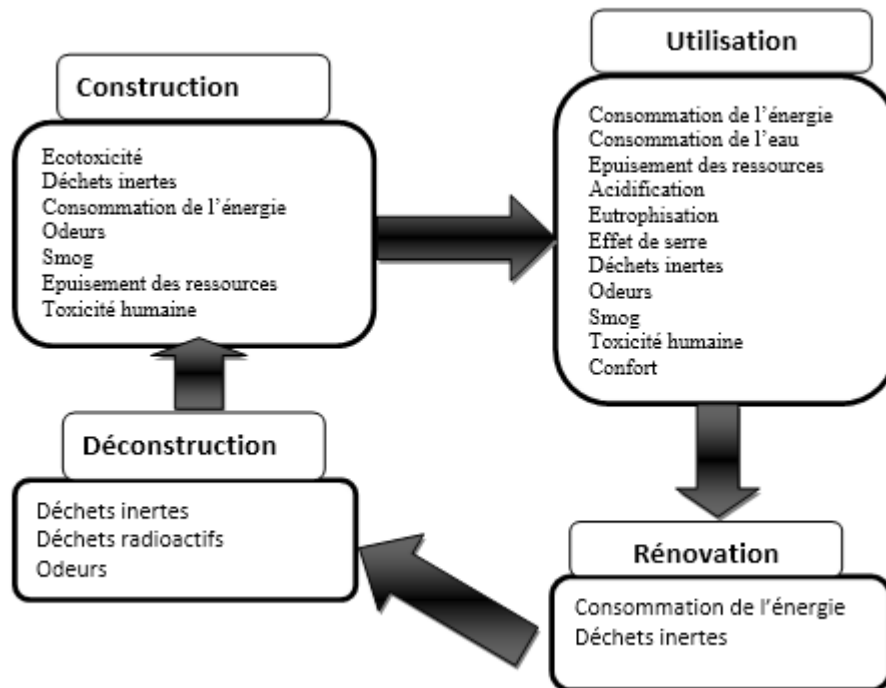


Fig.81: Organisation des indicateurs environnementaux retenus par notre méthode par rapport aux phases de vie du bâtiment

III.2.2 Thèmes environnementaux retenus

Afin de choisir un système de thèmes compatible avec la nature de nos indicateurs environnementaux en considérant leurs différents aspects, nous avons fait ressortir la corrélation qui existe entre ces derniers et des catégories d'indicateurs auxquelles ils sont susceptibles d'appartenir, en l'occurrence : volume critique, potentiel, changement climatique, préservation de la santé humaine, écosystème et biodiversité et épuisement des ressources. (Fig.82), par ailleurs, il est clair que les indicateurs de confort seront systématiquement associé au thème « confort », ce dernier ne sera pas donc intégré dans cette figure.

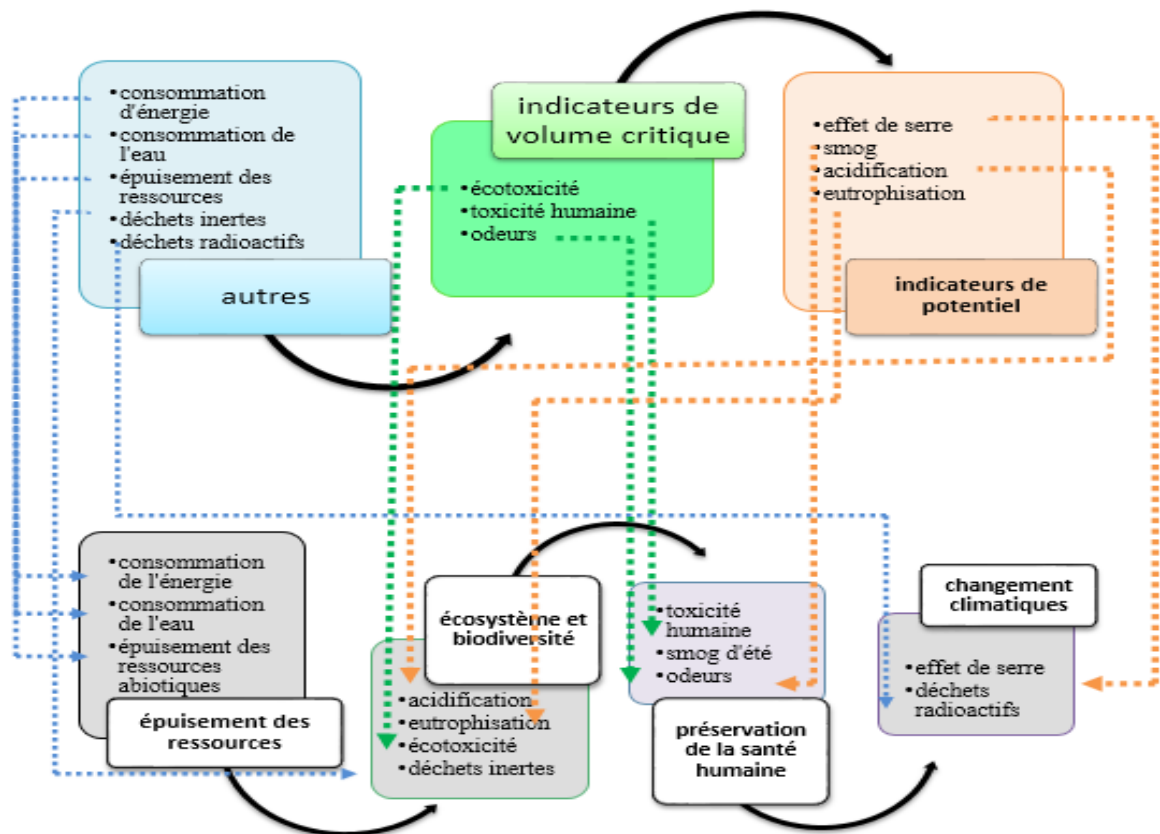


Fig.82: Interaction entre les différents indicateurs environnementaux

Nous observons que les différents indicateurs peuvent être intégrés dans différentes catégories thématiques, cependant, afin que nos thèmes reflètent le plus objectivement possible les différents aspects de notre système d'indicateurs, nous avons porté un choix sur les thèmes suivants :

1. Thème « Ressources » : les indicateurs qui lui sont associés sont : l'énergie, eau et épuisement des ressources
2. Thème « Environnement » : ce second thème sera agrégé en trois sous-thème afin d'assurer la transparence et la lisibilité de nos indicateurs :
 - a. Les indicateurs de potentiel : qui concernera les indicateurs suivant : Effet de serre ; Acidification ; Eutrophisation ; Smog
 - b. Les indicateurs de volume critique : qui concernera les indicateurs suivants : Écotoxicité ; Toxicité humaine ; Odeurs
 - c. Les indicateurs de production des déchets : il s'agira des indicateurs suivants : Déchets inertes ; Déchets radioactifs
3. Thème « Confort » : il concernera les indicateurs liés à la qualité du confort intérieur au bâtiment (hygrothermique, acoustique et visuel).

Les deux appellations des catégories d'indicateurs (de potentiels et de volumes critique), ont été présentés par Peuportier (Peuportier, 2003), leurs principes de calcul seront intégrés dans nos formules.

III.2.3 Les effets intermédiaires et finaux des indicateurs retenus

III.2.3.1 Thème 1 :Ressources

Ce premier thème traitera des indicateurs visant à amoindrir l'utilisation excessive des ressources naturelles renouvelables et à éviter l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables et cela dans le but de sauvegarder la nature, ainsi l'épuisement concerne les deux types de ressources :

- ❑ pour le premier type qui est les ressources renouvelables, l'épuisement se déclare lorsque le taux d'extraction ou d'utilisation dépasse celui de la régénération,
- ❑ l'épuisement des ressources non renouvelables survient lorsque la régénération ne suffit pas et ne se fait pas dans les délais susceptibles de lui permettre une exploitation durable

Les ressources concernées dans notre étude et qui vont se traduire en indicateurs sont : l'énergie, l'eau et les ressources abiotiques non renouvelables qui s'épuisent considérablement.

La figure suivante (Fig. 83) récapitule les effets potentiels liés aux indicateurs de ce premier thème ainsi que son interaction avec les enjeux environnementaux.

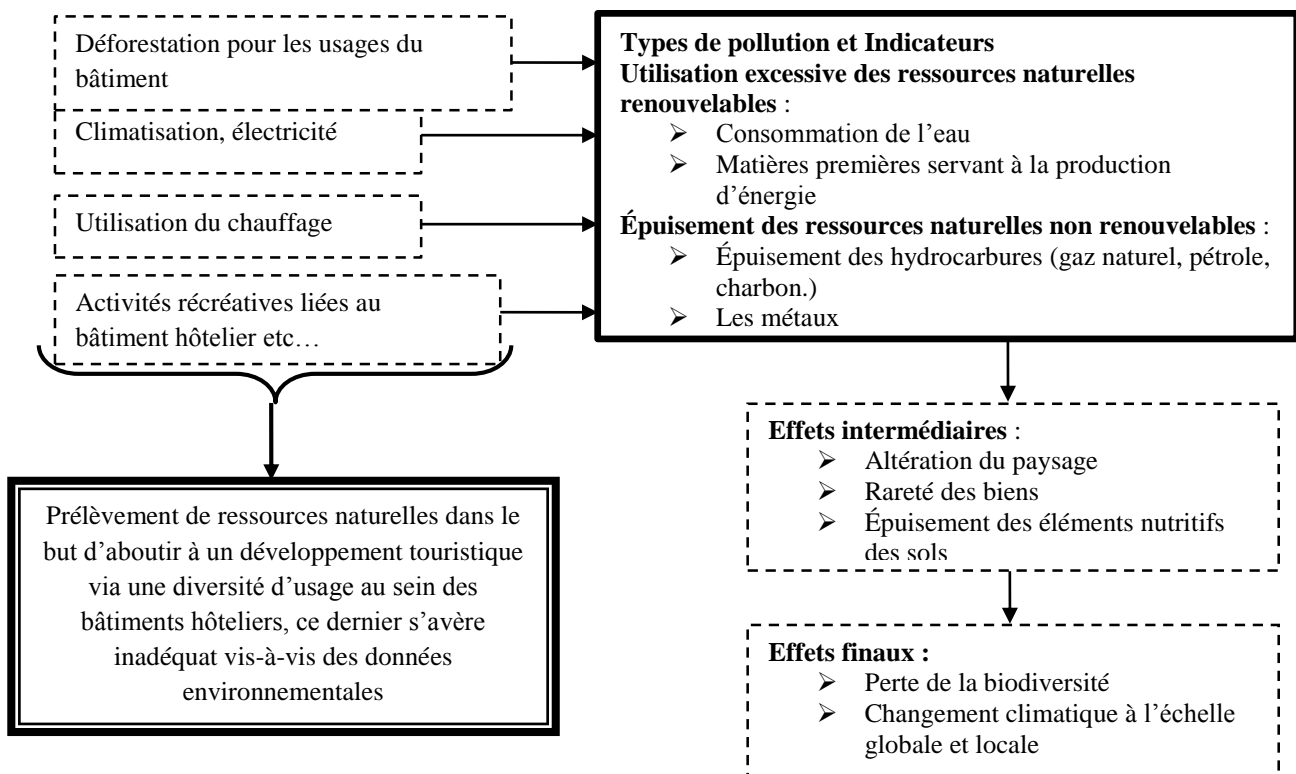


Fig.83 : Les effets des indicateurs du thème « Ressources » et leur interaction avec les enjeux environnementaux

III.2.3.2 Thème 2 : Environnement

Ce deuxième thème traitera l'ensemble des indicateurs associés aux impacts qui affectent les différents compartiments de l'environnement : air, sol et eau, Ces indicateurs auront pour objectif de préserver ces trois compartiments en réduisant les pollutions et les émissions générés qui atteignent et affectent la biodiversité, l'écosystème et même la santé humaine.

Ce thème, comme nous l'avons indiqué précédemment, est agrégé en trois sous thème afin de simplifier le calcul et la lecture des indicateurs :

- a. Les indicateurs de potentiel : nous distinguant trois catégories d'indicateurs :
 - La première catégorie concerne des indicateurs qui permettent de minimiser les impacts potentiels, qui ne se produiront pas nécessairement, mais dont la réduction permettra de réduire les risques des impacts réels, (effet de serre),
 - La seconde catégorie concerne des indicateurs qui évaluent uniquement les substances ou les émissions liées au procédé concerné, qui ont donc un impact potentiel, puisque les autres émissions dont dépend la génération de l'impact concerné n'ont pas été considérés (acidification),
 - La dernière catégorie concerne les indicateurs dont l'impact dépend plus de la concentration et la dilution des substances émises que de leur quantité (eutrophisation)
- b. Les indicateurs de volume critique : ils concernent les indicateurs dont l'impact est évalué à partir de la concentration en polluants mais dont la nocivité diffère, une valeur maximale tolérable de concentration est attribuée à chaque polluant.
- c. Les indicateurs de génération des déchets : ils concernent uniquement les déchets inertes produit et les déchets radioactifs

Nous présentons dans les figures (Fig.84 et Fig. 85), leurs effets potentiels et leur interaction avec d'autres enjeux environnementaux.

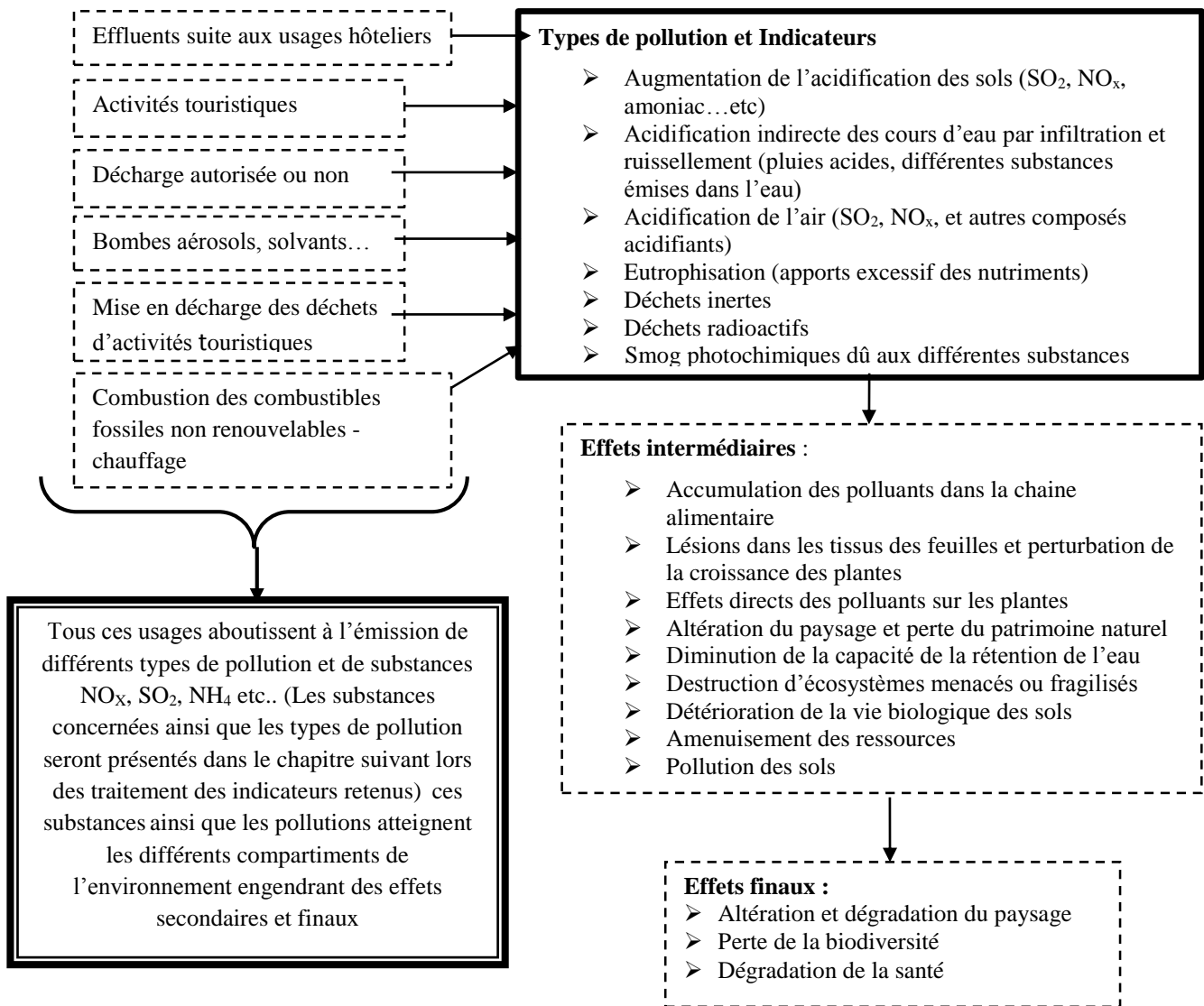


Fig.84: Les effets des indicateurs de potentiel et les indicateurs de génération des déchets du thème « Environnement » et leur interaction avec les enjeux environnementaux

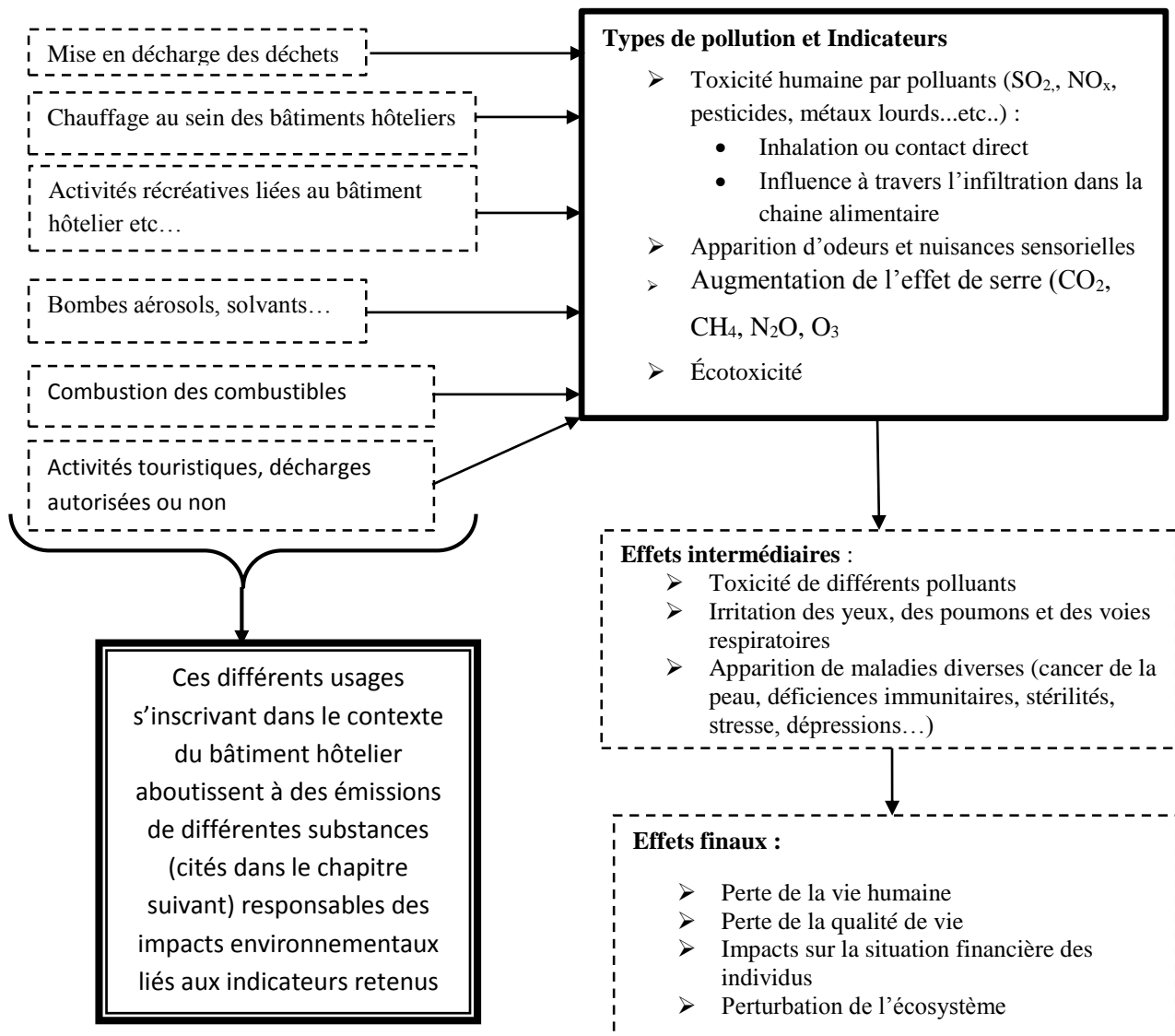


Fig.85 : Les effets des indicateurs de volume critique du thème « Environnement » et leur interaction avec les enjeux environnementaux

III.2.3.3 Thème 3 : Confort

C'est un truisme de répéter que la qualité du confort a des retombées néfastes sur la santé humaine, le bien être des occupants mais également sur les différents compartiments de l'environnement, dans la figure suivante (Fig. 86), nous présentons les types de confort retenus à partir des cibles de la HQE, les cibles retenues sont marquées en gras, la qualité de l'air et les déchets seront traitées par le thème de « Environnement », quant aux autres cibles retenues (énergie et eau), elles seront traitées dans le contexte du thème « Ressources ». En outre, la cible (choix intégrés des procédés et produits de construction) est très importante dans le contexte de notre travail, étant donné qu'elle constitue un objectif à atteindre après la simulation et l'application de notre méthode sur des cas existants que nous allons présenter dans le chapitre suivant.

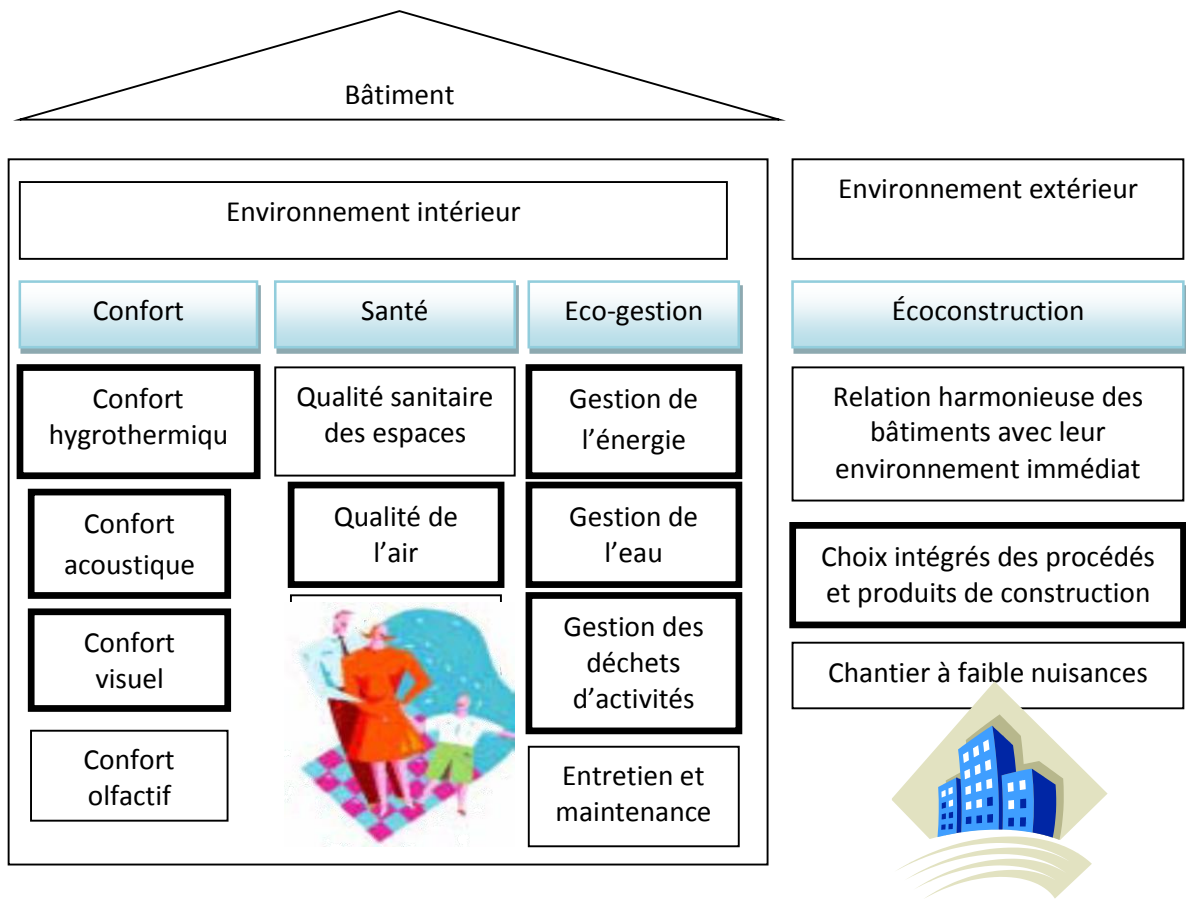


Fig.86 : Les cibles de confort retenues par notre méthode

III.3 CAUSES, POLLUANTS ET EFFETS POTENTIELS DES INDICATEURS RETENUS

Nous présentons dans le tableau suivant (Tab. 45) une récapitulation des causes principales, les principaux polluants et les effets potentiels de chaque indicateur lié à un impact donné, cette récapitulation va contribuer à la construction de nos indicateurs et à savoir sur quel point faut-il agir afin de réduire l'impact en question.

Tab. 45 : Causes, polluants et effets potentiels des impacts présentés par les indicateurs retenus par notre méthode

Impact/ indicateur	Les causes principales	Les principaux polluants	Les effets potentiels
Énergie	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Absence de suivi ➤ Absence de contrôle ➤ Diversité des activités notamment touristiques au sein des bâtiments 	Dioxyde de carbone lors de la combustion énergétique	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Amenuisement des ressources naturelles non renouvelables ➤ Dégradation du paysage ➤ Changement climatique ➤ Perte de la qualité de vie

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Utilisation tout au long du cycle de vie du bâtiment 		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Perte de la qualité touristique
Eau	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Présence de fuites ➤ Absence de contrôle et de suivi ➤ Absence de comportements écologiques auprès des usagers ➤ Absence de sensibilité ➤ Diversité des activités notamment dans les bâtiments touristiques ➤ Absence d'une réglementation de gestion des eaux 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La pollution par les matières organiques ➤ La pollution microbiologique ➤ La pollution par les hydrocarbures ➤ La pollution par les pesticides ➤ La pollution par les nitrates ➤ La pollution par les eaux souterraines ➤ L'eutrophisation des eaux de surfaces ➤ La pollution métallique ➤ La pollution par les déchets solides ➤ La modification des paramètres physico-chimique de l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Risque de toxicité ➤ Asphyxie de la faune aquatique ➤ Risque de disparition de la vie végétale ➤ Risque d'apparition de maladies ➤ Effets toxiques sur la faune et la flore aquatique et la santé humaine ➤ Modification de l'équilibre biologique des milieux aquatiques ➤ Développement d'algues toxiques
Épuisement des ressources	Prélèvement des ressources naturelles suite à un développement économique mal adapté ou pour satisfaire les besoins touristiques.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Épuisement des hydrocarbures ➤ Épuisement des minerais ➤ Épuisement des métaux 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Altération du paysage ➤ Rareté des biens ➤ Effets sur la faune et la flore ➤ Déséquilibre de l'écosystème ➤ Perte de la qualité de vie
Acidification	Gaz dissous dans l'air : SO ₂ , NO _x , NH ₃ , HCl, HF	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Émission du dioxyde de soufre par la combustion énergétique et industrielle ➤ Oxyde d'azote par le transport routier notamment touristique ➤ L'ammoniac provenant de l'agriculture 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lessivage des éléments nutritifs du sol ➤ Lessivage du calcium et du magnésium présents dans la chlorophylle ➤ Altération du paysage
Eutrophisation	Présence excessive des nutriments dans l'eau	Azote et phosphore causés par divers usages notamment par l'utilisation des produits de lavage et de nettoyage dans le bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Développement accéléré des algues et des végétaux d'espèces supérieures ➤ Déséquilibre des organismes présents dans l'eau ➤ Dégradation de la qualité d'eau ➤ Risque de mort pour certains organismes ➤ Risque d'asphyxie des eaux

Écotoxicité	Émission de substances écotoxiques dans le milieu aquatique et dans le milieu terrestre	Les métaux Les hydrocarbures	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Déséquilibre de l'écosystème ➤ Risque de disparition de la faune et flore ➤ Perte de la qualité de vie ➤ Perte de la qualité paysagère
Déchets inertes	Produits lors des différentes phases du cycle de vie du bâtiment	Tous types de déchets non toxiques : Inertes Industriel banal Industriel spécial	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Altération du paysage ➤ Effets nocifs sur la faune et la flore ➤ Risque de dégradation de la santé humaine ➤ Altération du paysage ➤ Inconfort visuel et olfactif
Toxicité humaine	Exposition à différentes substances chimiques	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Oxyde d'azote (NOx) ➤ Dioxyde de soufre (SO₂) ➤ Monoxyde de carbone (CO) ➤ Particules en suspension (Ps) ➤ Ozone (O₃) ➤ Composés organiques volatiles (COV) ➤ Plomb (Pb) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Formation d'ozone troposphérique ➤ Contribution au phénomène des pluies acides ➤ Dégradation profonde de la qualité d'air ➤ Effets nocifs sur la santé humaine
Smog d'été	Polluants atmosphériques nocifs	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Poussière ➤ Les particules en suspensions ➤ L'ozone troposphérique 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Troubles respiratoires, cardiovasculaire et pulmonaires ainsi que d'autres problèmes graves de santé ➤ Risque de mortalité humaine
Effet de serre	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Émissions du CO₂ ➤ Émissions du méthane ➤ Les protoxydes d'azotes ➤ Les CFC et leurs substituts 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La vapeur d'eau (H₂O) ➤ Le gaz carbonique (CO₂) ➤ Le méthane (CH₄) ➤ Le protoxyde d'azote (N₂O) ➤ L'ozone (O₃) ➤ Composés organiques volatiles (COV) ➤ Plomb (Pb) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Augmentation des précipitations et de l'humidité atmosphériques ➤ Diminution de l'enneigement et de l'étendu des glaces terrestre ➤ Augmentation du niveau de mer ➤ Changement de la circulation atmosphériques et des courants marins
Déchets radioactifs	Chauffage électrique Utilisation de l'électricité	Substances radioactives produites lors de différentes activités industrielles, usines de production d'électricité mais également hospitalières, laboratoires	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Effets mutagène sur les êtres vivants ➤ Dégradation et altération du paysage ➤ Perte de la qualité de vie

III.4 INTERACTION DES INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX RETENUS AVEC LES DIFFERENTES METHODES D'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE

Il est important dans le contexte dans lequel nous intervenons, de se focaliser sur la corrélation entre les indicateurs environnementaux retenus et les principales méthodes appliquées dans l'évaluation des risques environnementaux. Cela a pour objectif de mettre l'accent sur l'importance de la méthode ACV que nous avons choisi et l'ampleur de son champ d'application. Nous précisons que les méthodes d'évaluation en question sont celles afférentes à : L'évaluation des risques sanitaires, l'évaluation des risques pour les écosystèmes, les indicateurs et bien sûr l'ACV. A titre de présentation, nous résumons dans ce qui suit les principaux points liés aux deux premières méthodes afin de donner une idée générale sur ces dernières, tout en rappelant que les indicateurs et l'ACV ont été préalablement profondément étudiés.

III.4.1 L'évaluation des risques sanitaires

C'est une méthode qui a pour principal objectif d'étudier les effets d'un projet sur la santé humaine lors des études d'impacts.

Selon la définition donnée par le NRC (Nuclear Regulatory Commission) et l'US-EPA (US Environmental Protection Agency) en 1983, l'évaluation des risques sanitaires est « ...*l'utilisation des faits (scientifiques) pour définir les effets sur la santé d'une exposition d'individus ou de population à des matériaux ou à des situations dangereuses* » (RECORD, 2005).

Dans ses premières applications, cette méthode concernait seulement les rayonnements ionisants, ensuite son champ s'est étendu pour étudier les substances cancérigènes, actuellement, son champ d'application s'est étendu davantage en étudiant tout type de substances, différents risques sanitaires, différents compartiments de l'environnement et les études sur les écosystèmes.

Les principales étapes de cette méthode sont les suivants :

- Identification des dangers ;
- Définition des relations dose-réponse ;
- Évaluation de l'exposition humaine ;
- Caractérisation des risques sanitaires.

III.4.2 L'évaluation des risques pour les écosystèmes

Cette méthode est inspirée de la méthode précédente, elle se fonde sur les phases suivantes (RECORD, 2005) :

- ❑ **La formulation du problème** : qui consiste à caractériser l'écosystème et les agents susceptible d'instaurer une situation stressante, à partir de là, des paramètres d'évaluation compatibles avec des hypothèses de perturbation peuvent être pertinemment retenus.;
- ❑ **L'évaluation des expositions** : qui va dépendre :
 - du degré de concentration et le comportement physico-chimique de l'agent polluant ;
 - des modes et des seuils d'exposition des personnes aux substances émises.
- ❑ **La caractérisation du risque** : il s'agit dans cette phase de faire ressortir la relation et le seuil de corrélation entre les données d'exposition aux substances polluantes et les données de leur évaluation, dans le but d'une prise de décision objective et pertinente ;
- ❑ **L'évaluation des incertitudes** : tous les résultats des phases d'évaluation précédentes, seront interprétés dans cette dernière étape, les facteurs d'incertitude à considérer sont de trois types :
 - Incertitude découlant des caractéristiques propres au système ;
 - Incertitude liée au manque de connaissance ;
 - Incertitude liée aux erreurs de mesure ou au fonctionnement des modèles.

Ainsi à partir du schéma suivant (Fig.87), nous récapitulons l'interaction entre les différentes méthodes citées au-dessus avec les indicateurs retenus, nous constatons aisément que la méthode ACV, est celle qui bénéficie du plus vaste champ d'application auprès des indicateurs en question, elle couvre ainsi l'ensemble des indicateurs, ce qui confirme davantage notre choix pour cette méthode.

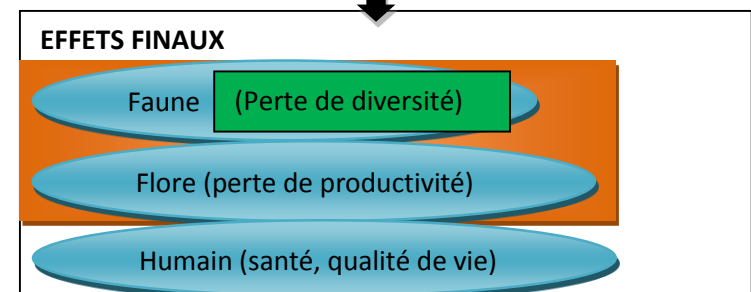
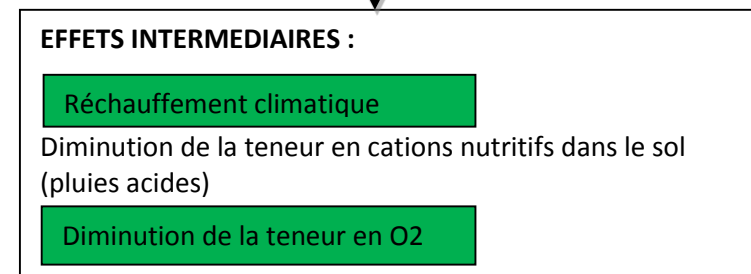
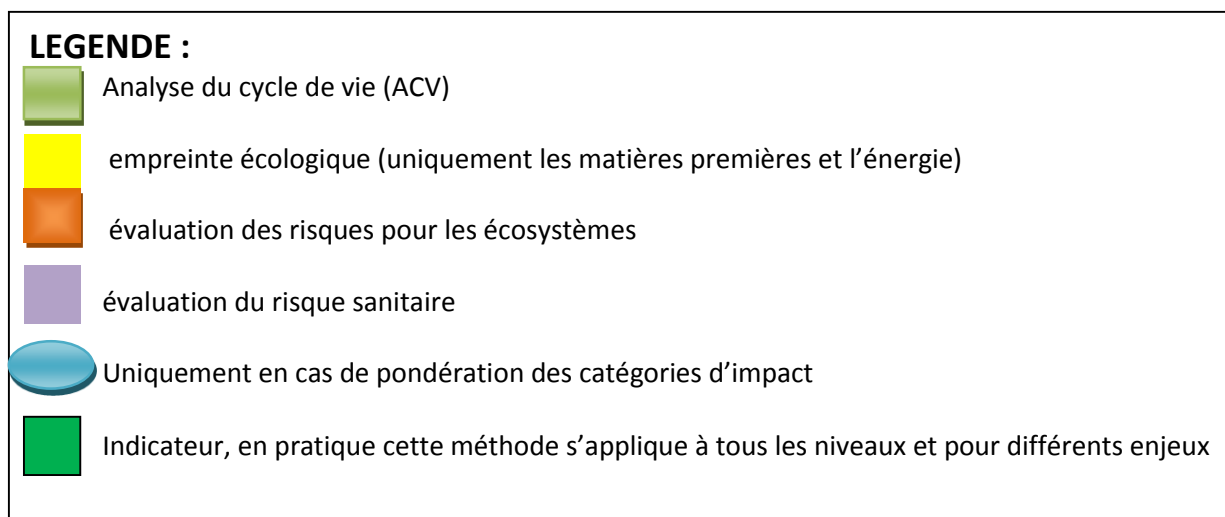
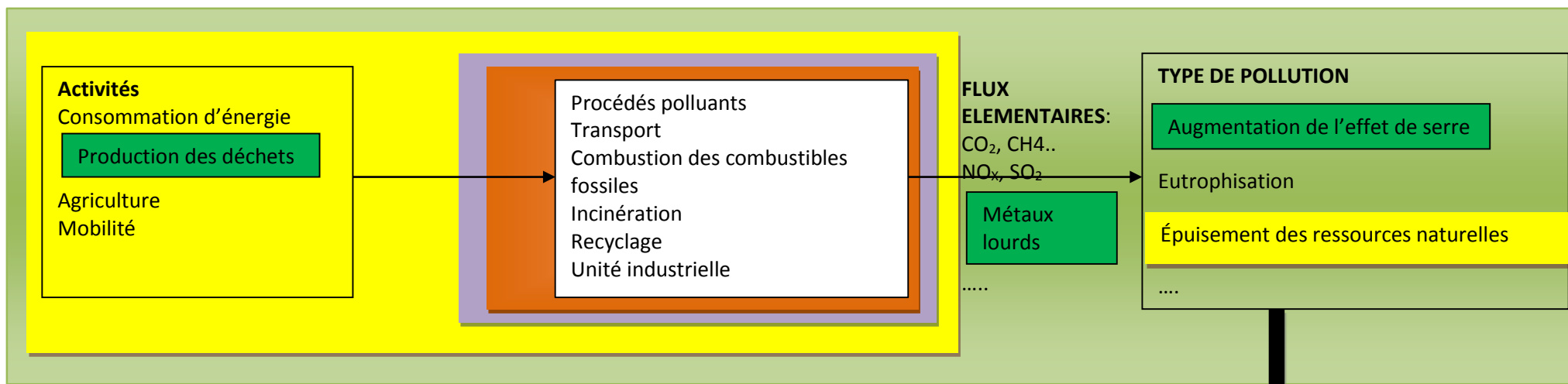


Fig. 87: Carte de perception des enjeux environnementaux avec les méthodes d'évaluation environnementales (source : RECORDS, 2005)

CONCLUSION

L'étude de ce chapitre nous a permis de lever le voile sur les différentes zones d'ombre qui existaient sur différents aspects de la méthode ACV, ainsi, toutes les caractéristiques et aspects de cette dernière ont été définis, ce qui nous a permis d'affiner plus notre étude en spécifiant l'échelle temporelle et spatiale et en définissant les éléments structurant notre méthode.

Ces derniers, en l'occurrence, les thèmes et indicateurs, avec leurs méthodes de normalisation et de pondération, ont été présentés globalement puis en détail afin de pouvoir retenir ceux qui se veulent le plus en accord avec les spécificités de la problématique de notre méthode.

Les différents thèmes retenus, couvrent différents contextes en effet :

- Le premier thème (Ressources) concerne les ressources renouvelables et non renouvelables ;
- Le deuxième thème (Environnement) concerne les différents compartiments de l'environnement à travers divers indicateurs de nature différentes, qui affectent la santé humaine, l'écosystème et la biodiversité ;
- Le dernier thème(Confort), relève les préoccupations des usagers à travers la qualité du confort et de l'environnement intérieur.

Le chapitre suivant sera consacré à la quantification, la normalisation et le traitement des indicateurs associés à ces thèmes.

Chapitre IV

QUANTIFICATION DES INDICATEURS

*« ...en face des effroyables menaces que
l'homme fait peser sur lui-même, on doit se
demander s'il pourra se sauver autrement qu'en
se dépassant »*

Jean Rostand dans « ce que je crois » Grasset

INTRODUCTION

Ce chapitre va nous permettre d'étudier prospectivement les indicateurs qui sont la clef de voûte de la méthode autour de laquelle s'articule notre travail, en se focalisant sur la méthode de leur quantification, de leur normalisation et enfin celle de leur agrégation. Nous dévoilerons en outre, les spécificités inhérentes à l'enquête et à la campagne de mesures qui seront réalisées au cours de ce travail et enfin les modes retenus de représentation des alternatives qui s'offrent à nous.

II. PRESENTATION DES ETAPES FONDAMENTALES DE TRAITEMENT DES INDICATEURS DANS UNE ACV

Comme nous l'avons expliqué précédemment, la construction des indicateurs nécessite de passer par certaines phases, à savoir : la normalisation, l'agrégation et la pondération afin d'arriver à des données exploitables. Dans cette première section, nous allons essayer de rendre nos indicateurs quantifiables en choisissant une méthode d'agrégation, de pondération et de normalisation et cela après avoir présenté un panorama des méthodes les plus usitées dans ce contexte.

I.1 QUANTIFICATION DES INDICATEURS

La quantification des indicateurs est une étape fondamentale permettant de rendre un indicateur à la fois mesurable et valide, cela bien sûr suscite un calcul pertinent et précis de tous les indicateurs présentés dans le chapitre précédent, ce calcul n'est pas uniforme pour tous les indicateurs, car chacun de ces derniers a des spécificités qui lui sont intrinsèques. En outre ce même calcul nécessite d'autres données afférentes au nombre d'utilisateurs des bâtiments hôteliers à analyser qui feront l'objet de l'application de notre méthode d'évaluation, la période d'étude choisie ainsi que d'autres données inhérentes aux différents indicateurs dont les spécificités mènent systématiquement à une manipulation propre à chacun de ces derniers. En outre, la quantification en question est en fonction de leur normalisation qui à son tour est en fonction des valeurs de référence que nous allons traiter dans les paragraphes suivants. Ainsi, le traitement de toutes ces données va se solder par une formule mathématique propre à chaque indicateur.

Par ailleurs, nous rappelons que notre méthode s'inscrit dans le contexte des méthodes d'aides à la décision multicritères dont le processus est récursif (itératif), non linéaire selon Guitouni (Guitouni, 1998), ce processus est structuré en cinq étapes principales (Fig.88).

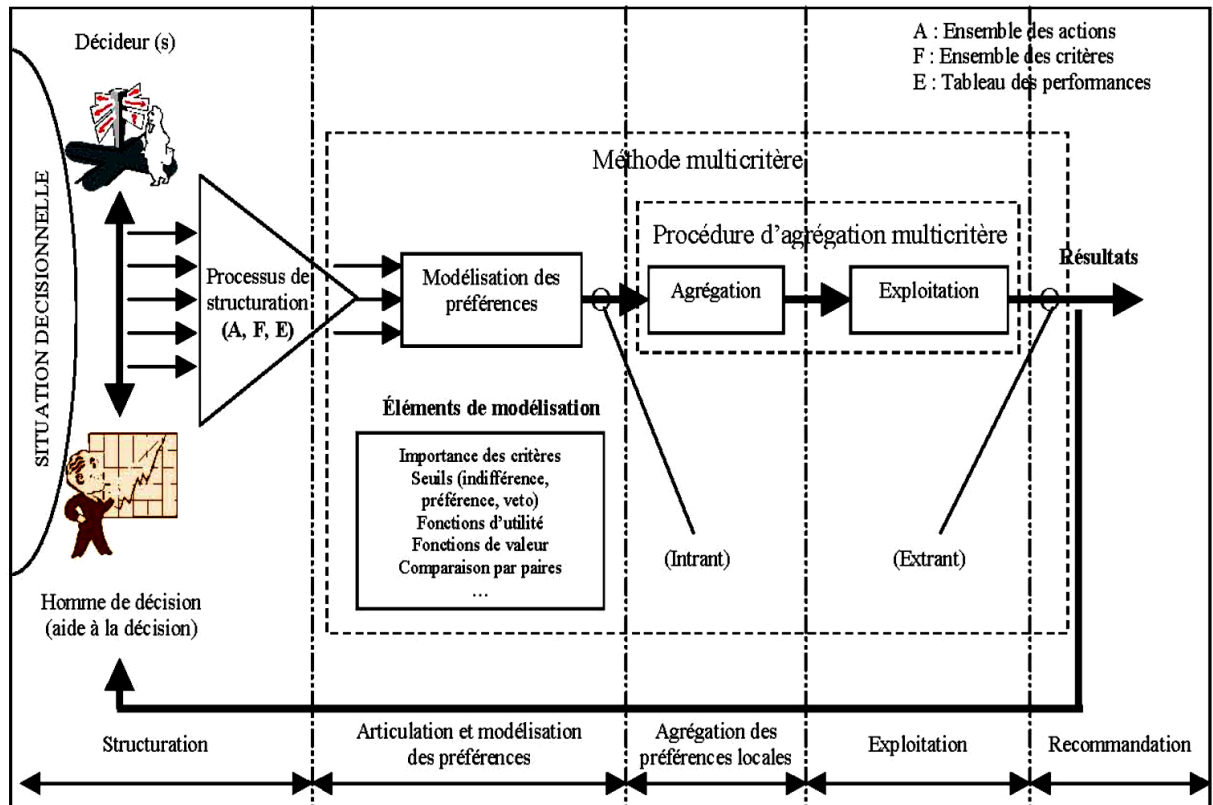


Fig.88 : Représentation du processus d'aide à la décision (source : Guitouni et al. 1999)

Les étapes concernées par ce processus sont les suivantes (Hammami, 2003) :

- ❑ La structuration de la situation est constituée des étapes suivantes :
 - Détermination de la typologie de problématique à résoudre : problématique de choix, problématique de tri, problématique de rangement ou problématique de description ;
 - Détermination des différentes actions à étudier ;
 - Recensement des critères qui seront considérés par les actions, objet de l'évaluation ;
 - Évaluation de l'ensemble des actions selon les critères correspondants.
- ❑ L'articulation et la modélisation des préférences est constituée des étapes suivantes :
 - Définition de la typologie des critères : vrai critère, pseudo critère, quasi critère, critère gaussien²⁶;
 - Classement des critères selon leur importance et leurs poids ;
 - Définition des fonctions d'utilité partielle ; les fonctions de valeur, les comparaisons par paires d'actions en considérant la méthode d'agrégation choisie.

²⁶ les différents critères sont présentés dans l'annexe 1

- ❑ L'agrégation des préférences locales consiste à exploiter les évaluations partielles de l'ensemble des actions selon les critères correspondants dans le but de générer une évaluation globale ;
- ❑ L'exploitation consiste à exploiter les résultats obtenus à l'étape précédente pour choisir, ranger ou trier les actions ;
- ❑ La recommandation consiste à tirer des pistes à suivre à partir des résultats obtenus des étapes précédentes.

I.1.1 Méthode de normalisation choisie

La normalisation des indicateurs est inéluctablement liée à la détermination des référentiels qui conduisent à sa concrétisation étant donné, nous le rappelons, que la représentation des alternatives se fera sur un diagramme radar ou pieuvre. En effet la courbe extérieure du diagramme radar est considérée comme l'optimum du projet, objet de l'évaluation, elle visualise ainsi les limites référentielles de ce dernier.

D'autre part, on signale qu'il existe plusieurs méthodes qui traitent la normalisation des indicateurs, nous pouvons trouver cette typologie dans la bibliographie de (Boulanger, 2004²⁷):

I.1.1.1 La normalisation statistique

La valeur de la normalisation dans cette première méthode est choisie après avoir exprimé toutes les valeurs en écart-type et cela après les avoir transformé de sorte que la moyenne de toutes ces dernières soit égale à zéro. Néanmoins, Boulanger a signalé certains inconvénients liés à cette méthode, tel que la nécessité de recalculer la moyenne de toutes les valeurs à chaque nouvelle observation dans le contexte des indicateurs sociaux à l'inverse de ceux des structures statistiques

I.1.1.2 La moyenne empirique

La spécificité de cette méthode est que la valeur qui permet la normalisation est choisie de manière empirique ; cette valeur peut se traduire soit par une valeur référentielle, par rapport à la quelle seront comparées les autres valeurs en pourcentage de variation, notamment lorsque il s'agit de progrès ou régression d'un système par rapport à une situation donnée, ou bien, elle peut être traduite par une valeur maximale de 1 donnée à la meilleure observation et 0 à la plus mauvaise, les autres valeurs intermédiaire sont calculées par le biais d'une formule mathématique, son inconvénient, est le risque d'avoir un indicateur normalisé supérieur à 1 ;

²⁷ cité par Cherqui (Cherqui, 2005)

I.1.1.3 La normalisation axiologique

L'aspect empirique est également présent dans cette méthode, néanmoins, les valeurs sont choisies en fonction du contexte de l'évaluation ; ainsi on attribue zéro à la pire situation, et 1, à la situation idéale, les valeurs des deux bornes ne sont pas dictées comme dans le cas précédent mais choisies à partir du contexte d'étude ou d'évaluation.

I.1.1.4 La normalisation mathématique

Comme son nom l'indique, cette méthode nécessite une fonction mathématique afin de pouvoir limiter un indicateur entre 0 et 1 ou bien entre -1 et +1, cette méthode revêt cependant un risque de déformation de la distribution originale et un manque de transparence pour les non professionnels notamment lorsqu'il s'agit d'indicateurs sociaux.

EN CONSEQUENCE : Après l'étude des spécificités des différentes méthodes présentées en haut, en pesant les avantages et les inconvénients de chacune d'elles tout en cherchant celle qui s'adapterait le plus et le mieux à notre problématique, à notre démarche et à la présentation en diagramme radar que nous avons adopté pour les alternatives ; l'étude de tous ces aspects s'est soldée par le choix de la méthode de la normalisation axiologique, ainsi, la dernière courbe du diagramme radar, qui fera l'objet de toutes nos présentations, correspondra à des valeurs référentielles qu'on attribuera à des situations idéales.

Ces valeurs, telles que ça été expliquées dans la présentation de la normalisation axiologique précédemment, seront puisées du même contexte d'évaluation, ainsi, les nôtres seront déduites des valeurs d'impacts d'un bâtiment à basse consommation, considéré comme une référence à nos deux cas d'étude, or ces valeurs en dépit qu'elles soient les meilleures valeurs qui s'offrent à nous, ne sont pas les valeurs idéales à atteindre. Pour cette raison, nous proposons des améliorations ou ratios allant de 30% à 45% appliqués directement sur les valeurs d'impact, de notre bâtiment de référence, calculés par le logiciel EQUER.

Les ratios proposés permettront, d'une part, d'obtenir l'optimum pour chaque indicateur, d'avoir les meilleures références et d'autre part d'éviter au bâtiment d'atteindre la valeur obtenue, y compris notre bâtiment référence. En outre nous attribuons pour chaque indicateur des ratios d'amélioration différents selon l'importance ou la dangerosité de l'impact qui lui est afférent, ce qui permet ainsi de préserver l'aspect idéal de nos références ; ces ratios se présentent comme suit :

- 45% Pour les indicateurs de : la consommation de l'eau, la consommation de l'énergie et l'épuisement des ressources ;
- 40% pour les indicateurs de : acidification, eutrophisation, écotoxicité et déchets inertes

- ❑ 30% pour les indicateurs de : toxicité humaine, smog, odeurs, effet de serre et déchets radioactifs

Il est clair, que la meilleure amélioration a été attribuée aux indicateurs affectant directement la santé humaine.

La particularité de nos références est qu'elles sont propres à chaque type d'impact considéré et inhérentes aux spécificités des bâtiments, c'est-à-dire qu'elles ne sont jamais les mêmes pour les indicateurs de nos trois variantes, elles ne sont pas fixes, cela permet d'offrir une fluidité à notre méthode et permet à l'évaluateur de modéliser ses références à la nature de ses cas d'études.

D'autre part, l'application de notre méthode se fera dans un contexte bien défini spatialement, fonctionnellement et temporellement, ce qui nécessite de se référer à la dimension temporelle en choisissant une période d'étude, à la dimension spatiale en intégrant la surface bâtie du bâtiment et à la dimension fonctionnelle en introduisant le nombre d'utilisateurs de ce dernier, objet de l'évaluation, et cela dans chaque calcul d'indicateur. Ainsi chaque valeur d'indicateur sera normalisée par :

1. Une référence liée à la nature de l'indicateur avec une amélioration qui varie entre 30% et 45% ;
2. Le nombre d'utilisateurs occupant le bâtiment à évaluer ;
3. La surface du bâtiment et ;
4. La période d'étude choisie (100 ans pour notre méthode).

I.1.2 Méthode d'agrégation choisie

Les indicateurs que nous avons choisis nécessitent une agrégation de leurs critères pour pouvoir aboutir à une note unique par indicateur, c'est pourquoi nous présentons dans ce qui suit les méthodes les plus utilisées dans l'agrégation des critères afin de pouvoir choisir judicieusement celle qui correspond au mieux à notre méthode et à nos attentes.

Cependant, et afin de pouvoir choisir judicieusement une méthode d'agrégation, il est impératif d'exhiber un panorama des méthodes d'agrégation utilisées dans une analyse multicritère, la plupart de ces méthodes appartiennent à l'une ou l'autre des approches suivantes (Roy, 1985, Hammami, 2003, Perez et al, 2016) :

- ❑ L'approche du critère unique de synthèse évacuant l'incomparabilité : dans ce cas, l'évaluateur peut porter un jugement sur différentes paires d'actions {a, b} et ce selon un des cas suivants : soit « a » est préférée à « b », soit « b » est préférée à « a », soit le décideur est indifférent entre « a » et « b ». Il n'y a donc pas d'incomparabilité entre deux

actions. Elles nécessitent, en outre, une compensation totale des critères entre eux ainsi qu'une synthétisation totale de ces derniers.

- ❑ L'approche du surclassement de synthèse : dans ce type d'approche, le décideur peut aboutir à l'incomparabilité entre actions dont certaines peuvent être caractérisées par des structures de préférence forte, faible, indifférence, incomparabilité. Elles permettent la comparaison par paires sans compensation, elles sont plus complexes que les méthodes précédentes mais elles se caractérisent par la richesse de leurs résultats.
- ❑ L'approche du jugement local interactif : Ce dernier type d'approches permet une interaction continue entre l'homme d'étude et le décideur tout au long du processus d'aide à la décision. Elles sont largement utilisées dans le cas des décisions non structurées où l'intervention du décideur est primordiale.

L'approche qui correspond le plus à notre problématique est *l'approche du critère unique de synthèse*, qui va nous permettre d'aboutir à un indicateur calculable par le biais d'une formule mathématique dont le résultat donnera une valeur unique en incluant les différentes données liés aux impacts considérés.

Il existe plusieurs méthodes appartenant à cette approche, nous allons dans le tableau suivant (Tab.46) comparer leurs avantages, inconvénients et leur principe de calcul afin de choisir celle qui présente le moins d'inconvénient et la plus compatible à notre méthode.

Tab.46: Comparaison des méthodes appartenant à l'approche du critère unique de synthèse

Méthode	Idée fondamentale	Points forts	Points faibles
TOPSI: Technique for Order by Similarity to Ideal Solution (Hwang et Yoon, 1981)	choisir la meilleure solution en la comparant au mieux à une situation idéale et de s'éloigner le plus possible de la pire situation.	Facilité d'application Permet l'introduction des notions d'idéal et d'anti-idéal	Ses attributs doivent être de nature cardinale Choix de la mauvaise solution parmi celles qui se présentent
SMART : Simple Multi-Attribute Rating Technique (Edwards, 1971)	Agréger les différents critères en se basant sur la forme additive	Facilité d'application	Évaluation sur une échelle unique Préférences connues à l'avance
MAVT : Multiple Attribute Value Theory (Keeney et Raifa, 1976)	attribuer des valeurs partielles pour chaque attribut, la meilleure action aura un 1, et la pire action aura un 0,	Grande utilisation dans les problèmes d'aide à la décision, économie et finance	Exigence de point de vue informationnel. Articulation d'avance des préférences évaluation des actions sur une échelle cardinale.
MAUT : Multiple Attribute Utility Theory (Keeney et Raifa, 1976)	attribuer des valeurs partielles pour chaque attribut, la meilleure action aura un 1, et la pire action aura un 0,	Grande utilisation dans les problèmes d'aide à la décision, économie et finance	Champ d'intervention marqué par une incertitude caractérisant les évaluations des actions, Exigence de point de vue informationnel.

			Articulation d'avance des préférences évaluation des actions sur une échelle cardinale
UTA : Utility Theory Additive (Jacquet-Lagreze et Siskos, 1982)	programmation linéaire pour chaque critère, accompagnée éventuellement d'une analyse de sensibilité aboutissant à une fonction unique	résoudre le problème de la stabilité du codage estimé	Articulation des préférences à priori Évaluation des données sur une échelle cardinale
AHP : Analytic Hierarchy Process (Saaty 1980)	hiérarchiser le problème, à l'analyser en plusieurs éléments suscitant ainsi un caractère interrelationnel entre ces derniers, elle procède après à une comparaison par paires entre ces éléments.	Largement utilisée Echelle hiérarchique dans l'analyse d'un problème de décision	-
EVAMIX : EVALuation of MIXed data (Voogd 1983)	évaluer les indicateurs selon deux types d'évaluations ; ordinale et cardinale, par des indices de dominance qui seront ensuite normalisés et additionnés par la somme pondérée, enfin un calcul du score global de chaque indicateur permettra de classer ses derniers.	Traitement d'évaluation binaire (ordinal et cardinal) Facilité d'application	Articulation à priori des préférences

La méthode AHP, semble à priori la plus congrue à notre méthode, toutes fois, il s'avère important de l'étudier de manière plus détaillée en étudiant les différentes étapes sur lesquelles elle se base, afin de fixer notre choix définitivement.

I.1.3 La méthode AHP : Analytic Hierarchy Process (Saaty 1980)

I.1.3.1 Principales étapes de la méthode

□ **Étape 1 :** hiérarchiser le problème en plusieurs éléments en respectant le seuil d'importance de chacun, ainsi, les éléments les plus importants seront situés au niveau supérieur, il s'agira des objectifs, ensuite, viendront les éléments intervenant dans la concrétisation des objectifs, et enfin les actions qui se situeront dans le niveau inférieur (Fig.89).

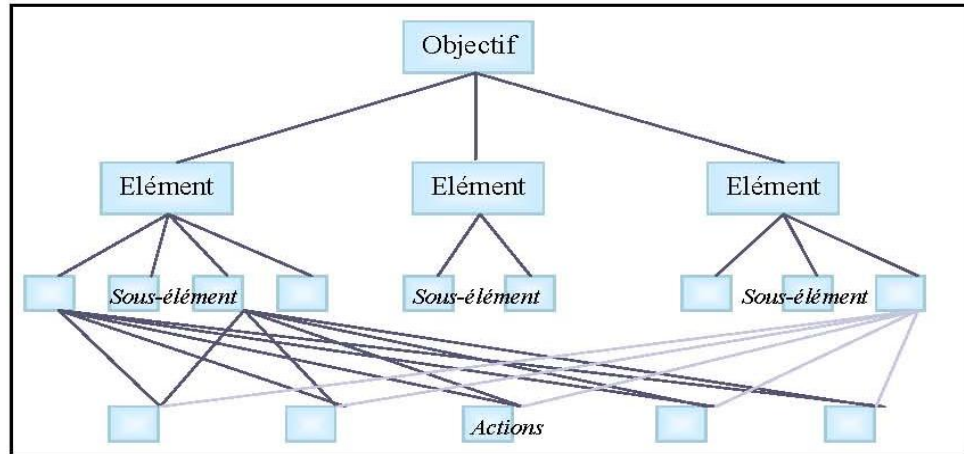


Fig.89 : Structure hiérarchique d'un problème selon la méthode AHP (source : Hammami, 2003)

❑ **Étape 2 :** comparer les éléments du problème par paires déterminant ainsi le seuil d'importance de chaque critère par rapport à l'autre, on signale que la procédure d'importance se fait entre les éléments de chaque niveau hiérarchique par rapport à un niveau supérieur tout en respectant l'échelle de comparaison binaire de Saaty (Tab. 47) ainsi que le principe de réciprocité suivant :

$$P_c(E_A, E_B) = \frac{1}{P_c(E_B, E_A)}$$

Tab. 47 : Échelle d'importance entre indicateurs (source : Saaty, 1977)

Intensité de l'importance	Définition	Explication
1	Importance égale	Les deux indicateurs contribuent identiquement à l'objectif
3	Faible importance de l'un sur l'autre	L'expérience et le jugement favorisent légèrement un indicateur sur l'autre
5	Importance essentielle ou forte	L'expérience et le jugement favorisent fortement un indicateur sur l'autre
7	Importance démontrée	Un indicateur est fortement favorisé et sa prépondérance est démontrée
9	Importance absolue	Il est évident qu'un indicateur doit être favorisé au maximum
2,4, 6, 8	Valeurs intermédiaires entre deux jugements adjacents quand un compromis est nécessaire	

❑ **Étape 3 :** déterminer le poids de chaque critère en calculant les vecteurs des coefficients de pondération correspondant aux valeurs maximales des matrices résultantes des comparaisons par paires citées plus haut.

❑ **Étape 4 :** vérifier la cohérence des jugements comme suit :

Calculer l'indice de cohérence (IC) :

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \text{Où : } \lambda_{\max} \text{ est la valeur propre maximale correspondant à la matrice des comparaisons par paires et } n \text{ est le nombre d'éléments comparés.}$$

Calculer le ratio de cohérence (RC) :

$$RC=100.\frac{IC}{ACI}$$

Où *ACI* est l'indice de cohérence moyen obtenu en générant aléatoirement des matrices de jugement de même taille. La valeur de *ACI* est donnée dans le tableau suivant (Tab. 48) :

Tab. 48 : Indice de cohérence moyen (source : Hammami, 2003)

Dimension de la matrice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cohérence aléatoire (ACI)	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

La valeur de RC reste acceptable si elle est inférieure à 10%, sinon, la chaîne des comparaisons doit être une seconde fois appliquée afin de réduire les incohérences.

❑ **Étape 5** : déterminer la valeur de performance de chaque action selon la formule suivante :

$$P_k(e_i^k) = \sum_{j=1}^{n_{k-1}} P_{k-1}(e_j^{k-1}) \cdot P_k(e_i^k / e_j^{k-1}), \quad \text{avec} \quad \sum_{j=1}^{n_k} P_k(e_j^k) = 1$$

n_{k-1} est le nombre d'éléments du niveau hiérarchique k-1

$P_k(e_i^k)$ est la priorité accordée à l'élément e_i au niveau hiérarchique k

1.1.3.3 Les points forts et faibles de la méthode

La méthode AHP se distingue par son échelle hiérarchique dans l'analyse d'un problème de décision, elle est cependant largement utilisée.

Néanmoins, elle a fait l'objet de plusieurs critiques qu'on peut trouver dans la littérature suivante : (Belton et Gear 1983; Belton et Gear 1985; Dyer et Wendel 1985; Dyer 1990; Hajkowicz et Prato 1998; Dodgson et al. 2005) citée par (Al-Harbi 2001; Molines 2003; Moffett et al. 2005 ; Cherqui, 2005), il s'agit des critiques suivantes :

- ❑ La pondération ne varie pas selon l'échelle de variation, elle en est totalement indépendante, ce qui permet aux critères n'ayant pas le même poids d'avoir la valeur de pondération.
- ❑ L'ordre des indicateurs peut être renversé par l'ajout ou la suppression de l'un de ces derniers. Dans le même contexte Hammami (Hammami, 2003), a signalé d'autres critiques liées à cette méthode en l'occurrence :
- ❑ Le nombre de comparaison par paires peut être facilement grandement maximisé s'il y a un grand nombre d'éléments dans le problème de décision, ce qui peut engendrer une certaine confusion;
- ❑ L'association d'une échelle numérique à l'échelle sémantique est restrictive et introduit des biais.

Néanmoins, Harker et Vargas (Harker et Vargas, 1987) et Perez (Perez, 1995) ont confirmé l'invalidité de ces critiques par le biais d'un travail théorique.

A partir de tout ce qui précède, nous pouvons déterminer un choix final sur la méthode la plus adéquate à notre problématique ainsi qu'à notre démarche, il s'agit en l'occurrence de la méthode AHP : Analytic Hierarchy Process (Saaty, 1980), et cela pour sa facilité d'application, sa pertinence, et surtout, elle est la seule méthode permettant la comparaison entre indicateurs aboutissant à un choix judicieux répondant ainsi aux objectifs du décideur.

Il existe par ailleurs d'autres méthodes afférentes aux autres approches, leur étude exhaustive dépasse le cadre de notre recherche, nous nous contentons donc de les citer dans les paragraphes suivants, elles ont, par ailleurs fait l'objet d'une étude exhaustive, de même pour toutes les autres méthodes appartenant à l'approche du critère unique de synthèse, par Hammami (Hammami, 2003) :

❑ **Les méthodes de l'approche de sur classement de synthèse**

- Les méthodes PROMETHEE (Brans et Vincke, 1985) ;
- La méthode Electre I (Roy 1968) ;
- La méthode Electre II (Roy et Bertier, 1971) ;
- La méthode Electre III (Roy 1978) ;
- La méthode Electre Is (Roy et Skalka 1985) ;
- La méthode Electre IV (Roy et Hugonnard, 1982) .

❑ **Les méthodes interactives**

- La méthode STEM (Benayoun et *al.*, 1971) ;
- La méthode de Geoffrion, Dyer et Freinberg (Geoffrion et *al.*, 1972) ;
- La méthode du point de mire (Roy, 1976) ;
- La méthode de Zionts et Wallenius (Zionts et Wallenius, 1976) ;
- La méthode de Vincke (Vincke, 1976) ;
- La méthode du point de référence (Wierzbicki, 1980) ;
- La méthode de Steuer et Choo (Steuer et Choo, 1983) ;
- La méthode de Korhonen et Laakso (Korhonen et Laakos, 1986) ;
- La méthode de Jacquet-Lagrèze, Meziani et Slowinski (Jacquet-Lagreze et al. 1987) ;
- La méthode de Vanderpooten (Vanderpooten, 1988).

Dans ce contexte de cette approche, Krajnc et Glavic (Krajnc et Glavic, 2004) proposent un "*index de développement durable composite*" qu'on peut appliquer dans notre méthode vu ses points de correspondance avec cette dernière, le calcul de cet index passe par les étapes suivantes :

- ❑ **Normaliser les indicateurs** : la normalisation des indicateurs permet à ces derniers de les comparer, elle permet surtout la possibilité d'incorporer différents types d'indicateurs avec différentes unités de mesures, ainsi afin d'exprimer les indicateurs en I_{CSD} (*index de développement durable composite*) ou (*composite sustainable development index*), il est nécessaire d'appliquer les équations suivantes (Krajnc et Glavic, 2004) :

$$I_{N,jit}^+ = (I_{A,ji}^+ - I_{min,ji}^+) / (I_{max,ji}^+ - I_{min,ji}^+)$$

$$I_{N,jit}^- = 1 - (I_{A,ji}^- - I_{min,ji}^-) / (I_{max,ji}^- - I_{min,ji}^-)$$

Où : $I_{N,jit}^+$ est l'indicateur normalisé i du type (more is better) pour le groupe d'indicateur j pour l'échelle temporelle (année) t.

$I_{N,jit}^-$ est l'indicateur normalisé i du type (less is better) pour le groupe d'indicateur j pour la même échelle temporelle (année) t.

- ❑ **Calcul des sous index** : le calcul des sous index se réalise par l'équation suivante :

$$I_{s,jt} = \sum_{jit}^n W_{ji} I_{N,jit}^+ + \sum_{jit}^n W_{ji} I_{N,jit}^- \text{ with } (\sum_{jit}^n W_{ji} = 1, W_{ji} \geq 0)$$

Où : $I_{s,jt}$ est le sous index durable pour un groupe d'indicateurs j pour l'échelle temporelle (année) t.

W_{ji} est le poids de l'indicateur i pour le groupe des indicateurs durables j et reflète l'importance de cet indicateur dans l'évaluation du développement durable.

- ❑ **Combinaison des sous index en un index de développement durable composite** :

La dernière étape réside en la combinaison des sous index durables en index de développement durable composite (I_{CSD}), ce dernier est le meilleur résultat car il assure la simplicité et la quantification des valeurs des groupes d'indicateurs durables, et cela selon l'équation suivante :

$$I_{CSD,t} = \sum_{jt}^n W_j I_{N,jt}$$

Où : W_j est le coefficient de pondération du groupe d'indicateurs durables j

Nous retenons finalement cette formule pour le calcul de nos indicateurs.

Dans le contexte de l'évaluation des impacts environnementaux du bâtiment touristique, les indicateurs sont évalués d'après les flux élémentaires, les quantités de substances produites ou prélevées dans l'environnement ; nous considérons la formule en question comme suit :

$$I_j = \sum_i^n [w_i * c_i]$$

Où : w_i est le coefficient de pondération du critère c_i pour l'indicateur I_j correspondant à l'impact j.

Par ailleurs, l'équation retenue de l'index composite de Krajnc et Glavic (Krajnc et Glavic, 2004) de la méthode d'agrégation AHP et intégrée dans les formules que nous avons élaborées a fait

l'objet d'inspiration ou d'intégration dans différentes méthodes d'évaluation à différentes échelles et pour différents contextes, nous citons (Cherqui, 2005; Jolliet et al, 2010 ; Boukherroub et al, 2012), nous trouvons également un principe de calcul qui s'approche de l'index composite dans la bibliographie de (Heijungs, 1992 et Peuportier, 2003), toutes ces études nous ont aidé à développer notre propre formule de base qui se distingue par une normalisation qui considère à la fois l'échelle spatiale, l'échelle temporelle et même l'échelle fonctionnelle, et également par des valeurs de références, puisées directement du même contexte d'étude et basées sur d'autres équations élaborées et adaptées à la nature de chaque indicateur, en effet, nous avons proposé des ratios relatifs à la nature des indicateurs et à des valeurs moyennes de consommation, de production ou d'émission d'impacts d'un bâtiment référence (BBC pour nos cas d'étude) calculées par le logiciel EQUER. Ainsi l'évaluateur aura plus de simplicité à trouver ses valeurs de références en les calculant à partir des formules suivantes selon la nature des indicateurs (Equation.1, Equation.2 et Equation.3):

Equation.1 : Formule basique de calcul des valeurs de référence des indicateurs d'épuisement des ressources, de consommation de l'énergie et de la consommation de l'eau.

$$V_R = \sum_i^n 45\%(c_i) * w_i / [N_{usagers} * P_{étude} * S_{bâtie}]$$

Equation.2 : Formule basique de calcul des valeurs de référence des indicateurs d'acidification, d'eutrophisation, d'écotoxicité et de déchets inertes.

$$V_R = \sum_i^n 40\%(c_i) * w_i / [N_{usagers} * P_{étude} * S_{bâtie}]$$

Equation.3 : Formule basique de calcul des valeurs de référence des indicateurs de toxicité humaine, du smog, des odeurs, de l'effet de serre et des déchets radioactifs.

$$V_R = \sum_i^n 30\%(c_i) * w_i / [N_{usagers} * P_{étude} * S_{bâtie}]$$

Nous rappelons que la différence des ratios retenus, dépend de la nature de chaque indicateur et de ses effets intermédiaires et finaux, sur la base de ces effets, étudié précédemment, nous avons réparti les indicateurs associés aux impacts qui affectent le plus et directement la santé humaine, auxquels, nous avons attribué le ratio correspondant à la meilleure amélioration de 30%, ceux qui l'affectent moins, auxquels nous avons attribué un ratio de 40% et ceux qui ne l'affectent pas directement et auxquels nous avons attribué un ratio de 45%.

D'autre part, ces ratios permettront de se situer dans le contexte de la normalisation axiologique en évitant à la référence de dépasser 1.

Pour les indicateurs de confort, bien qu'elle se base sur les mêmes étapes de normalisation, la méthode de calcul est différente, cette dernière se base sur des valeurs puisées de la campagne de mesures et d'enquête, nous expliquant la méthode de calcul de chaque indicateur de confort dans la section suivante.

Nous signalons enfin, que les valeurs de référence calculées seront données dans le chapitre suivant.

De manière générale et en considérant la normalisation que nous avons retenu précédemment liée à l'échelle spatiale, temporelle et aux nombre d'utilisateurs. L'indicateur final normalisé sera formulé comme suit selon la nature de chaque indicateur (Equation.4, Equation.5 et Equation.6) :

Equation.4 : Formule basique de calcul des indicateurs normalisés d'épuisement des ressources, de la consommation de l'énergie et de la consommation de l'eau.

$$I_{jn} = \left[\sum_i^n 45\% (C_{iR}) \times w_i / [N_{usagersR} \times P_{étudeR} \times S_{bâtieR}] \right] / \left[\sum_i^n (w_i \times C_i) \times 1 / [N_{usagers} \times P_{étude} \times S_{SHON}] \right]$$

Equation.5 : Formule basique de calcul des indicateurs normalisés d'acidification, d'eutrophisation, d'écotoxicité et des déchets inertes.

$$I_{jn} = \left[\sum_i^n 40\% (E_{iR}) \times w_i / [N_{usagersR} \times P_{étudeR} \times S_{bâtieR}] \right] / \left[\sum_i^n (w_i \times C_i) \times 1 / [N_{usagers} \times P_{étude} \times S_{SHON}] \right]$$

Equation.6 : Formule basique de calcul des indicateurs normalisés de la toxicité humaine, du smog, des odeurs, de l'effet de serre et des déchets radioactifs.

$$I_{jn} = \left[\sum_i^n 30\% (E_{iR}) \times w_i / [N_{usagersR} \times P_{étudeR} \times S_{bâtieR}] \right] / \left[\sum_i^n (w_i \times C_i) \times 1 / [N_{usagers} \times P_{étude} \times S_{SHON}] \right]$$

avec :

I_{jn} est l'indicateur normalisé

w_i est le coefficient de pondération du critère de la variante de référence C_{iR} et du critère C_i de la variante considérée pour le calcul de l'indicateur I_j correspondant à l'impact j

C_{iR} : consommation de la ressource de la référence

E_{iR} : émission de la substance ou gaz impliqué dans la génération de l'impact de la référence

P_{iR} : production des déchets de la référence

$N_{usagersR}$: est le nombre d'utilisateurs du bâtiment de référence

$P_{étudeR}$ est la période d'étude choisie de référence

$S_{SHON R}$ est la surface estimée du SHON du bâtiment de référence

$N_{usagers}$ est le nombre d'utilisateurs du bâtiment

$P_{\text{étude}}$ est la période d'étude choisie

S_{SHON} est la surface estimée du SHON

I.2 LES SPECIFICITES INTRINSEQUES A NOTRE METHODE :

Nous avons synthétisé ci-dessous les critères propres à notre méthode qui la différencient des autres méthodes existantes :

- Notre méthode se caractérise par une simplicité et une facilité d'utilisation, et sans oublier une grande lisibilité évitant toute ambiguïté même dans l'agrégation des critères ;
- Une autre particularité de notre méthode est sa grande fluidité, en effet, cette dernière n'est pas seulement applicable concrètement sur d'autres types de bâtiments, mais elle permet également à l'évaluateur d'intervenir au niveau de la pondération des indicateurs en modifiant les ratios selon les besoins et les spécificités de l'objet de l'étude, de réajuster la surface habitable afin qu'elle soit compatible avec l'échelle d'intervention et le mode d'application de la méthode, il pourra par ailleurs intégrer d'autres aspects qui n'ont pas été considérés par cette dernière sous forme d'indicateurs ou de critères d'indicateurs ;
- Une autre qualité qui distingue notre méthode et qui la différencie des autres méthodes se basant sur la méthode AHP, est la considération de la surface du bâtiment (SHON) dans chaque formule, cette surface est calculée par EQUER, ce qui permet de normaliser d'une part les indicateurs et d'autre part les indicateurs de référence qui dépendront ainsi de la surface et le nombre d'usagers dans chaque bâtiment (la période d'étude est similaire pour tous les bâtiments). L'intégration de ces deux paramètres rend notre méthode plus concluante étant donné leur influence sur le seuil de confort d'une part et sur l'amplification de certains impacts d'autre part ;
- Une autre caractéristique propre à notre méthode est qu'elle intègre à la fois les aspects quantifiables et qualitatifs liés à la qualité de différents types de confort. Ainsi, le bâtiment est objectivement considéré tant par sa dimension technique liée à sa structure, ses matériaux, son enveloppe, que par sa dimension spatiale qui revête le comportement des usagers et la qualité de confort qui leur est nécessaire ;
- A la différence des autres méthodes, la phase d'utilisation est en outre grandement considérée, non pas uniquement via des scénarios de fonctionnement mais également par une campagne de mesures in situ et une enquête auprès des usagers ;
- Aucun indicateur n'a été calculé de manière subjective y compris ceux liés aux types de confort, étant donné que ces derniers sont issus à la fois de la campagne d'enquête et de mesures ;

- La fluidité de notre méthode lui permet d'être applicable sur des bâtiments existants ou pas encore, pour les premiers l'évaluateur n'aura qu'appliquer notre méthode telle qu'elle se présente en se basant sur des simulations, des enquêtes et des mesures, or pour les seconds, les paramètres afférents à ces dernières (enquête et mesures) peuvent être déduites à partir des simulations via des logiciels ;
- Les formules mathématiques développées pour le calcul des indicateurs ne sont pas complexe, elles sont simples, utilisables et peuvent être intégrées dans un logiciel pour un meilleur gain de temps pour l'évaluateur ;
- Rappelons finalement une autre qualité inhérente à notre méthode liée aux valeurs de référence qui permettent la normalisation des indicateurs, en effet, l'évaluateur n'aura pas de difficultés à chercher ces valeurs, puisque ces dernières sont calculées à partir de formules que nous avons proposées et dont les données sont puisées directement de son cas d'étude référentiel en lui appliquant les ratios propres à chaque type d'indicateur ;

III. TRAITEMENT DES INDICATEURS

Après avoir étudié les différentes méthodes de normalisation et d'agrégation des critères et choisi la nôtre, nous nous focalisons dans cette section sur le traitement des différents indicateurs que nous avons choisis au préalable, il s'agit, nous le rappelons, des indicateurs associés aux thèmes suivants :

- Ressources ;
- Environnement : qui se divise en trois sous thèmes ; les indicateurs de potentiel, les indicateurs de volume critique et les indicateurs de génération des déchets ;
- Confort.

II.1 PREMIER THEME : RESSOURCES

Ce premier thème concerne différents indicateurs liés aux ressources suivantes : les ressources abiotiques non renouvelables, l'énergie et l'eau ; il s'agira donc dans notre travail d'associer pour chaque ressource un indicateur de consommation ou d'épuisement.

II.1.1 Épuisement des ressources

L'indicateur d'épuisement des ressources est calculé à partir de l'addition des quantités des matières premières utilisées dans la construction du bâtiment divisées par les réserves de ces matières.

Nous pouvons calculer cet indicateur pour une ressource de référence (antimoine dont l'indice de rareté est de 1 par convention, ses réserves sont estimées à 4.5 millions de tonne), ou bien une autre ressource ; ainsi si nous obtenons une valeur supérieur à 1, cela veut dire que cette ressource est plus rare que l'antimoine, par contre, si nous aurons des valeurs faibles (inférieur à 0.001), cela nous laissera dire que cette ressource est non épuisable à l'échelle humaine, ainsi, plus l'indicateur est grand, plus le bâtiment épuise les ressources. Cet indicateur s'exprime en kg antimoine (sb) équivalent. Le tableau suivant (Tab. 49) récapitule les quantités des ressources abiotiques et leurs réserves:

Tab. 49 : Ressources abiotiques épuisables et leurs réserves (source : Peuportier 2003)

Formule	Substance	Réserve	Unité	Années
Ressources énergétiques				
-	Pétrole brut	123559	Mégatonne	75
-	Gaz naturel	109326	10 ⁹ m ³	66
U	Uranium	1676820	Tonne	48
U	Uranium	13410000		383
Métaux				
Cd	Cadmium	0.535	Mégatonne	60
Cu	Cuivre	350	Mégatonne	55
Hg	Mercure	0.0057	Mégatonne	92
Ni	Nickel	54	Mégatonne	120
Pb	Plomb	75	Mégatonne	45
Sn	Etain	4.26	Mégatonne	56

Nous présentons dans ce qui suit trois possibilités pour le calcul de cet indicateur, qui considèrent soit les réserves, soit le nombre d'années correspondant à ces réserves, soit considérer les deux aspects ensemble, la considération de ces aspects a été proposée par (Heijungs, 1992) , ainsi, en intégrant ces aspects dans nos formules, l'indicateur d'épuisement des ressources, pour la première possibilité, sera calculé comme suit (Equation.7) :

Equation.7 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé de consommation des ressources abiotiques épuisables (1^{ère} possibilité).

$$I_{\text{épuisement des ressources}} = \frac{\left[\sum_i^n 45\% (C_{\text{ress utilisées BBC}}) \times CI_{\text{rareté}} \right] / \left[N_{\text{usagers BBC}} \times P_{\text{étude BBC}} \times S_{\text{bâtie BBC}} \right]}{\left[\sum_i^n [(C_{\text{ress utilisées}} \times CI_{\text{rareté}}) / \text{réserves}] \right] * [1 / N_{\text{usagers}} \times P_{\text{étude}} \times S_{\text{SHON}}]}$$

Avec :

I_{épuisement des ressources} : l'indicateur normalisé d'épuisement des ressources.

C_{ress utilisées BBC} : la consommation des ressources par le BBC durant tout son cycle de vie.

réserves : les réserves des ressources considérées.

C_{ress utilisées} : la consommation des ressources par le bâtiment tout au long de son cycle de vie.

CI_{rareté} : le coefficient correspondant à l'indice de rareté des ressources.

La deuxième possibilité consiste à diviser chaque quantité de matière par le nombre d'années correspondant à leurs réserves tel qu'il est montré dans le tableau ci-dessus, ainsi l'indicateur normalisé sera comme suit (Equation.8) :

Equation.8 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé de consommation des ressources abiotiques épuisables (2^{ème} possibilité).

$$I_{\text{épuis ressources}} = \frac{\left[\sum_i^n 45\% (C_{\text{ress utilisées BBC}}) \times CI_{\text{rareté}} / [N_{\text{usagers BBC}} \times P_{\text{étude BBC}} \times S_{\text{bâtie BBC}}] \right]}{N_{\text{années réser}}} \times \left[\frac{1}{N_{\text{usagers}} \times P_{\text{étude}} \times S_{\text{SHON}}} \right]$$

Une dernière méthode consiste à faire diviser chaque quantité de matière à la fois par leurs réserves et par le nombre d'années correspondant à ces dernières, de cela l'indicateur normalisé sera calculé comme suit (Equation.9) :

Equation.9 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé de consommation des ressources abiotiques épuisables (3^{ème} possibilité).

$$I_{\text{épuis ressources}} = \frac{\left[\sum_i^n 45\% (C_{\text{ress utilisées BBC}}) \times CI_{\text{rareté}} / [N_{\text{usagers BBC}} \times P_{\text{étude BBC}} \times S_{\text{bâtie BBC}}] \right]}{\text{réserves} \times N_{\text{années réser}}} \times \left[\frac{1}{N_{\text{usagers}} \times P_{\text{étude}} \times S_{\text{SHON}}} \right]$$

Nous signalons que nous retenons la première méthode afin de simplifier à l'évaluateur l'acquisition des données pour le calcul de l'indicateur.

II.1.2 Consommation de l'énergie

Cet indicateur concerne la consommation énergétique tout au long du cycle de vie du bâtiment, cette énergie sera comptabilisée sous forme d'énergie primaire intégrant ainsi différents types d'énergie consommée (électricité, chaleur) ce qui permet d'additionner sur une base homogène une diversité d'énergie issue de différents combustibles aboutissant à une unité unique qui est l'énergie primaire (MJ), cela nécessite de remonter aux phases amonts d'extraction de combustibles (charbon, gaz, pétrole...) (Peuportier, 2003).

On signale dans ce contexte qu'un Kg de combustible est équivalent à une quantité d'énergie primaire, le tableau suivant récapitule les quantités en question (Tab. 50) :

Tab. 50 : Équivalence entre énergie consommée et énergie primaire (source : Peuportier, 2003)

Ressources	Unité	PCI ²⁸ (MJ/Unité)	PCS ²⁹ (MJ/Unité)
Gaz de pétrole	Nm ³	40,9	45
Gaz naturel	Nm ³	35	39
Gaz de mine	Kg	35,9	39,8
Pétrole brut	t	42600	45600
Lignite	Kg	8	9,5
Charbon dur	Kg	18	19
Uranium naturel (contenue de l'hexafluorure)	Kg	460000	900000
Energie potentielle de l'eau	TJ	1000000	1000000
Bois dans forêt (sec)	t	18500	20300

Ces équivalences sont issues de la base de données de Oekoinventare (Frischknecht et al, 1995) En faisant référence à l'équation afférente à « l'*index de développement durable composite* » présentée dans la section précédente, l'indicateur de la consommation de l'énergie sera normalisé comme suit (Equation.10):

Equation.10 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé de consommation énergétique primaire.

$$I_{\text{énergie}} = \left[\sum_i^n 45\% (C_{\text{énergie consommée BBC}}) \times PCS_j / [N_{\text{usagersBBC}} \times P_{\text{étudeBBC}} \times S_{\text{bâtimentBBC}}] \right] / \left[\sum_i^n (C_{\text{énergie consommée } j} \times PCS_j) \times 1 / [N_{\text{usagers}} \times P_{\text{étude}} \times S_{\text{SHON}}] \right]$$

avec :

I_{énergie} : l'indicateur normalisé de l'énergie.

C_{énergie consommée BBC} : consommation totale de l'énergie par le BBC tout au long de son cycle de vie (kwh)

PCS_j : le pouvoir calorifique supérieur

C_{énergie consommée} : la consommation totale d'énergie (i) tout au long du cycle de vie du bâtiment (kwh).

N_{usagers} : le nombre d'usagers du bâtiment (personnes).

P_{étude} : la période d'étude choisie (années).

S_{SHON} : la surface estimée du SHON du bâtiment (m²).

²⁸ le pouvoir calorifique inférieur

²⁹ le pouvoir calorifique supérieur

II.1.3 La consommation de l'eau

L'eau est également considérée comme une ressource abiotique en phase d'épuisement à des degrés différents dans de nombreux pays, le calcul de cet indicateur se basera sur la consommation de l'eau tout au long du cycle de vie du bâtiment, il indiquera ainsi les consommations des usagers ainsi que la performance des systèmes de distribution. Il sera calculé comme suit (Equation.11):

Equation.11 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé de consommation d'eau

$$I_{\text{eau}} = \frac{45\% (C_{\text{totale eau BBC}}) / [N_{\text{usagersBBC}} \times P_{\text{étudeBBC}} \times S_{\text{bâtieBBC}}]}{[(C_{\text{totale eau}}) \times [1/N_{\text{usagers}} \times P_{\text{étude}} \times S_{\text{SHON}}]]}$$

Avec :

I_{eau} : l'indicateur normalisé de consommation d'eau.

$C_{\text{totale eau BBC}}$: la consommation totale en eau du BBC durant tout son cycle de vie (m³)

$C_{\text{totale eau}}$: la consommation totale en eau durant le cycle de vie du bâtiment (m³).

II.2 DEUXIEME THEME : ENVIRONNEMENT

Les indicateurs associés à ce thème se répartissent en trois catégories : les indicateurs de potentiel, les indicateurs de volume critique et les indicateurs de génération des déchets, ils correspondent à différents impacts affectant les différents compartiments de l'environnement et ont pour effets la dégradation de l'écosystème, de la biodiversité et de la santé humaine.

Nous signalons, par ailleurs, que les principes et facteurs de classification qui nous ont permis le calcul des indicateurs associés à ce thème ont été définis par Heijungs (Heijungs, 1992)

II.2.1 les indicateurs de potentiel

II.2.1.1 Effet de serre

Cet indicateur, comme nous l'avons indiqué précédemment, vise à réduire l'impact potentiel qui permettra à son tour de réduire le risque de l'impact réel.

Cet indicateur est calculé à partir des gaz émis dans l'atmosphère et contribuant à cet impact, or ces derniers ont des propriétés extrêmement hétérogènes et variées, ils se décomposent dans l'atmosphère à des vitesses très différentes, c'est pourquoi ils dépendent de la durée de l'étude étant donné que leur effet n'est pas le même sur 20ans, 100 ans ou 500 ans, ou même plus ou moins.

Dans le tableau suivant (Tab. 51), nous présentons les différents gaz impliqués dans l'effet de serre ainsi que leurs potentiels appelés GWP, à partir desquels seront effectuées les agrégations dans le

calcul de cet indicateur. Les valeurs des GWP³⁰ sont données sur des échelles de 20 ans, 100 ans et 500 ans.

Tab. 51: Potentiels de réchauffement global des substances impliquées dans l'effet de serre (source : Peuportier, 2003)

Formule	Substance	GWP ₂₀	GWP ₁₀₀	GWP ₅₀₀
CO ₂	Dioxyde de carbone	1	1	1
CH ₄	Méthane	62	24.5	7.5
N ₂ O	Hémioxyde d'azote	290	320	180
CFCl ₃	CFC-11	5000	4000	1400
CF ₂ Cl ₂	CFC-12	7900	8500	4200
CF ₃ Cl	CFC-13	8100	11700	13600
CF ₄	CFC-14	4100	6300	9800
CHF ₂ Cl	HCFC-22	4300	1700	520
C ₂ F ₃ Cl ₃	CFC-113	5000	5000	2300
C ₂ F ₄ Cl ₂	CFC-114	6900	9300	8300
C ₂ F ₅ Cl	CFC-115	6200	9300	13000
C ₂ F ₆	CFC-116	8200	12500	19100
CHCl ₂ CF ₃	HCFC-123	300	93	29
CHFClCF ₃	HCFC-124	1500	480	150
CHF ₂ CF ₃	HFC-125	4800	3200	1100
CHF ₂ CHF ₂	HFC-134	3100	1200	370
CH ₂ FCF ₃	HFC-134a	3300	1300	420
CH ₃ CFCl ₂	HCFC-141b	1800	630	200
CH ₃ CF ₂ Cl	HCFC-142b	4200	2000	630
CHF ₂ CH ₂ F	HFC-143	950	290	90
CH ₃ CF ₃	HFC-143a	5200	4400	1600
CH ₃ CHF ₂	HFC-152a	460	140	44
C ₃ F ₅ HCl ₂	HCFC-225ca	550	170	52
C ₃ F ₅ HCl ₂	HCFC-225cb	1700	530	170
C ₃ HF ₇	HFC-227ea	4500	3300	1100
CHF ₃	HFC-23	9200	12100	9900

L'indicateur de l'effet de serre se calcule comme suit (Equation.12) :

Equation.12 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé d'émission de gaz à effet de serre.

$$I_{\text{effet de serre}} = \frac{[\sum_i^n 30\% (\text{Em}_{\text{substance } j \text{ BBC}}) \times \text{GWP}_{100 \text{ substance } j}]}{[\text{N}_{\text{usagersBBC}} \times \text{P}_{\text{étudeBBC}} \times \text{S}_{\text{bâtieBBC}}]} \times \frac{1}{[\text{N}_{\text{usagers}} \times \text{P}_{\text{étude}} \times \text{SSHON}]}$$

Avec :

I_{effet de serre} : indicateur normalisé d'émission des gaz à effet de serre.

Em_{substance j BBC} : émission de la substance ou gaz j impliqué dans l'effet de serre par le BBC tout au long de son cycle de vie, exprimé en kg

³⁰Global Warming Potential

$E_{m_{substance\ j}}$: émission de la substance ou gaz j impliqué dans l'effet de serre par le bâtiment tout au long de son cycle de vie, exprimé en kg

$GWP_{100\ substance\ j}$: potentiel de réchauffement global de la substance j sur une échelle de 100ans (Global Warning Potential), exprimé en kg.eqco2/kg de substance émise.

Nous signalons que nous considérons dans notre méthodologie une échelle de 100 ans en faisant référence à celle choisie dans le logiciel EQUER que nous allons utiliser ultérieurement dans le calcul des différents indicateurs.

II.2.1.2 Acidification

Cet indicateur se calcule en se basant sur les émissions des substances qui sont à l'origine des pluies acides, chacune de ces substances a une valeur d'indice contribuant à l'acidification appelé *acidification potential* (AP) exprimé en kg.eqso2/kg de substance ; les valeurs de ces indices sont données dans le tableau suivant (Tab. 52), cet indicateur prend comme référence la contribution à l'acidification du SO₂, il est exprimé en Kg équivalentSO₂

Tab. 52: Potentiel d'acidification des différentes substances (source : Peuportier, 2003)

Formule	SUBSTANCE	AP
SO ₂	Dioxyde de soufre	1.0
NO	Monoxyde de l'azote	1.07
NO ₂	Dioxyde d'azote	0.7
Nox	Oxyde d'azote	0.7
NH ₃	Ammoniac	1.88
HCL	Acide chlorhydrique	1.88
HF	Acide fluorhydrique	1.6

Ainsi, l'indicateur d'acidification est donné par la formule suivante (Equation.13) :

Equation.13 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé d'émission de substances entraînant des pluies acides.

$$I_{acidification} = \frac{\left[\sum_i^n 40\% (E_{m_{substance\ j\ BBC}}) \times AP_{substances\ j} / [N_{usagers\ BBC} \times P_{étude\ BBC} \times S_{bâtie\ BBC}] \right]}{\left[\sum_i^n [(E_{m_{substances\ j}} \times AP_{substances\ j}) \times [1 / N_{usagers} \times P_{étude} \times S_{SHON}]] \right]}$$

Avec :

$I_{acidification}$: indicateur normalisé d'acidification.

$E_{m_{substance\ j\ BBC}}$: émission de la substance entraînant des pluies acides j par le BBC tout au long de son cycle de vie, exprimé en kg

$Em_{substances\ j}$: émission de la substance entraînant des pluies acides j par le bâtiment tout au long de son cycle de vie, exprimé en kg.

$AP_{substances\ j}$: le potentiel d'acidification de la substance j exprimé en kg.eqSO₂/kg de substance ou parfois en équivalent H⁺ (1 kg eq. SO₂= 32kg eq.H⁺).

II.2.1.3 Eutrophisation

Le tableau suivant (Tab. 53) récapitule les valeurs des différentes substances responsables de l'eutrophisation, ces dernières sont appelées NP exprimées en kg.eqPO_{4,3}-/kg de substance émise. La substance de référence pour le calcul de cet indicateur est le phosphate (PO₄³⁻), il s'exprime donc en kg équivalent PO₄³⁻.

Tab. 53 : Potentiels d'eutrophisation (source : Peuportier, 2003)

Formule	Substances (émissions dans l'eau)	NP
NO	Monoxyde d'azote	0.2
NO ₂	Dioxyde d'azote	0.13
NO _x	Oxydes d'azote	0.13
NH ₄ ⁺	Ammonium	0.33
N	Azote	0.42
PO ₄ ³⁻	Phosphate	1.0
P	Phosphore	3.06
COD	Demande chimique en oxygène (DCO)	

L'indicateur d'eutrophisation est calculé comme suit (Equation.14) :

Equation.14 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé d'émission de substances conduisant à une eutrophisation excessive.

$$I_{eutrophisation} = \left[\sum_i^n 40\% (Em_{substance\ j\ BBC}) \times NP_{substances\ j\ BBC} / [N_{usagers\ BBC} \times P_{étude\ BBC} \times S_{bâtiment\ BBC}] \right] / \left[\sum_i^n [(Em_{substances\ j} \times NP_{substances\ j}) \times [1 / N_{usagers} \times P_{étude} \times S_{SHON}]] \right]$$

Avec :

$I_{eutrophisation}$: indicateur normalisé d'eutrophisation.

$Em_{substance\ j\ BBC}$: émission du BBC tout au long de son cycle de vie, de la substance j conduisant à une eutrophisation exprimée en kg.

$Em_{substances\ j}$: émission du bâtiment tout au long de son cycle de vie, de la substance j conduisant à une eutrophisation exprimée en kg.

$NP_{substances\ j}$: le potentiel d'eutrophisation de la substance j.

II.2.1.4 Ozone photochimique (smog)

Nous avons étudié précédemment l'impact associé à cet indicateur (chap. 1), beaucoup de substances sont responsables du développement et l'amplification de ce phénomène, ces dernières ainsi que les valeurs de leurs indices sont récapitulées dans le tableau suivant (Tab.54) :

Tab. 54: Valeurs d'indices des substances impliquées dans le smog d'été (source :Peuportier ; Polster, 2004)

SUBSTANCE		PS	
1,1,1-trichloroéthane	0,021	hydrocarbures (moyenne)	0,377
1,2-dichloroéthane	0,021	isopropanol	0,196
alcools	0,196	cétones	0,326
aldéhydes	0,443	méthane	0,007
benzène	0,189	méthyl éthyl kétone	0,473
carprolactam	0,761	méthyl mercaptane	0,377
chlorophénols	0,761	naphtalène	0,761
pétrole brut	0,398	COV hors méthane	0,416
CxHy alcanes	0,398	PAH (hydrocarbures polycycliques aromatiques, moyenne)	0,761
CxHy aliphatiques	0,398	pentane	0,408
CxHx aromatiques	0,761	pétrole	0,398
CxHzCl hydrocarbures halogénés	0,021	phénol	0,761
dichlorométhane	0,01	acide anhydride phtalique	0,7
diethyl éther	0,398	propane	0,42
diphényl	0,761	propène	1,03
éthanol	0,268	styrène	0,761
éthylène	1	terpentine	0,377
éthylène glycol	0,196	tétrachlorométhane	0,021
éthylène oxyde	0,377	toluène	0,563
formaldéhyde	0,421	acétate de vinyle	0,223
hexachlorobiphényl	0,761	chlorure de vinyle	0,021
		COV (composés organiques volatils, moyenne)	0,398

L'indicateur du smog d'été se calcule comme suit (Equation.15) :

Equation.15 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé d'émission de substances de smog d'été.

$$I_{\text{smog d'été}} = \frac{\left[\sum_i^n 30\% \left(\frac{Em_{\text{substance } j \text{ BBC}}}{S_{\text{bâtie BBC}}} \right) \times PS_{\text{substance } j \text{ BBC}} \right]}{\left[\sum_j^n (Em_{\text{substance } j} \times PS_{\text{substance } j}) \times 1 / [N_{\text{usagers}} \times P_{\text{étude}} \times S_{\text{SHON}}] \right]}$$

Avec :

$I_{\text{smog d'été}}$: indicateur normalisé du smog d'été.

$Em_{\text{substance } j \text{ BBC}}$: émission du BBC tout au long de son cycle de vie, de la substance j exprimée en kg

$E_{m_{\text{substance } j}}$: émission du bâtiment tout au long de son cycle de vie, de la substance j exprimée en kg.

$PS_{\text{substance } j}$: le potentiel de smog de la substance j exprimé en $\text{kg.eqC}_2\text{H}_4/\text{kg}$ de substance émise.

La molécule de référence pour le calcul de cet indicateur est le C_2H_4 (Etylhène), il s'exprime donc en kg équivalent C_2H_4 .

II.2.2 Indicateurs de volume critique

II.2.2.1 Écotoxicité

Le calcul de cet indicateur dépend de la concentration des substances pour évaluer les différents impacts qui lui sont associés, il se fait à partir des ECA³¹ qui reflètent les valeurs de substances responsables de la toxicité dans le milieu aquatique, et de ECT³² représentant les valeurs de substances responsables de la toxicité dans le milieu terrestre (Heijungs, 1992) ; ces valeurs sont récapitulées dans le tableau suivant (Tab. 55) :

Tab. 55 : Valeurs de substances responsables de la toxicité dans le milieu aquatique (source : Peuportier, 2003)

Formule métaux	substance	ECA	ECT
As	Arsenic	0.2	3.6
Cd	Cadmium	200	13
Cr	Chrome	1.0	0.42
Co	Cobalt		0.42
Cu	Cuivre	2.0	0.77
Pb	Plomb	2.0	0.43
Hg	Mercure	500	29
Ni	Nickel	0.33	1.7
Zn	Zink	0.38	2.6
Hydrocarbures			
C_6H_6	Benzène	0.029	
$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	Phénol	5.9	5.3
	Pentachlorophénol	5.6	5.9
	PCB-28(polychlorobiphényl)	16	
	PCB-52	430	
	PCB-101	40	
	PCB-118	360	
	PCB-138	71	
	PCB-153	100	
	PCB-180	130	
	Dioxines (eq. TCDD)		1400
	Chloroforme	0.17	
	Pétrole brut	0.05	

³¹Ecotoxicological Classification factor for Aquatic ecosystems

³²Ecotoxicological Classification factor for terrestrial ecosystems

Ainsi, l'équation afférente à l'indicateur de l'écotoxicité dans le milieu aquatique est la suivante (Equation.16):

Equation.16 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé d'impact des émissions de polluants toxiques dans le milieu aquatique.

$$I_{\text{écotoxicité A}} = \frac{\left[\sum_i^n 40\% (Em_{\text{substance A BBC}}) \times ECA_{\text{substances j}} / [N_{\text{usagers BBC}} \times P_{\text{étude BBC}} \times S_{\text{bâtie BBC}}] \right]}{\left[\sum_i^n [Em_{\text{substances A j}} \times ECA_{\text{substances j}}] \times [1 / N_{\text{usagers}} \times P_{\text{étude}} \times S_{\text{SHON}}] \right]}$$

Avec :

I_{écotoxicité A} : l'indicateur normalisé de l'écotoxicité dans le milieu aquatique.

Em_{substance A BBC} : émission du BBC tout au long de son cycle de vie, de la substance j contribuant à l'écotoxicité dans milieu aquatique, exprimé en kg.

Em_{substances A j}:émission du bâtiment tout au long de son cycle de vie, de la substance j contribuant à l'écotoxicité du milieu aquatique, exprimé en kg.

ECA_{substances j} : facteur de classification d'écotoxicité dans le milieu aquatique exprimé en m³ d'eau.

En outre ce même indicateur se calcule dans le milieu terrestre comme suit (Equation.17):

Equation.17 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé d'impact des émissions de polluants toxiques dans le milieu terrestre.

$$I_{\text{écotoxicité T}} = \frac{\left[\sum_i^n 40\% (Em_{\text{substance T BBC}}) \times ECA_{\text{substances j}} / [N_{\text{usagers BBC}} \times P_{\text{étude BBC}} \times S_{\text{bâtie BBC}}] \right]}{\left[\sum_i^n [Em_{\text{substances T j}} \times ECT_{\text{substances j}}] \times [1 / N_{\text{usagers}} \times P_{\text{étude}} \times S_{\text{SHON}}] \right]}$$

Avec :

I_{écotoxicité T} : l'indicateur normalisé de l'écotoxicité dans le milieu terrestre.

Em_{substance T BBC} : émission du BBC tout au long de son cycle de vie, de la substance j contribuant à l'écotoxicité dans le milieu terrestre, exprimé en kg.

Em_{substances T j} : émission du bâtiment tout au long de son cycle de vie, de la substance j contribuant à l'écotoxicité dans le milieu terrestre, exprimé en kg.

ECT_{substances j} : facteur de classification d'écotoxicité pour le milieu terrestre exprimé en kg de sol pollué.

II.2.2.2 Toxicité humaine

À l'inverse de certains indicateurs précédents, l'indicateur de la toxicité humaine se calcule en se basant non pas sur la concentration des substances responsables de cette toxicité mais plutôt sur la dose de ces dernières, « une dose est le rapport entre la masse de polluant inhalé ou ingéré sur une certaine durée et la masse de l'individu, une personne inhale en respirant de l'ordre de 20m³ d'air par jour, et ingère environs deux litres d'eau par jour pour un poids moyen de 70 kg »(Peuportier et Polster, 2004). En outre, les émissions ne peuvent pas être localisées, pour cela, il est à considérer une moyenne planétaire.

Les substances responsables de la toxicité humaine sont très nombreuses (100 substances), certaines de ces dernières sont présentées dans le tableau suivant (Tab. 56).

Tab.56 : Valeurs des indices de certaines substances responsables de la toxicité humaine (source :Peuportier et Polster, 2004)

Formule Métaux	Substance	HCA ³³	HCW ³⁴	HCS ³⁵
As	arsenic	4700	1,4	0,043
Ba	barium	1,7	0,14	0,019
CdCr3+Cr6+	cadmium chrome (III) chrome (VI)	580 6,7 47000	2,9 0,57 4100	7 0,018 130
Co	cobalt	24	2	0,065
Cu	cuiivre	0,24	0,02	0,0052
Fe	fer	0,042	0,0036	
	oxydes de fer	0,067	0,0057	
Hg	mercure	120	4,7	0,15
Mn	manganèse	120		
Mo	molybdène	3,3	0,29	0,7
Ni	nickel	470	0,057	0,014
Pb	plomb	160	0,79	0,025
Sn	étain	0,017	0,0014	0,000045
V	vanadium	120		
Zn	zinc	0,033	0,0029	0,007
NH4+	ammonium	0,02	0,0017	
Br-	bromide	0,033	0,0029	
CO	monoxyde de carbone	0,012		
CN-	cyanure (libre)	0,67	0,057	1,4
	cyanure (lié)	2,6	0,22	5,4
F-	fluorure	0,48	0,041	
H2S	sulfure d'hydrogène	0,78		
NO3 -	azotate	0,0091	0,00078	
NO2 -	azoture	0,26	0,022	
NOx	oxyde d'azote	0,78		
SO ₃ ²⁻	Sulfite	0.038	0.0033	
SO ₂	Dioxyde de soufre	1.2		

³⁴Human toxicological Classification factor for the Air

³⁵Human toxicological Classification factor for Water

³⁶Human toxicological Classification factor for the Soil

L'indicateur de la toxicité humaine est obtenu par le produit de la somme des substances par les indices correspondant, ainsi on obtient l'équation suivante (Equation.18):

Equation.18 : Formule de calcul de l'indicateur d'émission de substances toxiques.

$$I_{\text{toxicité humaine}} = \frac{\left[\sum_j^n 30\% (E_{\text{air}_{\text{subs } j\text{BBC}}} \times HCA_{\text{subs } j} + 30\% (E_{\text{eau}_{\text{subs } j\text{BBC}}} \times HCW_{\text{subs } j} + 30\% (E_{\text{sol}_{\text{subst } j\text{BBC}}} \times HCS_{\text{subst } j} \right) / [N_{\text{usagersBBC}} \times P_{\text{étudeBBC}} \times S_{\text{bâtieBBC}}] \right]}{\left[\sum_j^n [(E_{\text{air}_{\text{subs } j}} \times HCA_{\text{subs } j}) + (E_{\text{eau}_{\text{subs } j}} \times HCW_{\text{subs } j}) + (E_{\text{sol}_{\text{subst } j}} \times HCS_{\text{subst } j})] \times 1 / [N_{\text{usagers}} \times P_{\text{étude}} \times S_{\text{SHON}}] \right]}$$

Avec :

I_{toxicité humaine} : indicateur normalisé de la toxicité humaine.

E_{air_{subs Jbbc}} : émission du BBC dans l'air de la substance j tout au long de son cycle de vie.

HCA_{subs j} : indice de la substance j dans le milieu atmosphérique.

HCA_{subs Jbbc} : émission du BBC dans l'eau de la substance j tout au long de son cycle de vie.

HCW_{subs j} : indice de la substance j dans le milieu aquatique.

E_{sol_{subst Jbbc}} : émission du BBC dans le sol de la substance j tout au long de son cycle de vie.

HCS_{subst j} : indice de la substance j dans le milieu terrestre

E_{air_{subs j}} : émission du bâtiment dans l'air de la substance j tout au long de son cycle de vie.

E_{eau_{subs j}} : émission du bâtiment dans l'eau de la substance j tout au long de son cycle de vie.

E_{sol_{subst j}} : émission du bâtiment dans le sol de la substance j tout au long de son cycle de vie.

Les différentes substances émises dans les trois milieux sont exprimées en kg, alors que les valeurs de leurs indices sont exprimées en kg de chair contaminée à la dose maximale tolérable par kg de substance émise.

II.2.2.3 Odeurs

Chaque odeur afférente à une substance est détectée par un C_s qui est le seuil de détection de chaque odeur, ainsi le volume critique s'obtient en divisant les émissions générant les odeurs par le C_s (Peuportier, 2003)

Le tableau suivant (Tab. 57) récapitule les substances impliquées dans la génération des odeurs, chaque substance est définie par un OTV (Odour Threshold Value in air) qui sont les indices de ces substances correspondant aux C_s

Tab. 57 : Valeurs d'indices des substances impliquées dans la génération des odeurs (source :Peuportier et Polster, 2004)

Formule	Substance	OTV
NH3	ammoniac	1,0
C6H5Cl	chlorobenzène	1,0

CH ₂ Cl ₂	dichlorométhane	640
CS ₂	disulfite de carbone	0,18
C ₂ H ₅ OH	éthanol	0,64
CH ₃ OH	méthanol	73
C ₆ H ₅ OH	phénol	0,039
H ₂ S	sulfite d'hydrogène	0,00043
	2-propan (acétone)	72
C ₂ H ₃ Cl ₃	trichloroéthane	3,9

L'indicateur des odeurs se calcule selon la formule suivante (Equation.19) :

Equation.19 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé d'émission de substances impliquées dans la génération des odeurs.

$$I_{\text{odeurs}} = \frac{\left[\sum_i^n 30\% \left(\frac{Em_{\text{substance } j \text{ BBC}}}{OTV_j} \right) / [N_{\text{usagersBBC}} \times P_{\text{étudeBBC}} \times S_{\text{bâtieBBC}}] \right]}{\left[\sum_j^n (Em_j / OTV_j) \times 1 / [N_{\text{usagers}} \times P_{\text{étude}} \times S_{\text{SHON}}] \right]}$$

Avec :

I_{odeurs} : indicateur normalisé des odeurs.

Em_{substance j BBC} : émission du BBC tout au long de son cycle de vie, de la substance j responsable de la génération des odeurs exprimée en kg.

Em_j : émission du bâtiment tout au long de son cycle de vie de la substance j responsable de la génération des odeurs exprimée en kg.

OTV : valeur d'indice de la substance j exprimée en kg/m³ d'air malodorant.

II.2.3 Indicateurs de génération des déchets

II.2.3.1 Déchets inertes

Il existe différents types de déchets, que nous allons présenter dans le tableau suivant (Tab.58), et à partir desquels sera calculé l'indicateur des déchets inertes; les types en question sont définis par des facteurs d'équivalence qui sont établis en fonction du coût moyen de traitement.

Tab.58 : facteurs d'équivalence par type de déchet (source : Peuportier, 2003)

Type de centre de stockage	Type de déchet	Coûts, marge (moyen) [Euros/tonne]	Tonne équivalente (Classe III)
Classe III	Déchet inerte	3-12 (7,5)	1
Classe II	Déchet industriel banal	30-60 (45)	6
Classe I	Déchet industriel spécial	120-200 (160)	21

Cet indicateur se calcule comme suit (Equation.20):

Equation.20 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé de production des déchets inertes ultime.

$$I_{\text{déchets inertes}} = \frac{\left[\sum_i^n 40\% (P_{\text{déchet } j \text{ BBC}}) \times FE_{\text{déchet } j} / [N_{\text{usagers BBC}} \times P_{\text{étude BBC}} \times S_{\text{bâtie BBC}}] \right]}{\left[\sum_j^n (P_{\text{déchet } j} \times FE_{\text{déchet } j}) \times 1 / [N_{\text{usagers}} \times P_{\text{étude}} \times S_{\text{SHON}}] \right]}$$

Avec :

I_{déchets inertes} : indicateur normalisé des déchets inertes.

P_{déchet j BBC} : le poids du déchet j exprimé en kg produit par le BBC tout au long de son cycle de vie.

P_{déchet j} : le poids du déchet j exprimé en kg produit par le bâtiment tout au long de son cycle de vie.

FE_{déchet j} : facteur d'équivalence du type de déchet j (dernière colonne du tableau), exprimé en kg.eq/kg de déchet.

II.2.3.2 Déchets radioactifs

A l'instar des déchets que nous avons vu précédemment, les déchets radioactifs se voient distinguer par différents types, la classification typologique est en fonction principalement de deux critères :

- la durée de leur activité radioactive, qui peut être calculée à partir de leur période radioactive et qui définit la durée de nuisance ;
- le niveau de radioactivité, qui conditionne la dangerosité des produits.

Les types en question concernent les TFA (Très Faibles Activités), les FA (Faibles Activités), les MA (Moyennes Activités) et les HA (Hautes Activités).

L'indicateur en question se base sur cette typologie, en additionnant tout simplement les différents types de déchets, ainsi on aura l'équation suivante (Equation.21) :

Equation.21 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé de production de déchets radioactifs

$$I_{\text{déchets radioactifs}} = \frac{\left[\sum_i^n 30\% (V_j \text{ BBC}) / [N_{\text{usagersBBC}} \times P_{\text{étudeBBC}} \times S_{\text{bâtimentBBC}}] \right]}{\left[\sum_j^n (V_j) \times 1 / [N_{\text{usagers}} \times P_{\text{étude}} \times S_{\text{SHON}}] \right]}$$

Avec :

I_{déchets radioactifs} : indicateur normalisé de production des déchets radioactifs.

V_{j BBC} : le volume du déchet radioactif j exprimé en dm³ produit par le BBC tout au long de son cycle de vie.

V_j : le volume du déchet radioactif j exprimé en dm³ produit par le bâtiment tout au long de son cycle de vie.

II.3 Troisième thème: Confort

Ce dernier thème s'intéressera particulièrement à l'ambiance intérieure du bâtiment à travers la qualité du confort, il s'agira particulièrement de la typologie suivante :

Confort hygrothermique, visuel et acoustique. La prise en compte de la qualité du confort intérieur permettra non seulement une corrélation entre les impacts extérieurs précédemment présentés et la qualité environnementale intérieure, mais également, elle assurera la pertinence de l'évaluation traitant l'ensemble des impacts afférents au bâtiment.

Nous signalons que l'évaluation de la qualité du confort au sens général, sera basée sur une campagne de mesures qui sera effectuée dans différents espaces des bâtiments hôteliers retenus comme cas d'étude, ainsi que sur une enquête de satisfaction.

En plus de la campagne de mesures et de l'enquête de satisfaction, l'évaluation de la qualité du confort se fera via des indicateurs basés sur des données mesurables, ces dernières peuvent être mesurées en utilisant des logiciels de mesures adaptés à chaque paramètre, ou bien des appareils de mesures (notre cas).

En outre, pour chaque indicateur de confort, nous recourons à une échelle de notes, cette dernière a été inspirée de l'échelle de PMV (vote moyen prévisible) de Fanger (Fanger, 1982) pour l'évaluation du confort hygrothermique, elle a été utilisée également pour l'évaluation environnementale d'un bâtiment tertiaire (Mandallena, 2006), or, dans notre échelle, nous attribueront à chaque seuil une valeur et une note qui lui correspond. Les valeurs proposées de notre échelle de notes seront déduites de l'enquête de satisfaction, de la campagne des mesures menée pour les différents paramètres de confort mais aussi de la bibliographie internationale qui propose des valeurs recommandées pour chaque paramètre, cette dernière sera présentée au fur et

à mesure que les paramètres de confort considérés par notre méthode. La variation des valeurs de cette échelle est spécifique à chaque paramètre mesuré, ainsi cette dernière comprendra la valeur recommandée ainsi que la plage des valeurs obtenues lors de la campagne des mesures.

II.3.1 Le confort hygrothermique

Pour l'évaluation d'une ambiance hygrothermique, il convient d'utiliser les indices PMV et PPD qui sont proposés dans la norme française ISO 7730, ces deux indices servent à évaluer l'environnement thermique en combinant différents facteurs tel que l'habillement et l'activité, avec quatre variables d'ambiances qui sont : la température de l'air, la température radiante, la vitesse de l'air et l'humidité relative.

Néanmoins, vu le nombre de variables inconnus à l'échelle de notre étude, il s'avère très complexe de calculer ces deux indices selon la formule de Fanger³⁷ (Fanger, 1982) qu'on utilise habituellement pour l'évaluation d'une ambiance thermique, toutefois, nous signalons que nous les utiliserons dans l'enquête de satisfaction qu'on présentera dans le chapitre suivant.

A cet effet, nous proposons d'évaluer le confort hygrothermique sur la base de trois paramètres mesurables qui sont la température de l'air, la vitesse de l'air et l'humidité relative, en leur attribuant une note déduite de l'échelle des notes proposée pour ces paramètres.

La détermination de cette note sera effectuée après avoir mesuré les trois paramètres en question et situer, suite à cela, leur seuil par rapport à cette échelle.

D'autre part, il s'avère nécessaire d'attribuer une pondération de $(\frac{3}{4})$ étant donné que les espaces principaux d'un hôtel ne sont jamais occupés de manière continue, cette pondération peut être modifiée selon les besoins, reflétant encore une fois la fluidité de notre méthode.

Nous signalons en outre, que le confort hygrothermique à l'intérieur d'un espace est étroitement corrélé à la surface de ce dernier et le nombre de ses occupants (en considérant une vêtue adaptée et standard et un métabolisme d'activité moyenne).

Enfin cet indicateur est également normalisé par une référence dont la valeur est calculée via la formule suivante (Equation.22) :

³⁷la formule de Fanger est présentée dans l'annexe 6

Equation.22 : Formule de calcul de la valeur de référence de l'indicateur du confort hygrothermique

$$V_{R \text{ confort HT}} = \sum^n \frac{3}{4} (N_{Tair I} + N_{Hr I} + N_{Vair I}) \times (N_{occupants} \times S_p) \times \frac{1}{(N_{usagers} \times S_{SHON})}$$

Avec

$N_{Tair I}$, $N_{Hr I}$, $N_{Vair I}$ sont les notes attribuées respectivement aux valeurs, idéales à atteindre, de température de l'air, de l'humidité de l'air et de la vitesse de l'air.

Ainsi, l'indicateur du confort hygrothermique sera calculé comme suit (Equation.23) :

Equation.23 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé du confort hygrothermique

$$I_{\text{confort hygrothermique}} = \frac{V_{R \text{ confort HT}}}{\sum^n \frac{3}{4} (N_{Tair} + N_{Hr} + N_{Vair}) \times (N_{occupants} \times S_p) \times \frac{1}{(N_{usagers} \times S_{SHON})}}$$

Avec :

$I_{\text{confort hygrothermique}}$: indicateur normalisé du confort hygrothermique.

$V_{R \text{ confort ht}}$: valeur de référence de l'indicateur du confort hygrothermique.

N_{Tair} : note attribuée à la température de l'air.

N_{Hr} : note attribuée à l'humidité relative.

N_{Vair} : note attribuée à la vitesse de l'air.

$N_{occupants}$: nombre d'occupants dans la pièce (personnes).

S_p : surface de la pièce (m^2).

$N_{usagers}$: nombre des usagers au sein du bâtiment (personnes).

S_{SHON} : surface estimée du SHON du bâtiment.

Afin de connaître la température recommandée dans les espaces d'un hôtel, nous nous sommes référés à la figure ci-dessous (Fig. 90) qui fait ressortir la relation entre l'activité et la température de l'air à travers le pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD) ; nous constatons que la courbe des sujets au repos est centrée sur $26^\circ C$, et qu'elle est plus resserrée : ces personnes sont plus sensibles à de faibles variations de température. La courbe représentant le travail léger glisse vers les basses températures : les personnes ayant plus de chaleur à perdre préfèrent des températures plus basses (Energie+).

À partir de cela, et en considérant l'activité et l'occupation moyenne, nous proposons dans le tableau suivant (Tab. 59) les températures recommandées dans les principaux espaces d'un hôtel, sur la base de ces dernières, il nous sera aisé de proposer une échelle de notes pour le paramètre de température.



Figure 90 : relation entre le PPD et la température de l'air selon l'activité (source : Energie+)

Tab. 59: Température recommandée dans les principaux espaces d'un hôtel (source : Energie+, 2006)

Désignation	Température
Chambre	24
Salle à manger	21
Cuisine	17

Pour l'humidité relative, il est recommandé qu'elle soit comprise entre 40% et 65% pour une température de l'air aux environs de 22°C.(Energie+).

Pour la vitesse de l'air en saison hivernale, la situation idéale se situe à 0.13m/s, une situation agréable est entre 0.13m/s et 0.25m/s mais à la limite du confort pour des personnes assises en permanence, à partir de 0.33m/s, l'inconfort commencera à s'installer, or en saison estivale, et pour une température comprise entre 21°C et 24°C, une vitesse d'air entre 0.5 et 1m/s, donne une sensation rafraichissante et confortable à des personnes assises n'ayant que de faibles activités, mais lorsque l'endroit est chaud avec une activité musculaire, une vitesse d'air entre 1.25m/s et 2.5m/s est nécessaire afin d'apporter un soulagement (Energie+).

Signalons enfin que nous avons proposé exceptionnellement deux échelles pour la vitesse de l'air, l'une est afférente aux conditions estivales, alors que l'autre reflète les conditions hivernales, cette façon de faire positionne la lecture de ce paramètre dans un contexte plus pertinent que celui d'une seule échelle, en effet, la variabilité des seuils recommandés de la vitesse de l'air est importante entre l'été et l'hiver et pour ne pas fausser sa lecture, il faudrait une échelle de 12 à 14 seuils, or la nôtre est de 7 seuils, il est plus pertinent dans ce cas de choisir deux échelles de 7 seuils chacune pour chaque saison.

Pour nos autres paramètres, la variabilité de la valeur recommandée entre l'été et l'hiver n'est pas aussi importante que dans le cas précédent, le même seuil d'une même échelle peut contenir les valeurs recommandées estivale et hivernale ce qui nous évite de choisir deux échelles de lecture. A partir de valeurs recommandées et celles mesurées et qu'on présentera ultérieurement, nous proposons dans le tableau suivant (Tab. 60) une échelle de notes pour les paramètres du confort hygrothermique considérés par notre méthode.

Tab. 60: Échelle de notes proposée aux paramètres du confort hygrothermique

Echelle	7	6	5	4	3	2	1
Température de l'air (C°)							
Chambre	<12	12 à 14	14 à 16	16 à 21	21 à 25	25 à 30	>30
Salle à manger	<15	15 à 20	20 à 25	25 à 27	27 à 30	30 à 35	>35
Cuisine	<9	9 à 12	12 à 15	15 à 20	20 à 25	25 à 30	>30
Echelle	1	2	3	4	5	6	7
Humidité relative (%)							
Chambre	25 à 35	35 à 45	45 à 55	55 à 60	60 à 70	70 à 80	80 à 95
Salle à manger	<20	20 à 30	30 à 40	40 à 50	50 à 65	65 à 75	>80
Cuisine	<25	25 à 30	30 à 45	45 à 60	55 à 70	70 à 80	>85
Echelle	7	6	5	4	3	2	1
Vitesse de l'air (conditions estivales) (m/s)							
Chambre et salle à manger	<0.1	0.1 à 0.15	0.15 à 0.2	0.2 à 0.4	0.4 à 0.6	0.6 à 0.9	0.9 à 1.2
Vitesse de l'air (conditions hivernales) (m/s)							
Chambre et salle à manger	>0.40	0.40 à 0.30	0.30 à 0.25	0.25 à 0.20	0.20 à 0.13	0.13 à 0.1	<0.1

II.3.2 Le confort aéraulique

Pour l'évaluation du confort aéraulique, il est nécessaire de mesurer la concentration du CO₂ à l'intérieur du bâtiment, cette mesure permettra d'apporter une appréciation objective à la qualité de l'air intérieur, or, nous jugeons que cette question est, dans une grande mesure, prise en compte par le thème « Environnement », qui traite une nuée de causes responsables de la dégradation aéraulique, à travers les différents indicateurs qui lui sont associés. Ainsi, nous ne retenons pas cet aspect de confort dans le calcul des indicateurs de notre méthodologie.

II.3.3 Le confort acoustique

L'indicateur du confort acoustique, peut être évalué selon deux possibilités :

- ❑ La première possibilité est qu'il sera basé sur l'isolement acoustique standardisé pondéré DnT,A à respecter dans chaque pièce du bâtiment hôtelier par la surface de cette dernière, ce critère représente la valeur de l'isolation acoustique entre deux locaux (ou entre intérieur

et l'extérieur). Il est mesuré sur place à l'aide d'un sonomètre et s'exprime en dB (A). Il tient compte des transmissions par les parois latérales.

On attribuera à ce critère une note déduite de la campagne de mesures et de l'échelle de lecture quand proposera dans les lignes suivantes.

On attribuera d'autres part une pondération de $(\frac{3}{4})$ étant donné que le bâtiment hôtelier est utilisé durant des périodes discontinues de la journée et la nuit.

L'indicateur du confort acoustique sera formulé à partir de l'addition de toutes les notes attribuées à l'isolement acoustique pour différents espaces dans le bâtiment hôtelier (Equation.24) :

Equation.24 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé du confort acoustique (1^{ère} possibilité).

$$I_{\text{confort acoustique}} = V_{R\text{confort Ac}} / \sum^n \frac{3}{4} \times N_{DnT,A} \times (N_{\text{occupants}} \times S_p) \times 1 / (N_{\text{usagers}} \times S_{SHON})$$

Avec :

I_{confort acoustique} : indicateur normalisé du confort acoustique.

V_{Rconfort Ac} : valeur de référence de l'indicateur du confort acoustique.

N_{DnT,A} : note attribuée à l'isolement acoustique standardisé pondéré de la pièce p du bâtiment hôtelier déduite de l'échelle des notes proposée.

N_{occupants} : nombre d'occupants de la pièce (personnes).

S_p : surface de la pièce.

N_{usagers} : nombre des usagers au sein du bâtiment (personnes).

S_{SHON} : la surface estimée du SHON du bâtiment(m²).

La valeur de référence nécessaire pour la normalisation de l'indicateur est calculée selon la formule suivante (Equation.25):

Equation.25 : Formule de calcul de la valeur de référence de l'indicateur du confort acoustique (1^{ère} possibilité).

$$V_{R\text{ confort Ac}} = \sum^n \frac{3}{4} \times N_{DnT,AI} \times (N_{\text{occupants}} \times S_p) \times 1 / (N_{\text{usagers}} \times S_{SHON})$$

Avec :

V_{R confort Ac} : valeur de référence de l'indicateur du confort acoustique.

N_{DnT,AI} : note attribuée à la valeur, idéale à atteindre, de l'isolement acoustique.

En outre l'échelle acoustique pour le calcul de l'indicateur sera déduite à partir des valeurs de la réglementation française pour les bâtiments hôteliers, ce choix n'est pas fortuit, il a été proposé afin de situer la qualité acoustique dans un cadre de valeurs strict (Tab.61).

Tab. 61 : L'isolement acoustique pondéré de différentes pièces dans un hôtel (source : JO, 2003)

LOCAL DE RECEPTION	LOCAL D'EMISSION	DnT,A
Chambre	Chambre voisine	50
	Salle de bains d'une autre chambre	
	Circulation intérieure	38
	Bureau	50
	Local de repos du personnel Vestiaire fermé	
	Hall de réception	
	Salle de lecture	
	Salle de réunion	55
	Atelier	
	Bar – Commerce	
Cuisine		
Garage – Parking		
Zone de livraison fermée		
Gymnase – Piscine intérieure		
Restaurant		
Sanitaire collectif		
Salle de TV		
Laverie		
Local poubelles		
Salle de bains	Casino – Salon de réception sans sonorisation	60
	Club de santé	
	Salle de jeux	
Salle de bains	Chambre voisine	45
	Salle de bains d'une autre chambre	
	Circulation intérieure	38

Ainsi l'échelle des notes attribuées à l'isolement acoustique qu'on pourra proposer à partir du tableau précédent est comme suit (Tab. 62) :

Tab. 62 : Echelle proposée pour l'attribution d'une note à l'isolement acoustique

Echelle	1	2	3	4	5	6	7
	$N_{DnT,A}$						
Chambre	>60	50à 55	50à55	45à50	40à45	35à40	30à35
Salle de bain	>40	>40	40à38	38à35	38à35	35à30	35à30

- La deuxième possibilité que nous proposons est basée sur le niveau sonore auquel on attribuera une note déduite de l'échelle des notes qu'on proposera pour ce paramètre, la déduction est corrélée à la mesure de ce dernier dans les principaux espaces du bâtiment hôtelier.

L'indicateur du confort acoustique sera formulé à partir de l'addition de toutes les notes attribuées au niveau sonore des différentes pièces dans le bâtiment hôtelier, une pondération de $(\frac{3}{4})$ sera attribuée pour la même raison citée précédemment (Equation.26).

Equation.26 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé du confort acoustique (2^{ème} possibilité)

$$I_{\text{confort acoustique}} = \frac{V_{\text{Rconfort Ac}}}{\sum^n \frac{3}{4} \times N_{\text{Nsonore}} \times (N_{\text{occupants}} \times S_p) \times \frac{1}{(N_{\text{usagers}} \times S_{\text{SHON}})}}$$

Avec :

I_{confort acoustique} : indicateur normalisé du confort acoustique.

V_{Rconfort Ac} : valeur de référence de l'indicateur du confort acoustique.

N_{Nsonore}: note attribuée au niveau sonore de la pièce p du bâtiment hôtelier déduite de l'échelle des notes proposée.

La valeur de référence quant à elle est calculée à partir de la formule suivante (Equation.27) :

Equation.27 : Formule de calcul de la valeur de référence de l'indicateur du confort acoustique (2^{ème} possibilité)

$$V_{\text{Rconfort Ac}} = \sum^n \frac{3}{4} \times N_{\text{Nsonore I}} \times (N_{\text{occupants}} \times S_p) \times \frac{1}{(N_{\text{usagers}} \times S_{\text{SHON}})}$$

Avec :

V_{Rconfort Ac} : valeur de référence de l'indicateur du confort acoustique.

N_{Nsonore I} : note attribué à la valeur, idéale à atteindre, au niveau sonore.

Nous présentons dans le tableau suivant le niveau sonore en db(A) des principaux espaces d'un hôtel (Tab. 63).

Tab. 63 : Le niveau sonore en db(A) des principaux espaces d'un hôtel (source : Energie+, 2006)

Désignation	Niveau sonore		
	Minimum	Admis	Maximum
Chambre	25	30	35
Salle de séjour	40	45	50
Restaurant	50	60	70

L'échelle des notes du niveau sonore qu'on propose à partir du tableau précédent est comme suit (Tab. 64).

Tab.64 : L'échelle des notes du niveau sonore

Echelle	1	2	3	4	5	6	7
N _{sonore}							
Chambre	<10	10 à 15	15 à 20	20 à 25	25 à 35	35 à 40	>40

Salle de séjour	<25	25 à 30	30 à 35	35 à 45	45 à 50	50 à 60	>60
Restaurant	<35	35 à 40	40 à 50	50 à 55	55 à 60	60 à 70	>70

À partir de la campagne de mesures, nous pouvons situer le seuil de la qualité acoustique par rapport à l'échelle précédente et ainsi attribuer la note correspondante à l'isolement acoustique. Nous signalons enfin que, pour l'application de notre méthode en grandeur nature, nous retenons la deuxième possibilité.

II.3.4 Le confort visuel

L'indicateur du confort visuel sera basé sur deux paramètres, l'un naturel et l'autre artificiel, à savoir :

- ❑ le niveau d'éclairage naturel : il s'agit de la moyenne obtenue entre l'éclairage naturel côté fenêtre et l'éclairage naturel au fond de la pièce.
- ❑ Le niveau d'éclairage artificiel des espaces considérés par l'évaluation.

Nous signalons qu'il s'agit d'attribuer une note à chacun de ces deux paramètres, qui sera déduite de l'échelle des notes qu'on proposera dans les lignes suivantes et qui nous permettra de situer le seuil du confort visuel à partir de la campagne de mesures. En outre, nous proposerons une pondération de ($1/4$) pour l'éclairage naturel et ($3/4$) pour l'éclairage artificiel (Mandellina, 2006), et cela pour la même raison signalée précédemment afférente à la période d'occupation du bâtiment hôtelier, étant donné que ce dernier sera utilisé plus la nuit que le jour.

L'indicateur du confort visuel sera traduit en additionnant les notes attribuées à l'éclairage naturel et à l'éclairage artificiel pour différents espaces considérés par l'évaluation, il sera comme suit (Equation.28) :

Equation.28 : Formule de calcul de l'indicateur normalisé du confort visuel

$$I_{\text{confort visuel}} = V_{R \text{ confort } v} / \sum^n (1/4 \times N_{\text{éclairage } N}) + (3/4 \times N_{\text{éclairage } A}) \times (N_{\text{occupants}} \times S_p) \times 1 / (N_{\text{usagers}} \times S_{\text{SHON}})$$

Avec :

$I_{\text{confort visuel}}$: indicateur normalisé du confort visuel.

$V_{R \text{ confort } v}$: valeur de référence de l'indicateur du confort visuel.

$N_{\text{éclairage } N}$: la note attribuée à l'éclairage naturel.

$N_{\text{éclairage } A}$: la note attribuée à l'éclairage artificiel.

La formule élaborée pour le calcul de la valeur de référence est comme suit (Equation.29):

Equation.29 : Formule de calcul de la valeur de référence de l'indicateur du confort visuel.

$$V_{R \text{ confort V}} = \left(\frac{1}{4} \times N_{\text{éclairage NI}}\right) + \left(\frac{3}{4} \times N_{\text{éclairage AI}}\right) \times (N_{\text{occupants}} \times S_p) \times \frac{1}{(N_{\text{usagers}} \times S_{SHON})}$$

Avec

$N_{\text{éclairage NI}}$: note attribuée à la valeur idéale de l'éclairage naturel.

$N_{\text{éclairage AI}}$: note attribuée à la valeur idéale de l'éclairage artificiel.

La bibliographie internationale ne semble pas être unanime sur les niveaux d'éclairage recommandés dans les espaces d'un hôtel à fortiori les chambres, en effet nous avons trouvé lors de notre recherche des niveaux d'éclairage très différents, à titre d'exemple, les valeurs que nous avons trouvées pour les chambres sont de : 100 lux (Lux, 2004 ; Rioux et Watkins, 2008), 250 lux (CGED) et 300 lux (Cardiergues, 2009). De la même manière les niveaux d'éclairage des autres espaces diffèrent aussi, devant cette disparité, nous avons essayé d'équilibrer entre ces seuils en cherchant un niveau moyen entre ces derniers.

Le tableau suivant (Tab. 65) récapitule le niveau d'éclairage recommandé dans différents espaces d'un bâtiment hôtelier que nous proposons à partir des différents niveaux d'éclairage proposés par la bibliographie citée précédemment :

Tab. 65: Éclairage recommandé dans les différents espaces d'un hôtel

Nature de l'espace	Éclairage en lux
Chambre	200
Réception	250
Hall	250
Salon d'hôtel	300
Salle à manger	250
Cuisine	450

De cela, on peut proposer une échelle de notes qu'on attribuera à l'éclairage naturel et artificiel (Tab 66) :

Tab. 66: Échelle proposée à l'éclairage naturel et artificiel dans les espaces d'un hôtel

Échelle	7	6	5	4	3	2	1
ECLAIREMENT naturel et artificiel							
chambre	<60	60 à 80	80 à 150	150 à 250	250 à 300	300 à 400	>400
Réception et hall	<70	70 à 100	100 à 200	200 à 300	300 à 350	350 à 450	>450
salon	<100	100 à 150	150 à 200	200 à 250	250 à 300	350 à 450	>450
Salle à manger	<80	80 à 100	120 à 150	150 à 200	200 à 250	250 à 300	>300
Cuisine	<200	200 à 300	300 à 350	350 à 450	450 à 500	500 à 600	>600

IV. VISUALISATION DES INDICATEURS

Dans la dernière section de ce chapitre, nous nous focaliserons sur le mode de visualisation que nous allons retenir et qui sera le mieux adapté à notre méthodologie. Cette première partie sera secondée par la présentation des outils de simulation retenus susceptibles d'apporter un accès facile et une concrétisation pertinente de nos objectifs.

III.1 OPTION DE VISUALISATION DES INDICATEURS RETENUS

Avant de présenter les outils de simulation que nous allons retenir pour l'application de notre méthode, il importe tout d'abord de présenter le mode de visualisation des indicateurs ; or nous avons précisé précédemment, que nous avons retenu le diagramme radar, ce choix est toujours respecté, toutefois il convient de présenter les différentes variantes afférentes à ce mode de représentation tout en indiquant les aspects caractéristiques inhérents à chaque variante.

Pour ce faire il est nécessaire de créer une application à partir d'un exemple, nous allons délibérément en choisir un, se basant sur l'essence même de notre méthode en l'occurrence les thèmes et les indicateurs en corrélant pour chaque indicateur une valeur fictive. Nous avons choisi quatre thèmes pour quinze indicateurs afin de vérifier la pertinence et le seuil d'adaptabilité des différents types de diagrammes pour un système de thème plus compliqué que celui que nous avons retenus, et aboutir ainsi à un choix sûr et pertinent. Par ailleurs, cet exemple concernera trois variantes afin qu'il puisse refléter le plus possible nos trois cas d'application que nous allons présenter dans le chapitre suivant. Le tableau suivant (Tab. 67) présente l'exemple en question en récapitulant les valeurs d'indicateurs pour trois variantes.

Tab. 67 : Exemple de valeurs fictives d'indicateurs environnementaux

Thèmes	Indicateurs	Variante 1	Variante 2	Variante 3	moyenne par indicateur
Thème 1	Indicateur 1	0.5	0.6	0.7	0,6
	Indicateur 2	0.7	0.8	0.5	0,66
	Indicateur 3	0.5	0.4	0.6	0,5
Thème 2	Indicateur 4	0.3	0.5	0.2	0,33
	Indicateur 5	0.7	0.9	0.8	0,8
	Indicateur 6	0.8	0.7	0.7	0,73
	Indicateur 7	0.3	0.4	0.3	0,33
Thème 3	Indicateur 8	0.9	0.9	0.7	0,83
	Indicateur 9	0.6	0.4	0.7	0,56
	Indicateur 10	0.8	0.5	0.5	0,6
	Indicateur 11	0.7	0.7	0.6	0,66
	Indicateur 12	0.5	0.6	0.4	0,50
Thème 4	Indicateur 13	0.3	0.7	0.6	0,53
	Indicateur 14	0.4	0.5	0.3	0,4
	Indicateur 15	0.6	0.4	0.5	0,5

Nous donnons d'autre part des valeurs moyennes fictives de quatre thèmes calculées à partir des moyennes des valeurs d'indicateurs précédentes (à titre d'illustration seulement) et qui seront récapitulées dans le tableau suivant (Tab. 68)

Nous rappelons que les valeurs de ces thèmes serviront seulement d'exemple au même titre que les valeurs précédentes des indicateurs afin de pouvoir effectuer un choix judicieux vis-à-vis d'une comparaison pertinente entre nos cas concrets lors de l'application de notre méthode.

Tab. 68 : Exemple de valeurs fictives des variantes par thème

Thèmes	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Thème 1	0.56	0.6	0.6
Thème 2	0.52	0.62	0.5
Thème 3	0.70	0.62	0.58
Thème 4	0.43	0.53	0.46

Les modes de représentation possibles s'inscrivant dans le cadre de la représentation en diagramme radar qu'on peut utiliser en se basant sur les valeurs d'indicateurs et des thèmes sont les suivantes :

III.1.1 Première option

La première option réside dans la présentation de toutes les valeurs des différents indicateurs pour les trois variantes sur un seul diagramme radar, pour cette même option, on a deux modes de représentations qui sont en radar plein ou en radar simple. Cette première option permet une comparaison entre différentes alternatives et pour chaque indicateur. Les deux modes de cette première option sont présentés dans les deux figures suivantes (Fig.91. et Fig.92).

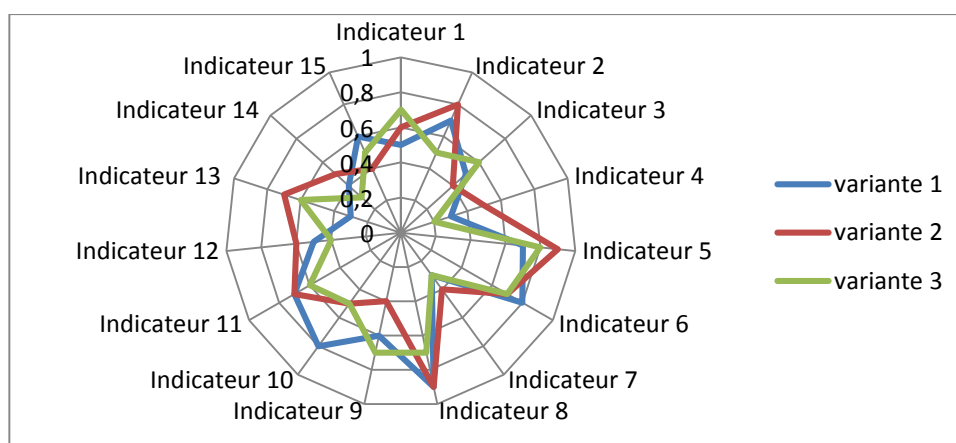


Fig.91 : Diagramme radar ; première option –premier mode (radar simple)

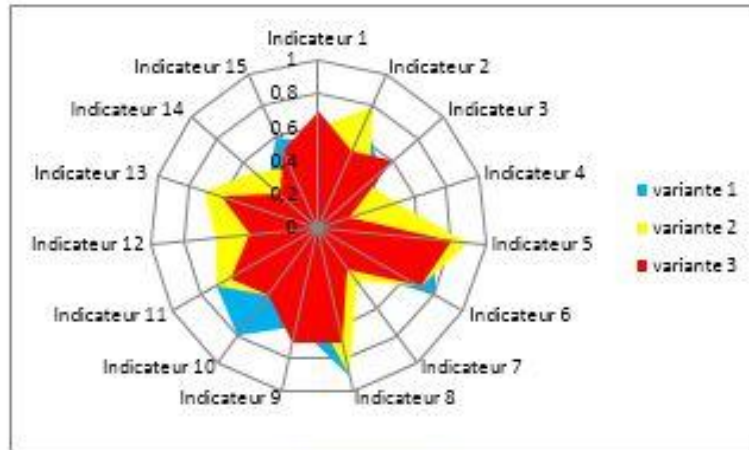


Fig.92 : Diagramme radar ; première option –deuxième mode (radar plein)

III.1.2 Deuxième option

On peut présenter les valeurs des différents indicateurs en isolant les différents thèmes, ainsi on aura pour chaque thème deux choix qui se présentent comme suit (Fig.93, Fig.94, Fig.95, Fig.96, Fig.97, Fig.98, Fig.99 et Fig.100) :

☐ Pour le thème 1 :

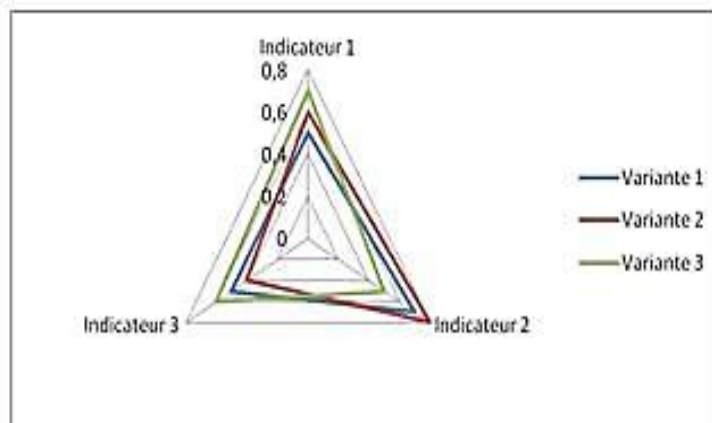


Fig.93: Diagramme radar ; deuxième option –thème 1 (radar simple)

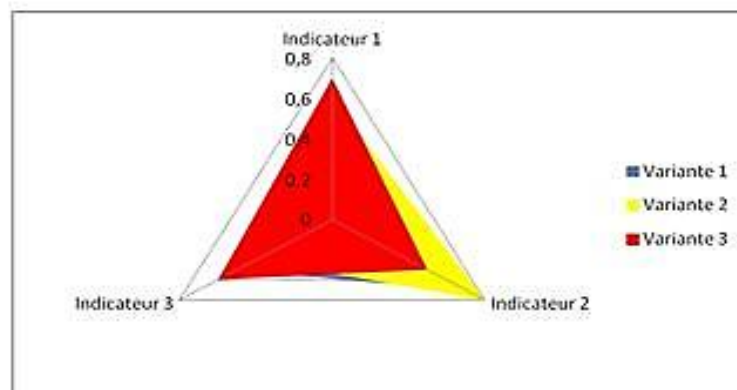


Fig.94 : Diagramme radar ; deuxième option –thème 1 (radar plein)

❑ Pour le thème 2

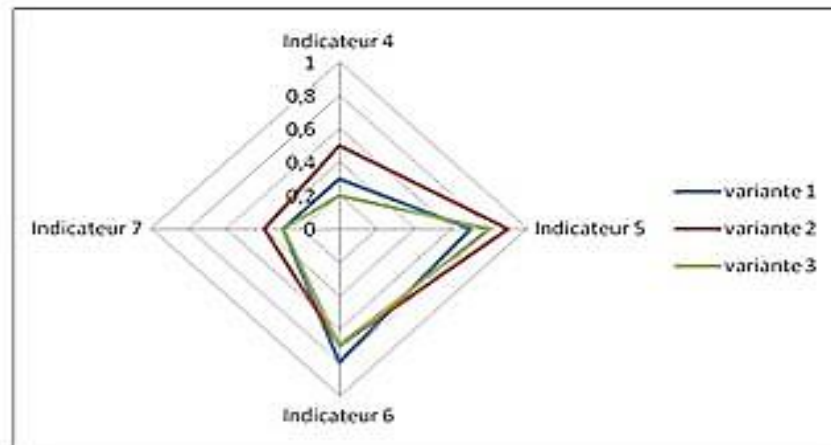


Fig.95 : Diagramme radar ; deuxième option –thème 2 (radar simple)

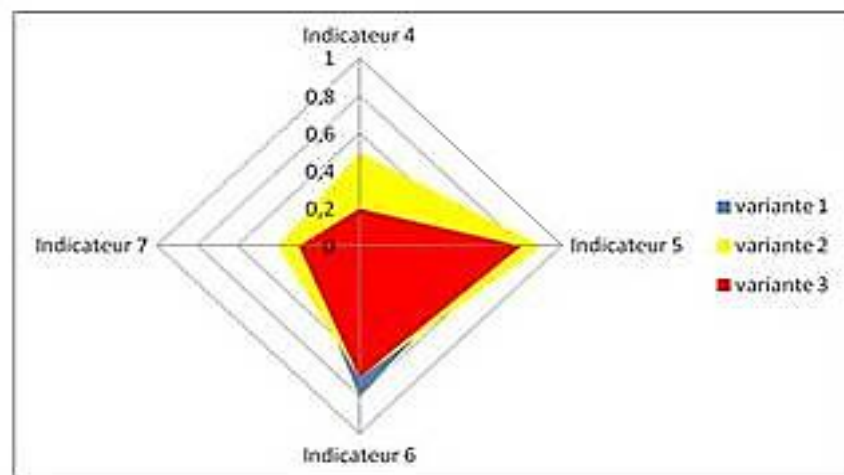


Fig.96 : Diagramme radar ; deuxième option –thème 2 (radar plein)

❑ Pour le thème 3

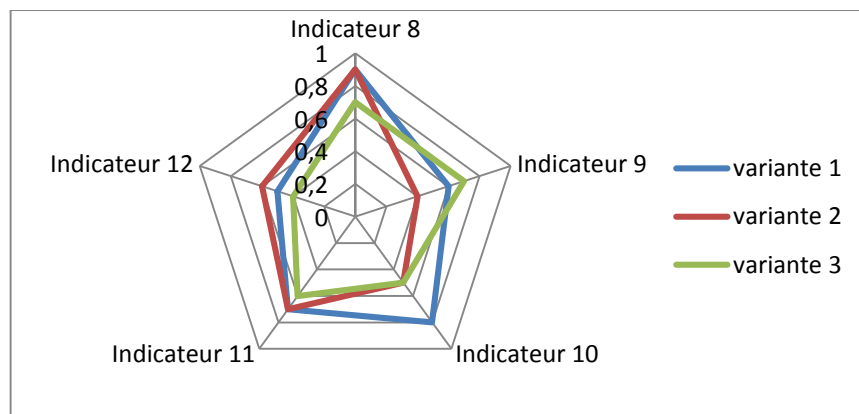


Fig.97. Diagramme radar ; deuxième option –thème 3 (radar simple)

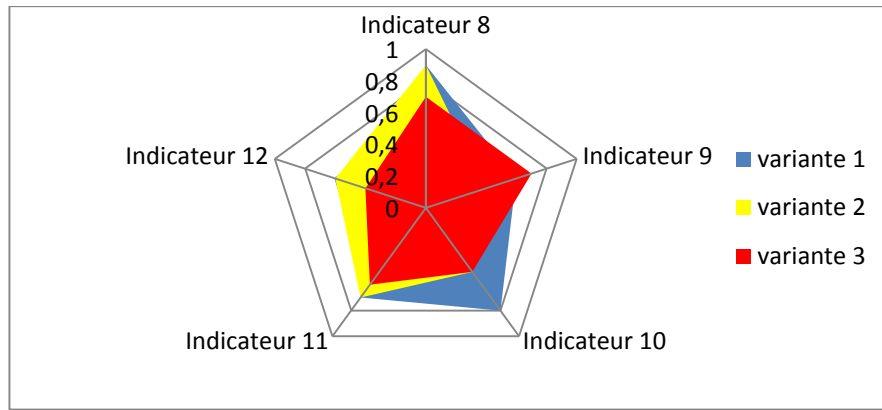


Fig.98 : Diagramme radar ; deuxième option –thème 3 (radar plein)

□ Pour le thème 4

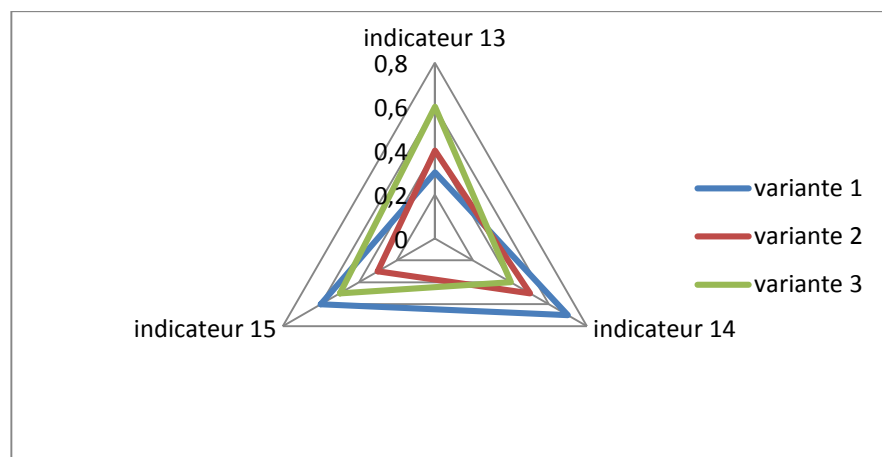


Fig. 99: Diagramme radar ; deuxième option –thème 4 (radar simple)

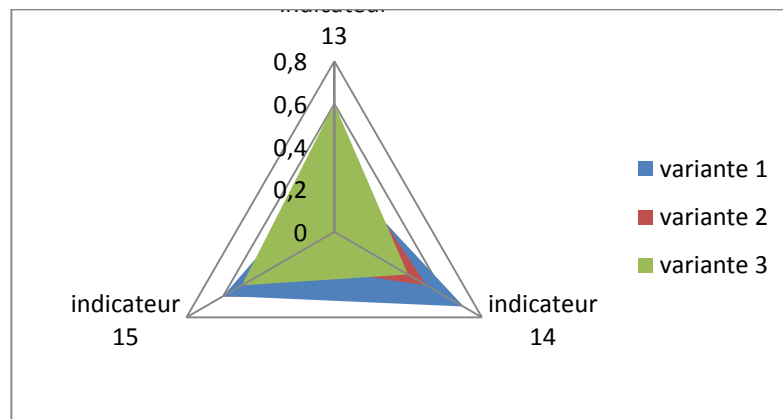


Fig. 100: Diagramme radar ; deuxième option –thème 4(radar plein)

III.1.3 Troisième option

La troisième option réside dans la représentation des trois variantes par thèmes et non pas par indicateurs, les figures afférentes à cette option sont les suivantes (Fig. 101 et Fig. 102) :

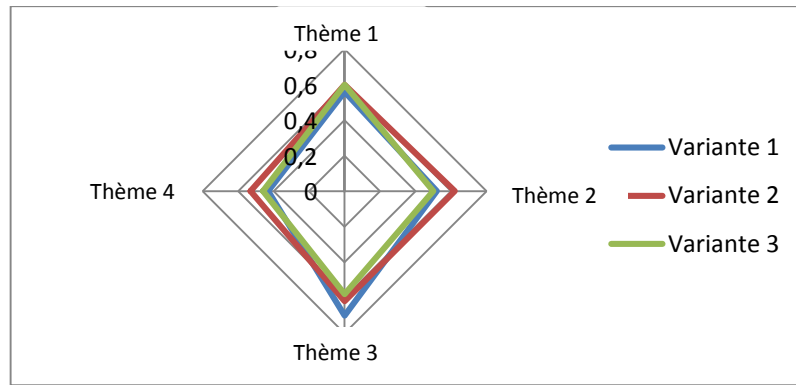


Fig.101 : Diagramme radar ; troisième option-premier mode (radar simple)

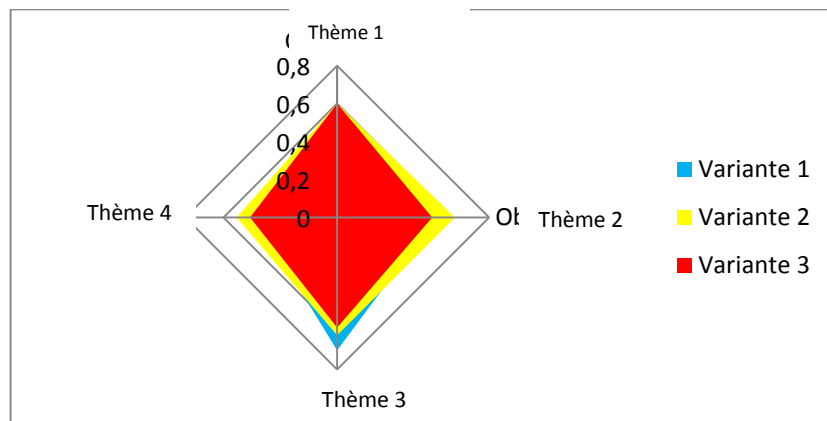


Fig.102 : Diagramme radar ; troisième option-deuxième mode (radar plein)

III.1.4 Quatrième option

Cette option représente les trois variantes par indicateurs tout en les assimilant à la moyenne de ces derniers ce qui permet une comparaison entre alternatives et par la même occasion entre ces dernières et la moyenne par indicateur, les figures illustrant cette option sont les suivantes (Fig.103 et Fig. 104) :

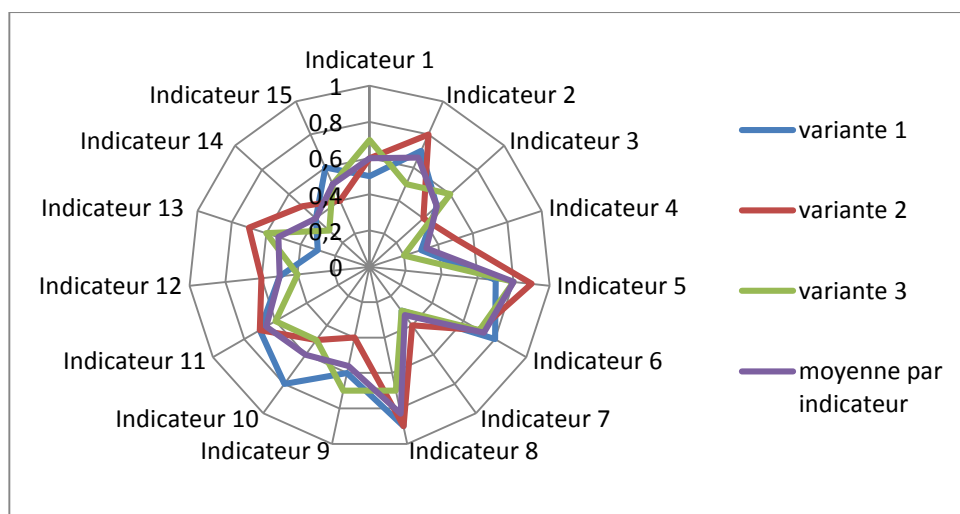


Fig.103 : Diagramme radar ; quatrième option-premier mode (radar simple)

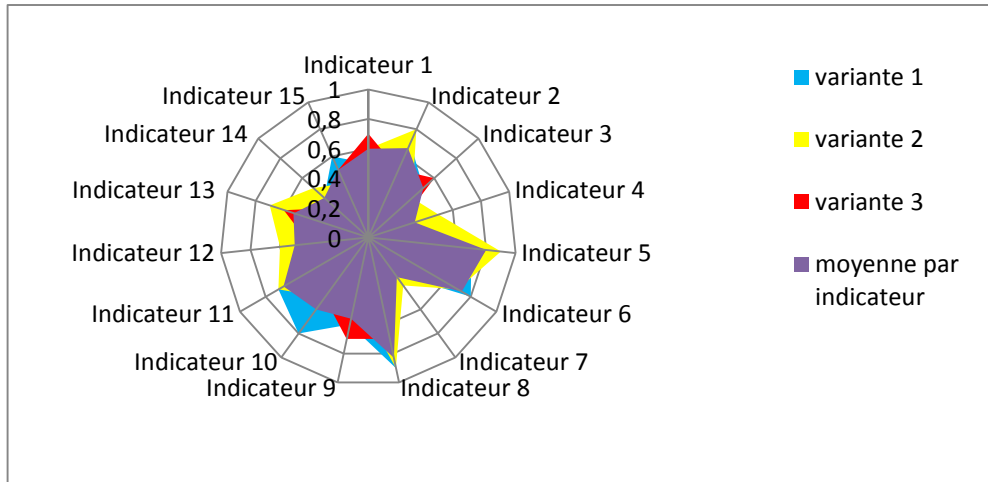


Fig.104: Diagramme radar ; quatrième option-deuxième mode (radar plein)

III.1.5 Cinquième option

Cette dernière option de représentation est étroitement corrélée à la précédente, elle permet une comparaison entre chaque alternative avec la moyenne des trois variantes par indicateur, cette comparaison se fait de manière séparative entre chaque alternative ; les figures représentant ceci sont les suivantes (Fig.105, Fig.106, Fig.107, Fig.108, Fig.109, Fig.110, Fig.111, Fig.112 et Fig. 113):

☐ Pour la variante 1 :

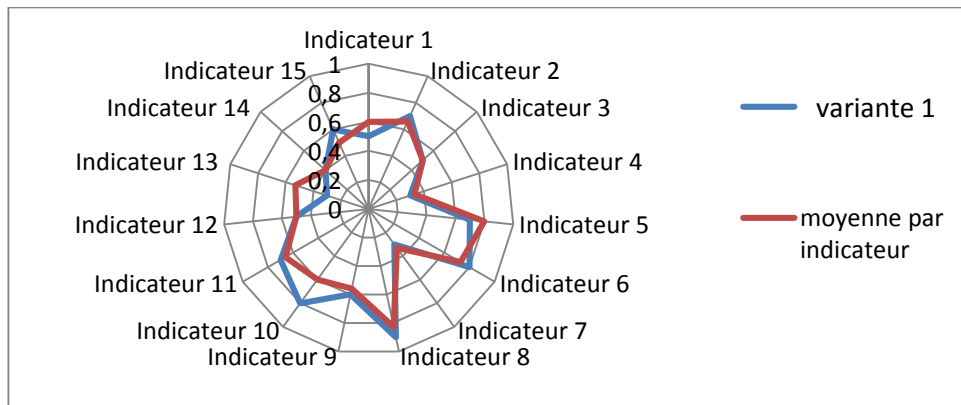


Fig.105 : Diagramme radar ; cinquième option-variante 1 (radar simple)

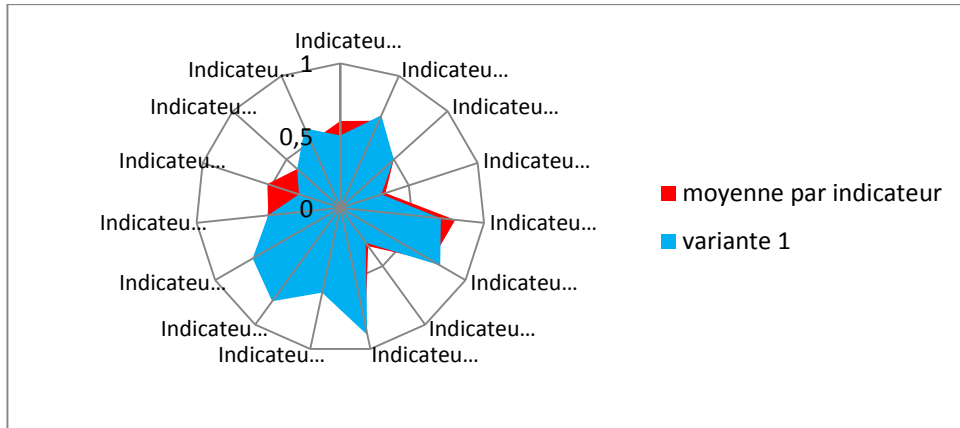


Fig.106: Diagramme radar ; cinquième option-variante 1 (radar plein- l'aire de la variante en premier plan)

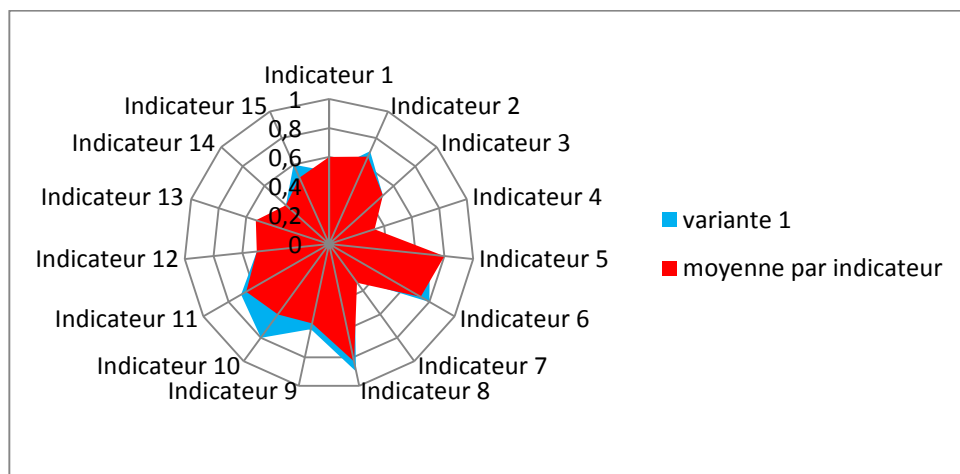


Fig.107 : Diagramme radar ; cinquième option-variante 1 (radar plein- l'aire de la variante en arrière-plan)

❑ **Pour la variante 2 :**

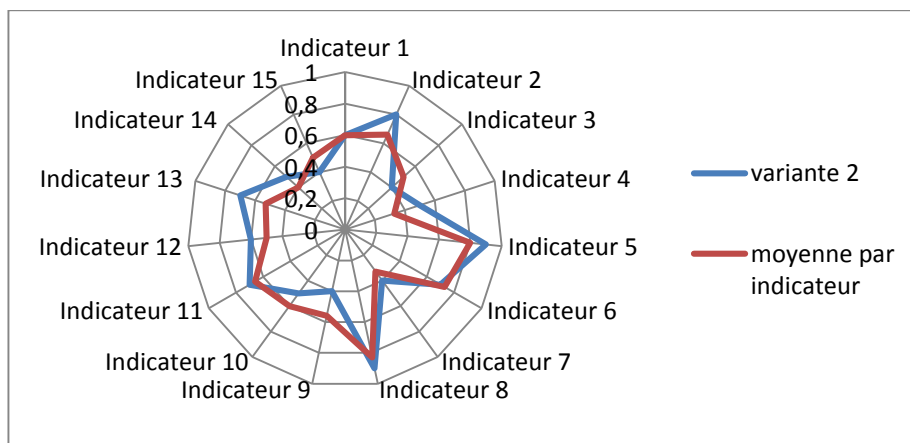


Fig.108: Diagramme radar ; cinquième option-variante 2 (radar simple)

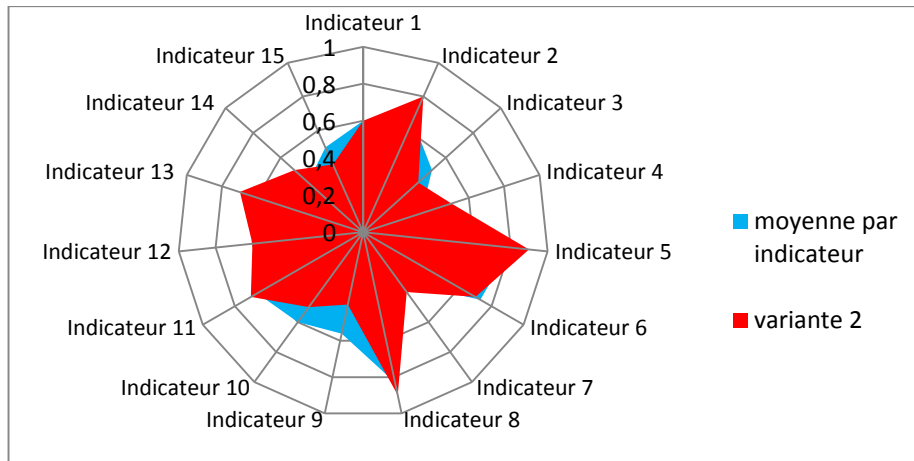


Fig.109 : Diagramme radar ; cinquième option-variante 2 (radar plein- l'aire de la variante en premier plan)

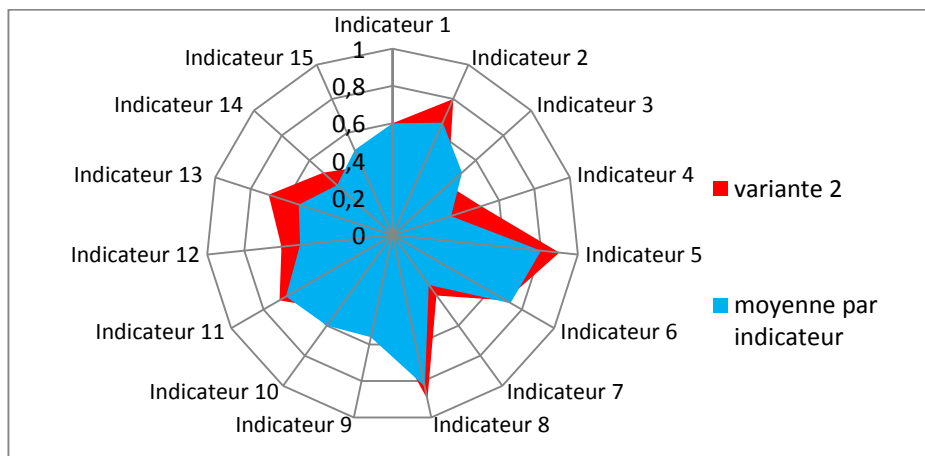


Fig.110 : Diagramme radar ; cinquième option-variante 2 (radar plein- l'aire de la variante en arrière-plan)

❑ Pour la variante 3 :

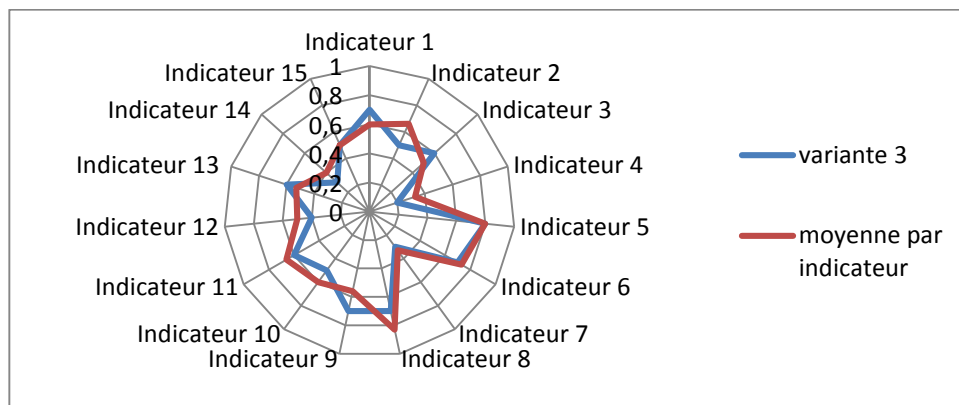


Fig.111 : Diagramme radar ; cinquième option-variante 3 (radar simple)

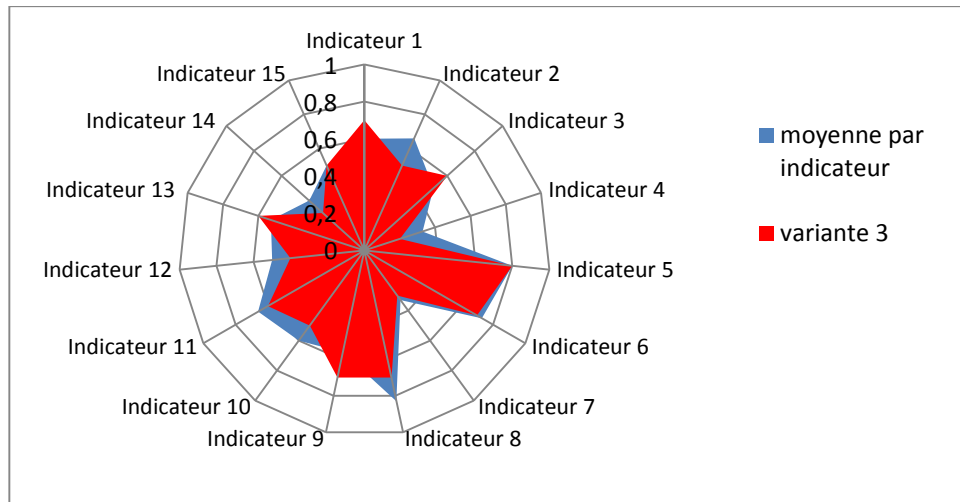


Fig.112: Diagramme radar ; cinquième option-variante 3 (radar plein- l'aire de la variante en premier plan)

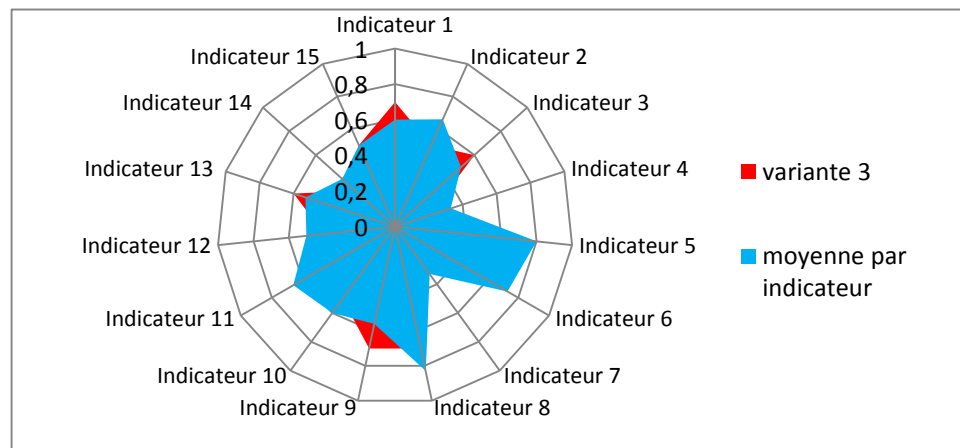


Fig.113. : Diagramme radar ; cinquième option-variante 3 (radar plein- l'aire de la variante en arrière-plan)

III.2 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES DIFFERENTES OPTIONS DE VISUALISATION

Afin de pouvoir choisir la meilleure option, la plus adéquate à notre méthode et la plus susceptible d'apporter une comparaison pertinente et explicite entre nos alternatives, il convient tout d'abord de procéder à une récapitulation des points forts et faibles de chaque option que nous avons présentée précédemment :

III.2.1 La première option

L'avantage de cette première option réside dans le fait qu'elle permet :

- Une visualisation comparative globale entre toutes les alternatives en englobant tous les indicateurs concernés par l'évaluation sur un seul diagramme radar.

Le plus grand inconvénient de cette représentation est lié à :

- ❑ L'absence de clarté dans la comparaison vu le nombre important des indicateurs, d'autant plus que l'aire sur le diagramme ne doit pas être utilisée pour comparer les alternatives, vu la grande influence de la position des indicateurs sur la formation et la superficie de l'aire.

III.2.2 La deuxième option

Cette deuxième option a plus d'avantages que d'inconvénients, ces derniers ne sont même pas perceptibles sur cette option si ce n'est dans le fait d'être obligé de comparer les alternatives en passant par les différents diagrammes, or les avantages de cette dernière sont les suivants :

- ❑ Aucune perte d'information ;
- ❑ Clarté de la comparaison ;
- ❑ Comparaison pertinente respectant la nature d'indicateurs différents en les ségrégant par thème ;
- ❑ Précision d'évaluation étant donné que la comparaison entre les alternatives se fait dans un contexte précis de thèmes, c'est-à-dire que nous pouvons aboutir aux spécificités inhérentes à la comparaison de manière très pertinente en se basant sur les caractéristiques intrinsèques liées à chaque thème.

III.2.3 La troisième option

Les avantages de cette troisième option est :

- ❑ La visualisation de la comparaison entre les différentes alternatives par le biais uniquement des thèmes, l'évaluation se fait pour l'ensemble des thèmes sur un même diagramme.

Or, les inconvénients de cette option sont multiples :

- ❑ La perte de l'information due à l'agrégation des thèmes (dans l'application de la méthode c'est l'agrégation qui sera retenue et non pas la moyenne qui a été utilisée exceptionnellement dans l'exemple) ;
- ❑ La représentation de l'ensemble des thèmes sur un même diagramme radar suscite une comparaison entre ces thèmes, or cette dernière n'aura aucune utilité même si on a la même note, car cette dernière n'a pas la même signification pour les différents thèmes.

III.2.4 La quatrième option

La quatrième option permet :

- ❑ Une double comparaison, d'une part entre les différentes alternatives, et d'autre part entre ces alternatives et la moyenne par indicateur et cela sur un même diagramme radar.

Son plus grand inconvénient réside dans le fait que :

- ❑ La comparaison est peu claire à fortiori lorsqu'il s'agit d'un nombre important d'indicateurs.

III.2.5 La cinquième option

Cette dernière option partage les mêmes avantages que ceux de la précédente en permettant :

- ❑ Une double comparaison entre les alternatives les unes par rapport aux autres, et entre ces dernières et la moyenne par indicateur.
- ❑ La double comparaison dans cette option est encore plus précise et plus pertinente que celle de l'option précédente, puisque cette dernière se fait par variante sur différents diagrammes radar et non pas l'ensemble des variantes sur le même diagramme.

L'inconvénient reste toujours celui du :

- ❑ Manque de clarté vis-à-vis du nombre important d'indicateurs ;
- ❑ La comparaison entre les alternatives doit passer par tous les diagrammes radar comportant chaque alternative assimilée à la moyenne par indicateur.

III.2.6 Quid du mode de diagramme radar ?

Entre les deux possibilités de représentation de diagramme radar que nous avons présenté précédemment, radar simple et radar plein, nous avons constaté que :

- ❑ Le radar simple offre une meilleure visibilité de comparaison d'alternatives ;
- ❑ Une meilleure clarté d'évaluation.

Or pour le radar plein, nous avons constaté les points faibles suivants :

- ❑ Absence de clarté de comparaison ;
- ❑ Non visibilité totale de la superficie occupée par une alternative cachée par une autre pour certaines options ;
- ❑ Même lorsqu'il s'agit d'isoler les thèmes ou les variantes, la comparaison reste toujours difficile étant donné l'impossibilité de voir l'étalement de la forme ou superficie occupée par la variante vers certains indicateurs, ce qui peut de manière incontournable fausser les éléments de réponses ou de solutions inhérents à une telle comparaison.

III.2.7 Quelle option choisir ?

Après l'étude des points forts et faibles des différentes options qui s'offrent à nous pour la représentation comparative des différentes alternatives sur un ou plusieurs diagrammes radar, il convient maintenant de procéder à un choix judicieux, le plus susceptible d'être adapté à notre méthode, notre démarche, nos thèmes et nos intentions.

Ainsi, l'option qui satisfait le plus nos exigences est la deuxième option vu les nombreux avantages dont elle bénéficie. L'application de cette option sera visualisée dans le chapitre suivant.

Nous retenons également la première option à titre synthétique afin de donner une vue globale à la comparaison des variantes pour l'ensemble des indicateurs et cela après avoir appliqué toutes les comparaisons via la deuxième option.

III.3 OUTILS DE SIMULATIONS RETENUS

Nous avons vu dans le chapitre II, les différents outils d'évaluation environnementale que nous pouvons utiliser dans ce présent travail, nous allons à présent dans les paragraphes suivants présenter l'outil que nous avons retenu, les raisons qui nous ont poussés à ce choix et surtout étudier les spécificités inhérentes à ce dernier.

Cependant, il s'agit en fait d'outils qui sont complémentaires, et très pertinents dans le contexte de notre travail : EQUER, COMFIE et PLEIADES, nous rappelons que ces derniers ont été utilisés dans différents travaux exhibés dans les retours d'expériences que nous avons présentés dans le (chap.2) ce qui a suscité notre intérêt vis-à-vis de leur utilisation.

III.3.1 Les raisons de ce choix

Les outils EQUER, COMFIE et PLEIADES offrent une compilation d'évaluation énergétique et environnementale très pertinente, en effet, EQUER est un module d'analyse environnementale associé à PLEIADES + COMFIE permettant de calculer 12 paramètres environnementaux en fonction des résultats de la simulation PLEIADES, de bases de données d'analyse de cycle de vie et de différentes caractéristiques sur les bâtiments étudiés (mode de gestion de déchets, éloignement d'un centre...) (IZUBA) cette compilation d'évaluation est l'une des raisons principales qui nous a poussé au choix de ces outils, les autres raisons sont les suivantes :

- ❑ La clarté d'utilisation contribuant à la facilité de la saisie des données du bâtiment qui offrent un gain de temps ;
- ❑ La portée scientifique dont bénéficie ces outils qui a rendu ces logiciels reconnus et ont été utilisés par des scientifiques et des professionnels du bâtiment (Krüger et Givoni, 2004) ;
- ❑ La pertinence des résultats offerts par ces outils ;
- ❑ COMFIE a été confronté avec succès à des outils plus lourds (protocole BESTEST de l'AIE53) et à des résultats expérimentaux (Peuportier, 2005) ;
- ❑ Ils permettent une évaluation multizone dans le bâtiment ;

- ❑ Ces logiciels font partie de la même suite logicielle, ainsi, grâce aux données de simulation réalisée par PLEIADES³⁸ et COMFIE, EQUER arrive à réaliser une ACV du bâtiment, cette suite logicielle est complétée actuellement par l'outil ADRIANE qui permet d'élargir le champ d'intervention afin d'atteindre celui des quartiers (Popovici, 2006).
- ❑ COMFIE assure une modélisation assez fine et très détaillée de l'enveloppe du bâtiment, il considère à la fois plusieurs paramètres : la géométrie du bâtiment, les caractéristiques thermiques et permet même de créer des stations climatiques numériques
- ❑ COMFIE a fait l'objet d'une co-simulation avec le logiciel Brahms qui a mis en évidence sa simulation détaillée de l'enveloppe du bâtiment (Gaaloul et al, 2012)
- ❑ Récemment, une étude réalisée par Peuportier (Peuportier, 2015), a permis de constater des résultats assez proches entre nos logiciels avec Elodie et Energie plus
- ❑ Ces études sont plus accessibles aux professionnels étant donné qu'ils sont moins coûteux en temps de saisie et d'apprentissage, COMFIE entre autres a été comparé à d'autres logiciels sur un bâtiment à très basse consommation (Brun et al, 2009).
COMFIE a été également utilisé avec d'autres environnements, et en particulier des environnements couramment utilisés dans le domaine électrique et du contrôle commande (typiquement MATLAB-simulink) où il a été démontré sa pertinence et sa fiabilité à simuler l'influence des équipements électriques sur les variations des températures (Gaaloul et al, 2011).
- ❑ Une méthodologie de validation empirique appliquée à l'outil de simulation COMFIE a été mise en œuvre via un couplage avec le logiciel statistique R, afin de quantifier les erreurs de simulation liées aux incertitudes des paramètres d'entrée. Les résultats montrent une bonne adéquation entre les mesures et le modèle, similaire à des références internationales comme EnergyPlus (Spitz et al, 2012, Recht et al, 2014).

III.3.2 L'outil EQUER

III.3.2.1 Développement de l'outil

L'outil EQUER est un logiciel destiné à évaluer les aspects quantifiables de la qualité environnementale, il est destiné exclusivement en l'occurrence à l'analyse du cycle de vie appliquée aux bâtiments, il a été développé par une équipe comportant deux centres de recherche :

³⁸ Dernièrement (en 2016), le module AMAPOLA, a été intégré à PLEIADES, ce dernier permet désormais la modélisation des occupants, l'analyse d'incertitude et l'analyse de sensibilité, cela lui confère une nouvelle dimension

le Centre d'énergétique de l'École des Mines de Paris et L'INERIS (Institut d'Évaluation des Risques Industriels) ainsi que des professionnels : GTM-Construction, l'agence d'architecture S'PACE et Pierre Diaz Pedregal Consultant. La base suisse Oekoinventare1 (version de 1996) et des données collectées durant le projet européen REGENER sont utilisées en ce qui concerne les impacts de fabrication des matériaux de construction et des autres procédés.

III.3.2.2 Le rôle de l'outil

Le rôle de cet outil est multiple :

- ❑ Aide les différents acteurs du bâtiment à prendre la meilleure décision de leur choix ;
- ❑ Il facilite à mettre en exergue les qualités inhérentes à un projet d'architecture, ainsi le maître d'œuvre saura et pourra mieux justifier et défendre son projet auprès du maître d'ouvrage ;
- ❑ Il contribue à la sensibilisation des usagers ;
- ❑ Il constitue une base de connaissance sur les bâtiments à faibles impacts environnementaux.

III.3.2.3 Phases du bâtiment et paramètres considérés par EQUER

Afin de réaliser une ACV, l'outil EQUER prend en considération l'ensemble des phases de vie du bâtiment, de la construction à la déconstruction en passant par son utilisation, mais au-delà de ça, il considère également différents aspects liés à la fabrication des matériaux, à l'énergie utilisée dans les différentes phases du bâtiment, les transports, l'eau, et les déchets (Fig.114).

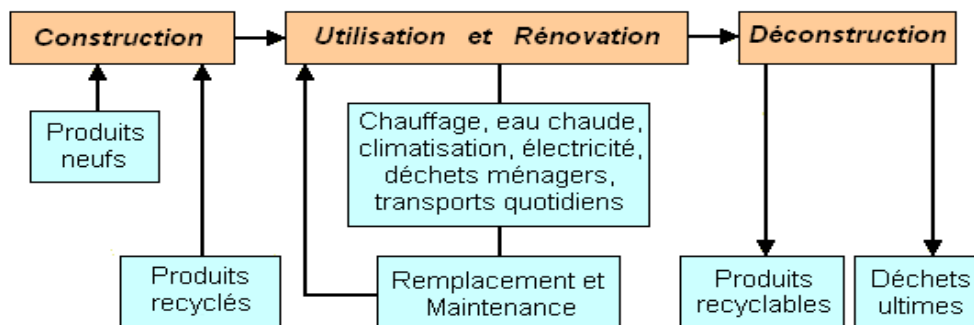


Fig.114 : Les différents paramètres liés aux différentes phases considérés par le logiciel EQUER (source : IZUBA)

III.3.2.4 Les sorties du logiciel

Il s'agit de problèmes environnementaux traduits en indicateurs qui permettent d'évaluer les impacts environnementaux.

EQUER évalue douze indicateurs, il s'agit des indicateurs que nous avons étudiés précédemment, pour cela nous allons nous contenter seulement de les citer à titre de rappel, il s'agit en l'occurrence de : effet de serre, déchets radioactifs, déchets inertes, ressources abiotiques (non renouvelables),

eau utilisée, énergie consommée, odeur, ozone, toxicité humaine, écotoxicité aquatique, eutrophisation, acidification.

Nous rappelons toutefois que nous avons inséré ces indicateurs dans un contexte de thèmes adéquat.

III.3.2.5 La représentation graphique des indicateurs

L'outil EQUER permet d'utiliser les graphes suivants :

- Un histogramme qui définit l'évaluation par indicateur (Fig.115)

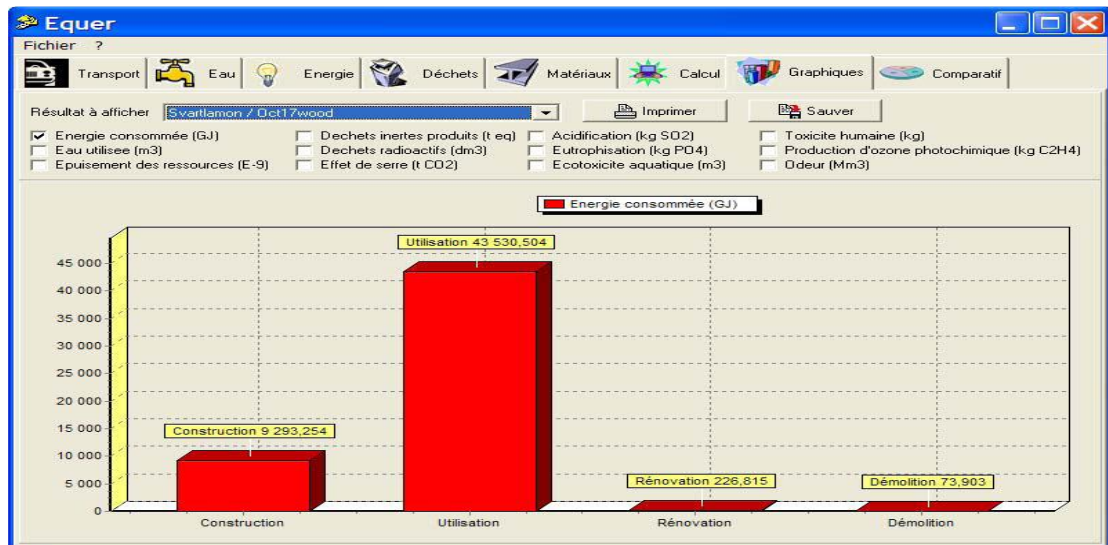


Fig.115: La représentation graphique des indicateurs via un histogramme (source : IZUBA)

- Un diagramme radar où chaque axe correspond à une variante, la comparaison se fait par rapport à une référence représentée dans le dernier axe (Fig.116)

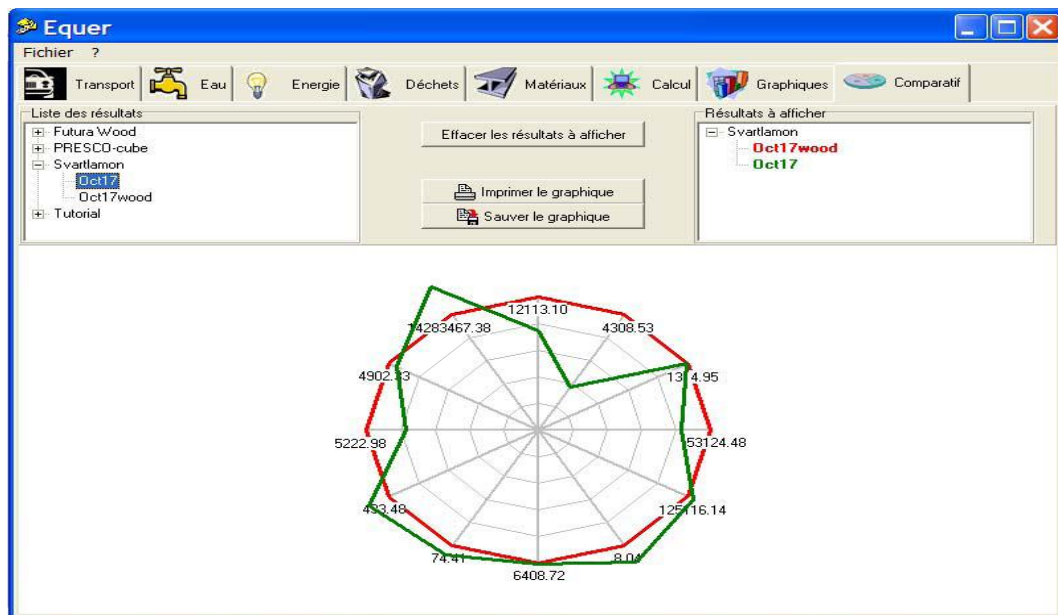


Fig.116 : La représentation graphique des indicateurs via un diagramme radar (source : IZUBA)

III.3.2.6 La modélisation du bâtiment

Le bâtiment est structuré en plusieurs classes et sous-classes qui correspondent à sa technicité (matériaux, composants...), à ses procédés (transport, processus énergétique, utilisation de l'eau, gestion des déchets...), aux indicateurs environnementaux considérés (inventaires, compteurs d'énergie et d'eau...) et également à des éléments sitologiques. (Fig.117), ces classes et sous-classes regroupent des objets à complexité diverse, ainsi, on trouve la sous-classe des sous-systèmes des objets représentant des produits ou des composants comme les parois ou les fondations, en outre, le lien entre l'analyse thermique et énergétique se fait à travers le zonage thermique, à une zone sont associées les consommations d'énergie, d'eau, la gestion des déchets ménagers. Par ailleurs, le bâtiment et le chantier sont deux autres sous-classes comportant leurs constituants ainsi que d'autres données influentes (occupation du sol, sources de bruit, processus spécifiques, etc.). (Peuportier et Polser, 2004).

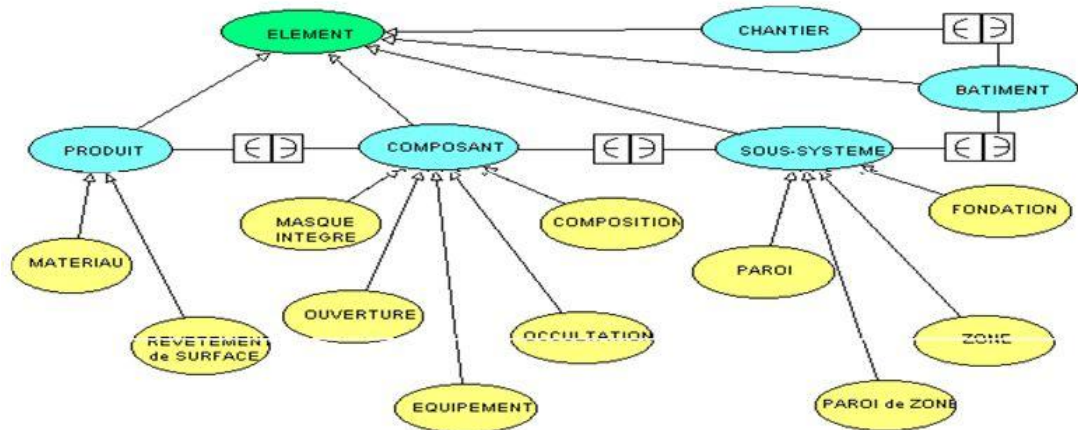


Fig.117. : La modélisation du bâtiment par le logiciel EQUER (source : IZUBA)

III.3.3 L'outil COMFIE

III.3.3.1 Le développement de l'outil

COMFIE est un outil de simulation énergétique qui a été développé par le centre Énergétique de l'École des Mines de Paris, il permet le calcul du comportement de différentes zones dans le bâtiment en régime dynamique, c'est un outil très pertinent qui peut être utilisé dès la phase avant-projet pour une meilleure optimisation conceptuelle énergétique du bâtiment, objet d'évaluation.

III.3.3.2 Le rôle de l'outil

Nous pouvons résumer les différents rôles de COMFIE en ceci (Thiers, 2008):

- Il permet le calcul de la température par heure et en considérant différentes zones du bâtiment ;

- ❑ Il permet le calcul des besoins énergétiques, des besoins de chaleur, de rafraîchissement et la consommation électrique du bâtiment ainsi que l'éclairage ;
- ❑ Il permet d'intégrer et de considérer différents paramètres de la conception bioclimatique notamment :
 - Les apports solaires ;
 - Les apports internes ;
 - Les échanges thermiques par systèmes conductifs, convectifs, radiatifs et par renouvellement d'air ;
 - L'inertie thermique au niveau de chaque zone.
- ❑ Il permet également d'intégrer des paramètres liés à l'efficacité énergétique tel que les énergies renouvelables notamment les panneaux photovoltaïques, le chauffe-eau solaire ainsi que le puits canadien.

III.3.3.3 Les modules graphiques et de calcul associés à COMFIE

COMFIE bénéficie de plusieurs modules où chacun remplit une fonction bien précise, il s'agit des modules suivants :

- ❑ **ALCYONE** : permet la saisie graphique des projets pour PLEIADES et COMFIE, il permet de dessiner les différents niveaux du bâtiment à partir de la numérisation des plans, avant d'arriver au plan final du bâtiment (Fig.118), il importe de passer par plusieurs étapes permettant la définition des caractéristiques de chaque pièce dans chaque niveau du bâtiment, ainsi de différents composants liés à ce dernier (parois, ouvertures, avec leurs dimensions, volumes, surfaces, caractéristiques...etc)

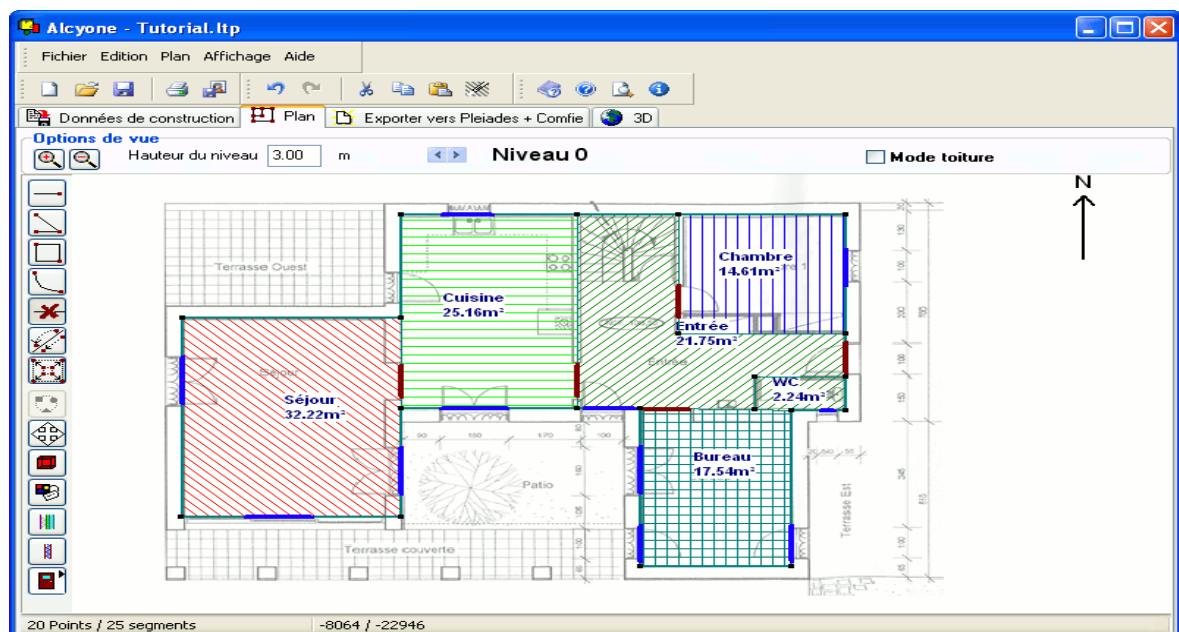


Fig.118 : La saisie graphique des projets en 2D par le module ALCYONE (source : IZUBA)

Il permet également de visionner le bâtiment en 3D (Fig.119) afin de mieux cerner le dessin du bâtiment

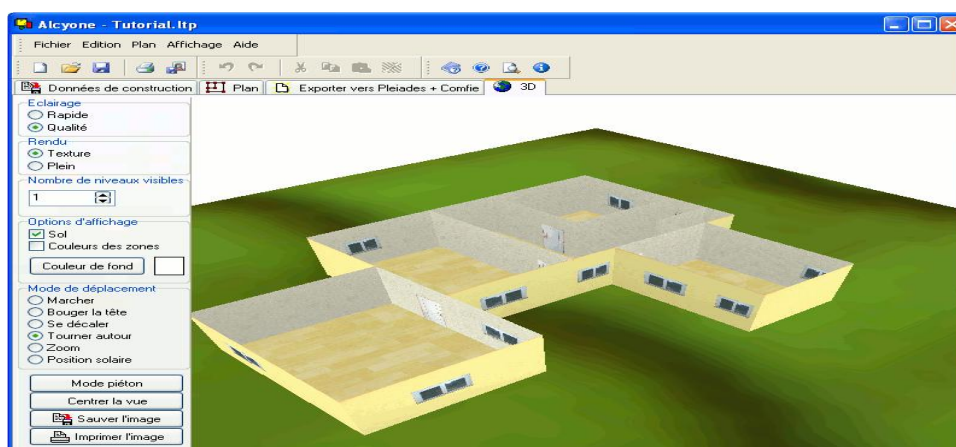


Fig.119 : La saisie graphique des projets en 3D par le module ALCYONE (source : IZUBA)

Par ailleurs, ALCYONE, réalise aussi les calculs d'éclairement naturel pour chaque heure de l'année et de facteur de lumière du jour (FLJ) et évalue la validation des exigences des labels HQE et BREEAM sur cette cible (IZUBA). Il assure entre autre :

- Composition et état de surface de chaque type de paroi,
 - type et dimensions des vitrages et des portes,
 - Définition des zones thermiques selon le calcul envisagé (STD, RT 2012, Déperditions)
 - Affectation des scénarios de fonctionnement (occupation, consigne de chauffage, climatisation,...)
 - Affectation des ponts thermiques
 - ponts thermiques.
 - Saisie de plusieurs bâtiments d'un même quartier
- ☐ **PLEIADES** : ce module permet la saisie des caractéristiques des parois matériaux, ouvertures, masques etc., de ses équipements et des scénarios de fonctionnement (occupation, ventilation, consignes de température) et l'affichage des résultats de simulation sous forme graphique (Salomon et al. 2005) .

III.3.3.4 Les modules de fonctionnement associés à CONFIE

Pour un meilleur fonctionnement de l'outil COMFIE, plusieurs modules lui sont associés, il s'agit à titre d'exemple de : Systèmes photovoltaïques, éclairage, chauffe-eau solaire. D'autres modules ont été développés récemment : Bilan d'humidité, pompes à chaleur, mouvement d'air, éclairage détaillé, solaire thermique.

Tous ces modules sont couplés au modèle du bâtiment, objet de l'évaluation, c'est ce couplage d'ailleurs qui crée l'importance de cet outil de simulation permettant ainsi une évaluation pertinente du bâtiment.

La figure suivante récapitule la corrélation entre COMFIE et les modules qui lui sont associés, elle permet également la visualisation des différentes fonctions permises par le cœur de calcul de COMFIE (Fig.120).

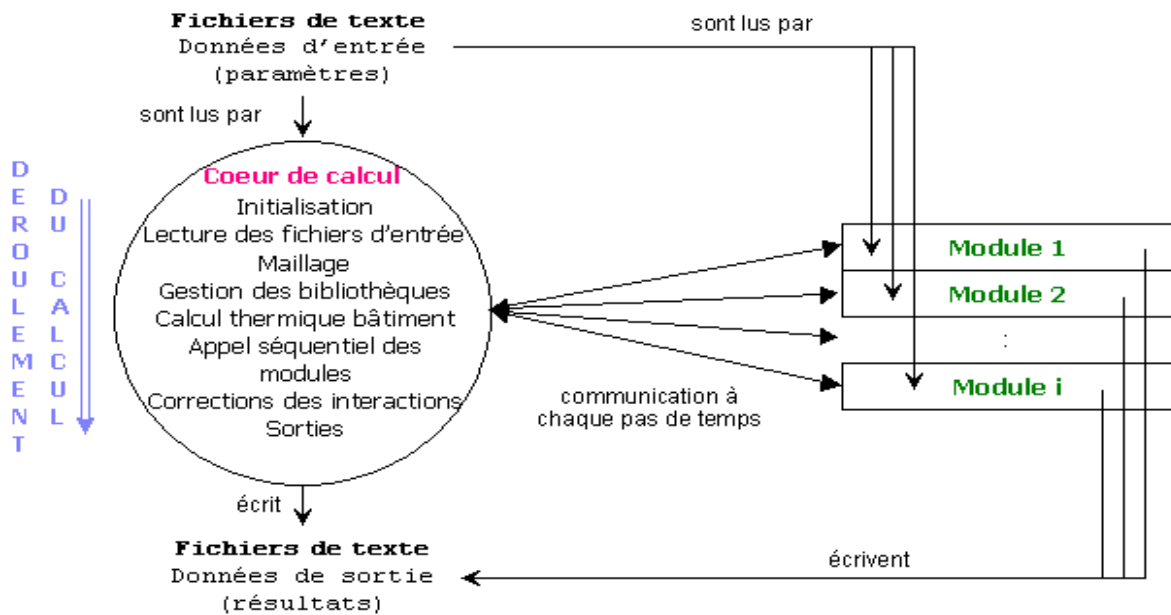


Fig.120 : Corrélation entre le logiciel COMFIE et les modules qui lui sont associés (source : IZUBA)

III.3.4 La corrélation entre les outils

Entre tous les outils de simulation que nous avons présentés précédemment, existe une corrélation assez forte qui permet une description, un traitement et une évaluation pertinente du projet, objet de l'évaluation. Ainsi, la description d'un bâtiment s'effectue à partir des logiciels ALCYONE et PLEIADES-COMFIE.

Pour effectuer l'analyse de cycle de vie d'un projet de bâtiment avec EQUER, il faut d'abord modéliser au préalable le bâtiment via Alcyone, ensuite réaliser une simulation thermique par PLEIADES-COMFIE, en entrant également d'autres données nécessaires au calcul et afférente au bâtiment (scénario de fonctionnement, zonage thermique, matériaux utilisés..etc), ces derniers calculent également les besoins de chauffage et de climatisation, toutes ces données ainsi que d'autres variables supplémentaires (consommation d'eau, gestion des déchets ménagers, tri du verre, du papier, mise en décharge ou incinération, considération du transport ou pas...etc) sont transmises par la suite à EQUER. Des valeurs par défaut sont en outre proposées afin de simplifier la saisie et faciliter l'utilisation de ce logiciel.

La figure suivante récapitule la corrélation entre tous les outils de simulations en question (Fig.121)

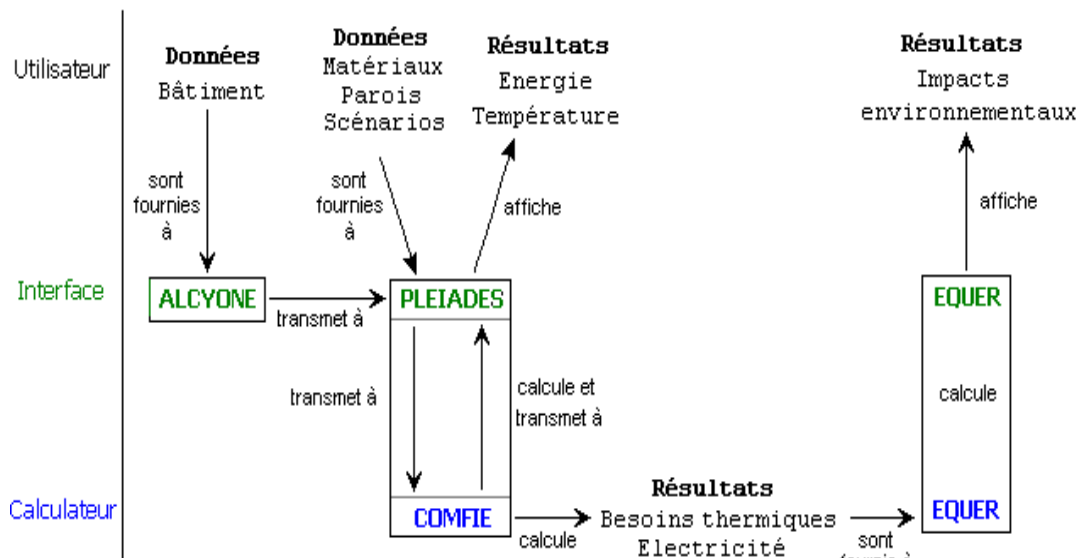


Fig.121 : Structure de la suite logicielle Alcyone/Pléiades+Comfie/Equer (source : Thiers, 2008).

III.3.5 Validation des logiciels

III.3.5.1 Études comparatives du logiciel EQUER

Les résultats d'EQUER ont été comparés à 7 autres outils européens dans le cadre du réseau thématique PRESCO³⁹. Dans le cas d'une maison à ossature bois par exemple, un écart de +/- 10% entre les outils a été constaté sur les émissions de gaz à effet de serre, ce qui correspond à l'incertitude généralement obtenue sur les calculs thermiques.

En outre Kellenberger (kellenberger, 2007) s'est intéressé davantage sur cette comparaison à travers trois cas d'étude :

1. La première étude de cas porte sur l'examen d'une structure simple cube en béton armé sans fenêtres et portes, mais avec chauffage électrique. La durée de vie est de 50 années. Les résultats obtenus sont résumés dans les figures suivantes (Fig. 122et Fig.123) :

³⁹Practical Recommendations for Sustainable Construction

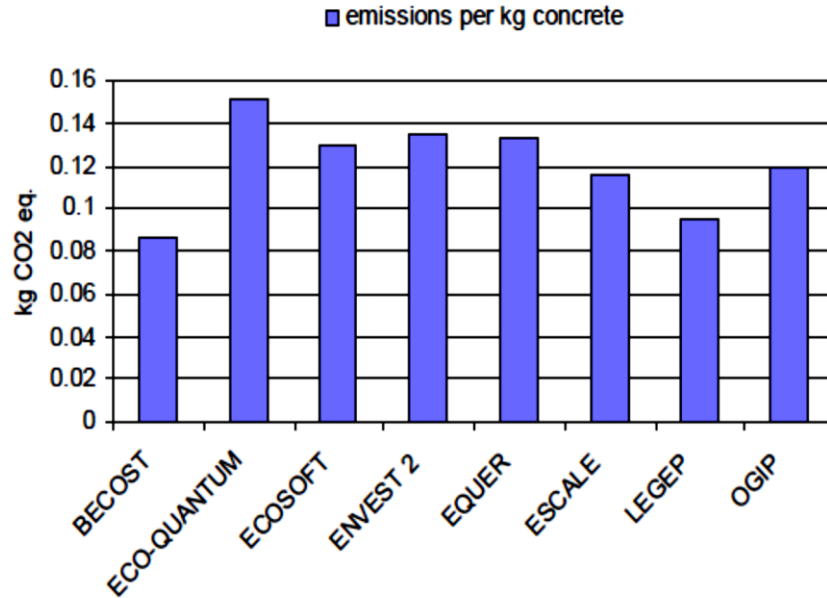


Fig.122 : simulation des gaz à effet de serre de plus de 50 ans à partir de 1 kg de béton (source : (kellenberger, 2007))

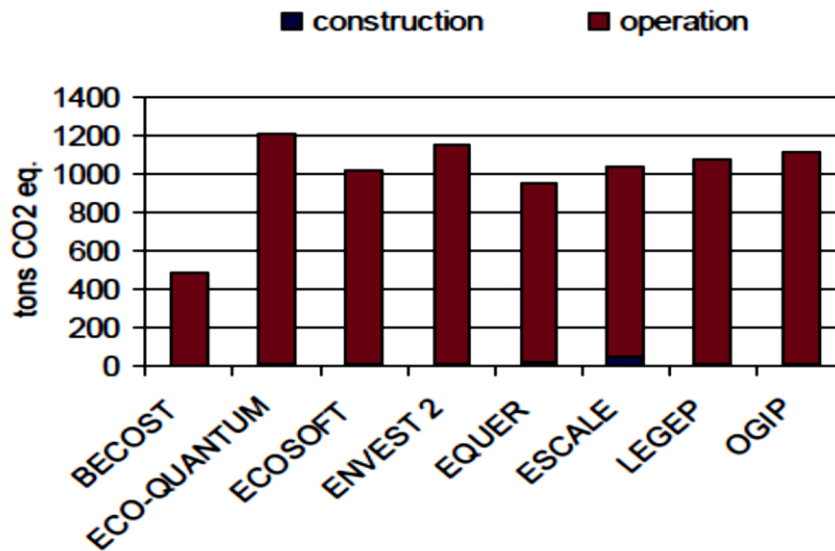


Fig.123 : simulation des gaz à effet de serre de plus de 50 ans à partir d'une structure cubique simple source : (kellenberger, 2007)

Il s'est avéré une variation de $\pm 20\%$ entre tous les outils pour 1kg de béton, ce qui place EQUER dans le même rang de fiabilité que les autres logiciels.

2. Le deuxième cas d'étude s'est porté sur une maison unifamiliale à basse consommation en suisse, la maison est nommée FUTURA (Fig.124)



Fig.124: la maison Suisse « FUTURA » considérée par l'étude (kellenberger, 2007)

Une description détaillée de l'immeuble était fourni à tous les développeurs de différents outils, qui ont effectué une évaluation du cycle de vie basée sur l'exploitation d'une période de 80 ans, en outre trois matériaux de construction différents (bois, brique, béton) ont été examinées séparément. Les résultats obtenus sont récapitulés dans la figure suivante (Fig. 125)

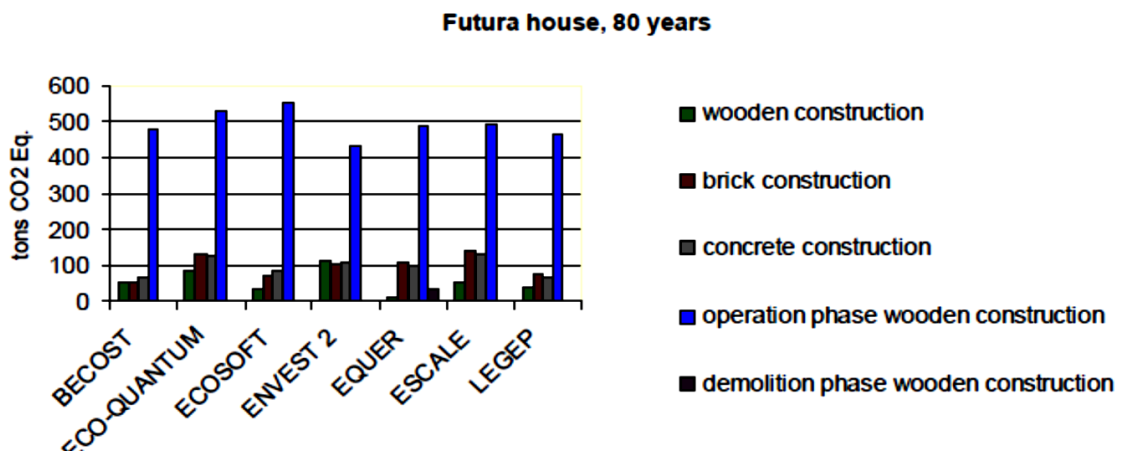


Fig.125 : simulation du potentiel du réchauffement global de la maison « FUTURA » à partir de différents matériaux (kellenberger, 2007)

Explication de la légende

- ♣ Construction en bois : construction complète d'une structure de soutien à ossature bois
- ♣ Construction en brique : bâtiment avec une structure de support de briques
- ♣ Construction en béton : la construction complète d'une structure de support en béton armé
- ♣ Phase d'exploitation construction en bois : phase d'exploitation pour tous les types de bâtiments comme ils ont les mêmes pertes de chaleur
- ♣ Phase de démolition construction en bois : seulement différent pour la construction d'une structure de soutien à ossature bois

- Tous les outils d'évaluation, à l'exception de ENVEST ont montré que la construction en bois a produit l'effet de serre le plus bas
- Les Résultats pour la brique et le béton étaient semblables.
- Pendant la phase d'utilisation, les émissions étaient similaires pour les trois types de construction

- Les émissions provenant de la phase d'exploitation du bois de la maison encadrée étaient similaires pour les 7 outils (+/- 5% autour de la valeur moyenne).
- Tous les outils ont indiqué que la phase d'utilisation produit une plus grande émission des gaz à effet de serre que les phases de constructions ou de démolition.

Ainsi, toutes ces études confirment la fiabilité de EQUER dans le contexte de l'ACV, actuellement ce logiciel a connu une évolution vers novaEQUER, ce dernier est capable désormais de réaliser une ACV à l'échelle du quartier.

III.3.5.2 Études comparatives du logiciel COMFIE

COMFIE a passé avec succès plusieurs types de validation, nous les résumons en ceci :

1. BANC D'ESSAIS DE L'AICVF⁴⁰

Suite aux directives de EDF (fournisseur d'électricité et de gaz en France) et l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie, un banc d'essais de logiciels pour le calcul des charges de climatisation a été réalisé, cela a concerné 12 logiciels qui ont simulé un bâtiment bizones avec une zone très solarisée et une autre soumise à des apports internes variables avec différents scénarios (Peuportier, 2005) :

- cas 1 : climatisation des deux zones à 21°C,
- cas 2 : prise en compte d'un vitrage en toiture de la zone 1,
- cas 3 : prise en compte de stores extérieurs,
- cas 4 : zone 1 climatisée à 25°C et zone 2 à 21°C,
- cas 5 : zone 1 non climatisée et zone 2 climatisée à 21°C.

Les résultats obtenus sont récapitulés dans la figure ci-dessous (Fig. 126)

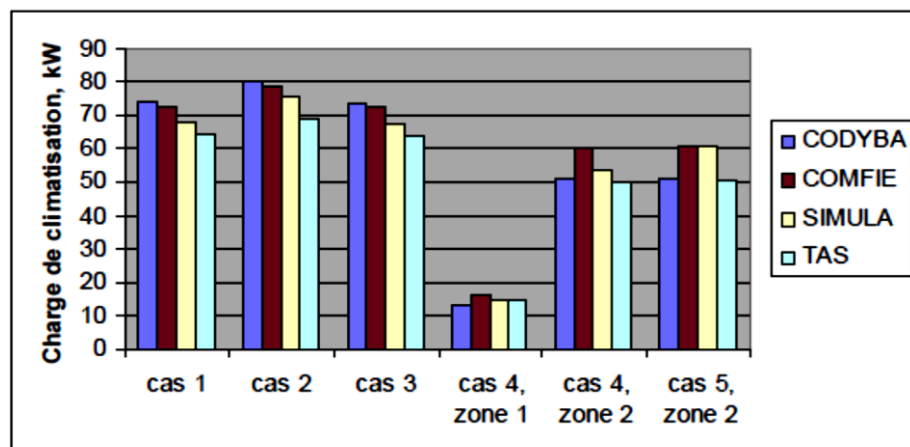


Fig.126 : Comparaison des charges de climatisation selon différents logiciels (Peuportier, 2005)

⁴⁰ Association des Ingénieurs en Climatologie, Ventilation et Froid,

Nous constatons que les résultats de COMFIE sont assez proches de ceux des autres logiciels

2. Une autre étude s'est portée sur la comparaison d'outils de simulation thermique des bâtiments qui a été appliquée sur COMFIE-PLEIADES en simulant une série de cas et dont les résultats ont été comparés par la suite à ceux d'autres logiciels.

Le cas d'étude de base correspondait à un bâtiment parallélépipédique de 48m², Le bâtiment est chauffé à 20°C et refroidi à 27°C, il est situé dans un climat sec et chaud (les données climatiques sont fournies avec la norme). La résistance thermique des murs est de 1.94 m².K/W, le taux de renouvellement d'air est de 0.5 volume par heure, les apports internes de chaleur sont de 200 W.(Peuortier, 2005). Les résultats obtenus en matière des besoins annuels de chauffage sont dans la figure suivante (Fig.127).

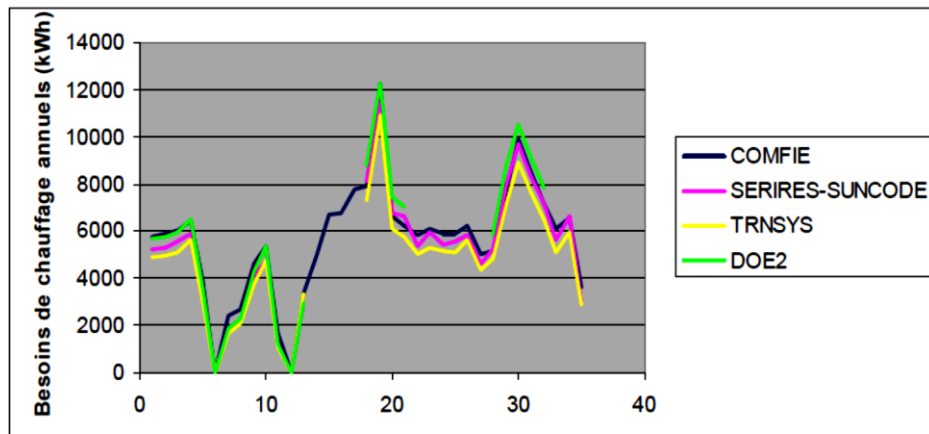


Fig.127 : comparaison des besoins annuels de chauffage du bâtiment selon différents logiciels (Peuortier, 2005)

On remarque que les écarts entre les différents logiciels sont assez faibles, 10% par rapport à DEO-2 et SERIRES, 16% par rapport à TRNSYS,

Les résultats obtenus en matière des besoins de climatisation sont dans la figure suivante (Fig.128)

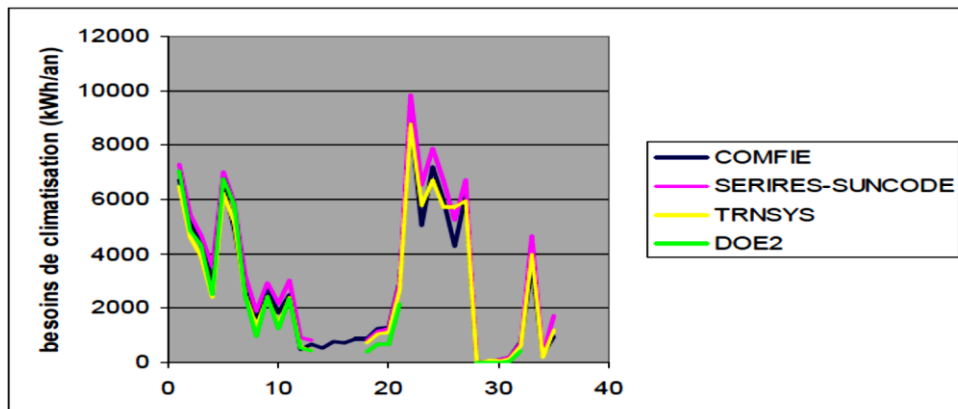


Fig.128 : comparaison des besoins annuels de climatisation du bâtiment selon différents logiciels (Peuortier, 2005)

On remarque que les écarts sont de 15% avec TRNSYS et SERI-RES, ce qui confirme encore une fois la validité et la fiabilité de notre logiciel.

3. Nous citons enfin une dernière étude réalisée par Peuportier dans le cadre de fiabilité et analyse d'incertitude en simulation de ces logiciels sur des maisons expérimentales performantes de la plateforme INCAS (Fig.129)



Béton banché

double mur

ossature bois

Fig. 129 : différentes variantes des maisons expérimentales de la plateforme INCAS (Peuportier, 2015)

Les résultats de l'étude sur la maison double mur en matière des besoins de chauffage et le profil de température sont illustrés dans les figures suivantes (Fig.130 et Fig.131)

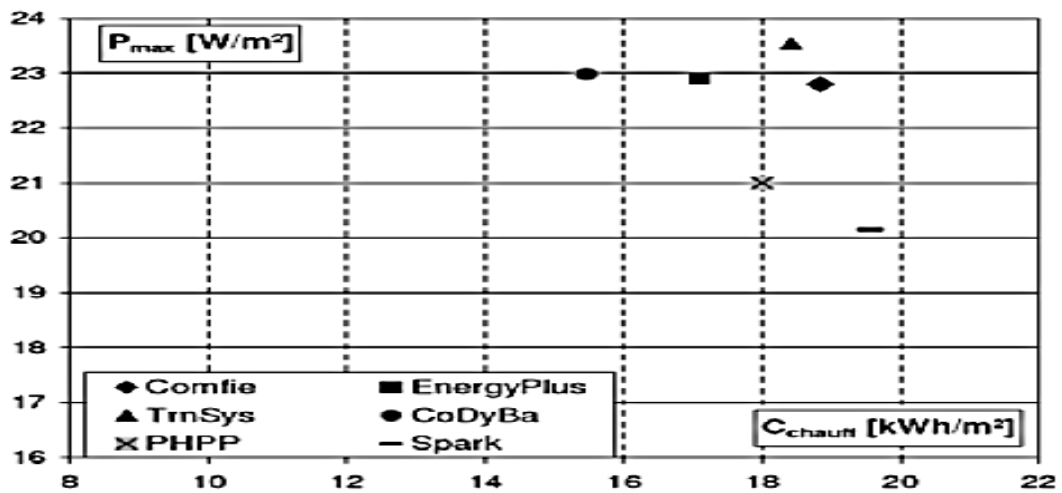


Fig.130 : Comparaison des besoins de chauffage et les puissances maximales (Peuportier, 2015)

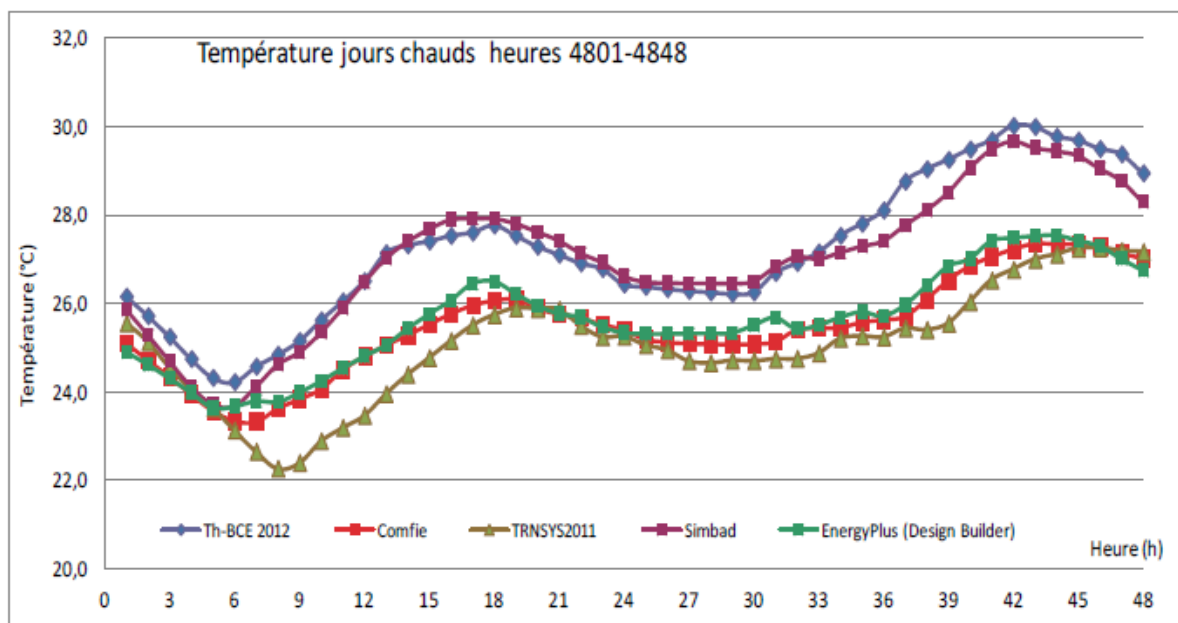


Fig.131: profil de température en été pour le RDC selon différents logiciels (Peuportier, 2015)

Nous constatons dans les deux figures que les résultats de Comfie et EnergyPlus sont assez proches, ce qui valide encore une fois la fiabilité de ce logiciel.

CONCLUSION

Nous avons pu dans ce chapitre définir et quantifier les indicateurs associés à nos trois thèmes ce qui va nous permettre ultérieurement lors de l'application de la méthode en grandeur nature de mener une évaluation comparative qui permettra aux utilisateurs de la méthode de retenir la variante la moins génératrice d'impacts environnementaux.

Notre méthode se caractérise par une fluidité qui lui permet d'être applicable sur d'autres types de bâtiments, et permet aux utilisateurs, en outre, de rajouter, le cas échéant, d'autres aspects qui n'ont pas été retenus par notre méthode sous forme d'indicateurs ou de critère d'indicateur. Elle se caractérise également par une simplicité et une facilité d'utilisation, une compréhensibilité, une transparence et une grande lisibilité, même en ce qui concerne l'agrégation des critères.

Signalons toutefois la consommation considérable du facteur temps pour le calcul des indicateurs, pour cette raison, nous proposons d'intégrer toute la méthode dans un logiciel informatique qui calculera selon les étapes de cette dernière toutes les valeurs des indicateurs.

Nous présentons dans la dernière partie qui suit, l'application de notre méthode sur nos cas d'étude ; c'est de l'évaluation de ces derniers qu'on aboutira à l'écoconception du bâtiment touristique.

Troisième partie

APPLICATION DE LA METHODE ET RESULTATS OBTENUS

« Attendre d'en savoir assez pour agir en toute lumière, c'est se condamner à l'inaction »

Jean Rostand

Introduction à la troisième partie

A

l'issu de ce travail, nous allons confronter notre méthode à des cas d'étude qui diffèrent par les types d'enveloppes qui les constituent, en effet, il s'agit de trois bâtiment hôteliers, l'un à enveloppe traditionnelle, le second à enveloppe standard alors que le dernier est un bâtiment à basse consommation, ce dernier jouera le rôle d'une référence aux deux premiers.

Dans un premier temps, à travers le chapitre IV, nous présenterons nos cas d'étude, les protocoles des campagnes d'enquête et de mesures qui précèdera leur application en grandeur nature et les résultats obtenus.

Dans un second temps, le dernier chapitre V va être consacré à la simulation dynamique multizone et à ses résultats.

Ainsi à partir des résultats obtenus des mesures, de l'enquête et de la simulation, nous procèderons au calcul de nos quinze indicateurs selon les formules élaborées dans notre méthode.

CHAPITRE V :

ETUDE DE CAS, MESURES ET ENQUETE

Tout problème, grave ou futile, peut être liquidé par l'application d'une méthode, toujours identique, qui consiste à opposer deux vues traditionnelles de la question ; à introduire la première par les justifications du sens commun, puis à les détruire au moyen de la seconde ; enfin à les renvoyer dos à dos grâce à une troisième qui révèle le caractère également partiel des deux autres, ramenés par des artifices de vocabulaire aux aspects complémentaires d'une même réalité : forme et fond, contenant et contenu, être et paraître, continu et discontinu, essence et existence.

Claude Lévi-Strauss

INTRODUCTION

Ce chapitre va être consacré à la campagne d'enquête et de mesures, mais d'abord, nous présentons leur protocole, à l'issue de cette étude, nous présenterons les résultats obtenus et leurs interprétations susceptibles d'apporter les éléments de réponse à notre problématique.

III. ETUDE DE CAS– SYNOPTIQUES DES MESURES ET D'ENQUETE

Cette première section sera consacrée à la présentation et étude des projets hôteliers que nous avons retenus pour l'application de notre méthode et les raisons qui nous ont poussées à ce choix. Elle traitera d'autre part, les grands axes des campagnes de mesure et d'enquête que nous avons réalisées dans les projets d'étude.

I.1 PRESENTATION DES PROJETS HOTELIERS

Pour l'application de notre méthode en grandeur nature, nous avons choisi deux projets hôteliers, l'un colonial à enveloppe traditionnelle se trouvant au plein centre d'Alger, et un second, contemporain à enveloppe standard se situant au centre périphérique de Blida, ces deux bâtiments seront confrontés à un troisième bâtiment référentiel de basse consommation (BBC).

I.1.1 Premier cas d'étude : l'hôtel ES-SAFIR

Ce premier projet hôtelier a été érigé en 1930, à l'occasion des fêtes du centenaire de la colonisation française, l'ex-hôtel Aletti, aujourd'hui Es-Safir, est idéalement situé au plein centre d'Alger, sur le front de mer et surplombe le port et la gare ferroviaire.

Il dispose de 150 chambres dont certaines offrent une splendide vue sur la mer et le port. Vue du ciel, l'hôtel Es-Safir occupe une place centrale et stratégique dans l'agglomération d'Alger, en effet, il est entouré de places de référence (Place de l'Emir Abdelkader et Place Port Said) et des plus importants bâtiments et grandes artères commerciales de la capitale (l'APN, le Conseil de la Nation, la Grande Poste et le Palais du Gouvernement), en outre il se situe tout près de la gare et du port d'Alger (Fig. 132 et Fig. 133)



Fig. 132: Plan de situation de l'hôtel Es-Safir (source : Google earth)



Fig. 133 : Plan de masse de l'hôtel Es-Safir (source : Google earth)

L'hôtel se compose de 150 chambres de plus de 300 places, la répartition des différents espaces de l'hôtel est présentée dans les différentes figures d'au-dessous (Fig. 134, Fig.135, Fig.136 et Fig.137)

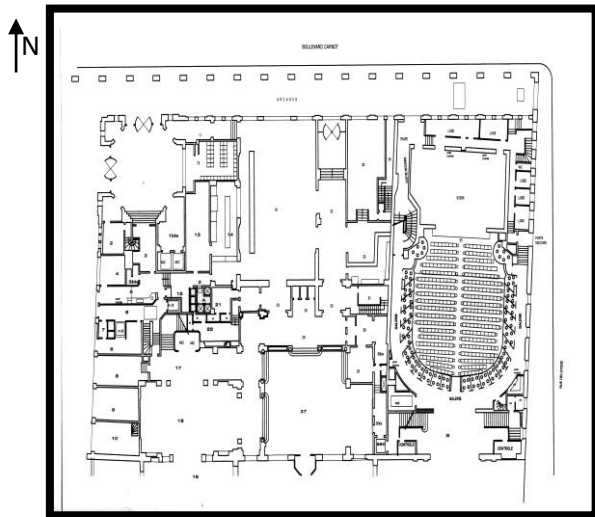


Fig. 134 : Plan RDC 4.20m

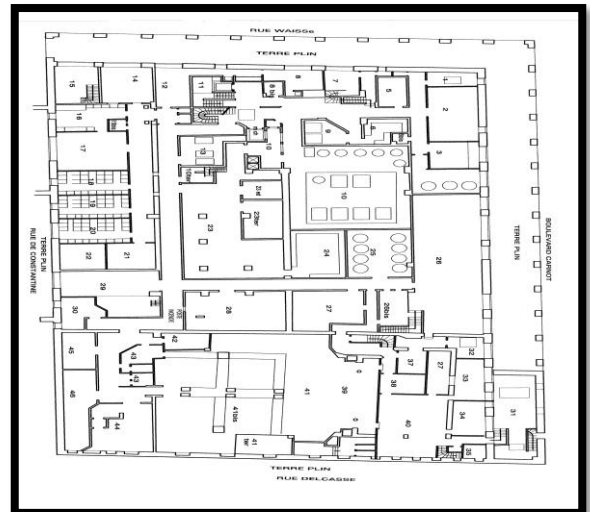


Fig. 135 : Plan du 1^{er} étage 4.20m

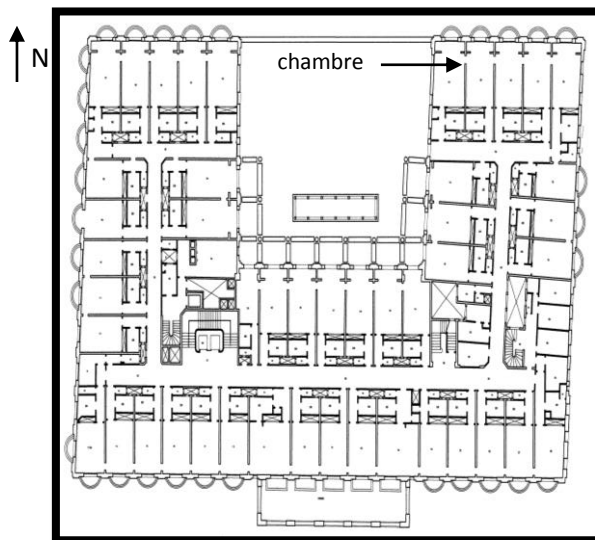


Fig. 136 : Plan du 2^{ème} étage 4.20m

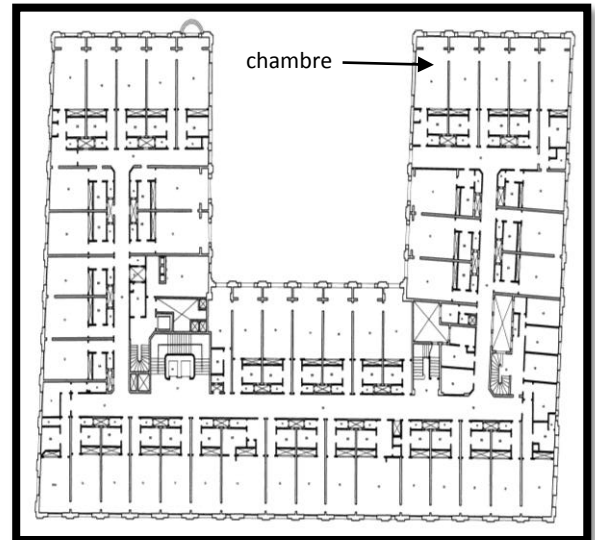


Fig. 137 : Plan de l'étage courant 4.20m

Nous présentons ci-dessous (Fig.138 et Fig. 139) quelques photos illustratives sur l'environnement extérieur et intérieur de l'hôtel Es-Safir. Ses façades reflètent le contexte architectural colonial auquel il appartient avec ses corniches, ses consoles et l'appareillage de pierres et sans oublier les arcades considérée comme une empreinte typique de l'architecture coloniale, la façade postérieure donne en outre sur le port d'Alger ; une vue panoramique qui lui apporte un attrait particulier.



Fig.138 : Façades et environnement extérieur de l'hôtel Es-Safir



Fig. 139: Espaces intérieurs de l'hôtel

I.1.2 Second cas d'étude : l'hôtel « Les roses »

Le second hôtel que nous avons retenu pour l'application de notre méthode se situe au centre périphérique de la ville de Blida qui est distante de 45km d'Alger. Il se positionne sur le boulevard Mohamed Boudiaf. (Fig. 140 et Fig. 141), cette situation lui procure un aspect attrayant et une synergie avec son propre environnement. En outre, il se présente comme un bâtiment phare avec ses huit étages vis-à-vis des bâtiments dénudés d'une architecture spécifique qui l'environnent.

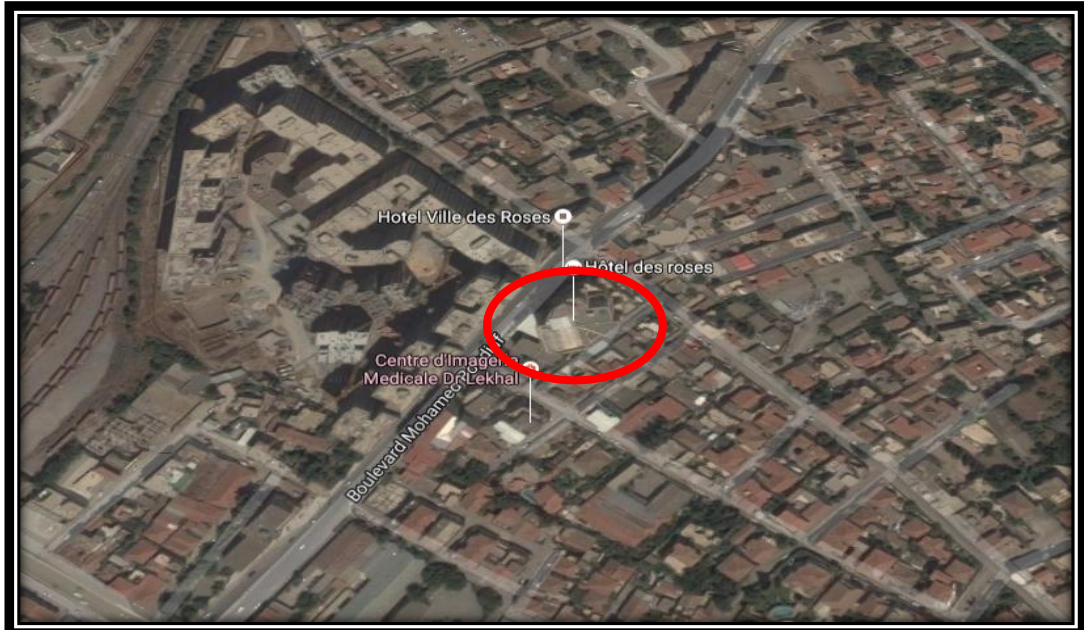


Fig. 140: Situation de l'hôtel « Les roses » (source : Google earth)⁴¹



Fig. 141 : Plan de masse de l'hôtel « Les roses » (source : Google earth)⁴²

L'architecture de cet hôtel est illustrée à travers les plans que nous présentons dans ce qui suit (Fig.142, Fig. 143, Fig. 144, Fig. 145, Fig. 146 et, Fig. 147)

⁴¹ et ⁴² image actualisée en 2016

:

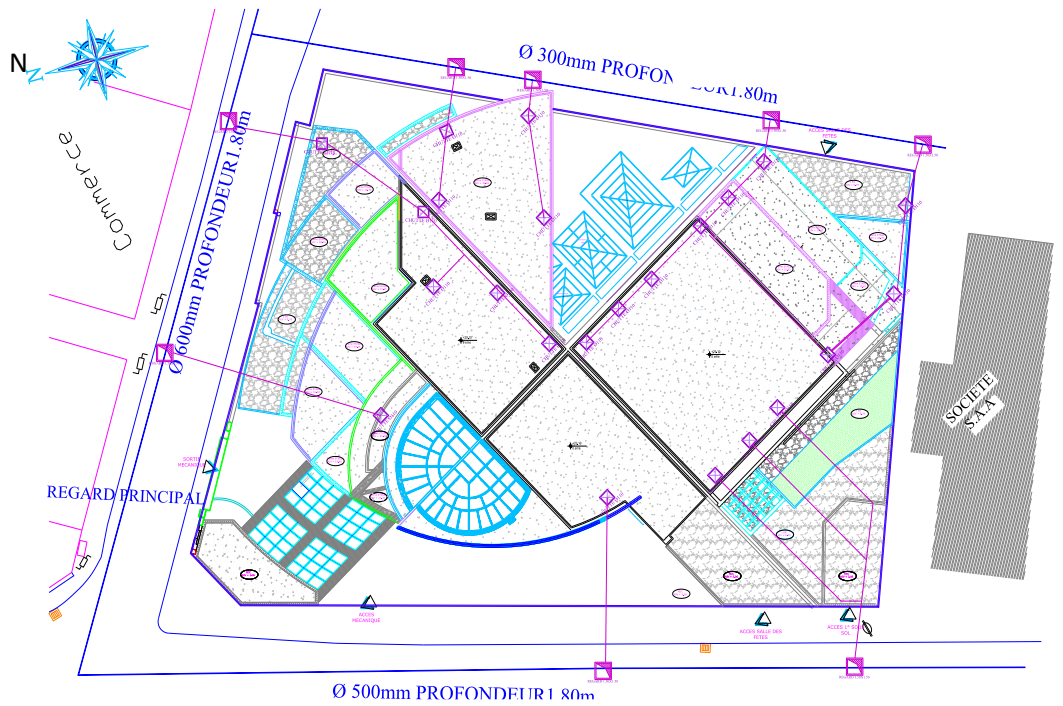


Fig.142: Plan de toiture de l'hôtel « Les roses » 4.50m

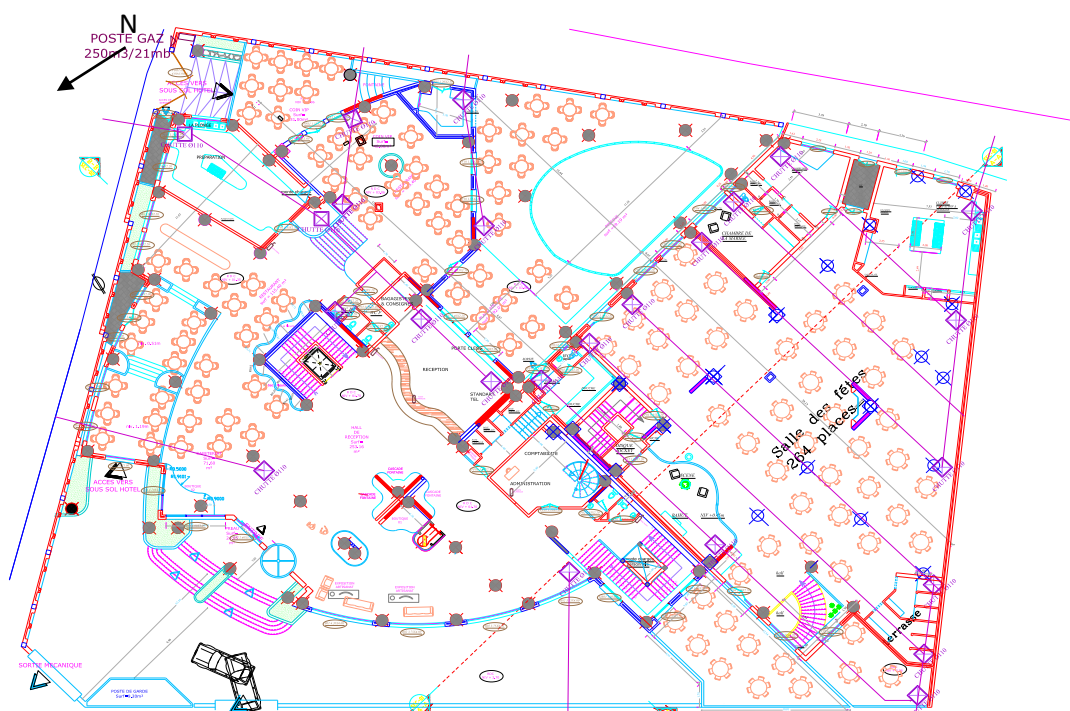


Fig. 143 : Plan du RDC de l'hôtel « Les roses » 4.50m

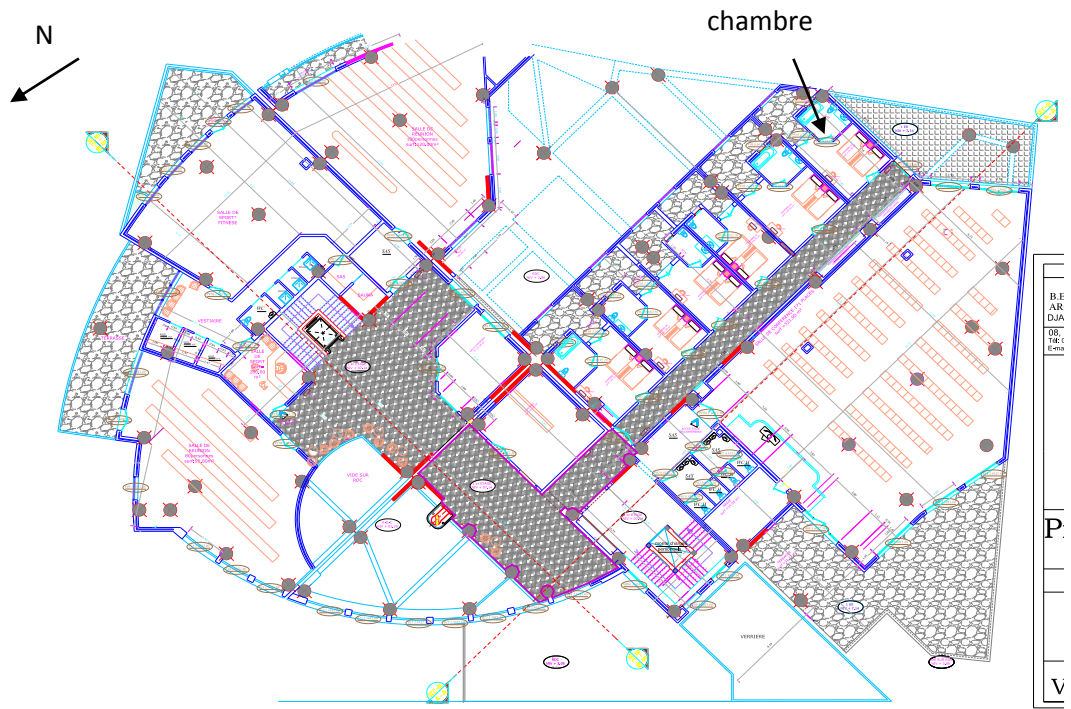


Fig.144: Plan du 1^{er} étage de l'hôtel « Les roses » 4.50m

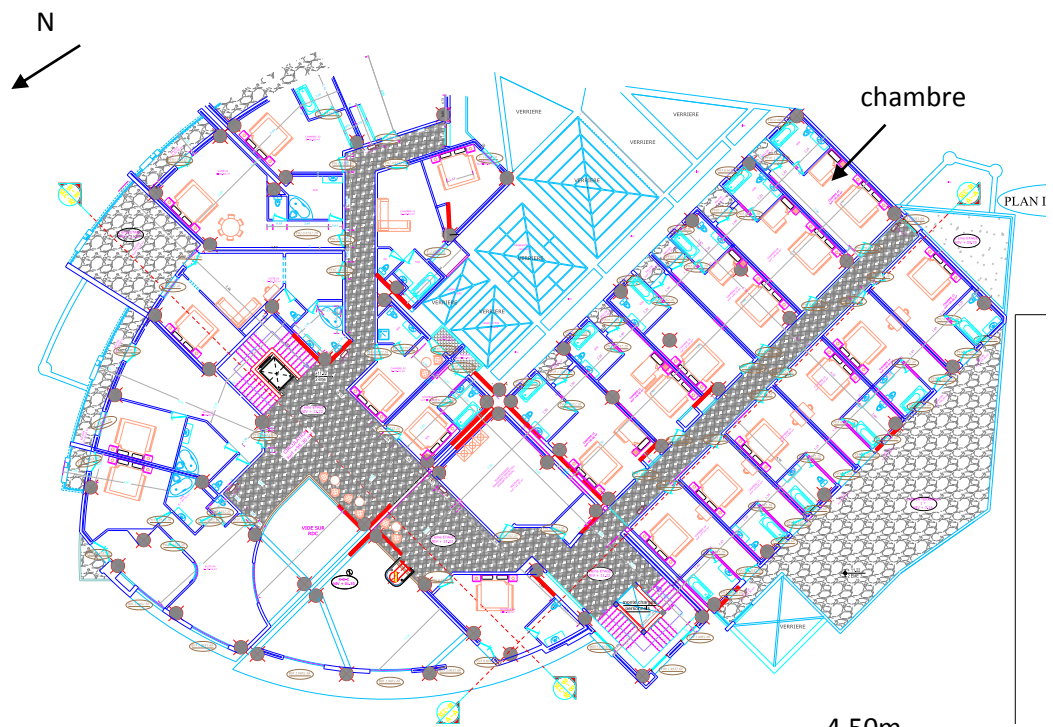


Fig.145 : Plan du 2^{ème} étage de l'hôtel « Les roses » 4.50m

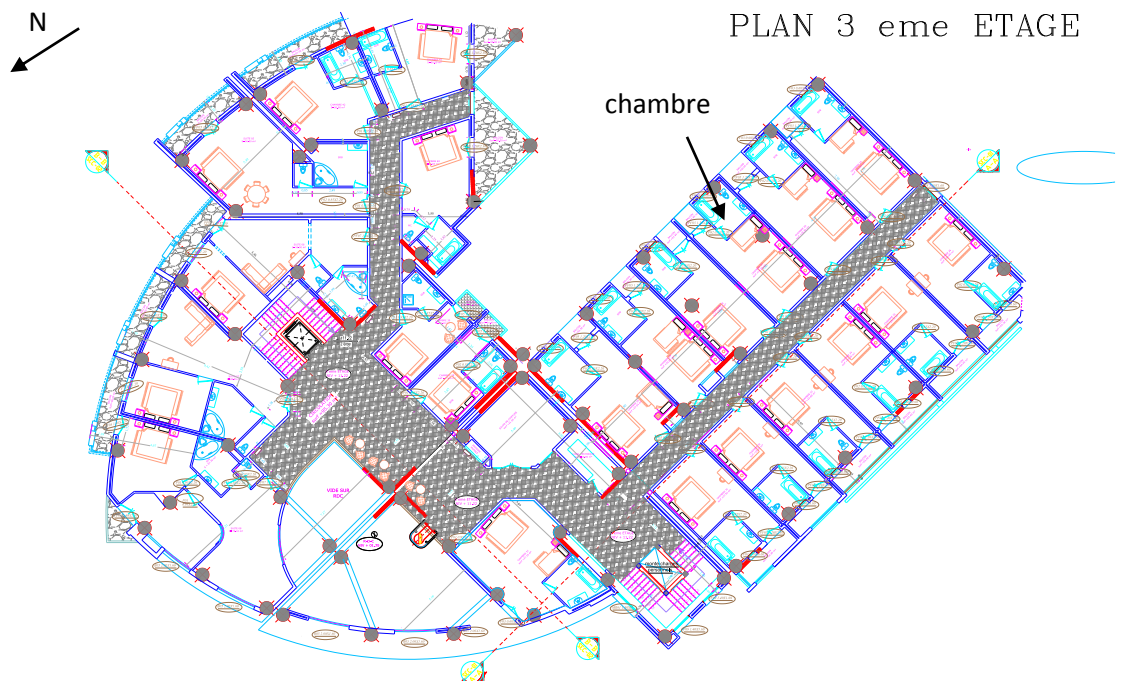


Fig. 146 : Plan du 3^{ème} étage de l'hôtel « Les roses » 4.50m

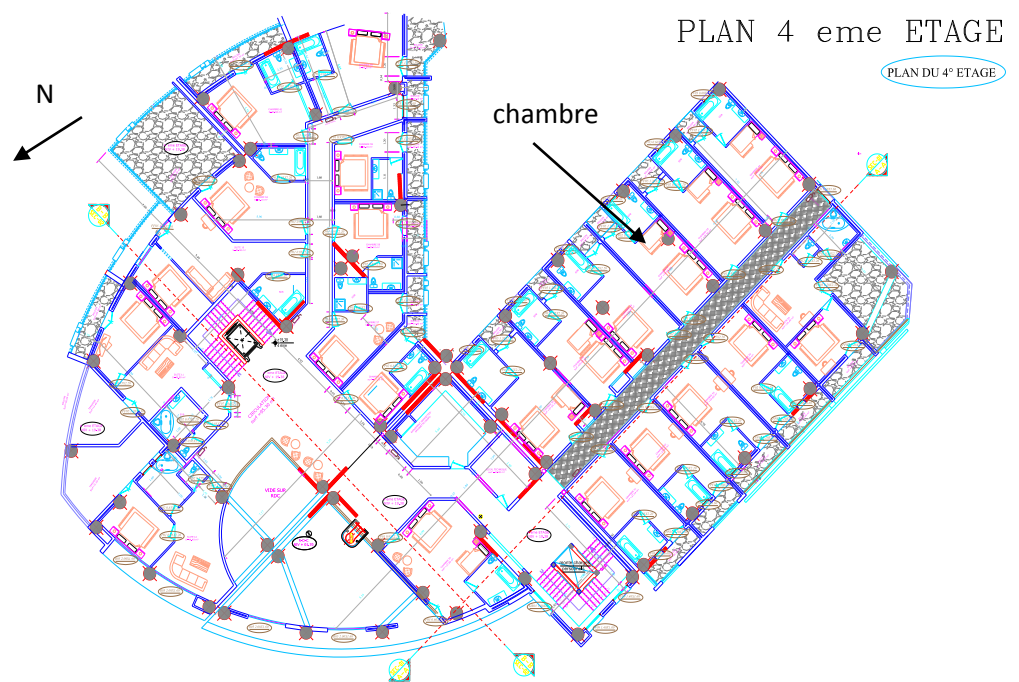


Fig.147: Plan du 4^{ème} étage de l'hôtel « Les roses » 4.50m

Les principaux espaces composants cet hôtel sont les suivants :

- Salle des fêtes d'une superficie de 417.21m² ;
- Restaurant au RDC de 200 m² ;

- Une salle de conférence de 115 places de 230 m² ;
- Une cafétéria de 135 m² ;
- Une piscine de 51.15 m² ;
- Un restaurant au 8^{ème} étage de 235.15 m² ; Et incontestablement des chambres et des suites.

Les figures suivantes (Fig 148 et Fig 149) illustrent des vues d'extérieur et d'intérieur de cet hôtel.



Fig. 148: Façade et entrée principales de l'hôtel



Fig. 149 : Vue sur l'intérieur de l'hôtel

I.1.3 Troisième cas d'étude : l'hôtel « Golden tulipes »

Cet hôtel est un bâtiment à basse consommation (BBC), il se situe au parc technologique à Saint-Priest et porte le nom de « Golden tulipes », il a été conçu par un architecte spécialiste de la HQE, (Hervé Vincent) auprès d'une équipe pluridisciplinaire traitant les volets énergétique, économique, la HQE, et sans oublier structure et VRD. Il s'agit d'un hôtel 3* destiné essentiellement à une clientèle professionnelle en déplacement, il se compose de :

- 123 chambres dont 2 suites ;
- Un centre de séminaire de 500m² ;
- Un restaurant de 100 couverts ;
- Un bar et une salle de remise en forme.

L'insertion de cet hôtel dans son propre environnement est illustrée via la figure suivante (Fig. 150 et Fig.151).

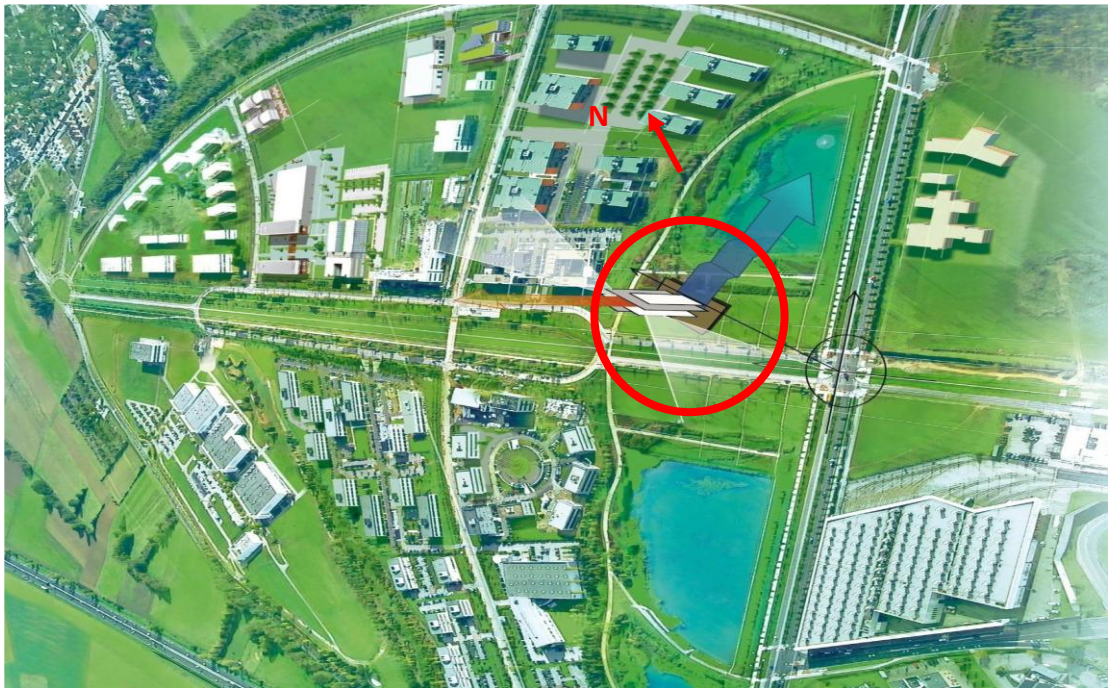


Fig. 150 : Plan d'implantation de l'hôtel BBC (source : Vincent, 2009)



Fig.151 : Plan de masse de l'hôtel BBC (source : Vincent, 2009)

Ce projet qui reflète une architecture née véritablement du milieu géologique, est conçu comme une émergence granitique, taillé pertinemment, Cet hôtel s'intègre parfaitement dans son propre environnement, avec ses huit étages, qui mettent davantage une volumétrie tripartite accentuant une empreinte architecturale particulière rappelant l'environnement duquel elle s'est émergée (Fig. 152).

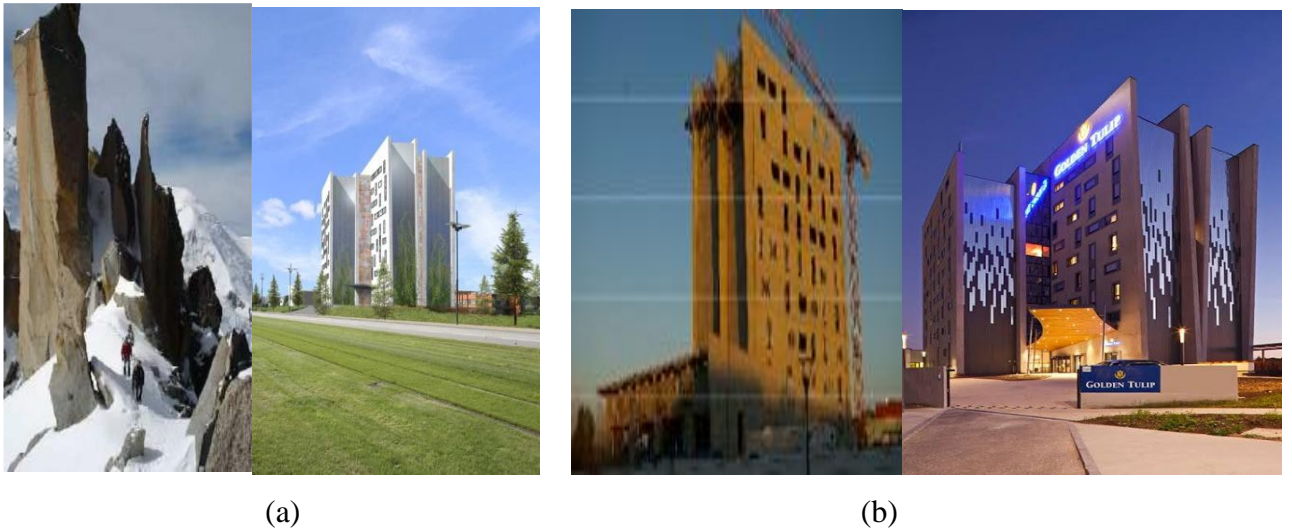


Fig.152 : L'idée conceptuelle qui s'émerge de la nature (a) et la réalisation concrète du projet (b) (source : Vincent, 2009)

La répartition spatiale verticale et horizontale de l'hôtel BBC est illustrée à travers les plans suivants (Fig.153, Fig.154.et Fig.155).



Fig. 153 : Coupe verticale de l'hôtel BBC (source : Vincent, 2009)

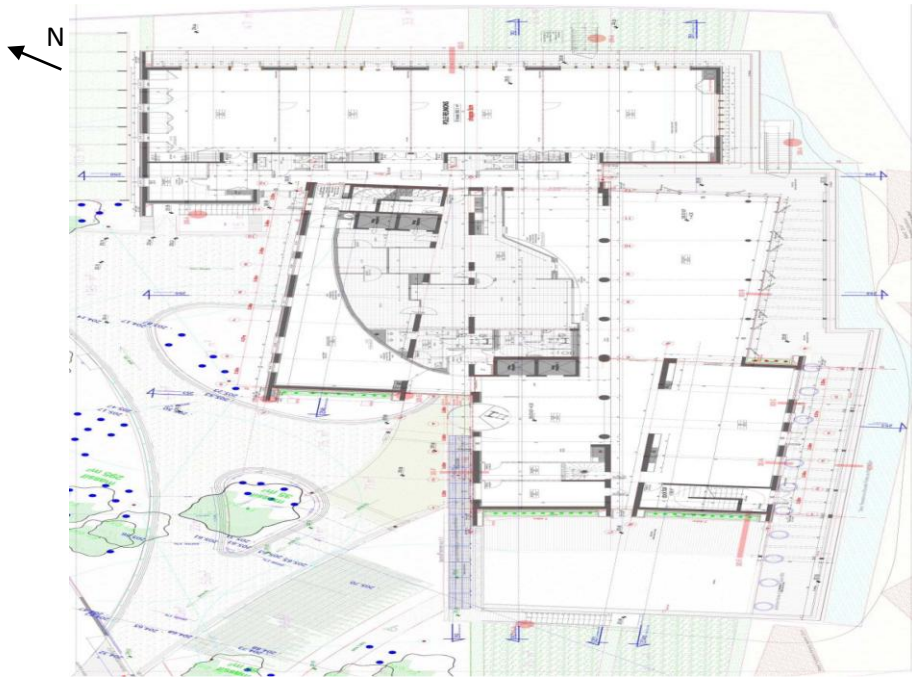


Fig. 154: Plan du RDC de l'hôtel BBC (source : Vincent, 2009) ← 4.20m →



Fig.155 : Plan de l'étage courant de l'hôtel BBC (source : Vincent, 2009) ← 4.20m →

I.1.3.1 Les points techniques de l'hôtel

L'hôtel BBC est de conception bioclimatique à basse consommation, il importe à cet effet d'exhiber les points techniques liés à sa conception, afin de pouvoir apporter ultérieurement une comparaison pertinente avec nos cas d'étude précédents qui ne sont pas de conception bioclimatique (Vincent, 2009) :

I.1.3.1.a l'eau chaude sanitaire (ECS)

- Un prototype de générateur d'ECS basé sur une pompe à chaleur dont la source chaude est la collecte des eaux usées des chambres.

I.1.3.1.b chauffage et ventilation

□ Une enveloppe performante :

- Compacité ;
- Isolation très poussée 20 cm (12 cm extérieur et 8 intérieur $U < 0,16 \text{ W/m}^2\text{°C}$) ;
- Résistance en toiture de $7,5 \text{ m}^2\text{°C/W}$ (20 cm de polyuréthane $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{°C}$) ;
- Résistance en sous face des planchers sur parking de $4,5 \text{ m}^2\text{°C/W}$ (équivalent de 16 cm d'épaisseur $U = 0,23 \text{ W/m}^2\text{°C}$) ;
- Menuiseries extérieures bois capotée d'aluminium ;
- Double vitrage à contrôle solaire peu émissifs à lame d'argon ($U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{°C}$) ;
- Inertie thermique importante (dalles et refends béton) ;
- Attention particulière portée aux ponts thermiques (acrotères et poutres en sous-sol) ;
- Regard particulier sur la perméabilité de l'enveloppe du bâtiment (traitement « à l'allemande » assurant des débits de fuite $< 0,6 \text{ vol/h}$ sous 50 Pa).

□ Une ventilation efficace :

- Ventilation double flux associée à un échangeur à haute efficacité (type échangeur rotatif, qui peut être arrêté en été) ;
- Débit variable (en fonction de l'occupation) ;
- L'air sera aussi le caloporteur en hiver comme en été ;
- Hotte à induction en cuisine (limiter l'impact énergétique / taux de renouvellement d'air très important) ;
- Étude d'un puits canadien (pas arrêté à ce jour).

□ Le chauffage :

- Chaudière bois à granulés de 120kW associée à une chaudière gaz en appoint ;
- Silo de stockage d'un volume de 55 m³ ;

- Émission dans chaque chambre par batteries terminales air/eau ;
- Consommation de chauffage 25 kWh/m²/an.

□ **Le rafraîchissement estival :**

- Ne peut être supprimé pour ce type d'établissement ;
- Aussi minimiser les impacts environnementaux ;
- Limiter la surface vitrée des chambres (15% SV/SHA) ;
- Vitrages performants à contrôle solaire ;
- Occultations solaires très performantes ;
- Réduire les apports internes ;
- Importante inertie ;
- Refroidissement nocturne par ventilation spécifique en free-cooling ;
- Puits canadien optionnel ;
- Groupe à compression fonctionnant à l'ammoniac.

□ **Consommation d'électricité spécifique**

a. Les chambres:

- Suppression des minibars (économie > 600 kWh/chambre/an) ;
- Utilisation de lampes fluo compactes ou à led (économie 200 kWh/chambre/an) ;
- Pas de miroirs chauffants (anti buée) ;
- Coupure totale de l'alimentation de l'ensemble des usages électriques ;
- Par la carte magnétique d'accès à la chambre (possible par absence de minibar, y compris téléviseur) ;
- Remplacement des ventilo-convecteurs par des éjecto-convecteurs ;
- Hélas remplacement des écrans de télévision à écrans cathodiques par des écrans plats (très mauvaise nouvelle pour les énergéticiens).

b. Les services généraux :

- Éclairages des circulations par lampes fluo compactes avec détection de présence (ou tubes fluo T5 avec ballasts électronique) ;
- Éclairage du parking diurne par lumière du jour, nocturne par tubes T5 ou T8 poly phosphore, commande par détecteurs sonores (procédé suédois) ;
- Éclairage de secours par des BAEH du type cathode froide avec gestion de charge optimisée ;
- Ascenseurs avec système de récupération d'énergie sur les trajets habituellement en freinage.

I.1.4 Synthèse des caractéristiques des trois hôtels

Nous récapitulons dans le tableau suivant (Tab. 69) les différentes caractéristiques inhérentes aux hôtels retenus :

Tab. 69 : Caractéristiques principales des hôtels retenus

hôtel	Hôtel traditionnel	Hôtel standard	Hôtel BBC
Nom de l'hôtel	Hôtel Es-Safir	Hôtel Les Roses	Golden tulipes
Situation	Alger centre	Blida	Lyon
Date de construction	1930	2011	2009
Activité	Hôtelière		
Catégorie	4*		3*
Capacité	150 chambres	109 chambres et 14 suites	123 chambres dont 2 suites
Nombre de niveaux	R+4	R+8	R+9
Surface des chambres	16 à 30 m ²	19 à 34 m ²	20 à 30 m ²
Typologie architecturale	Traditionnelle	Contemporaine	Bioclimatique
Structure	Murs-porteurs	Poteaux-poutres	Poteaux-poutres
Principaux matériaux utilisés	Pierre	Brique et béton	Béton
Ouvertures	Portes fenêtre bt en bois, vitrage simple	Portes fenêtre bat en bois, double vitrage 4.6.4	Portes fenêtre en bois capoté d'aluminium, brise soleil, double vitrage performant argon 4.12.4
Chauffage	Gaz	Gaz	Chaudière bois à granulé de 120kw
Système de ventilation	Naturelle Simple	VMC classique modulée	Double flux associée à un échangeur à haute efficacité

I.2 CRITERES DE CHOIX

Les projets hôteliers que nous avons retenus pour l'application de notre méthode en grandeur nature et présentés précédemment, n'ont pas été choisis fortuitement, loin de là, des critères nous ont guidé afin d'aboutir au choix de cette typologie de bâtiments.

Dans un premier temps, nous avons choisi l'activité hôtelière en considérant la conjoncture actuelle en Algérie dont l'économie ne doit plus se focaliser uniquement sur les hydrocarbures mais doit également miser sur l'industrie touristique qui certainement contribuera significativement à l'enrichissement du pays tel que ça été le cas dans les pays du golfe, mais cette industrie doit être corrélée à la durabilité environnementale afin qu'elle soit une vraie source de bénéfices pour notre pays. C'est à partir de cet ensemble de réflexions que nous avons opté pour

ce choix thématique qui s'intéresse à inscrire nos bâtiments hôteliers dans une démarche environnementale.

Par ailleurs, l'élaboration de notre méthode a pour objectif principal l'évaluation des impacts environnementaux engendrés par le bâtiment, mais afin de connaître celui qui génère le plus d'impacts, il est plus pertinent de miser sur différents paramètres pour que nous puissions être objectif dans notre évaluation sans aucune subjectivité, cette réflexion nous a ainsi poussé à choisir trois bâtiments qui diffèrent non seulement de par leurs enveloppes, mais également de par leur scénarios de fonctionnement, leur paramètres climatiques, leur surfaces et leur formes, d'ailleurs ce sont ces différences qui vont nous apporter tous les éléments de réponse à notre problématique. En outre les besoins de réponse à cette problématique vont nous guider à la recherche d'amélioration des bilans à la fois environnemental et énergétique à travers des séries de simulations comparatives entre nos bâtiments et dont le BBC est la référence.

I.3 CONDITIONS CLIMATOLOGIQUES REGNANTS SUR LES TROIS HOTELS

Il importe de connaître les caractéristiques climatiques de nos cas d'étude afin de pouvoir les intégrer dans notre démarche. les caractéristiques en question sont comme suit⁴³ :

L'hôtel Es-Safir et l'hôtel des roses sont sous influence d'un climat méditerranéen, qui se caractérise par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides.

Dans les régions pas trop abritées des influences maritimes tel qu'à Alger, la pluie est bien dominante en hiver contrairement aux mois de chaleur où elle se fait très rare, en outre la douceur des hivers rend la neige très rare sur le littoral, mais l'arrière-pays montagneux comme à Blida, soumis à un climat refroidi par l'altitude, peut connaître des chutes de neige quelquefois abondantes en hiver.

Les températures moyennes en cette saison connaissent une douceur remarquable dans le nord du littoral, mais ; dans l'intérieur des terres (comme à Blida), les températures maximales dépassent très souvent les 30 °C en été, et approchent facilement les 40 °C, en particulier vers l'est ou le sud du bassin, y compris dans les régions montagneuses.

En résumé :

En été :

- Température : sa valeur moyenne maximale varie entre 25 et 38C° (voir 40°c à Blida) le jour et de 16 à 30C° la nuit (voir 32°c à Blida);

⁴³ d'après les données de WIKIPEDIA et de l'office national de la météorologie

- L'humidité : elle est élevée de 70 à 80% ;
- Vents : ils sont faibles pendant cette saison, la brise de mer joue un rôle régulateur et rafraichissant, mais par moments, le sirocco qui est un vent très chaud et sec du sud-est atteint avec du sable la zone méditerranéenne ;
- Ensoleillement : très fort en ciel dégagé.

A. En hiver :

- Température : sa valeur moyenne maximale atteint 8 à 21C° le jour alors que celle moyenne minimale nocturne varie de 0 à 18C° ;
- Précipitations : elles s'élèvent jusqu'à 500mm, très souvent elles atteignent 1000 à 1500mm dans certaines régions ;
- L'humidité : elle est moins importante qu'en été, elle varie entre 60 à 70% ;
- Vents : ils sont variables.

Bien que l'hôtel « Les Roses » et l'hôtel « Es-Safir » appartiennent au climat méditerranéen, mais il s'avère pertinent de considérer les légères différences des paramètres climatiques (à fortiori la température) étant donné que l'un se trouve sur le littoral et l'autre à 45 km de ce dernier. Nous signalons dans ce contexte que nous avons pris en compte ces différences lors des simulations en créant des stations météorologiques spécifiques aux sites de nos bâtiments.

En outre, l'hôtel BBC qui se trouve à Lyon se caractérise par un climat semi-continentale. Les précipitations sont plus importantes en été (dus principalement aux orages relativement fréquents) qu'en hiver, les hivers sont relativement secs et assez froids contrairement aux étés qui sont généralement assez chauds et parfois pluvieux. L'amplitude des températures en journée atteint parfois une vingtaine de degrés, et les températures maximales dépassent parfois les 35 degrés.

En résumé

- Ensoleillement : 1 976 heures par an en moyenne, soit environ 164 jours / an.
- Pluie: 831.9 mm / an. Neige : 20 j / an. Orage: 32 j / an. Brouillard : 39 j / an.
- Températures moyennes estivales:18 °c à 22°c. Températures maximales estivales:27c°à 33c°.
- Températures moyennes hivernales : -4c° à 5c°. Températures minimales hivernales : -9c° à 2c°.

Les valeurs des principaux paramètres climatiques de nos trois variantes sont réunies dans l'annexe (annexe 7) qui résume les températures moyennes et la durée d'insolation via des tableaux afférents à une étape de réalisation des stations météorologiques des variantes en question.

I.4 MOYENS TECHNIQUES MIS EN ŒUVRE

I.4.1 Protocole de la campagne de mesures de la qualité du confort

Afin de mieux cerner le seuil de la qualité du confort à l'intérieur de nos deux bâtiments hôteliers représentant nos cas d'étude, nous avons jugé important de mener une campagne de mesures à l'intérieur de certains de leurs espaces. Cette campagne concerne les différents types du confort intérieur, à savoir, l'hygrothermique, l'aéraulique, l'acoustique et le visuel. Les mesures de cette campagne s'effectueront en 8 séquences horaires toutes les heures (08h-10h, 10h-12h, 12h-14h, 14h-16h, 16h-18h, 18h-20h, 20h-22h, 22h-24h). Celles de l'extérieur ont été puisées à partir de mesures horaires disponibles sur le site (Weatherbase⁴⁴).

I.4.1.1 Les journées de prise

Pour préserver l'objectivité de nos mesures, nous avons choisi quatre journées de prises (deux journées pour chaque hôtel pour les deux saisons) se caractérisant par les mêmes conditions météorologiques anticycloniques afin d'éviter d'éventuelles fluctuations journalières : journées ensoleillées, peu ventées et ciel dégagé ; ces conditions sont nécessaires pour le bon déroulement des mesures à effectuer sur les paramètres climatiques afférents au confort hygrothermique, aéraulique et visuel, le confort acoustique sera mesuré également pendant les mêmes journées et durant les mêmes séquences horaires et cela selon le processus de déroulement suivant :

- Prise de mesure toutes les heures au même point situé dans l'espace A, orienté x ;
- Arrêt des mesures des appareils pour changer les points de mesures ;
- Reprise des mesures pour les autres points de mesures dans l'espace A, orienté x ;
- Prise de mesure au même point dans l'espace B, orienté y ;
- Arrêt des mesures des appareils pour changer les points de mesures ;
- Reprise des mesures de la même manière pour les autres points de mesures dans l'espace B, orienté y ;
- Moyenner toutes les mesures effectuées.

Rappelons encore que les journées de prises sont caractérisées par les mêmes conditions climatiques, en tolérant une variabilité fine éventuellement. Il s'agit des journées suivantes : 05/01/2012 et 13/07/2012 pour le bâtiment traditionnel, 04/01/2012 et 14/07/2012 pour le bâtiment standard. En outre les mesures seront effectuées sans moyens actifs.

⁴⁴disponible sur l'adresse : <http://www.weatherbase.com/>

I.4.1.2 Les paramètres mesurés

Les paramètres à mesurer liés aux différents types de confort (le confort hygrothermique, aéraulique, acoustique et visuel), sont les suivants : La température de l'air ; L'humidité relative ; La vitesse de l'air ; Le niveau d'éclairement ; Le niveau de bruit.

Le tableau ci-dessous (Tab. 70), représente un échantillon de fiche de mesures de ces derniers.

Tab. 70 : Échantillon de fiche de mesure

Points de mesure	Séquence horaire	Tair moy (C°)	HR moy (%)	Vair moy (m/s)	Eclairement (lux)	Nbruit (db)

I.4.1.3 Position et hauteur des mesures

Pour la réalisation des mesures, nous devons choisir des espaces occupés par les usagers, les témoignages de ces derniers accompagnés d'une observation rapide nous ont renseigné sur la typologie de ces espaces, il s'agit des chambres qui illustrent le meilleur espace représentatif d'un bâtiment hôtelier.

Cependant, pour une meilleure objectivité, il importe de considérer les positions et hauteurs des mesures selon les paramètres mesurés :

A. La température, l'humidité et la vitesse de l'air seront mesurées à 1.1m au-dessus du niveau du sol, ce qui correspond à une hauteur compatible avec les activités assises et debout.

Pour ces trois paramètres, les mesures seront effectuées dans deux orientations différentes, le nord et le sud, afin de situer le seuil de confort dans la meilleure objectivité possible.

B. Pour le paramètre du niveau d'éclairement, trois points de mesures seront considérés :

- Le premier au centre de la pièce : l'emplacement du mesurage est à 1.5m de la fenêtre et à 1.3m au-dessus du sol ;
- Le second à côté de la fenêtre : il sera placé à quelques centimètres de la fenêtre et à 1.3m au-dessus du sol ;
- Et le troisième à l'extérieur de la fenêtre : à quelques centimètres du côté extérieur de la fenêtre.

Ces différents points de mesure de l'éclairement intérieur et extérieur nous permettrons par la suite de calculer le FLJ, ce dernier est essentiel dans le calcul de l'indicateur du confort visuel.

C. Pour le niveau des bruits intérieurs, nous allons placer le point de mesure au centre de la pièce à au moins 1m des parois réfléchissantes, à 1.5m de la fenêtre et entre 1,2 m et 1,5 m au-dessus du sol.

I.4.1.4 Objectifs des mesures

Nous pouvons résumer les objectifs de notre campagne de mesures au sein des deux bâtiments hôteliers (hôtel Es-Safir et hôtel Les Roses) en ceci :

- Valider les résultats de l'évaluation des impacts par ACV concernant les paramètres physiques liés au confort aux résultats de ces derniers obtenus via la campagne de mesures ;
- Comparer le seuil de confort d'un bâtiment à enveloppe traditionnelle à celui d'un bâtiment à enveloppe standard ;
- Apporter des arguments pour mieux justifier l'emploi des matériaux traditionnels dans certaines applications ;
- Repérer les zones de surchauffe et froides dans les deux bâtiments hôteliers ;
- Comparer les deux enveloppes des deux bâtiments hôteliers afin de connaître celle qui est la plus performante vis-à-vis des critères de confort ;
- Connaître l'impact de chaque enveloppe sur la qualité du confort sous ses différents aspects ;
- Connaître l'impact de l'inertie thermique sur les fluctuations des températures hivernales et estivales et sur la gestion de chaleur.

Signalons toutefois que la campagne de mesures réalisée apportera une illustration ne serait-ce que partielle sur l'évaluation environnementale, en effet, elle ne pourra pas décrire tous les aspects que nous avons présenté dans le chapitre précédent, à fortiori ceux ayant trait aux indicateurs d'aspects complexes nécessitant l'usage de logiciel.

I.4.1.5 Synoptique de la campagne de mesures

Nous présentons ci-dessous une vue générale sur la campagne de mesures (Fig.156).

Nous signalons que les points de mesure retenus sont présentés dans l'annexe (annexe 2), en outre, les appareils de mesures que nous avons utilisés sont présentés dans l'annexe (annexe 3).

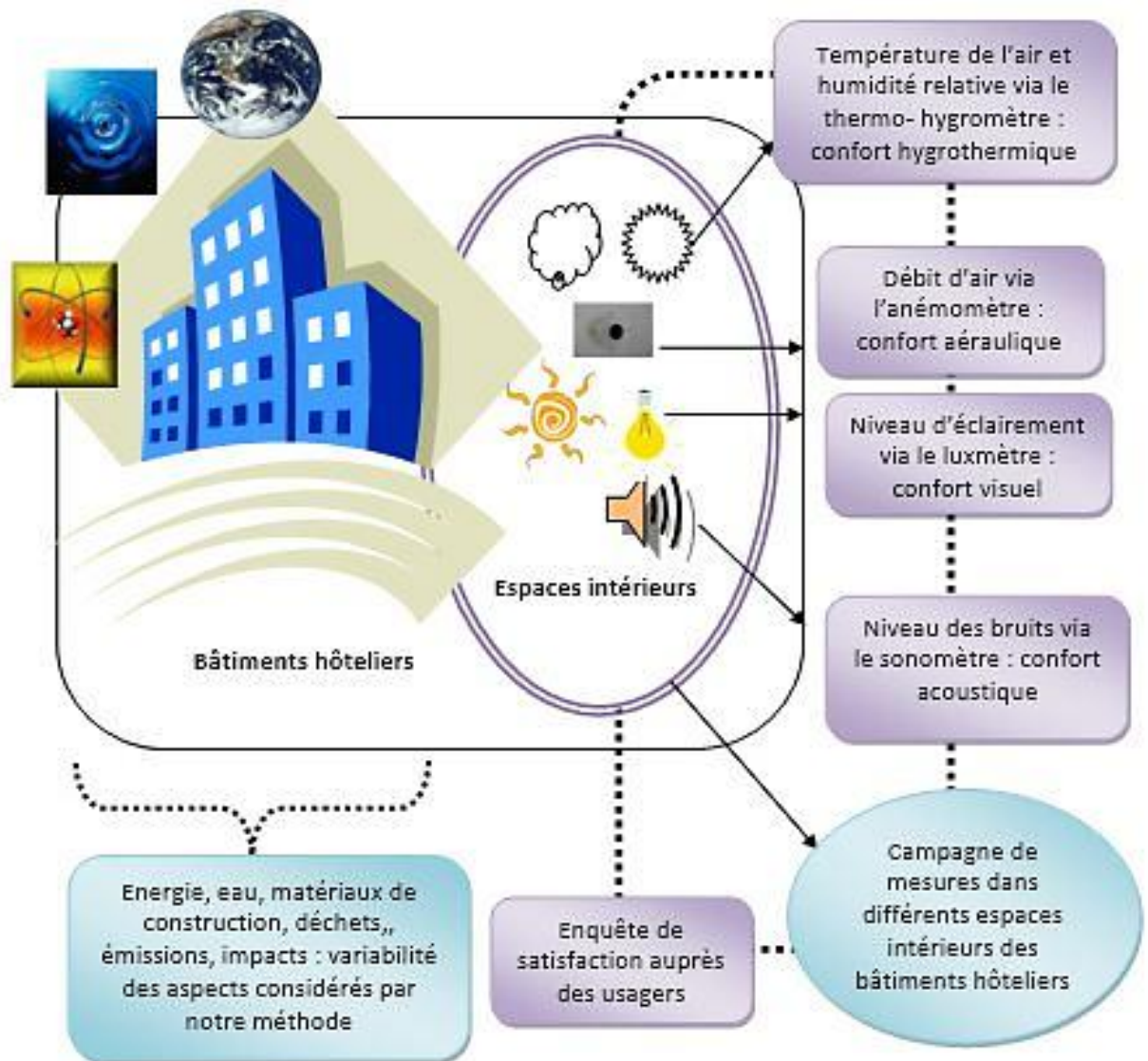


Fig. 156: Synoptique de la campagne de mesure et variabilité des aspects considérés par notre méthode

Nous avons récapitulé par ailleurs, la durée, fréquence et date par type de mesure dans l'annexe (annexe 4)

I.4.2 Protocole de l'enquête auprès des usagers

On esquissera à présent les grandes lignes de la méthodologie d'enquête, en exposant les contours de cette démarche, suivis d'une exhibition des techniques de collecte de données et les procédés d'échantillonnage qui vont nous servir dans notre travail d'enquête et d'évaluation.

I.4.2.1 Principales étapes de l'enquête

L'enquête que nous avons réalisé, s'est déroulée en plusieurs étapes, qui peuvent être résumées dans la figure suivante (Fig. 157):

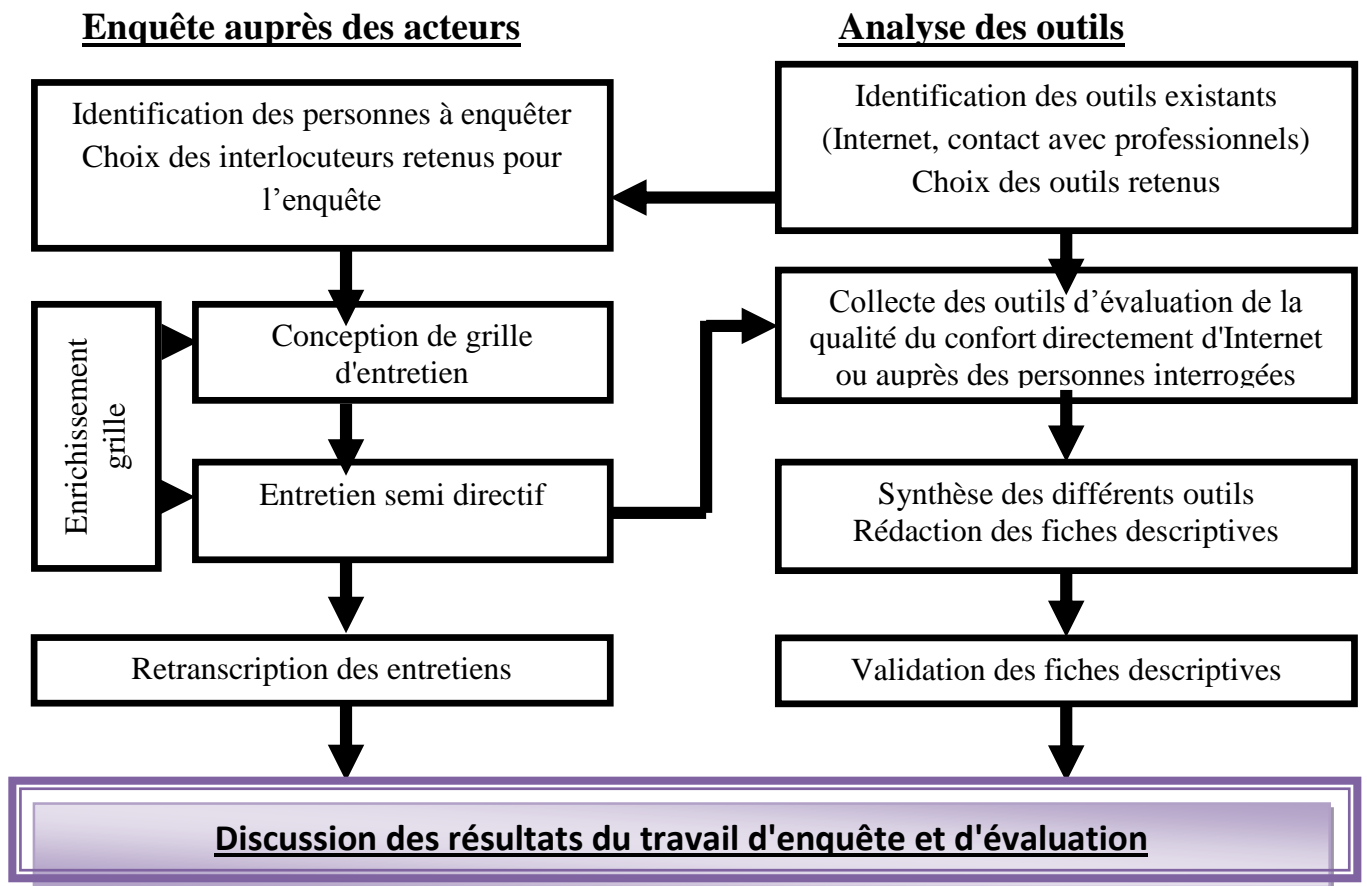


Fig.157: Principales étapes d'investigations

I.4.2.2 Méthode d'enquête

La méthode d'enquête que nous avons choisi est l'entretien semi directif, ce choix n'est pas le fruit du hasard mais plutôt de la nature du but recherché par ce travail. Cependant pour mieux justifier ce choix, on a jugé utile de présenter les spécificités de chaque type d'entretien (Boutaud, 2005):

- A. L'entretien direct: il se rapproche des méthodes quantitatives en cela qu'elles présentent un cadre très strict de déroulement de l'entretien avec des questions demandant des réponses brèves, précises, concises, parfois même fermées.
- B. L'entretien ouvert ou non directif: il laisse une très grande liberté à la personne interrogée pour s'exprimer sur un sujet donné (les entretiens ouverts sont souvent utilisés pour les récits de vie).
- C. L'entretien semi directif: il laisse suffisamment de place à la personne interrogée pour faire émerger naturellement ses préoccupations, favorisant même parfois les digressions, tout en assurant un fil conducteur permettant de rester en contact avec le sujet. La plupart du temps ce fil conducteur trouve une forme concrète à travers la rédaction (préalable aux entretiens).

Dans ce contexte, RONGERE (Rongere, 1975), met en avantage les caractéristiques de ce dernier type d'entretien:

- Degré de liberté réduit par l'existence d'un guide d'entretien ;
- Étude de la réaction des individus à une situation dont on a précisé les différents aspects ;
- Objectifs principalement qualitatifs.

En outre, pour FERREOL et DEUBEL, "l'interview peut être plus ou moins directive, selon qu'on cherche à contrôler, à vérifier, à approfondir ou à explorer une situation ou un domaine donné (Ferreol et Deubel, 1993) (Tab. 71).

Tab. 71: Type d'entretien à privilégier en fonction du but recherché
(source : Ghiglione et Matalon, 1998)

	Entretien	Non-directif	Semi directif	Directif
Recherche				
Contrôle				●
Vérification			●	●
Approfondissement		●	●	
Exploration		●		

Le but de notre enquête consiste à approfondir un sujet, celui de la qualité du confort, c'est donc cette dernière méthode d'entretien semi directif , ou interview guidée, structurée autour d'un guide d'entretien (tout en restant très libre dans la formulation et la manière de guider l'entretien), qui nous a semblé la plus à même de répondre à nos attentes, c'est cette dernière méthode qui a été retenue pour mener notre travail d'enquête et qui va être dotée des techniques de l'analyse comportementale.

I.4.2.3 Les techniques des observations

Les observations ont été utilisées pour :

- A. L'analyse de l'environnement physique des hôtels à étudier:** l'observation directe permet le relevé des caractéristiques architecturales et le contexte environnemental des bâtiments hôteliers. Ceci va nous aider à cerner les impacts et l'influence de ce cadre sur ces derniers.
- B. L'analyse comportementale:** cette dernière va nous dicter le vécu des usagers des bâtiments hôteliers par rapport à un cadre environnemental donné, donc ce type d'analyse est lié directement à l'analyse du cadre physique.

Cependant l'observation spatiale permet de collecter des données sur la qualité du confort des différents espaces du bâtiment hôtelier ce qui nous permet de faciliter l'évaluation environnementale de ce dernier.

Le choix de ces méthodes réunis donnerait en fait un compte rendu plus fidèle à la question environnementale dans les deux bâtiments hôteliers choisis.

I.4.2.4 L'échantillon des interlocuteurs

Pour le choix de la population à interviewer, on a été guidé par les critères suivants:

- A. La raison pour le travail de recueil des informations recherchées, est la qualité du confort au sein du bâtiment hôtelier, on a remarqué que les usagers quotidiens "les employés" des bâtiments hôteliers sont plus sensibles aux questions environnementales que les touristes venant utiliser ces bâtiments pour une durée limitée ;
- B. Les employés sont la plupart du temps à l'intérieur du bâtiment et par conséquent, ils sentent mieux les nuisances de tout ordre notamment dans les espaces techniques, et sont au courant des consommations habituelles du bâtiment hôtelier et de l'état environnemental de ce dernier ;
- C. En outre les touristes venant fréquenter le bâtiment hôtelier, peuvent nous aider sur la qualité du confort intérieur et surtout au niveau des espaces qu'ils occupent ;
- D. Afin de mesurer le rapport entre contexte spatial et contexte environnemental, il est impératif de sillonner le maximum d'espaces au sein du bâtiment hôtelier choisi et d'interviewer au niveau de chacun d'entre eux un nombre donné d'interviewés.

Ces critères réunis nous ont guidés vers le choix d'un échantillon qui peut rendre un compte fidèle de l'état environnemental des bâtiments hôteliers choisis; on pourra par ce choix, cibler tous les domaines environnementaux au sein de ce bâtiment, et c'est la somme de ces derniers qui pourra nous donner une idée exacte et réelle sur la qualité du confort au sein du bâtiment hôtelier.

I.4.2.5 Le guide d'entretien semi directif: les principales thématiques abordées

Le guide d'entretien a pour objet de permettre une plus grande maîtrise de l'entretien semi-directif en fournissant à l'enquêteur un aide-mémoire sans être trop rigide, il doit énumérer les principaux points-clés de l'entretien et les principales questions auxquelles il s'agit d'emmener des éléments de réponses. Pour notre travail, l'enquête doit s'accompagner d'une recherche d'informations sur la qualité du confort propre aux bâtiments hôteliers choisis, et cela dans les différents domaines qui nous préoccupent. Ces derniers sont présentés ci-dessous; il est à noter que dans la plupart des cas, nous avons fait en sorte que ces thématiques soient abordées à l'initiative même de la personne

interrogée, à partir d'une question générale qui a été ensuite éventuellement détaillée en questions plus précises lorsque les éléments de réponses étaient trop évasifs.

Il est à noter que toutes les questions relatives à ce guide sont présentées en annexe (annexe 5)

I.4.2.6 Objectif de l'enquête

L'enquête auprès des usagers a été menée dans les deux bâtiments hôteliers (Es-Safir et Les Roses) afin d'atteindre les objectifs suivants :

- Comparer nos bâtiments sur la base d'une gamme de critères afférents aux différents paramètres de confort ;.
- Récolter l'opinion des usagers afin de valider leur seuil de satisfaction vis-à-vis de deux types de conception architecturale dont les spécificités mettent en jeu le seuil de confort en leur sein ;
- Connaître le seuil de croisement de certains paramètres mesurés avec les résultats d'enquête ;
- Identifier les usages responsables de la performance ou la dégradation environnementale et connaître suite à cela les leviers techniques ou comportementaux susceptibles d'apporter des améliorations ;
- Valider notre méthode par la confrontation des résultats de l'enquête à ceux des mesures.

I.4.2.7 Les items abordés par l'enquête de satisfaction

Nous présentons dans le tableau suivant (Tab. 72) les principaux thèmes et critères abordés dans notre enquête. Chaque item a fait l'objet d'un questionnaire au même échantillon retenu.

Tab. 72 : Principales thématiques abordées dans l'enquête de satisfaction et leurs référence aux cibles de la HQE

	Thèmes	Sous-thèmes	Référence aux cibles de la HQE
Principales thématiques abordées par l'enquête	Satisfaction globale de l'environnement extérieur	Vues	1
		Environnement paysagé	1
		Insertion et accessibilité	1
		Stationnement	1
	Confort acoustique	Niveau sonore	9
		Bruits d'impacts	9
		Bruits aériens	9
		Qualité des sons	9
	Confort visuel	Niveau d'éclairage naturel	10
		Niveau d'éclairage artificiel	10
Confort aéraulique	Qualité de l'air	13	
	Renouvellement de l'air	11 et 13	
	Humidité	8	
Confort hygrothermique	Confort thermique d'été	8	
	Confort thermique d'hiver	8	

Nous signalons dans ce contexte, et comme nous l'avons évoqué précédemment, que l'évaluation d'une ambiance thermique se fait sur la base de deux indices importants (PPD et PMV), qui sont également nécessaires pour la réalisation d'une enquête de satisfaction dans le même contexte thermique :

- ❑ **Le PPD** : (Predicted Percentage of Dissatisfied) ou le pourcentage prévisible d'insatisfaits qui trouvent l'ambiance thermique trop chaude ou trop froide et portant un vote de : -3, -2, +2, +3.
- ❑ **LE PMV** (Predicted Mean Vote) ou le vote moyen prévisible, qui est l'appréciation moyenne des utilisateurs, sur l'échelle de -3 à +3 proposée par Fanger (Fanger, 1982) et officialisée par la norme internationale ISO 7730 (ISO93) (Tab. 73).

Tab. 73: L'échelle de confort thermique de Fanger (source : Fanger, 1982)

-3	Très froid	Insatisfait parce que trop froid
-2	Froid	
-1	Frais	
0	Confortable	
1	Tiède	
2	Chaud	Insatisfait parce que trop chaud
3	Très chaud	

La relation entre le PPD, le PMV et la température de l'air est présentée dans la figure suivante (Fig. 158) :

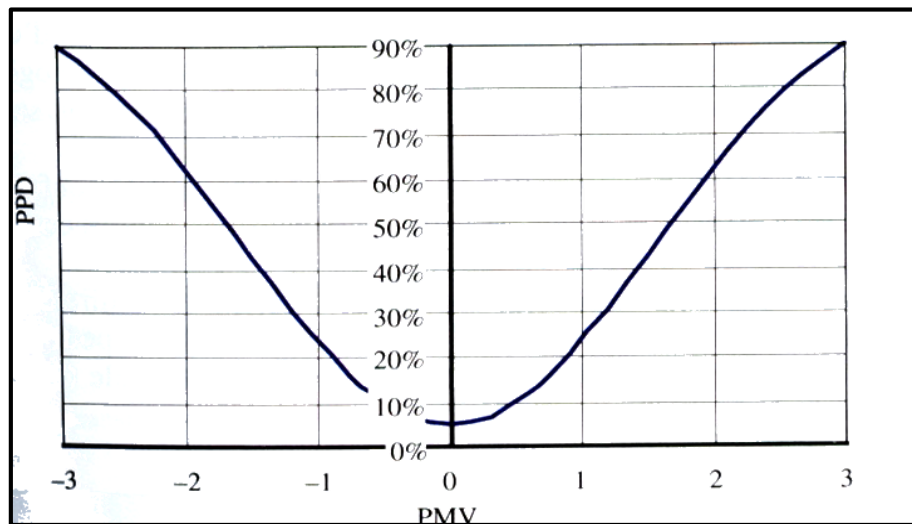


Fig. 158: Relation entre le PPD et le PMV (source : Roulet, 2004)

Il est à rappeler que la satisfaction de tous les usagers est impossible, cela revient à la différence physiologiques de ces derniers mêmes en réunissant les conditions idéales, néanmoins, il est possible de créer un environnement dans lequel le pourcentage de personnes satisfaites est maximal (Roulet, 2004).

Cependant, afin d'obtenir une situation de confort thermique, il est recommandé que :

- Le PPD soit inférieur à 10% correspondant ainsi à un PMV compris entre -0.5 et +0.5 ;
- La vitesse de l'air en dessous de 0.5 m/s ;
- L'humidité relative comprise entre 35% et 65% ;
- La température de surface de sol soit comprise entre 19° et 26°.

Nous signalons toutefois que Fanger a établi une équation qui prédit le PMV (annexe 6) à partir des conditions de confort, cette dernière est assez complexe nécessitant un outil informatique, pour cela, un diagramme de confort a été calculé (Fig. 159) pour un usage pratique et simple.

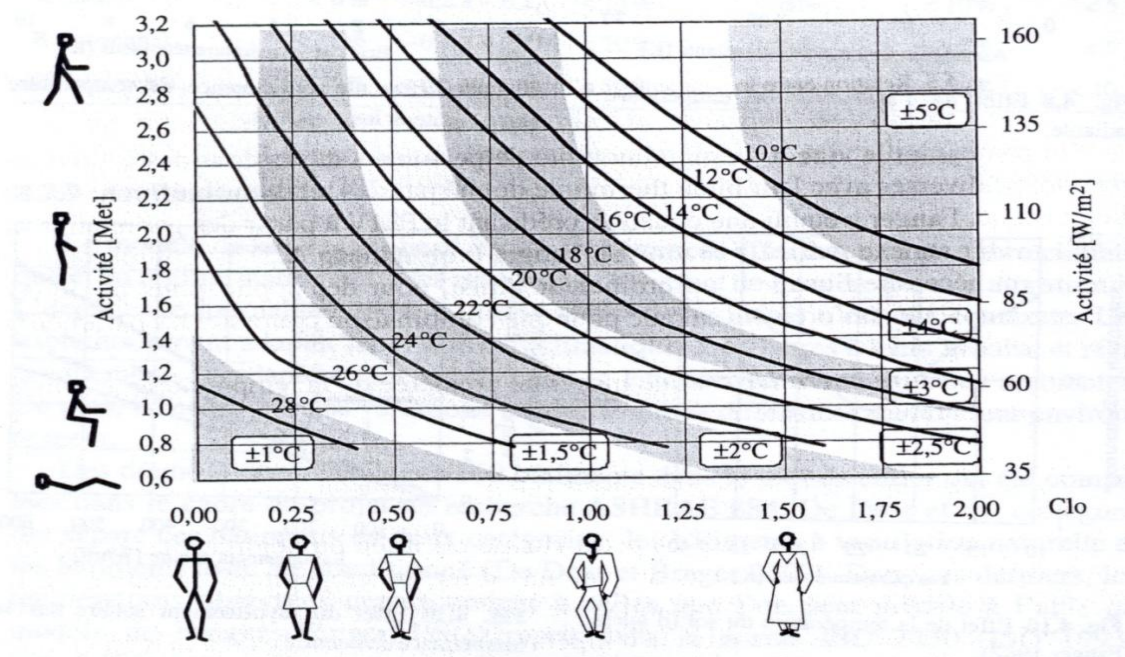


Fig. 159: Température opérative idéale en fonction de l'habillement et du métabolisme (d'après ISO1993)(source : Roulet, 2004)

Il importe de signaler que nous avons porté à la connaissance des usagers l'objectif de l'enquête afin qu'ils puissent situer leur réponses sans et avec les moyens actifs et être ainsi les plus objectifs possible, et parallèlement à cela, les pratiques des usagers peuvent nous renseigner sur l'ambiance thermique des espaces qu'ils occupent.

IV. APPLICATION DE LA METHODE

II.1 EVALUATION DE LA QUALITE DE CONFORT PAR LA CAMPAGNE DE MESURES

Les résultats de la campagne de mesures de température et d'humidité sont présentés dans les figures suivantes (Fig. 160, Fig. 161, Fig. 162, Fig. 163, Fig. 164, Fig. 165, Fig. 166 et Fig. 167).

II.1.1 Mesures de la température

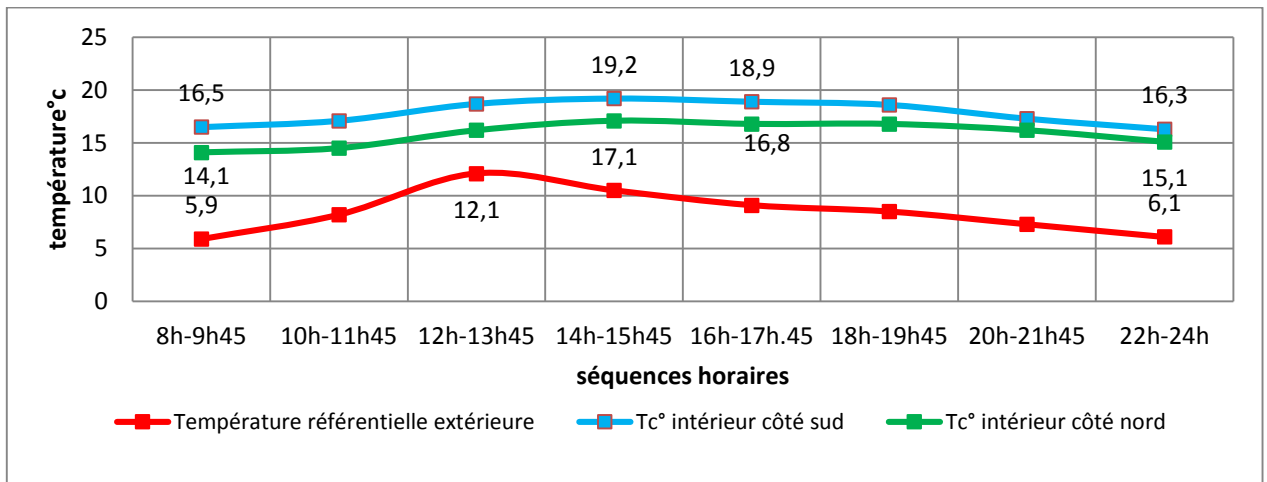


Fig. 160: Mesures comparatives de la température extérieure et intérieure du bâtiment traditionnel en saison hivernale

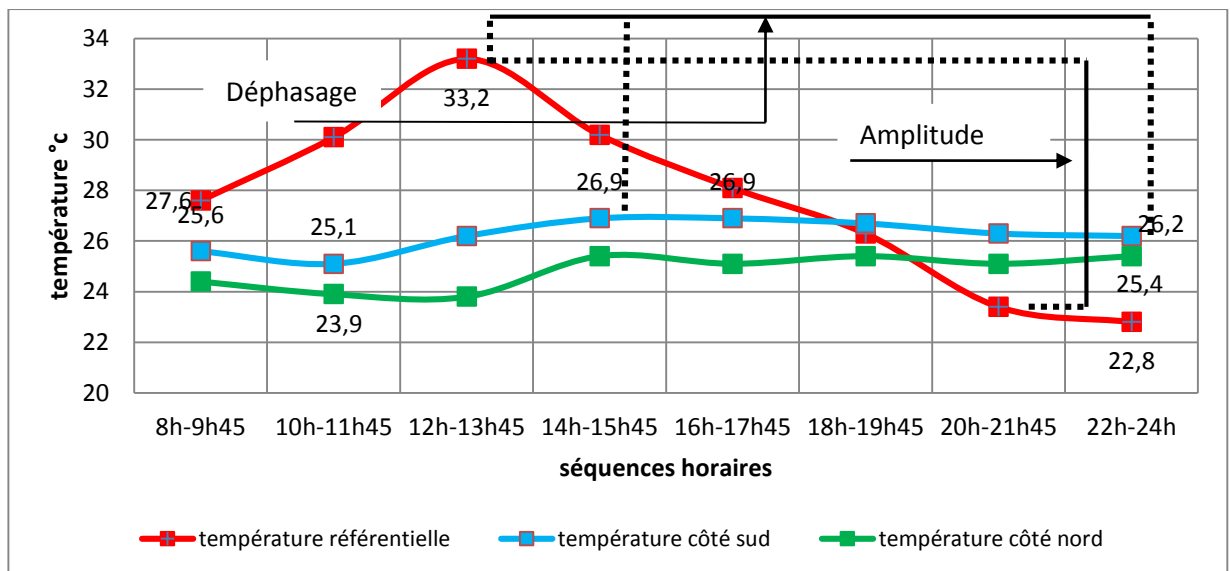


Fig. 161: Mesures comparatives de la température extérieure et intérieure du bâtiment traditionnel en saison estivale

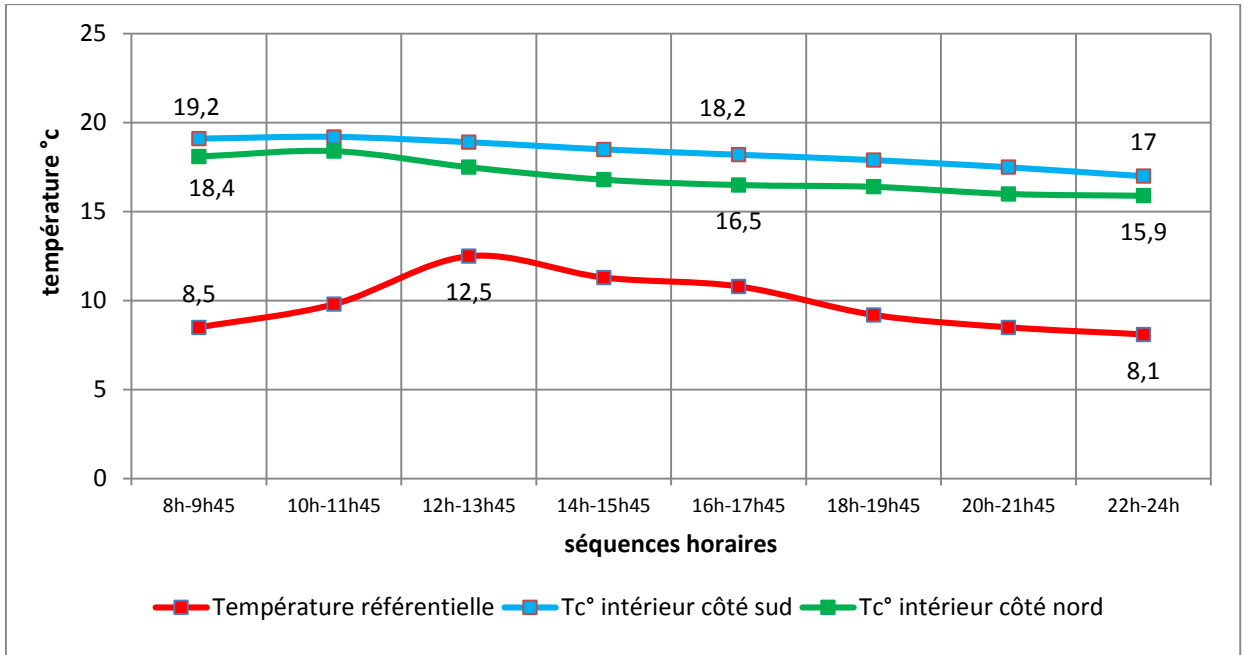


Fig. 162: Mesures comparatives de la température extérieure et intérieure du bâtiment standard en saison hivernale

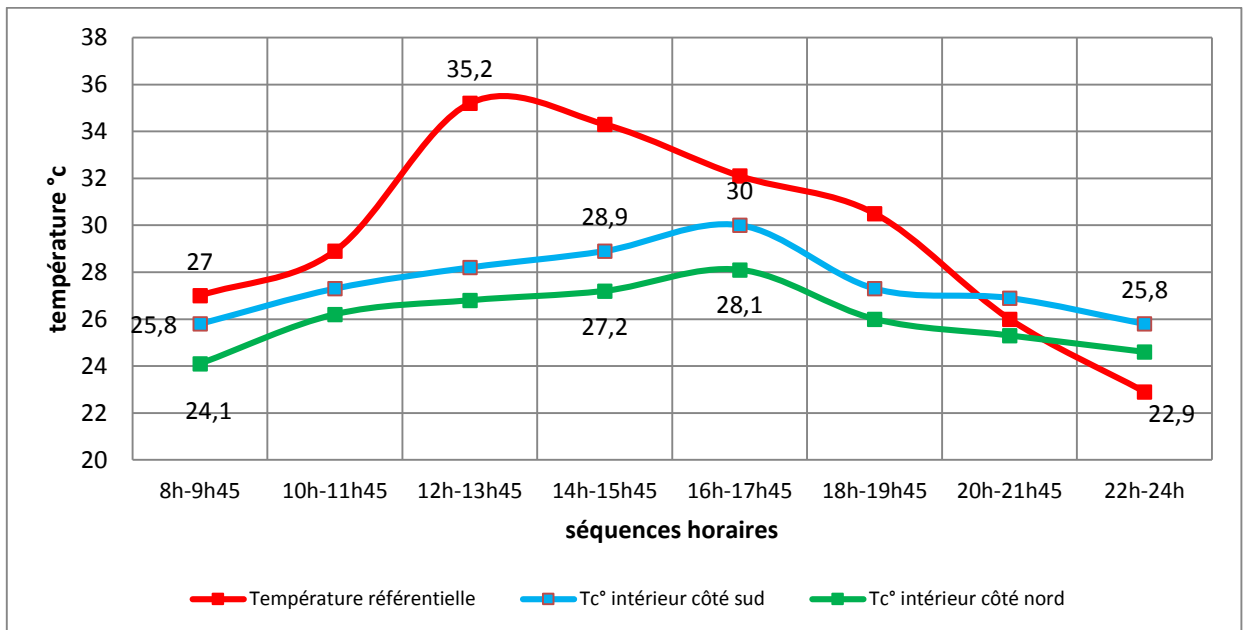


Fig. 163 : Mesures comparatives de la température extérieure et intérieure du bâtiment standard en saison estivale

II.1.1.1 Interprétation des résultats

En saison hivernale, l'amplitude de la température intérieure est assez faible (2.9°C au sud et 3°C au nord), cela s'explique par la grande inertie thermique de l'enveloppe traditionnelle qui évite les chutes brutales de température en hiver, et par la même occasion, cette inertie assure au bâtiment une protection contre les déperditions par convection ou infiltration. Ainsi, nous pouvons dire qu'une gestion optimale de la chaleur est assujettie à l'inertie thermique de la paroi ainsi qu'à son épaisseur. Toutefois, nous signalons que pour un meilleur comportement thermique, il importe de combiner l'inertie thermique aux moyens de chauffage.

En saison estivale, nous constatons que l'enveloppe traditionnelle, et grâce à l'inertie thermique de ses matériaux, engendre un effet régulateur patent de la température, en effet, la température intérieure est assez stable avec une légère amplitude de 1.8°C entre un max de 26.9°C enregistrée entre 12h et 15h45 et un minimum de 25.1°C enregistré entre 10h et 11h45 contrairement à celles de l'extérieur marquées par une forte amplitude de 10.4°C. Les températures intérieures restent relativement tempérées et stables en cette saison chaude même dans les espaces orientés vers le Sud. 3 heures de temps après avoir enregistré la température extérieure maximale, nous remarquons une faible augmentation de la température intérieure tandis que celle de l'extérieur a considérablement baissé; ce qui nous conduit à conclure que les apports ont donc été amortis et déphasés dans le temps. Ce phénomène de déphasage s'est produit grâce à l'inertie par absorption qui lui-même se produit avec l'effusivité et l'épaisseur du mur (60 cm).

En outre pour le bâtiment standard, et en hiver, l'amplitude entre la température intérieure et extérieure reste moyenne avec des fluctuations moins importantes que dans le cas précédant durant la journée ; la double paroi en brique a joué le rôle d'un isolant en contribuant à minimiser les déperditions thermiques en cette saison froide. En saison estivale, nous remarquons une amplitude de la température intérieure de 4.2°C entre une valeur maximale de 30 °C et une valeur minimale de 25.8°C, enregistrées au côté sud. Après 4 heures de temps, nous constatons que l'amplitude reste relativement moyenne entre la température extérieure et la température intérieure (5°C), cela s'explique par l'inertie thermique moyenne de la brique qui est relativement inférieure à celle de la pierre, ainsi l'amortissement des apports n'est pas aussi important que dans le cas précédant. Finalement nous pouvons conclure que le déphasage ainsi que l'amortissement de l'onde thermique du bâtiment traditionnel est plus important que ceux de l'onde thermique du bâtiment standard. Mais en situation hivernale, la situation est presque similaire dans les deux bâtiments.

II.1.2 Mesures de l'humidité

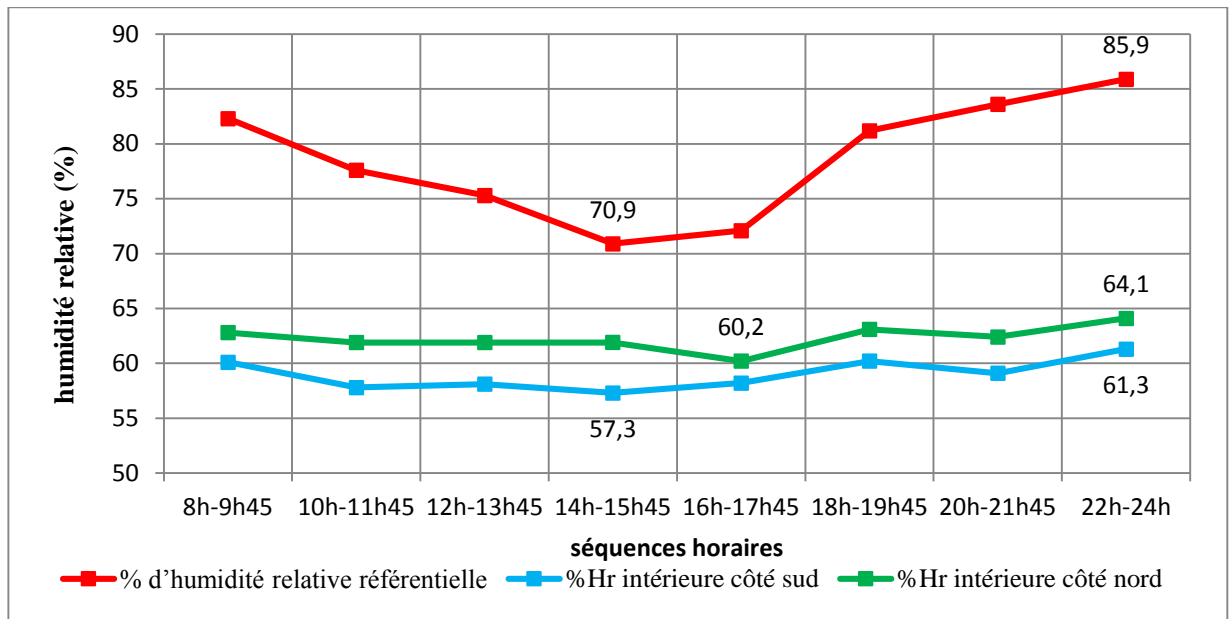


Fig. 164: Mesures comparatives du % d'humidité relative extérieure et intérieure du bâtiment traditionnel en saison hivernale

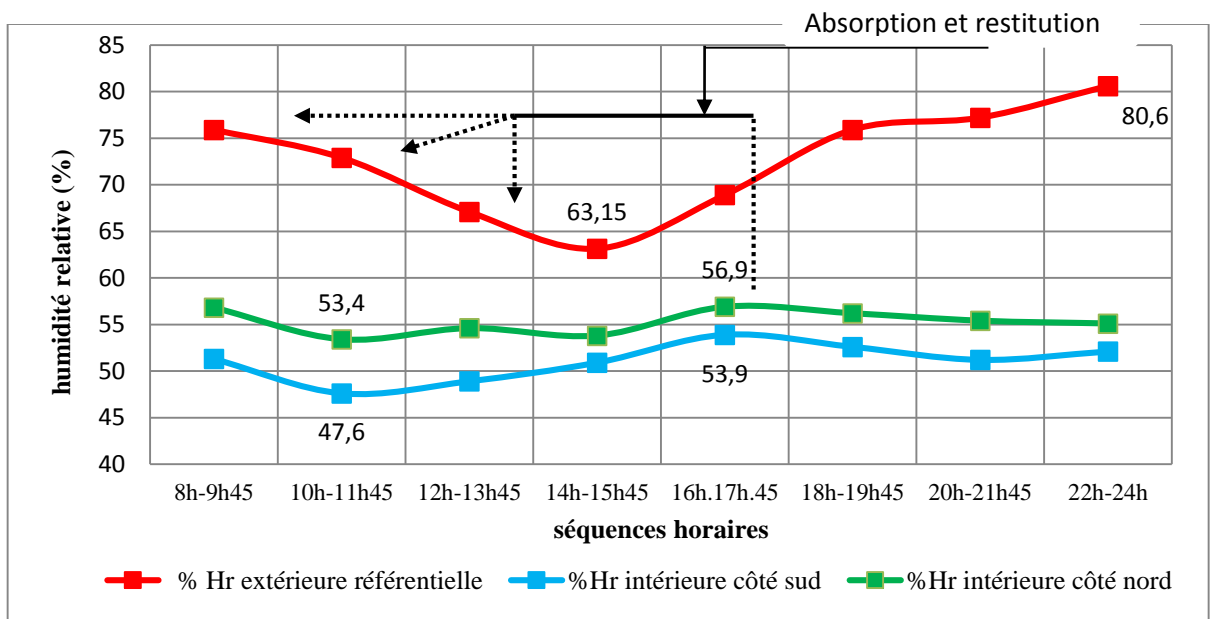


Fig. 165: Mesures comparatives du % d'humidité relative extérieure et intérieure du bâtiment traditionnel en saison estivale

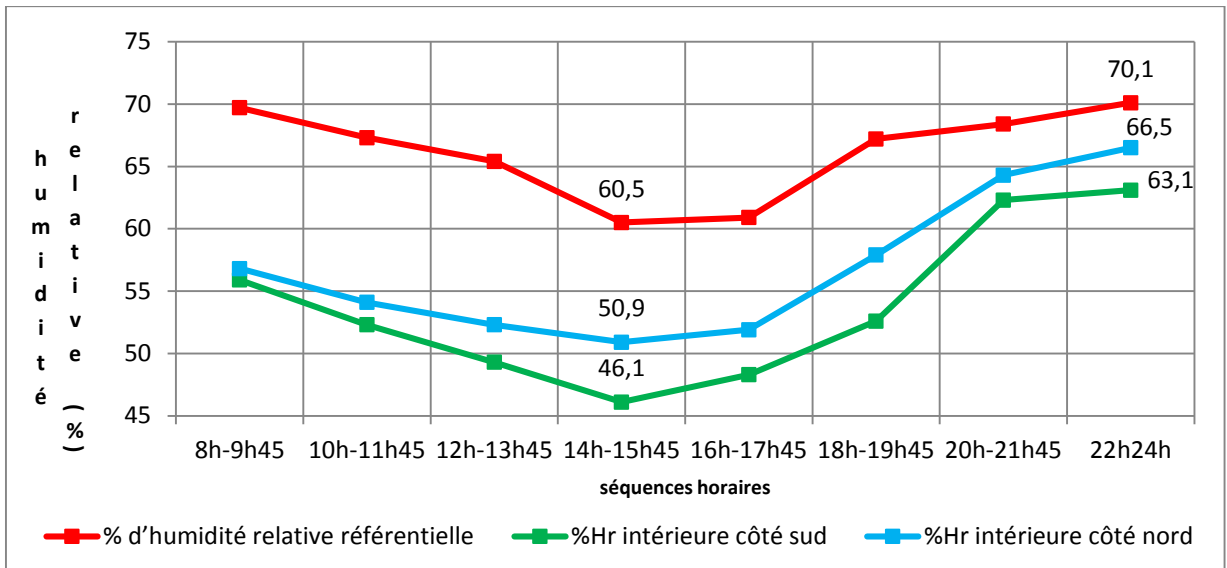


Fig. 166: Mesures comparatives du % d'humidité relative extérieure et intérieure du bâtiment standard en saison hivernale

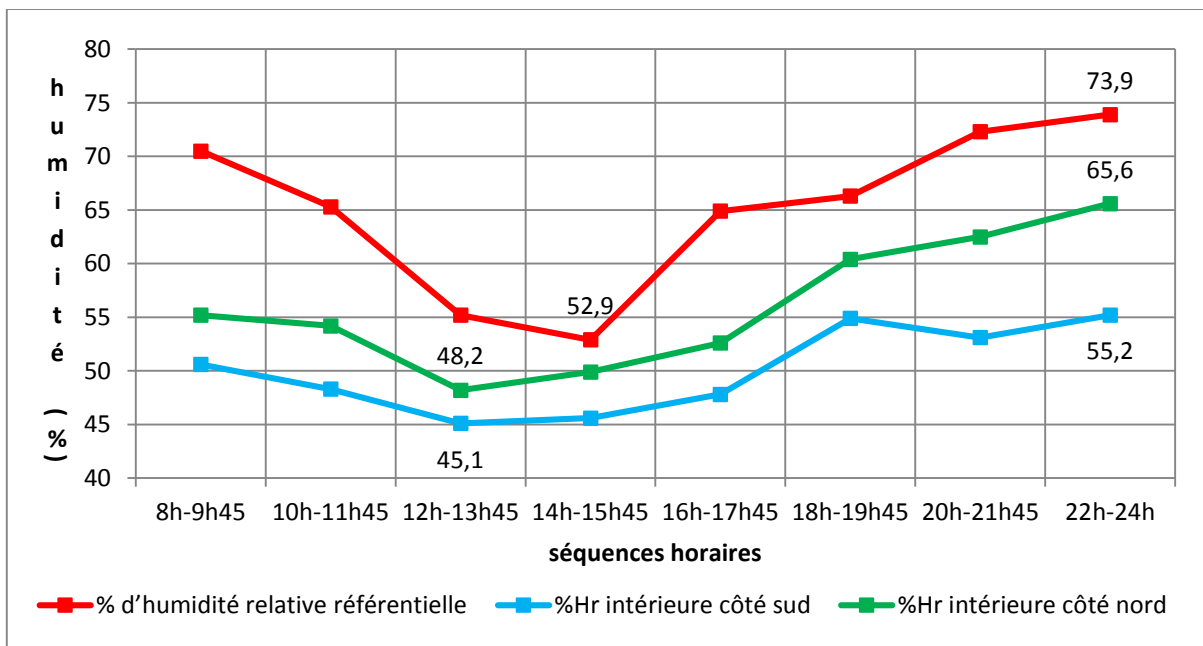


Fig. 167: Mesures comparatives du % d'humidité relative extérieure et intérieure du bâtiment standard en saison estivale

II.1.2.1 Interprétation des résultats

Nous constatons, en saison estivale, une stabilité du taux d'humidité intérieure avec un écart de 3.5 % entre une valeur maximale de 56.9 % et une valeur minimale de 53.4 % enregistré au côté sud pour le bâtiment traditionnel. Le maintien de cette stabilité revient aux qualités hygrométriques de la pierre qui, grâce à son absorption et désorption de la vapeur d'eau évite les fluctuations de l'humidité et assure la stabilité requise. Nous constatons en outre, un déphasage hygrométrique, en effet, la valeur maximale intérieure a été enregistrée 4 heures après la valeur minimale enregistrée à l'extérieur, ce qui signifie que l'enveloppe traditionnelle avec ses matériaux (la pierre) a absorbé l'excès de l'humidité et l'a restitué lorsque l'air s'est asséché, toutefois, la courbe hygrométrique reste stable et sans fluctuations significatives. Cela s'explique également par les cavités de la pierre qui assurent une grande capillarité permettant aux murs de réguler les transferts de vapeur d'eau dans leur masse, ces cavités favorisent en outre le pouvoir isolant de l'air, en retardant les mouvements de convection dans les cavités (Medjelekh, 2009) .

En hiver, nous remarquons une stabilité du taux d'humidité intérieure comparé à celui enregistré par les services météo. Les taux enregistrés au nord sont plus élevés que ceux enregistrés au côté sud, ce qui illustre l'influence de la température sur les taux d'humidité. Toutefois, la courbe hygrométrique intérieure est assez proche de la zone de confort contrairement aux conditions hygrométriques qui règnent à l'extérieur.

Pour le bâtiment standard, nous constatons que sans moyens de ventilation en saison estivale, les taux d'humidité enregistrés situent l'ambiance hygrométrique du bâtiment standard en dehors de la zone de confort. Cela s'explique par les matériaux constituant les parois de l'enveloppe standard du bâtiment dont les propriétés hygrométriques permettent une gestion moyenne de l'hygrométrie et des transferts de vapeur d'eau à travers les différentes couches des parois. En hiver, La courbe hygrométrique du bâtiment semble évoluer inversement avec la courbe thermique du même bâtiment. En outre, les taux d'humidité sont plus importants dans l'espace orienté côté nord que celui orienté côté sud. Les mêmes raisons évoquées précédemment sont à l'origine de ces résultats.

II.1.3 Comparaison du comportement hygrothermique des deux bâtiments hôteliers

II.1.3.1 Le comportement hygrométrique

Théoriquement, nous pouvons résumer le comportement hygrométrique des deux bâtiments via la figure suivante (Fig.168), qui représente un schéma représentatif de l'évolution de l'humidité intérieure au sein des deux bâtiments en question.

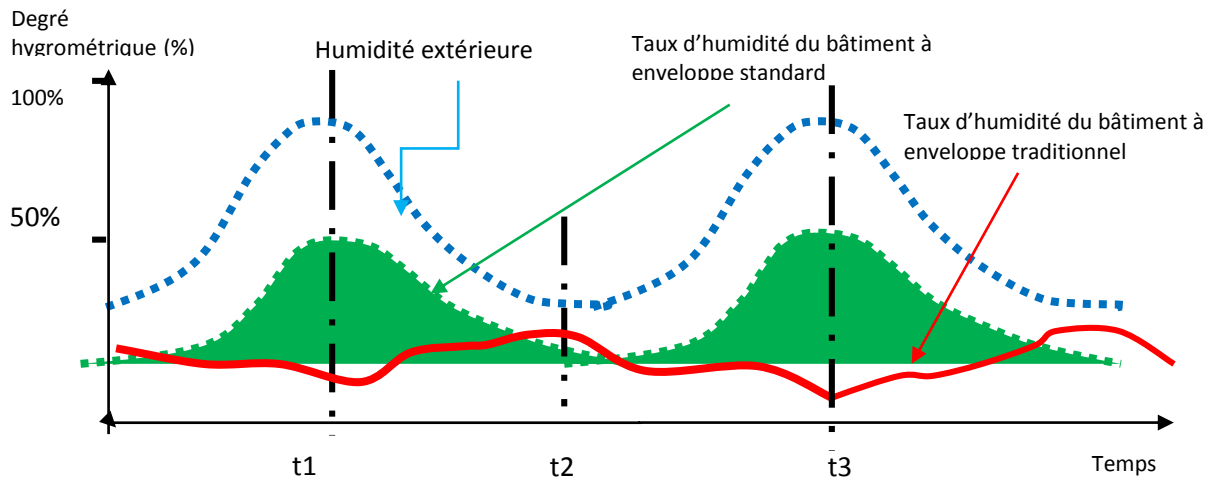


Fig. 168: Évolution dans le temps du taux d'humidité du bâtiment à enveloppe traditionnelle et du bâtiment à enveloppe standard

Nous constatons qu'au temps t1, lorsque le taux d'humidité extérieure est élevé, celui du bâtiment à enveloppe traditionnelle est relativement bas contrairement à celui de l'autre bâtiment. Au temps t2, lorsque le taux d'humidité extérieure diminue, celui du bâtiment à enveloppe standard diminue par la même occasion, contrairement à celui du bâtiment à enveloppe traditionnelle qui marque une légère élévation, sa courbe durant toute la journée est marquée en outre par une stabilité significative. Cette légère élévation s'explique par les qualités hygrométriques de la pierre, qui grâce à elles, l'enveloppe traditionnelle absorbe l'humidité en excès dans l'air, la stocke et la restitue ensuite lorsque l'air ambiant s'assèche, ce qui lui vaut en plus de sa qualité de déphasage thermique, une autre propriété ; celle de déphasage hygrométrique ; toutefois, il convient de signaler, que d'après les résultats, l'amplitude intérieure reste très légère stabilisant ainsi dans le temps la courbe hygrométrique.

Nous concluons, que les matériaux de l'enveloppe traditionnelle permettent une bonne gestion du confort hygrométrique et assurent une hygrométrie relativement constante en évitant ses fluctuations dans le temps.

II.1.3.2 Le comportement thermique

Le comportement thermique comparatif des deux bâtiments à enveloppes différentes est illustré théoriquement via la figure suivante (Fig. 169) illustrant la réponse de ces derniers face aux apports solaires.

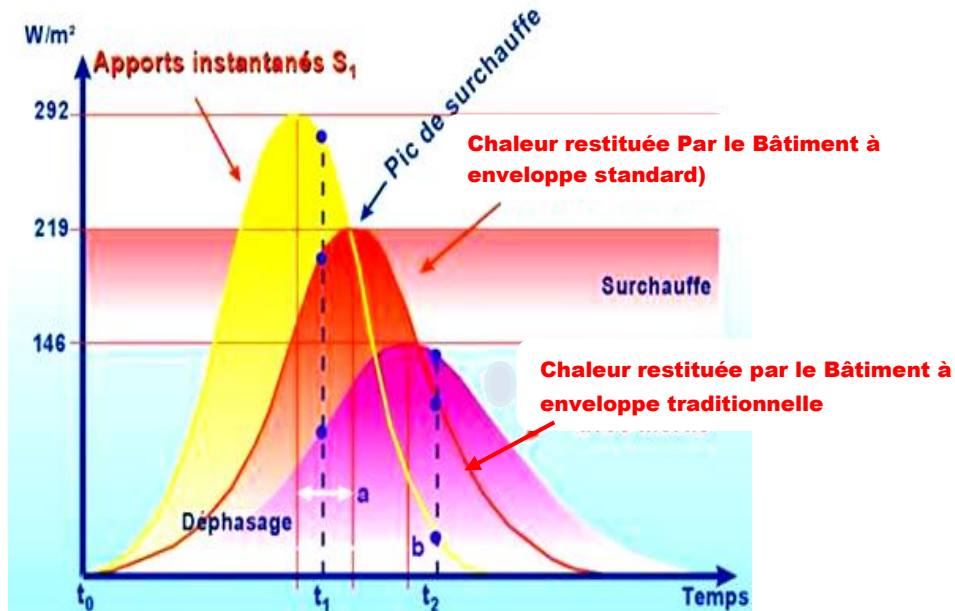


Fig. 169: Comparaison du comportement thermique du bâtiment à enveloppe traditionnelle et du bâtiment à enveloppe standard⁴⁵

Nous constatons que lorsque le rayonnement solaire direct est intense au t_1 , la chaleur restituée par le bâtiment standard est plus élevée que celle restituée par le bâtiment à enveloppe traditionnelle.

Au temps t_2 , le rayonnement solaire s'affaiblit, au même moment la chaleur restituée par le bâtiment standard s'affaiblit relativement, alors que celle restituée par le bâtiment à enveloppe traditionnelle est assez importante. Nous concluons qu'avec une enveloppe traditionnelle constituée de matériaux à forte inertie thermique, il n'y a pas de surchauffe et l'on bénéficie par la même occasion d'une réserve de chaleur durant les heures sans apport solaire.

La variation de la température intérieure des deux bâtiments est d'autre part illustrée via la figure suivante (Fig. 170)

⁴⁵ d'après le modèle de Liébard et De herde, 2006 (b)

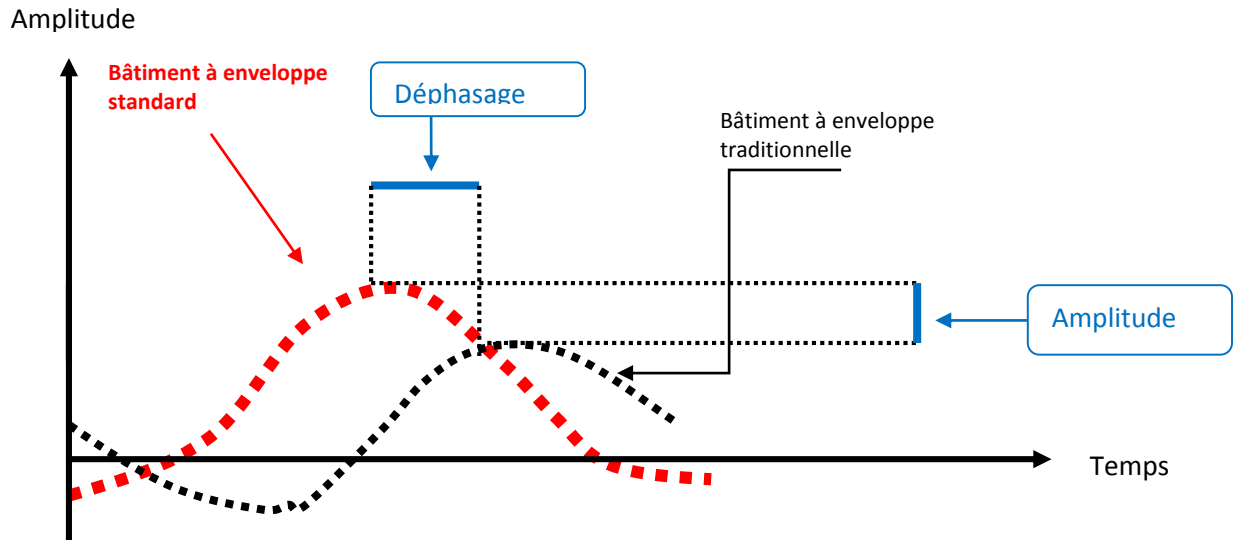


Fig. 170: Variation de la température intérieure du bâtiment à enveloppe traditionnelle et du bâtiment à enveloppe standard

Nous concluons que l'inertie thermique des matériaux constituant l'enveloppe traditionnelle (la pierre) permet un double phénomène :

1. Amortissement de l'amplitude de l'onde thermique instantanée ;
2. Déphasage de sa restitution dans le temps.

En outre, nous pouvons dire à ce stade de résultats, que le bâtiment à enveloppe standard est d'une inertie moyenne et inférieure à celle du bâtiment à enveloppe traditionnelle induisant pour ce dernier une meilleure efficacité énergétique pour un meilleur confort à fortiori d'été.

Pour un meilleur confort d'hiver, l'enveloppe traditionnelle devrait être munie d'une bonne isolation et des moyens de chauffage de la même manière que le bâtiment standard. En outre une épaisseur plus importante des murs de ce dernier peut contribuer à améliorer son inertie et systématiquement son seuil de confort.

II.1.4 Mesures de la vitesse de l'air

Les résultats des mesures de la vitesse de l'air intérieur sont présentés dans les figures suivantes (Fig. 171, Fig. 172, Fig. 173 et Fig. 174)

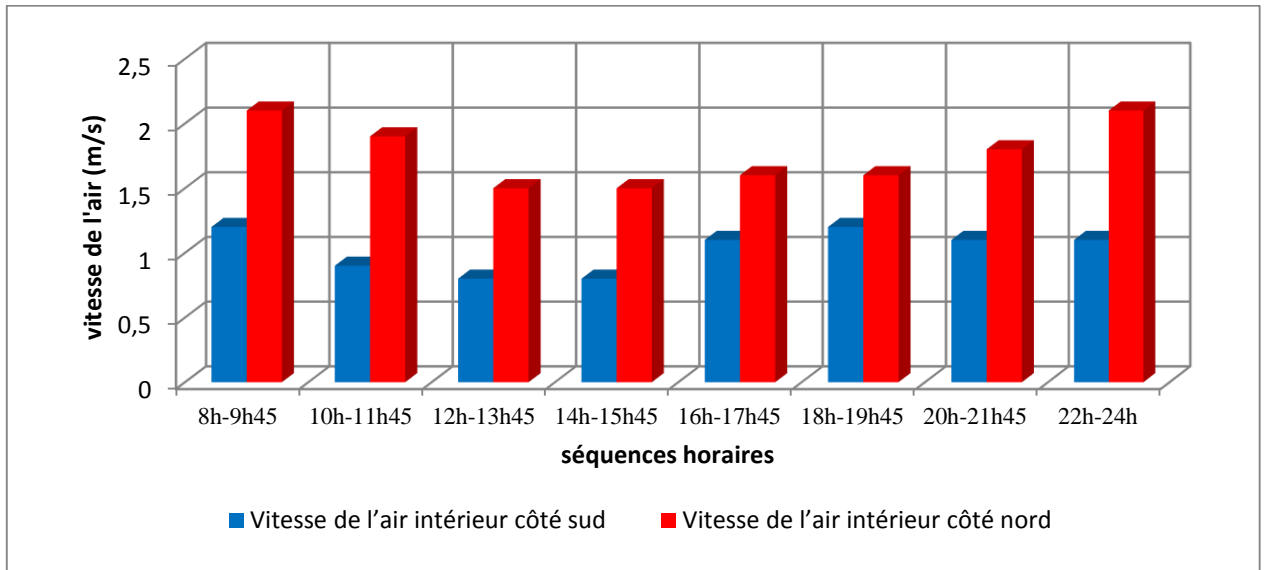


Fig. 174: Mesures de la vitesse de l'air intérieur du bâtiment traditionnel en saison hivernale

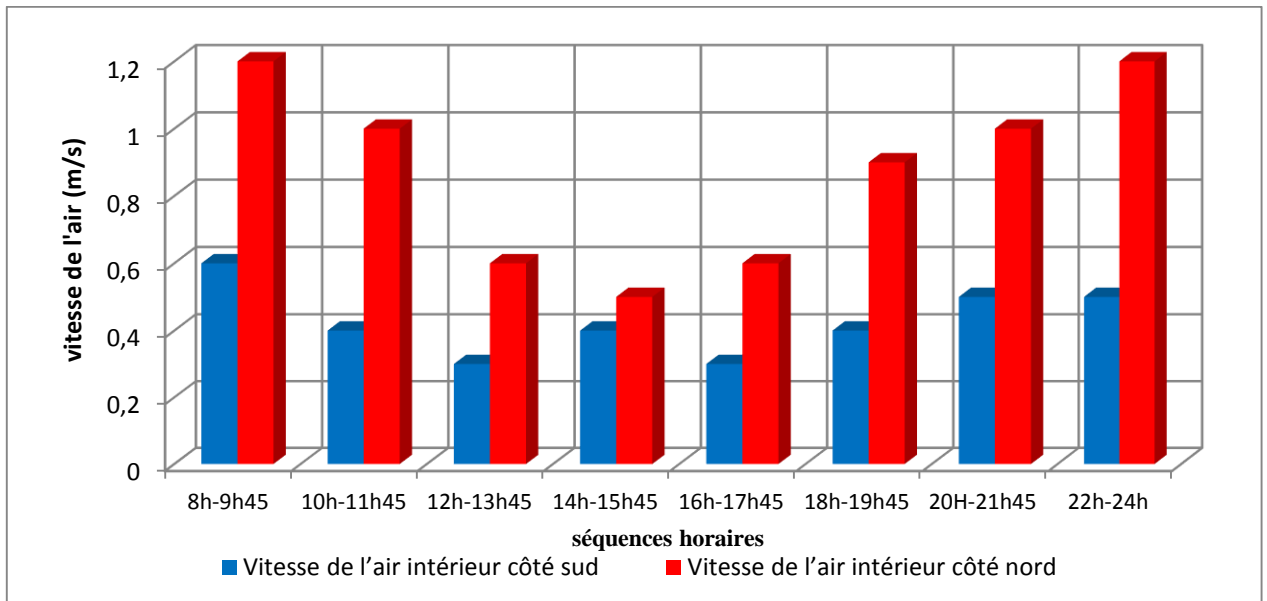


Fig. 175: Mesures de la vitesse de l'air intérieur du bâtiment traditionnel en saison estivale

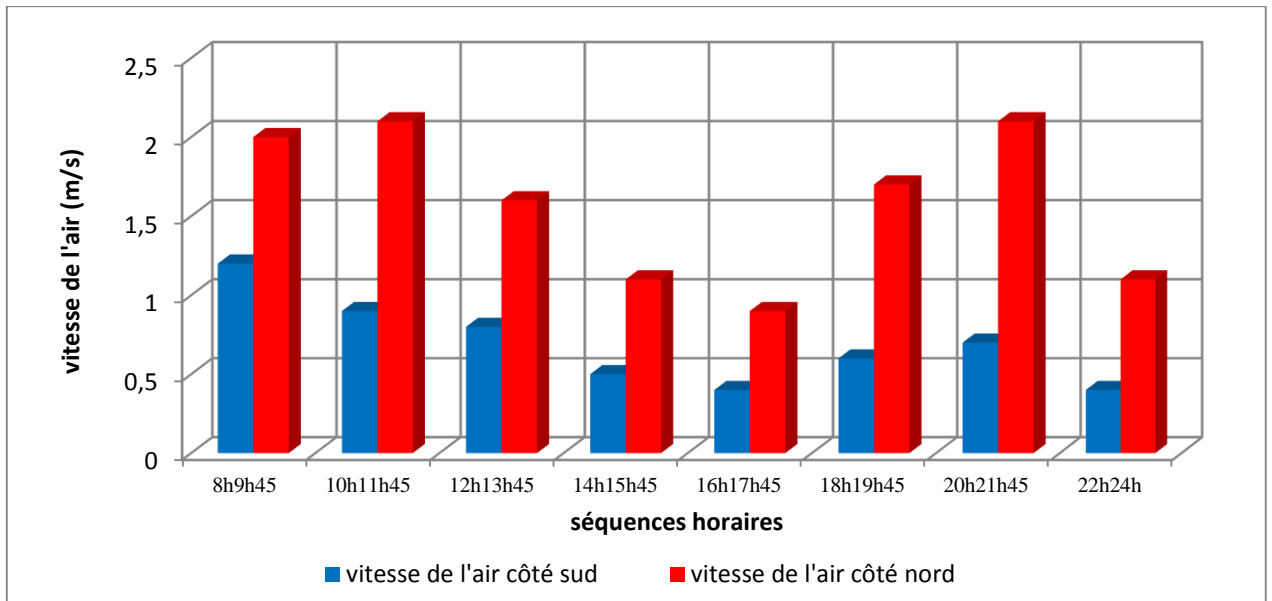


Fig. 173: Mesures de la vitesse de l'air intérieur du bâtiment standard en saison hivernale

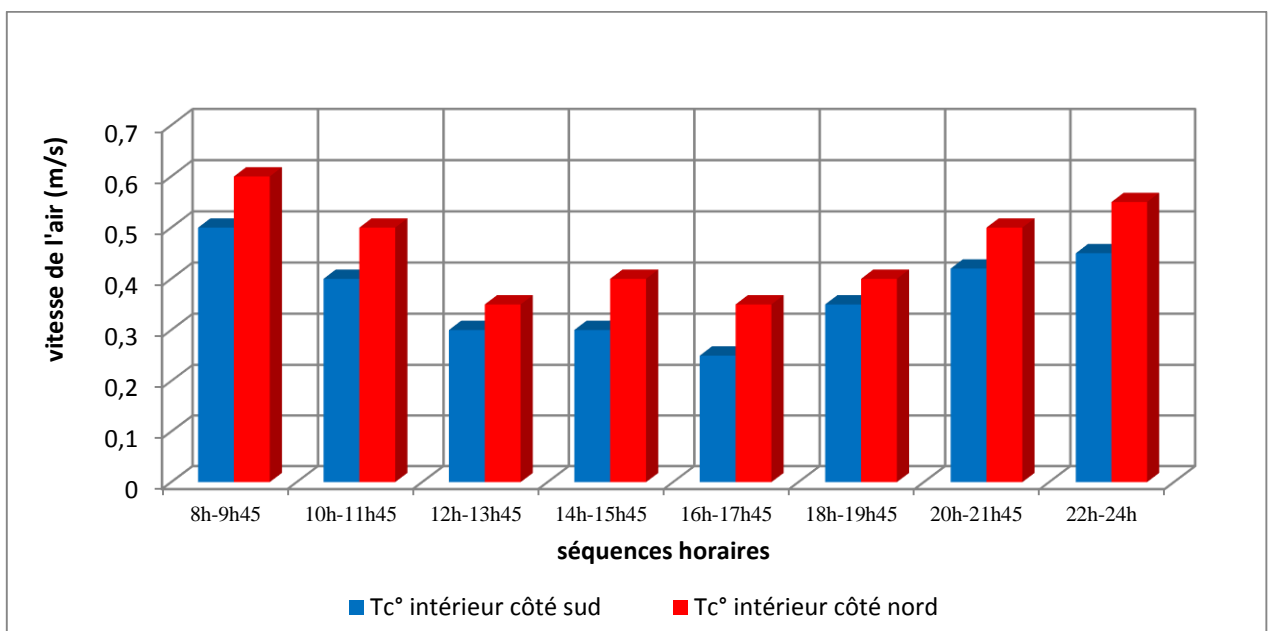


Fig. 174: Mesures de la vitesse de l'air intérieur du bâtiment standard en saison estivale

II.1.4.1 Interprétation des résultats

Nous constatons, qu'au côté sud du bâtiment traditionnel et en saison estivale, la vitesse du vent reste assez stable durant la journée, néanmoins, en considérant les températures enregistrées en cette saison durant les heures où le soleil est à son comble (de 12h à 16h), nous pouvons dire que la ventilation est insuffisante dans ces espaces sous le vent. En outre, le côté nord est exposé au

vent ce qui explique la bonne ventilation dont bénéficie l'espace orienté vers ce côté ; rappelons dans ce contexte, que pour avoir une sensation rafraichissante et confortable, il est nécessaire d'avoir une vitesse d'air de 0.5m/s à 1m/s pour des températures comprises entre 21c° et 24c° en ayant de faibles activités, mais il faudrait que cette vitesse se situe entre 1.25m/s et 2.5m/s quand l'endroit est chaud, celles qui ont été enregistrées dans ce bâtiment correspondent donc plus à des températures comprises entre 21 et 24°c ce qui fait installer une situation d'inconfort estival, à partir de cela on peut déduire que la valeur idéale pour les températures de notre cas d'étude (27c°) serait de 1.1m/s. En outre, lorsque les usagers sont soumis à une chaleur rayonnante intense pour de courtes durées, on est amenés à produire des vitesses d'air plus élevées à l'aide de ventilateurs afin d'obtenir un effet rafraichissant (Energie+).

En saison hivernale, et à fenêtre fermées, la vitesse de l'air est relativement stable, néanmoins, une sensation de courant d'air est ressentie une fois les fenêtres ouvertes, ce qui peut provoquer une gêne en cette saison de froid. Afin d'expliquer cette sensation, il est nécessaire de considérer les températures enregistrées aux mêmes séquences horaires, de ce fait, nous constatons que même si ces dernières se situent dans la zone de confort grâce à l'inertie thermique de la pierre, les vitesses de l'air enregistrées dépassent 0.8m/s provoquant ainsi cette sensation gênante de courant d'air, afin d'éviter cet inconfort, la vitesse d'air hivernale ne devrait pas dépasser 0.2m/s (Energie+).

Pour le bâtiment standard, la vitesse de l'air est relativement stable en été dans les deux côtés. Sans moyens de climatisation, la ventilation reste insuffisante face aux températures élevées qui marquent cette saison, la valeur idéale que nous avons proposé au bâtiment traditionnel est valable pour ce bâtiment. Les vitesses de l'air intérieur obtenues dépendent certainement de celles régnant à l'extérieur, mais d'autres paramètres s'interfèrent et affectent ces dernières :

L'enveloppe du bâtiment : avec ces percements, leur nombre, leur dimension ; La répartition spatiale ; L'orientation: ce qui crée des zones de dépression et de surpression ; L'implantation dans un site urbain : ce qui le protège des vents dominants en hiver La hauteur du bâtiment : la vitesse du vent s'élève avec la hauteur.

En hiver, nous remarquons une stabilité de la vitesse de l'air au côté sud, en outre, une sensation de courant d'air froid est ressentie au côté nord. La façade nord. à partir de cela, devrait être protégée contre les vents d'hiver qui sont une source de refroidissement et auxquels elle est exposée.

II.1.5 Mesures du niveau d'éclairément

Les résultats des mesures de l'éclairément intérieur sont présentés dans les figures suivantes (Fig. 175, Fig. 176, Fig. 177 et Fig. 178)

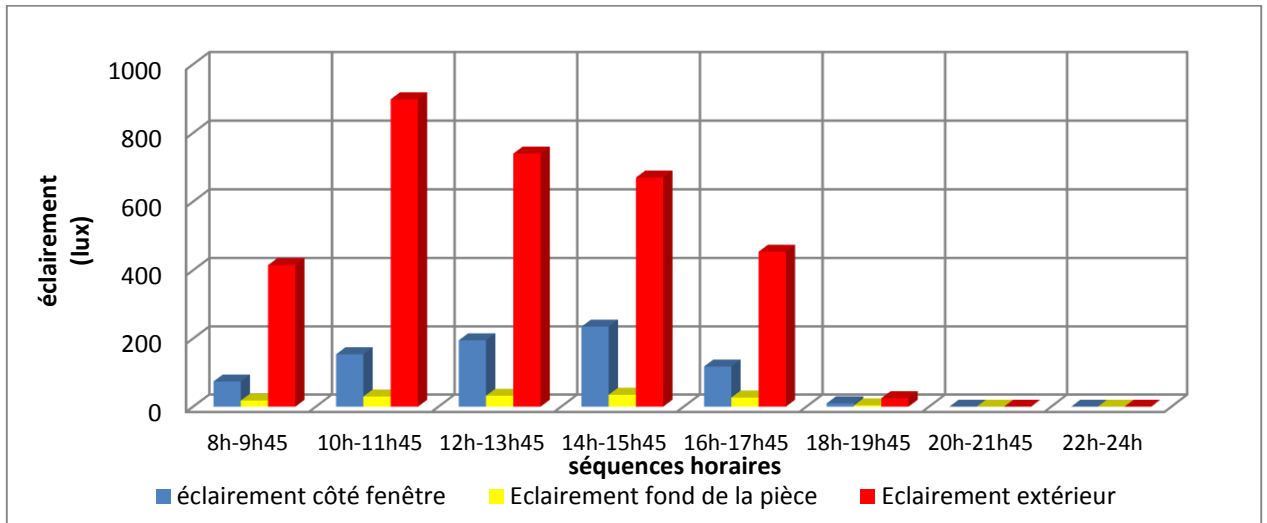


Fig. 175: Mesures de l'éclairément extérieur et intérieur du bâtiment traditionnel en saison hivernale

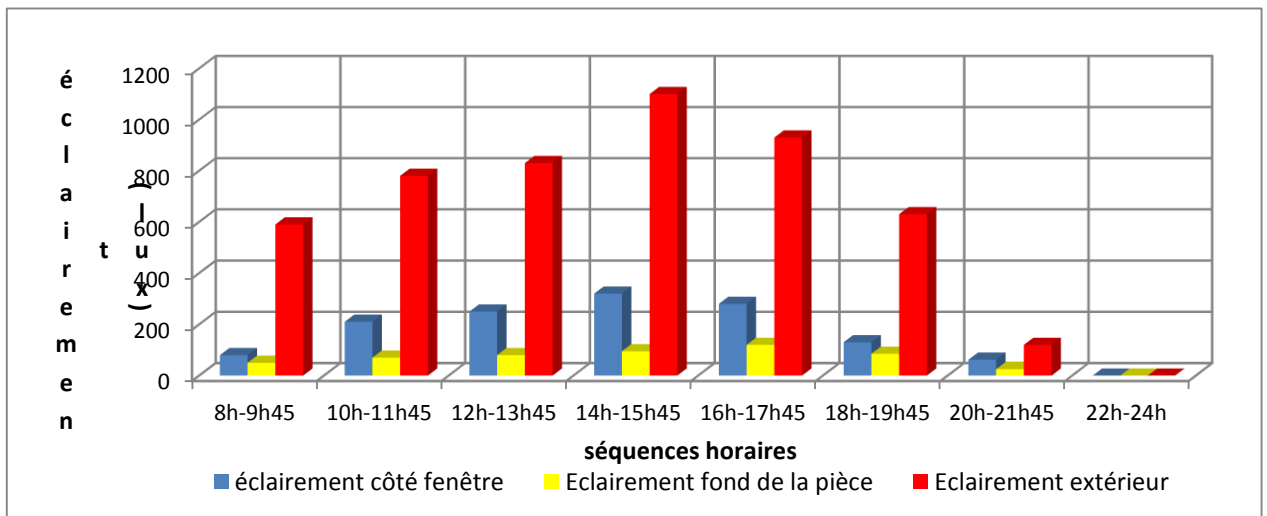


Fig. 176: Mesures de l'éclairément extérieur et intérieur du bâtiment traditionnel en saison estivale

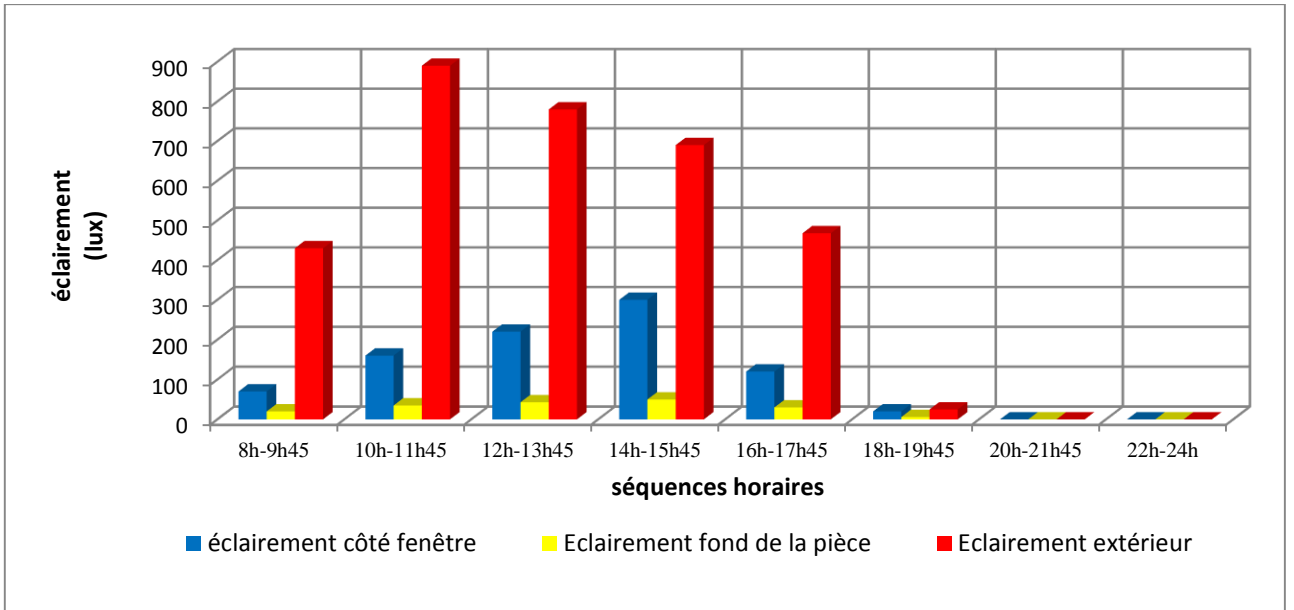


Fig. 177 : Mesures de l'éclairage extérieur et intérieur du bâtiment standard en saison hivernale

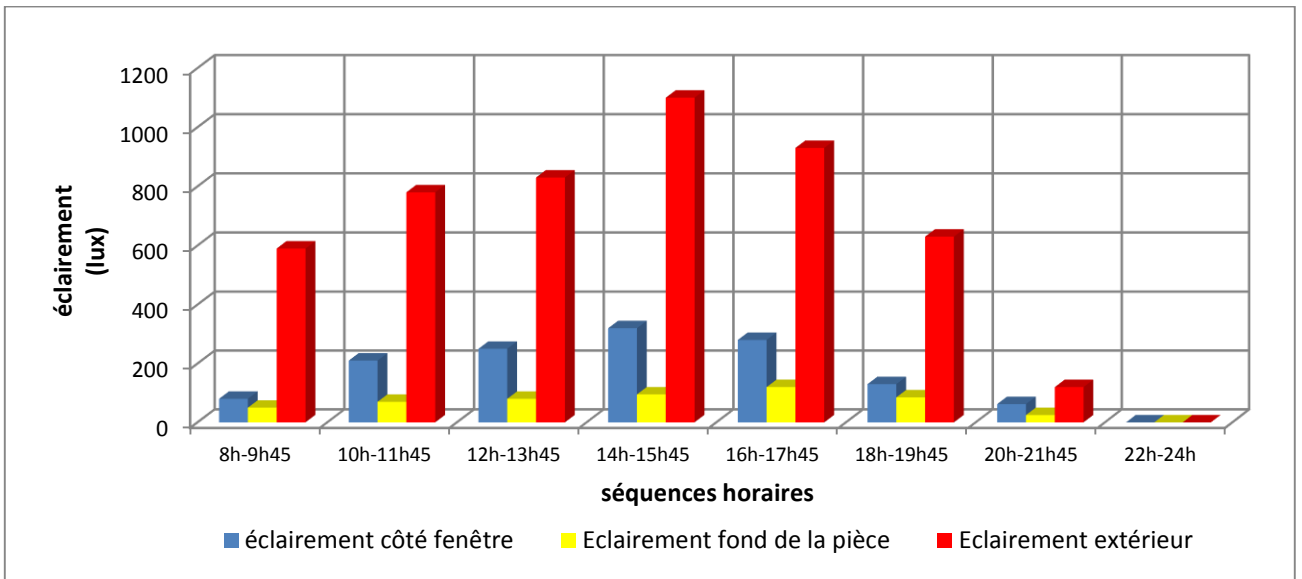


Fig. 178: Mesures de l'éclairage extérieur et intérieur du bâtiment standard en saison estivale

II.1.5.1 Interprétation des résultats

Nous remarquons que l'éclairage extérieur hivernal est à son pic durant la séquence horaire (10h-11h45), la séquence (14h-15h45) marque celui de l'éclairage intérieur, ce déphasage dans le temps peut être expliqué par la course du soleil, en effet, les rayons de ce dernier sont plus profonds durant cette séquence horaire, ce qui explique l'élévation de l'éclairage intérieur durant cette séquence horaire. Or, à partir de 18h30 il devient nul à cause du coucher du soleil, ainsi le recours à l'éclairage artificiel devient une nécessité à partir de 17h30 lorsque l'éclairage intérieur commence à s'affaiblir. L'éclairage au fond des pièces est assez faible

Cependant, le niveau d'éclairage recommandé dans une chambre d'hôtel est de 200 lux (valeur moyenne par rapports aux références présentées précédemment), ce qui situe, en certains points de mesure, le cas étudié dans la courbe de confort (côté fenêtre), l'éclairage au fond des pièces demeure par contre assez faibles, par ailleurs, nous avons mesuré le niveau d'éclairage artificiel, il est équivalent à 70 lux une valeur stable mais en deçà de la valeur recommandée. Plusieurs facteurs interviennent, tels que le rapport surface fenêtre/surface plancher, la profondeur de l'espace pour l'éclairage naturel, et type, positions et nombre et type de lampes utilisées pour l'éclairage artificiel.

En été, nous remarquons, qu'en cette saison le niveau d'éclairage est meilleur que celui mesuré durant la saison hivernale, les surfaces réfléchissantes ainsi que la couleur ou le revêtement des bâtiments avoisinants, contribuent à améliorer nettement l'éclairage intérieur.

Les valeurs de notre deuxième cas d'étude sont assez bonnes et relativement meilleures que celles du cas précédent, l'optimisation des éclairages naturels contribue à améliorer la qualité du confort visuel naturel. De la même manière, la valeur de l'éclairage artificiel dans ce bâtiment est estimée à 95 lux ce qui l'approche moyennement de la valeur recommandée, l'optimisation de ce dernier à contribué à améliorer le seuil du confort visuel en général

II.1.6 Mesures du niveau de bruit

Les résultats des mesures du niveau de bruit intérieur sont présentés dans les figures suivantes (Fig. 179 et Fig. 180)

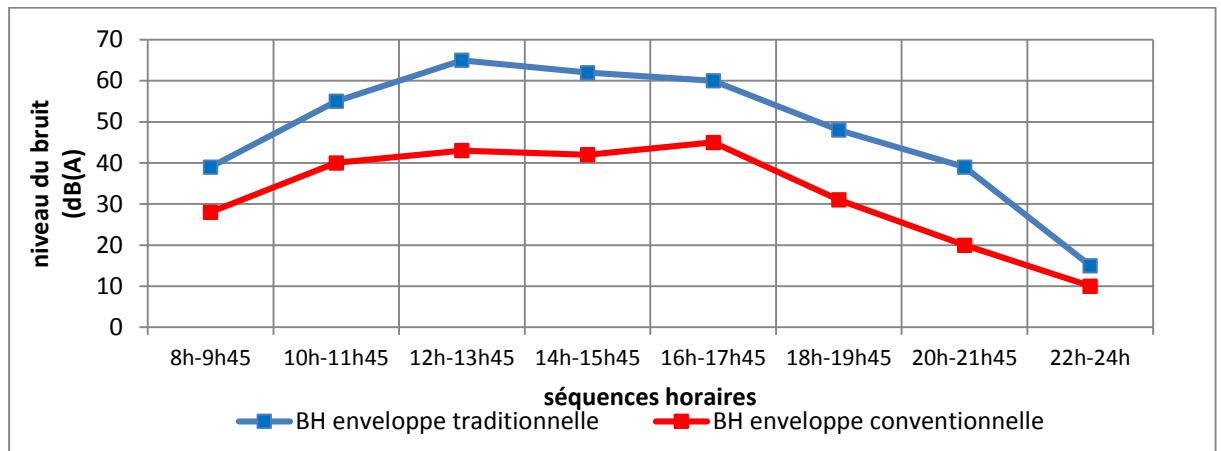


Fig. 179: Mesure du niveau de bruit en saison hivernale

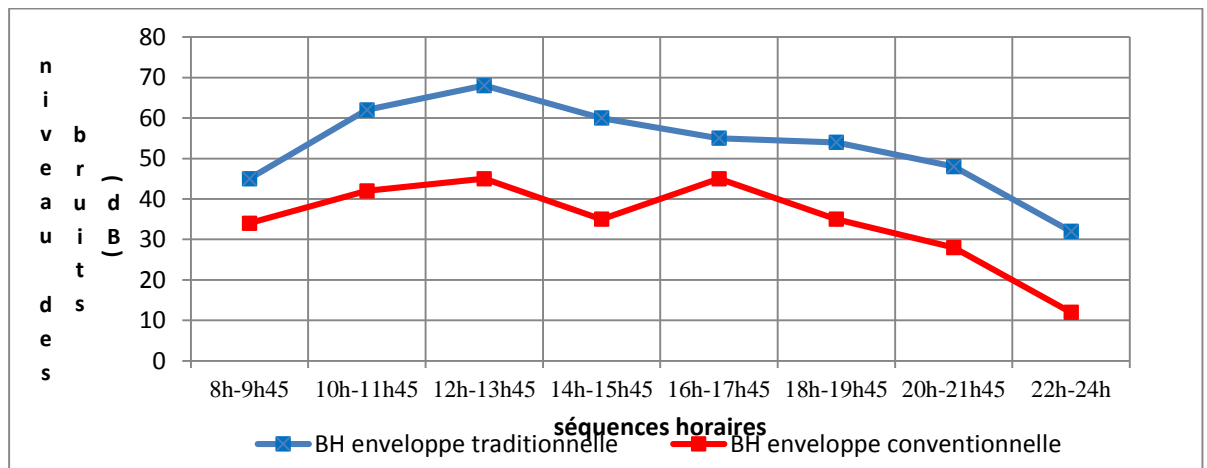


Fig. 180: Mesure du niveau de bruit en saison estivale

II.1.6.1 Interprétation des résultats

En comparant les valeurs obtenues à la valeur moyenne recommandée dans une chambre d'hôtel (50 db), nous pouvons dire que l'ambiance acoustique au sein du bâtiment hôtelier d'Alger centre est en dehors de la zone de confort en certaines séquences horaires, cela s'explique en grande partie par sa situation en plein centre d'Alger avec les grands axes routiers qui l'entourent augmentant ainsi les nuisances sonores, ces conditions urbaines auxquelles est exposé le bâtiment hôtelier affectent certainement son confort acoustique, ce qui veut dire que les propriétés d'absorption des murs permises grâce à la porosité de la pierre ne jouent pas un rôle significatif car leur effets ont été atténués à cause du revêtement, d'autre part, l'absence de matériaux performants à l'isolement acoustique ou de surfaces absorbantes efficacement ont contribué à cette situation.

En outre, l'ambiance au sein de notre deuxième cas d'étude est assez confortable, une élévation du niveau de bruit est enregistrée pendant les heures de pointe et surtout en saison estivale, sa situation à côté d'un quartier résidentiel le protège relativement des grandes nuisances sonores étant donné qu'il se trouve assez distant de ses dernières, mais signalons qu'actuellement (2016), la situation commence à changer (temporairement) avec le chantier d'habitation qui s'émerge juste en face.

II.1.7 Conclusions tirées de la campagne des mesures

- Pour une meilleure optimisation de la qualité du confort hygrothermique, l'enveloppe du bâtiment doit être constituée de matériaux ayant les propriétés suivantes :
 1. Grande effusivité ;
 2. Faible diffusivité ;
 3. Faible conductivité thermique ;
 4. Densité élevée.
- L'inertie thermique doit être combinée aux moyens de chauffage et de refroidissement naturel pour un meilleur confort hygrothermique et aéraulique ;
- La réduction des consommations énergétiques peut être obtenue grâce à l'utilisation de matériaux à grande inertie thermique ;
- Grâce aux mesures effectuées, nous pouvons déterminer une échelle d'appréciation de la vitesse de l'air intérieur au bâtiment (Fig. 181) :

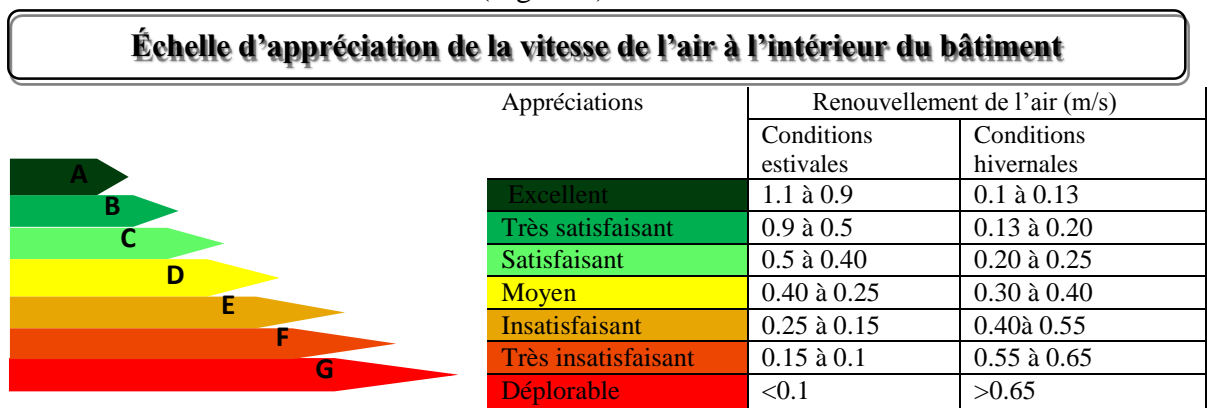


Fig. 181 : Échelle d'appréciation de la vitesse de l'air à l'intérieur du bâtiment

Pour optimiser le confort visuel, le niveau d'éclairage doit être équivalent à 100 lux au sein des chambres, pour cela il importe de considérer :

1. Le rapport surface vitrée/surface habitable ;

2. La qualité du vitrage qui doit être compatible avec l'orientation choisie ;
 3. Les caractéristiques lumineuses des surfaces (coefficient d'absorption, de réflexion et de transmission) ;
 4. Maximiser l'ensoleillement reçu ;
 5. Un bon rendu de couleur ;
 6. Efficacité de l'éclairage artificiel.
- Le confort acoustique dépend de la performance des matériaux ou éléments performants à l'isolement acoustique ;
 - La porosité de la pierre a des effets positifs sur la qualité acoustique, ainsi, l'augmentation de la porosité améliore davantage le confort acoustique ;
 - La porosité de la pierre génère une certaine quantité d'absorption mais qui sera réduite dès qu'on la revête ;
 - Afin d'optimiser au mieux le confort acoustique, un mur en pierre revêtu doit être associé à d'autres surfaces absorbantes ;
 - Afin d'atténuer les nuisances sonores, certaines mesures sont à prendre :
 - Revêtement des sols et parois: La constitution des parois horizontales, y compris les revêtements de sols, et des parois verticales doit permettre un niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé, $L_{nT,w}$ du bruit perçu dans les chambres, équivalent à 60 dB ;
 - L'isolement acoustique: standardisé pondéré, $D_{nT,A,tr}$:
 - Des chambres contre les bruits de l'espace extérieur doit être au minimum de 30 dB.
 - Des chambres vis-à-vis des aires de livraison extérieures doit être au minimum de 35 dB.
 - Conception des baies et façades: les baies doivent être conçues de façon à répondre aux exigences acoustiques ; isolation, double ou triple vitrage.

II.2 EVALUATION DE LA QUALITE DU CONFORT PAR L'ENQUETE DE SATISFACTION AUPRES DES USAGERS

Les résultats de l'enquête que nous avons établie auprès des usagers parallèlement aux mesures nous a permis de recueillir l'opinion de différents types d'usagers sur la qualité du confort au sein des espaces qu'ils occupent, leurs comportements ainsi que leur seuil de satisfaction vis-à-vis de l'environnement extérieur.

Cependant nous avons établis des référentiels qui nous permettront d'apporter une interprétation objective des résultats d'enquête obtenus et de connaître ainsi le seuil de la qualité environnementale de nos deux bâtiments hôteliers.

Ainsi, nous aurons d'une part les résultats d'enquête selon les items abordés (voir annexe 5), et d'autre part les référentiels qui seront utilisés ultérieurement afin de situer objectivement le seuil de la qualité de confort au sein de nos deux bâtiments hôteliers (hôtel Es-Safir et hôtel Les Roses).

II.2.1 Méthode de construction des référentiels

Les référentiels auxquels seront référés les différents types de confort durant la campagne d'enquête se présentent sous forme d'une échelle d'appréciation ou d'évaluation similaire à celle de l'étiquette de la performance énergétique proposée par la directive européenne de performance énergétique des bâtiments (DEPE), ce mode de représentation a été retenu pour sa large utilisation qui permet une facilité de compréhension, une facilité de lecture et une cohérence de langage dans les travaux internationaux, elle a été utilisée également dans des méthodes d'évaluation (Mandallena, 2006).

Ainsi nous établissons une échelle ou une grille de répartition discriminante de 7 classes de A à G dont les valeurs attribuées aux bornes inférieure et supérieure ainsi que celles attribuées entre ces deux dernières seront déduites selon les spécificités des aspects de confort abordés.

La figure suivante illustre le mode de représentation des différents référentiels construits (Fig.182).

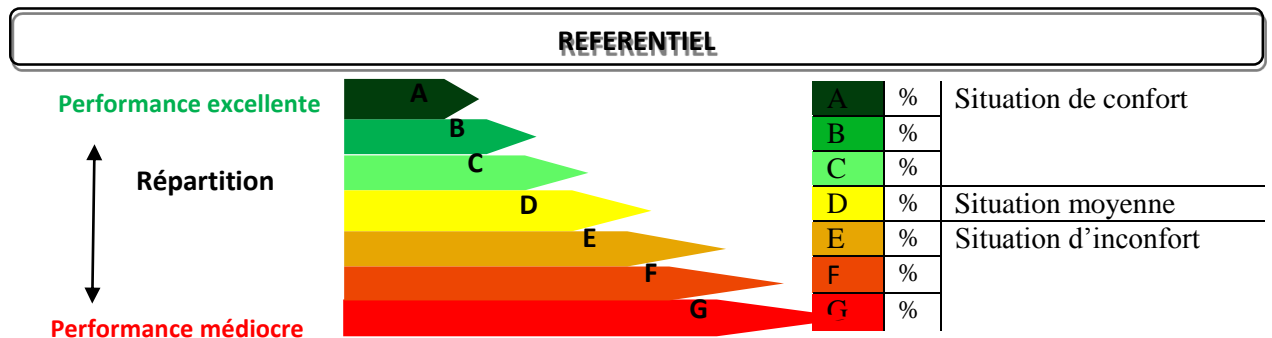


Fig. 182: Le mode de représentation des référentiels

Les référentiels en question sont de deux types :

A. Le premier type : il s'agit d'un référentiel de satisfaction général pour tous les aspects d'appréciation qui nous ont été possibles d'aborder, il est réparti en 7 classes, de A à G. ce référentiel a été construit en fonction de 3 repères :

- a. Une performance de 95% de satisfaits est considérée comme excellente étant donné qu'il sera impossible d'atteindre 100% ;
- b. Une situation moyenne reflète 50% de satisfaits comprise dans une plage allant de 40% à 55% de satisfaits ;
- c. Moins de 30% de satisfaits est considérée comme situation très mauvaise.

La figure suivante représente ce premier type (Fig.183) :

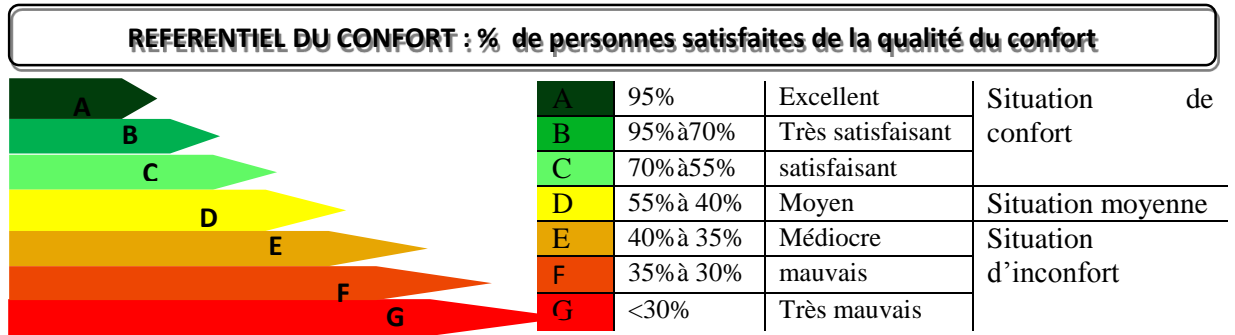


Fig. 183 : Référentiel du confort (premier type)

B. Le deuxième type : il s'agit d'un référentiel de satisfaction spécifique qui relève des caractéristiques inhérentes aux différents types de confort. Ainsi pour chaque type de confort, nous avons établi un seul référentiel qui correspond le mieux aux qualités recherchées dans les aspects du confort abordés et qui illustre la meilleure représentativité de ces derniers tout en considérant le contexte de notre problématique. Les référentiels construits sont les suivants :

- Référentiel du confort aéraulique : % d'espaces répondant aux besoins de ventilation ;
- Référentiel du confort visuel : % de temps d'utilisation inutile de l'éclairage artificiel ;
- Référentiel du confort acoustique : % d'espaces équipés en éléments ou matériaux performants à l'isolement acoustique ;
- Pour le confort thermique, nous allons appliquer la méthode de Fanger (PMV et PPD) présentée précédemment.

II.2.1.1 Référentiel du confort aéraulique

Ce référentiel qui est le % d'espaces répondant aux besoins de ventilation a été construit sur la base des repères suivants (Fig.184) :

- Si on a de 100% à 90% d'espaces répondant aux besoins de ventilation, on considère que le bâtiment bénéficie d'une ventilation excellente ;

- Le bâtiment est considéré comme moyennement ventilé, si seulement 70% à 60% de ses espaces sont couverts des besoins de ventilation ;
- Si la couverture des besoins de ventilation concerne moins de 40% des espaces du bâtiment, ce dernier sera situé dans la dernière classe.

Nous avons choisi délibérément une valeur élevée pour une dernière classe (40% pour la classe G) afin d'exprimer l'importance de la ventilation dans un bâtiment et son impact sur la santé des usagers.

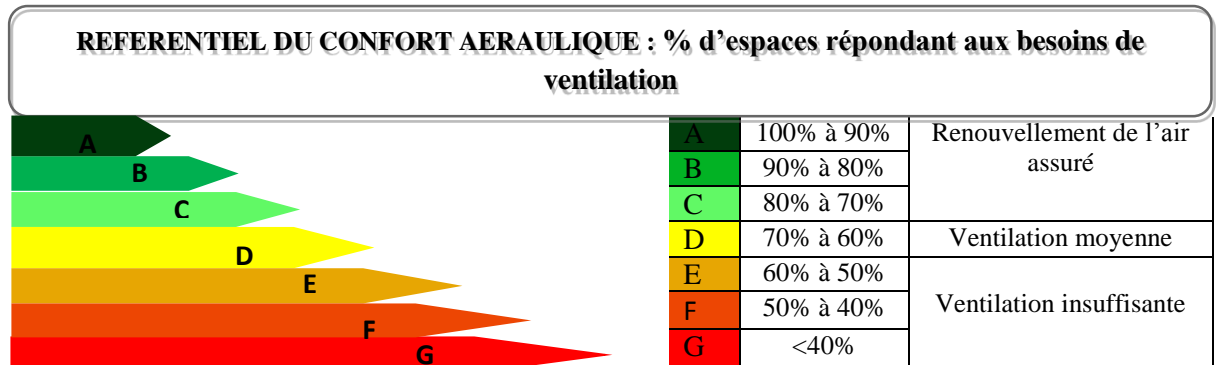


Fig. 184: Référentiel du confort aéraulique

II.2.1.2 Référentiel du confort visuel

Nous avons choisis pour ce référentiel le % de temps où l'utilisation de l'éclairage artificiel est inutile (lors de l'absence des usagers et lorsque le niveau d'éclairement naturel est suffisant). Les repères sur lesquels s'est basé ce référentiel sont les suivants (Fig.185) :

- Si le % d'utilisation inutile est de 5%, nous considérons la performance comme excellente ;
- Au-delà de 80% d'utilisation inutile, la performance est considérée comme médiocre.

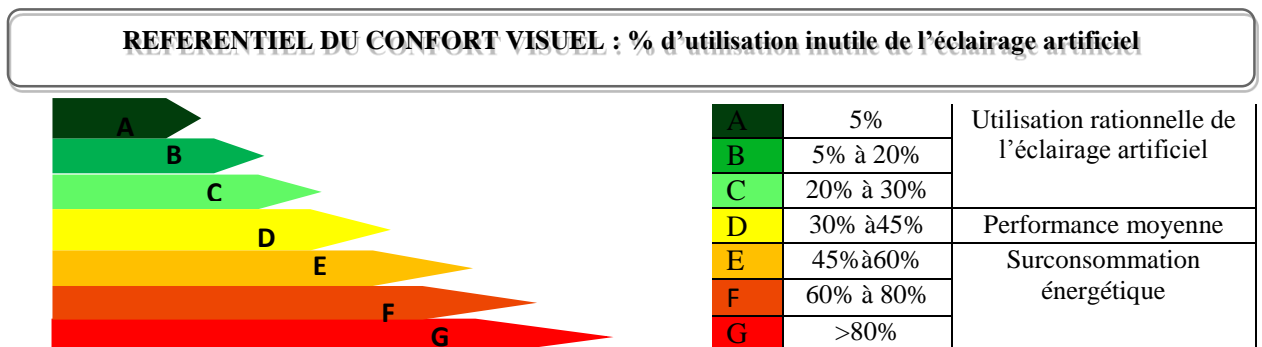


Fig. 185: Référentiel du confort visuel

II.2.1.3 Référentiel du confort acoustique

Il s'agit du % d'espaces équipés en éléments ou matériaux performants à l'isolement acoustique dans l'ensemble du bâtiment, les repères de ce référentiel sont les suivants (Fig.186) :

- 90% d'espaces équipés en ces matériaux reflétera une excellente performance ;
- Si on obtiendra 55% de ces espaces, la performance est jugée moyenne ;
- En deçà de 30%, la performance à l'isolement acoustique est considérée comme médiocre.

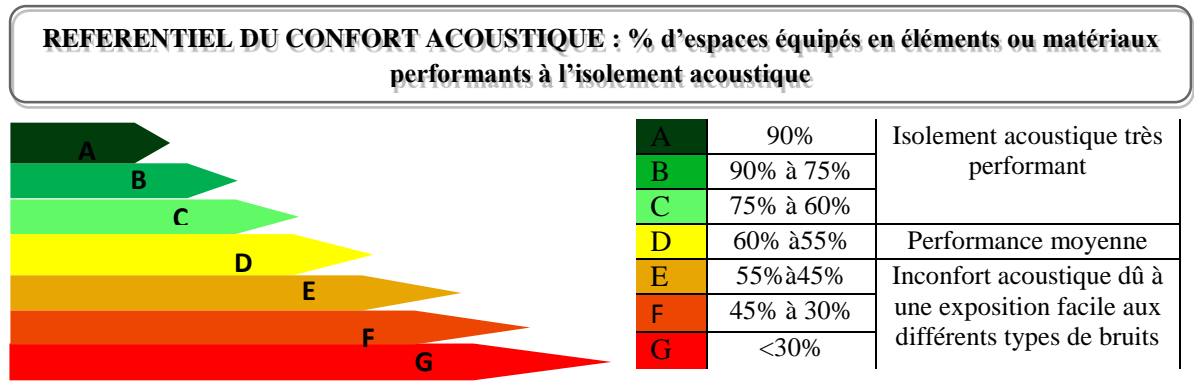


Fig. 186: Référentiel du confort acoustique

II.2.2 Résultats d'évaluation par l'enquête de satisfaction

Les résultats d'évaluation de la qualité du confort par l'enquête de satisfaction sont illustrés dans les figures suivantes (Fig. 187, Fig. 188, Fig. 189 et Fig.190) :

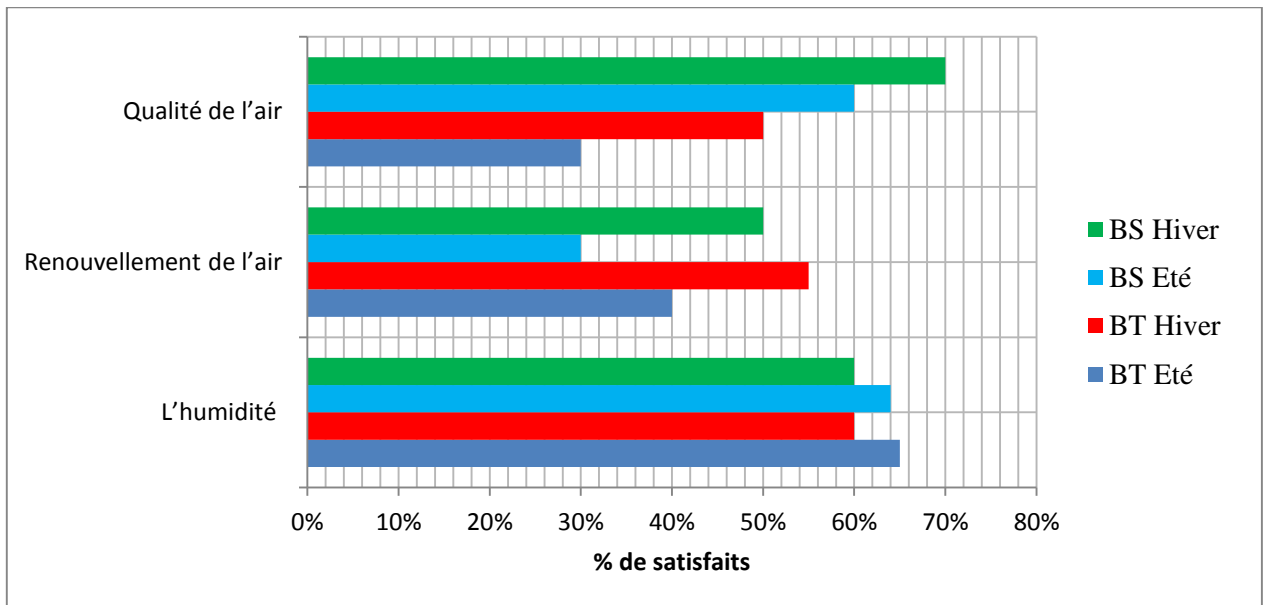


Fig. 187: Résultats d'enquête sur les items du confort aéralique

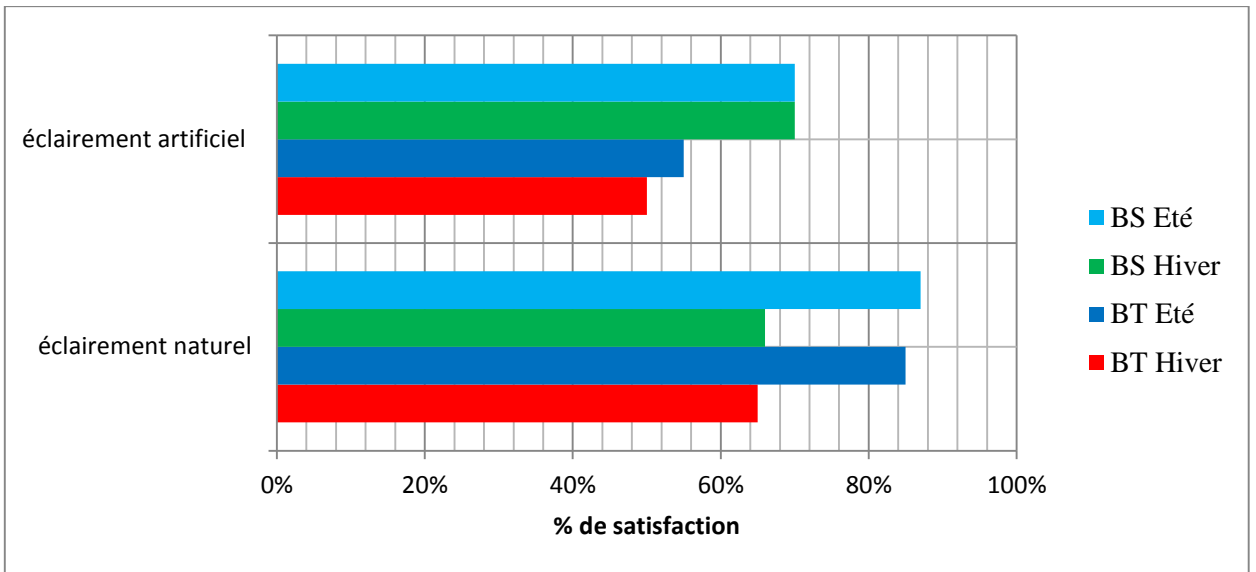


Fig.188: Résultats d'enquête sur les items du confort visuel

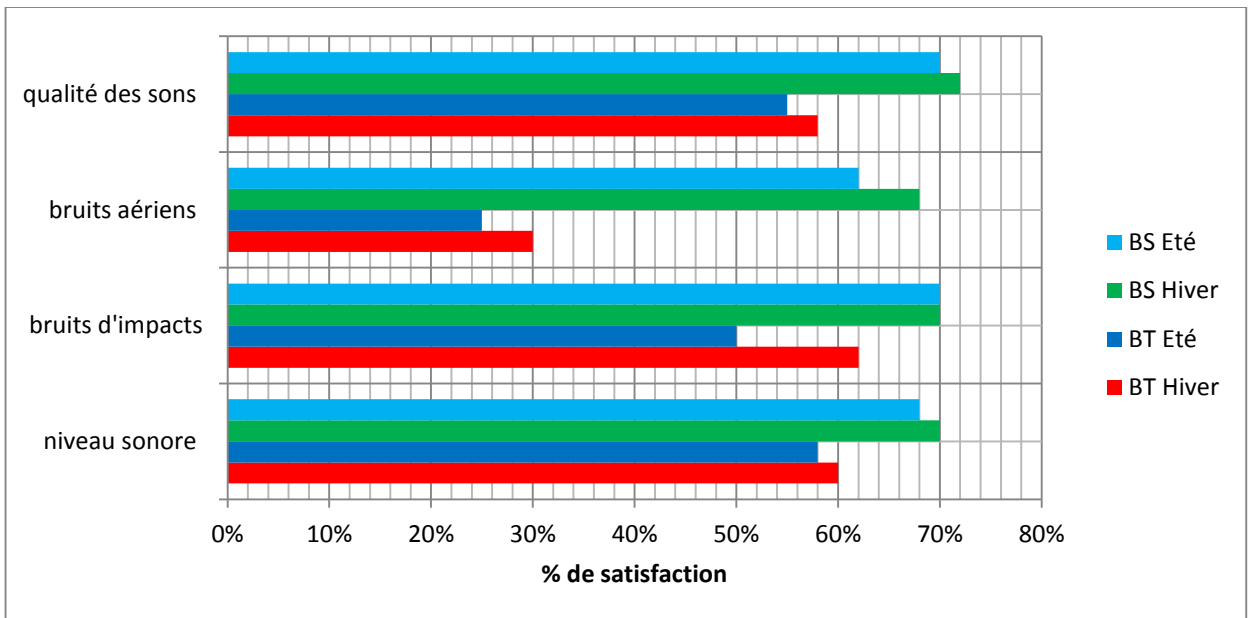


Fig. 189: Résultats de l'enquête sur les items du confort acoustique

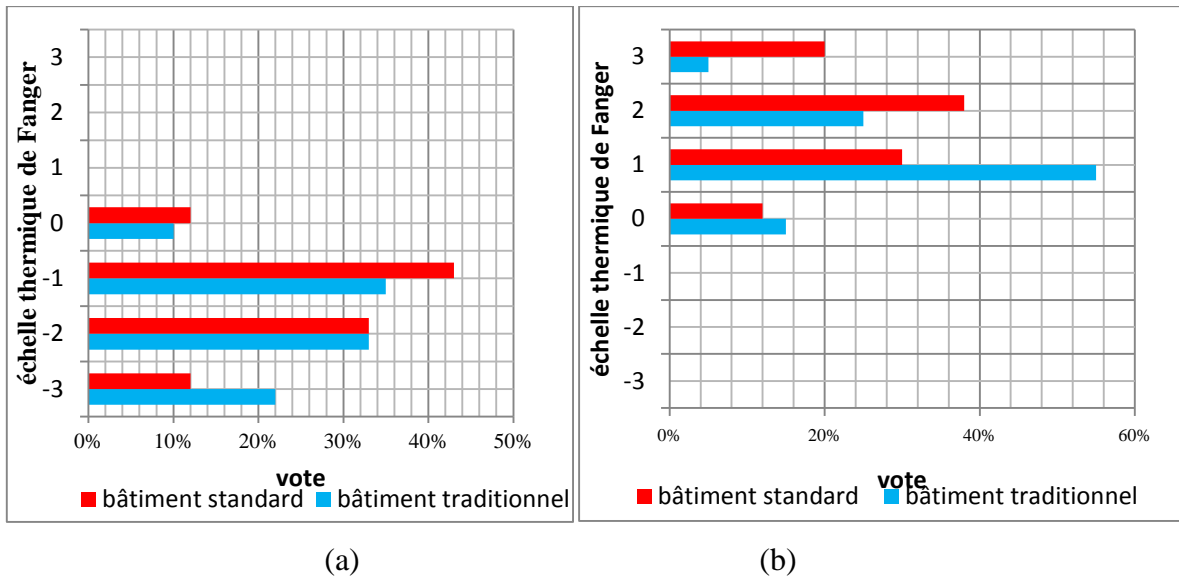


Fig. 190: Résultats de l'enquête sur la qualité du confort thermique (insatisfaction des usagers à l'échelle de Fanger PPD) en saison estivale (a) et en saison hivernale (b)

II.2.2.1 Interprétation des résultats

a. Ceux du confort aéraulique

Nous constatons une satisfaction moyenne vis-à-vis de l'humidité dans le bâtiment traditionnel, en effet, cette dernière est visiblement réduite par une ventilation qui même si elle existe elle n'est pas suffisante en prenant en compte les températures enregistrées ce qui justifie les avis partagés sur l'item du renouvellement de l'air en saison estivale, ceux qui sont satisfaits occupent les chambres donnant sur la façade nord, les autres le sont moins, sans oublié les spécificités hygrométriques de l'enveloppe du bâtiment qui ont contribué à cette réduction, or la qualité de l'air est détériorée à cause des gaz d'échappement émanant des voitures dont le nombre est très important sur les voies entourant ce bâtiment. En outre, la situation péri urbaine du bâtiment standard le préserve de ces gaz, ses usagers sont par ailleurs légèrement moins satisfaits du renouvellement de l'air que ceux du bâtiment traditionnel vu qu'il ne bénéficie d'aucune brise marine.

b. Ceux du confort visuel

Pour le confort visuel, on constate une grande satisfaction du niveau d'éclairage naturel pour les deux bâtiments, mais signalons que les appréciations des usagers sont différentes selon l'orientation des chambres qu'ils occupent, or l'éclairage artificiel est plus performant dans le bâtiment standard ce qui explique la grande satisfaction de ses usagers pour cet item.

c. Ceux du confort acoustique

La situation urbaine au plein centre d'Alger du bâtiment traditionnel, semble être également la cause de l'insatisfaction de ses usagers à la qualité acoustique notamment en ce qui concerne les bruits aériens, cela s'explique par l'absence des matériaux performants à l'isolement acoustique contrairement au bâtiment standard qui affiche une meilleure satisfaction. Et pourtant nous signalons que les usagers choisissent hôtel Es-Safir, entre autres, pour sa situation en plein centre d'Alger.

d. Ceux du confort thermique

Afin de connaître le seuil de croisement des résultats d'enquête et ceux des mesures, nous avons délibérément opté pour un entretien de confort thermique sans moyens actifs tout en cherchant l'opinion des interlocuteurs sur ces derniers, les résultats montrent que pour le bâtiment à enveloppe traditionnelle et pour le confort thermique d'hiver : le PPD est de $55\% \pm 5\%$, le PMV est de $\pm 1.8\%$, le % de satisfaits est de $\pm 45\%$ répartis entre -1 et +1.

Pour le confort thermique d'été, le PPD est de $30 \pm \%$, le PMV est de ± 1.2 le % de satisfaits est de $\pm 70\%$ répartis entre -1 et +1.

Pour le bâtiment à enveloppe standard et pour le confort thermique d'hiver : Le PPD est de $45\% \pm 5\%$, le PMV est de $\pm 1.80\%$, le % de satisfaits est de $\pm 55\%$ répartis entre -1 et +1.

Pour le confort thermique d'été : Le PPD est de $58\% \pm 5\%$, le PMV est de $\pm 1.9\%$, le % de satisfaits est de $\pm 42\%$ répartis entre -1 et +1.

Les critères abordés dans l'enquête et liés à ce type de confort apparaissent nettement favorables pour le bâtiment à enveloppe traditionnelle pour le confort thermique d'été, cela s'explique par les propriétés hygrothermique de la pierre dont est constituée son enveloppe ce qui lui permet d'offrir un confort thermique d'été satisfaisant. Pour le confort thermique d'hiver, nous constatons, même si la différence n'est pas importante (5%), plus d'insatisfaits dans le bâtiment traditionnel que dans le bâtiment standard, cette insatisfaction est celle des usagers des chambres exposées au vent froid du nord, mais sans moyens actifs, les deux bâtiments ne sont pas très confortables en hiver. En interrogeant les interlocuteurs sur les moyens actifs, ces derniers ont surtout critiqué la climatisation trop forte pourtant réglable, et le fait qu'elle soit très bruyante.

Nous avons synthétisé les résultats de l'enquête de satisfaction pour les différents types de confort via la figure suivante (Fig.191)

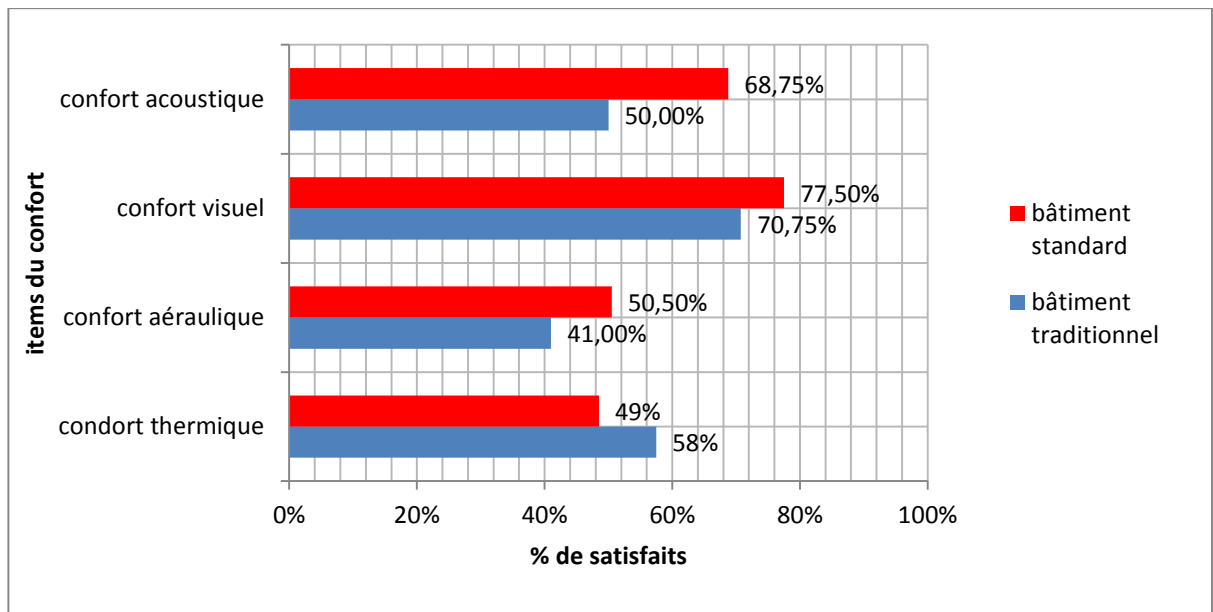


Fig. 191: Synthèse des résultats d'enquête de satisfaction sur la qualité du confort

En outre, la figure suivante (Fig.192), récapitule les résultats d'enquête de satisfaction sur la qualité de l'environnement extérieur:

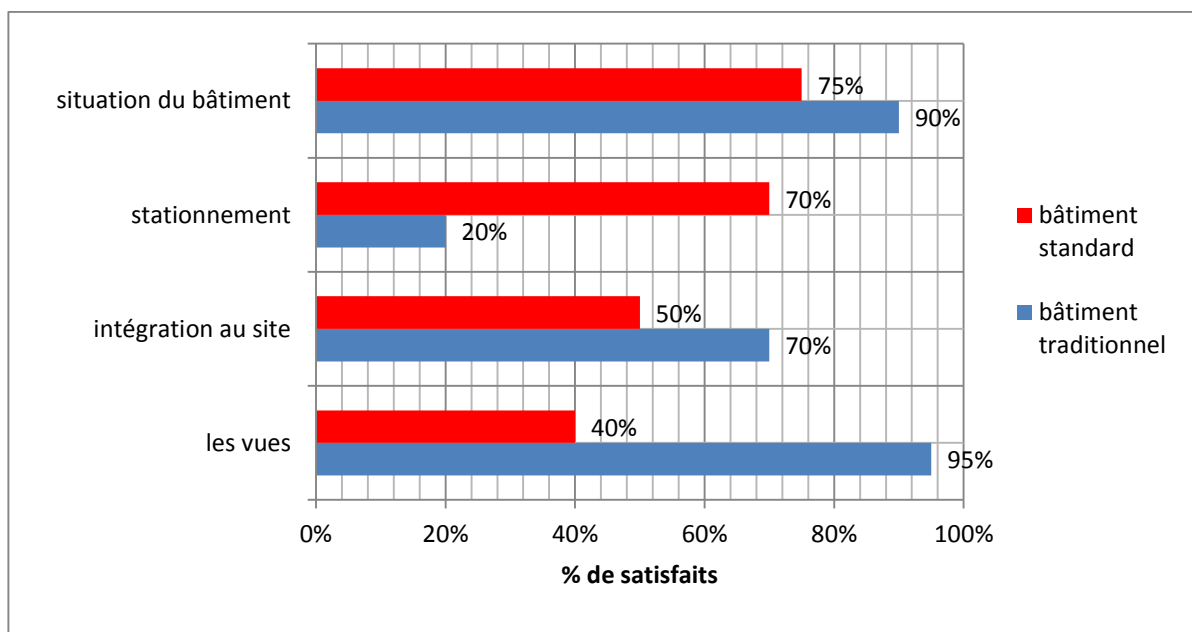


Fig. 192: Résultats de l'enquête sur les items de la qualité de l'environnement extérieur

Pour l'environnement extérieur, les résultats se diffèrent d'un critère à un autre, en effet ceux qui sont satisfaisants pour le bâtiment à enveloppe traditionnelle le sont moins pour l'autre bâtiment, il s'agit à fortiori de l'intégration au site et les vues, la situation urbaine du bâtiment traditionnel, semble en outre plaire à la majorité des interviewés pourtant c'est cette même situation qui engendre un déficit important en aires de stationnement.

II.2.3 Performance des variantes à la qualité du confort par type de référentiel

Afin de situer pertinemment et objectivement le seuil de confort au sein de nos deux variantes (Es-Safir et Les Roses), nous allons transposer les résultats obtenus de l'enquête de satisfaction sur le premier type de référentiel (référentiel général) présenté précédemment, ensuite, nous allons recourir au deuxième type de référentiel spécifique aux différents types de confort afin d'avoir une évaluation complète du confort au sein de nos deux variantes, nous signalons toutefois que les items des référentiels sont complémentaires à ceux abordés par l'enquête et correspondent à leur meilleure représentativité, par la même occasion, nous rappelons que pour le confort thermique nous avons recouru à l'échelle de Fanger (PPD) qui sera ainsi transposé uniquement sur le référentiel général afin d'éviter toute reprise inutile.

Les résultats obtenus sont récapitulés dans les tableaux suivants (Tab. 74 et Tab. 75).

Tab. 74: Transposition des résultats d'enquête sur le référentiel général

Type de confort	Bâtiment	% de satisfaits	Échelle du référentiel	seuil du confort	Situation de confort
Confort thermique	Traditionnel	58%	C	Bon	Confort satisfaisant
	Standard	49%	D	Moyen	Confort moyen
Confort aéraulique	Traditionnel	41%	D	Moyen	Confort moyen
	Standard	50.50%	D	Moyen	Confort moyen
Confort visuel	Traditionnel	70.75%	C	Bon	Confort satisfaisant
	Standard	77.5%	C	Bon	
Confort acoustique	Traditionnel	50%	E	mauvais	Inconfort
	Standard	68.75%	C	Bon	Confort satisfaisant

Tab. 75: Transposition des résultats d'enquête sur les référentiels spécifiques aux différents types de confort

Type de confort	Nature de l'item	Bâtiment	% selon la nature de l'item	Échelle du référentiel	seuil du confort
Confort aéraulique	:% d'espaces répondant aux besoins d'une ventilation suffisante en été	Traditionnel	50%	E	Renouvellement de l'air insuffisant
		Standard	50%	E	renouvellement de l'air insuffisant
Confort visuel	% de temps d'utilisation inutile de l'éclairage artificiel	Traditionnel	50%	E	Surconsommation énergétique (électricité)
		Standard	30%	C	utilisation rationnelle de l'éclairage artificiel
Confort acoustique	% d'espaces équipés en éléments ou matériaux performants à l'isolement acoustique	Traditionnel	10%	G	Inconfort acoustique dû à une exposition facile aux différents types de bruits
		Standard	60%	D	Performance moyenne

II.2.3.1 Discussion

Nous remarquons clairement une compatibilité des résultats d'enquête à l'échelle du référentiel général ce qui consolide la fiabilité de ce dernier. D'autre part, nous constatons que l'inconfort est ressenti surtout pour le bâtiment traditionnel en ce qui concerne le confort aéraulique dû notamment à la dégradation de sa qualité ainsi que le confort acoustique qui est corrélé aux bruits de l'extérieur émanant du trafic routier qui se propagent aisément vers les espaces intérieurs.

Par ailleurs le second tableau nous apporte d'autres éléments de réponse, en effet, nous constatons que les différents items de ce deuxième type de référentiel, confirme et justifie à la fois les résultats d'enquête, en effet l'inconfort acoustique ressenti dans les espaces du bâtiment traditionnel est dû à l'absence d'éléments ou matériaux performants à l'isolement acoustique à l'exception des moquettes utilisées dans les chambres, contrairement au bâtiment standard dont 60% d'espaces sont équipés en ces matériaux, la même correspondance est constatée pour les autres items par rapport aux résultats d'enquête, telle que la surconsommation énergétique du bâtiment traditionnel due à l'absence d'équipements performants économes en énergie et non pas à une utilisation réduite de la lumière naturelle ce qui correspond aux résultats obtenus liés à la satisfaction des usagers à l'éclairage naturel. Une certaine homogénéité est observée en ce qui concerne la ventilation des espaces intérieurs dont 50% des espaces uniquement sont ventilés suffisamment, ces derniers sont orientés vers le nord, et dans une moindre mesure, les espaces du bâtiment standard qui lui aussi est sous influence du climat méditerranéen mais distant de 45km de la mer, néanmoins cette ventilation est insuffisante comparée aux température enregistrées.

CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons levé le voile sur la procédure de la campagne d'enquête et celle des mesures réalisées au sein de deux bâtiments l'un à enveloppe traditionnelle (Es-Safir) et l'autre à enveloppe standard (Les Roses), les résultats de ces deux campagnes sont concluants, il nous ont permis, entre autres, de connaître le seuil de confort au sein de nos deux bâtiments et l'influence de leurs enveloppes sur l'évolution de la courbe de température et d'humidité. Dans le chapitre suivant, nous allons réaliser plusieurs séries de simulations nécessaire pour l'application de notre méthode afin de situer les résultats obtenus dans un cadre objectif et rigoureux.

Chapitre VI

SIMULATION DYNAMIQUE MULTIZONE ET CALCUL DES INDICATEURS

*« Lorsque le dernier arbre aura été abattu, le dernier
fleuve pollué, le dernier poisson capturé, vous vous rendrez
compte que l'argent ne se mange pas. »*

Chef Seattle, 1854

INTRODUCTION

Ce dernier chapitre va être consacré à la dernière étape de notre méthode, en l'occurrence ; la simulation dynamique multizone de nos trois variantes qui va nous permettre de calculer nos 15 indicateurs et procéder ainsi à leur comparaison, par la même occasion, des propositions d'amélioration des bilans, environnemental et énergétique, vont être concrétisées à partir de plusieurs séries de simulations qui concerneront les différentes composantes de nos variantes, cette réflexion va nous permettre de connaître les paramètres susceptibles de réduire les impacts environnementaux tout en offrant un meilleur confort intérieur. A l'issue de cela, des conclusions vont être finalement tirées et des perspectives vont être déduites qui mettront en avant la fiabilité et la fluidité de notre méthode.

I. EVALUATION THERMIQUE, ENERGETIQUE ET ENVIRONNEMENTALE DES VARIANTES

La première section de ce dernier chapitre va se focaliser sur l'évaluation thermique, énergétique et environnementale de nos trois variantes via plusieurs séries de simulations qui vont répondre d'une part à la problématique que nous avons déjà posée, et d'autre part, vont contribuer à spécifier une variante dont le bilan énergétique et environnemental sera nettement amélioré

I.1 CARACTERISTIQUES GENERALES DES VARIANTES

Nous rappelons que notre méthode sera appliquée sur deux variantes dont les performances seront comparées à une variante référence ; trois variantes de base sont donc définies :

- La variante traditionnelle : il s'agit d'un bâtiment à enveloppe traditionnelle qui correspond aux techniques de construction coloniales ;
- La variante standard : c'est un bâtiment qui correspond aux techniques de construction standard actuelles ;
- La variante référence : il s'agit d'un BBC (Bâtiment à Basses Consommation), correspondant aux techniques les plus performantes.

L'application de notre méthode nous permettra d'atteindre un triple objectif :

1. Démontrer la faisabilité de notre méthode et son aboutissement à des résultats probants inhérents à l'évaluation des impacts environnementaux de différents bâtiments ;
2. Connaître la corrélation entre les différentes spécificités techniques, constructives et le comportement du bâtiment ;

3. Choisir l'alternative la plus performante énergétiquement et la moins génératrice d'impacts.

Il importe de rappeler la différence entre ces trois variantes, en matière d'enveloppe, de climat mais également de scénarios, cette différence a été délibérément retenue afin d'inscrire chaque bâtiment dans son propre contexte spécifique, à partir de cela nous précisons que l'objectif de la première série de simulations n'est pas de comparer les variantes entre elles, notamment en matière de comportement thermique et énergétique, étant donné qu'elles diffèrent et qu'elles appartiennent à des contextes très disparates ce qui fait éloigner toute objectivité de la comparaison, mais cette série de simulation a plutôt pour objectif de créer trois variantes de base, par rapports auxquelles seront comparées le bilan énergétique (en matière des besoins de chauffage) et le bilan environnemental (en matière de la génération des impacts) de différentes sous variantes appartenant au même contexte de chaque variante de base, ce qui rend la comparaison plus objective, en outre, l'étude thermique des variantes de base, a pour premier but de connaître la corrélation entre les paramètres intrinsèques à chacune de ces dernières et l'évolution de leur température intérieure, les résultats obtenus seront ensuite comparés à ceux des sous-variantes, ces dernières seront présentées dans les paragraphes suivants

Par ailleurs, ces séries de simulation nous permettront de connaître la pertinence du choix effectué en matière de scénarios et savoir si les consignes retenues permettent d'aboutir à des résultats satisfaisant.

Les principales caractéristiques de nos trois variantes de base ainsi que les scénarios retenus sont récapitulés dans les tableaux suivants (Tab.76 et Tab.77)

Tab.76 : Caractéristiques générales des variantes comparées et scénarios retenus

Variantes	Traditionnelle	Standard	Référence BBC
Nom du bâtiment	Es-safir	Les Roses	Golden tulipes
Situation	Alger centre (Algérie)	Blida (Algérie)	Saint Priest -Lyon.(France)
Date de construction	1930	2011	2009
Enveloppe	Traditionnelle	Standard	Basse consommation
Principaux matériaux utilisés	Pierre	Brique	Béton
Climat	Méditerranéen littoral	Méditerranéen intérieur	Semi continental
Nombre de niveau simulés	R+4	R+4	R+4
Estimation du SHON par EQUER	13499.21 m ²	6038.20 m ²	5800.49 m ²
Scénarios de fonctionnement			

Chauffage et climatisation	Type de chauffage non spécifié, Consignes par défaut proposées par le logiciel afin de connaître la pertinence de ce choix et leur incidence sur le comportement énergétique et environnemental des bâtiments		
Ventilation	Ventilation naturelle	VMC classique modulée	VMC double flux avec échangeur de chaleur (0.6 vol/h)
Principaux scénarios ACV			
Energie	Gaz naturel (100%)		Gaz naturel (chauffage) et bois énergie (ECS)
Eau	300l/j/p		250l/p/j
Déchets	1500g/j/p		1000g/j/p
Nombre d'occupants considérés par EQUER	350	250	200
Durée de simulation	100 ans		

Tab.77 : Principales caractéristiques techniques des variantes comparées

		Traditionnelle	Standard	Référence BBC
Paroi extérieure		Mur en pierre ep=60cm	Brique perf. horiz. 15cm + lame d'air. 5mm flux asc+brique. perf. horiz. 10cm .	Isolant générique ep=20cm+ Béton lourd ep=16cm
Paroi intérieure		Mur en pierre. ep=30cm	Proie en brique (plâtre courant 2cm, brique creuse 5cm, plâtre courant 2 cm)	Parpaing ep =20cm
Plancher bas	Composants	Plancher sur voûtes ep= 17.5cm	Plancher terre pleine(Béton lourd de 20cm+polystyrène expansé de 4cm+mortier de 5cm+carrelage de 2cm)	isolant générique ep=15cm+ Béton lourd ep= 20cm
	Pont thermique	1w/mK	0.55w/mK	0.25w/mK
Plancher intermédiaire	Composants	Plancher ancien en mortier (bois léger 2.5cm+mortier.3cm+ carrelage.2cm) ep=7.5 cm	Plancher courant en hourdis(Placoplatre BA13 de 1.3cm+hourdis de 12cm en béton+béton lourd de 4cm+mortier de 5cm+carrelage de 1cm)	Béton lourd ep= 20cm
	Pont thermique	1w/mK	0.7w/mK	0.35w/mK
Plancher haut	Composants	plafond en plâtre lattis entraxe ep= 17.5cm	Toit terrasse en béton lourd ep 5cm	Laine de verre ep = 26cm+ Plâtre gypse ep= 1cm
	Ponts thermique	0.71w/mK	0.31w/mK	0.29w/mK
Menuiserie	Fenêtre et porte fenêtre (PF)	PF Simple vitrage Ucadre=3 W/(m².K) Pourcentage de clair=63%	PF battante Double Vitrage 4.6.4 Ucadre =2.6 W/(m².K) Pourcentage de clair=63%	Double-vitrage peu émissif argon Ucadre = 2.1 W/(m².K) Pourcentage de clair = 85 % Uvitrage vertical = 1.3 W/(m²k)
	Porte	Porte en bois, Ucadre=5 W/(m².K)	Porte en bois, Ucadre=5 W/(m².K)	Porte isolante Ucadre = 1 W/(m².K)

I.2 DEMARCHE DE SIMULATION SUIVIE

Nous avons modélisé en premier lieu nos trois bâtiments via le logiciel ALCYONE en dessinant les différents niveaux à partir de la numérisation des plans, avant d'arriver au plan final de chaque bâtiment, à l'aide du même logiciel nous avons attribué à nos bâtiments différentes zones thermiques (Fig. 193, Fig.194, Fig.195). Nous avons saisi par la suite à l'aide du module PLEIADES, leurs caractéristiques, leurs équipements et leurs scénarios de fonctionnement. Nous avons créé également trois stations météorologiques à l'aide de ce module (PLEIADES) nécessaires pour la simulation dynamique par le logiciel COMFIE (annexe 7). Après avoir réalisé cette simulation, nous avons attribué différents scénarios environnementaux à nos variantes grâce au logiciel EQUER qui nous a permis d'effectuer l'ACV de nos bâtiments.

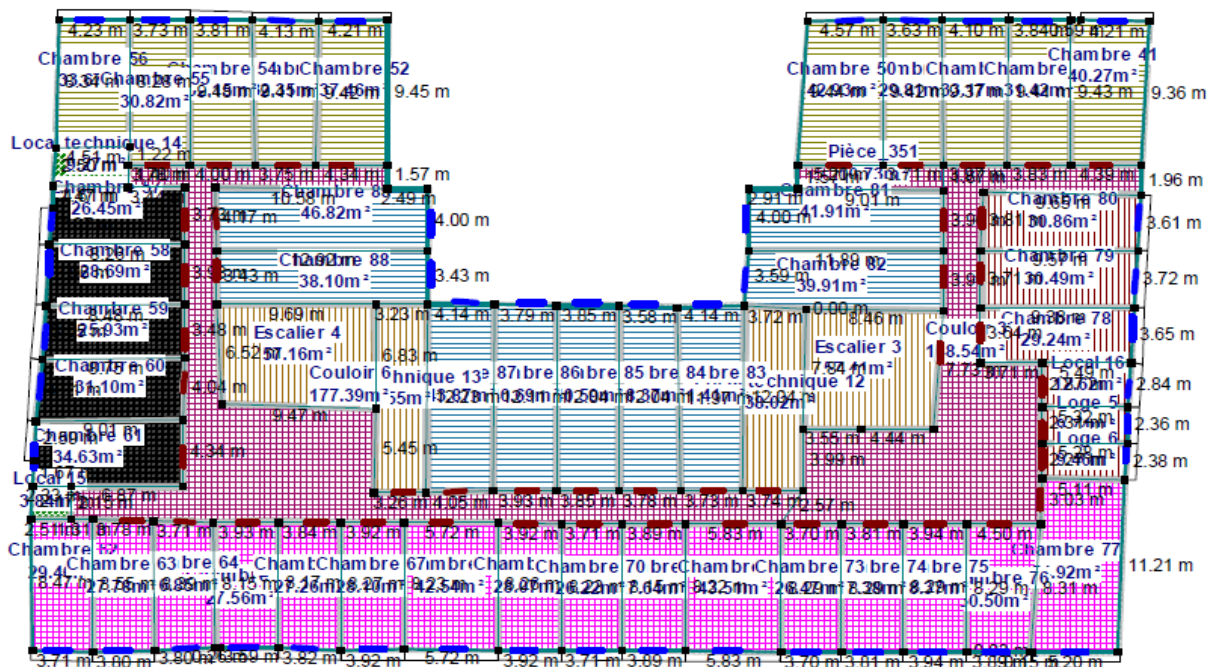


Fig. 193: Zonage thermique de l'étage courant du bâtiment traditionnel via ALCYONE

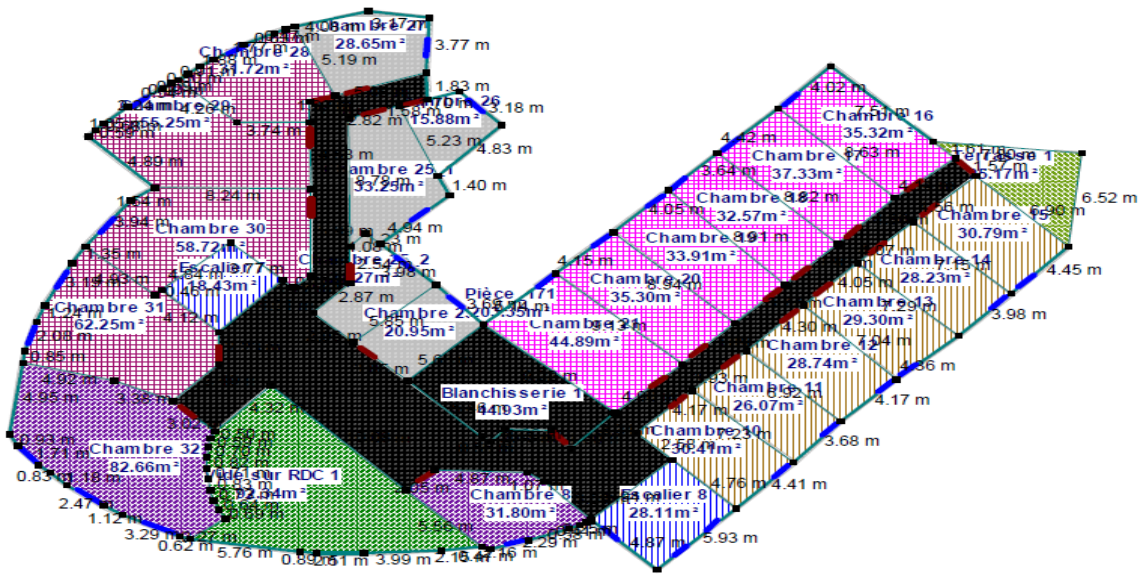


Fig. 194 : Zonage thermique de l'étage courant du bâtiment standard via ALCYONE

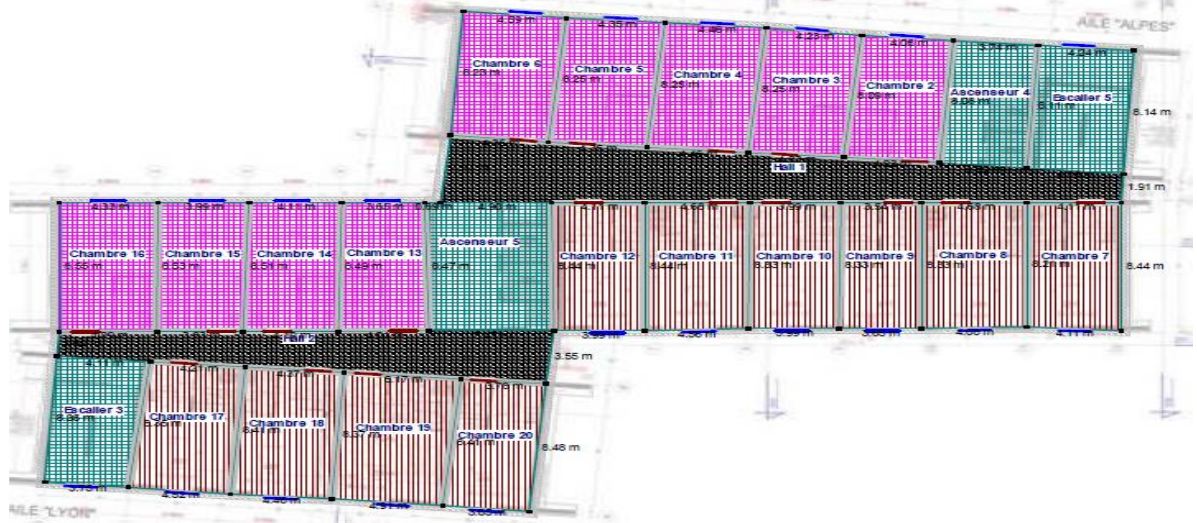
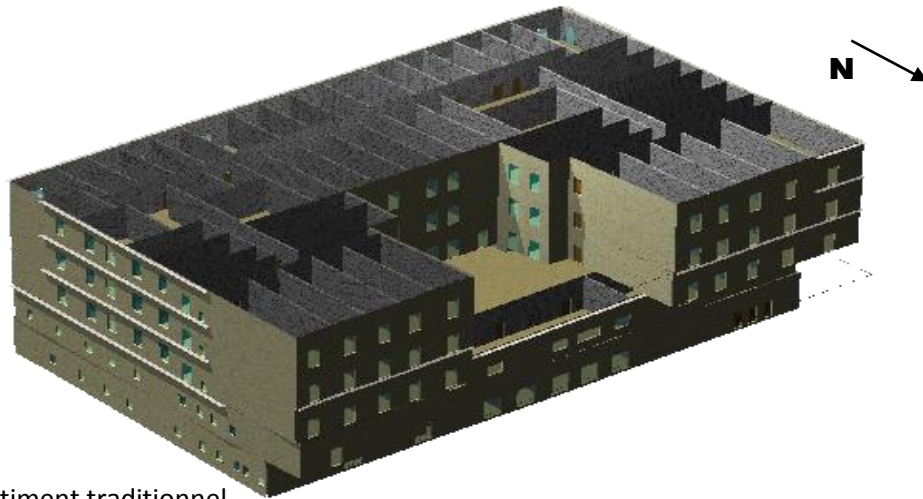
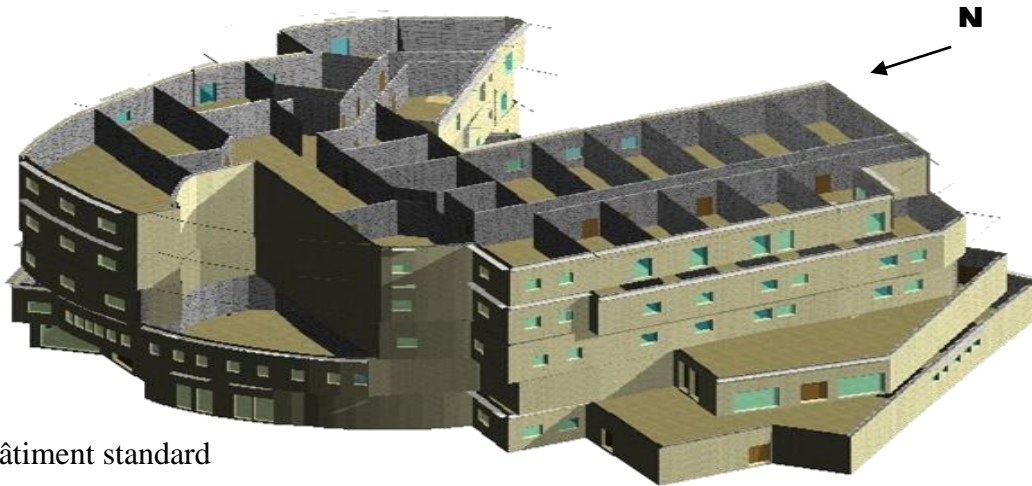


Fig. 195: Zonage thermique de l'étage courant du BBC via ALCYONE

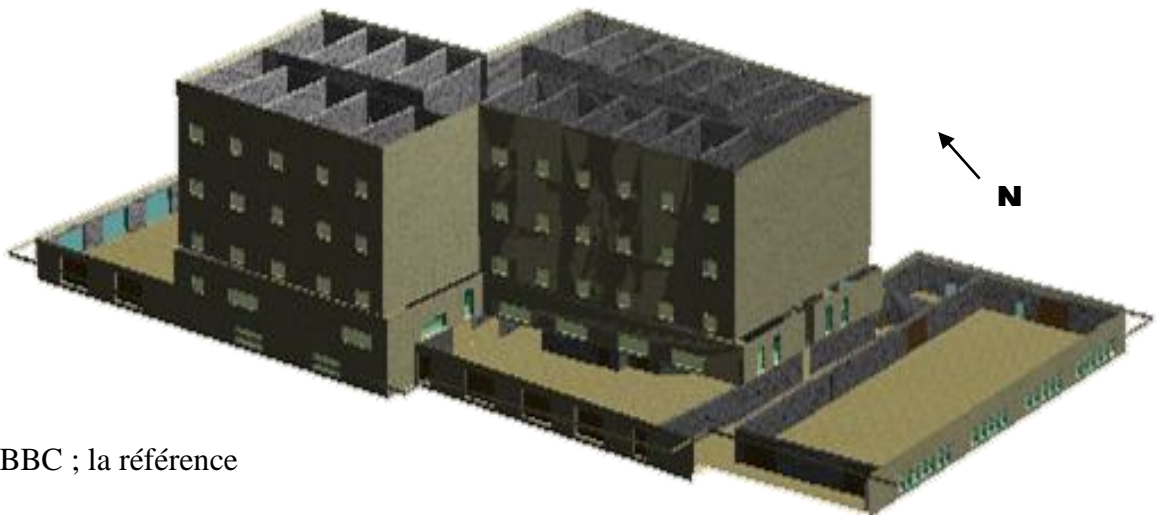
Les trois variantes de bâtiments ont été modélisées via le logiciel ALCYONE en considérant plusieurs zones thermiques en se basant principalement sur l'orientation et la fonction des espaces. Ci-dessous un aperçu sur les zones thermiques en 3D de nos variantes modélisées (Fig.196).



Bâtiment traditionnel

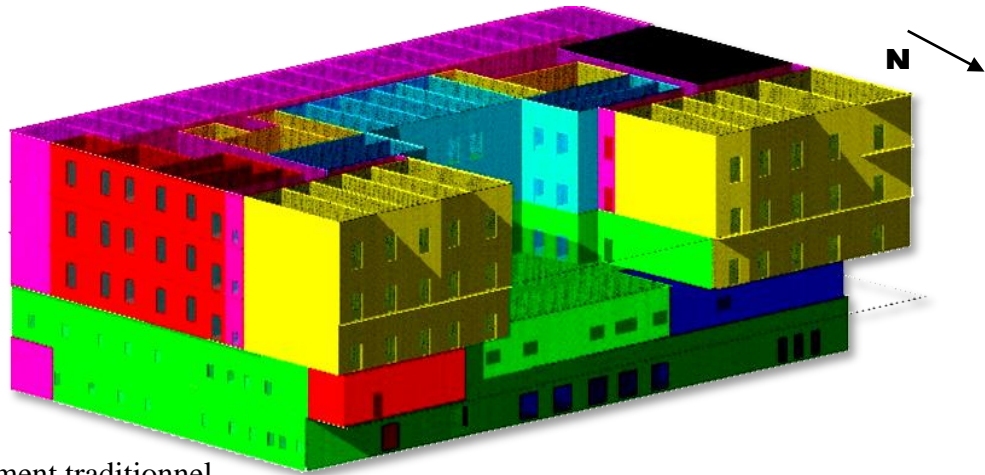


Bâtiment standard

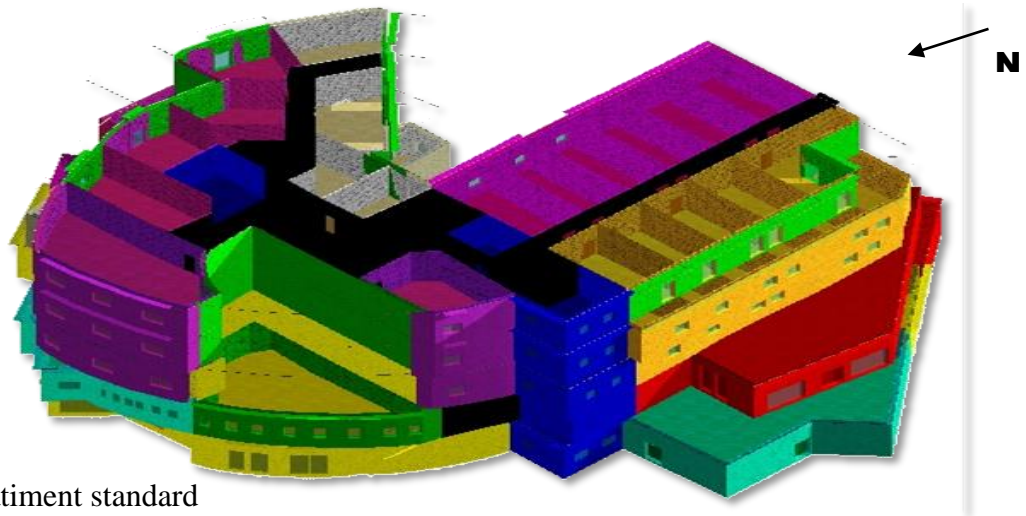


BBC ; la référence

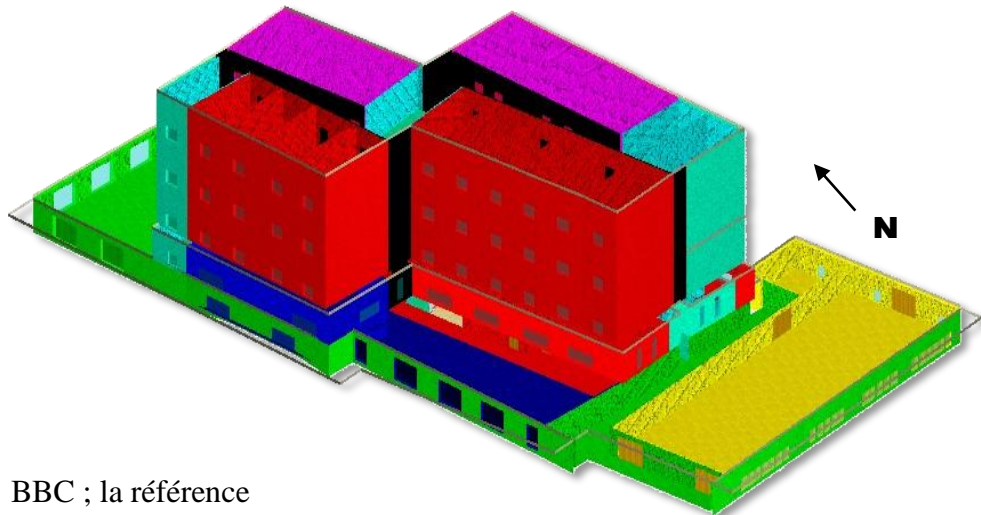
(a)



Bâtiment traditionnel



Bâtiment standard



BBC ; la référence

(b)

Fig.196 : Modélisation en 3D des trois bâtiments (a) et zonage thermique attribué (b) via le logiciel ALCYONE

I.3 SIMULATION ENERGETIQUE ET THERMIQUE DES TROIS VARIANTES

Les résultats obtenus sont présentés dans les Fig. 197, Fig. 198, Fig. 199 et Fig. 200, elles ont été réalisées à l'aide de la suite logicielle PLEIADES-COMFIE.

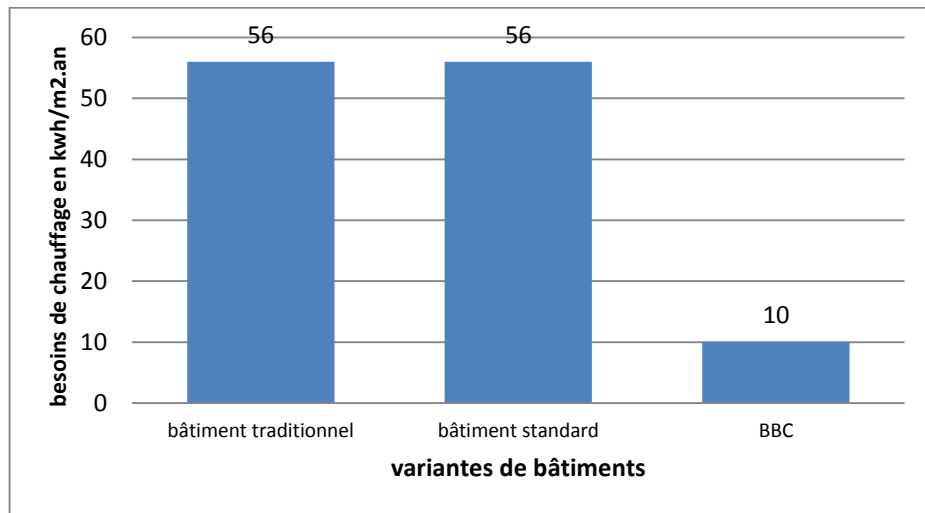


Fig.197. Besoins annuels de chauffage pour les trois variantes

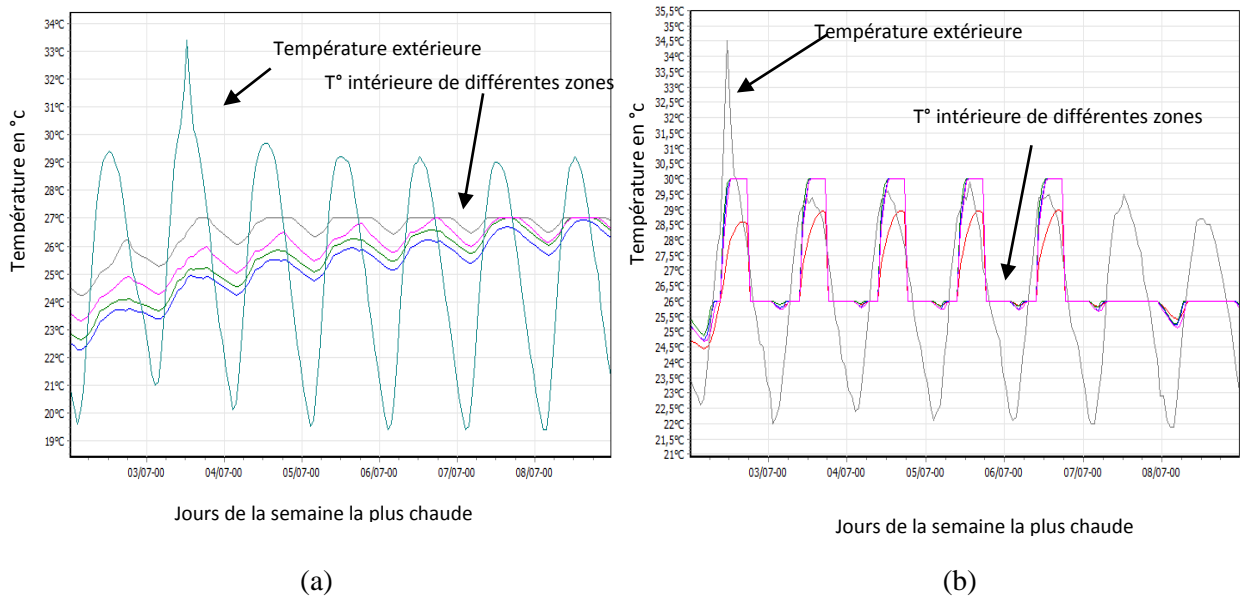


Fig.198. Étude comparative de l'évolution de la température extérieure et de la température intérieure de différentes zones du bâtiment traditionnel (a) et du bâtiment standard (b) durant la semaine la plus chaude

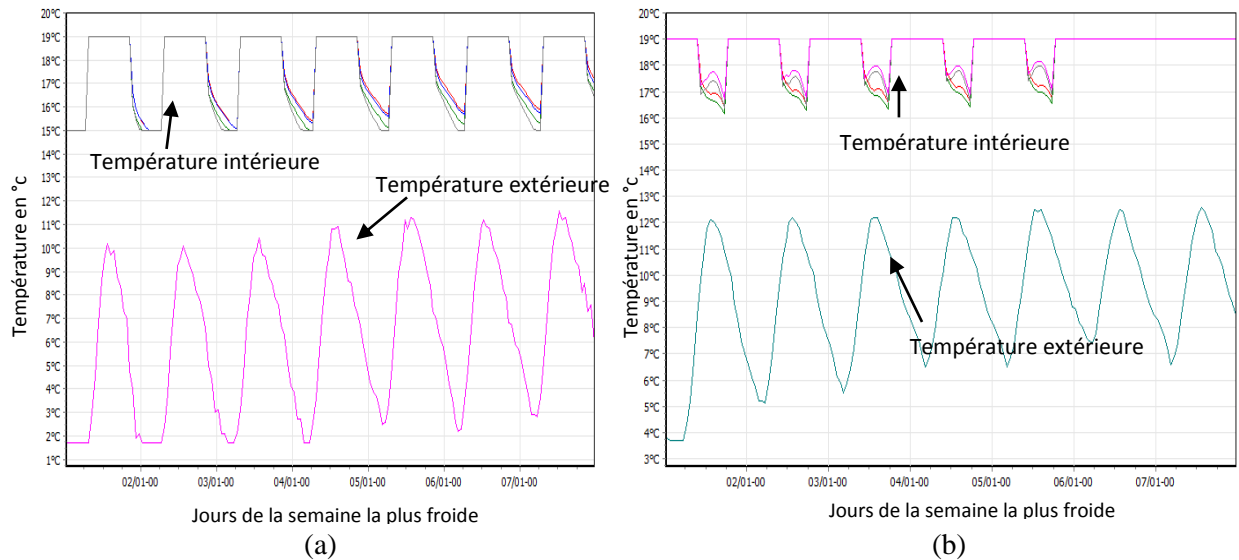


Fig.199. Étude comparative de l'évolution de la température extérieure et de la température intérieure de différentes zones du bâtiment traditionnel (a) et du bâtiment standard (b) durant la semaine la plus froide

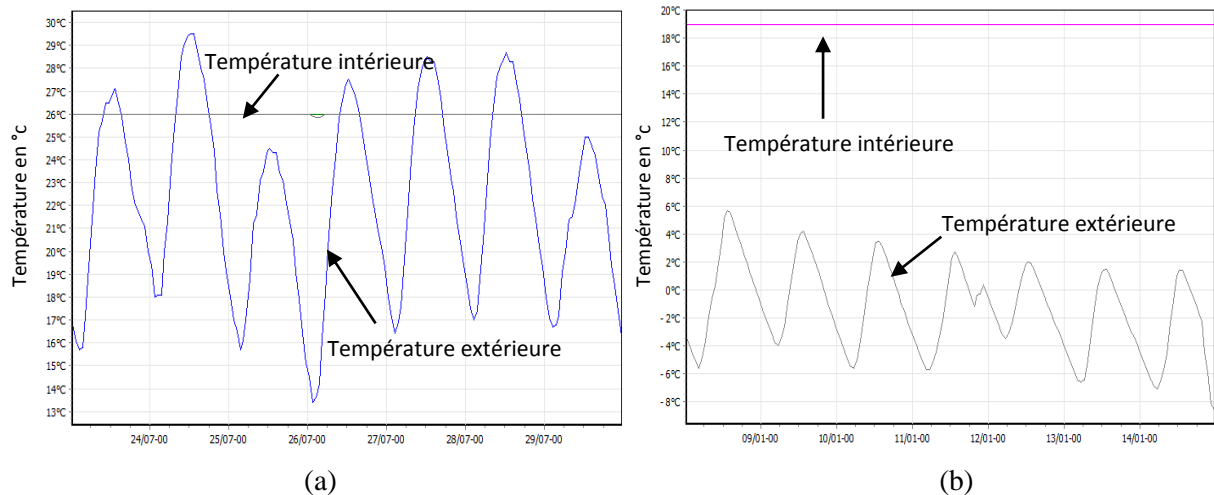


Fig.200. Étude comparative de l'évolution de la température extérieure et de la température intérieure de différentes zones du BBC durant la semaine la plus chaude (a) et la semaine la plus froide (b)

I.3.1 Interprétation des résultats

D'après les résultats du logiciel COMFIE, nous remarquons que les consommations annuelles du bâtiment standard et traditionnel sont identiques et représentent cinq fois plus que celle du BBC. Nous pouvons dire, que du point de vue besoins annuels de chauffage, et avec les hypothèses d'utilisation retenues, il n'y a pas de différence entre les bâtiments à enveloppe traditionnelle et standard. D'autre part, l'étude thermique, nous montre, durant la semaine la plus chaude, qu'en dépit des fluctuations de la température extérieure, celle de l'intérieur du bâtiment traditionnel reste stable et tempérée. Un écart allant jusqu'à 6° entre l'intérieur et l'extérieur durant la journée la plus chaude ; cela s'explique par les propriétés thermiques de la pierre qui constitue l'enveloppe

du bâtiment et qui joue le rôle d'un pouvoir isolant et permet le déphasage de l'onde thermique dans le temps, sans oublier la compacité qui réduit les surfaces exposées au soleil et ainsi garder un bon niveau de confort intérieur. En outre, pour le bâtiment standard, nous remarquons que pour certaines zones et pendant certaines journées de la semaine la plus chaude, la température intérieure évolue avec celle de l'extérieur avec un écart de seulement 1°C, cela s'explique par les composants de l'enveloppe, dont l'inertie est moins grande que dans le cas précédent, ainsi que par l'éclatement de la forme qui contribue à amplifier la température intérieure

Or, durant la semaine la plus froide, nous remarquons une différence flagrante entre la température intérieure et extérieure ; l'enveloppe traditionnelle, avec ses matériaux et sa compacité, évite les chutes brutales de la température intérieure, mais en dépit de cela, cette dernière se situe en dehors de la zone de confort, pour y remédier le recours aux moyens passif (un captage solaire ou un refroidissement passif par évaporation) ou actifs mais de basse consommation est recommandé pour un meilleur confort. De son côté, la double paroi en brique a contribué à minimiser les déperditions thermiques en rendant les fluctuations moins importantes que celles enregistrées durant la semaine la plus chaude où nous avons remarqué que pour certaines zones la température intérieure évolue avec la température extérieure avec un écart de seulement 1°C ; le confort d'hiver dans le bâtiment standard semble être meilleur que celui d'été comparé aux températures extérieures enregistrées.

Pour le BBC, et en dépit des grandes fluctuations de température extérieure, celles de l'intérieur restent très stables ne subissant aucune fluctuation, elle reflète les consignes de températures retenues pour ce bâtiment et démontrent la faisabilité de ces dernières qui seront par la suite transposées sur le bâtiment traditionnel et standard, à travers des sous variantes, afin de voir la pertinence de ce choix par rapport à ces deux derniers, la température intérieure est finalement totalement indépendante de celle de l'extérieur et cela durant les deux semaines la plus chaude et la plus froide.

I.3.2 Simulation du confort via le diagramme de Brager

À l'aide du diagramme de Brager, nous avons simulé le niveau de confort au sein de nos trois bâtiments, les résultats de cette simulation sont illustrés dans les figures suivantes (Fig.201, Fig. 202 et Fig. 203)

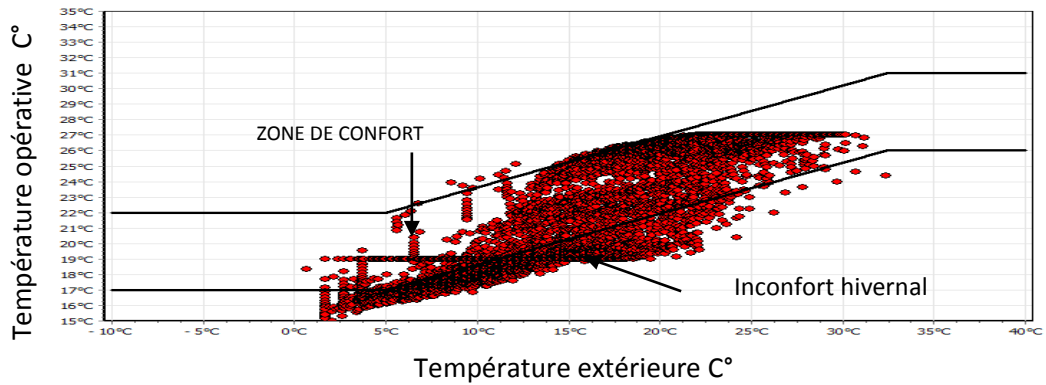


Fig. 201: Diagramme de Brager pour des chambres orientées vers le sud du bâtiment traditionnel durant l'année

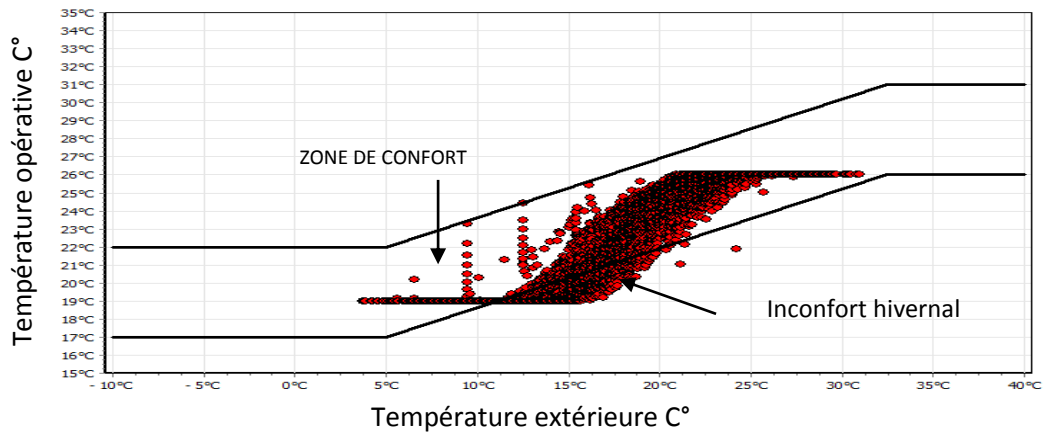


Fig. 202: Diagramme de Brager pour des chambres orientées vers le sud du bâtiment standard durant l'année

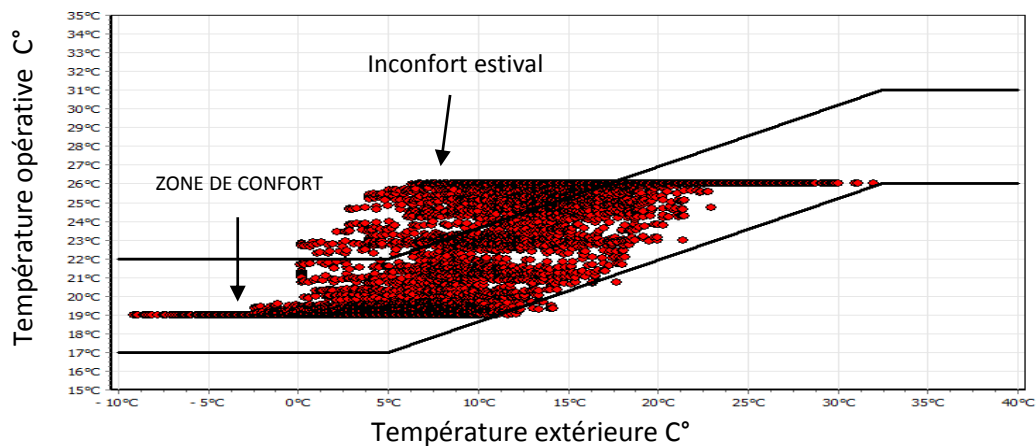


Fig.203 : Diagramme de Brager pour des chambres orientées vers le sud du BBC durant l'année

I.3.2.1 Interprétation des résultats

Le diagramme de Brager, nous permet d'avoir une visualisation simple et rapide du confort à l'intérieur du bâtiment qui dépend de la température opérative (moyenne pondérée entre les températures de l'air ambiant et celle radiante des parois d'un local) en fonction de la température extérieure : par temps froid et pour une température extérieure inférieure à 5°C, la zone de confort

est située entre 17c° et 22c°, or par temps chaud, et avec une température au-delà de 32c°, la zone de confort se situe entre 26 c° et 31c°, cette dernière évolue entre les deux extrémités. Les points représentent les heures d'occupation où chaque point représente une heure (Cardonnel, 2013).

Dans ce contexte, nous remarquons que pour le bâtiment traditionnel, la plupart des points situés en dehors de la zone de confort se trouvent en dessous de la limite basse, ce qui veut dire que le bâtiment traditionnel est plutôt sensible au froid, autrement dit l'inconfort est ressentie plutôt en saison hivernale. En outre, nous observons que le confort est très présent durant la saison estivale. Cela nous pousse à dire que le recours au chauffage durant la saison de froid est très recommandé. Pour le bâtiment standard, nous observons un inconfort également en saison hivernale étant donné que les points de l'inconfort se situent en dessous de la limite basse. Durant la saison estivale, les points se positionnent à l'intérieur de la zone de Brager, ce qui signifie que les espaces simulés offrent un confort durant la saison chaude. Comparé au traditionnel, nous pouvons dire que les occupants du bâtiment standard ressentent légèrement moins de froid que ceux du bâtiment traditionnel mais chacun dans son contexte microclimatique, nous expliquons cela par la double paroi en brique qui joue un rôle d'isolant thermique évitant ainsi les déperditions thermiques, ce qui correspond à la température simulée où nous avons constaté que sa baisse est presque similaire à celle du bâtiment standard (1c° de différence); les deux enveloppes ont donc évité les chutes brutales de température.

Par ailleurs, le BBC offre un meilleur confort en hiver qu'en été, en effet le diagramme de Brager montre un inconfort dans la zone d'au-dessus de la limite haute du confort, ce qui indique une surchauffe en mi saison (vu la position des points) Le pourcentage de confort est en somme très imposant durant toute l'année. En saison hivernale, l'inconfort est quasi nul contrairement aux deux cas précédents, cela s'explique par la grande isolation thermique dont bénéficient les murs du BBC, effectivement, la majeure partie des points est à l'intérieur de la zone de confort, mais, ces derniers sont concentrés beaucoup plus dans la limite basse, il est recommandé dans ce cas de rehausser la température en faisant recours à des systèmes de chauffage à basse consommation.

I.4 QUANTIFICATION DES IMPACTS VIA UNE SIMULATION ENVIRONNEMENTALE PAR ACV

Après avoir effectué une simulation énergétique via le logiciel COMFIE, une ACV a été réalisée sur nos trois variantes, nous présentons dans les tableaux suivants (Tab.78, Tab.79, Tab.80, Tab.81, Tab.82, Tab.83, Tab.84, Tab.85 et Tab.86) les valeurs des impacts calculés par EQUER pour nos trois variantes par thème et par phase de vie.

I.4.1 Thème 1: Ressources

Tab.78 : Valeurs des impacts du thème « Ressources » calculés par EQUER pour le bâtiment traditionnel

Impact	<i>Construction</i>	<i>Utilisation</i>	<i>Rénovation</i>	<i>Démolition</i>	<i>Total</i>
Épuisement des ressources abiotiques (E-15)	10,04	809,96	77,05	0,57	897,63
Énergie consommée (GJ)	13741,39	1983211,02	4708,47	1520,83	2003181,71
Eau utilisée (m3)	5510,44	7023663,6	5214,79	713,08	7035101,92

Tab.79: Valeurs des impacts du thème « Ressources » calculés par EQUER pour le bâtiment standard

Impact	<i>Construction</i>	<i>Utilisation</i>	<i>Rénovation</i>	<i>Démolition</i>	<i>Total</i>
Épuisement ressources abiotiques (E-15)	5,72	644,99	42,54	0,12	693,37
Énergie consommée (GJ)	8036,64	1601668,64	2599,1	326,93	1612631,3
Eau utilisée (m3)	5176,8	6948113,24	2878,98	153,28	6956322,3

Tab.80: Valeurs des impacts du thème « Ressources » calculés par EQUER pour le BBC

Impact	<i>Construction</i>	<i>Utilisation</i>	<i>Rénovation</i>	<i>Démolition</i>	<i>Total</i>
Épuisement ressources abiotiques (E-15)	5.17	257.24	34.14	0.14	296.69
Énergie consommée (GJ)	7155.61	860492.12	2086.83	365.62	870100.18
Eau utilisée (m3)	4684.43	5688952.57	2310.75	171.42	5696119.16

I.4.1.1 Discussion :

Les calculs effectués par EQUER montrent clairement que la phase d'utilisation est celle qui engendre la plus grande consommation en énergie, en eau et en ressources abiotiques épuisables, suivie par la phase de construction pour la consommation de l'énergie primaire et de l'eau, et par la phase de rénovation pour l'impact d'épuisement des ressources abiotiques. la phase de démolition est celle qui émet le moins d'impact pour le thème « Ressources ».

En outre, le bâtiment traditionnel connaît les plus grandes valeurs des impacts cités, celles du bâtiment standard est proches de ces dernières. La différence entre ces deux bâtiments pour les impacts du premier thème est approximativement comme suit :

- 20% pour l'impact de consommation de l'énergie primaire ;

- 1.11 % pour l'impact de consommation de l'eau ;
- 23% pour l'impact d'épuisement des ressources abiotiques.

La différence de consommation d'énergie primaire et par conséquent de l'épuisement des ressources abiotiques, s'explique en premier lieu par la différence d'occupation (nombre d'occupants) entre les deux bâtiments, et en second lieu par la surface du bâtiment, en effet moins l'occupation du bâtiment est grande, est plus réduite sera la consommation énergétique, cela peut être justifiée également par la consommation inutile de l'éclairage artificiel du bâtiment traditionnel et l'optimisation de l'éclairage naturel et artificiel du bâtiment standard tel que ça été démontré précédemment, nous pouvons enfin expliquer cette différence par la forme des deux bâtiments; le bâtiment traditionnel offre des façades plus allongées que le bâtiment standard et donc une plus grande surface que ce dernier ce qui fait augmenter ses consommations en énergie primaire.

En outre, nous remarquons une faible différence de valeur de la consommation d'eau des deux bâtiments cela revient à la différence d'occupation. Le BBC offre quant à lui les meilleurs résultats pour tous les impacts, cela s'explique en premier lieu par sa conception de basse consommation, son occupation et son implantation.

I.4.2 Thème 2 : Environnement

Tab. 81: Valeurs des impacts du thème « Environnement » calculés par EQUER pour le bâtiment traditionnel

Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Indicateurs de potentiel					
Effet de serre (t CO2)	551,15	38954,19	174,09	93,05	39772,48
Acidification (kg SO2)	5570,19	122439,47	1132,33	1062,89	130204,88
Eutrophisation (kg PO4)	835,89	12778,24	57,18	166,22	13837,54
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	5617,01	61311,77	393,08	1155,27	68477,12
Indicateurs de volume critique					
Ecotoxicité aquatique (m3)	15801430,17	551931975,6	4838079,36	3054036,11	575625521,2
Toxicité humaine (kg)	7166,91	390561,2	4507,36	1277,74	403513,21
Odeur (Mm3)	623,38	596442,47	459,6	104,76	597630,21
Indicateurs de génération des déchets					
Déchets inertes produits (t eq)	1172,12	5620495,83	28,72	18100,63	5639797,31
Déchets radioactifs (dm3)	38,58	3507,79	11,61	5,65	3563,63

Tab.82: Valeurs des impacts du thème « Environnement » calculés par EQUER pour le bâtiment standard

Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Indicateurs de potentiel					
Effet de serre (t CO2)	690,33	22015,77	96,08	20	22822,18
Acidification (kg SO2)	2869,81	103947,13	624,8	228,48	107670,22
Eutrophisation (kg PO4)	372,77	10790,04	31,51	35,73	11230,06
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	1767,2	47560,57	216,61	248,33	49792,71
Indicateurs de volume critique					
Écotoxicité aquatique (m3)	5430122,97	469244976,6	2670095,62	656505,81	478001700,96
Toxicité humaine (kg)	5093,8	366726,43	2488,17	274,66	374583,06
Odeur (Mm3)	507,41	372448,53	253,72	22,52	373232,17
Indicateurs de génération des déchets					
Déchets inertes produits (t eq)	298,23	5691020,76	15,84	3885,84	5695220,68
Déchets radioactifs (dm3)	34,8	2933,79	6,41	1,21	2976,21

Tab.83: Valeurs des impacts du thème « Environnement » calculés par EQUER pour le BBC

Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Indicateurs de potentiel					
Effet de serre (t CO2)	802.92	7516.74	77.17	22.37	8419.21
Acidification (kg SO2)	3458.27	73230.82	502.18	255.52	77446.80
Eutrophisation (kg PO4)	421.28	7805.97	25.41	39.96	8292.62
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	1768.48	46540.04	174.70	277.73	48760.95
Indicateurs de volume critique					
Écotoxicité aquatique (m3)	4958861.83	270267785.08	2144980.65	734217.84	278105845.4
Toxicité humaine (kg)	6366.83	251580.62	1997.59	307.18	260252.22
Odeur (Mm3)	611.47	47448.84	203.68	25.19	48289.18
Indicateurs de génération des déchets					
Déchets inertes produits (t eq)	301.39	3136264.69	12.75	4347.46	3140926.29
Déchets radioactifs (dm3)	40.17	1359.11	5.14	1.36	1405.78

I.4.2.1 Discussion :

Nous constatons que, pour les impacts de ce deuxième thème « Environnement », la phase d'utilisation s'impose en produisant la plus grande part d'impacts. Le bâtiment traditionnel demeure le plus émetteur de substances par rapport au standard, à l'exception de la production des déchets inertes, où nous remarquons que pour cet impact le bâtiment standard le dépasse d'à peine 1%.

La phase de construction est responsable de l'émission des substances responsables de la toxicité humaine, du smog d'été et de l'effet de serre, ce dernier est corrélé à la consommation énergétique ce qui justifie les grandes valeurs du bâtiment traditionnel suivi du bâtiment standard correspondant aux valeurs obtenues pour la consommation d'énergie primaire (premier thème). En outre, les émissions de l'acidification proviennent de la production d'énergie ce qui explique les grandes valeurs du bâtiment traditionnel, rappelons que ce dernier est plus consommateur d'énergie primaire que le standard, étant donné que les émissions des substances entraînant ces impacts sont corrélés à la phase d'utilisation et donc à l'occupation ce qui explique ces différences. Nous remarquons par ailleurs, que la phase de démolition joue un rôle important dans la production des déchets inertes, nous constatons dans ce même contexte, que le BBC produit plus d'impacts que le standard durant la phase de construction et de démolition avec une faible différence de 3.16t eq pour la phase de construction, et 461,62 teq pour la phase de démolition, cela s'explique par la différence des matériaux utilisés, mais également par le nombre des parois à construire et donc à démolir.

Nous constatons en outre, que les valeurs de l'impact des odeurs sont très importantes, cela est lié aux substances responsables de leur génération en l'occurrence l'ammoniac. Enfin les déchets radioactifs sont liés à l'occupation justifiant les valeurs importantes du bâtiment traditionnel

I.4.3 Comparaison de l'ACV

L'ACV comparative des trois variantes réalisées à l'aide du logiciel EQUER est présentée dans la figure suivante (valeur d'impact/occupant/m²) (Fig. 204).

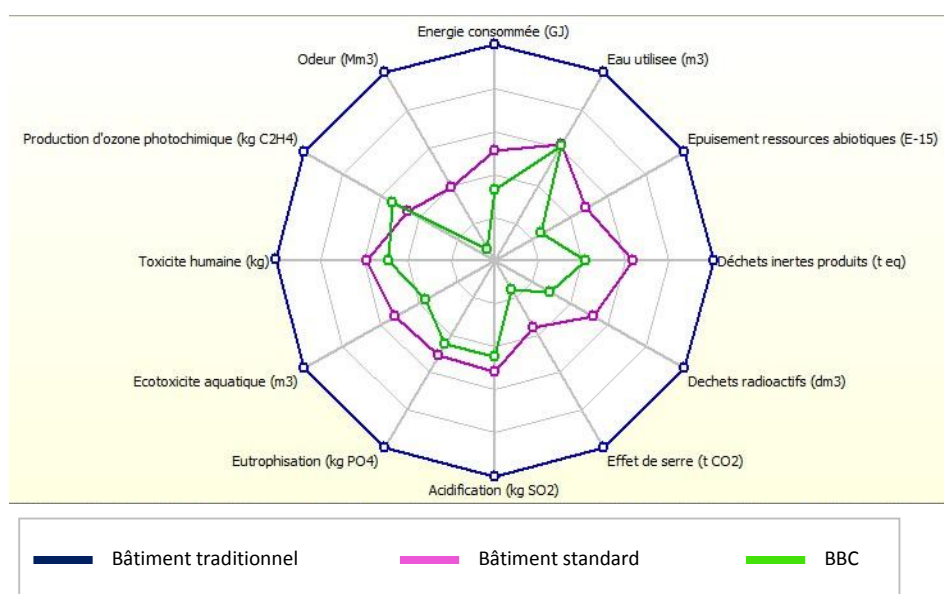


Fig. 204 : ACV comparative des trois variantes (valeur d'impact/occupant/m²)

I.4.3.1 Discussion :

D'après les résultats du logiciel EQUER, le bâtiment à enveloppe traditionnelle est celui qui engendre plus d'impacts environnementaux suivi du bâtiment à enveloppe standard, le BBC quant à lui s'offre comme la meilleure alternative, par ailleurs, nous observons que le BBC produit plus d'ozone photochimique que le bâtiment standard, cela est lié à l'incinération des déchets. En outre, la grande différence entre le bâtiment traditionnel et les autres bâtiments, revient en partie à sa grande surface et sa grande occupation (nombre d'occupants), sans oublier les autres composants que nous allons développer ultérieurement Nous avons réalisé d'autre part une autre ACV en valeur relative (valeur d'impact) (Fig. 205), afin d'isoler l'influence de la différence de surface et de la différence de l'occupation sur le bilan environnemental et connaître ainsi la contribution des différentes enveloppes de nos trois bâtiment à la génération des impacts environnementaux.

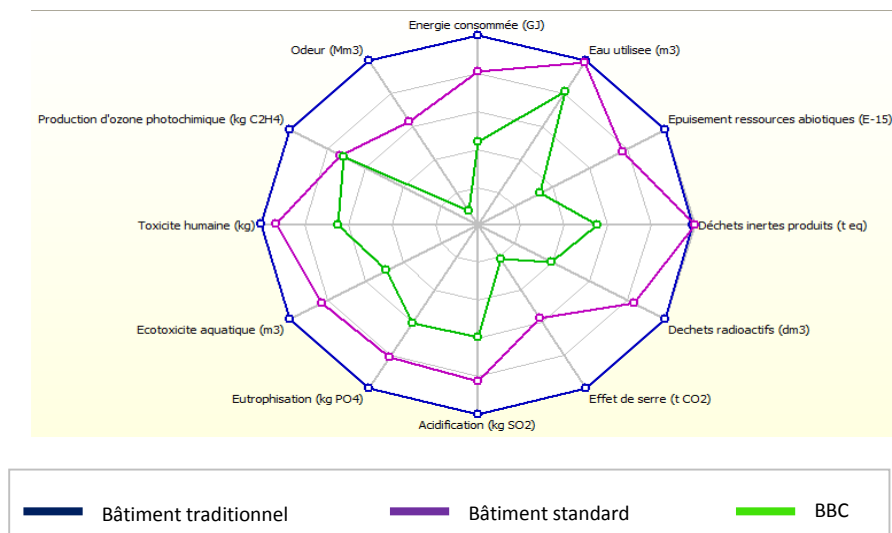


Fig. 205: ACV comparative des trois variantes (valeur d'impact)

I.4.3.2 Discussion :

Cette ACV nous démontre que le bâtiment traditionnel demeure celui qui génère plus d'impacts environnementaux (43.08%), suivi du bâtiment standard (35.92%), la référence BBC ne produit que 20,99% par rapport aux impacts générés par l'ensemble des bâtiments. Ces résultats mettent en évidence la grande contribution de l'enveloppe, et donc de ses matériaux à la génération des impacts, mais cela démontre également la corrélation forte entre l'occupation (et donc l'utilisation), la surface et la génération des impacts, en effet en comparant cette ACV à la précédente, nous comprenons aisément qu'une grande occupation et une grande surface entrainerait une plus grande quantité de substances conduisant à différents impacts. Cependant, afin de confirmer ou infirmer la grande responsabilité de tel ou tel facteur dans la dégradation

environnementale, on est amené d'isoler chaque composant de bâtiment susceptible d'influer sur les résultats en menant plusieurs séries de simulation.

1.5 HYPOTHESES SUR LA GENERATION DES IMPACTS : INFLUENCE DES COMPOSANTS DU BATIMENT SUR SES PERFORMANCES THERMIQUES, ENERGETIQUES ET ENVIRONNEMENTALES

Afin de savoir ou faudrait-il intervenir au niveau du bâtiment dans le but d'améliorer son bilan énergétique et environnemental, nous allons réaliser plusieurs séries de simulation susceptibles de nous renseigner sur l'influence des composants de nos variantes sur leurs performances thermiques, énergétiques et environnementales, pour cela, nous avons réalisé quatre séries de simulations comparatives; les résultats d'ACV seront comparés d'abord par impact/occupant/m², nous les avons ensuite proposé en valeur relative (valeur d'impact), afin de connaître l'influence de l'enveloppe, des scénarios et du climat sans l'interaction de la différence d'occupation et la différence surfacique. Les sous-variantes seront comparées aux variantes de base chacune dans son propre contexte.

Le but de ces séries de simulation est de choisir le meilleur couplage (enveloppe, scénario, climat, surface et forme du bâtiment) susceptible de donner les meilleurs résultats en matière d'énergie et bilan environnemental et connaître ainsi à travers différentes transpositions la pertinence de tel ou tel choix ; après avoir obtenu les résultats des différentes simulations, nous avons recouru aux différentes formules que nous avons élaborées dans notre méthode pour une comparaison pertinente et claire des différentes alternatives via les indicateurs.

I.5.1 Influence de l'enveloppe

Afin de pouvoir connaître l'influence de l'enveloppe sur les performances du bâtiment, nous avons réalisé une deuxième série de simulation où nous avons affecté l'enveloppe BBC à nos deux variantes traditionnelle et standard, les deux nouvelles variantes seront comparées par la suite aux variantes de base simulées précédemment ; les résultats que nous avons obtenus sont présentés dans les Fig.206. Fig.207. Fig.208. Fig. 209 et Fig. 210.

I.5.2 Influence des scénarios

La troisième série de simulation vise à connaître l'influence du fonctionnement du bâtiment sur son comportement thermique, énergétique et environnemental, pour cela nous avons affecté les scénarios de notre référence BBC aux deux variantes traditionnelle et standard,. Les résultats de cette série de simulation sont présentés dans les Fig.211 Fig.212. Fig.213.Fig.214 et Fig. 215.

I.5.3 Influence du climat

La quatrième série de simulation a pour objectif d'établir la relation entre le climat et les besoins énergétiques du bâtiment et connaître son influence sur la génération des impacts en attribuant le climat de Lyon du BBC à nos deux variantes de base ; les résultats obtenus sont présentés dans les Fig.216. Fig.217. Fig.218. Fig. 219 et Fig. 220.

I.5.4 Influence de la surface et de la forme du bâtiment

L'objectif de la dernière série de simulation est de connaître non pas seulement l'influence de la surface du bâtiment sur son bilan thermique, énergétique et environnemental, mais également l'influence du nombre de parois constituant le bâtiment et la forme globale de ce dernier sur les bilans précités, pour cela, nous avons gardé la surface et la forme exacte du BBC et nous lui avons attribué d'une part l'enveloppe, scénarios et climat du bâtiment traditionnel, et d'autre part, l'enveloppe, les scénarios et le climat du bâtiment standard; Les résultats obtenus sont récapitulés dans les figures Fig.221. Fig.222. Fig.223. Fig.224 et Fig. 225.

I.6 RESULTATS

I.6.1 Influence de l'enveloppe

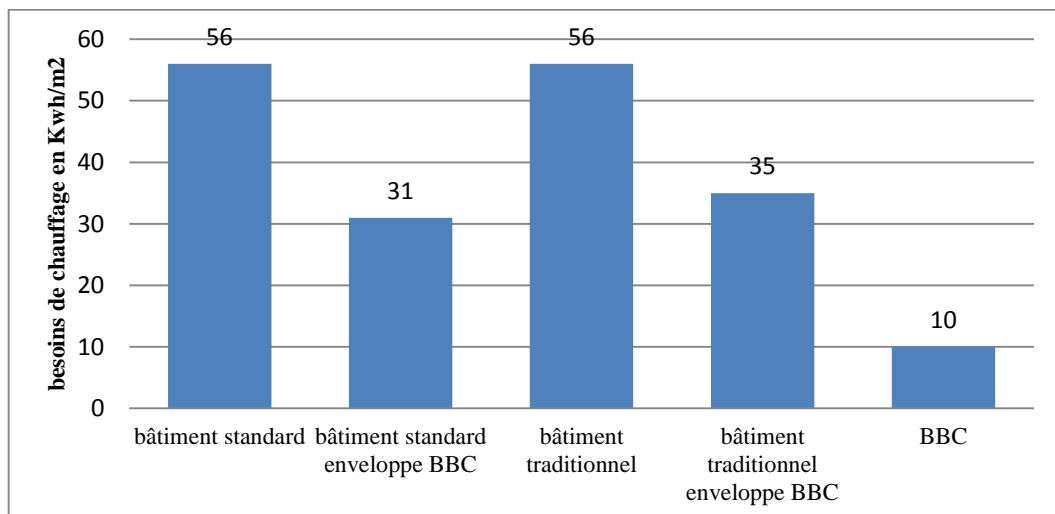


Fig.206 : Influence de l'enveloppe sur les besoins de chauffage annuels

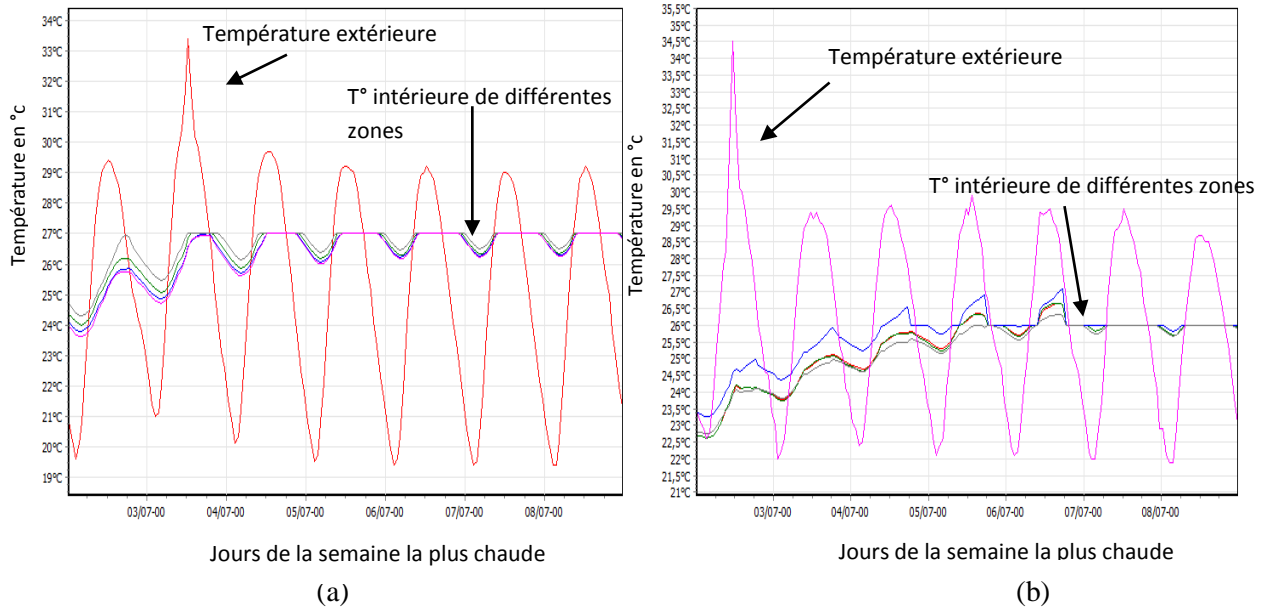


Fig.207: Influence de l'enveloppe sur l'évolution de la température intérieure du bâtiment traditionnel (a) et du bâtiment standard (b) durant la semaine la plus chaude

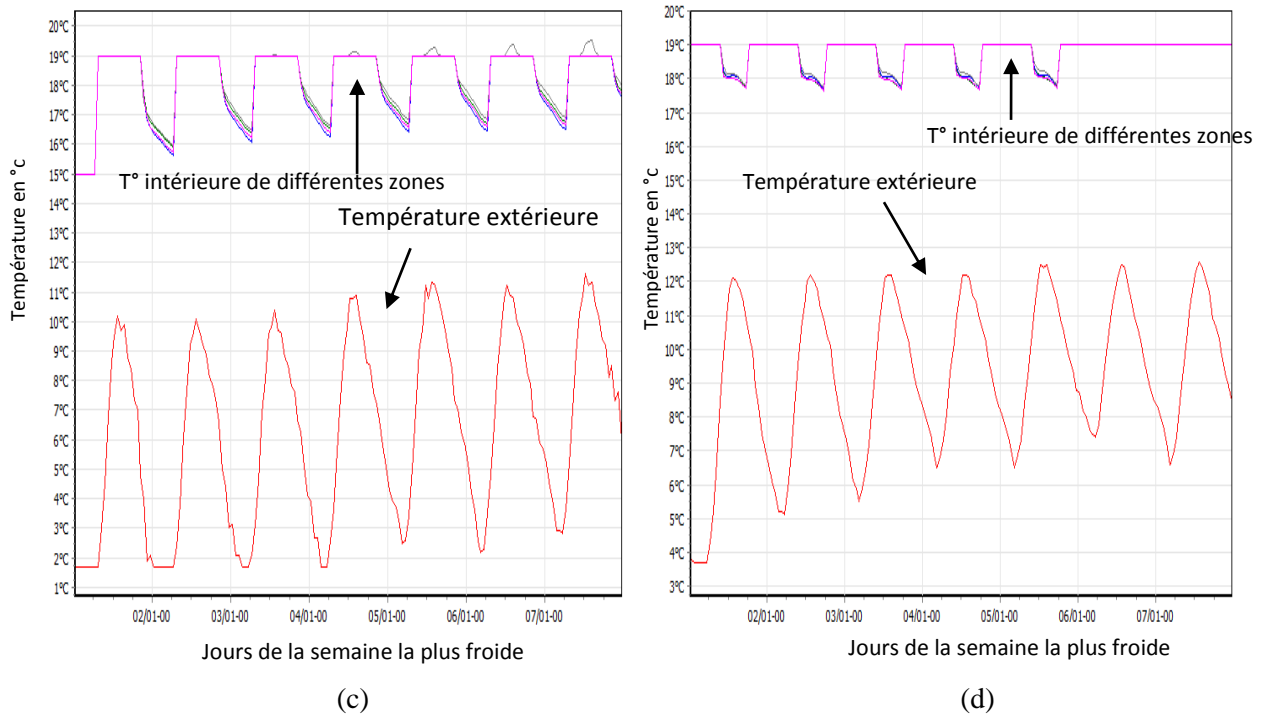


Fig. 208 : Influence de l'enveloppe sur l'évolution de la température intérieure du bâtiment traditionnel (c) et du bâtiment standard (d) durant la semaine la plus froide

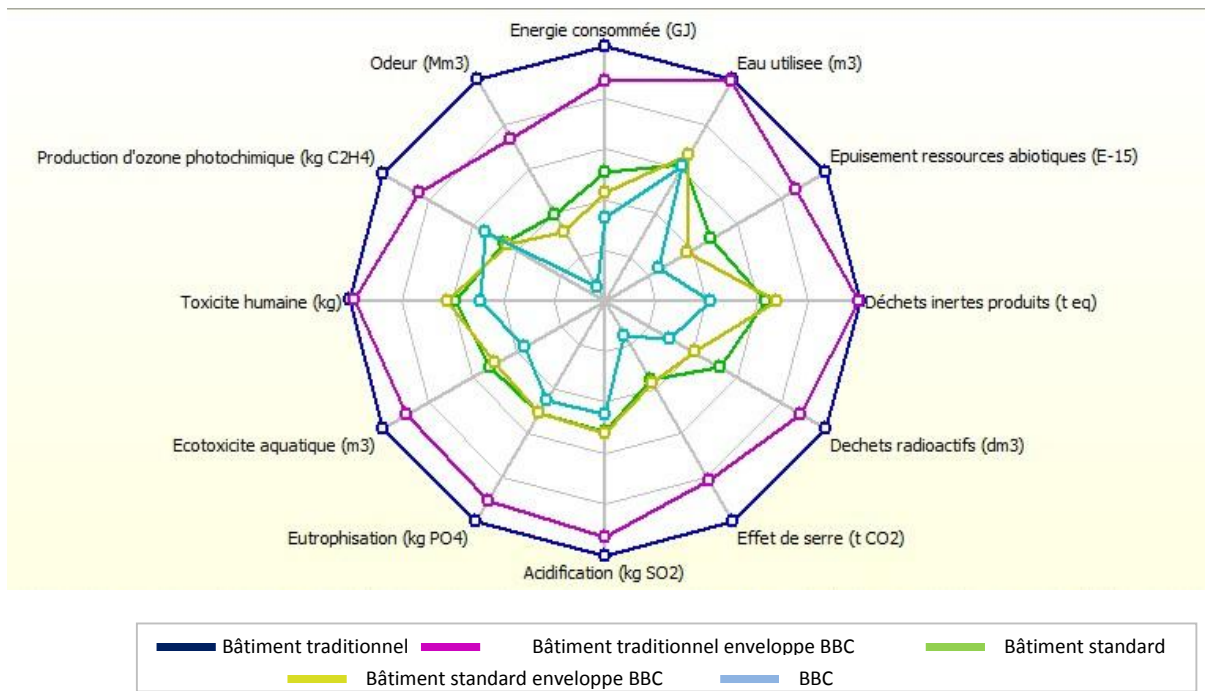


Fig.209 ACV comparative illustrant l'influence de l'enveloppe sur la génération des impacts (valeur d'impact/occupant/m²)

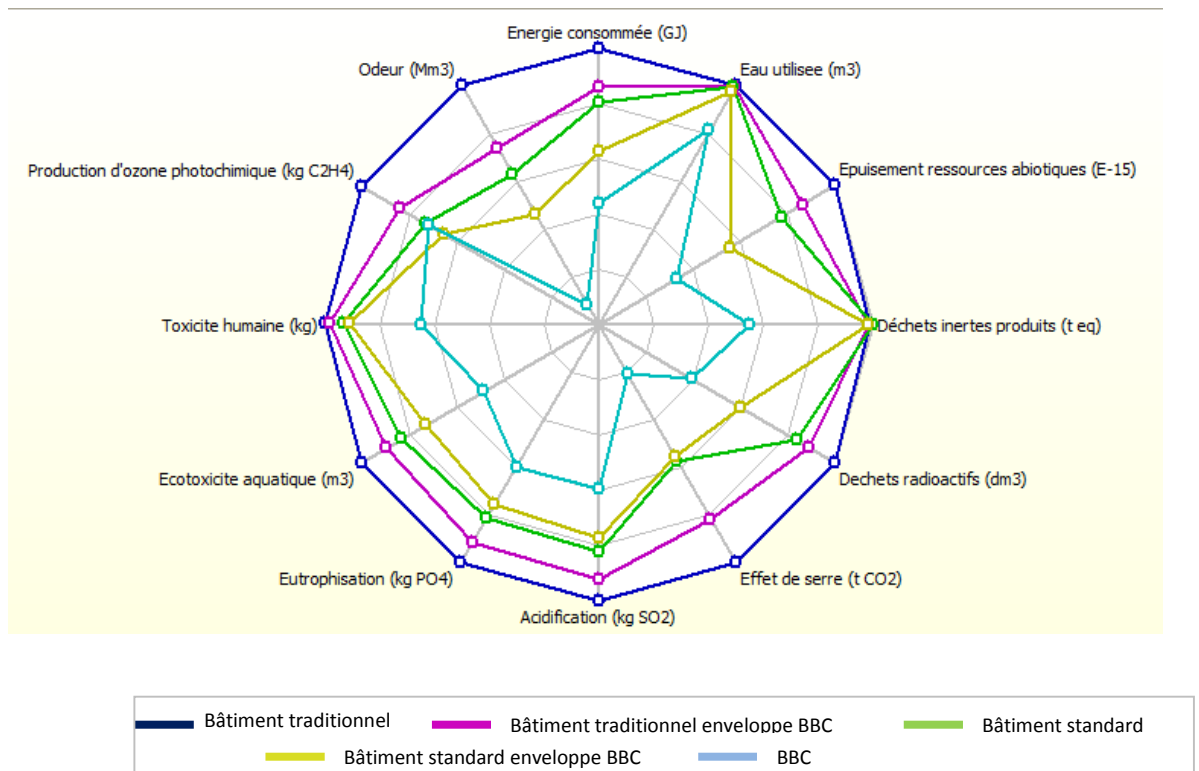


Fig.210 : ACV comparative illustrant l'influence de l'enveloppe sur la génération des impacts (valeur d'impact)

I.6.2 Influence des scenarios

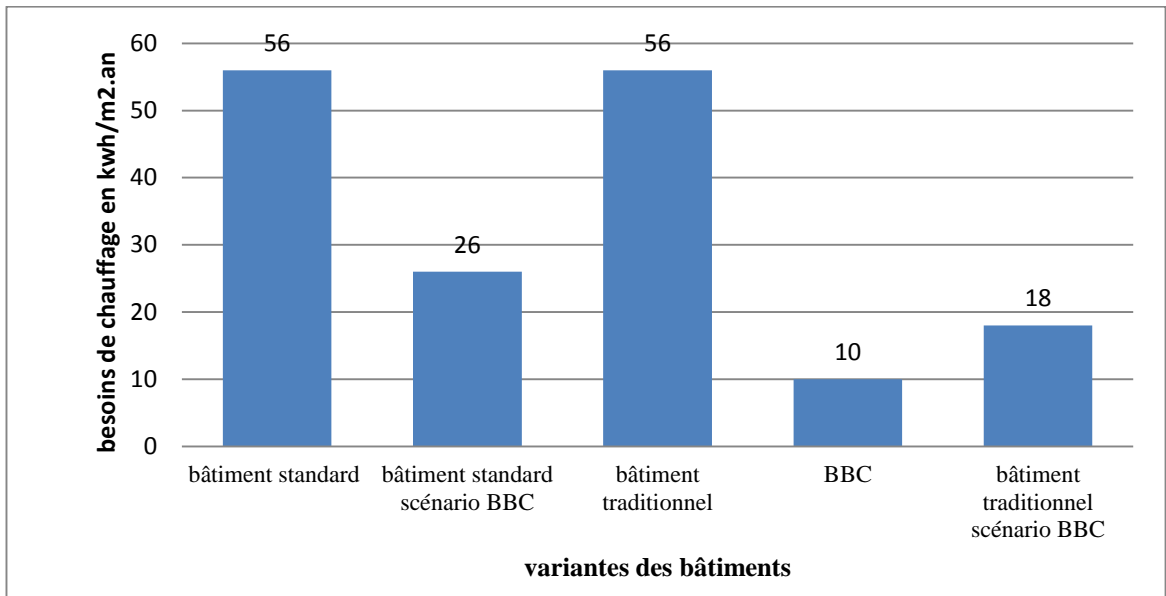


Fig.211 : Influence des scénarios sur les besoins de chauffage annuels

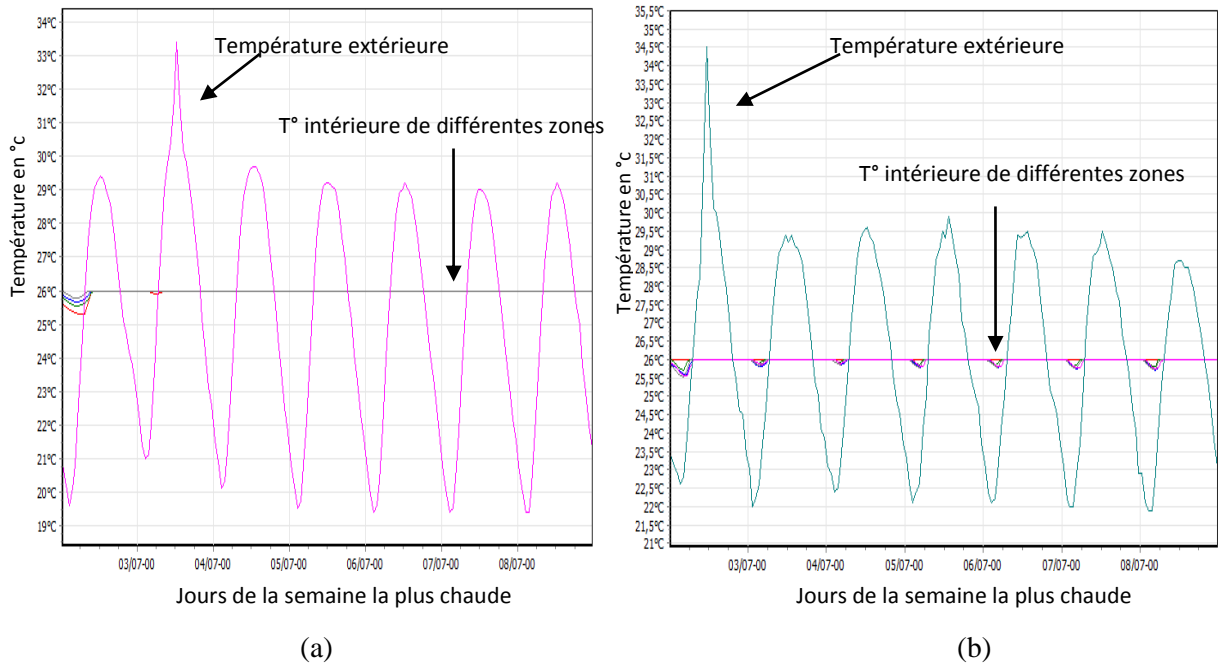


Fig. 212 : Influence des scénarios sur l'évolution de la température intérieure du bâtiment traditionnel (a) et du bâtiment standard (b) durant la semaine la plus chaude

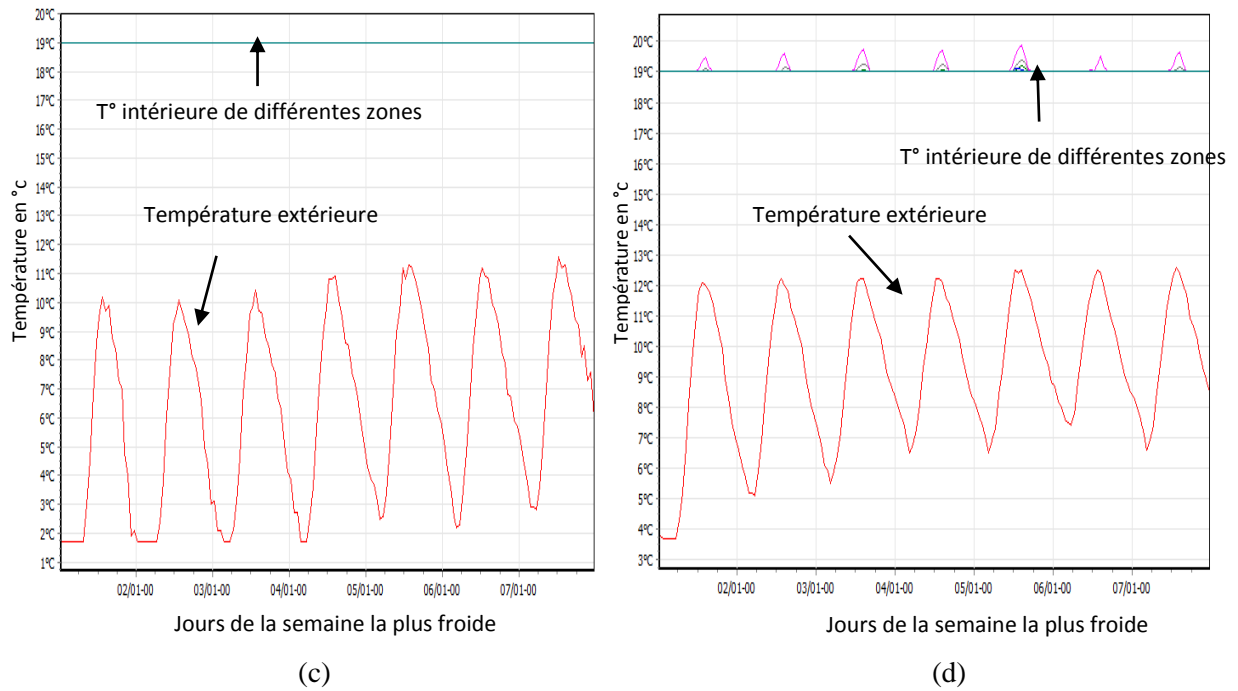


Fig.213 : Influence des scénarios sur l'évolution de la température intérieure du bâtiment traditionnel (c) et du bâtiment standard (d) durant la semaine la plus froide

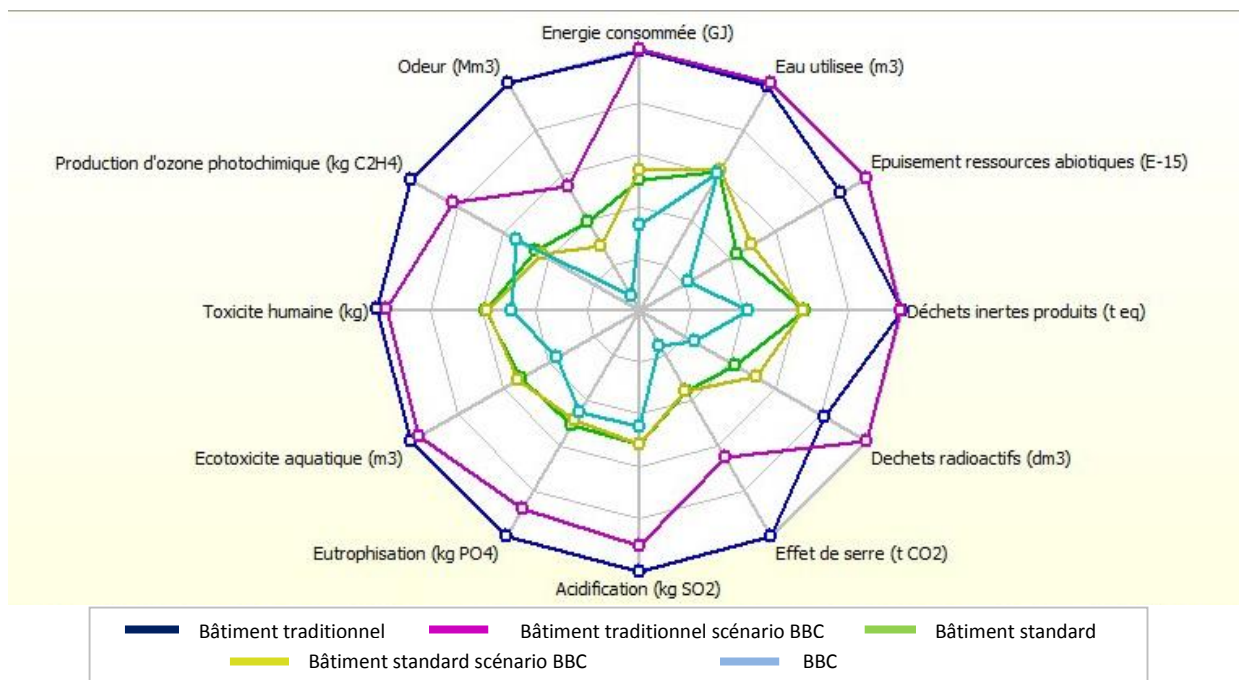


Fig.214 : ACV comparative montrant l'influence des scénarios sur la génération des impacts (valeur d'impact/occupant/m²)

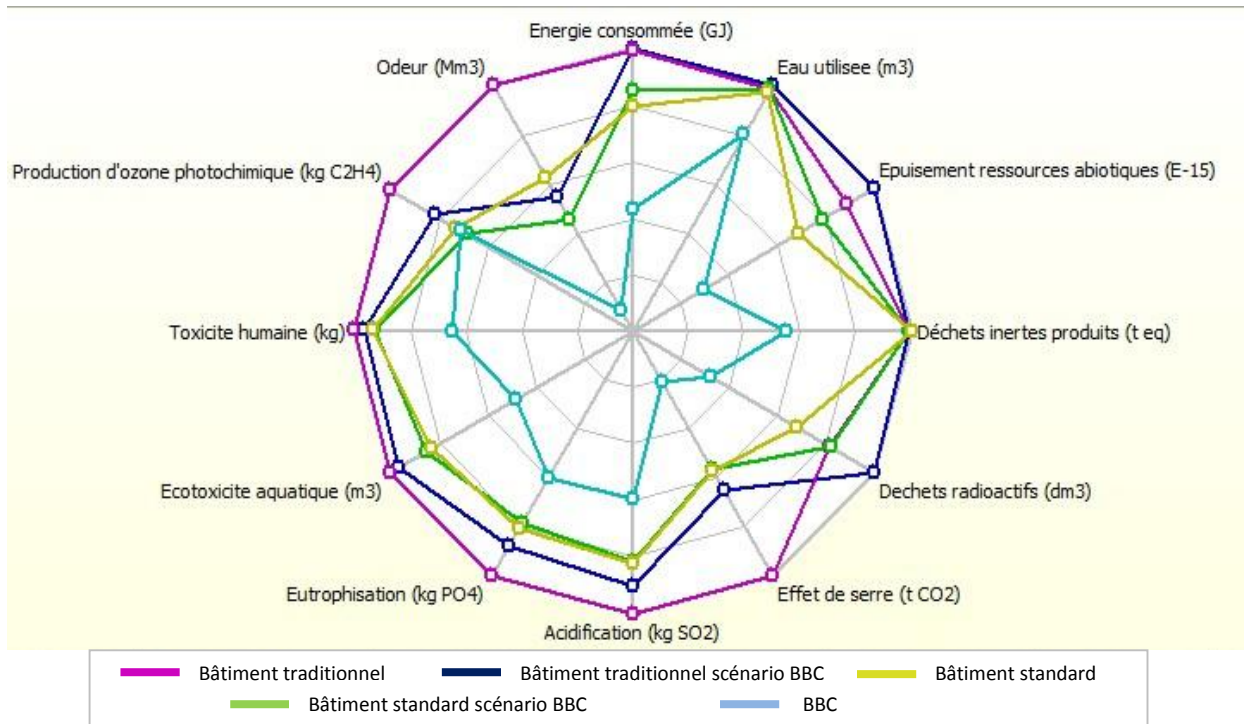


Fig. 215: ACV comparative montrant l'influence des scénarios sur la génération des impacts (valeur d'impact)

I.6.3 Influence du climat

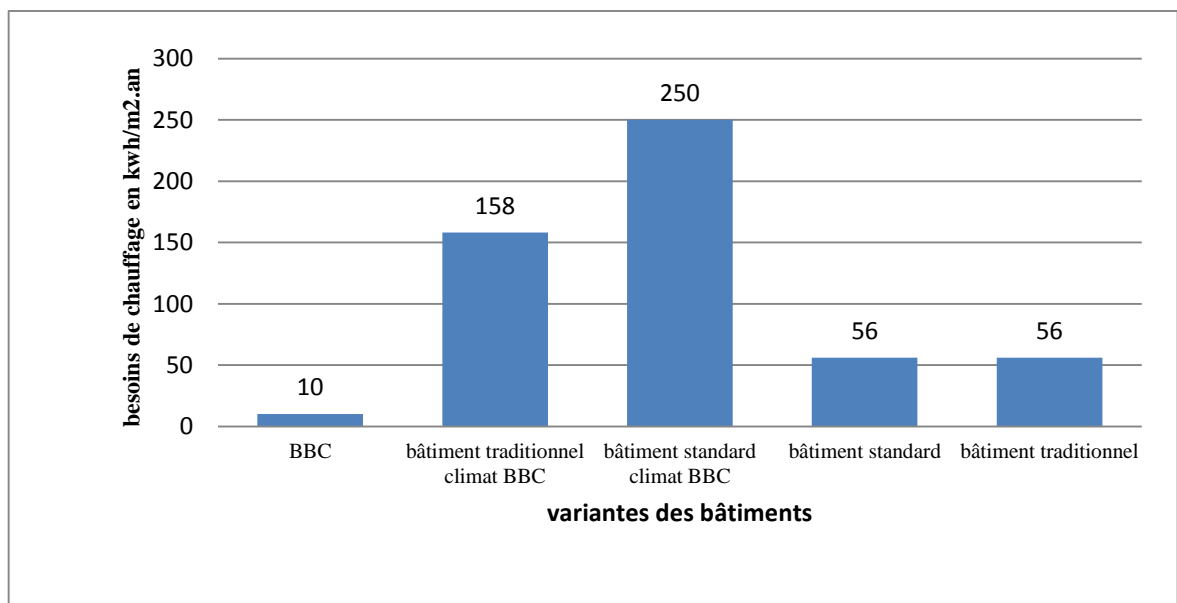
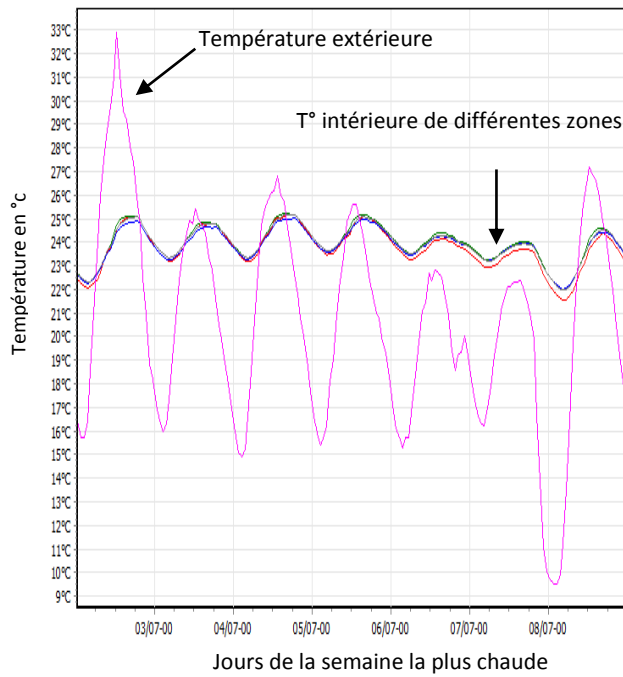
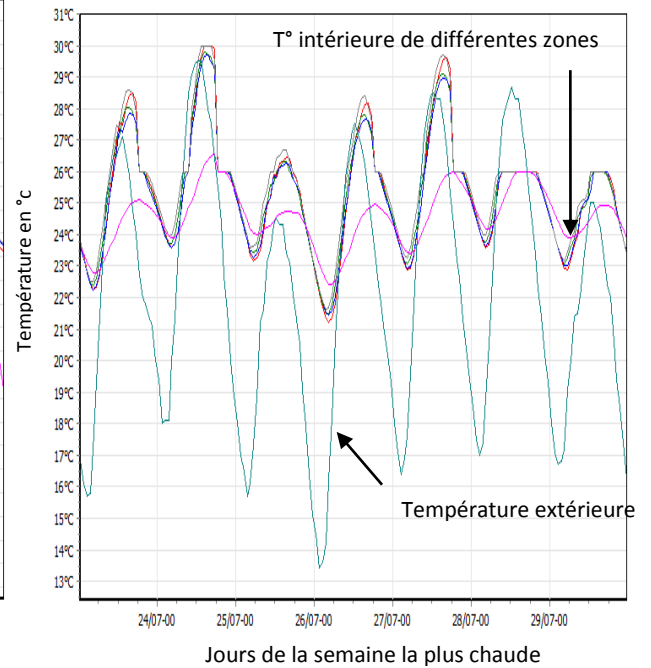


Fig.216: Influence des données climatiques sur les besoins de chauffage annuels

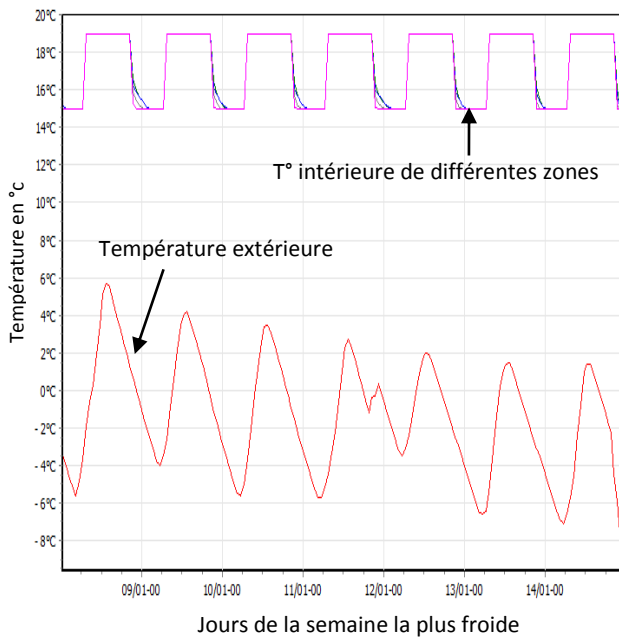


(a)

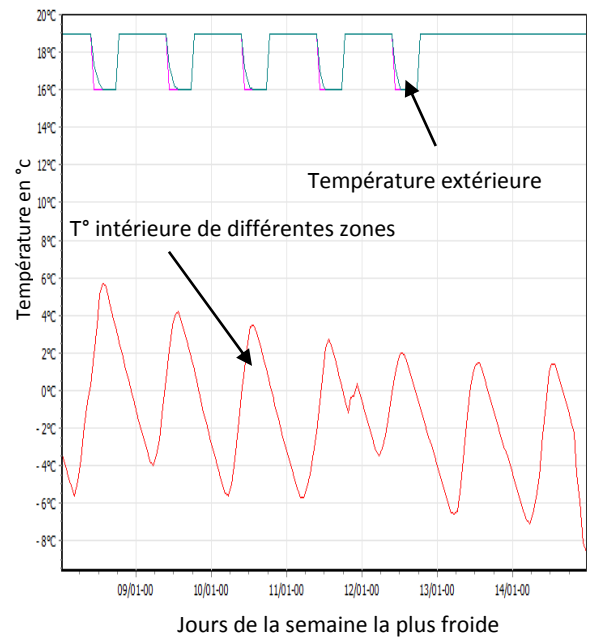


(b)

Fig.217: Influence du climat sur l'évolution de la température intérieure du bâtiment traditionnel (a) et du bâtiment standard (b) durant la semaine la plus chaude



(c)



(d)

Fig.218: Influence du climat sur l'évolution de la température intérieure du bâtiment traditionnel (c) et du bâtiment standard (d) durant la semaine la plus froide

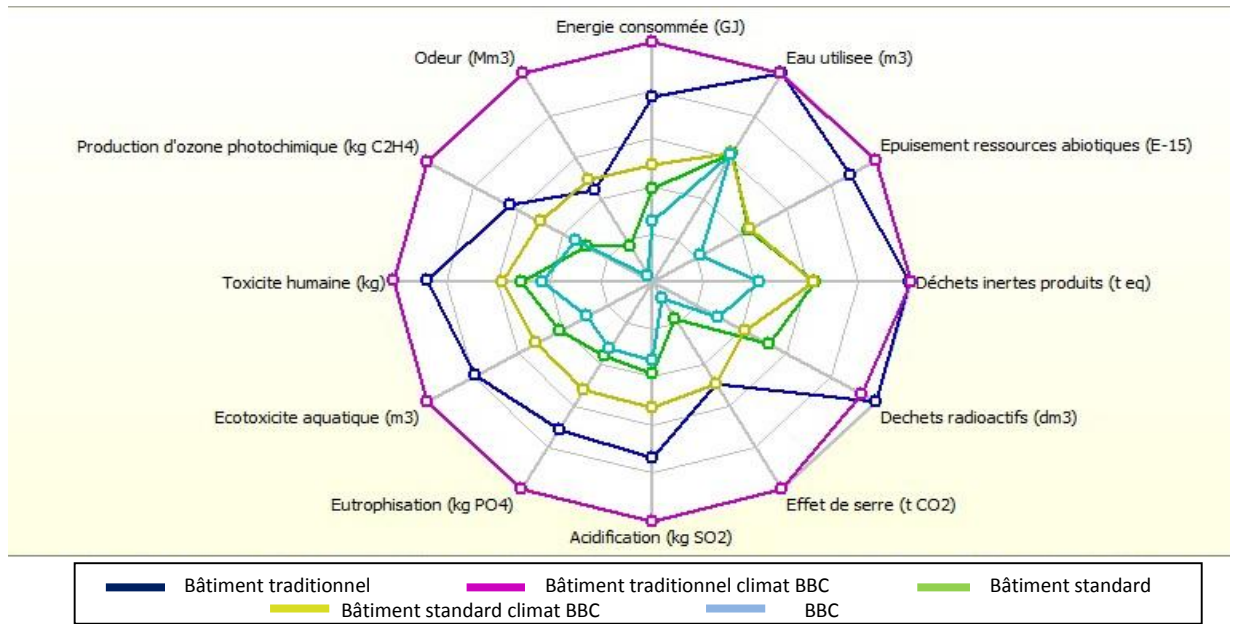


Fig.219 : ACV comparative montrant l'influence du climat sur la génération des impacts (valeur d'impact/occupant/m²)

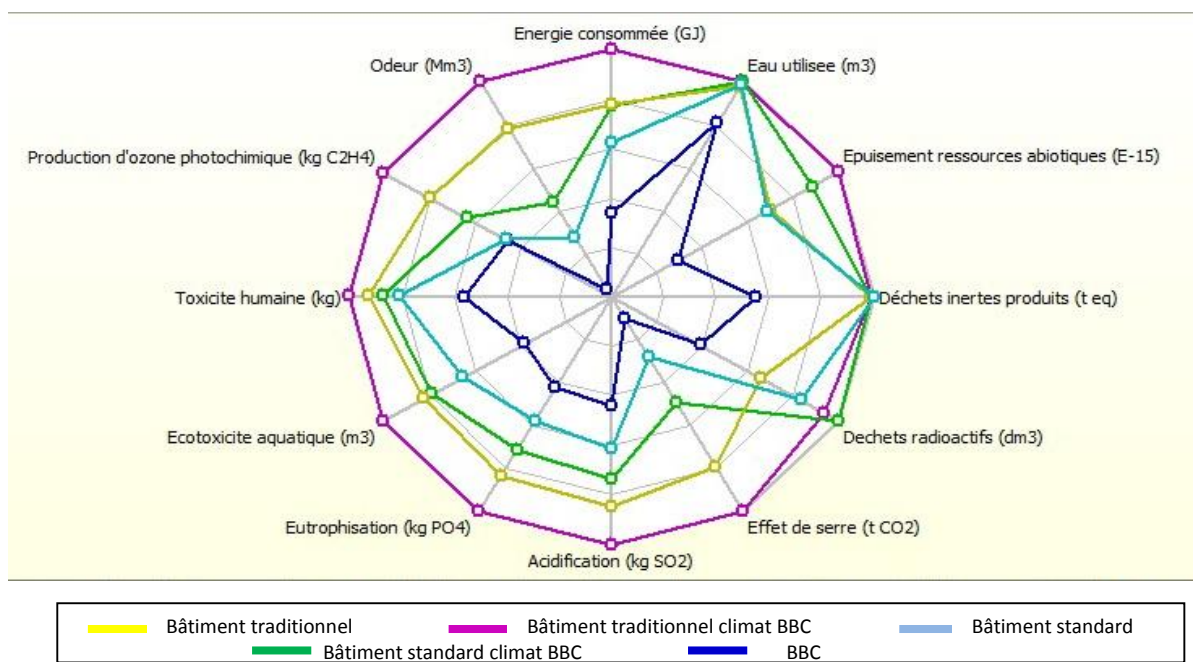


Fig. 220 : ACV comparative montrant l'influence du climat sur la génération des impacts (valeur d'impact)

I.6.4 Influence de la surface et de la forme du bâtiment

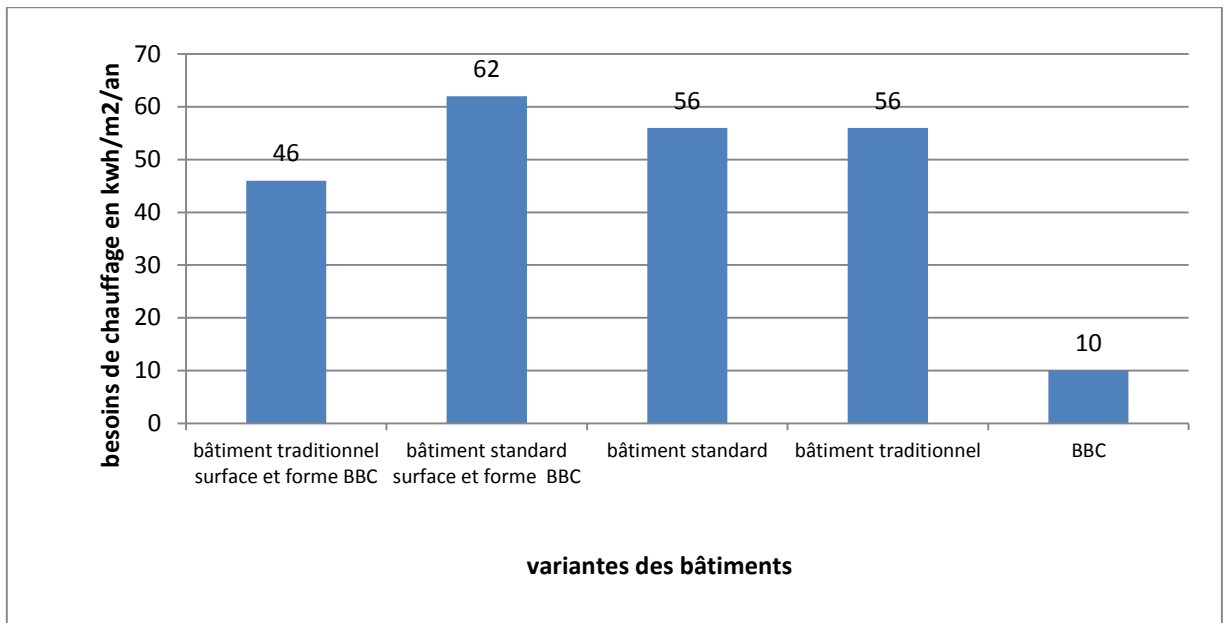


Fig.221 : Influence de la surface et de la forme du bâtiment sur les besoins de chauffage annuel

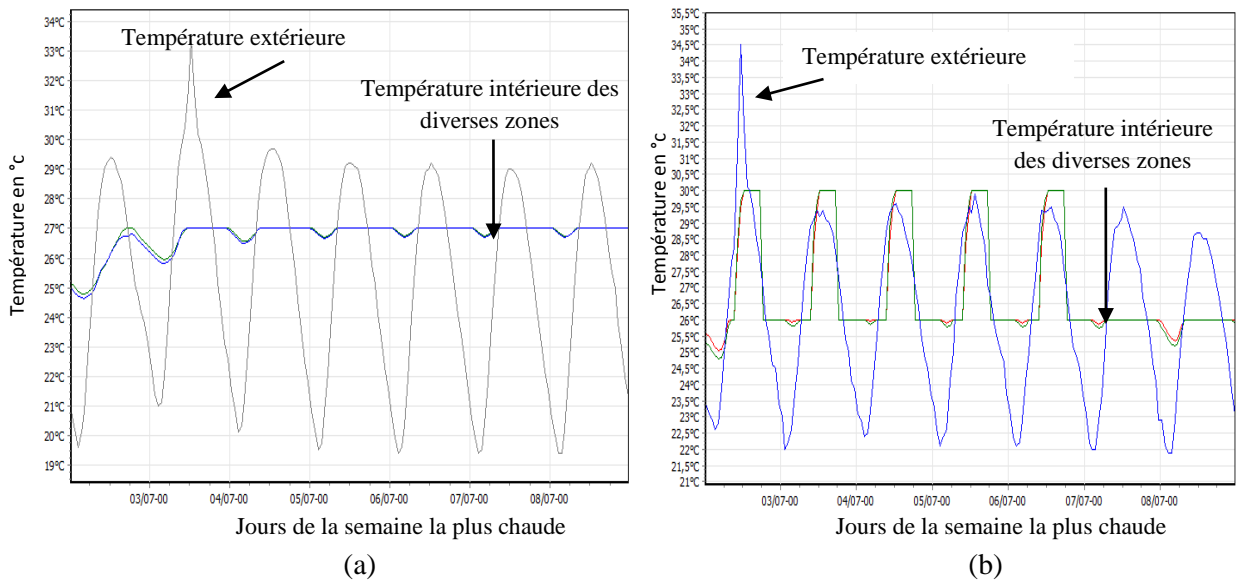


Fig.222 : Influence la surface et de la forme du bâtiment sur l'évolution de la température intérieure du bâtiment traditionnel (a) et du bâtiment standard (b) durant la semaine la plus chaude

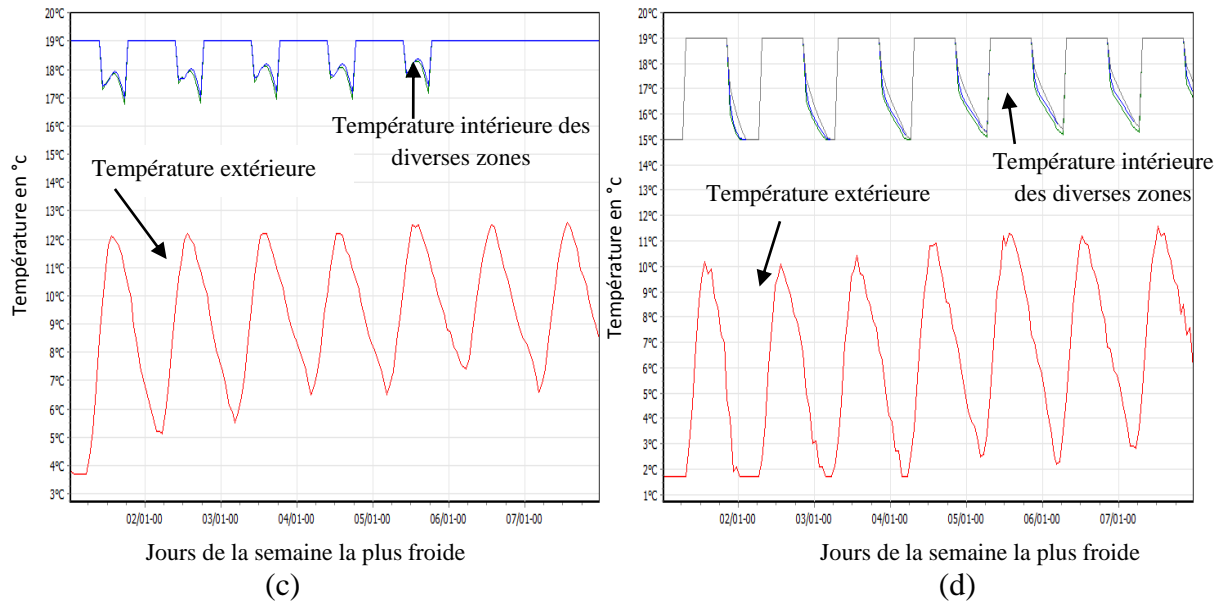


Fig.223: Influence la surface et de la forme du bâtiment sur l'évolution de la température intérieure du bâtiment traditionnel (c) et du bâtiment standard (d) durant la semaine la plus chaude

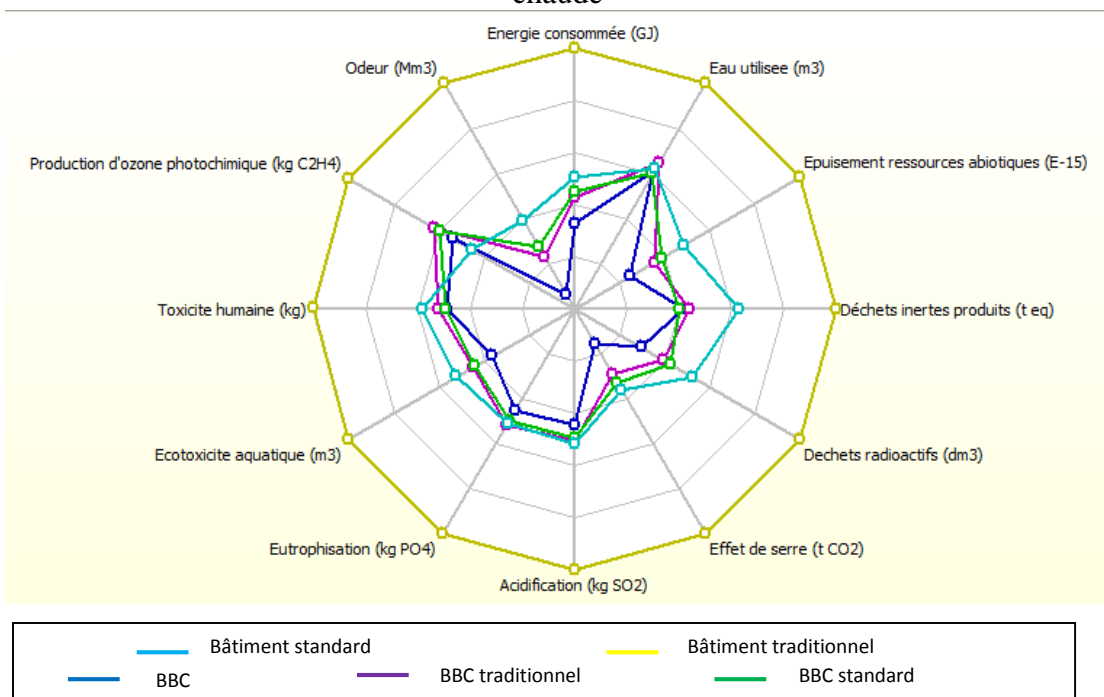


Fig.224 : ACV comparative montrant l'influence de la surface et de la forme du bâtiment sur la génération des impacts (valeur d'impact/occupant/m²)

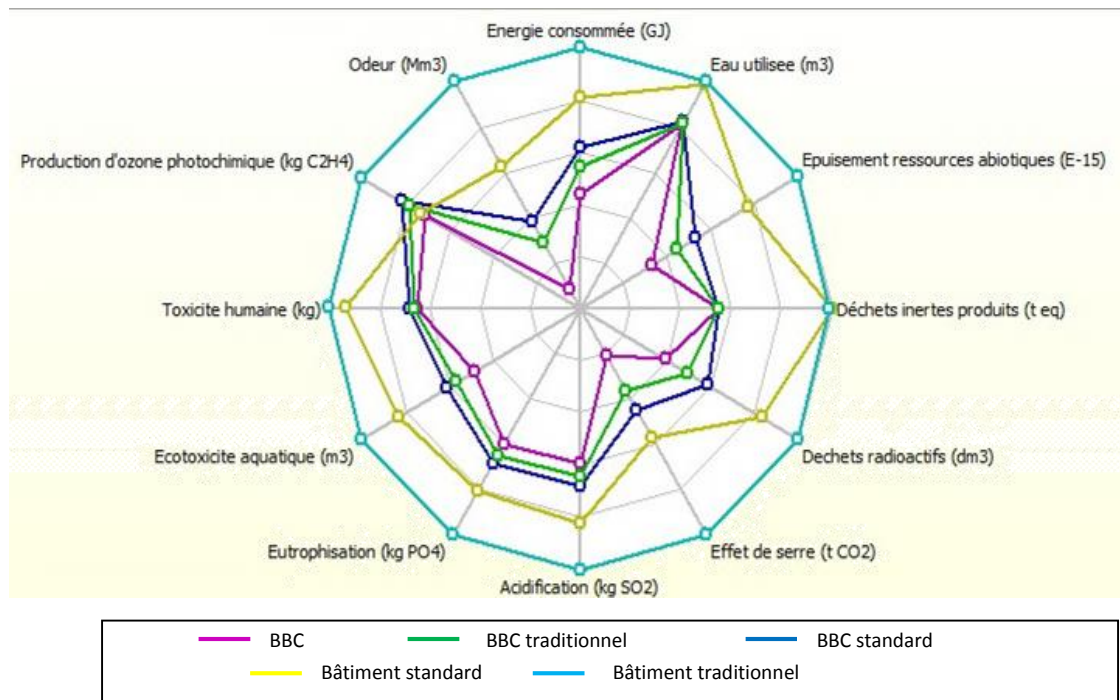


Fig.225 : ACV comparative montrant l'influence de la surface et de la forme du bâtiment sur la génération des impacts (valeur d'impact)

I.7 INTERPRETATION DES RESULTATS

I.7.1 Influence de l'enveloppe

L'attribution de l'enveloppe BBC a fait réduire les besoins de chauffage de presque la moitié pour les deux variantes traditionnelle et standard ; les matériaux à forte inertie du BBC ainsi que la forte isolation ont contribué grandement à limiter les déperditions et réduire ainsi les besoins de chauffage.

Par ailleurs, la comparaison des températures réalisée par le logiciel COMFIE , durant les deux semaines, nous montre une stabilité de la courbe de température intérieure du bâtiment traditionnel lorsque nous lui avons affecté l'enveloppe BBC avec de faibles fluctuations similaires à celles enregistrées dans la variante traditionnelle de base, en outre celle du bâtiment standard semble être stable et indépendante de celle de l'extérieur contrairement aux fluctuations enregistrées dans la variante standard de base.

Les résultats du logiciel EQUER montrent que les impacts environnementaux ont diminué grâce à l'affectation de l'enveloppe BBC aux deux variantes traditionnelle et standard. Par ailleurs, cette ACV nous renseigne sur l'importance d'une enveloppe vis-à-vis de la minimisation des impacts, en effet, rendre l'enveloppe plus performante du point de vue énergétique grâce, entre autres, à une isolation performante, améliorerait certainement son bilan environnemental.

Les pourcentages de réduction des impacts, obtenus grâce à l'attribution d'une enveloppe performante (BBC) à nos deux bâtiments, traditionnel et standard, sont respectivement comme suit :

(14.02% et 22.37 %) moins d'énergie consommée.

(0.79% et 1.61 %) moins d'eau utilisée.

(13.49% et 28.12%) moins des ressources abiotiques épuisées.

(0.15% et 1.18%) moins de déchets inertes produits.

(10.91% et 27.93%) moins de déchets radioactifs produits.

(18.43% et 3.10%) moins de gaz à effet de serre émis.

(7.28% et 6.36 %) moins de substances émises entraînant des pluies acides.

(8.84% et 6.78%) moins de substances émises conduisant à une eutrophisation excessive.

(10.75% et 12.11%) moins de polluants toxiques émis dans le milieu aquatique.

(1.99% et 2.29%) moins de substances toxiques émises.

(16.02% et 10.76%) moins de substances responsables du smog d'été émises.

(26.61% et 26.69%) moins de substances impliquées dans la génération des odeurs émises.

I.7.2 Influence des scénarios

L'étude énergétique montre que les besoins de chauffage ont diminué de deux tiers pour le bâtiment traditionnel et plus de moitié pour le bâtiment standard lorsque nous avons remplacé les scénarios de ces derniers par ceux du BBC. Les techniques d'utilisation du BBC sont très satisfaisantes pour nos deux variantes. D'autre part, l'étude des températures durant les deux semaines, la plus chaude et la plus froide, affiche une stabilité remarquable pour nos deux variantes traditionnelle et standard ainsi qu'une absence de fluctuations ; les scénarios BBC apparaissent comme la meilleure alternative qui s'offre à nous, ce qui valide la pertinence du choix des consignes retenues.

L'étude de l'ACV montre, que certains impacts se sont réduits alors que d'autres se sont amplifiés, cette augmentation s'explique par le % d'occupation et la température de consigne relative à l'occupation qui ont fait augmenter d'une part les besoins de l'énergie et donc l'impact d'énergie, et d'autre part la consommation de l'eau, l'épuisement des ressources ainsi que les déchets radioactifs, ce dernier impact est lié directement à l'augmentation de la consommation électrique pour le refroidissement, nous remarquons en outre que l'effet de serre s'est clairement réduit. Les scénarios d'ACV doivent être améliorés pour nos deux variantes pour de meilleurs résultats.

Les pourcentages les plus importants de réduction de certains impacts obtenus grâce à l'attribution des scénarios du BBC à nos deux bâtiments, traditionnel et standard, sont respectivement comme suit :

(34.51% et 0.64%) moins de gaz à effet de serre émis.

(9.55% et 1.05%) moins de substances émises entraînant des pluies acides.

(12.16% et 3.36%) moins de substances émises conduisant à une eutrophisation excessive.

(18.51% et 6.46%) moins de substances responsables du smog d'été émises.

(45.68% et 27.38%) moins de substances impliquées dans la génération des odeurs émises.

. Nous remarquons que la réduction de ces impacts est plus importante dans le bâtiment traditionnel que celle de ces mêmes impacts dans le bâtiment standard, ce qui nous conduit à dire qu'une enveloppe traditionnelle couplée à des scénarios BBC, permet d'obtenir à priori un bilan environnemental relativement meilleur que dans le cas d'une enveloppe standard couplée à ces mêmes scénarios, mais d'autres paramètres doivent être pris en considération tel que le climat, la surface et l'occupation.

I.7.3 Influence du climat

D'après les résultats du logiciel COMFIE, les besoins annuels de chauffage ont largement augmenté en affectant les données climatiques du BBC à nos deux variantes, cela veut dire que les deux enveloppes traditionnelle et standard de nos deux variantes avec leurs scénarios d'utilisation ne sont pas efficaces dans un climat semi continental, de même pour les températures simulées, où nous constatons de grandes fluctuations hivernales, l'ACV, de son côté démontre l'amplification de la majorité des impacts par les nouvelles variantes comparées aux variantes de base ; les scénarios d'utilisation de ces dernières doivent être modifiés parallèlement à une amélioration de leur enveloppes pour une meilleure compatibilité avec ce climat et ainsi limiter les déperditions.

I.7.4 Influence de la surface et la forme du bâtiment

En ayant la même surface pour une forme dont la compacité est quasiment équivalente, le bâtiment traditionnel est plus efficace énergétiquement, en effet, ses besoins de chauffage se sont sensiblement réduits (une différence de 10kwh/m²/an), ce qui démontre l'efficacité de l'enveloppe traditionnelle du point de vue énergétique (besoins de chauffage) notamment avec une surface plus réduite, or, pour le bâtiment standard, et en dépit d'une faible réduction de la surface SHON, les besoins de chauffage ont faiblement augmenté (de 6kwh/m²/an) ce qui justifie la nécessité d'améliorer l'enveloppe d'une part via une meilleure isolation, entre autres, et d'autre part, les

scénarios de fonctionnement, cela correspond d'ailleurs aux résultats de nos mesures où nous avons démontré que le confort thermique d'hiver du bâtiment traditionnel est meilleur que celui du bâtiment standard. Cela est confirmé également par la courbe de température en saison chaude du BBC traditionnel qui semble être plus stable que celle du bâtiment traditionnel de base, or, la différence n'est pas très significative pour le bâtiment standard durant cette saison ainsi que les deux bâtiments durant la saison chaude où nous remarquons certaines fluctuations semblables à celles enregistrées pour les variantes de base.

Il est clair par ailleurs, qu'une association d'une surface réduite avec une forme constante et compacte réduirait significativement les impacts environnementaux d'après EQUER.

Les pourcentages de réduction des différents impacts obtenus grâce à l'attribution d'une surface réduite couplée à une forme constante et compacte respectivement au bâtiment traditionnel et au bâtiment standard sont comme suit:

(46.20% et 23.76%) moins d'énergie consommée.

(18.31% et 16.75%) moins d'eau utilisée.

(55.34% et 31.06%) moins des ressources abiotiques épuisées.

(44.24% et 44.85%) moins de déchets inertes produits.

(50.38% et 29.45%) moins de déchets radioactifs produits.

(63.46% et 20.86%) moins de gaz à effet de serre émis.

(35.64% et 17.45%) moins de substances émises entraînant des pluies acides.

(30.04% et 26.70%) moins de substances émises conduisant à une eutrophisation excessive.

(43.54% et 26.71%) moins de polluants toxiques émis dans le milieu aquatique.

(34.29% et 27.05%) moins de substances toxiques émises.

(21.80%) moins de substances responsable du smog d'été émises par le bâtiment traditionnel.

(71.44% et 39.49%) moins de substances impliquées dans la génération des odeurs émises.

Nous constatons finalement qu'à surface et forme égale, le bâtiment traditionnel émet moins d'impacts environnementaux que le bâtiment standard, ce qui met en avant les avantages d'une enveloppe traditionnelle et sa contribution à améliorer non seulement le bilan thermique et énergétique mais aussi environnemental.

Par ailleurs, la comparaison entre les résultats d'ACV en (valeurs d'impacts) et ceux en (valeurs d'impacts/m²/occupants) nous renseigne sur la contribution de la différence de la surface et de l'occupation sur la génération des impacts, en effet, plus ces derniers sont importants, et plus importante sera la génération des impacts, ce constat a été d'ailleurs observé pour toutes les séries de simulation des différents composants du bâtiment que nous avons étudié précédemment.

Signalons enfin, que les valeurs des différents impacts des différentes sous-variantes sont regroupées dans l'annexe (annexe 8).

I.8 AMELIORATION DU BILAN ENVIRONNEMENTAL PAR ACV

La démarche que nous avons appliquée dans ce travail a montré l'influence de l'enveloppe, du climat, de la surface, de la forme du bâtiment et de certains choix techniques et fonctionnels sur le bilan énergétique et environnemental de ce dernier, il s'est avéré que l'enveloppe à plus grand impacts est l'enveloppe traditionnelle mais à surface et forme égale, le résultat diffère et l'enveloppe traditionnelle devient celle qui émet le moins d'impacts, en outre les scénarios du BBC permettent une réduction très intéressante des besoins énergétiques (32% pour le bâtiment traditionnel et 46% pour le bâtiment standard), par ailleurs, les résultats de l'ACV sont moins satisfaisants.

À partir de ces résultats, et dans le but d'améliorer les résultats de l'ACV, nous avons essayé d'élaborer une variante générant moins d'impacts que les variantes simulées précédemment. Nous avons nommé cette nouvelle variante (BFI) (Bâtiment à Faible Impact), elle se compose de deux autres sous-variantes :

- BFI traditionnel : il s'agit d'un bâtiment à faible impact ayant une enveloppe traditionnelle, en conservant sa surface et sa forme.
- BFI standard : il s'agit d'un bâtiment à faible impact ayant une enveloppe standard en conservant sa surface et sa forme.

En fait le BFI se présente comme une sorte de réponse à la problématique énergétique et environnementale des bâtiments existants ayant différentes enveloppes.

I.8.1 Caractéristiques du BFI

Le BFI se caractérise par une sobriété et efficacité énergétique tout en menant une bonne gestion de l'énergie, de l'eau et des déchets.

Dans le but d'assurer ces propriétés au BFI, nous avons retenu les hypothèses environnementales suivantes :

- Superflu de matériau lors du chantier :5%.
- Durée de vie des portes et fenêtres :30 ans. Durée de vie des revêtements : 10 ans.
- Gaz naturel pour le chauffage, bois énergie pour l'ECS.
- Consommation d'eau chaude : 40l/p/j, Consommation d'eau froide : 200l/p/j.
- Collecte sélective du verre : 50%, Collecte sélective du papier 30%.

- Déchets incinérés : 30% avec 80% de valorisation à l'incinération de gaz naturel : 1000g/p/j de déchets produits ;
- Durée de simulation : 100 ans.

Pour le bilan énergétique, nous avons attribué au BFI les scénarios BBC, étant donné que la simulation via COMFIE avec ces scénarios nous a donné un très bon bilan énergétique (18kwh/m²/an pour le bâtiment traditionnel et 26 kwh/m².an pour le bâtiment standard).

I.8.2 Simulation énergétique et thermique

Les résultats de la simulation énergétique et thermique du BFI réalisée grâce au logiciel COMFIE sont présentés dans les figures suivantes (Fig. 226, Fig. 227, Fig. 228, Fig.229 et Fig.230).

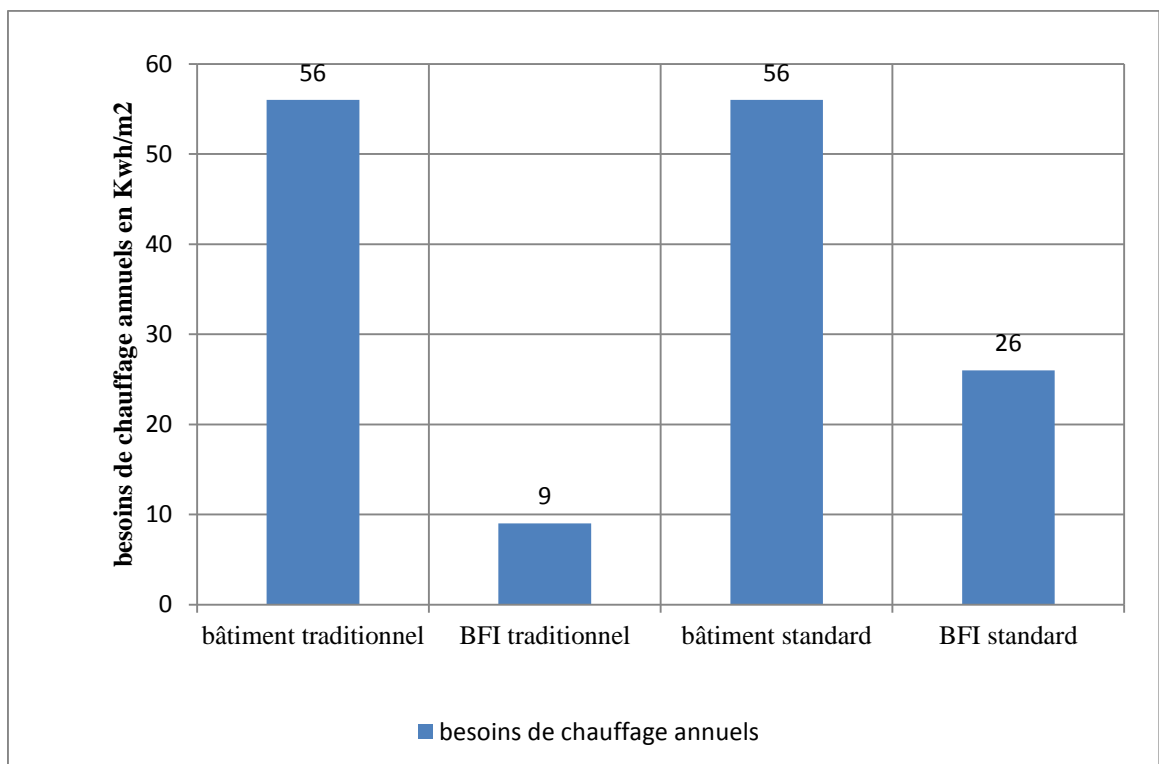


Fig.226: Comparaison des besoins de chauffage

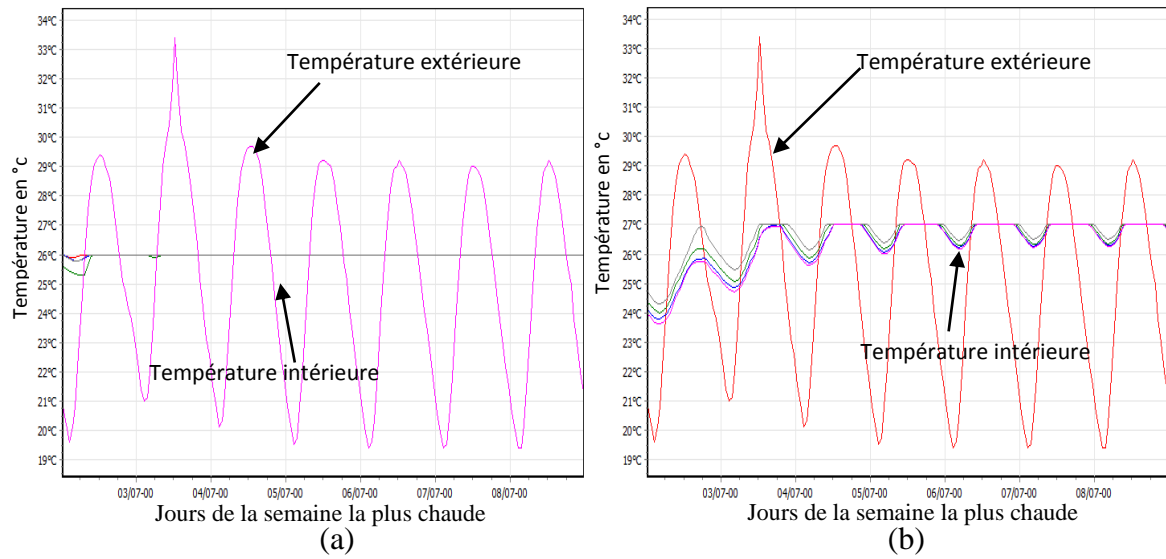


Fig.227 : Simulation thermique comparative de la température intérieure et extérieure du BFI traditionnel (a) et du bâtiment traditionnel (b) durant la semaine la plus chaude

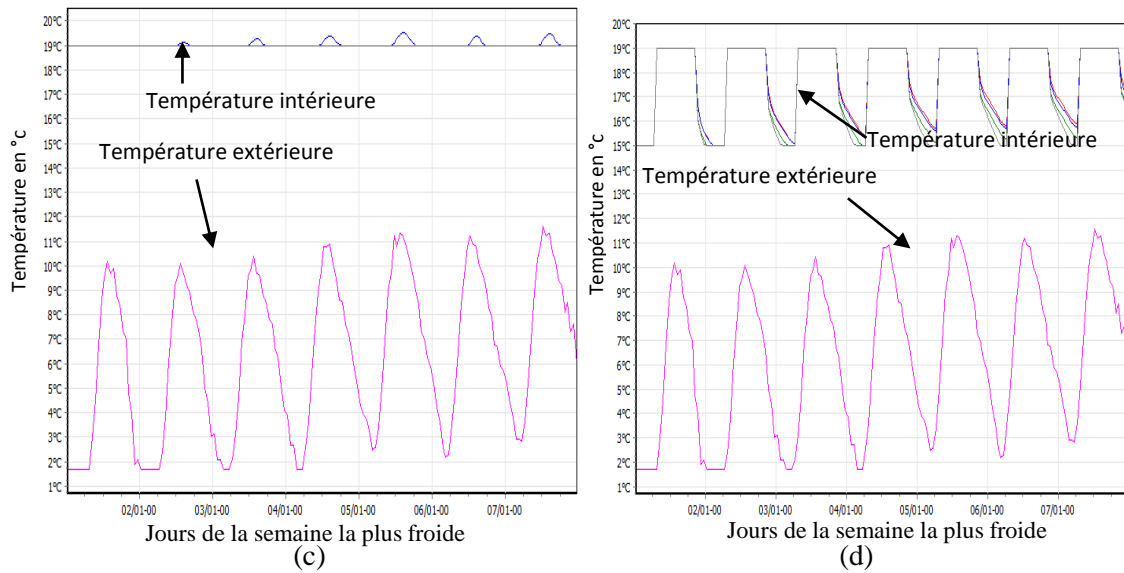


Fig. 228: Simulation thermique comparative de la température intérieure et extérieure du BFI traditionnel (c) et du bâtiment traditionnel (d) durant la semaine la plus froide

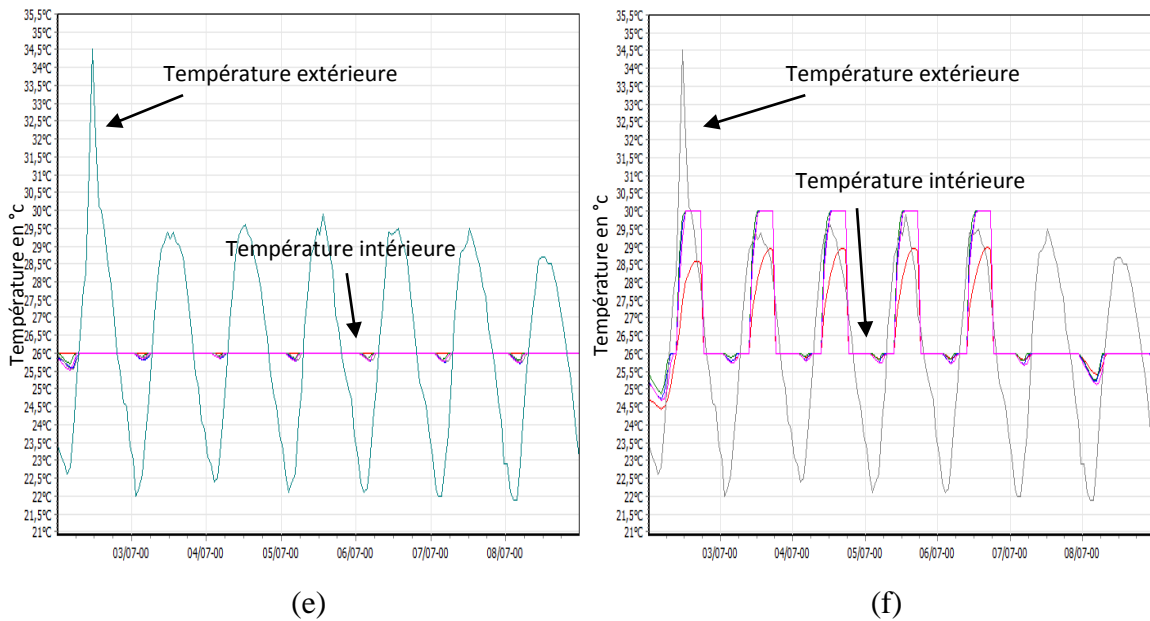


Fig. 229 : Simulation thermique comparative de la température intérieure et extérieure du BFI standard (e) et du bâtiment standard (f) durant la semaine la plus chaude

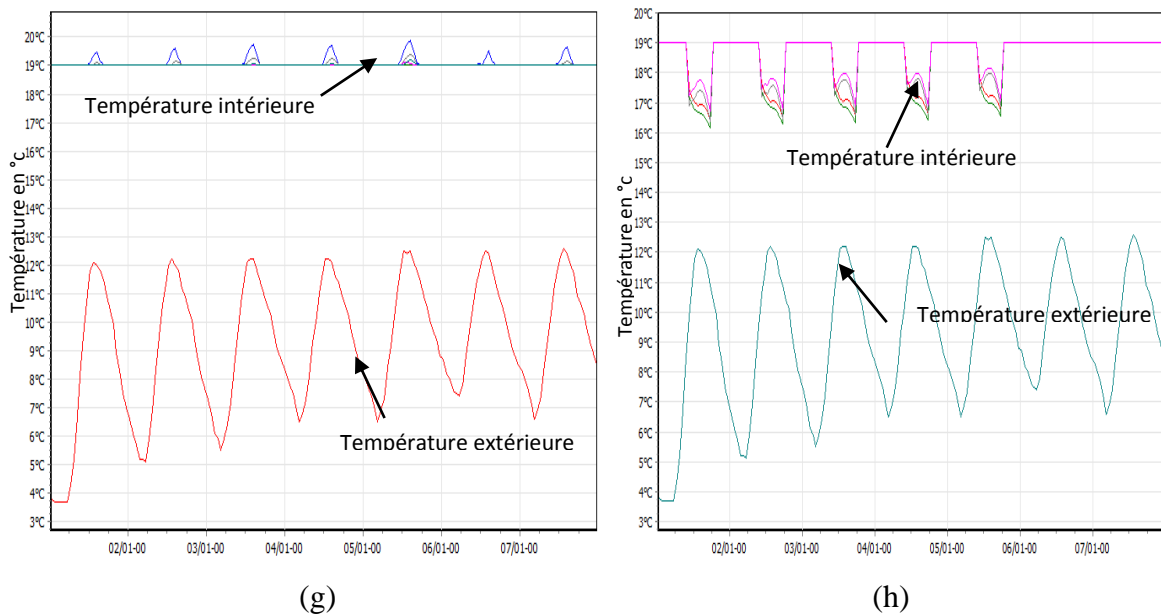


Fig. 230 : Simulation thermique comparative de la température intérieure et extérieure du BFI standard (g) et du bâtiment standard (h) durant la semaine la plus froide

I.8.2.1 Interprétation des résultats

La simulation énergétique réalisée par le logiciel COMFIE, nous montre que les besoins de chauffage du BFI traditionnel sont trois fois moins que ceux du bâtiment traditionnel de base, en outre, ceux du BFI standard sont deux fois moins que ceux du bâtiment standard de base, ce qui nous pousse à dire que grâce aux techniques attribuées, les deux bâtiments deviennent plus efficaces énergétiquement, d'autre part, ces techniques sont adaptées aux deux enveloppes, mais un peu plus à l'enveloppe traditionnelle.

D'autre part, la simulation thermique, nous montre une stabilité patente de la température intérieure du BFI traditionnel durant la semaine la plus chaude, en effet la température intérieure est quasiment une ligne droite ce qui signifie que le confort estival s'est amélioré grâce aux techniques attribuées. En saison hivernal, les résultats sont très satisfaisants comparés à ceux enregistrés dans le bâtiment traditionnel de base, les fluctuations ont largement diminué, mais en dépit de cela la température intérieure ne dépasse pas 19.5°C, ainsi, il est préférable de recourir aux moyens de captage solaire passif afin de pallier à cela.

Pour le BFI standard, la simulation thermique nous montre également une diminution des fluctuations durant les deux semaines la plus chaude et la plus froide avec un écart de 7°C en hiver et 8°C en été ce qui est très remarquable.

Cependant, les figures suivantes (Fig. 231 et Fig. 232), nous permettent de visualiser l'incidence de ces nouvelles techniques sur la qualité du confort intérieur à travers le diagramme de Brager.

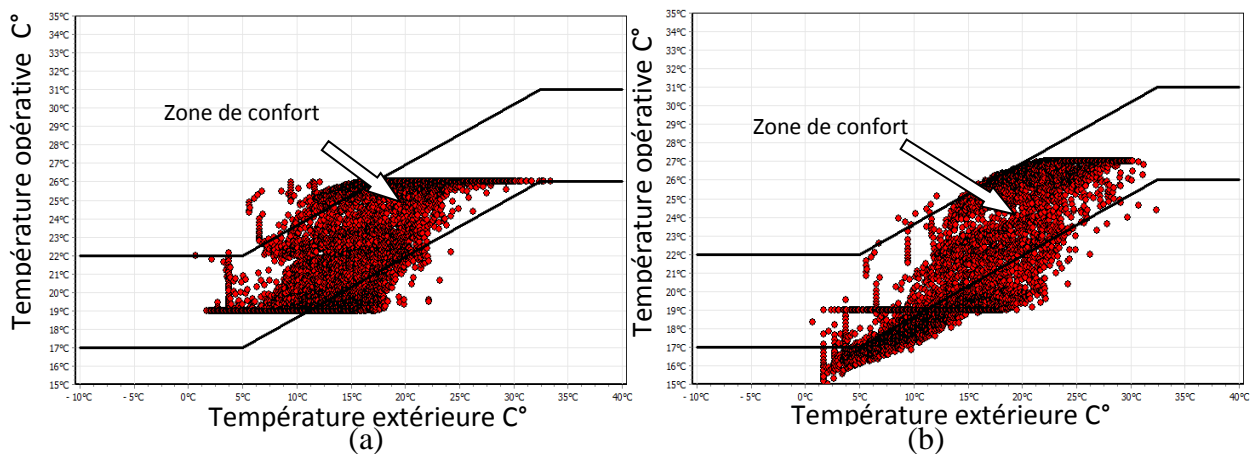


Fig. 231 : Comparaison du diagramme de Brager pour le BFI traditionnel (a) et le bâtiment traditionnel (b) durant toute l'année

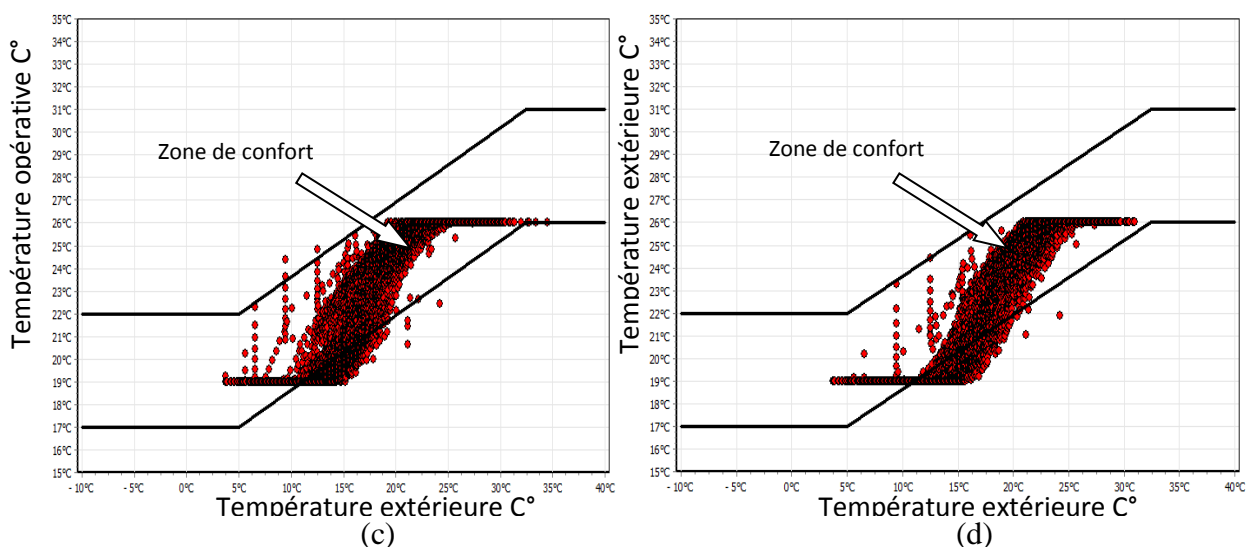


Fig.232 : Comparaison du diagramme de Brager pour le BFI standard (c) et le bâtiment standard (d) durant toute l'année

Grace au diagramme de Brager, nous visualisons une large diminution de l'inconfort du BFI traditionnel comparé au bâtiment traditionnel durant la saison hivernale grâce aux nouvelles techniques citées précédemment. En outre, pour le BFI standard, nous constatons que le nombre des points en dehors des limites basses de la zone de confort ont diminué et qu'ils se sont concentrés au centre de cette dernière ce qui veut dire que l'inconfort hivernal a diminué au profit d'un meilleur confort durant toute l'année.

A ce stade de résultats, nous pouvons dire que les nouveaux scénarios et techniques attribués, ont amélioré le bilan thermique et énergétique de nos deux bâtiments, mais qu'est-ce qui l'en est pour leur bilan environnemental ?

I.8.3 Simulation environnementale

Afin de connaître les conséquences environnementales des modifications apportées, nous avons réalisé une simulation ACV comparative entre le BFI traditionnel/ bâtiment traditionnel (Fig.233) et d'autre part entre le BFI standard/bâtiment standard (Fig.234)

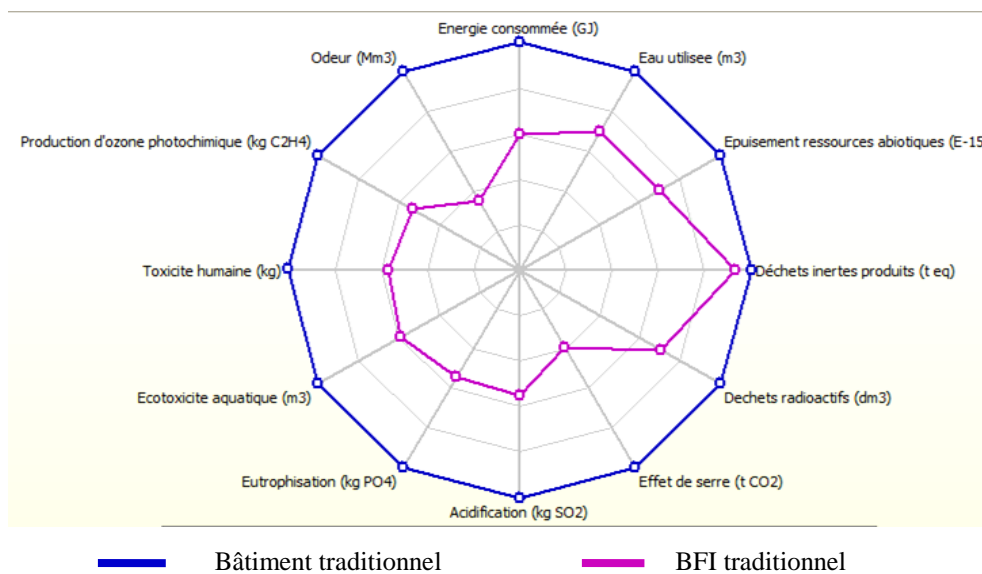


Fig.233 : ACV comparative du BFI traditionnel /bâtiment traditionnel

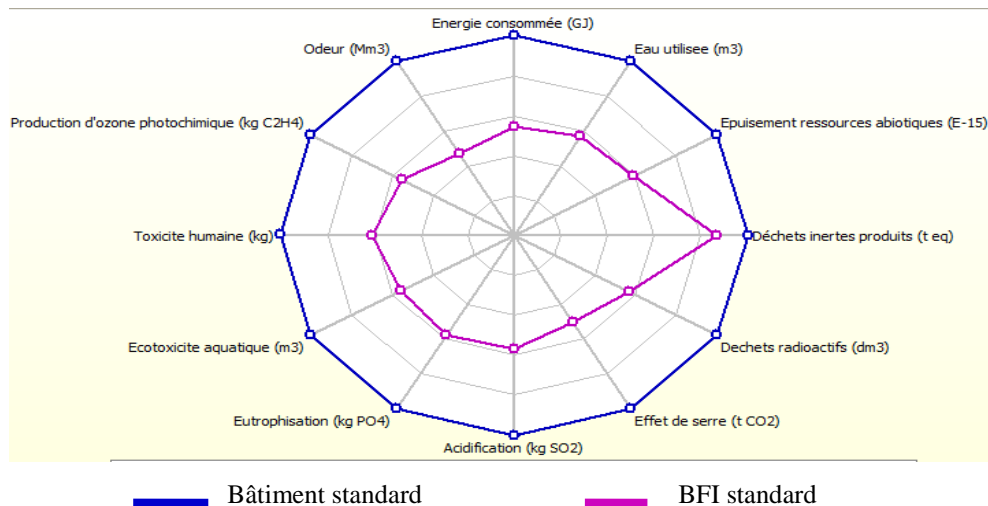


Fig. 234 : ACV comparative du BFI standard /bâtiment standard

I.8.3.1 Discussion

Les résultats du logiciel EQUER, montrent une réduction remarquable de tous les impacts environnementaux pour les deux variantes traditionnelle et standard ; en effet, en considérant les douze impacts, le bâtiment traditionnel et le bâtiment standard sont respectivement :

- 60% et 50% moins émetteurs de CO₂ ;
- 41% et 46% moins consommateurs d'énergie ;
- 29% et 43% moins producteurs de déchets radioactifs ;
- 30% et 43% moins consommateurs d'eau ;
- 30% et 41% moins consommateurs des ressources abiotiques épuisables ;
- 6% et 13% moins producteurs de déchets inertes ;
- 45% et 43% moins générateurs de substances entraînant des pluies acides ;
- 45% et 43% moins générateurs de substances conduisant à une eutrophisation excessive ;
- 41% et 44% moins émetteurs de substances toxique pour la faune et la flore dans le milieu aquatique ;
- 43% et 39% moins émetteurs de substances toxiques ;
- 47% et 45% moins émetteurs de substances responsable du smog d'été ;
- 65% et 53% moins émetteurs de substances générant des odeurs.

Finalement, nous pouvons dire que grâce aux performances techniques et énergétiques du BFI, les bâtiments sont moins générateurs d'impacts, et que pour améliorer le bilan environnemental de nos bâtiments, il faut penser à modifier notre comportement tant qu'usagers de ces derniers en étant plus responsables vis-à-vis de ce que nous consommons comme eau et énergie, et ce que nous produisons comme déchets.

II. CALCUL DES INDICATEURS ET COMPARAISON DES VARIANTES

Dans la deuxième section de ce dernier chapitre, nous calculerons nos quinze indicateurs en appliquant les formules élaborées précédemment tout en se basant sur les résultats des impacts que nous avons obtenu dans la section précédente, suite à cela, nous réaliserons des comparaisons de nos trois variantes de base par objectif, mais également des comparaisons des sous-variantes que nous avons élaborées précédemment, en les représentant sur des diagrammes radars, mais avant tout cela, nous levons le voile sur les valeurs de références de chaque indicateur présenté précédemment, ces valeurs vont permettre d'assurer leur normalisation et leur unification d'échelle.

II.1 VALEURS DE REFERENCE DES INDICATEURS

Les valeurs de référence calculées à partir des formules proposées précédemment des bâtiments BBC respectivement le bâtiment traditionnel et le bâtiment standard sont présentées dans les tableaux (Tab.84, Tab.86 et Tab.88).

Rappelons toutefois, que les valeurs de référence des impacts du BBC sont celles qui seront utilisées dans le calcul des indicateurs de nos cas d'étude, bien sûr ces valeurs ont été améliorées en appliquant des ratios selon la nature des indicateurs comme cela a été expliqué précédemment, les valeurs en question (améliorées) sont présentées dans la dernière colonne des tableaux ci-dessous, elles sont donc communes pour les trois cas d'étude. L'unité de calcul retenue est (usager.an.m^2), or, nous avons calculé également nos valeurs de référence en (usager.an) afin de donner à l'évaluateur plus de fluidité dans l'application de notre méthode.

Nous avons proposé également les valeurs des indicateurs de référence de la qualité du confort du BBC respectivement le bâtiment traditionnel et le bâtiment standard dans les mêmes tableaux (Tab.85, Tab.87 et Tab.89) ; ces indicateurs ont été calculés en appliquant les formules élaborées précédemment à partir des meilleures notes attribuées aux valeurs idéales à atteindre, ces dernières ainsi que les notes retenues sont mentionnées dans ces mêmes tableaux. Par ailleurs la surface de la pièce que nous avons retenue pour le calcul des indicateurs de confort est équivalente à une valeur moyenne d'une chambre commune dans les trois bâtiments (30m^2).

Nous signalons, que les valeurs idéales de la vitesse de l'air que nous avons retenu correspondent à des valeurs de température qui se situent entre les valeurs de température idéales, issues de la bibliographie internationale déjà citée (Energie+) et celles afférentes à nos variantes (entre 24°C et 27°C), c'est-à-dire, tel que nous l'avons signalé auparavant lors de l'interprétation des résultats de

l'enquête, en l'occurrence, des vitesses d'air susceptibles d'apporter une sensation rafraichissante en été aux occupant (1.1 m/s) et d'installer une situation de confort en hiver (0.13 m/s).

Pour le cas du BBC, et afin de calculer ses indicateurs de confort de la même manière pour les deux autres bâtiments, nous lui avons attribué des valeurs moyennes déduites de son implantation, de ses spécificités techniques et des simulations réalisées, en fait les valeurs proposées pour ce bâtiment sont les valeurs recommandées par la bibliographie internationale, déjà citée auparavant, étant donné que c'est notre bâtiment référence, ce qui est tout à fait logique. Par ailleurs, ce qui importe, est qu'elles n'atteignent pas les valeurs idéales que nous avons proposées.

Finalement, nous signalons que les valeurs idéales et systématiquement les notes idéales déduites proposées pour tous les paramètres de confort diffèrent selon les saisons afin de donner plus d'exactitude à nos résultats, mais dans le cas où l'évaluateur cherche une comparaison entre les deux saisons pour les indicateurs en question, il aura à choisir le même contexte référentiel pour les deux saisons afin que les résultats soient objectifs, dans ce cas, il aura à choisir des valeurs référentielles moyennes correspondant à la fois à la saison hivernale comme à la saison estivale.

Tab. 84 : Valeurs de référence proposées des indicateurs retenus pour le BBC

Thèmes	Indicateurs	Abréviation utilisée	Valeur de référence de l'indicateur V_R (/usager .an)	Valeur de référence de l'indicateur V_R (usager.an.m ²)	Valeur de référence de l'impact
Ressources	Épuisement des ressources	$V_{R \text{ ressources}}$	1.48E22 KgSb/(usager.an)	2.56E26 KgSb/(usager.an.m ²)	133.51 E-15 KgSb
	Consommation énergétique	$V_{R \text{ énergie}}$	763.51 Gj/ (usager.an)	0.13 Gj/ (usager.an.m ²)	391545.081 Gj
	Consommation de l'eau	$V_{R \text{ eau}}$	128.16 m ³ /(usager.an)	0.022 m ³ /(usager.an.m ²)	2563253.62 m ³
Environnement	Indicateurs du potentiel				
	Effet de serre	$V_{R \text{ effet de serre}}$	0.13 TCO2/(usager.an)	2.18E-5 TCO2/(usager.an.m ²)	2525.76 TCO2
	Acidification	$V_{R \text{ acidification}}$	1.55 KgSO ₂ / (usager.an)	2.67E-4 KgSO ₂ / (usager.an.m ²)	30978.72 KgSO ₂
	Eutrophisation	$V_{R \text{ eutrophisation}}$	0.16 KgPO ₄ / (usager.an)	2.86E-5 KgPO ₄ / (usager.an.m ²)	3317.048 KgPO ₄
	Smog d'été	$V_{R \text{ smog d'été}}$	0.73KgC ₂ H ₄ / (usager.an)	1.26E-4 KgC ₂ H ₄ / (usager.an.m ²)	14628.28 kgC ₂ H ₄
	Indicateurs de volume critique				
	Écotoxicité	$V_{R \text{ écotoxicité}}$	1112.42 m ³ As/(usager.an)	0.19 m ³ As /(usager.an.m ²)	111242338 m ³ As
	Toxicité humaine	$V_{R \text{ TH}}$	4.68KgSO ₂ / (usager.an)	8.076E-4 KgSO ₂ / (usager.an.m ²)	78075.66 KgSO ₂

	Odeurs	V _R odeur	0.72 Mm ³ NH ₃ / (usager.an)	1.25E-4 Mm ³ NH ₃ / (usager.an.m ²)	14486.75 Mm ³ NH ₃
Indicateurs de génération des déchets					
	Déchets inertes	V _R déchets inertes	68.81 Teg/(usager.an)	0.01 Teg/(usager.an.m ²)	1256370.51T eq
	Déchets radioactifs	V _R déchets radioactifs	0.021 dm ³ /(usager.an)	3.63E-6 dm ³ /(usager.an.m ²)	421.73dm ³

Tab. 85 : Valeurs de références des indicateurs de la qualité du confort proposées pour le BBC

Thème	Indicateur	Abréviation utilisée	Valeur idéale attribuée	Note idéale attribuée	Valeur attribuée	Note attribuée	Valeur de référence
Confort	Confort hygrothermique d'été	V _R confort HT été	T _{air} =24°C	N _{Tair I} =3	T _{air} =26°C	2	2.33 e-4
			H _r =40%	N _{Hr I} =2	H _r =45%	2	
			V _{air} =1.1m/s	N _{Vair} =1	V _{air} =0.6m/s	3	
	Confort hygrothermique d'hiver	V _R confort HT hiver	T _{air} =21°C	N _{Tair I} =3	T _{air} =19°C	4	3.10 e-4
			H _r =50%	N _{Hr I} =3	H _r =55%	3	
			V _{air} =0.13m/s	N _{Vair} =2	V _{air} =0.25 m/s	3	
	Confort acoustique d'été	V _R confort Ac été	N _{sonore} =20db(A)	N _{Nsonore I} =4	N _{sonore} =25 db(A)	5	1.55 e-4
	Confort acoustique d'hiver	V _R confort Ac hiver	N _{sonore} =15db(A)	N _{Nsonore I} =3	N _{sonore} =20 db(A)	4	1.16 e-4
	Confort visuel d'été	V _R confort V été	Éclairage artificiel =200lux	N _{Eclairage AI} =4	Éclairage A=160lux	4	1.93e-4
			Éclairage naturel =260lux	N _{Eclairage NI} =3	Éclairage N=200lux	4	
	Confort visuel d'hiver	V _R confort V hiver	Éclairage artificiel=200	N _{Eclairage AI} =4	Éclairage A=160lux	4	2.06 e-4
			Éclairage naturel =200 lux	N _{Eclairage NI} =4	Éclairage N=140 lux	5	

Tab. 86: Valeurs de référence proposées des indicateurs retenus pour le bâtiment traditionnel

Thème	Indicateurs	Abréviati on utilisée	Valeur de référence de l'indicateur V_R (usager .an)	Valeur de référence de l'indicateur V_R (usager.an.m ²)	Valeur de référence de l'impact
Ressources	Épuisement des ressources	V_R ressources	8.47E-23 KgSb/(usager.an)	6.28E-27 KgSb/(usager.an.m ²)	133.51 E-15 KgSb
	Consommation de l'énergie	V_R énergie	436.29 Gj/ (usager.an)	0.032 Gj/ (usager.an.m ²)	391545.081 Gj
	Consommation de l'eau	V_R eau	73.23 m ³ /(usager.an)	0.005 m ³ /(usager.an.m ²)	2563253.62 m ³
Environnement	Indicateurs de potentiel				
	Effet de serre	V_R effet de serre	0.072 TCO ₂ /(usager.an)	5.34E-6 TCO ₂ /(usager.an.m ²)	2525.76 TCO ₂
	Acidification	V_R acidification	0.88KgSO ₂ / (usager.an)	6.55E-5 KgSO ₂ / (usager.an.m ²)	30978.72 KgSO ₂
	Eutrophisation	V_R eutrophisation	0.095 KgPO ₄ / (usager.an)	7.02E-6 KgPO ₄ / (usager.an.m ²)	3317.048 KgPO ₄
	Smog d'été	V_R smog d'été	0.42KgC ₂ H ₄ / (usager.an)	3.096E-5 KgC ₂ H ₄ / (usager.an.m ²)	14628.28 kgC ₂ H ₄
	Indicateurs de volume critique				
	Écotoxicité	V_R écotoxicité	635.67 m ³ As/(usager.an)	0.047 m ³ As/(usager.an.m ²)	111242338 m ³ As
	Toxicité humaine	V_R TH	2.67 KgSO ₂ / (usager.an)	1.98E-4 KgSO ₂ / (usager.an.m ²)	78075.66 KgSO ₂
	Odeurs	V_R odeur	0.41 Mm ³ NH ₃ / (usager.an)	3.06E-5 Mm ³ NH ₃ / (usager.an.m ²)	14486.75 Mm ³ NH ₃
	Indicateurs de génération des déchets				
	Déchets inertes	V_R déchets inertes	35.89 Teq/(usager.an)	0.0026 Teq/(usager.an.m ²)	1256370.51T eq
	Déchets radioactifs	V_R déchets radioactifs	0.012 dm ³ /(usager.an)	8.93E-6 dm ³ /(usager.an.m ²)	421.73dm ³

Tab. 87: Valeurs de références des indicateurs de confort proposées pour le bâtiment traditionnel

Thème	Indicateur	Abrévi- -ation utilisée	Valeur idéale attribuée	Note idéale attribuée	Valeur attribuée	Note attribuée	Valeur de référence
Confort	Confort hygrothermique d'été	V _R confort HT été	T _{air} =24°C	N _{Tair I} =3	T _{air} =26°C	2	5.71 e-5
			H _r =40%	N _{Hr I} =2	H _r =51%	3	
			V _{air} =1.1m/s	N _{Vair} =1	V _{air} =0.21m/s	4	
	Confort hygrothermique d'hiver	V _R confort HT hiver	T _{air} =21°C	N _{Tair I} =3	T _{air} =18°C	4	7.62 e-5
			H _r =50%	N _{Hr I} =3	H _r =59.3%	3	
			V _{air} =0.13m/s	N _{Vair} =2	V _{air} =0.51 m/s	7	
	Confort acoustique d'été	V _R confort Ac été	N _{sonore} =20d b(A)	N _{Nsonore I} =4	N _{sonore} =50 db(A)	7	3.81 e-5
	Confort acoustique d'hiver	V _R confort Ac hiver	N _{sonore} =15d b(A)	N _{Nsonore I} =3	N _{sonore} =40 db(A)	6	
	Confort visuel d'été	V _R confort V été	Éclairage artificiel =200lux	N _{Eclairage A I} =4	Éclairage artificiel A= 70lux	6	4.76 e-5
			Éclairage naturel =260lux	N _{Eclairage N I} =3	Éclairage naturel N=84 lux	5	
	Confort visuel d'hiver	V _R confort V hiver	Éclairage artificiel =200	N _{Eclairage A I} =4	Éclairage artificiel A= 70lux	6	5.08 e-5
			Éclairage naturel =200 lux	N _{Eclairage N I} =4	Éclairage naturel N= 71 lux	6	

Tab. 88 : Valeurs de référence proposées des indicateurs retenus pour le bâtiment standard

Thème	Indicateurs	Abréviatio n utilisée	Valeur de référence de l'indicateur V _R (/usager .an)	Valeur de référence de l'indicateur V _R (usager.an.m ²)	Valeur de référence de l'impact
Ressources	Épuisement des ressources	V _R ressources	1.18E-22 KgSb / (usager.an)	1.96E-26 KgSb/(usager.an.m ²)	133.51 E-15 KgSb
	Consommation énergétique	V _R énergie	610.81 Gj/ (usager.an)	0.10 Gj/ (usager.an.m ²)	391545.081 Gj
	Consommation de l'eau	V _R eau	102.53 m ³ /(usager.an)	0.017 m ³ /(usager.an.m ²)	2563253.62 m ³
Environnement	Indicateurs de potentiel				
	Effet de serre	V _R effet de serre	0.10 TCO2/(usager.an)	1.67E-5 TCO2/(usager.an.m ²)	2525.76 TCO2
	Acidification	V _R acidification	1.24 KgSO ₂ / (usager.an)	2.05E-4 KgSO ₂ / (usager.an.m ²)	30978.72 KgSO ₂
	Eutrophisation	V _R eutrophisation	0.13 KgPO ₄ / (usager.an)	2.19E-5 KgPO ₄ / (usager.an.m ²)	3317.048 KgPO ₄
Smog d'été	V _R smog d'été	0.58KgC ₂ H ₄ / (usager.an)	9.69E-5 KgC ₂ H ₄ / (usager.an.m ²)	14628.28 kgC ₂ H ₄	

Indicateurs de volume critique				
Écotoxicité	V _R écotoxicité	889.94 m ³ As / (usager.an)	0.15 m ³ As/(usager.an.m ²)	111242338 m ³ As
Toxicité humaine	V _R TH	3.75 KgSO ₂ / (usager.an)	6.206E-4 KgSO ₂ / (usager.an.m ²)	78075.66 KgSO ₂
Odeurs	V _R odeur	0.58 Mm ³ NH ₃ / (usager.an)	9.59E-5 Mm ³ NH ₃ / (usager.an.m ²)	14486.75 Mm ³ NH ₃
Indicateurs de génération des déchets				
Déchets inertes	V _R déchets inertes	50.25 Teq/(usager.an)	0.0083 Teq/(usager.an.m ²)	1256370.51 T eq
Déchets radioactifs	V _R déchets radioactifs	0.016 dm ³ /(usager.an)	2.79E-6 dm ³ /(usager.an.m ²)	421.73dm ³

Tab. 89 : Valeurs de références des indicateurs de confort proposées pour le bâtiment standard

Thème	Indicateur	Abréviat ion utilisée	Valeur idéale attribuée	Note idéale attribuée	Valeur attribuée	Note attribuée	Valeur de référence
Confort	Confort hygrothermique d'été	V _R confort HT été	T _{air} =24°C	N _{Tair I} =3	T _{air} =27.9°C	2	1.79e-4
			H _r =40%	N _{Hr I} =2	H _r =50.15%	3	
			V _{air} =1.1m/s	N _{Vair} =1	V _{air} =0.18m/s	5	
	Confort hygrothermique d'hiver	V _R confort HT hiver	T _{air} =21°C	N _{Tair I} =3	T _{air} =17.7°C	4	2.38e-4
			H _r =50%	N _{Hr I} =3	H _r =54.6%	3	
			V _{air} =0.13m/s	N _{Vair} =2	V _{air} =0.41m/s	7	
	Confort acoustique d'été	V _R confort Ac été	N _{sonore} =20db(A)	N _{Nsonore I} =4	N _{sonore} =28.5db(A)	5	1.55e-4
	Confort acoustique d'hiver	V _R confort Ac hiver	N _{sonore} =15db(A)	N _{Nsonore I} =3	N _{sonore} =27.5db(A)	5	8.94e-5
	Confort visuel d'été	V _R confort V été	Éclairage artificiel =200lux	N _{Eclairage A I} =4	Éclairage A= 95lux	5	1.49e-4
			Éclairage naturel =260lux	N _{Eclairage N I} =3	Éclairage N=131.75 =lux	5	
	Confort visuel d'hiver	V _R confort V hiver	Éclairage artificiel =200	N _{Eclairage A I} =4	Éclairage A= 95lux	5	1.59e-4
			Éclairage naturel =200 lux	N _{Eclairage N I} =4	Éclairage N = 71.75 lux	6	

Nous précisons que les substances de référence utilisées dans le calcul des indicateurs concernés sont comme suit :

- Épuisement des ressources : Antimoine (sb) ;
- Acidification : Dioxyde de soufre (SO₂) ;
- Eutrophisation : Phosphate (PO₄) ;
- Écotoxicité : Arsenic (As) ;
- Toxicité humaine : Dioxyde de soufre (SO₂) ;
- Smog : Éthylène (C₂H₄) ;
- Odeur : Ammoniac (NH₃) ;
- Effet de serre : Dioxyde de carbone (CO₂).

II.2 VALEURS DES INDICATEURS POUR LES TROIS VARIANTES DE BASE

Le tableau suivant (Tab.90) récapitule les valeurs des indicateurs calculés à partir des formules élaborées dans notre méthode et cela pour nos trois variantes.

Tab.90: valeurs des indicateurs associés aux thèmes de nos trois variantes

Thèmes	Indicateurs	Abréviation utilisée	Bâtiment traditionnel	Bâtiment standard	BBC
Ressources	Épuisement des ressources	I _{épui ressources}	0.15	0.19	0.45
	Consommation énergétique	I _{énergie}	0.19	0.24	0.45
	Consommation de l'eau	I _{eau}	0.33	0.37	0.45
Environnement	Indicateurs de potentiel				
	Effet de serre	I _{effet de serre}	0.063	0.11	0.29
	Acidification	I _{acidification}	0.24	0.29	0.40
	Eutrophisation	I _{eutrophisation}	0.24	0.29	0.40
	Smog d'été	I _{smog d'été}	0.21	0.29	0.30
	Indicateurs de volume critique				
	Ecotoxicité	I _{écotoxicité A}	0.19	0.24	0.39
	Toxicité humaine	I _{toxicité humaine}	0.19	0.21	0.30
	Odeurs	I _{odeurs}	0.024	0.039	0.29
	Indicateurs de génération des déchets				
	Déchets inertes	I _{déchets inertes}	0.22	0.22	0.33
	Déchets radioactifs	I _{déchets radioactifs}	0.12	0.14	0.29

Confort	Confort hygrothermique d'été	I_{cofort} hygrothermique été	0.66	0.60	0.86
	Confort hygrothermique d'hiver	I_{cofort} hygrothermique hiver	0.57	0.57	0.80
	Confort acoustique d'été	I_{cofort} acoustique été	0.57	0.66	0.80
	Confort acoustique d'hiver	I_{cofort} acoustique hiver	0.43	0.60	0.75
	Confort visuel d'été	I_{confort} visuel d'été	0.65	0.75	0.93
	Confort visuel d'hiver	I_{confort} visuel d'hiver	0.66	0.76	0.94

II.3 COMPARAISON DES VARIANTES DE BASE

II.3.1 Comparaison des variantes pour les indicateurs du thème « Ressources »

La comparaison des deux variantes avec la référence BBC via le diagramme radar pour les indicateurs du thème « Ressources » est présentée dans la figure suivante (Fig.235).

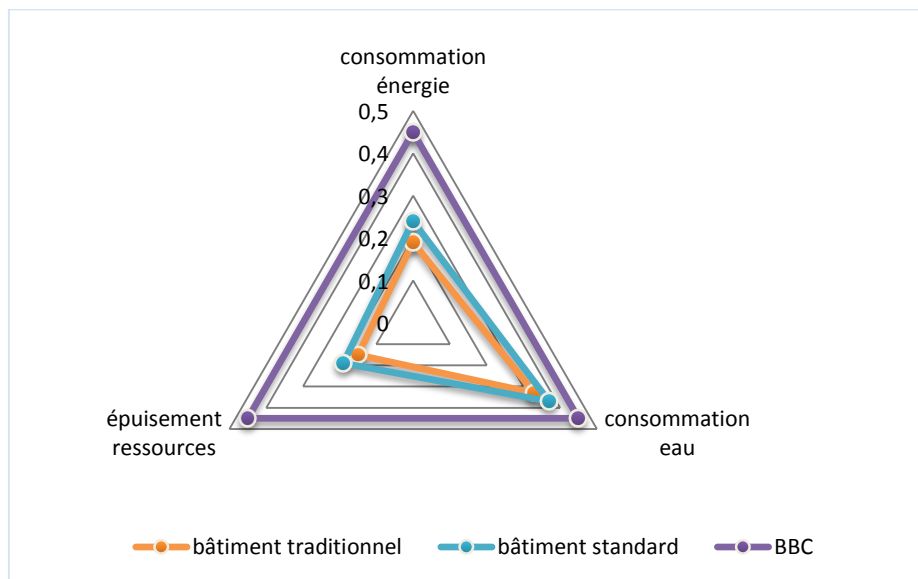


Fig.235: Comparaison des variantes pour les indicateurs du thème « Ressources »

II.3.1.1 Discussion

Nous remarquons que les différences sont très faibles entre les trois variantes pour l'indicateur de consommation en eau, contrairement aux deux autres indicateurs dont la différence est flagrante entre les bâtiments traditionnel et standard comparé au BBC ; cela s'explique par la conception basse consommation du BBC qui lui crée un écart de consommation d'énergie et de ressources abiotiques avec les deux autres variantes. Entre le bâtiment standard et le bâtiment traditionnel, la différence est liée à la différence d'occupation, et donc à la différence de consommation. et aux

nombre de parois à construire des deux bâtiments, étant donné que la phase de construction est également génératrice de ces impacts.

II.3.2 Comparaison des variantes pour les indicateurs du thème «Environnement »

La comparaison des deux variantes avec la référence BBC via le diagramme radar pour les indicateurs du thème «Environnement » est présentée dans la figure suivante (Fig.236).

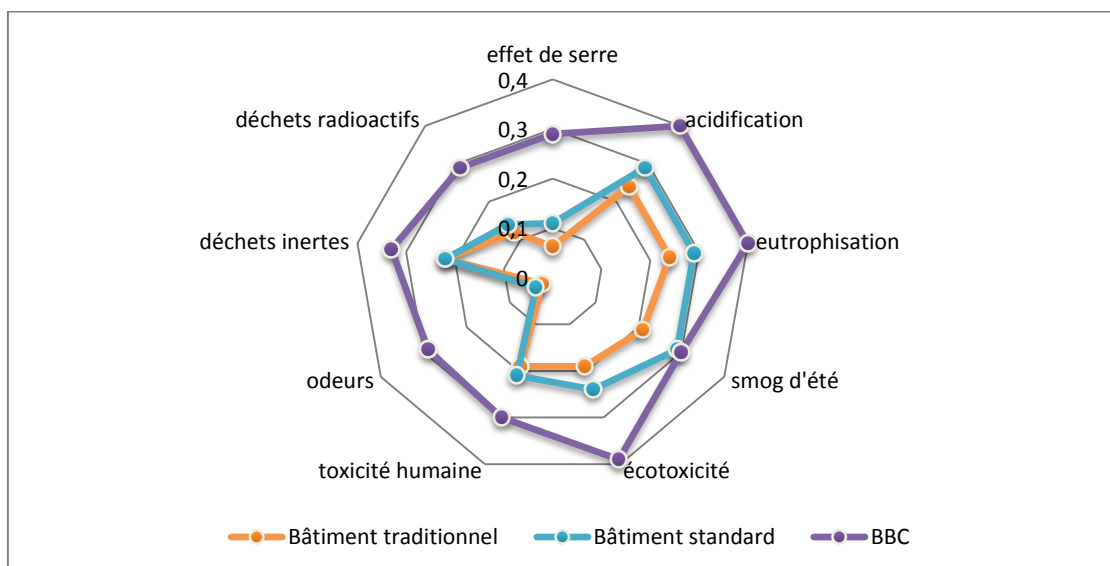


Fig. 236: Comparaison des variantes pour les indicateurs du thème « Environnement »

II.3.2.1 Discussion

Nous constatons que pour l'indicateur des déchets inertes, la différence est quasi nulle entre le bâtiment traditionnel et le bâtiment standard, elle est en outre légèrement significative entre ces deux bâtiments et la référence BBC ; cette différence est liée à la phase d'utilisation et à celle de démolition qui entraîne la production des déchets inertes, et donc aux nombre des parois à démolir. Pour les indicateurs d'acidification, d'eutrophisation et d'écotoxicité, la différence est faible entre le bâtiment traditionnel et standard, elle est plus grande comparée au BBC ; les substances responsables de ces impacts sont largement corrélés à la phase d'utilisation (électricité) mais également à la phase de construction, et donc les résultats obtenus se justifient également par la construction d'un nombre différent de parois et par le transport des matériaux. La phase de rénovation par contre joue un rôle plus important que la phase de construction dans l'émission des substances acidifiantes.

Par ailleurs, nous remarquons une très faible différence entre le bâtiment standard et le BBC pour l'indicateur smog d'été (un écart de 0.01) comparé au bâtiment traditionnel dont la différence est plus grande (un écart de 0.08 entre le bâtiment traditionnel et bâtiment standard et 0.09 entre le

bâtiment traditionnel et le BBC) ; cela s'explique par la différence d'occupation étant donné que la phase d'utilisation est celle qui produit le plus de substances responsables du smog d'été, mais également la phase de construction qui joue également un rôle important, les parois du bâtiment traditionnel sont plus prolongées et donc plus responsables du smog.

Une grande différence est constatée entre le BBC et les autres variantes pour les autres indicateurs, cela est lié à la basse consommation du BBC, à la différence d'occupation et de construction.

II.3.3 Comparaison des variantes pour le thème « Confort »

La comparaison des deux variantes avec la référence BBC via le diagramme radar pour les indicateurs du thème « Confort » est présentée dans la figure suivante (Fig. 237).

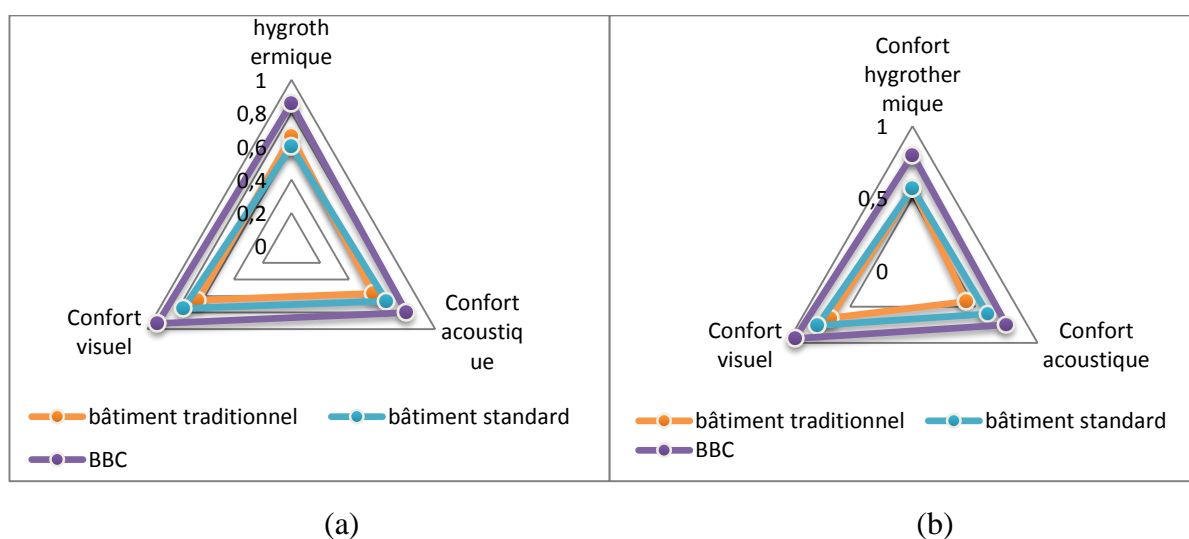


Fig. 237: Comparaison des variantes pour les indicateurs du thème « Confort » pour le confort d'été (a) et le confort d'hiver (b)

II.3.3.1 Discussion

Le bâtiment traditionnel offre un résultat satisfaisant quant à l'indicateur du confort hygrothermique d'été et le confort visuel et dans une moindre mesure l'indicateur du confort acoustique, cela revient à sa situation urbaine, en outre, la pierre avec laquelle il est construit affecte le niveau du confort hygrothermique (déphasage et absorption de l'onde thermique.). Le recours à un captage solaire et un refroidissement passif par évaporation doivent être considérés pour un meilleur confort. En outre, le bâtiment standard affiche un meilleur résultat pour le confort acoustique et visuel grâce à l'utilisation d'éléments isolants et l'optimisation de l'éclairage naturel et artificiel. L'indicateur du confort hygrothermique d'hiver est similaire entre les deux bâtiments ce qui conforte les résultats de l'enquête de satisfaction ainsi que les résultats des mesures effectués sur ces deux bâtiments (la même plage de confort).

En outre, la conception basse consommation et les matériaux isolants du BBC lui offre un bon niveau de confort hygrothermique. Pour les deux autres indicateurs, l'écart dû à la bonne optimisation de l'éclairage naturel et l'utilisation d'équipement performant en isolement acoustique mais aussi en éclairage artificiel (bon niveau d'éclairage sans grande consommation énergétique).

Nous rappelons que le contexte référentiel diffère selon la saison, pour cela, la comparaison entre les deux saisons ne doit pas s'inscrire par rapport à ce contexte afin d'éviter tout amalgame.

II.3.4 Comparaison de l'ensemble des indicateurs

La figure suivante (Fig. 238) représente une vue globale de l'ensemble des indicateurs sur un seul diagramme pour nos trois bâtiments.

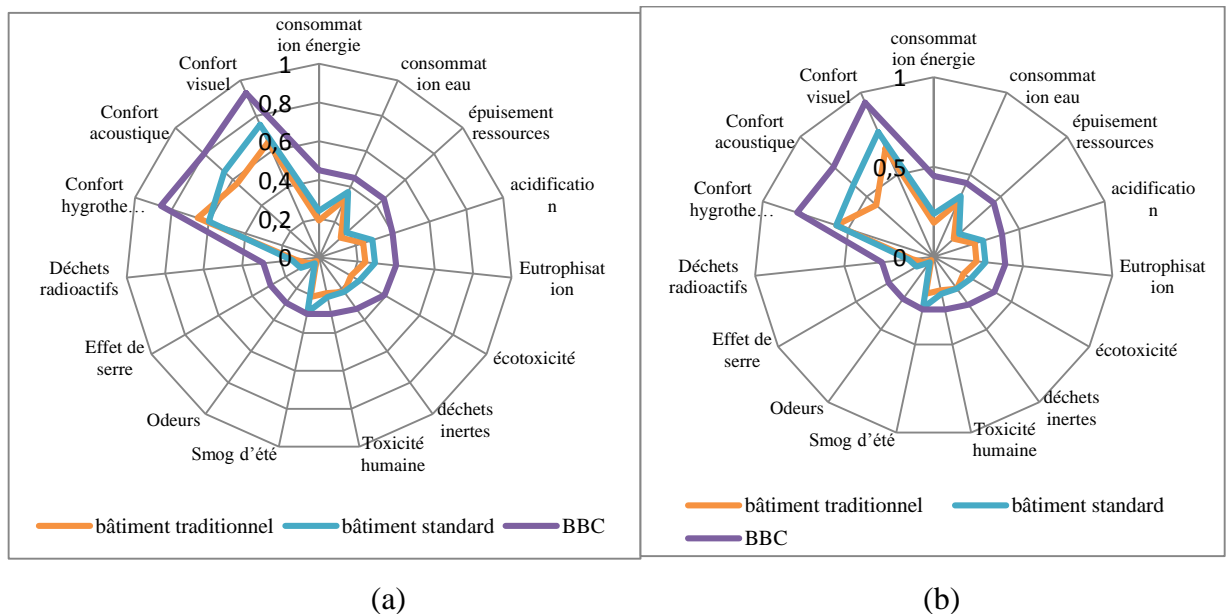


Fig. 238: Comparaison des variantes pour l'ensemble des indicateurs avec le confort d'été (a) et avec le confort d'hiver (b)

II.3.4.1 Discussion

D'un point de vue globale, nous remarquons que le BBC offre les meilleurs résultats pour tous les indicateurs avec un écart important par rapport aux deux autres variantes, à l'exception de l'indicateur du smog d'été où nous remarquons une très faible différence entre le BBC et le bâtiment standard. D'autre part, l'indicateur des odeurs, est celui qui offre les pires résultats pour le bâtiment standard et traditionnel, avec un très faible écart de 0.015.entre ces deux derniers.

Entre tous les indicateurs, nous constatons que les indicateurs de la qualité du confort offrent les meilleurs résultats pour toutes les variantes à des degrés différents comme nous l'avons vu précédemment, les plus mauvais résultats en outre pour le bâtiment traditionnel et le bâtiment

standard sont offerts par les odeurs, les déchets radioactifs et l'épuisement des ressources abiotiques, ensuite dans une moindre mesure l'écotoxicité et la consommation énergétiques suivi de la toxicité humaine. Nous rappelons que ces différences ont été justifiées précédemment pour les trois variantes par thème.

II.4 VALEURS DES INDICATEURS DES SOUS VARIANTES

Nous présentons dans le tableau ci-dessous (Tab.91) les valeurs des indicateurs de nos huit sous variantes associées aux deux variantes ; bâtiment traditionnel et bâtiment standard

Tab.91: Valeurs des indicateurs associés aux thèmes de nos huit sous variantes

Thème	Indicateurs	Abrév utilisée	Bâtiment traditionnel				Bâtiment standard				
			Enveloppe BBC	Scénario BBC	Climat BBC	Surf et forme BBC	Enveloppe BBC	Scénario BBC	Climat BBC	Surf et forme BBC	
Ressources	Épuisement des ressources	Iépu ressources	0.17	0.13	0.13	0.33	0.27	0.17	0.19	0.28	
	Consommation énergétique	Iénergie	0.23	0.19	0.15	0.36	0.31	0.22	0.19	0.32	
	Consommation de l'eau	Ieau	0.37	0.33	0.34	0.46	0.37	0.36	0.37	0.45	
Environnement	Indicateurs de potentiel										
	Effet de serre	Ieffet de serre	0.08	0.09	0.03	0.17	0.11	0.11	0.04	0.14	
	Acidification	Iacidificatio n	0.26	0.26	0.17	0.37	0.31	0.29	0.21	0.35	
	Eutrophisation	Ieutrophisati on	0.26	0.27	0.17	0.37	0.32	0.30	0.20	0.35	
	Smog d'été	Ismog d'été	0.25	0.26	0.13	0.27	0.33	0.31	0.17	0.26	
	Indicateurs de volume critique										
	Ecotoxicité	Iécotoxicité A	0.22	0.19	0.15	0.34	0.27	0.23	0.19	0.32	
	Toxicité humaine	Itoxicité humaine	0.19	0.2	0.17	0.29	0.21	0.21	0.18	0.28	
	Odeurs	Iodeurs	0.03	0.04	0.01	0.08	0.05	0.05	0.013	0.064	
	Indicateurs de génération des déchets										
	Déchets inertes	Idéchets inertes	0.22	0.22	0.22	0.39	0.22	0.22	0.22	0.40	
Déchets radioactifs	Idéchets radioactifs	0.13	0.09	0.12	0.24	0.19	0.12	0.18	0.2		

Nous rappelons, que l'objectif de la comparaison dans ce cas est de connaître la meilleure sous-variante pour chaque variante de base à part ; traditionnelle et standard, chacune de ces dernières

constituera la référence pour quatre autres sous variantes (enveloppe BBC, scénarios BBC, climat BBC, surface et forme BBC).

II.5 COMPARAISON DES SOUS VARIANTES

II.5.1 Comparaison des sous variantes pour les indicateurs du thème « Ressources »

La comparaison des différentes alternatives pour les indicateurs du thème « Ressources » est présentée dans les figures suivantes (Fig. 239 et 240).

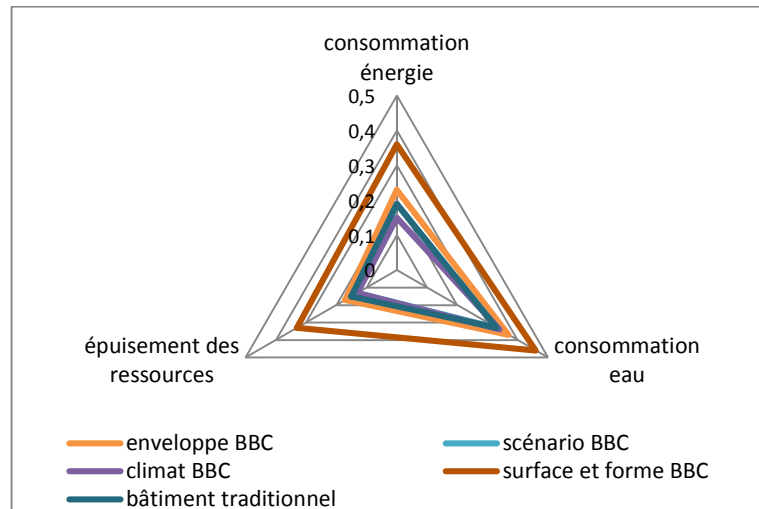


Fig. 239 : Comparaison des différentes sous-variantes du bâtiment traditionnel pour les indicateurs du thème « Ressources »

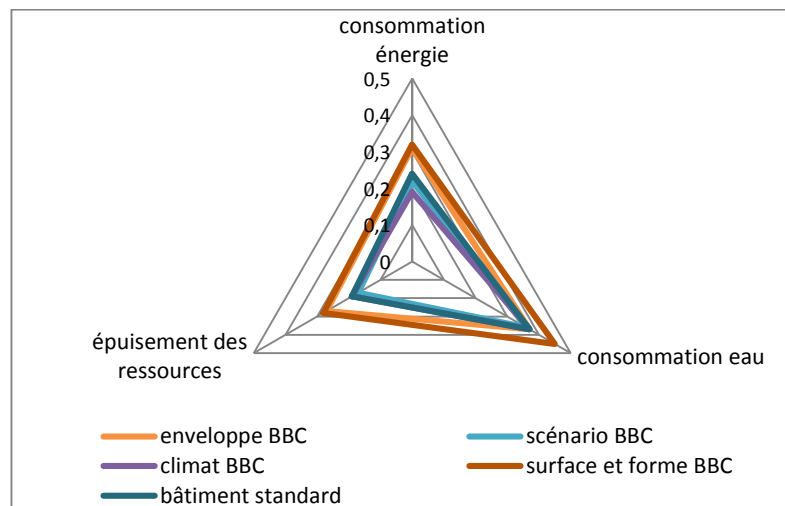


Fig. 240 : Comparaison des différentes sous-variantes du bâtiment standard pour les indicateurs du thème « Ressources »

II.5.1.1 Discussion

Nous constatons que la meilleure alternative qui se présente pour les deux variantes traditionnelle et standard est celle de « la surface et forme BBC », en effet, avec une surface réduite et une forme compacte, le bâtiment génère moins d'impact, ce résultat est encore meilleur pour le bâtiment traditionnel où nous constatons une grande différence entre cette sous-variante « surface et forme BBC » et les autres alternatives, en outre, la sous-variante « enveloppe BBC » semble être la variante la moins génératrice d'impacts.

II.5.2 Comparaison des sous variantes pour les indicateurs du thème « Environnement »

La comparaison des différentes alternatives pour les indicateurs du thème « Environnement » est présentée dans les figures (Fig. 241 et Fig. 242).

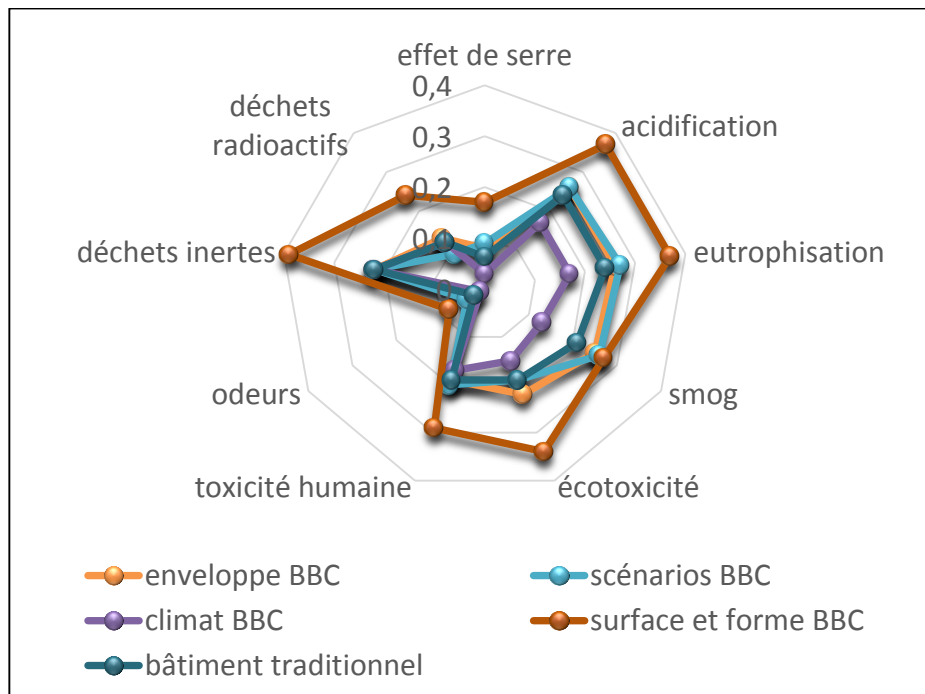


Fig. 241 : Comparaison des différentes sous -variantes du bâtiment traditionnel pour les indicateurs du thème « Environnement »

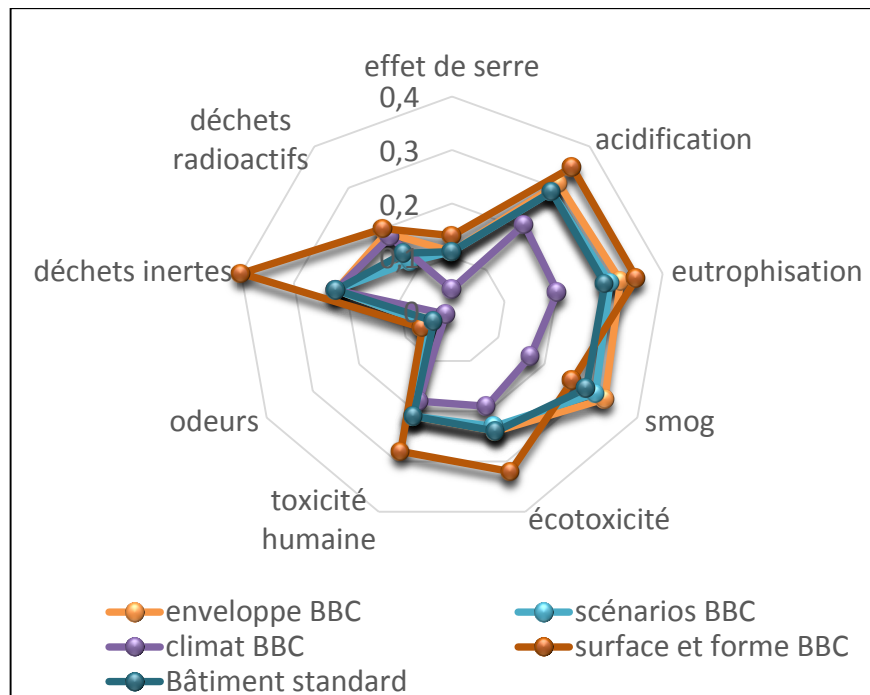


Fig. 242 : Comparaison des différentes sous -variantes du bâtiment standard pour les indicateurs du thème « Environnement »

II.5.2.1 Discussion

Pour ce thème, nous constatons une grande amélioration des indicateurs pour la sous-variante de « surface et forme BBC » comparé au bâtiment traditionnel de base, cela est due à la surface réduite et la compacité de sa forme qui font réduire la consommation d'énergie et ainsi réduire les émissions liées aux pluies acides ainsi que les autres émissions, en outre, la production des déchets inertes est liée à la phase de démolition, la différence s'explique par la forme compacte du bâtiment qui réduit le nombre de parois à construire et donc à démolir. La compacité de la forme justifie également l'amélioration de cet indicateur pour le bâtiment standard dans l'alternative de « surface et forme BBC ». les sous-variantes « enveloppe BBC » et « scénarios BBC » offrent également de très bons résultats pour l'acidification, l'eutrophisation et l'écotoxicité, cela est lié à l'occupation et la phase d'utilisation. La sous-variante « climat BBC », par ailleurs, offre les plus mauvais résultats, ce climat n'est donc pas compatible avec l'enveloppe et scénarios des deux bâtiments traditionnel et standard.

II.6 VALIDATION DES RESULTATS

La confrontation des résultats des mesures, enquête et simulation va apporter une consolidation à notre méthode, c'est dans ce sens que nous procédons à cette comparaison.

II.6.1 Validation des résultats des mesures thermiques par les températures simulées par COMFIE

II.6.1.1 Températures du bâtiment à enveloppe traditionnelle

La comparaison entre les températures mesurées et simulées est présentée dans les figures suivantes (Fig. 243 et Fig. 244) pour le bâtiment traditionnel, et (Fig.245 et Fig.246) pour le bâtiment standard, signalons que les journées retenues pour les simulations sont celles retenues pour les mesures.

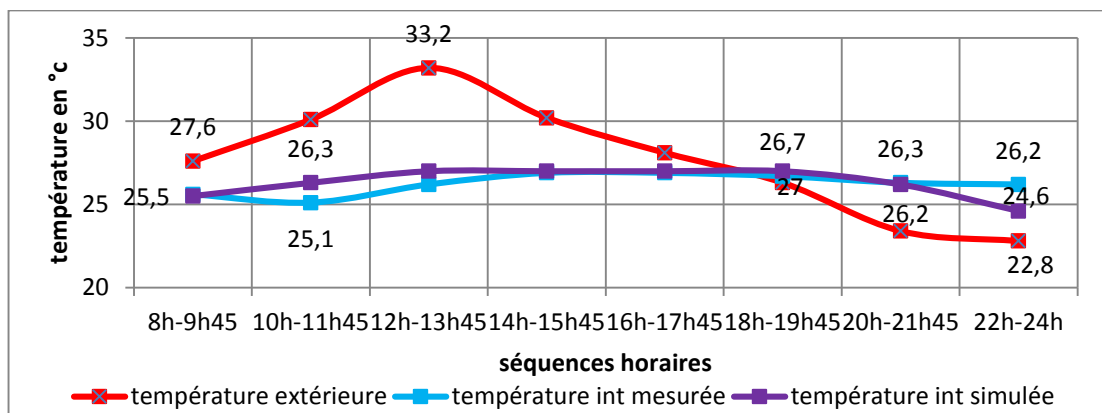


Fig. 243: Comparaison entre la température mesurée et la température simulée du bâtiment à enveloppe traditionnelle en saison estivale

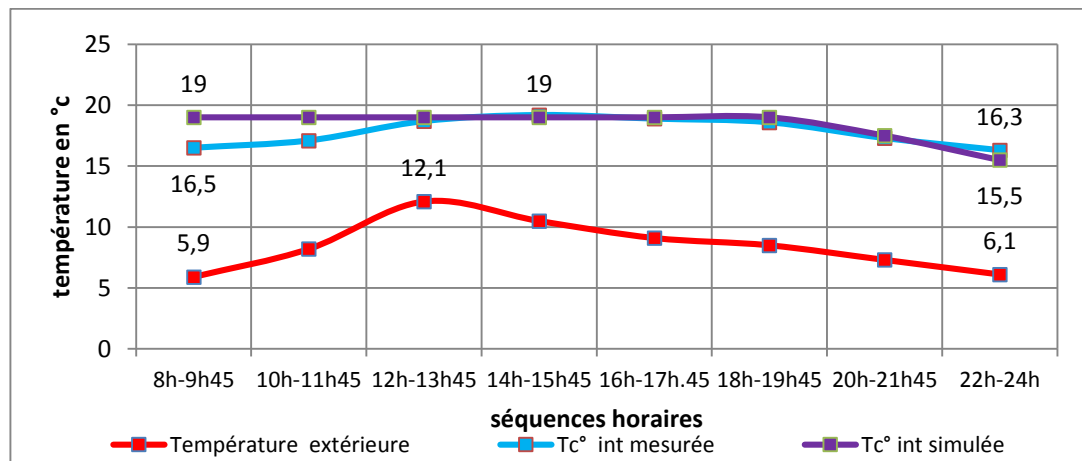


Fig. 244 : Comparaison entre la température mesurée et la température simulée du bâtiment à enveloppe traditionnelle en saison hivernale

II.6.1.2 Températures du bâtiment à enveloppe standard

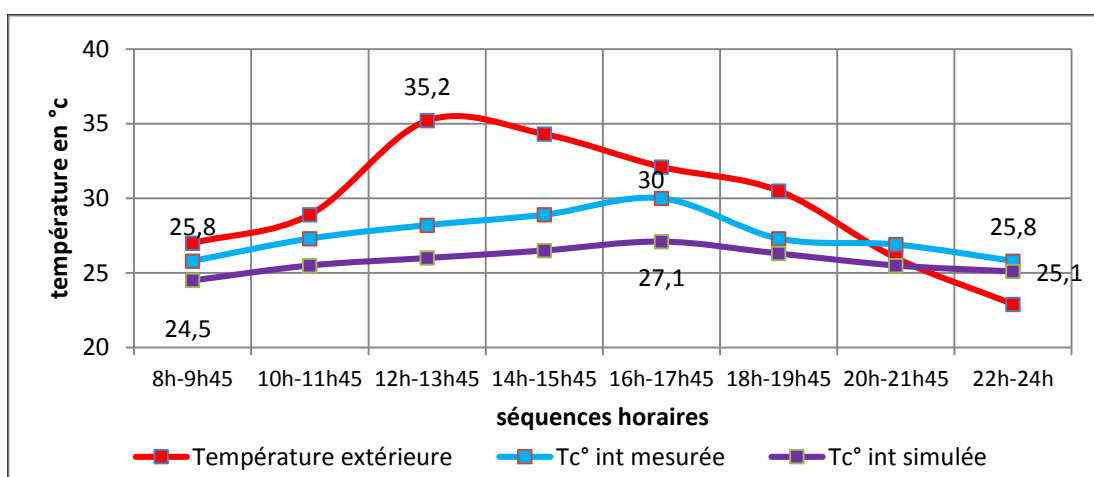


Fig. 245 : Comparaison entre la température mesurée et la température simulée du bâtiment à enveloppe standard en saison estivale

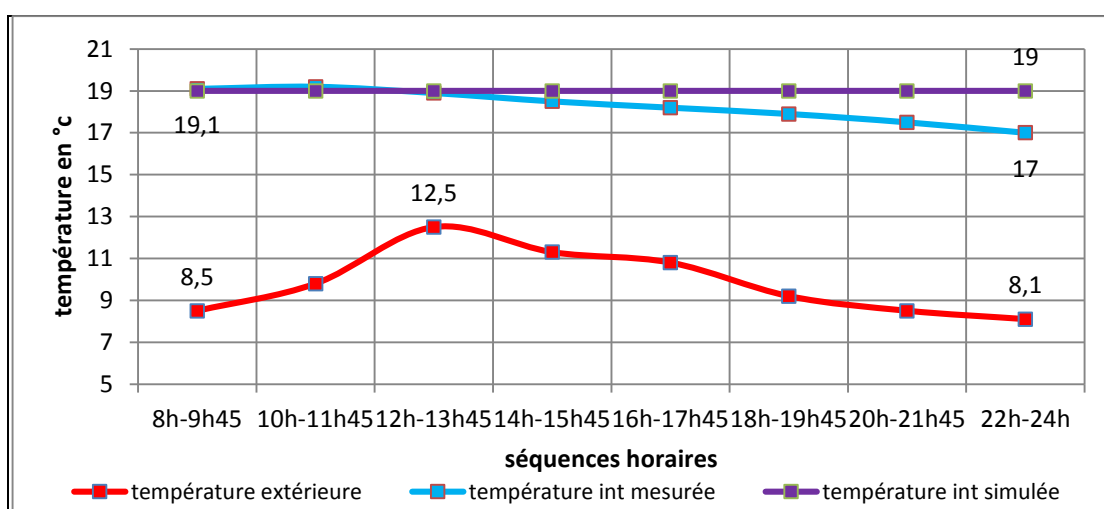


Fig. 246: Comparaison entre la température mesurée et la température simulée du bâtiment à enveloppe standard en saison hivernale

II.6.1.3 Discussion


La comparaison réalisée nous démontre une concordance entre les températures mesurées et simulées des deux bâtiments hôteliers pendant les deux saisons estivale et hivernale mais à des décalages différents ; les écarts maximums enregistrés sont de 1.6°C en été et de 2.5°C en hiver pour le bâtiment traditionnel, de 2.9°C en été et de 2°C en hiver pour le bâtiment standard. Nous remarquons que la différence n'atteint pas 3°C ce qui valide les résultats des mesures in situ.

II.6.2 Validation des résultats des différentes mesures par ceux de l'enquête de satisfaction

Afin de connaître le seuil de croisement entre les critères mesurés et l'appréciation des usagers de nos deux bâtiments hôteliers, nous allons réaliser une comparaison entre les résultats de notre

enquête et de nos mesures pour différents items, pour cela, nous allons transposer les résultats d'enquête sur le référentiel général (premier type) que nous avons élaboré précédemment allant de A à G, nous allons par ailleurs, réaliser un autre référentiel spécifique aux mesures des items relatifs aux différents types de confort, les valeurs moyennes mesurées seront ainsi transposées sur ce référentiel allant lui aussi de A à G et procéder par la suite à une comparaison objective.

les différents seuils de ce référentiel sont inspirés des valeurs servant de repères issues des différentes échelles liées aux items en question dans de différentes études bibliographiques tout en étant compatibles avec les espaces d'un bâtiment hôtelier mais aussi des spécificités climatologiques de nos cas d'étude. Ainsi nous avons essayé de faire correspondre les bornes inférieures et supérieures de notre référentiel à ceux extraits de la bibliographie internationale, les seuils correspondant à la classe A reflètent les valeurs idéales, les valeurs les plus mauvaises sont classées en G, entre ces deux classes, nous avons réparti les autres seuils en cinq autres classes, cette répartition diffère selon la nature de chaque item. Ce référentiel est illustré via la figure suivante (Fig. 247).



	Température (c°)		Niveau acoustique (db)	Éclairage naturel (lux)	Humidité (%)	Renouvellement de l'air (m/s)	
	Conditions estivales	Conditions hivernales				Conditions estivales	Conditions hivernales
A	24	22	15 à 22	300 à 200	30 à 40	1.1 à 0.9	0.1 à 0.13
B	24 à 26	22 à 20	22 à 25	200 à 100	40 à 45	0.9 à 0.5	0.13 à 0.20
C	26 à 28	20 à 19	25 à 30	100 à 70	45 à 50	0.5 à 0.40	0.20 à 0.25
D	28 à 30	19 à 18	30 à 40	70 à 65	50 à 60	0.40 à 0.25	0.30 à 0.40
E	30 à 32	18 à 16	40 à 50	65 à 60	60 à 65	0.25 à 0.15	0.40 à 0.55
F	32 à 34	16 à 14	50 à 60	60 à 50	65 à 75	0.15 à 0.1	0.55 à 0.65
G	<34	>14	<60	>50	<75	<0.1	>0.65

Fig. 247: Référentiel des mesures par type de confort

Signalons enfin que ce référentiel est tout à fait différent de l'échelle des notes proposées précédemment pour les différents paramètres de confort, le premier est plutôt discriminatif où la classe A est attribuée aux valeurs idéales, alors que le second est une sorte de fourchette intégrant les valeurs recommandées ainsi que des valeurs supérieures et inférieures à celles-ci ce qui fait intégrer systématiquement les valeurs mesurées.

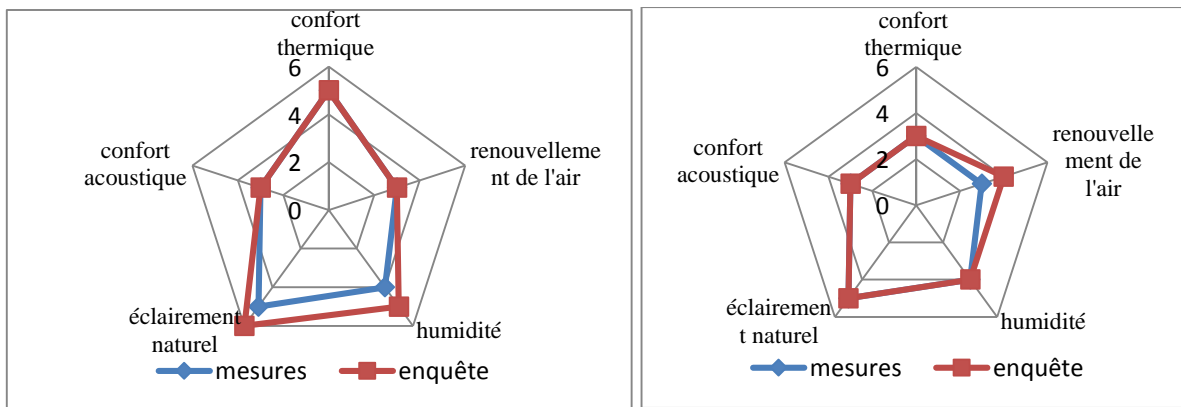
II.6.2.1 Bâtiment hôtelier à enveloppe traditionnelle (hôtel Es-Safir)

Les tableaux suivants (Tab.92 et Tab.93) récapitulent les résultats d'enquête et de mesures obtenus en attribuant une note à chaque item et une note globale pour le bâtiment.

Tab.92 : Synthèse comparative des résultats obtenus (hôtel Es-Safir)

Items		Mesures			Enquête				
		Valeur moyenne intérieure	Unité	Note mesure	Note globale	% de satisfaits	Note enquête	% de satisfaits moyen	Note globale
Confort thermique d'été		26	C°	C	D-	70	C	59	C
Confort thermique d'hiver		18	C°	E		45	E		
Renouvellement de l'air	Estival	0.21	m/s	E		45	E		
	Hivernal	0.51	m/s	E		55	D		
Humidité	Estivale	51	%	D		65	C		
	Hivernale	59.3	%	D		60	D		
Confort visuel naturel	Estival	84	Lux	C		85	B		
	Hivernal	71	Lux	C		65	C		
Confort acoustique	Estival	50	dB A	E		47	E		
	Hivernal	40	db A	E		53	E		

Les différentes notes attribuées aux items précédents, seront ensuite transposées sur une échelle allant de 1 à 7 afin de pouvoir interpréter les résultats via un graphique polaire (Fig. 248et Fig. 249)



(a)

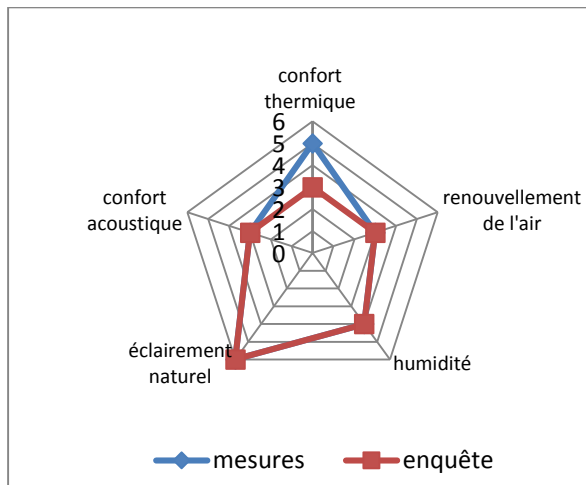
(b)

Fig. 248 : Comparaison des résultats d'enquête et de mesures de hôtel Es-Safir- bâtiment à enveloppe traditionnelle via un graphique polaire de synthèse en saison estivale (a) et en saison hivernale (b)

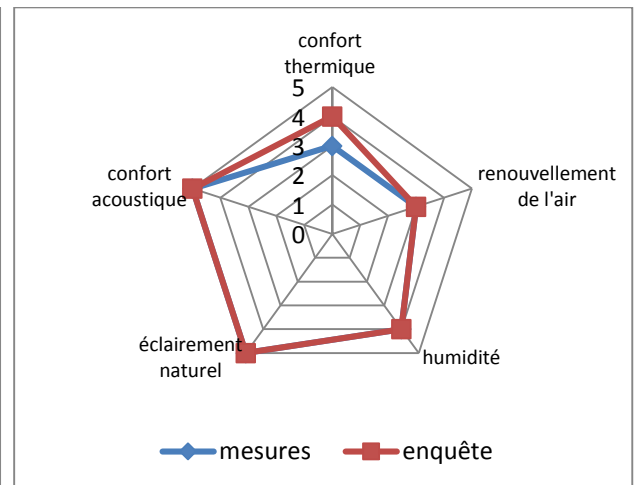
II.6.2.2 Bâtiment hôtelier à enveloppe standard (hôtel Les Roses)

Tab.93: Synthèse comparative des résultats obtenus (hôtel Les Roses)

Items		Mesures				Enquête			
		Valeur moyenne intérieure	Unité	Note mesure	Note globale	% de satisfaits	Note enquête	% de satisfaits moyen	Note globale
Confort thermique d'été		27.9	C°	C	D+	42	E	59.2	C
Confort thermique d'hiver		17.7	C°	E		55	D		
Renouvellement de l'air	Estival	0.18	m/s	E		30	E		
	Hivernal	0.41	m/s	E		50	E		
Humidité	Estivale	50.15	%	D		64	D		
	Hivernale	54.6	%	D		60	D		
Confort visuel naturel	Estival	131.75	Lux	B		87	B		
	Hivernal	71.75	Lux	C		66	C		
Confort acoustique	Estival	28.5	dB A	C		68	C		
	Hivernal	27.5	db A	C		70	C		



(a)



(b)

Fig.249: Comparaison des résultats d'enquête et de mesures hôtel Les Roses- bâtiment à enveloppe standard via un graphique polaire de synthèse en saison estivale (a) et en saison hivernale (b)

II.6.2.3 Discussion

En dépit de la même note attribuée aux deux bâtiments, nous constatons clairement une différence de la qualité de confort entre ces deux derniers, en outre, nous observons un parfait accord pour certains items, par ailleurs apparaissent quelques faibles incohérences pour certains d'autres.

Le bâtiment traditionnel (Es-Safir) est plus performant pour le confort thermique d'été que l'autre bâtiment à enveloppe standard, cela a été d'ailleurs corroboré par nos mesures et justifié par les qualités hygrothermiques de la pierre qui constitue l'enveloppe du bâtiment..

Par contre nous constatons une meilleure performance de l'hôtel « Les Roses » pour le confort visuel et acoustique grâce à une large optimisation de l'éclairage naturel et l'utilisation des éclairages artificiels assez performants, ainsi que l'utilisation d'éléments ou matériaux efficaces en isolation acoustique.

Cependant, en dépit de la faible différence entre les résultats des mesures et ceux de l'enquête, nous pouvons expliquer ces quelques incohérences par les raisons suivantes :

1. Les débits de ventilation sont difficilement perceptibles par les usagers, l'opinion de ces derniers est partagée selon l'orientation de leur chambres, entre le nord qui est exposé à la brise de mer et le sud qui n'en bénéficie pas, ce qui peut amener la personne interrogée à être moins objective et créer une différence avec les résultats des mesures en saison estivale. Par ailleurs, la différence des résultats de cet item en saison hivernale s'explique par le fait que la sensation de froid qui accompagne les vents du nord en hiver amène l'interrogé à exagérer sur son mécontentement par rapport à cet item étant donné qu'il l'associe systématiquement au confort thermique et à la baisse de température.
2. L'éclairement naturel dépend de l'orientation de l'espace ce qui explique les avis partagés sur cet item, ce qui influe sur la satisfaction générale, toutefois, la différence entre les mesures et l'enquête est très légère sur cet item.
3. L'humidité est peu perceptible par les usagers sauf s'il y a des conséquences visibles sur les murs ou des odeurs senties par ces derniers, ce qui a contribué à positiver largement les réponses des personnes interrogées; les qualités hygrométriques de la pierre arrivent à maintenir en outre un niveau stable de l'humidité, ce qui a été confirmée par nos mesures.
4. La satisfaction sur le confort thermique dépend amplement de l'ambiance chaude ou froide régnant le jour de l'enquête ce qui peut fausser la réponse de la personne interrogée qui peut être moins objective par rapport à l'ambiance réelle qui règne dans le bâtiment.
5. les usagers de cet hôtel sont exposés à des bruits aériens en permanence étant donné qu'il se situe en plein centre de la capitale et entouré de routes d'un trafic intense ; cette

ambiance sonore négative et stressante peut influencer l'opinion de la personne interrogée en exagérant dans sa réponse négative.

6. Dans l'hôtel Les Roses, Pour le confort thermique, l'origine de la différence des résultats dans ce même bâtiment s'explique par les mêmes raisons évoquées précédemment dans l'autre bâtiment, parallèlement à cela, les usagers assimilent généralement la sensation de chaleur à un manque de ventilation, mais cette sensation est subjective étant donné qu'elle est reliée entre autres au métabolisme et l'habillement de la personne interrogée ce qui pousse cette dernière à être moins objective et exagérer dans son insatisfaction vis-à-vis de cet item à fortiori en saison estivale.

Finalement, nous pouvons dire à partir des raisons qui sont à l'origine des faibles incohérences constatées, que les résultats d'enquête s'accordent avec ceux des mesures ce qui consolide la fiabilité de ces derniers.

II.6.3 Recommandations

Au terme de ce travail, nous proposons quelques recommandations en se référant au diagramme de Givoni dont la validité est universelle, ces dernières sont susceptibles d'améliorer le confort hygrothermique à l'intérieur des bâtiments sans grande consommations énergétique et de réduire leurs impacts sur l'environnement, elles concernent en outre les bâtiments conçus dans les régions subissant les effets des climats que nous avons abordé dans ce travail à savoir : climat méditerranéen littoral, climat méditerranéen intérieur et climat semi continental.

Nous avons choisi la moyenne mensuelle pour chaque climat, ainsi les recommandations sont afférentes à ces moyennes, mais, nous savons que les conditions peuvent changer d'un jour à un autre, ou d'une période à une autre (des jours successifs de chaleurs intense ou de froid excessif), pour cela il faut savoir adapter les solutions architecturales avec des systèmes passifs à ces conditions climatiques, en associant, le cas échéant, des moyens actifs de basse consommation. Les diagrammes de Givoni afférents aux climats en questions sont présentés dans les figures suivantes (Fig. 250, Fig. 251, Fig. 252).

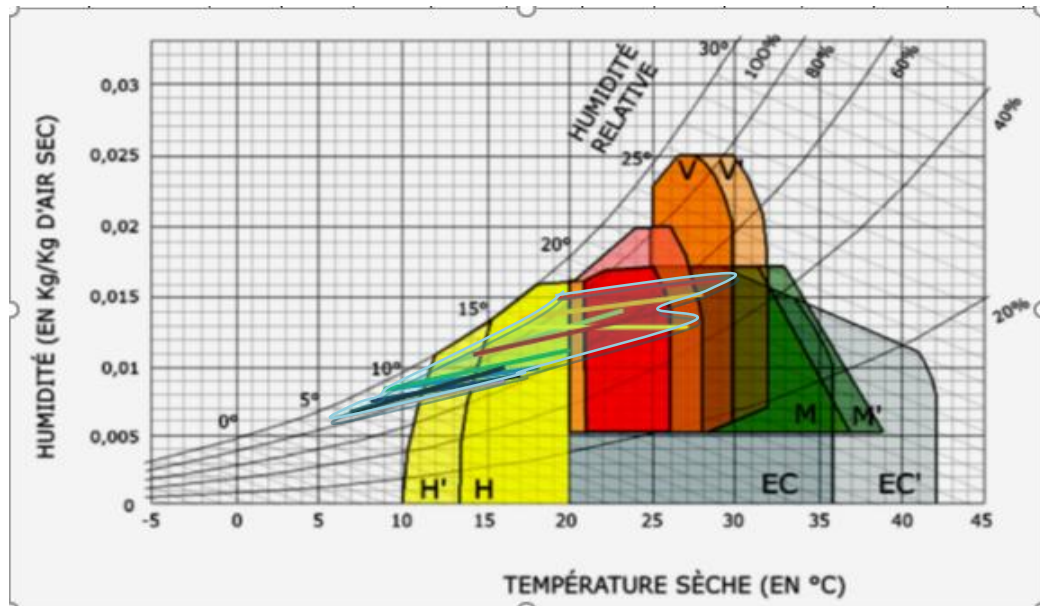


Fig. 250 : Diagramme de Givoni des bâtiments sous effet d'un climat méditerranéen littoral : Limites de la zone du confort thermique (rose), de la zone d'influence de la ventilation à 0,5m/s (VV' orangé) et de l'inertie thermique (MM' vert), de la zone d'influence du refroidissement évaporatif (EC et EC' gris), de la zone de non-chauffage par la conception solaire passive (H et H' jaune).

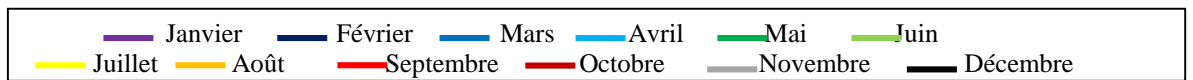
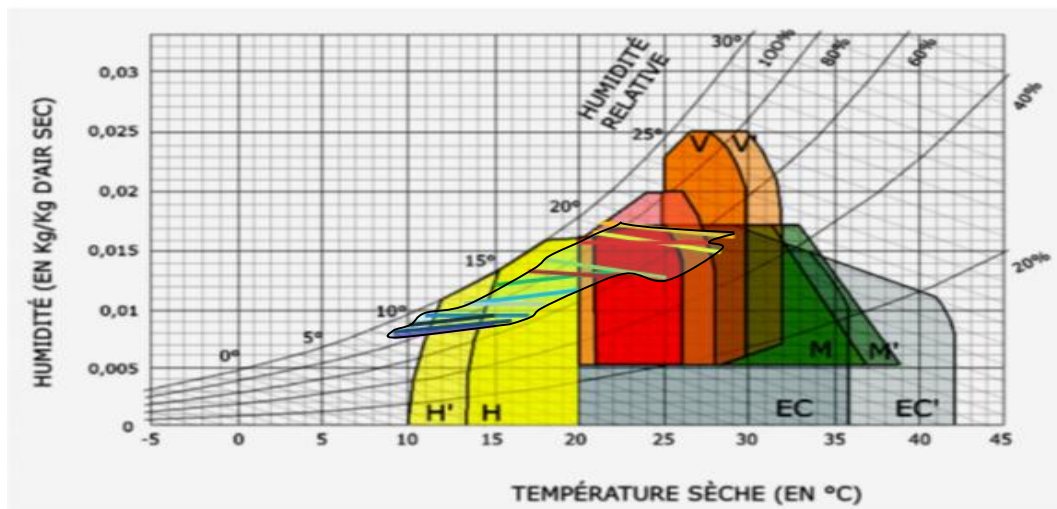


Fig. 251 : Diagramme de Givoni des bâtiments sous effet d'un climat méditerranéen intérieur : Limites de la zone du confort thermique (rose), de la zone d'influence de la ventilation à 0,5m/s (VV' orangé) et de l'inertie thermique (MM' vert), de la zone d'influence du refroidissement évaporatif (EC et EC' gris), de la zone de non-chauffage par la conception solaire passive (H et H' jaune).

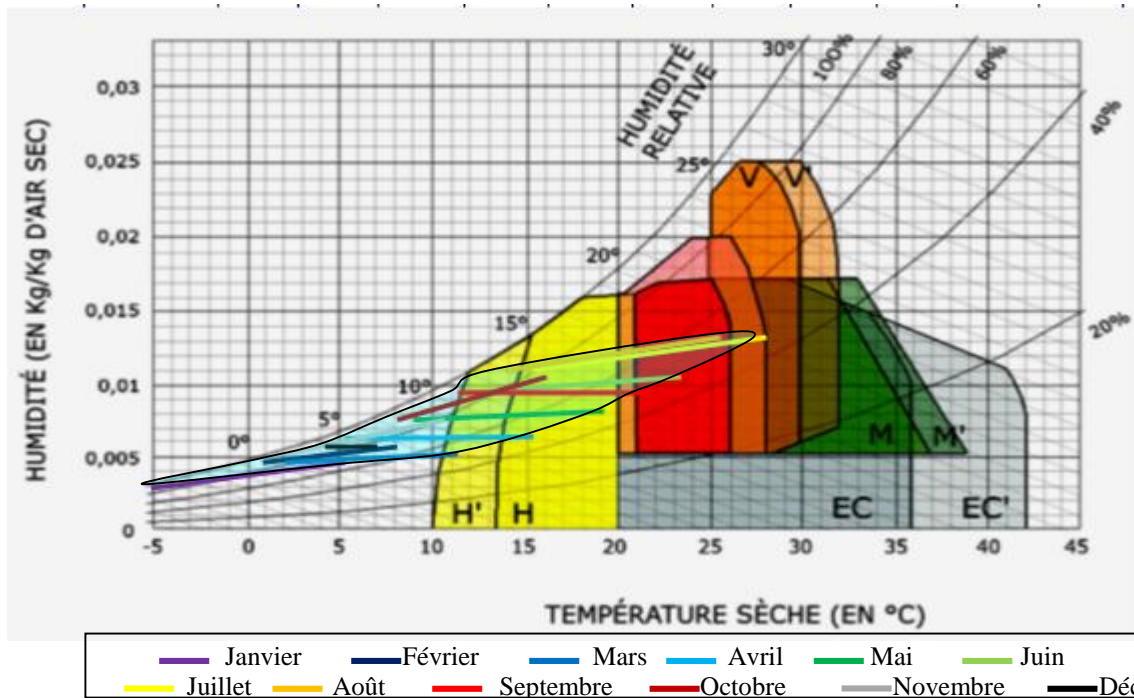


Fig. 252 : Diagramme de Givoni des bâtiments sous effet d'un climat semi continental : Limites de la zone du confort thermique (rose), de la zone d'influence de la ventilation à 0,5m/s (VV' orangé) et de l'inertie thermique (MM' vert), de la zone d'influence du refroidissement évaporatif (EC et EC' gris), de la zone de non-chauffage par la conception solaire passive (H et H' jaune).

Dans le cas du climat méditerranéen, littoral et intérieur, nous constatons que les profils sont presque similaires, cela s'explique par la faible différence de températures et les taux d'humidité entre ces deux climats, d'ailleurs, très souvent nous croisons les mêmes valeurs, néanmoins en se référant aux moyennes mensuelles, nous voyons sur les diagrammes de ces deux climats :

- Qu'il est nécessaire de chauffer en saison hivernale, de novembre à février mais qu'il est possible de diminuer amplement le recours au chauffage mécanique grâce à un captage solaire passif, une conception bioclimatique et une bonne inertie thermique surtout pour les régions intérieures (la majeure partie des segments des mois hivernaux du climat méditerranéen intérieur est en deçà des limites de la zone de non chauffage).
- Qu'il n'est pas nécessaire de chauffer en mi-saison (mars, avril et mai) avec une conception bioclimatique.
- Qu'il n'est pas nécessaire de climatiser en octobre et en juin avec une conception bioclimatique et une ventilation réduite.

- Qu'il n'est pas nécessaire de climatiser en saison estivale (juillet, août et septembre) avec une ventilation nocturne (un peu plus pour le climat méditerranéen intérieur), une inertie thermique associée à des protections solaires et des enduits clairs.
- Qu'il est possible de refroidir par évaporation en utilisant des systèmes passifs.

Dans le cas du climat semi-continental, le profil est tout à fait différent des premiers cas, le diagramme y afférent nous indique :

- Qu'il est indispensable de recourir au chauffage mécanique en saison hivernale (de novembre à février), et de même pour les mois de mars et avril mais dans une moindre mesure.
- Qu'il n'est pas nécessaire de chauffer en mois de mai avec une inertie thermique et un captage solaire.
- Qu'il est inutile de climatiser pendant les mois d'été, et que pour le mois d'août, il faut recourir à la ventilation nocturne avec une inertie thermique associée à des protections solaires.
- Qu'il est possible, pour le mois d'août, de recourir au refroidissement évaporatif passif.

Finalement nous pouvons dire, qu'avec les conditions climatiques d'Alger, Blida et Saint-Priest, il n'est pas du tout nécessaire de climatiser avec les solutions proposées dans le diagramme de Givoni.

CONCLUSION

Ce dernier chapitre nous a permis de démontrer la faisabilité de notre méthode et son application adéquate à l'évaluation des impacts environnementaux des bâtiments hôteliers. Le couplage des logiciels utilisés ALCYONE-COMFIE-EQUER, a permis un gain de temps important pour l'acquisition des données et la réalisation des calculs aboutissant à des résultats fiables, cette fiabilité a été corroborée par les mesures effectuées ainsi que par l'enquête de satisfaction.

Enfin, la confrontation de notre méthode à nos cas d'étude est très concluante, et nous a permis de savoir que le système établi d'indicateurs associés à nos thèmes est quantifiable permettant à l'évaluateur d'aboutir à une évaluation de bâtiment fine et exhaustive. La comparaison d'alternatives a abouti en outre à des résultats probants ce qui confirme la faisabilité de notre méthode et son application adéquate élargie à d'autres types de bâtiments.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

« Nous savons que l'homme blanc ne comprend pas nos façons d'agir. C'est un étranger qui vient la nuit et prend à la terre tout ce dont il a besoin. La terre n'est pas son amie mais son ennemie, et quand il a achevé sa conquête, il va plus loin. Il vole la terre à ses enfants. Son appétit dévorera la terre et ne laissera plus qu'un désert derrière lui. Si tous les animaux disparaissent, nous mourrons d'une grande solitude spirituelle car tout ce qui arrive aux animaux nous arrive à nous-même. Tout ce qui touche la terre touche les enfants de la terre ».

Seattle, Chef indien d'Amérique, 1855

CONCLUSION GENERALE

Nous avons élaboré, durant tout ce travail, une méthode d'évaluation des impacts environnementaux de bâtiments touristiques, type hôtelier, à partir d'un système de thèmes et d'indicateurs quantifiables et mesurables s'inscrivant dans un contexte à la fois durable et éco-conceptuel et cela à travers une ascension dans les réflexions sur différentes notions et contextes qui ont tissé la toile de fond de cette méthode. La continuité de ces réflexions a permis d'aboutir aux aspects suivants de cette dernière :

1. Notre méthode s'inscrit dans le cadre des méthodes d'aide à la décision ;
2. L'approche de notre méthode retenue est celle du critère unique de synthèse qui s'inscrit dans le cadre d'une analyse multicritère ;
3. La méthode d'agrégation retenue est la méthode AHP, en intégrant « l'*index de développement durable composite* » avec la formule $I_{CSD,t} = \sum_{jt} W_j I_{N,jt}$;
4. La méthode de normalisation retenue est la méthode axiologique ;
5. La visualisation d'alternatives retenues est celle du diagramme radar

Cette méthode s'est basée sur un système de thèmes compatible avec les visées de notre recherche et s'intègre dans une démarche environnementale et durable, il a été puisé de la bibliographie internationale tout en considérant les spécificités de notre problématique, en l'occurrence :

- Ressources : qui a traité l'épuisement et la consommation des ressources renouvelables et non renouvelables
- Environnement : il a concerné une panoplie d'indicateurs de types différents, de potentiel, de volume critique et de génération des déchets, les impacts correspondant à cet ensemble d'indicateurs affectent les différents compartiments de l'environnement ainsi que la santé humaine
- Confort : relève les préoccupations des usagers à travers la qualité du confort et de l'environnement intérieur.

Par ailleurs, l'application de notre méthode en grandeur nature, a concerné trois bâtiments de type hôteliers ayant différentes enveloppes, le premier à enveloppe traditionnelle est conçu en pierre avec structure porteuse, le second se caractérise par une enveloppe standard réalisé en brique avec structure poteau poutre, et le dernier à basse consommation est considéré comme un bâtiment de référence, il est réalisé en béton. La confrontation de notre méthode à ces trois bâtiments, nous a permis non seulement de valider la fiabilité de cette dernière, à travers la pertinence du choix du système d'indicateurs que nous avons retenu et qui s'inscrit logiquement et de manière cohérente

dans le contexte d'une évaluation environnementale, mais également de connaître l'influence des différents composants du bâtiment sur son comportement thermique, énergétique et environnemental et cela à travers plusieurs séries de simulations, et d'aboutir à une nouvelle variante générant le moins d'impact et que nous avons nommé BFI .

La comparaison des alternatives telle que nous l'avons effectuée a abouti à des résultats très concluants que nous pouvons résumer en ceci :

- Les différences techniques, constructives et climatologiques de nos trois bâtiments nous ont permis de connaître les aspects sur lesquels nous pouvons agir afin d'améliorer au mieux leurs bilan énergétique et environnemental, cela a été démontré grâce à différentes variantes que nous avons réalisées.
- Pour un bâtiment nouveau, sous climat méditerranéen ou semi-continentale, il faut penser à introduire les éco-techniques de basse consommation qui offre un bilan environnemental très satisfaisant :
 - 1. Bonne inertie thermique des matériaux
 - 2. Isolation générique des parois verticales et horizontales
 - 3. Réduction des ponts thermique par isolation extérieure
 - 4. Double ou triple vitrage peu émissif
- En outre, pour un bâtiment existant, sous climat méditerranéen, répondant aux techniques de construction standard actuelles ou traditionnelles, il est recommandé de recourir à des éco-techniques de fonctionnement de basse consommation énergétique tout en réduisant la consommation en eau froide, ECS, la production des déchets en les sélectant et les valorisant.
- Grâce aux propriétés hygrothermiques de la pierre, l'enveloppe traditionnelle est plus performante pour le confort hygrothermique à fortiori d'été que l'enveloppe standard, le confort d'hiver est, par contre, presque similaire entre les deux bâtiments, mais en dépit de cela, les deux enveloppes traditionnelle et standard devraient être couplées à un captage solaire ou à des systèmes actifs mais de basse consommation énergétique pour un meilleur confort intérieur. Une enveloppe bioclimatique en outre offre un meilleur confort sans une grande consommation énergétique.
- Or, du point de vue impacts, et en maintenant la surface, la forme et l'occupation propre à chaque bâtiment, il a été démontré que l'enveloppe traditionnelle est celle qui génère le plus d'impacts environnementaux (43.08%) suivie de celle du bâtiment standard (35.92%).

- Ces résultats sont corrélés à la différence de l'occupation et de la surface, en effet plus ces deux dernières sont grandes, est plus importants seront la consommation énergétique et la génération des impacts, cela a été validé par la comparaison des ACV en valeur d'impact et celle en valeur d'impact/m²/occupant.
- Mais, nous avons démontré, par ailleurs, qu'à surface et forme égale, le bâtiment à enveloppe traditionnelle génère moins d'impact que le bâtiment à enveloppe standard; une enveloppe traditionnelle est finalement plus efficace énergétiquement et environnementalement qu'une enveloppe standard, néanmoins, le recours à un captage solaire et un refroidissement évaporatif passif doivent être envisagés pour les deux bâtiments.
- La phase à plus grand impact est celle de l'utilisation (responsable de 95.98% à 98.22% de l'impact total), suivie de la construction (responsable de 1.11% à 2.68%, de l'impact total), la rénovation (0.54% à 0.82%) et enfin la démolition (0.13% à 0.26%) ;
- Une enveloppe de basse consommation est susceptible de réduire significativement les impacts environnementaux pour différentes enveloppes (jusqu'à 26.61% pour le bâtiment traditionnel et jusqu'à 27.93% pour le bâtiment standard).
- Une surface réduite couplée à une enveloppe compacte, traditionnelle ou une enveloppe standard mais bien isolée, réduirait davantage les impacts environnementaux, jusqu'à 71.44% pour le bâtiment traditionnel et jusqu'à 44.85% pour le bâtiment standard.
- Par ailleurs une enveloppe non adaptée aux spécificités climatiques augmenterait significativement les impacts en question.
- Les scénarios de fonctionnement influent considérablement sur les impacts environnementaux en dépit d'une enveloppe efficace énergétiquement, un choix pertinent basé sur une basse consommation conduirait à la fois à un meilleur bilan énergétique et environnemental dont la réduction des impacts peut aller jusqu'à 45.68% pour le bâtiment traditionnel, et jusqu'à 27.38% pour le bâtiment standard.
- L'amélioration du bilan thermique et énergétique du bâtiment en lui assurant une sobriété, efficacité et une gestion énergétique et non énergétique est susceptible de modifier son bilan environnemental en réduisant ses impacts environnementaux (6% à 65% pour le bâtiment traditionnel et 13% à 53% pour le bâtiment standard).

Signalons enfin la fluidité de notre méthode qui lui permet de s'adapter à différents modes et systèmes d'application, elle se caractérise également par une simplicité et une facilité d'utilisation, une compréhensibilité, une transparence et une grande lisibilité, même en ce qui concerne l'agrégation des critères ; l'évaluateur pourra intervenir au niveau de la pondération des

indicateurs, il pourra également améliorer la surface habitable en adéquation avec l'échelle d'intervention et le mode d'application de la méthode, il aura d'autre part la possibilité de rajouter d'autres aspects qui n'ont pas été étudiés dans notre travail de recherche, soit sous forme d'indicateurs ou de critères d'indicateurs sans oublier la possibilité de sa généralisation sur différents types de bâtiments.

La démarche que nous avons élaborée dans ce travail apporte ainsi un plus au domaine de l'ACV, elle constitue de ce fait une aide à la prise de la bonne décision quant au choix des techniques d'utilisation compatibles avec une enveloppe traditionnelle ou standard sous un climat donné caractérisant un bâtiment neuf ou existant, levant ainsi le voile sur différents aspects susceptibles d'influencer à la fois le bilan énergétique et environnemental de nos bâtiments.

« De l'évaluation environnementale à l'écoconception du bâtiment » c'est ce que nous a permis notre méthode de réaliser durant ce travail, Il est temps finalement de réagir énergiquement et de changer de paradigme car c'est à nous qu'il incombe de mettre fin à la déliquescence environnementale, notre comportement au sein des bâtiments qui nous hébergent doit subir une altération profonde susceptible de le rendre plus responsable et plus écologique, en minimisant notre consommation vis-à-vis des ressources qui s'amenuisent jour après jour, nos déchets que nous produisons quotidiennement et qui mettent en péril notre propre survie, car celle-ci ne se mesure pas par la capacité d'achat-en quelques monnaies que ce soit- mais par la qualité de l'air que nous respirons, de l'eau que nous buvons, que nous utilisons et dans laquelle nous nous baignons.

PERSPECTIVES

Finalement, de nombreuses perspectives apparaissent au terme de notre travail, d'autant plus que le contexte général de ce dernier est l'un des plus féconds, il continue à jouir d'un très grand intérêt parmi les chercheurs.

Notre première perspective de recherche est d'élargir l'échelle d'application de notre méthode afin d'atteindre les quartiers via des alternatives d'aménagement intervenant soit lors de la réalisation ou la réhabilitation d'un quartier, cela constitue encore un sujet à la fois vaste et novateur. Le passage à cette échelle devra d'autre part inclure un SIG afin de rendre la méthode plus pratique et faciliter la visualisation des résultats à l'évaluateur.

Notre seconde piste de recherche a pour objectif la généralisation de notre méthode de manière à ce qu'elle touchera d'autres thèmes et d'autres indicateurs, ainsi que d'améliorer le facteur temporel et de maximiser le nombre de références afin que les résultats soient encore plus probants et obtenir ainsi le maximum de données et de statistiques.

De ces thèmes, on pense, à titre d'exemple, à l'intégration de l'environnement extérieur lors d'élargissement de la méthode à l'échelle du quartier et l'insertion de ce dernier dans la ville.

Notre troisième perspective est de connaître les différentes sources responsables des différents impacts sur l'environnement en considérant les différentes phases de vie du bâtiment afin d'éviter le déplacement de la cause d'un impact à l'autre ou d'une phase à l'autre.

Nous pensons également à l'intégration de la modélisation des occupants, à l'analyse d'incertitude et à l'analyse de sensibilité grâce au nouveau module AMAPOLA qui a été associé récemment au logiciel PLEIADE

En outre, afin de faciliter les calculs, nous pensons à intégrer des valeurs moyennes reflétant différents types de bâtiments, ainsi que des valeurs de références pour chaque indicateur, l'évaluateur n'aura qu'à choisir la valeur qui convient au mieux à son projet et sa surface bâtie ou habitable selon le cas qu'il va étudier.

La seule difficulté que nous avons relevé dans l'application de notre méthode est le calcul manuel des indicateurs, pour remédier à ça, nous proposerons à l'avenir un outil informatique qui réalisera ces calculs fastidieux, ainsi l'évaluateur n'aura qu'à introduire les valeurs d'impacts calculées par EQUER et selon les formules que nous avons élaborées dans notre méthode, les indicateurs seront calculés via cet outil ce qui lui va permettre d'avoir un gain de temps très important.

Enfin, nous pouvons dire au terme de ce travail, que la méthode que nous avons élaborée consolidera davantage les outils d'aide à la décision lors de la réalisation d'un projet architectural, elle ne constitue à ce stade qu'un prélude d'un long parcours offrant plus de moyens et possibilités de comparer des alternatives pour un aménagement urbain, la réalisation ou la réhabilitation d'un quartier. Élargir l'échelle d'intervention demeurera ainsi notre grande perspective de recherche.

*« Tu crois pouvoir écraser cette chenille ?
Bien, c'est fait : ce n'est pas difficile.
Bien maintenant, refais la chenille... »*

(Lanza del Vasto)⁴⁶

⁴⁶ Cité par Théodore Monod, 2000, *Et si l'aventure humaine devait échouer*, Paris, Grasset, p 114.

BIBLIOGRAPHIE

Abdelghani-Idrissi, M.A ; Birot,J.J ; Seguin, D ; Miller, A et IP, K. ; 2004. Outils d'analyse environnementale des bâtiments, Durabuild, 24p

ADEME. L'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (France), site disponible sur : www.ademe.fr

ADEME ; 2005. Bilan carbone d'une activité industrielle ou tertiaire, version 3, 220 p

Al-Harbi, K. M. A.-S; 2001. Application of the AHP in project management. International Journal of Project Management, Janvier 2001, 19(1), p. 19-27.

Al Khalil, M-I; 2002. Selecting the appropriate project delivery method using AHP. International Journal of Project Management, août 2002, 20(6), p. 469-474.

Ambiente Italia; 2003. European Common Indicators: Towards a Local Sustainability Profile, Final Project Report Development, Refinement, Management and Evaluation of European Common Indicators Project (ECI), Ambiente Italia Research Institute, Milano, Italy May 2003, 212p

André, P., Delisle, C. E., Revéret, J.-P et Séné, A ; 2003. L'évaluation des impacts sur l'environnement. Processus, acteurs et pratique, Montréal, Presses internationales Polytechnique, 520 p., ISBN 2553011326.

APRUE : Agence nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie, site disponible sur l'adresse : <http://www.aprue.org.dz/indicateurs.html>

ARPE ; 2001. Guide pratique développement durable : le diagnostic des villes moyennes, 176 p.

Asdrubali F, Baldassarri C and Fthenakis V; 2013. Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings. Energy and Buildings 2013; 64:73–89.

Bana e Costa, C. A., De Corte, J.-M et Vansnick, J.-C ; 2003. MACBETH. Multiple Criteria Decision Analysis: The State of the Art Surveys. M. Ehrgott. 76, p. 409-442.

Belton, V et Gear, T ;1983. On a shortcoming of Saaty's method of analytical hierarchy. Omega, 1983, 11(3), p. 228-230.

Belton, V et Gear, T ;1985. The legitimacy of rank reversal - a comment. Omega, 1985, 13(3), p. 143-144.

Benayoun, R; De Montgolfier, J; Tergny, J et Larichev, O; 1971. Linear Programming with Multiple Objective Functions: STEP Method (STEM). Mathematical Programming, N°1, pp366-375, 1971.

Bencheikh H et Bouchair A; 2008. Experimental studies of a passive cooling roof in hot arid areas. *The Open Fuels & Energy Science Journal*. 2008; 1: 1-6.

Bertrand, F ; 2004. Planification et développement durable : vers de nouvelles pratiques d'aménagement régional ? L'exemple de deux régions françaises, Nord-Pas-de-Calais et Midi-Pyrénées, thèse de doctorat en aménagement de l'espace et l'urbanisme, Université François Rabelais – TOURS, 589 p

Bliefert, C et Perraud, R ; 2004. Chimie de l'environnement, De boeck, 1^{ère} édition, 477p

Boeglin, N et Veillet, D ; 2005. Introduction à l'Analyse de Cycle de Vie (ACV), note de synthèse externe : ADEME, Département Eco-Conception et Consommation Durable, mai 2005, 14p

- Boisgibault, L** ; 2015. Objectif COP21 : vers une transition énergétique concertée en Méditerranée ? IPMED, 8p, Article réalisé dans la perspective de la conférence / débat organisée par IPMED, le 2 décembre 2015, en marge de la COP 21 disponible en PDF sur l'adresse : http://www.ipemed.coop/adminIpemed/media/fich_article/1449842580_IPEMED%20-%20defis%20energetiques%20-%20LB.pdf
- Bouchair A.** 1987. Solar induced ventilation. Proc. Miami International Conference on Alternative Energy Sources; 14-16 December 1987: Miami Beach, Florida: Solar energy fundamental and applications). Hemisphere Publishing Corporation, New York, USA, 1989: 425-434
- Bouchair A;** 1989. Solar induced ventilation in the Algerian and similar climates. PhD thesis. University of Leeds. Leeds, UK. 1989
- Bouchair A;** 2014. Sustainability features of vernacular architecture in Southern Algeria. International conference on vernacular heritage, sustainability and earthen architecture. VerSus 2014; 11 -13th September, 2014. Valencia, Spain. Proceeding "Vernacular architecture: Towards a sustainable future" edited by C. Mileto *et al.* Universitat politecnica de Valencia, Valencia, CRC press, Taylor and Francis Group. 2015: 163-168.
- Bouchair A;** 2015. Vernacular Architecture: Hot Arid Climate Control. In: Encyclopedia of Energy Engineering and Technology, 2nd ed. Taylors & Francis Group, Boca Raton, USA. 2015. Vol. IV, 2342 pages.
- Boukherroub, T ; Guinet, A et Fondrevelle, J,** 2012 ; Méthode d'aide à la décision multicritères pour l'internalisation/externalisation « durable », Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et SIMulation - MOSIM'12 06 au 08 Juin 2012 - Bordeaux - France « Performance, interopérabilité et sécurité pour le développement durable »
- Boulanger, P.-M** ; 2004. Les indicateurs de développement durable : un défi scientifique, un enjeu démocratique. Les séminaires de l'Iddri, n°12, Paris, avril 2004, p. 24.
- Bourg, D** ; 2002. Des problèmes résolument contemporains, pp.181-185 in DUCROUX A.-M. (Dir.) (2002), Les nouveaux utopistes du développement durable, édition Autrement, coll. Mutations, Paris, 342 p.
- Bourg, D. et Ermine, J.-L** ; 2002. Les risques technologiques : un essai de typologie, revue Quaderni, ed. Sapienta
- Boutaud, A** ; 2005. Développement durable : penser le changement ou changer le pansement ? Bilan et analyse des outils d'évaluation des politiques publiques locales en matière de développement durable en France : de l'émergence d'un changement dans les modes de faire au défi d'un changement dans les modes de penser", Thèse de doctorat en science et génie de l'environnement, ST Etienne, l'école nationale supérieure des mines de ST- Etienne et l'université Jean Monnet, 2005, 512p
- Brans, J.P et Vincke, Ph;** 1985. A Preference Ranking Organization Method. Management Science, 31, 6. p647-656. 1985.
- Brodhag, C** ; 2004. Développement durable et énergie", Journées X-ENS-UPS Physique, Ecole Polytechnique, 14 mai 2004.
- Brun, A., Spitz, C., et Wurtz, E** ; 2009. Analyse du comportement de différents codes de calcul dans le cas de bâtiments à haute efficacité énergétique. IXeme colloque interuniversitaire Franco-québécois sur la thermique des systemes.

- Brunner, N et Starkl, M;** 2004. Decision aid systems for evaluating sustainability: a critical survey. Environmental Impact Assessment Review, mai 2004, 24(4), p. 441-469.
- Cadiegues, R ;** 2009. les calculs d'éclairage, Xpair, livret électronique sur l'éclairage , disponible sur l'adresse: http://conseils.xpair.com/auxidev/L12_RCalcLum.pdf
- Cardonnel, C ;** 2013. Confort ou inconfort au pluriel ? XPAIR, le portail expert de la performance énergétique, disponible sur l'adresse : http://conseils.xpair.com/lettres_expert/christian-cardonnel/confort-ou-conforts-au-pluriel.htm, page consultée le 15/11/2014
- Carlens, J. Thiry, J. et Tyteca, D.,** 2001. Les indicateurs de performance environnementale. Dossier spécial dans le Rapport Environnemental 2000 de CBR Ciment Belgique, pp. 46-57, édité en français, anglais et néerlandais.
- Céron, J.P et Dubois, G,** 2000. Les indicateurs du tourisme durable ; un outil à manier avec discernement, CAHIER ESPACE 67 « l'environnement, un enjeu planétaire », Novembre 2000, 17p
- Cerutti, O et Gattino, B ;** 1992. Indicateurs et tableaux de bord, Paris: AFNOR Gestion, 1992, 245 p
- CGED,** cahier technique sur l'éclairage, disponible sur l'adresse: <http://formatis.pro/shem/eclairage.pdf>, page consultée le 14/06/2014
- Charlot-Valdieu, C ; Outrequin, P ;** 2002. State of the art review of indicators and systems of indicators, Décembre 2002, 36 p.
- Charlot-Valdieu. C ;** 2004. Présentation de la démarche HQE2R et de ses principaux outils, Conférence européenne « Aménagement et Renouvellement Urbain Durable » ? Cannes, février 2004.
- Cherqui, F ;** 2005. Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier : méthode ADEQUA", Thèse de doctorat en génie civil, La Rochelle, Université de La Rochelle, 2005, 202p.
- Chien, V-M ;**2007. "Tourisme, Croissance et Intégration dans l'Economie mondiale : les apports du concept de Développement durable", Thèse de doctorat, LEAD, Université de Toulon, 6 décembre 2007, 322p
- Colson. G; De Bruyn. C ;** 1989. Models and Methods in Multiple Objectives Decision Making. Models and Methods in Multiple Criteria Decision Making. Pergamon Press, Oxford, 1989. (Cité en annexe 1).
- Commission Européenne,** 2000. European Common Indicators : Towards a Local Sustainability Profile, Rapport technique, 12p
- Da Cunha, A ; Knoepfet.P ; Leresche,JP et Nahrath,S ;** 2005. Enjeux du développement urbain durable/ transformations urbaines, gestion des ressources et gouvernances, PPUR (presse polytechnique et universitaires Romandes) ISBN-13 : 978-2880746520, 471p
- Denker, A ; El-Hassar,S.M.K et Baradiy, S ;** 2015. Guide pour une construction éco-énergétique en Algérie, Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de la Ville, Edition GIZ, 284p
- Dufresnes, E et Achard, G ;** 2004. Note d'étape ADEQUA N°1 : Constitution d'un jeu d'indicateurs d'aménagement durable, décembre 2004, 55 p.

- Dufresnes, E et Achard, G** ; 2006. Projet ADEQUA : Aménagement Durable des Quartiers RAPPORT FINAL Septembre 2006, 134p
- Dodgson, J; Spackman, M; Pearman, A; Phillips, L** ; 2005. Multi-criteria analysis manual http://www.odpm.gov.uk/stellent/groups/odpm_researchandstats/documents/page/odpm_research_608524.hcsp, National Economic Research Associates. 2005.
- Dyer, J; Wendel, R**; 1985. A critique of the analytical hierarchy process, 1985.
- Dyer, J**; 1990. Remarks on the analytical hierarchy process. Management Science, 1990, 3, p. 249-258.
- Dubois, G et Ceron, JP** ; 2003. Construire et communiquer les indicateurs de développement durable : comment traduire la transversalité ? Retour sur quelques expériences dans le domaine du tourisme ; journée de la SFE « évaluation et développement durable », Limoges, 27-29octobre2003, 19p
- Edwards, W**; 1971. Social utilities. Engineering Economist, Summer Symposium Series 6, pp.119-129. 1971.
- Energie+**. Aide à la décision en efficacité énergétique des bâtiments du secteur tertiaire, outil développé par la cellule de recherche Architecture et climat, Université catholique de Louvain, disponible sur l'adresse : <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=1>
- Energie+**, 2006. Conception et rénovation énergétique des bâtiments tertiaires (version 5). Ministère de la Région wallonne, Division de l'énergie.
- Enertech** ; 2003 : Consommations d'électricité par usage dans un hôtel 3* parisien, Ingénierie énergétique, 92p, disponible sur le site www.enertech.fr
- Fanger, P-O**; 1982. Thermal comfort, Florida, USA, R.E. Krieger.
- Ferreol, G ; Deubel, P** ; 1993. Méthodologie des sciences sociales, Armand Collin, collection Cursus 190 p (p148).
- Ferron, P** ; 1993. Passer d'une production agricole somptuaire à une agriculture viable, pp.57-78 in Plein feux sur une ruralité viable, éd. Ecosociété, Montréal
- Foliente, G; Seo, S; Tucker, S**; 2004. A guide to Environmental Design and Assessment tools', BDP Environment Design Guide, February 2004, Gen 57, pages 1-9, The Royal Australian Institute of architects
- Frischknecht et al** ; 1995. Ökoinventare für Energie systeme, Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule, 1817 p.
- Gaaloul, S, Delinchant, B, Wurtz, F, Thiers, S et Peuportier, B** ; 2011 Couplage d'un modèle thermique issu de COMFIE avec un chauffage régulé électriquement pour une simulation temporelle hybride a pas variable. IBPSA, Moret-sur-Loing, France
- Gaaloul, S , Binh LEE, XH , DELINCHANT1, B , WURTZ1, F , Ploix,S** ; 2012, Architecture à composants de co-simulation appliquée au couplage de la thermique du bâtiment au comportement de l'usager, XXXe Rencontres AUGC-IBPSA Chambéry, Savoie, 6 au 8 juin 2012
- Gauthier,D ; Mazéas,H et Lecouls,H** ;2005. Historique, méthodologie et usage des ACV (chap 1) – Les Analyses de Cycle de Vie, Académie des Technologies, 88p
- Geoffrion, A; Dyer, J; Feinberg, A**; 1972. An Interactive Approach for Multi-Criterion Optimization, with an Application to the Operation of an Academic Department. Management Science, Vol 9, N° 4, pp. 357-368, 1972

Ghiglione, R et Matalon, B ; 1998. Les enquêtes sociologiques, théories et pratiques, A.Collin, 301p.

Google earth : site fournissant des images satellitaire de toutes les régions du monde, disponible sur l'adresse : <https://www.google.fr/earth>

Guiavarch, A ;2003. Étude de l'amélioration de la qualité environnementale du bâtiment par intégration de composants solaires », thèse de doctorat, Université de Cergy Pontoise, 313 p.

Guitouni, A ;1998. L'Ingénierie du Choix d'une Procédure d'Agrégation Multicritère. Thèse de Doctorat, Université Laval, 1998

Guitouni, A ; Martel, J-M et Vincke, Ph ; 1999.Un Cadre de Référence pour le Choix d'une Procédure d'Agrégation Multicritère. Document de travail, FSA-1999-013, Université Laval, Québec, Canada. 1999.

Hajkowicz, S et Prato, T ; 1998. Multiple Objective Decision Analysis of Farming Systems in Goodwater Creek Watershed, Missouri, Research Report No. 24. Columbia, University of Missouri-Columbia, juin 1998, 21 p.

Hammami, A ; 2003. Modélisation technico-économique d'une chaine logistique dans une entreprise réseau », thèse de doctorat de l'école nationale supérieure des mines de Saint-Etienne (université jean Monnet, Saint-Etienne, France) et de philosophiae doctor (ph.d.) de la faculté des sciences et de génie (université Laval, Québec, canada), 395p

Harker, P et Vargas, L; 1987. The theory of ratio scale estimation: Saaty's analytic hierarchy process. Management Science, 1987, 33(1), p. 1383-1403

Harris, D.J., 1999, A quantitative approach to the assessment of the environmental impacts of building materials, Building and Environment, 34, p 751-758.

Heijungs. R et al, 1992 ; Environmental Life Cycle Assesment of Products, Guide, October 1992, 97p

Hoxha.E ; 2015. Amélioration de la fiabilité des évaluations environnementales des bâtiments, Thèse de Doctorat, spécialité : sciences et techniques de l'environnement, école doctorale : Sciences, Ingénierie et Environnement. Université Paris Est, 300p

Hu S-C, Shiue A, Chuang H.C and Xu T; 2013. Life cycle assessment of high-technology buildings: Energy consumption and associated environmental impacts of wafer fabrication plants. Energy and Buildings 2013; 56: 126–133

Hwang, C. R et Yoon, K; 1981. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, NY, 1981.

IFEN, 2001 Institut Français de l'Environnement. Définition disponible sur l'adresse suivante : <http://www.ifen.fr/perf/perf2000/indicateur.htm>.

ISO 96 :Environmental management - environmental performance evaluation - guidelines, committee draft ISO/CD 14031, décembre 1996, 33 p

IZUBA : site web sur l'optimisation énergétique des bâtiments, disponible sur l'adresse : www.IZUBA.fr

Jacobs, P et Sadler,B ; 1990. Développement durable et évaluation environnementale : perspectives de planification d'un avenir commun. Conseil canadien de la recherche sur l'évaluation environnementale, Hull, 204p

- Jacquet-Lagreze, E et Siskos, J;** 1982. Assessing a Set of Additive Utility Functions for Multicriteria decision Making, the UTA Method ». *European Journal of Operational Research*, Vol10, N°2, p151-164. 1982.
- Jacquet-Lagreze, E; Meziani, R et Slowinski, R;** 1987. MOLP with an Interactive Assessment of a Piecewise Utility Function. *European Journal of Operational Research*, Vol 31, N°3, pp. 350-357, 1987.
- Jaggi, B et Freedman, M;** 1992. An examination of the impact of pollution performance on economic and market performance: pulp and paper firms. *Journal of Business Finance and Accounting* 19: 697-713.
- Janssen, R;** 1992. Multiple objective decision support for environmental management, London, England, Kluwer Academic, 232 p.
- JO,** 2003 : journal officiel de la république française du 25 avril 2003
- Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., et al ;** 2003. IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. *The Intl. Journal of Life Cycle Assessment*, 2003, Vol. 8, no 6, pp. 324 – 330.
- Jolliet, O., Saade, M., Crettaz, P et Shaked, S ;** 2010. Analyse du cycle de vie – comprendre et réaliser un éco-bilan, 2ème édition mise à jour et augmentée. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2010.
- Kane, M;** 1999. Sustainability Concepts: From Theory to Practice. *Sustainability in Question. The Search for a Conceptual Framework*, Köhn, J et al. (eds.). Edward Elgar : Cheltenham : 15-31
- Kellenberger;** 2007 comparison of European LCA –based buildings assessment and design tools, SB07 New Zealand Paper number: 029, conference Auckland, 14-16 November 2007, New Zealand. [on line]. URL: http://www.branz.co.nz/cms_show_download.php?id=25c8b3c21b18efa7143124ea9ca1d41b075c2416 (consulté le 20 September 2015).
- Keeney, R et Raifa, H;** 1976. *Decision with Multiobjectives, Preferences and Value Trade-Offs*. Wiley, New York, 1976.
- Khalfan, M. A;** 2002. Sustainable Development and Sustainable Construction - A literature review for CSanD., Loughborough University, 24 janvier 2002, 45 p.
- Korhonen, P et Laakos J;** 1986. A Visual Interactive Method for Solving the Multicriteria Problem. *European Journal of Operational Research*, Vol 24, N° 2, pp. 277-287, 1986.
- Krajnc, D et Glavic, P;** 2004. How to compare companies on relevant dimensions of sustainability, article in press, *Ecological Economics* xx (2004) xxx–xxx, 13p
- Krajnc D et Glavic P;** 2005. A model for integrated assessment of sustainable development. *Resources, Conservation and Recycling*, Janvier 2005, 43(2), p. 189-208
- Krüger. E et Givoni. B.;** 2004. Predicting thermal performance in occupied dwellings, *Energy and Buildings*. Vol. 36 (3). pp. 301–307.
- Kua H W and Wong C-L;** 2012. Analysing the life cycle greenhouse gas emission and energy consumption of a multi-storied commercial building in Singapore from an extended system boundary perspective. *Energy and Buildings* 2012; 51: 6–14.

- Labouze, E, et Labouze, R** 1995 La comptabilité de l'environnement , Paris : Revue française de comptabilité, novembre 1995, n°272, 92 p
- Lebert A, Chevalier. J, Escoffier. F, Lasvaux. S, Berthier. E, Nibel. S et Hans. J;** 2011. Evaluation de la performance environnementale des bâtiments. Définition d'ordres de grandeur. Traitement statistique. Rapport final, Université Paris-Est, Centre scientifique et Technique du Bâtiment, Département Energie, Santé, Environnement, Décembre, 2011, 166p
- Leopold, L. B; Clarke, F. E; Hanshaw, B. B et Basley, J. R;** 1971. A procedure for evaluating environmental impacts, Geological Survey Circular 645. Washington, D.C, United States Geological Survey, 1971.
- Liébard, A et De herde, A (a);** 2006. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique, observ'ER, Paris, pp 390 (182b).
- Liébard, A et De herde, A (b) ;** 2006. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique, observ'ER, Paris, pp 208 (91b).
- Loiseau, E ;** 2010. Les méthodes d'évaluation des impacts environnementaux liés aux usages de l'eau. Agro ParisTech - ENGREF, 2010.
- LUX,** 2004 : revue de l'éclairage, n° 228, mai, juin 2004, 50p
- Magdelaine, C ;** 2005 : L'acidification des océans menace les organismes marins article disponible sur le site www.notreplanet.info
- Mandallena, C ;** 2006. Elaboration et application d'une méthode d'évaluation et d'amélioration de la qualité environnementale de bâtiments tertiaires en exploitation, doctorat en mécanique, l'université bordeaux 1, France, 264p
- Matasci, C; Seyler, C; Althaus, H.J et Kytzia, S;** 2006. Analyse du cycle de vie de 20 bâtiments : Analyse des différentes phases de vie et mise en évidence des causes principales de leur impact sur l'environnement. Schweizerisches. Status seminar. Energie und Umweltforschung im Bauwesen. ETH. Zurich. 8p.
- Medjelekh, D et Medjelekh, S ;** 2009. L'inertie thermique du matériau et le confort hygrothermique du bâtiment SBEIDCO – 1st International Conférence on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) - October 12-14, 2009
- MEM,** 2007, Ministère de l'Energie et des Mines. Consommation énergétique finale de l'Algérie, chiffres clés Année 2005, Edition 2007, 12p
- Mendoza, G. A et Prabhu, R;** 2003. Qualitative multi-criteria approaches to assessing indicators of sustainable forest resource management. Forest Ecology and Management, 17 février 2003, 174(1-3), p. 329-343. Methods and Tools, REGIONET, Université de Manchester, 11-13 juin 2003, 7 p. (www.iccr-international.org/regionet)
- Meunier ;** 2005. Domestiquer l'effet de serre ; énergie et développement durable, Dunod, Paris, 171p
- Minh, H ;** 1998. Comment tenir compte de l'irréversibilité dans l'évaluation intégrée du changement climatique ? thèse de doctorat, EHESS - école des hautes études en sciences sociales, 258p
- Moffett, A; Garson, J et Sarkar, S;** 2005. MultCSync: a software package for incorporating multiple criteria in conservation planning. Environmental Modelling & Software, octobre 2005, 20(10), p. 1315-1322

- Molines, N** ; 2003. Méthodes et outils pour la planification des grandes infrastructures linéaires et leur évaluation environnementale. Thèse. Faculté de Sciences Humaines et Sociales, Département de Géographie, Université Jean Monnet, Saint-Etienne, 449 p.
- Morand, S** ; 2006. Biodiversité et changement global, une dynamique adaptative d'interactions, actes de colloque : réponse adaptatives au changement global : résultats et perspectives, IFB, GICC , , Paris, colloque de restitution 18-20 septembre 2006, 227p
- Myrsini, G et Zissis S.**, 2006, Development of a database system for the calculation of indicators of environmental pressure caused by transport, *Science of the Total Environment* 357 (2006), p 247– 270
- Nibel, S et Rialhe, A** ; 1999. Quatre outils français d'analyse de la qualité environnementale des bâtiments : mise en oeuvre et comparaison, ed.PUCA, 111 p.
- OCDE** ; 1993. Corps central d'indicateurs de l'OCDE pour les examens des performances environnementales, Rapport de synthèse du Groupe sur l'Etat de l'Environnement, organisation de coopération et de développement économiques, Paris, 41p
- OCDE**, 1997 ; Uncertainty and Energy Policy Choices to Meet UN- FCCC Objectives, TOCDEhird IEA Modelling Seminar, October 17-18 1997
- OCDE**, 1998, Vers un développement durable – Indicateurs d'environnement, Editions de l'OCDE, 130p
- Olsthoorn, X; Tyteca, D; Wagner, M et Wehrmeyer, W**; 2001. Environmental indicators for business: A review of the literature and standardisation methods. *Journal of Cleaner Production* 9: 453-463.
- Papadopoulo, M** ; 2009. Analyse du Cycle de Vie des bâtiments, colloque bâtiments & énergie, Pau, le 19 février 2009, GDF SUEZ, France, 38p
- Paulsen J S and Sposto R-M. A**; 2013. Life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program "MY HOUSE MY LIFE". *Energy and Buildings* 2013; 57: 95–102.
- Payraudeau, S et van der Werf H. M. G**; 2005. Environmental impact assessment for a farming region: a review of methods. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2 mai 2005, 107(1), p. 1-19.
- Perez, J** ; 1995. Some comments on Saaty's AHP. *Management Science*, 1995, 41(6), p. 1091-1105.
- Perez, N, Mailhac A, Inard Cet Riederer P** : Outil d'aide à la décision multicritère pour la conception de systèmes énergétiques à l'échelle du quartier, Conférence IBPSA France – Marne-la-Vallée –8p
- Personne, M** ; 1998. Contribution à la méthodologie d'intégration de l'environnement dans les PME-PMI : évaluation des performances environnementales, thèse de doctorat en sciences appliquées, INSA, Lyon, 294p
- Peuportier, B** ; 2000. La simulation et les nouvelles attentes liées au concept de développement durable", 2ème Conférence IBPSA France, Octobre 2000, Sophia Antipolis
- Peuportier, B** ; 2003. Ecoconception des bâtiments, bâtir en préservant l'environnement, les presses de l'école des mines, Paris, 276p.
- Peuportier B. et Polster B.** 2004. Logiciel EQUER, Simulation du cycle de vie des bâtiments – Manuel d'utilisation. Paris, Ecole des Mines de Paris, Centre d'Energétique, 46 p

- Peuportier, B** ; 2005. Banc d'essais de logiciels de simulation thermique, Journée thématique SFT-IBPSA. La Rochelle.
- Peuportier, B et Pannier, M-L** ; 2015. Fiabilité et analyse d'incertitudes en simulation énergétique et en ACV des bâtiments, Université de la Chaire d'Ecoconception des ensembles bâtis et des infrastructures.
- Pictet, J** ; 1996. Dépasser l'évaluation environnementale, procédure d'étude et insertion dans la décision globale, Presses polytechniques et universitaires romandes, 187 p., ISBN 2-88074-324-9.
- PNUD** ; 2007. Rapport mondial sur le développement humain 2007/2008 ; La lutte contre le changement climatique : un impératif de solidarité humaine dans un monde divisé, USA, 391p
- PNUE** ; 2007. Les émissions imputables au tourisme mondial : bilan et tendances, résumé du rapport « Changement climatique et tourisme : Faire face aux défis mondiaux, » 31p
- Popovici, E. C** ; 2006. Contribution à l'analyse du cycle de vie des quartiers. Thèse de doctorat. Ecole des Mines de Paris. 253 p.
- Radanne, P ; Moulin, L et Banneyx, D** ; 1994. Aménagement du territoire, mode d'habitat, mobilité quotidienne et environnement, INESTENE, 1994
- Rainfroy, C** ; 2015. COP 21 : l'Algérie dévoile ses promesses pour le climat, JEUNE AFRIQUE, magazine sur l'actualité de tous les pays d'Afrique, article disponible sur l'adresse : <http://www.jeuneafrique.com/262910/societe/cop-21-lalgerie-devoile-promesses-climat/>, page consultée le 17/12/2016
- Rechatin, C** ; 1997. Les indicateurs comme outils de communication sur l'environnement, IFEN, 1997, 30p
- Recht et al** ; 2014. Analyse de la fiabilité de COMFIE par comparaison à des mesures. Application à un bâtiment passif. Conférence IBPSA France-Arras
- RECORD** ; 2005. Typologie des enjeux environnementaux et usages des différentes méthodes d'évaluation environnementale, rapport final, 100p, étude n°3-1011/1A
- Rioux, N et Watkins, M** ; 2008. Adaptez votre produit hôtelier à votre clientèle, livre conseil, pp54, 2008
- Rongere, P** ; 1975. Méthode des sciences sociales, Dalloz, deuxième édition, 118 p.
- Roulet, C-A** ; 2004. Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments", presses polytechniques et universitaires romandes, collection gérer l'environnement, première édition, 358p
- Roy, B** ; 1968. Classement et Choix en Présence de Points de Vue Multiples (la Méthode Electre). Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle. Vol 2, N° 8, p57-75. 1968.
- Roy, B et Bertier, P** ; 1971. La Méthode Electre II, une Méthode de Classement en Présence de Critères Multiples. Note de travail 142, Direction Scientifique, Sema, Paris 1971
- Roy, B** ; 1976. From Optimization to Multicriteria Decision Aid: Three Main Operational Attitudes. In "Multiple Criteria Decision Making",
- Roy, B** ; 1978. Electre III, un Algorithme de Classement Basé sur une Représentation Floue des Préférences en Présence de Critères Multiples. Cahiers du CERO, Vol 20, N° 1, p3-24. 1978

- Roy, B et Hugonnard J**; 1982. Ranking of Suburban Line Extension Projects for the Paris Metro System by a Multicriteria Method. *Transportation Research*, Vol 16, p301-312. 1982.
- Roy, B**; 1985. Méthodologie multicritère d'aide à la décision, *Economica*, Paris, or Multicriteria methodology for decision aiding, Kluwer, Dordrecht, 1996.
- Roy, B et Skalka, JM** ; 1985. Electre is-aspects méthodologiques et guide d'utilisation », document du lamsade no. 30, université paris- dauphine.
- Roy, B et Bouyssou, D** ; 1993. Aide Multicritère à la Décision : Méthodes et Cas. Collection Gestion, *Economica*, 695 p., ISBN 2-7178-2473-1.
- Rump, P.C**; 1996. State of the environment reporting: source book of methods and approaches, UNEP, 1996
- Saaty, T. L**; 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology* 15(3), p. 234-281.
- Saaty, T.L**; 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. New York, McGraw- Hill, 1980.
- Sachs, I** ;1993. L'écodéveloppement, stratégies de transition vers le XXIème siècle, Syros, Paris
- Saisana, M et Tarantola, S.**, 2002. State-of-the-art Report on Current Methodologies and Practices for Composite Indicator Development. Applied Statistic Group. JRC European Commission.
- Salomon, T; Mikolasek, R et Peuportier, B**; 2005. Outil de simulation thermique du bâtiment, COMFIE, Journée thématique SFT-IBPSA. La Rochelle.
- Sharpe A et Salzman J**; 2003. Methodological Issues Encountered in the Construction of Indices of Economic and Social Well-being,” paper presented at the annual meeting of the Canadian Economics Association, Carleton University, Ottawa, Ontario, May 30-June 1
- Smeets, E et Wetering, R**; 1999. Environmental Indicators: Typology and overview, Technical report, N° 25, EEA, 1999.
- Spitz, C., Mora, L., Wurtz, E et Jay, A** ; 2012. Practical application of uncertainty analysis and sensitivity analysis on an experimental house. *Energy and Buildings*, 55 :459–470.
- Steuer, R et Choo, E**; 1983. An Interactive Weighted Tchebycheff Procedure for Multiple Objective Programming. *Mathematical Programming*, N° 26, PP. 326-344, 1983.
- Svoray, T; Bar Kutiel, P et Bannet, T**; 2005. Urban land-use allocation in a Mediterranean ecotone: Habitat Heterogeneity Model incorporated in a GIS using a multi-criteria mechanism. *Landscape and Urban Planning*, 15 mai 2005, 72(4), p. 337-351.
- Tamiz, M; Jones, D et Romero, C**; 1998. Goal programming for decision making: An overview of the current state-of-the-art. *European Journal of Operational Research*, 16 décembre 1998, 111(3), p. 569-581.
- Terrin. JJ** ; 2010. Enjeux du cycle de vie, cours sur l'initiation à la gestion du projet, école d'architecture de Versailles, 31p
- Theys, J** ; 2000. Un nouveau principe d'action pour l'aménagement du territoire ? Le développement durable et la confusion des (bons) sentiments », pp.242 in WACHTER S. (Dir.) (2000), *Repenser le territoire - Un dictionnaire critique*, DATAR / Editions de l'Aube, La Tour d'Aigues, 287 p.
- Theys, J** ; 1994. L'environnement à la recherche d'une définition, "IFEN", p 43-45.

Trocmé, M et Peuportier, B ; 2008. Analyse de cycle de vie d'un bâtiment », J3EA, Journal sur l'enseignement des sciences et technologies de l'information et des systèmes, volume 7, 2008, 6p, ISSN (version électronique) : 1638-1963

Tyteca, D ; (2002 a). Communication au Congrès SIM (Société de l'Industrie Minérale) 2002, Atelier 5, « Le développement durable et ses indicateurs », Liège, Palais des Congrès, 8-11 octobre 2002.

Tyteca, D; (2002b). Aggregation of environmental performance indicators: issues and methodological options. Communication at the Seventh Biennial Meeting of the International Society for Ecological Economics, "ISEE Tunisia 2002: Environment and Development", Université du Centre, Sousse, Tunisie, 6-9 mars 2002.

Vanderpooten, D. A; 1988. Multicriteria Interactive Procedure Supporting a Directed Learning of Preferences. Cahiers du Lamsade, Université de Paris-Dauphine, 1988.

Vincent.H ; 2009. Un hôtel 3* BBC, parc technologique, Saint Priest 69, ALE, ENSAL, Novembre 2009, 25p

Vincke, Ph;1976. Une Méthode Interactive en Programmation Linéaire à Plusieurs Fonctions Economiques. Revue Française d'Informatique et de Recherche Opérationnelle, N° 2, pp. 5-20, 1976.

Vu

Voogd, H ; 1983. Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning. Pion Ltd, London, 1983.

WCED, 1987. Our Common Future, Report of the World Commission on Environment and Development United Nations, 247p.

Weatherbase : site météorologique couvrant toutes les régions du monde, disponible sur l'adresse : <http://www.weatherbase.com/>

Weber, J-L et Lavoux, T, 1994 Réflexion sur les critères de définition et de choix des indicateurs d'environnement, notes de méthode de l'IFEN, édition 94, n°3, Orléans : IFEN, mai 94, 54 p

Weissenstein, C et Bignon, JC. 2010. Conception environnementale du bâtiment : proposition d'une méthode d'évaluation contextuelle et pondérée, Colloque - SCAN 2010, 4ème Séminaire de Conception Architecturale Numérique, 9-10 décembre 2010, Marseille, France

Wierzbicki, A. 1980. The Use of Reference Objectives in Multi-Objective Optimization". In "MCDM Theory and Application" Fandel G, Gal T. Springer Verlag, N° 177, pp. 468-486, 1980

WIKIPEDIA : Encyclopédie numérique, site disponible sur le : www.wikipédia.fr

WTTC, 2015 : Rapport WTTC : mise à jour annuel: Impact économique du tourisme en 2015 et pronostique pour 2025 - Economic Impact of Travel & Tourism: 2015 Annual Update, avril 2015, disponible sur le lien : www.veilleinfotourisme.fr

Zionts, S et Wallenius J; 1976. An Interactive Programming Method for Solving the Multiple Criteria Problem. Management Science, Vol 22, N° 6, pp. 652-663.

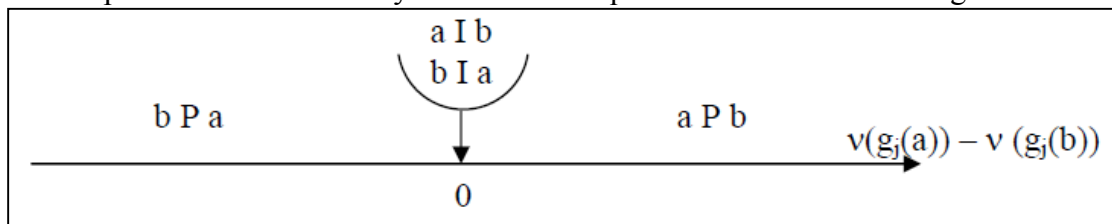
ANNEXES

ANNEXE 1

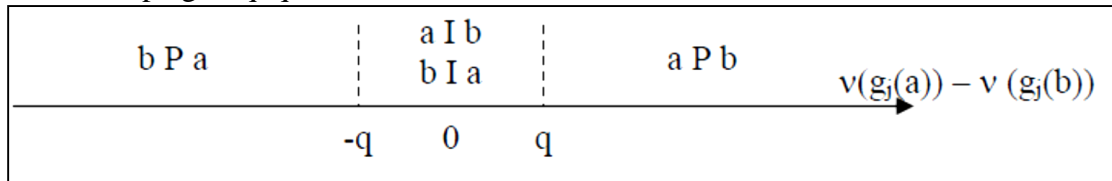
TYPES DE CRITERES DANS UNE METHODOLOGIE MULTICRITERE D'AIDE A LA DECISION

Afin d'expliquer les différents types de critères, nous supposons que nous disposons de deux actions a et b que nous souhaiterions départager. Nous donnons une note (une évaluation) à chacune des deux actions (Hammami, 2003).

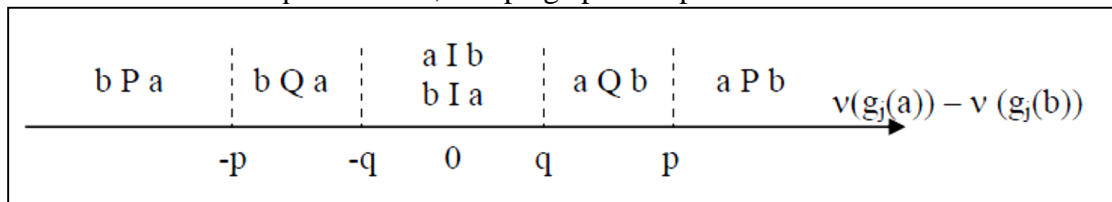
- **Le vrai critère** : Nous parlons de vrai critère lorsque l'action qui reçoit la meilleure note sera préférée à l'autre. Il n'y a d'indifférence que si les deux notes sont égales.



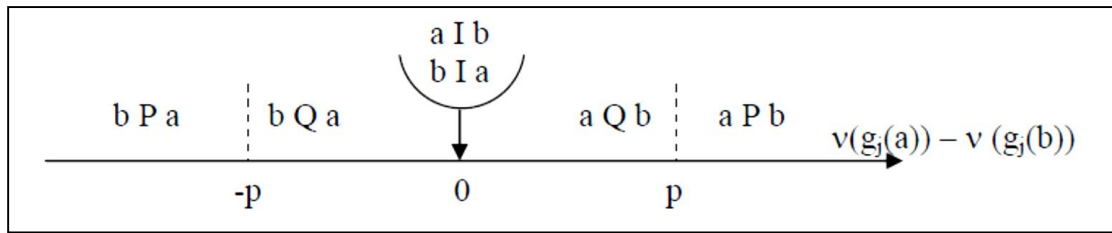
- **Le quasi-critère** : Nous parlons de quasi-critère lorsqu'il y a une plage d'indifférence $[-q, q]$. Il y a d'indifférence entre les actions a et b lorsque l'écart de leur évaluation tombe dans la plage $[-q, q]$.



- **Le pseudo-critère** : Dans un pseudo-critère, on introduit en plus de la plage d'indifférence du quasi-critère, une plage pour la préférence faible.



- **Le pré-critère** : Un pré-critère est un vrai critère auquel on a introduit une plage de préférence faible.



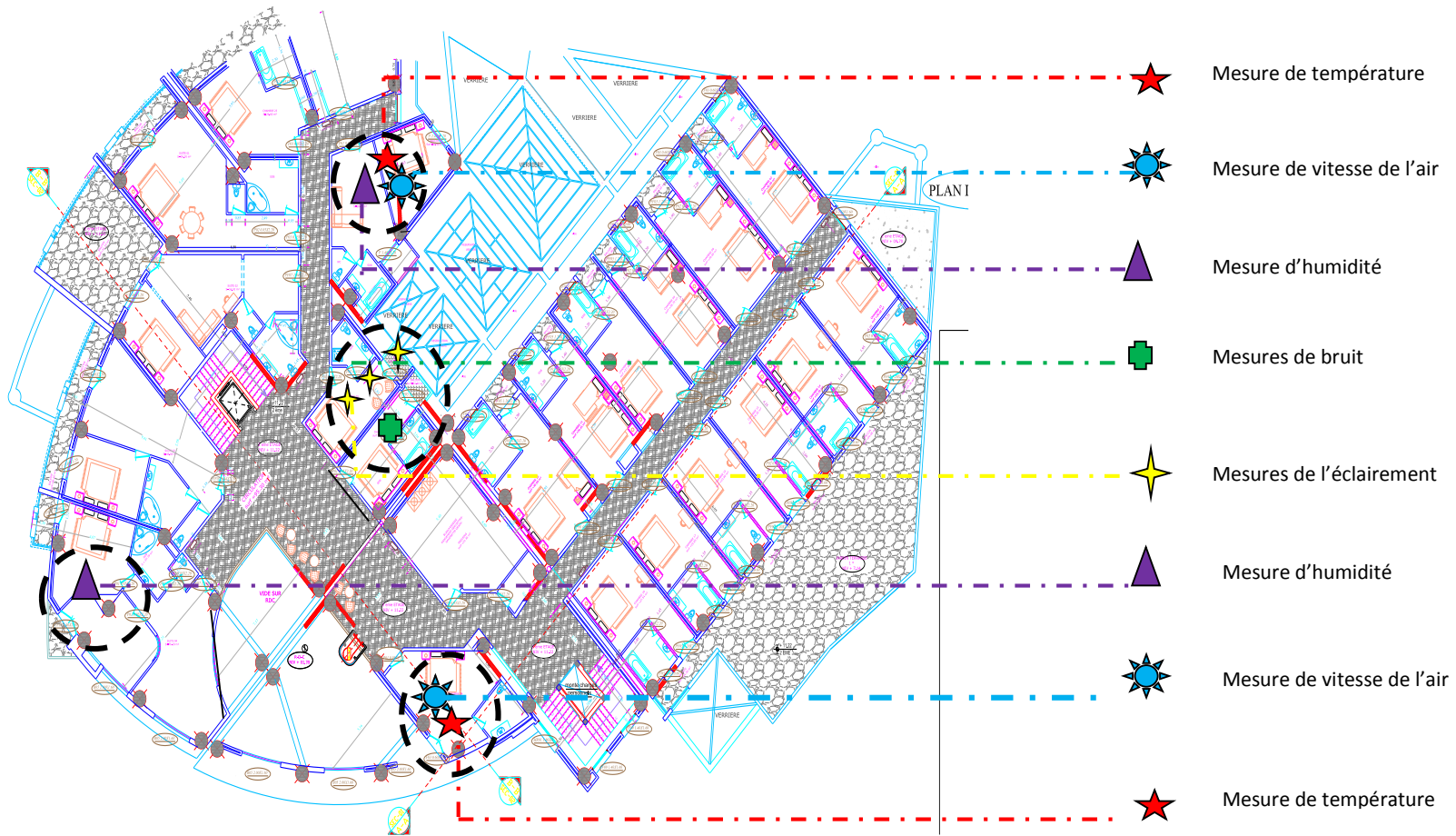
LA COMPENSATION ENTRE LES CRITERES :

L'aspect compensatoire d'une méthode traduit la plus ou moins grande possibilité de contrebalancer un désavantage sur un critère (Colson et De Bruyn, 1989) déclarent que toute méthode de décision multicritère peut être

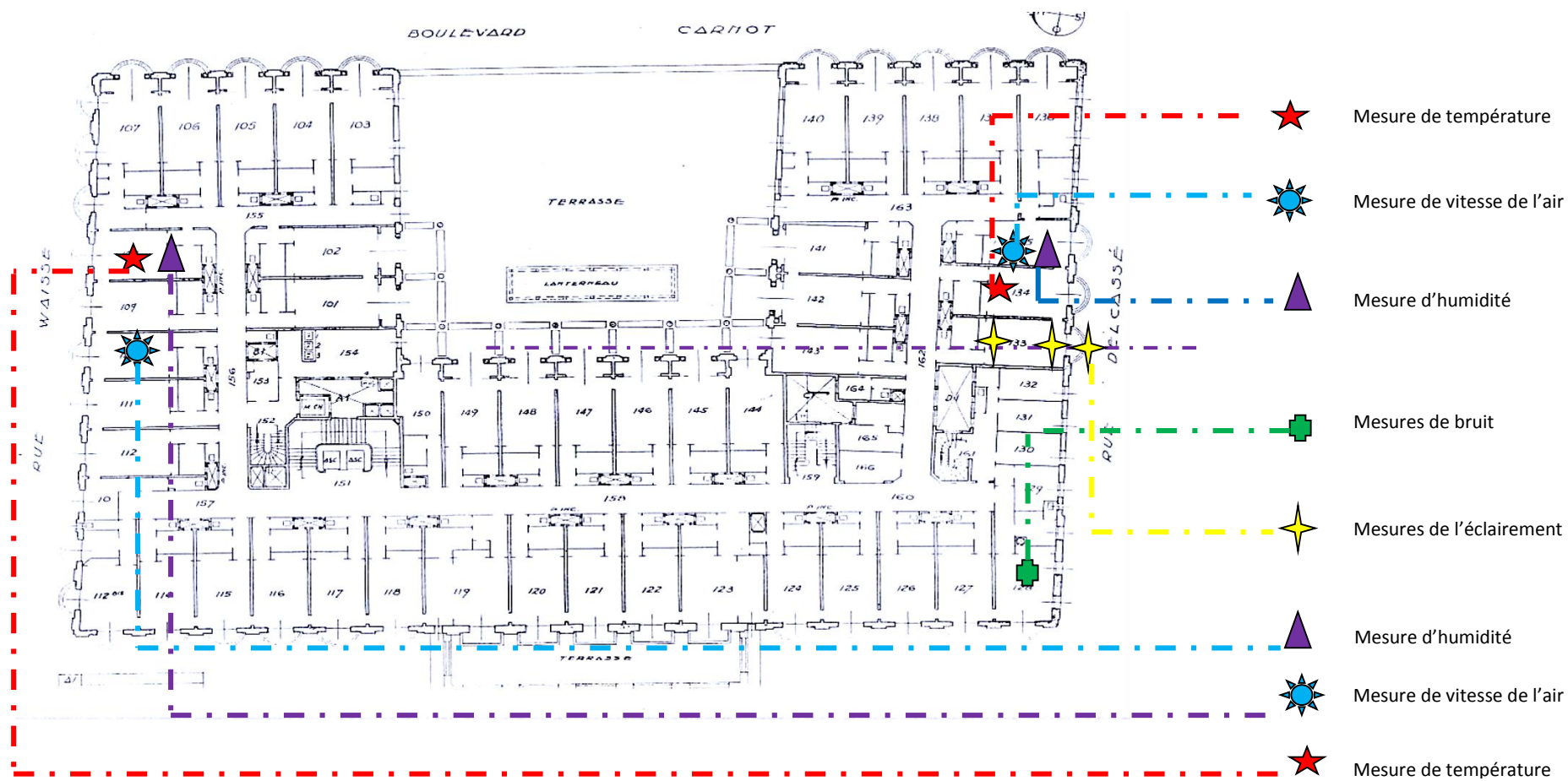
soit :

- ❑ **Compensatoire** : dans ce cas, on admet une compensation absolue entre les différentes évaluations. Ainsi, une bonne performance sur un critère peut être facilement contrebalancée par une faible performance sur un autre critère. Plusieurs méthodes figurent dans cette catégorie par exemple la méthode de la somme pondérée.
- ❑ **Non compensatoire** : aucune compensation n'est acceptée entre les différentes dimensions. Le décideur peut énoncer que les dimensions sont suffisamment importantes pour refuser toute sorte de compensation ou de compromis. On peut citer la méthode lexicographique.
- ❑ **Partiellement compensatoire** : dans ce cas, une sorte de compensation est acceptée entre les différentes dimensions ou critères. La plupart des méthodes multicritères se trouvent dans cette catégorie. Le problème majeur est d'évaluer le degré de compensation de chacune des méthodes.

ANNEXE 2
EMPLACEMENT DES POINTS DE MESURE
A L'HOTEL « LA VILLE DES ROSE »



A L'HOTEL « ES-SAFIR »



ANNEXE 3

DESCRIPTION DES APPAREILS DE MESURE

Afin d'effectuer nos mesures, il nous a fallu recourir aux appareils suivants:

- A. **Thermo hygromètre** : il permet à la fois de mesurer la température de l'air et l'humidité relative, il comporte une sonde thermique et un hygromètre, la lecture de ces deux paramètres se fait directement sur un cadran numérique. Il est de type TESTO 635.
- B. **Anémomètre** : c'est Appareil compact de mesure de la vitesse des courants grâce à une roue-hélice télescopique rigide. Sa résolution anémomètre est de 0.1m/s avec une précision de $\pm 0.2\text{m/s}$.
- C. **Sonomètre** : Mesure des bruits de fonds et niveaux équivalents : Sonomètre intégrateur portatif IEC651 Type 2, ANSI S1.4 Type 2 ; gamme de mesure : 30-130 dB(A), avec une fréquence de 31.5 Hz-8KHz ; les valeurs sont affichées sur un cadran numérique intégré de type LCD, 4-stelling.
- D. **Luxmètre** : Mesure du niveau d'éclairement naturel et artificiel : luxmètre portatif TESTO 545, les valeurs sont mesurées avec une sonde, sa plage de tolérance est comme suit :
A 0.0 lux de référence, la tolérance est +1.0 lux avec 0.0 lux comme valeur réelle
A 4487.0 lux, sa tolérance est de 100.0 lux avec 4487.5 lux comme valeur réelle.



Les appareils de mesure utilisés

ANNEXE 4

DUREE, FREQUENCE ET DATE PAR TYPE DE MESURE

Type de mesures	Date des mesures	Fréquence et durée des mesures	Lieu des mesures	Indicateurs					
Mesure de température	04/01/2012 et 14/07/2012 (bâtiment standard) 05/01/2012 et 13/07/2012 (bâtiment traditionnel)	Mesures continues, pas de 2mn de temps	Chambres (nord et sud) A l'intérieur de la pièce	Confort hygrothermique					
Mesure de l'humidité			Chambres nord et sud A l'intérieur et à l'extérieur de la pièce						
Mesure de l'éclairage			Chambres (nord et sud) Au fond de la pièce	Confort acoustique					
Mesure du niveau de bruit			Chambres (nord et sud) A l'intérieur de la pièce						
Mesure de la vitesse de l'air			Évaluation sur une durée vécue (pseudo-continu)		Au sein des deux hôtels	Taux de satisfaction vis-à-vis de la qualité environnementale extérieure	Accessibilité et stationnement		
Enquête	02/2012 06/2012	Évaluation sur une durée vécue (pseudo-continu)					Au sein des deux hôtels	Taux de satisfaction vis-à-vis de la qualité environnementale intérieure	Organisation des espaces extérieurs
									Intégration au site
									vue
						Environnement paysager			
						Niveau sonore			
						Bruits d'impacts			
						Bruits aériens			
						Qualité des sons			
						Éclairage artificiel			
						Éclairage naturel			
						Qualité de l'air			
Renouvellement de l'air									
humidité									
PMV									
PPD									

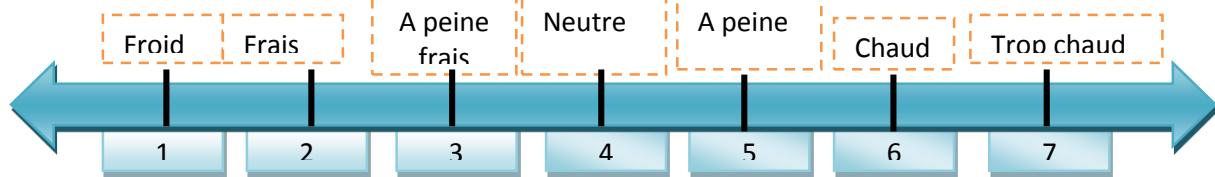
ANNEXE 5

QUESTIONNAIRE D'ENQUETE

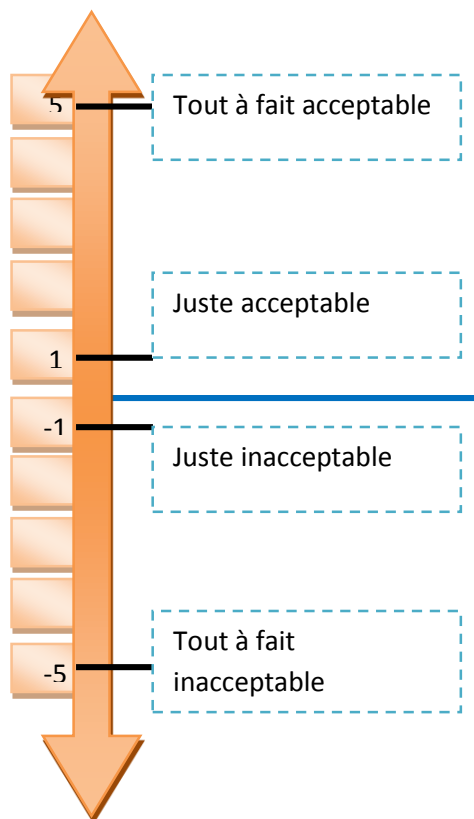
Évaluation de la qualité environnementale du bâtiment

Confort hygrothermique

1- Comment qualifiez-vous le confort thermique dans votre chambre en ce moment ?

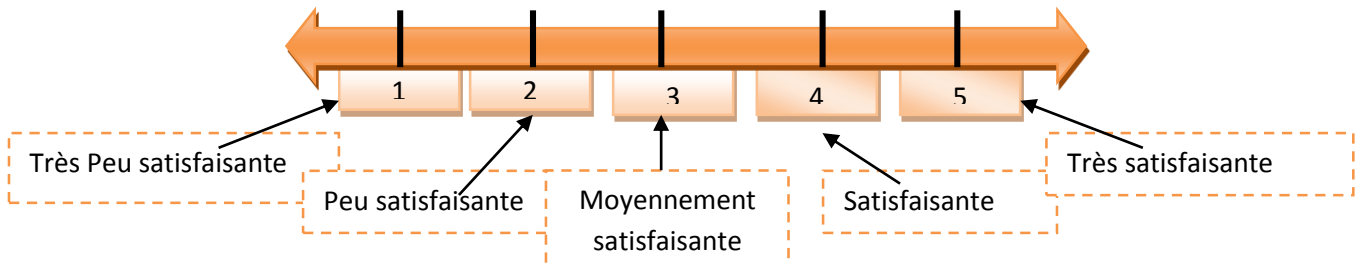


2-Comment jugez-vous la qualité de l'air dans votre chambre en ce moment ? Veuillez cocher une case.



Le confort aéraulique

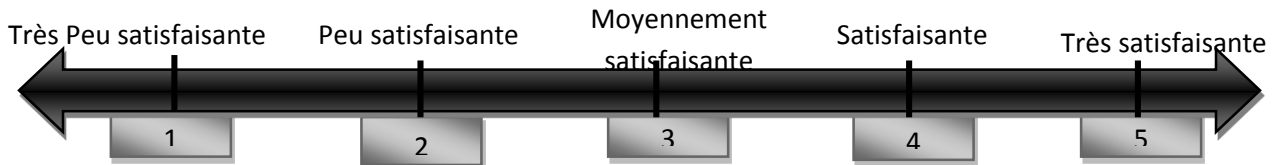
Êtes-vous satisfait(e) de la qualité de l'air intérieur ?



Le renouvellement de l'air vous semble-t-il suffisant ? OUI/NON

Confort acoustique

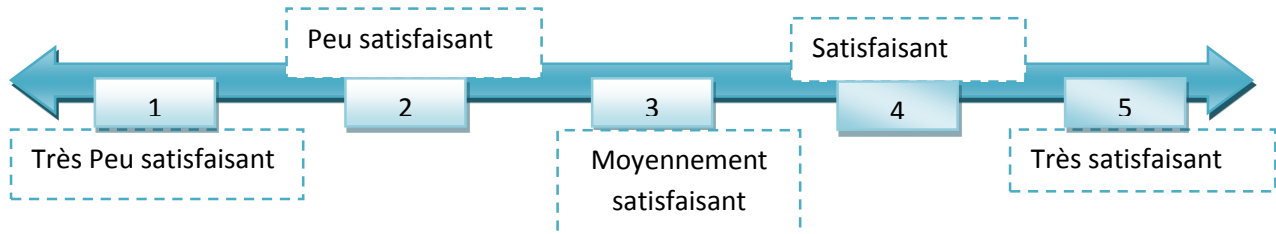
La qualité des sons à l'intérieur de votre chambre est-elle satisfaisante ?



Les bruits aériens vous dérangent-ils ? OUI/NON

Les bruits d'impacts sont-ils gênants ? OUI/NON

Comment qualifiez-vous le niveau sonore à l'intérieur de votre chambre ?



Le confort visuel

Comment qualifiez-vous le niveau d'éclairage naturel à l'intérieur de votre chambre ?

Comment qualifiez-vous le niveau d'éclairage artificiel à l'intérieur de votre chambre ?

	Saison estivale	Saison hivernale
Éclairage naturel	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5
Éclairage artificiel	0 1 2 3 4 5	0 1 2 3 4 5

Appréciation générale du confort

Comment qualifiez-vous le climat intérieur et les conditions de séjour régnant actuellement dans votre chambre ? veuillez cocher une case par ligne.

Les cases encadrées représentent, sur chaque échelle, la valeur idéale.

-Température	confortable	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	inconfortable
-mouvement d'air	air stagnant	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input checked="" type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	courant d'air
-sécheresse, humidité	sec	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input checked="" type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	humide
-qualité de l'air	frais	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	étouffant
-odeur dans l'air	insignifiant	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	horrible
-éclairage	trop sombre	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input checked="" type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	trop clair
-éclairage	stable	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	clignotant
-éclairage	sans éblouissement	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	éblouissant
-éclairage	trop uniforme	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input checked="" type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	trop irrégulier
-éclairage en général	satisfaisant	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	insatisfaisant
-bruit de la ventilation	aucun bruit	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	trop de bruit
-autres bruits	pas d'autres bruits	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	trop de bruit
-bruits en général	satisfaisant	<input checked="" type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	insatisfaisant

Dans votre chambre, dans quelle mesure pouvez-vous influencer les fonctions suivantes ? cochez une case par ligne.

-température	aucune influence	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	contrôle total
-ventilation, aération	aucune influence	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	contrôle total
-éclairage	aucune influence	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 7	contrôle total

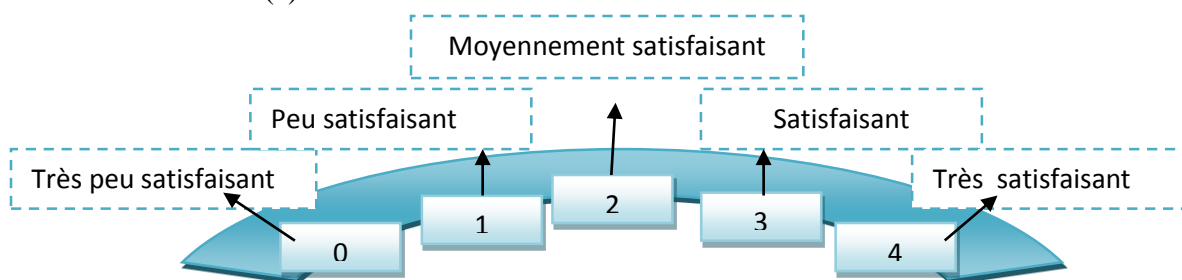
Il y a-t-il des fumeurs dans votre environnement immédiat ? Oui Non

Il y a-t-il d'autres aspects de votre environnement de séjour dans ce bâtiment hôtelier, que vous désiriez commenter ?

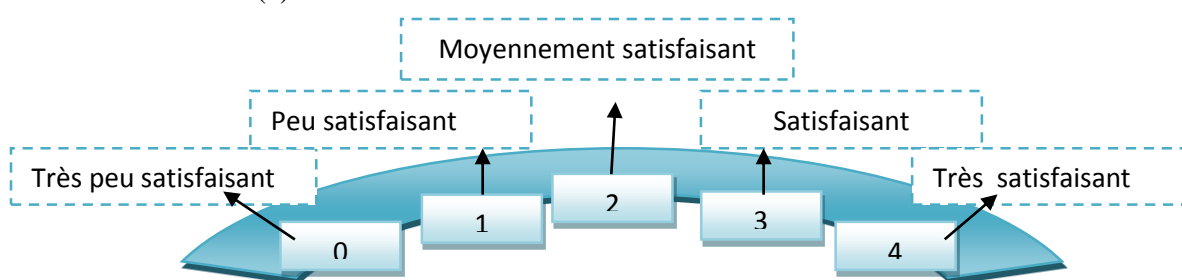
Si oui faites le ci –dessous

Le bâtiment et son environnement

Êtes-vous satisfait (e) des accès au bâtiment hôtelier ?

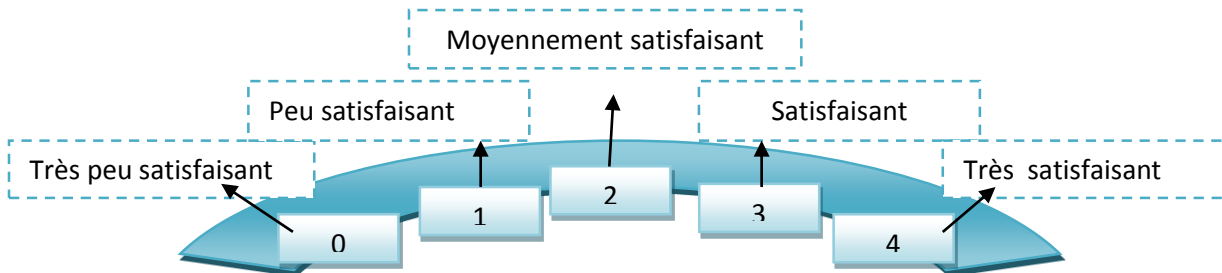


Êtes-vous satisfait(e) des aires de stationnement ?

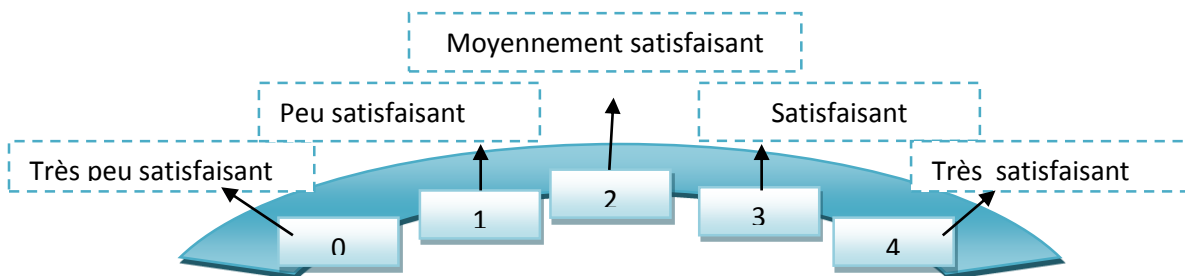


Les abords paysagers du bâtiment

Êtes-vous satisfait(e) du côté paysager de la parcelle du bâtiment ?



Êtes-vous satisfait(e) des vues sur l'extérieur ?



ANNEXE 6

EQUATION DE FANGER

La relation entre le PMV et le PPD est la suivante :

$$PPD = 1 - 0.95 \exp(-0.003353 PMV^4 - 0.2179 PMV^2)$$

Fanger (Fanger, 1982) a établi une équation prédisant le PMV à partir des paramètres de confort qui sont énumérés ci-dessous :

Paramètres influant le confort thermique

Température de l'air	θ_a [°C] ou T_a [K]
Température radiante moyenne	θ_{mrt} [°C] ou T_{mrt} [K]
Vitesse relative de l'air	v [m/s]
Pression partielle de vapeur d'eau	P [Pa]
Activité métabolique du sujet	M [Watt]
Son travail mécanique fourni	W [Watt]
Surface de peau du sujet	A [m ²]
Activité spécifique du sujet	$m = M/A$ [W/m ²]
Son travail spécifique	$w = W/A$ [W/m ²]
Résistance thermique des habits	R [m ² K/W]
Habillement	$[Clo] = R/0.155$
La fraction de la surface habillée	f

L'équation de Fanger est donnée ci-dessous. Dans cette équation, toutes les variables sont exprimées en unités SI.

$$PMV = (0.303 \exp(-0.036m) + 0.028) [m - w - 0.00305 (5733 - 6.99(m-w) - p) - 0.42(m-w-58.15) - 0.000017m (5867 - p) - 0.0014m (307 - T_a) - F]$$

Où la fonction d'habillement F est donnée par

$$F = 3.96 \cdot 10^{-8} f(T_{cl}^4 - T_{mrt}^4) + fh(T_{cl} - T_a)$$

Pour le coefficient h de transfert thermique des habits, on prend celle des deux expressions ci-dessous qui donne la valeur la plus grande :

$$h = 2.38 (T_{cl} - T_a)^{1/4} \text{ ou } h = 12.06 \sqrt{v}$$

La température (absolue) des habits T_{cl} est donnée en résolvant l'équation implicite :

$$T_{cl} = 308.9 - 0.028(m-w) - RF$$

La fraction de surface habillée f peut être estimée par :

$$f = 1.00 + 1.290 R \text{ si } R < 0.078 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$f = 1.05 + 0.645 R \text{ si } R > 0.078 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

ANNEXE 7

Stations météorologiques et paramètres climatiques

1. Stations météorologiques, durée d'insolation et températures moyennes

a) Bâtiment traditionnel (Es-Safir)

Station météo

Classe: Algérie-2013

Nom de la station: Alger-centre

Nom du fichier: Aletti.try

Altitude: 25 m

Latitude: N 36° 41' 00"

Longitude: E 3° 13' 00"

Température du sol (Profondeur de 10 mètres): 18 °C

Heure solaire

Heure légale GMT: 0

[Créer une nouvelle station avec Meteocalc](#)

Caractéristiques du site

Nom du site: Es-Safir

Altitude: 25 m

Température du sol (Profondeur de 10 mètres): 18 °C

Fichier Outils Aide

Generateur Importation Analyse Outils Graphiques Valeurs Exporter vers Pleiades

Données mensuelles

Copiez une colonne ou une ligne entière de données à partir de votre fichier source puis copiez les avec les boutons ci-dessous.

	Optionnel T° Max (°C)	Optionnel Moyenne T° Max (°C)	Optionnel Moyenne T° (°C)	Optionnel Moyenne T° Min (°C)	Optionnel T° Min (°C)	Optionnel Ciel pur Durée d'insolation (h)	Optionnel Irradiation globale J/cm²
Janv	22.2	16	9.9	07	1.7	304.1	
Fev	23.2	17	10.9	08	2.7	307.8	
Mars	24.2	18	11.5	09	3.7	360.4	
Avril	26.3	20	13.8	09	3.7	386.1	
Mai	29.3	23	16.2	12	6.6	428.6	
Juin	32.4	26	20.4	15	9.5	433.5	
Juil	33.4	27	23.1	17	11.5	447.5	
Aout	35.5	29	23.5	19	13.5	425.5	
Sept	32.4	26	21.9	14	8.6	379.2	
Oct	29.3	23	17.7	11	5.6	357.7	
Nov	22.2	16	14.1	06	0.7	313.9	
Dec	22.2	16	10.7	07	1.7	303.2	

Latitude: N 36° 41' 00"

Longitude: E 03° 13' 00"

Heure solaire GMT: 0

[Générer le fichier horaire](#)

Déplacez la réglette vers la gauche si les températures mini sont trop linéaires
Déplacez le vers la droite si les températures maxi sont trop linéaires

[Vider les cases](#)

[Générer T°Min et T°Max à partir des moyennes T°Min et T°Max](#)

[Importer fiche mensuelle Meteonorm](#)

b) Bâtiment standard (Les Roses)

Station météo

Classe
Algérie-2013

Nom de la station
Blida

Nom du fichier
Blida.try

Altitude
260 m

Latitude N 36° 30' 0"

Longitude E 2° 49' 0"

Température du sol (Profondeur de 10 mètres)
20 °C

Heure solaire

Heure légale GMT 0

Créer une nouvelle station avec Meteocalc

Caractéristiques du site

Nom du site
Les Roses

Altitude
260 m

Température du sol (Profondeur de 10 mètres)
20 °C

Fichier Outils Aide

Generateur Importation Analyse Outils Graphiques Valeurs Exporter vers Pleiades

Données mensuelles

Copiez une colonne ou une ligne entière de données à partir de votre fichier source puis copiez les avec les boutons ci-dessous.

	Optionnel T* Max (°C)	Optionnel Moyenne T* Max (°C)	Optionnel Moyenne T* (°C)	Optionnel Moyenne T* Min (°C)	Optionnel T* Min (°C)	Optionnel Ciel pur Durée d'insolation (h)	Optionnel Irradiation globale J/cm²
Janv	21.2	15	12	09	3.7	304.6	
Fev	22.2	16	12	09	3.7	308.2	
Mars	23.2	17	14	11	5.6	365.1	
Avril	26.3	20	16	12	6.6	390.2	
Mai	28.3	22	18	15	9.5	432.3	
Juin	31.4	25	21	18	12.5	433.5	
Juil	34.5	28	24	21	15.4	448.1	
Aout	35.5	29	25	21	15.4	430.6	
Sept	33.4	27	23	20	14.5	380.4	
Oct	29.3	23	20	17	11.5	360.2	
Nov	24.2	18	15	13	7.6	325.9	
Dec	21.2	15	12	10	4.6	305.1	

Latitude N 36° 30' 0"
Longitude E 2° 49' 0"
 Heure solaire GMT 0

Générer le fichier horaire

Déplacez la réglette vers la gauche si les températures mini sont trop linéaires
Déplacez le vers la droite si les températures maxi sont trop linéaires

Vider les cases

Générer T*Min et T*Max à partir des moyennes T*Min et T*Max

Importer fiche mensuelle Meteonorm

c) Bâtiment BBC (la référence)

Station météo

Classe
France 2013

Nom de la station
Saint priest

Nom du fichier
Saintpriest.try

Altitude
220 m

Latitude N 46 ° 9 ' 0 "

Longitude E 5 ° 34 ' 0 "

Température du sol (Profondeur de 10 mètres)
14 °C

Heure solaire

Heure légale GMT 0

Caractéristiques du site

Nom du site
BBC

Altitude
220 m

Température du sol (Profondeur de 10 mètres)
14 °C

Fichier Outils Aide

Generateur Importation Analyse Outils Graphiques Valeurs Exporter vers Pleiades

Données mensuelles

Copiez une colonne ou une ligne entière de données à partir de votre fichier source puis copiez les avec les boutons ci-dessous.

	Optionnel T* Max (°C)	Optionnel Moyenne T* Max (°C)	Optionnel Moyenne T* (°C)	Optionnel Moyenne T* Min (°C)	Optionnel T* Min (°C)	Optionnel Ciel pur Durée d'insolation (h)	Optionnel Irradiation globale J/cm ²
Janv	11.7	5.7	01	-4	-9.1	63	
Fev	14.1	8.1	4.6	01	-4.2	90	
Mars	17.7	11.6	7.2	2.8	-2.4	148	
Avril	21.4	15.2	10.4	5.5	0.2	184	
Mai	25.6	19.3	14.3	9.3	4.0	216	
Juin	29.6	23.2	17.9	12.6	7.2	251	
Juil	32.9	26.5	20.8	15	9.5	293	
Aout	32.0	25.6	20.1	14.4	9.0	259	
Sept	28.7	22.4	17.1	11.7	6.3	208	
Oct	23.0	16.8	12.5	8.2	2.9	134	
Nov	16.2	10.1	6.8	3.4	-1.8	75	
Dec	11.9	5.9	05	4	-1.2	55	

Heure solaire
 GMT 0

Générer le fichier horaire

Déplacez la réglette vers la gauche si les températures mini sont trop linéaires
 Déplacez le vers la droite si les températures maxi sont trop linéaires

Vider les cases

Générer T*Min et T*Max à partir des moyennes T*Min et T*Max

Importer fiche mensuelle Meteonorm

ANNEXE 8 : Résultats des impacts environnementaux des sous variantes

1. Influence de l'enveloppe / bâtiment traditionnel

Es-safir // bâtiment traditionnel enveloppe BBC (EcoInvent 1996)					
Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Energie consommée (GJ)	17 243.78	1 699 285.81	4 868.10	884.51	1 722 282.19
Eau utilisée (m ³)	11 174.66	6 982 194.40	5 392.00	414.71	6 979 175.76
Epuisement ressources abiotiques (E-15)	11.68	684.80	79.67	0.33	776.48
Déchets inertes produits (t eq)	727.15	5 619 699.12	29.68	10 520.15	5 630 976.10
Déchets radioactifs (dm ³)	95.06	3 064.36	12.00	3.29	3 174.70
Effet de serre (t CO ₂)	1 969.74	30 237.66	179.97	54.12	32 441.49
Acidification (kg SO ₂)	8 502.58	110 431.14	1 170.45	618.16	120 722.32
Eutrophication (kg PO ₄)	1 021.06	11 437.71	59.07	96.67	12 614.51
Ecotoxicité aquatique (m ³)	12 217 235.39	494 700 876.96	5 001 514.79	1 776 202.48	513 695 829.62
Toxicité humaine (kg)	15 405.96	374 655.68	4 660.26	743.11	385 465.01
Production d'ozone photochimique (kg C ₂ H ₄)	4 348.15	52 079.00	406.01	671.88	57 505.04
Odeur (Nm ³)	1 537.04	436 515.70	475.20	60.93	438 588.86

2. Influence de l'enveloppe / bâtiment standard

la ville des roses // bâtiment standard enveloppe BBC (EcoInvent 1996)					
Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Energie consommée (GJ)	8 673.15	1 240 105.98	2 637.22	441.21	1 251 857.56
Eau utilisée (m ³)	5 635.42	6 835 363.12	2 921.30	206.87	6 844 126.71
Epuisement ressources abiotiques (E-15)	6.12	448.90	43.17	0.17	498.36
Déchets inertes produits (t eq)	362.26	5 622 390.82	16.07	5 247.35	5 627 976.49
Déchets radioactifs (dm ³)	46.86	2 089.98	6.50	1.64	2 144.98
Effet de serre (t CO ₂)	991.79	20 996.76	97.49	27.00	22 113.03
Acidification (kg SO ₂)	4 302.26	95 571.74	633.90	308.35	100 816.26
Eutrophication (kg PO ₄)	511.59	9 876.53	31.96	48.22	10 468.30
Ecotoxicité aquatique (m ³)	6 238 926.56	410 283 620.76	2 709 126.31	885 012.89	420 117 686.53
Toxicité humaine (kg)	7 732.59	355 370.81	2 524.68	370.68	365 998.77
Production d'ozone photochimique (kg C ₂ H ₄)	2 201.76	41 676.44	219.70	335.15	44 433.06
Odeur (Nm ³)	813.26	274 001.87	257.44	30.39	275 102.97

3. Influence des scénarios/ bâtiment traditionnel

Es-safir // bâtiment traditionnel scénario BBC (EcoInvent 1996)					
Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Energie consommée (GJ)	13 763.25	2 005 047.62	4 905.18	1 520.83	2 025 236.88
Eau utilisée (m ³)	5 534.70	7 121 998.93	5 433.16	713.08	7 133 279.88
Épuisement ressources abiotiques (E-15)	10.40	918.47	80.28	0.57	1 009.72
Déchets inertes produits (t eq)	1 172.25	5 619 581.10	29.90	18 100.63	5 638 883.89
Déchets radioactifs (dm ³)	38.63	4 303.54	12.09	5.65	4 359.91
Effet de serre (t CO ₂)	551.96	25 219.18	181.34	93.05	26 045.54
Acidification (kg SO ₂)	5 575.41	109 944.06	1 179.30	1 062.89	117 761.67
Eutrophisation (kg PO ₄)	836.15	11 092.97	59.30	166.22	12 154.64
Écotoxicité aquatique (m ³)	15 823 808.23	532 542 536.98	5 039 481.87	3 054 036.11	556 459 863.20
Toxicité humaine (kg)	7 187.84	373 270.59	4 695.78	1 277.74	386 431.95
Production d'ozone photochimique (kg C ₂ H ₄)	5 618.78	46 618.62	409.02	1 155.27	55 801.68
Odeur (Nm ³)	625.51	323 410.67	478.82	104.76	324 619.77

4. Influence des scénarios/ bâtiment standard

la ville des roses // bâtiment standard scénario BBC (EcoInvent 1996)					
Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Energie consommée (GJ)	8 036.64	1 709 613.03	2 599.10	326.93	1 720 575.69
Eau utilisée (m ³)	5 176.80	7 024 627.71	2 878.98	153.28	7 032 836.76
Épuisement ressources abiotiques (E-15)	5.72	748.83	42.54	0.12	797.22
Déchets inertes produits (t eq)	298.23	5 622 750.82	15.84	3 895.84	5 626 950.74
Déchets radioactifs (dm ³)	34.80	3 539.22	6.41	1.21	3 581.64
Effet de serre (t CO ₂)	630.33	21 859.29	96.08	20.00	22 675.71
Acidification (kg SO ₂)	2 869.81	102 814.95	624.80	228.48	106 538.04
Eutrophisation (kg PO ₄)	372.77	10 412.16	31.51	35.73	10 852.17
Écotoxicité aquatique (m ³)	5 430 122.87	482 558 526.36	2 670 095.62	656 505.81	491 315 250.76
Toxicité humaine (kg)	5 093.80	364 289.18	2 488.17	274.66	372 125.81
Production d'ozone photochimique (kg C ₂ H ₄)	1 767.20	44 344.68	216.61	248.33	46 576.82
Odeur (Nm ³)	507.41	270 243.47	253.72	22.52	271 027.12

5. Influence du climat/ bâtiment traditionnel

Es-safr // bâtiment traditionnel météo BBC (EcoInvent 1996)					
Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Energie consommée (GJ)	13 741.39	2 586 455.89	4 708.47	1 520.83	2 606 436.58
Eau utilisée (m3)	5 510.44	7 012 519.56	5 214.79	713.08	7 023 957.87
Épuisement ressources abiotiques (E-15)	10.04	925.52	77.05	0.57	1 013.19
Déchets inertes produits (t eq)	1 172.12	5 623 672.82	28.72	18 100.63	5 642 974.29
Déchets radioactifs (dm3)	38.58	3 291.68	11.61	5.65	3 347.52
Effet de serre (t CO2)	551.15	79 380.81	174.09	93.05	80 199.10
Acidification (kg SO2)	5 570.19	168 339.95	1 132.33	1 062.89	176 125.36
Eutrophisation (kg PO4)	835.89	18 346.06	57.18	166.22	19 405.35
Écotoxicité aquatique (m3)	15 801 430.17	709 708 823.65	4 838 079.36	3 054 036.11	733 402 369.30
Toxicité humaine (kg)	7 166.91	452 509.98	4 507.36	1 277.74	465 461.98
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	5 617.01	101 311.17	393.08	1 155.27	108 476.53
Odeur (Mm3)	623.38	1 370 149.63	459.60	104.76	1 371 337.37

6. Influence du climat/ bâtiment standard

la ville des roses // bâtiment standard météo BBC (EcoInvent 1996)					
Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Energie consommée (GJ)	8 036.64	2 008 385.63	2 599.10	326.93	2 019 348.30
Eau utilisée (m3)	5 176.80	6 882 027.53	2 878.98	153.28	6 890 236.58
Épuisement ressources abiotiques (E-15)	5.72	660.64	42.54	0.12	709.03
Déchets inertes produits (t eq)	288.23	5 625 759.71	15.84	3 885.84	5 629 959.63
Déchets radioactifs (dm3)	34.80	2 312.04	6.41	1.21	2 354.45
Effet de serre (t CO2)	690.33	63 077.66	96.08	20.00	63 884.07
Acidification (kg SO2)	2 869.81	145 293.56	624.80	228.48	149 016.64
Eutrophisation (kg PO4)	372.77	15 799.92	31.51	35.73	16 239.93
Écotoxicité aquatique (m3)	5 430 122.97	995 691 145.77	2 670 095.62	656 505.81	604 447 870.17
Toxicité humaine (kg)	5 093.80	422 179.34	2 488.17	274.66	430 035.97
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	1 767.20	83 867.58	216.61	248.33	86 099.72
Odeur (Mm3)	507.41	1 073 079.79	253.72	22.52	1 073 863.43

7. Influence de la surface et de la forme/ bâtiment traditionnel

Résultat à afficher

Saint priest // BBC traditionnel (EcoInvent 1996)					
Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Energie consommée (GJ)	5 913.62	1 069 155.73	2 034.32	633.24	1 077 736.92
Eau utilisée (m3)	2 370.39	5 741 795.75	2 252.46	296.91	5 746 715.51
Epuisement ressources abiotiques (E-15)	4.56	362.81	33.28	0.24	400.88
Déchets inertes produits (t eq)	489.37	3 136 843.81	12.43	7 535.58	3 144 881.19
Déchets radioactifs (dm3)	16.42	1 744.38	5.02	2.35	1 768.17
Effet de serre (t CO2)	232.97	14 184.09	75.24	38.75	14 531.04
Acidification (kg SO2)	2 339.21	80 533.22	489.64	442.56	83 804.64
Eutrophisation (kg PO4)	350.06	8 544.55	24.79	69.21	8 988.61
Ecotoxicité aquatique (m3)	6 626 959.53	314 984 893.55	2 091 225.08	1 271 635.07	324 974 713.23
Toxicité humaine (kg)	3 027.92	259 650.17	1 947.31	532.02	265 157.42
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	2 347.09	50 546.83	170.44	481.03	53 545.39
Odeur (Mm3)	263.79	170 185.72	198.55	43.62	170 691.67

8. Influence de la surface et de la forme/ bâtiment standard

Saint priest // BBC standard (EcoInvent 1996)					
Impact	Construction	Utilisation	Rénovation	Démolition	Total
Energie consommée (GJ)	7 671.29	1 219 375.53	2 048.27	305.22	1 229 400.33
Eau utilisée (m3)	4 868.87	5 783 980.59	2 267.95	143.10	5 791 260.51
Epuisement ressources abiotiques (E-15)	5.10	439.28	33.51	0.11	478.00
Déchets inertes produits (t eq)	283.51	3 137 164.16	12.51	3 627.92	3 141 088.10
Déchets radioactifs (dm3)	35.45	2 057.95	5.05	1.13	2 099.59
Effet de serre (t CO2)	664.21	17 302.49	75.75	18.68	18 061.13
Acidification (kg SO2)	2 675.81	85 495.51	492.97	213.31	88 877.60
Eutrophisation (kg PO4)	353.48	9 068.40	24.96	33.36	9 480.20
Ecotoxicité aquatique (m3)	4 792 782.82	342 798 506.86	2 105 510.27	612 924.92	330 309 724.87
Toxicité humaine (kg)	4 888.26	266 146.22	1 960.67	256.43	273 251.57
Production d'ozone photochimique (kg C2H4)	1 608.86	54 042.25	171.57	231.85	56 054.54
Odeur (Mm3)	383.59	225 220.67	199.91	21.02	225 825.19

Abstract

The aim of this work is to develop a method for assessing the environmental quality of the hotel-type tourist building by quantifying the environmental impacts it generates on the environment.

Specifically, our methodology is based on the application of an environmental assessment component that is illustrated through Life Cycle Assessment (LCA), which assesses the environmental impacts of a product Harvesting of natural resources to the treatment of ultimate waste; To this end, we will develop and apply a methodology to link energy analysis to environmental analysis. This alliance will be based on the quantification of indicators associated with themes related to the environmental impacts generated by the building in question Using thermal, energy and stroke simulation tools, as well as qualitative themes related to comfort quality. This method will require, on the other hand, a delimitation and a modeling of the building system. Moreover, by applying the latter, we will study the influence of the components of the building on its energy and environmental balance, which will allow us to know on which Points should be taken to improve these balances and result in an eco-conceptual variant generating the minimum of impacts.

Our method opens the way for designers concerned about their environment and the future of tourism to design ecologically a hotel building whose environmental impacts have been reduced to the maximum and this from the upstream phases of the project, its fluidity is a decision-making aid for the Actors in all sectors by allowing them to evaluate or compare different alternatives of a project in order to determine the most appropriate alternative to the complex notion of sustainable development.

Key words: LCA Indicators; Simulation; Impacts; Evaluation; Environment; Multi criteria analysis; Building.

ملخص

الغرض من هذا العمل هو وضع منهجية لتقييم نوعية البيئة لبناية سياحية من نوع فندق سياحي من خلال تقدير الأثار البيئية الناتجة عن هذا الأخير على البيئة.

على وجه التحديد، يستند أسلوبنا على تنفيذ عنصر التقييم البيئي الذي يتضح من خلال تحليل تقييم دورة الحياة لتقييم الأثار البيئية للمنتج من حصاد الموارد الطبيعية الى معالجة النفايات المتبقية؛ تحقيقا لهذه الغاية، سوف نقوم بتطوير وتنفيذ طريقة تضمن وجود صلة بين تحليل الطاقة والتحليل البيئي، سيتم بناء هذا التحالف على القياس الكمي للمؤشرات المرتبطة للموضوعات المتعلقة بالآثار البيئية الناتجة عن البناء باستخدام أدوات المحاكاة الحرارية، والطاقة، و تقييم دورة الحياة ولكن أيضا على القضايا النوعية المتعلقة بنوعية الراحة. هذه الطريقة سوف تتطلب ترسيم والنموذجة في بناء النظام و من جهة أخرى، سوف ندرس تأثير مكونات البناء في مجال الطاقة والتوازن البيئي مم يتيح لنا أن نعرف كيف يجب أن نتدخل لتحسين الطاقة و التوازن البيئي للمبنى الفندقي ويؤدي بعد ذلك إلى البديل ذو الأثار الأدنى على البيئة.

اسلوبنا هذا يمهد الطريق للمصممين المعنيين بالبيئة وبمستقبل السياحة في تصميم بيئي لمبنى فندقي الذي له الأثار الأدنى على البيئة وذلك من المراحل الأولى للمشروع، سيولة هذه المنهجية تسمح بدعم القرار للجهات الفاعلة في البناء في جميع القطاعات، والسماح لهم لتقييم أو مقارنة البدائل المختلفة للمشروع لتحديد البديل الأنسب للمفهوم المعقد للتنمية المستدامة.

الكلمات الرئيسية: تحليل دورة الحياة؛ المؤشرات؛ المحاكاة؛ الأثار؛ التقييم؛ البيئة؛ تحليل المعايير المتعددة؛ المبنى

RESUME

L'objet de ce travail est l'élaboration d'une méthode visant l'évaluation de la qualité environnementale du bâtiment touristique type hôtelier à travers une quantification des impacts environnementaux générés par ce dernier sur l'environnement.

Plus précisément, notre méthode est basée sur l'application d'une composante de l'évaluation environnementale qui s'illustre à travers l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) qui permet d'évaluer les impacts environnementaux d'un produit depuis le prélèvement des ressources naturelles jusqu'au traitement des déchets ultimes ; pour cette fin, nous élaborerons et appliquerons une méthode nous permettant d'assurer un lien entre une analyse énergétique et une analyse environnementale, cette alliance se basera sur la quantification d'indicateurs associés à des thèmes liés aux impacts environnementaux générés par le bâtiment en question à l'aide d'outils de simulation thermique, énergétique et d'ACV mais également à des thèmes qualitatifs afférents à la qualité de confort. Cette méthode nécessitera d'autre part une délimitation et une modélisation du système bâtiment, en outre, par l'application de cette dernière, nous étudierons l'influence des composants du bâtiment sur son bilan énergétique et environnemental ce qui nous permettra de savoir sur quels points faudrait-il intervenir afin d'améliorer ces bilans et aboutir suite à cela à une variante éco-conceptuel générant le minimum d'impacts.

Notre méthode ouvre la voie aux concepteurs soucieux de leur environnement et du devenir du tourisme pour concevoir écologiquement un bâtiment hôtelier dont les impacts environnementaux ont été réduits au maximum et cela dès les phases amonts du projet, sa fluidité constitue une aide à la décision pour les acteurs du bâtiment, tous secteurs confondus, en leur permettant d'évaluer ou de comparer différentes alternatives d'un projet afin de déterminer l'alternative la mieux appropriée à la notion complexe de développement durable.

Mots clés : ACV ; Indicateurs ; Simulation ; Impacts ; Évaluation ; Environnement ; Analyse multi critères ; Bâtiment.