

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à **Université 8 Mai 1945 de Guelma.**

Faculté des Sciences et de la Technologie.

Département d'**Architecture.**

Spécialité : **Architecture.**

Option : Architecture, Environnement et Technologie

Présenté par : **KIRATI Amal**

**Titre : L'intégration d'énergie solaire dans les centres de
loisir scientifique**

Sous la direction de: **DECHAICHA Assoul**

MEDDOUR Larbi

Septembre 2020

Dédicace

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail à :

À l'âme de ma chère grand-mère, disparue trop tôt,

Qui m'a été toujours source d'inspiration et de motivation dans toute ma vie.

Je ne saurais exprimer mon grand chagrin en ton absence, j'aurais aimé que tu sois à mes côtés ce jour. Que dieu le tout puissant l'accueille en son vaste paradis.

...

A ma très chère mère

Quoi que je fasse ou je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affectation me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

...

A mon très cher père

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.

Que ce travail traduit mes gratitude et mes affections.

...

A mon frère unique

Pour ses encouragements

...

A tous mes amis (e)... ainsi qu'à toute ma promo en leur souhaitant un avenir très brillant.

...

Je dédie ce travail aux personnes les plus chères à mon cœur

Remerciement

A l'occasion de ma soutenance, je tiens à remercier vivement DIEU, le tout puissant qui a éclairé mon chemin, et pour la patience, la volonté, la santé et la force qu'il m'a donné afin de réaliser ce travail.

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma reconnaissance au directeur de ce mémoire, Monsieur DECHAICHA Assoul, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Mes remerciements les plus élogieux vont à Monsieur MEDDOUR Larbi pour son soutien et son encadrement scientifique qui m'ont été bénéfiques pour mener à bien ce travail.

J'ai été extrêmement sensible à ses qualités humaines d'écoute et de compréhension tout au long de mon parcours de recherche, je les remercie pour avoir suivi avec autant de rigueur et de sympathie ce travail et de m'avoir formé à tous les aspects des métiers de la recherche.

Mes sincères remerciements et profonde gratitude vont au tous les enseignants du département d'architecture de GUELMA sans oublier ceux qui m'ont formé pendant toutes mes années d'études.

Un grand merci à mes parents et mon frère qui m'ont toujours encouragé, qui ont su me soutenir à chaque moment et à qui je dois tout.

Ma gratitude à mes amis, pour leurs encouragements et discussions très intéressantes au cours de l'élaboration de ce travail, avec qui j'ai partagé des belles années à l'université.

Mes gratitudes sont aussi destinées à tous ce qui a participé de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Résumé

Le bilan environnemental constaté ces dernières décennies signal une croissance destructrice et alarmante, menaçant les écosystèmes de notre planète. Il signale un constat alarmant : dégradation de l'environnement, épuisement des ressources naturelles, pollution ascendant, etc. Des conséquences néfastes à l'échelle planétaire telle que le réchauffement climatique et les risques environnementaux ont amené l'humanité à s'inquiéter de plus en plus sur l'avenir environnemental de notre planète. Ces enjeux portent sur une question essentielle : l'énergie.

Cette croissance est, essentiellement, due à la consommation excessive d'énergie qui s'appuie principalement sur les énergies fossiles. Sa surexploitation massive est entrain de conduire à l'épuisement de ces réserves constituant des réelles menaces à l'environnement, ce qui nous amène à réfléchir à d'autres énergies abondamment disponibles. Dans ce contexte, le développement et l'intégration des énergies renouvelables sont devenus incontournables dans tout processus de production notamment le cadre bâti.

Dans une optique plus écologique, les alternatives de durabilité nécessitent d'une part, la réduction de la consommation énergétique et à profiter, d'autre part, des énergies primaires dites renouvelables telles que : l'énergie solaire qui, évidemment, se manifeste comme alternative assez privilégiée de par son abondance en Algérie. L'architecture écologique, à ce propos, trouve sa pertinence dans l'intégration de cette énergie dans de le processus de conception architecturale.

À travers cette étude, nous essayerons de mettre en évidence l'importance de l'énergie solaire dans la construction, en essayant d'étudier les différents dispositifs conceptuels des panneaux solaires à mettre en œuvre dans le processus de la conception architecturale écologique pour assurer un avenir énergétique sain et durable. Nous tenterons d'examiner ce choix énergétique en s'appuyant sur la simulation architecturale comme outils méthodologique d'évaluation et d'estimation. D'après les modelés étudiés, les résultats ont montré que les panneaux photovoltaïques peuvent répondre aux besoins thermiques et énergétiques avec un rondement favorable.

Mots Clés : Environnement, architecture écologique, énergie solaire, panneaux solaires, efficacité énergétique.

Abstract

The environmental record observed in recent decades signals destructive and alarming growth, threatening the ecosystems of our planet. He points to an alarming observation: degradation of the environment, exhaustion of natural resources, rising pollution, etc. Harmful consequences on a global scale such as global warming and environmental risks have caused humanity to worry more and more about the environmental future of our planet. These issues relate to an essential question: energy.

This growth is mainly due to the excessive consumption of energy which relies mainly on fossil fuels. Its massive overexploitation is leading to the depletion of these reserves constituting real threats to the environment, which leads us to think about other energies abundantly available. In this context, the development and integration of renewable energies have become essential in any production process, especially the built environment.

From a more ecological point of view, the alternatives of sustainability require on the one hand, the reduction of energy consumption and to take advantage, on the other hand, of the so-called renewable primary energies such as: solar energy which, obviously, manifests itself as a fairly privileged alternative due to its abundance in Algeria. Ecological architecture, in this regard, finds its relevance in the integration of this energy in the process of architectural design.

Through this study, we will try to highlight the importance of solar energy in construction, trying to study the different conceptual devices of solar panels to be implemented in the process of ecological architectural design to ensure a healthy and sustainable energy future. We will try to examine this energy choice by relying on architectural simulation as methodological tools for evaluation and estimation. According to the models studied, the results have shown that photovoltaic panels can meet thermal and energy needs with a favorable rounding.

Keywords : Environment, ecological architecture, solar energy, solar panels, energy efficiency.

ملخص

يشير السجل البيئي الذي لوحظ في العقود الأخيرة إلى نمو مدمر ومقلق ، مما يهدد النظم البيئية لكوكبنا. و ألمح الى وضعية مثيرة للقلق : التدهور البيئي واستنزاف الموارد الطبيعية وارتفاع نسبة التلوث...الخ. جلبت عواقب وخيمة على نطاق عالمي مثل ظاهرة الاحتباس الحراري والمخاطر البيئية مما دفع بالإنسانية للقلق أكثر وأكثر عن المستقبل البيئي لكوكبنا وتتعلق هذه الظواهر بقضية اساسية : الطاقة.

ويرجع هذا النمو بشكل أساسي إلى الاستهلاك المفرط للطاقة الذي يعتمد بشكل أساسي على الوقود الأحفوري الذي يؤدي استغلالها المفرط إلى استنزاف هذه الاحتياطيات التي تشكل تهديدات حقيقية للبيئة ، مما يقودنا إلى التفكير في الطاقات الأخرى المتاحة بكثرة. في هذا السياق ، أصبح تطوير ودمج الطاقات المتجددة أمرًا ضروريًا في أي عملية الإنتاج ، وخاصة البيئة المبنية.

من وجهة نظر أكثر إيكولوجيا ، تتطلب بدائل الاستدامة من جهة ، الحد من استهلاك الطاقة والاستفادة ، من ناحية أخرى ، من ما يسمى الطاقات الأولية المتجددة مثل: الطاقة الشمسية التي ، من الواضح ، تتجلى على أنها بديل مميز إلى حد ما بسبب وفرته في الجزائر. الهندسة المعمارية البيئية في هذا الصدد تجد أهميتها في دمج هذه الطاقة في عملية التصميم المعماري.

من خلال هذه الدراسة ، سنحاول تسليط الضوء على أهمية الطاقة الشمسية في البناء ، في محاولة لدراسة الأجهزة المفاهيمية المختلفة للألواح الشمسية التي سيتم تنفيذها في عملية التصميم المعماري البيئي لضمان مستقبل الطاقة الصحية والمستدامة. سنحاول دراسة هذا الاختيار الطاقوي باستخدام المحاكاة المعمارية كأدوات منهجية للتقييم والتقدير. وفقًا للنماذج التي تمت دراستها ، فقد أظهرت النتائج أن ألواح الخلايا الشمسية تستطيع ان تلبى الاحتياجات الحرارية والطاقية مع مردود ملائم.

الكلمات المفتاحية: البيئة ، العمارة البيئية، الطاقة الشمسية، الألواح الشمسية ، كفاءة الطاقة.

SOMMAIRE

Dédicace	1
Remerciement	3
Résumé	4
LISTE DE FIGURES	13
LISTE DES TABLEAUX	17
Introduction générale	18
Problématique	19
Hypothèse	20
Objectifs	20
Méthodologie et structure de mémoire	20
Chapitre I : les enjeux environnementaux et énergétiques	22
Introduction	22
I.1 Généralité sur l'environnement	22
I.1.1 Environnement	22
I.1.2 Ecologie	22
I.1.3 Ecosystème	23
I.1.4 Biotope	23
I.2 Les préoccupations d'environnement	23
I.2.1 La pollution	23
I.2.1.1 Origines des polluants et principaux éléments	24
I.2.1.2 Effets de la pollution sur l'environnement	27
I.2.2 Effets de serre et réchauffement climatique	30
I.2.2.1 L'effet de serre	30
I.2.2.1.1 Les principaux gaz à effet de serre	31
I.2.2.1.2 Emissions des gaz à effets de serre	31
I.2.2.1.3 Sources des GES	32
I.2.2.1.4 Bilan des émissions des gaz à effet de serre en Algérie	33

SOMMAIRE

I.2.2.2 Réchauffement climatique.....	33
I.2.2.2.1 Définition du réchauffement climatique	33
I.2.2.2.2 Les causes du réchauffement climatique	34
I.2.2.2.3 Les conséquences du réchauffement climatique.....	34
I.2.3 La dégradation de la couche d’ozone.....	35
I.2.3.1 les causes de la dégradation de la couche d’ozone.....	36
I.2.3.3 La destruction de la couche d’ozone	36
I.2.3.4 Le réchauffement climatique et la perte d’ozone	36
I.3 Le changement climatique	37
I.3.1 Résultats de quelques conférences sur les changements climatiques	37
I.4 De l’énergie fossile aux énergies renouvelables.....	37
I.4.1 Qu’est-ce que l’énergie fossile.....	38
I.4.1.1 La surexploitation des ressources fossiles	38
I.4.1.2 Différents types d’énergies fossiles.....	38
I.4.1.3 La consommation mondiale d’énergie	39
I.4.1.4 La consommation énergétique dans l’Algérie	40
I.4.2 Les énergies renouvelables	42
I.4.2.1 Les différents types d’énergies renouvelables.....	42
I.4.2.1.1 L’énergie solaire	42
I.4.2.1.2 L’énergie éolienne	43
I.4.2.1.3 L’énergie hydraulique.....	43
I.4.2.1.4 L’énergie géothermique.....	44
I.4.2.1.5 L’énergie de la biomasse	44
I.5 L’énergie solaire : Un avenir énergétique durable.....	45
I.5.1 Le soleil.....	45
I.5.2 L’énergie solaire en Algérie : potentiel énergétique inépuisable.....	45
I.5.3 Potentiel solaire en Algérie	46
Conclusion.....	46

SOMMAIRE

Chapitre II : L'architecture solaire comme alternative écologique ... 47

Introduction	47
II.1.L'architecture solaire comme alternative écologique.....	47
II.1.1. Définition de l'architecture solaire	47
II.1.2 Le principe de l'architecture solaire	48
II.1.3 Les formes de l'énergie solaire	48
II.1.3.1 Energie solaire passive	48
II.1.3.1.1 La conception bioclimatique	49
II.1.3.1.2 L'isolation thermique	53
II.1.3.1.3 L'inertie thermique	54
II.1.3.1.4 La ventilation naturelle.....	55
II.1.4 La conception solaire : éléments et démarches.....	61
II.1.4.1 La Conception solaire	61
II.1.4.2 Démarche d'intégration.....	61
II.1.4.3 Types de conception des panneaux solaires.....	61
II.1.4.4 Intégration des capteurs solaire dans le bâtiment.....	62
II.1.4.4.1 Les capteurs en toiture inclinée	62
II.1.4.4.2 Les capteurs en toiture terrasse.....	64
II.1.4.4.3 Les capteurs en façades	64
II.1.4.4.4 Les capteurs sur paroi verticale	66
II.1.4.4.5 Les Capteurs au sol.....	67
II.1.4.5. Les principaux avantages de l'intégration des systèmes solaires.....	68
II.1.4.6. Les limites de l'intégration des systèmes solaires.....	69
II.2. Efficacité énergétique des bâtiments	69
II.2.1. Définition des concepts.....	69
II.2.1.1. Efficacité énergétique.....	69
II.2.1.2. Performance énergétique.....	70

SOMMAIRE

II.2.1.3. Pas de performance énergétique sans efficacité énergétique	70
II.2.2. Mesures d'efficacité énergétique	70
II.2.2.1. Les mesures d'efficacité énergétique actives	71
II.2.3. Conditions d'efficacité énergétique	72
II.2.3.1 Course et masque solaire	72
II.2.3.2 Conditions de performance	72
II.3. Exemples d'architecture solaire intégrant des systèmes solaires passifs et actifs	73
Conclusion.....	76
Chapitre III : Simulation architecturale : recherche méthodologique 77	
Introduction	77
III.1. La simulation en architecture	77
III.1.1. Définition de la simulation	77
III.1.2 Objectifs de la simulation	77
III.1.3. Méthodes de simulation.....	78
III.1.3.1. Méthode de simulation du Confort thermique	78
III.1.3.2 Climat, données et analyse.....	78
III.1.3.3 Accès solaire, ombrages	79
III.1.3.4 Eclairage naturel / artificiel.....	79
III.2. Simulation thermique : chauffage / climatisation	79
III.2.1.1. Description du logiciel.....	80
III.2.1.2. But du logiciel TRNSYS	80
III.2.1.3. Fonctionnement	81
III.2.1.4. objectifs.....	82
III.2.1.5 Déroulement de la simulation	83
III.2.1.6. Avantages du logiciel TRNSYS	83
III.2.1.7. Limites du logiciel TRNSYS	83
III.3. Cas d'étude et application	84

SOMMAIRE

Conclusion.....	95
Chapitre IV : projet d'intervention : Analyse, programmation et intervention.....	96
Introduction.....	96
IV.1. Analyse de site d'intervention	96
IV. 1.1 Motivation de choix	96
IV.2 Présentation de la ville	96
IV.2.1 Situation géographique de la ville de Guelma	96
IV.2.2.1 le climat de la ville de Guelma	97
IV.2.2.2 Températures	98
IV.2.2.3 précipitation.....	99
IV.2.2.4 Vitesse de vents	99
IV.2.2.5 La rose des vents.....	100
IV.2.2.6 Insolation	101
IV.2.2.7 Diagramme ombrothermique de Guelma	101
IV.2.2.8 Diagramme solaire de Guelma	102
IV.2.3 Analyse bioclimatique de la ville de Guelma.....	103
IV.2.3.1 Application de la méthode de S. Szokolay	103
IV.2.3.2 Les tables de Mahoney	104
IV.1.3 Analyse de site	105
IV.1.3.1 Présentation et délimitation de terrain	105
IV.1.3.2 Analyse physique du site	106
IV.1.3.2.1 tissu urbain	106
IV.1.3.2.2 Morphologie.....	107
IV.1.3.2.3 Le profil topographique	107
IV.1.3.2.4 Accessibilité.....	108
IV.1.3.3 Analyse microclimatique du terrain.....	108
IV.1.3.3.1 Ensoleillements	108

SOMMAIRE

IV.1.3.3.2 Vents dominants.....	109
IV.3.5 Synthèse et critères de choix	110
IV.2 Les centres de loisir scientifique : approche théorique.....	111
Introduction.....	111
IV.2.1 Définition du CLS	111
IV.2.2 Historique	112
IV.2.3 Les valeurs d'un CLS.....	112
IV.2.4 Les CLS en Algérie	112
IV.3 Analyse des exemples	114
IV.3.1 Exemple 01: Connecticut Science Center	114
IV.3.2 Exemple 02: Centre de loisirs de Magnanville	125
IV.3.3 Exemple 03: Centre de loisirs scientifique de Jijel	130
IV.4 Programmation.....	136
IV.4.1 Objectifs de la programmation.....	136
IV.4.2. programme retenu	136
Synthèse et recommandations	138
IV.5 Genèse et démarche de projet	138
IV.5.1 Objectifs	138
IV.5.2 Principes à suivre	138
IV.5.3 Schéma de principe	139
Conclusion générale	144
Bibliographie	146

TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DE FIGURES

Figure 1: la pollution atmosphérique.	24
Figure 2: Les origines des polluants.	25
Figure 3: Nécroses dues à l'ozone sur une famille de tabac.....	28
Figure 4: Les enjeux environnementaux.....	30
Figure 5: Le phénomène de l'effet de serre.....	31
Figure 6: La consommation d'énergie finale par produit en Algérie (MEM,2012).	40
Figure 7: Consommation énergétique finale en Algérie par secteur d'activité 2012.	41
Figure 8: l'énergie solaire.....	42
Figure 9: L'énergie éolienne.	43
Figure 10: L'énergie hydraulique.....	44
Figure 11: Schéma de principe de fonctionnement de l'énergie géométrique.	44
Figure 12: Le soleil.....	45
Figure 13: Exemple d'analyse de site en fonction du climat.....	49
Figure 14: L'orientation par rapport à la course de soleil.	50
Figure 15: Schéma d'organisation des espaces intérieures	52
Figure 16: La surface des ouvertures en fonction des façades.	53
Figure 17: L'effet de la masse thermique.....	55
Figure 18: Schéma représente la ventilation transversale.....	56
Figure 19: La ventilation unilatérale.....	57
Figure 20: La ventilation par effet de cheminée.....	58
Figure 21: Représentation schématique des quatre principes du chauffage solaire passif.	58
Figure 22: Mur trombe de la bibliothèque des sciences de l'université de Versailles. ...	60
Figure 23: Installation du capteur sur une toiture de faible inclinaison.....	62
Figure 24: Installation du capteur sur une toiture à forte inclinaison.	63
Figure 25: Installation du capteur sur un volume du bâtiment.	63
Figure 26: Installation des capteurs solaires sur une toiture terrasse.....	64
Figure 27: Intégration des capteurs en façade.	65
Figure 28: Intégration des capteurs solaires sur les gardes corps.	66
Figure 29: intégration des capteurs solaires sur les allèges.	66
Figure 30: Intégration des capteurs solaires en avant et brise soleil sur les ouvertures..	67
Figure 31: Intégration des capteurs solaires à la toiture d'une véranda ou de la serre....	67
Figure 32: Installation des capteurs solaires sur le sol.....	68

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 33: influence du masque solaire.	72
Figure 34: Le rendement des capteurs solaires en référence de l'échelle de performance énergétique.....	72
Figure 35: Logement collectifs, immeuble Mill'o.	73
Figure 36: 20 logements sociaux rue des ordeaux.....	74
Figure 37: Maison Philippe Buffard.	74
Figure 38: Laboratoire d'énergie Xelios, Italie.	75
Figure 39: siège social Grau, Allemagne.....	75
Figure 40: Logiciel des données météorologiques	78
Figure 41: Logiciel ECOTECH de simulation d'éclairage naturel.....	79
Figure 42: Interface du TRYNSYS studio simulation.....	81
Figure 43: Plan de situation du cas d'étude. Source: Google Earth.	84
Figure 44: plan de masse. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M.....	84
Figure 45: Donnée climatique de Guelma. A-Ensoleillement ; B- Température ; C- Précipitations	85
Figure 46: Plan RDC. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M.	86
Figure 47: Plan 1er étage. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M.	86
Figure 48: Plan 2ème étage. Source: Bureau d'étude C.E.T.A.M.....	86
Figure 49: La façade principale. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M.....	87
Figure 50: Interface de simulation. Source: TRNSYS.	88
Figure 51: Liaison entre éléments de projet. Source TRNSYS.	88
Figure 52: Temps de simulations. Source TRNSYS.	89
Figure 53: Résultat de simulation (Graph). Source TRNSYS.	89
Figure 54: Résultats de simulation (Calcul). Source: TRNSYS.	89
Figure 55: Classification de la salle RDC.....	90
Figure 56: Résultats de simulations (calcul). Source: TRNSYS.	91
Figure 57: Classification de la salle de 1er étage.....	91
Figure 58: Résultats de simulation (Calcul). Source: TRNSYS.	93
Figure 59: Classification de la salle de 2ème étage.	93
Figure 60: Caractéristique du panneau solaire utilisé. Source: Condor Electronics.....	94
Figure 61: La situation géographique de la ville de Guelma.....	97
Figure 62: La classification du climat de la ville de Guelma.	98
Figure 63: Graph des variations des températures mensuelles en 2016.	98
Figure 64: Graph de variations des précipitations mensuelles en 2016.....	99

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 65: Graph de variation de vitesse des vents mensuelle.	99
Figure 66: La rose du vent dans les 4 saisons de la wilaya de Guelma (Météonorm 7 + Climat).	100
Figure 67: Variation de durée d'insolation mensuelle.	101
Figure 68: Le digramme ombrothermique de Guelma.	101
Figure 69: Le diagramme frontal de Guelma.	102
Figure 70: Le diagramme polaire de Guelma montrant la zone de surchauffe.	103
Figure 71: Le diagramme psychrométrique de Guelma.	104
Figure 72: situation du terrain. Source : Google Earth.	105
Figure 73: la situation du pos sud.	105
Figure 74: la situation du terrain par rapport au pos sud.	106
Figure 75: Le tissu urbain du terrain. Source: Google Earth réadapté par l'auteur.	106
Figure 76: forme et surface du terrain. Source : Google Earth réadapté par l'auteur.	107
Figure 77: coupe topographique du terrain. Source : Google Earth.	107
Figure 78: accessibilité de terrain. Source : Google Earth réadapté auteur.	108
Figure 79: La course solaire pendant les 3 sollicités (21 décembre, 21 mars, 21 juin).	108
Figure 80: étude d'ensoleillement pendant les 3 sollicités par le logiciel Ecotect.	109
Figure 81: La direction des vents dominants.	109
Figure 82: vue d'extérieur du Connecticut Science Center.	114
Figure 83: carte et vue aérienne avec la situation de Connecticut aux Etats-Unis.	114
Figure 84: photo aérienne du projet avec les équipements éducatifs.	115
Figure 85: photo aérienne avec l'esplanade et l'amphithéâtre a côté du fleuve.	115
Figure 86: plan de masse du Connecticut Science Center.	116
Figure 87: vue de l'angle avant et après l'implantation du projet.	116
Figure 88: photo aérienne avec la relation entre le centre et le parc urbain.	117
Figure 89: photo aérienne présente l'orientation du Connecticut Science Center.	117
Figure 90: 3D du parking public sous le bâtiment du Connecticut Science Center.	118
Figure 91: vue aérienne avec les différents accès piéton du projet.	118
Figure 92: photo du projet avec les deux ponts piétons.	119
Figure 93: photo présente les 03 blocs du bâtiment.	120
Figure 94: vue du volume du Connecticut Science Center avec le toit jardin.	120
Figure 95: vue du toit en forme de S et du volume ajouté.	121
Figure 96: La façade Ouest (façade principale) et la façade ouest du projet.	121
Figure 97: La façade sud du projet.	122

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 98: principe d'organisation des plans. Source : auteur.....	123
Figure 99: plan du parking.....	123
Figure 100: présentation des plans du RDC et 1 er étage.....	124
Figure 101: présentations des plans de 2eme et 3eme étage.....	124
Figure 102: vue du toit en S au cours d'exécution.....	125
Figure 103: vue d'extérieur du centre de loisirs de Magnanville.....	126
Figure 104: la situation du France et du Magnanville.....	126
Figure 105: vue aérienne présente l'axe de séparation et les zones.....	127
Figure 106: environnement immédiat du projet.....	127
Figure 107: le plan de masse du projet.....	128
Figure 108: volumétrie du bâtiment.....	129
Figure 109: les façades.....	129
Figure 110: organisation du RDC.....	130
Figure 111: situation du CLS.....	131
Figure 112: vue aérienne du terrain du projet et ses limites, Source : Google Earth. ..	131
Figure 113: Plan de masse.....	132
Figure 114: Vue aérienne du terrain du projet avec l'orientation.....	132
Figure 115: 3D du projet.....	133
Figure 116: Les façades.....	133
Figure 117: Le plan de sous-sol.....	134
Figure 118: plan RDC.....	134
Figure 119: plan 1er étage.....	135
Figure 120: recommandation schématisé par auteur.....	135
Figure 121: Schéma indiquant les principaux accès Source : auteur.....	139
Figure 122: Schéma indiquant les axes principaux. Source : auteur.....	140
Figure 123: la disposition des blocs.....	141
Figure 124: Schéma de principe du projet. Source: Auteur.....	141
Figure 125: La forme finale obtenue par rapport à la métaphore.....	142
Figure 126: Schéma montrant l'environnement et les différentes techniques écologiques intégrées.....	143

TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les principaux polluants, ENCARTA 2010.	27
Tableau 2: Taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie du pays.	46
Tableau 3: Hauteur et azimut du soleil (Guelma).	102

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

«L'architecture est fatalement climatique, il n'y a architecture que lorsqu'il y a contraintes. Le climat en est une à laquelle on n'échappe pas »¹.

La consommation énergétique constitue une préoccupation majeure omniprésente dans les débats professionnels et scientifiques. À l'échelle mondiale, elle est devenue de plus en plus un souci inquiétant autant pour la communauté scientifique que politique.

La surexploitation massive des énergies fossiles est entrain de conduire à l'épuisement de ces réserves constituant réelles menaces à l'environnement, ce qui nous amène à réfléchir à d'autres énergies abondamment disponibles et qui constitue un potentiel dépassant la demande en la matière.

Alors, il est nécessaires de promouvoir les énergies renouvelables sous toutes leurs formes, les gouvernements de l'environnement ont encouragé et accéléré le développement d'une architecture solaire de haute qualité, comme son nom l'indique, porte à la fois sur les qualités architecturales du bâtiment et sur l'intégration du solaire visant une haute performance énergétique.

L'architecture écologique cherche fondamentalement de réduire la demande énergétique et par conséquent les émissions de gaz à effet de serre. À ce propos, l'intégration de l'énergie solaire dans le processus architecturale permet de produire un cadre bâti mieux adapté aux tendances écologique, qui cherchent une meilleure relation entre les trois composantes de l'environnement : l'homme (utilisateur ou producteur), l'environnement et le climat.

L'architecte, le premier acteur de la ville, est appelé à être inscrit dans toute approche environnementale et toute action interviennent sur le cadre bâti en valorisant la conception solaire entant que choix énergétique écologique.

Alors, nous essaierons de développer l'apport des facteurs climatiques, sur une conception architecturale « scientifique », en respectant ses exigences, et potentialité.

¹ Pierre Lavigne, « Concevoir des bâtiments bioclimatiques », le moniteur, 2009.

Problématique

Le bilan environnemental enregistré durant les dernières décennies signale un constat alarmant : dégradation de l'environnement, épuisement des ressources naturelles, pollution ascendant...etc. Alors que la question énergétique devient de plus en plus un enjeu majeur et s'impose comme problématique basée sur la dégradation de l'environnement et les effets négatifs sur notre biosphère. Ces enjeux portent sur une question essentielle : l'énergie qui occupe actuellement une place centrale dans toute démarche du développement économique et humain à toutes les échelles nationales et mondiales.

Un tel engagement consiste inévitablement à réduire d'une part la consommation énergétique et à profiter d'autre part des énergies renouvelables telles que l'énergie solaire qui est disponible à tous les niveaux du globe terrestre².

L'énergie solaire en Algérie est une source abondante car elle est l'un des plus importants gisements d'énergie solaire au monde avec une durée d'insolation de 2.000 à 3.900 heures par an, et une irradiation journalière de 3.000 à 6.000 Wh/M²³, mais elle n'est pas vulgarisée. Cependant, l'État algérien s'est engagé à développer des méthodes économiques et écologiques, considérons le cas d'un système de production énergétique plus respectueux de la nature et devenir un leader en la production de l'énergie solaire.

Comment mettre en valeur l'efficacité de l'énergie solaire dans le processus de la production architecturale, étant une source énergétique renouvelable en Algérie ?

La ville de Guelma possède une grande capacité de jeunesse, touristique, culturelle et scientifique grâce à ses équipements, parmi eux nous avons les centres de loisirs scientifiques qui reçoivent un nombre important d'utilisateurs (enfant et adultes) offrent une occasion de créer un pont entre la population et la culture d'une manière motivante. Cette catégorie d'équipements est généralement considérés comme énergivore⁴.

² Émilie. Bouffard, '*Conception de bâtiments solaires : méthodes et outils des architectes dans les phases initiales de conception*' thèse de magister de l'université de LAVAL, Québec Canada, 2013.

³ <https://www.algerie-eco.com/energie-solaire-lalgerie-enfin-determinee-a-exploiter-son-enorme-potentiel/> consulté le 09/11/2019.

⁴ Chergui et Benhamza, '*conception bioclimatique d'un centre de loisir scientifique au sein d'un éco quartier à Ghardaia*' mémoire fin d'étude de l'université Saad Dahlab de Blida, 2018-2019.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Alors, la question principale qui s'impose est la suivante :

Comment mettre en œuvre une démarche de performance et d'efficacité énergétique dans le processus de conception architecturale des centres de loisir scientifique, particulièrement à Guelma ?

Hypothèse

Ce constat nous amène à:

- L'énergie solaire peut constituer un élément conceptuel dans le processus de la production architecturale.
- L'efficacité énergétique peut être assurée en adaptant une démarche solaire dans la conception des CLS, à Guelma.

Objectifs

Notre travail se situe dans le contexte d'intégrer l'énergie solaire dans le processus de la conception de centre de loisir scientifique et minimiser la consommation énergétique à travers l'énergie solaire.

Les objectifs de ce travail sont :

- valorisation de l'énergie solaire comme une solution stratégique pour développer une conception architecturale futuriste plus adaptée à son environnement.
- Montrer l'importance de l'intégration des énergies renouvelables afin de s'inscrire dans une vision écologique du projet architectural à Guelma
- Lancer une dynamique de loisir scientifique et culturelle rendant la ville de Guelma plus attractive.

Méthodologie et structure de mémoire

Après une analyse conceptuelle développée dans la partie théorique, nous avons adopté une méthodologie en s'appuyant sur les outils technologiques offerts par la simulation architecturale tant qu'outil d'aide à la conception et à l'évaluation énergétique sur ces deux volets : évaluation thermique et énergétique.

Notre mémoire est structuré en deux parties : partie théorique et partie pratique.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La première partie théorique consiste à une analyse conceptuelle des différents concepts clés énoncés dans l'hypothèse. Généralement, cette étude est structurée en quatre chapitres comme suit :

- Le Premier chapitre, est une revue bibliographique concernant les aspects généraux des concepts clés concernant notre thème de recherche, ainsi un aperçu sur l'impact de l'énergie primaire et leurs conséquences sur le changement climatique et la transition énergétique vers les énergies renouvelable notamment l'énergie solaire en Algérie.
- Le deuxième chapitre, rassemble des généralités sur l'architecture solaire et son intégration dans le projet architecturale.
- Le troisième chapitre, est consacré pour la partie pratique dont nous faisons une simulation, proposant des solutions d'architecture solaire pour les intégrer dans notre programme.
- Le quatrième chapitre, il s'agit d'une analyse pour les centres de loisirs scientifiques.

Il est à noter que les chapitres comme ils commencent par des petites introductions, ils finissent aussi par des conclusions intermédiaires et à la fin du document, une conclusion générale sur ce travail est donnée et des perspectives de développement et de travaux futurs sont dégagées.

Chapitre I : les enjeux environnementaux et énergétiques

Introduction

La production de l'énergie sous toutes formes occupe de nos jours les débats économiques et politiques ; le recours aux énergies primaires dans le domaine de l'architecture a pour but de répondre au besoin de ses occupants, donc il nous paraît important d'exhiber dans ce chapitre, les définitions des notions ayant un rapport avec l'énergie et l'architecture à savoir l'énergie fossile, énergie renouvelable, énergie solaire...

I.1 Généralité sur l'environnement

I.1.1 Environnement

Le terme environnement est polysémique, c'est-à-dire qu'il accepte différents sens :

- D'après le dictionnaire l'environnement est défini comme : « Ensemble, à un moment donné, des agents physiques, chimiques et biologiques et des facteurs sociaux susceptibles d'avoir un effet direct ou indirect, immédiat ou à terme, sur les organismes vivants et les activités humaines »⁵.

- D'une façon plus générale, l'environnement est constitué de "*l'ensemble des éléments qui, dans la complexité de leurs relations, constitue le cadre, le milieu, les conditions de vie pour l'homme*" (Pierre George, 1980).

L'environnement désigne l'ensemble des conditions naturelles ou artificielles (physiques, chimiques et biologiques) et culturelles (sociologiques) dans lesquelles les organismes vivants se développent (dont l'homme, les espèces animales et végétales)⁶.

I.1.2 Ecologie

Terme provenant du grec "Oikos" et qui signifie maison (sciences de l'habitat) et logos qui signifie discours. Il s'agit donc de la science des conditions d'existence et des interactions entre les organismes et leur environnement.

⁵ Vocabulaire de l'environnement Hachette. (1972). Paris. P48

⁶ Dictionnaire environnement et développement durable, [En ligne]

http://www.dictionnaireenvironnement.com/environnement_ID1045.html. Consulté le 07 décembre 2019

Félix Guattari considérait l'écologie comme une méthode pour comprendre la société, transversalement à nos systèmes d'interprétation habituels, afin d'assurer la qualité des relations entre l'homme et son environnement.

I.1.3 Ecosystème

Un écosystème est un système au sein duquel il existe des échanges cycliques de matières et d'énergie, dus aux interactions entre les différents organismes présents (biocénose) et leur environnement (biotope). Un écosystème est une unité écologique fonctionnelle formée par le biotope et la biocénose, en constante interaction⁷.

I.1.4 Biotope

Un biotope désigne une aire géographique caractérisée par des conditions climatiques et physicochimiques homogènes permettant l'existence d'une faune et d'une flore spécifiques.

Un biotope désigne une aire géographique de dimensions variables, souvent très petites, offrant des conditions constantes ou cycliques aux espèces constituant la biocénose. L'ensemble des facteurs physiques et chimiques de l'environnement reste sensiblement constant⁸.

I.2 Les préoccupations d'environnement

Parmi les aspects les plus dangereux de la crise environnementale, on cite :

I.2.1 La pollution

La pollution de l'atmosphère peut être vue comme une présence dans l'air, d'un ajout d'agents chimiques, biologiques ou physiques ayant des conséquences préjudiciables à la santé humaine, aux êtres vivants, au climat, ou aux biens matériels. Ces polluants proviennent des activités humaines ou de la nature⁹.

⁷ Ibid

⁸ Ibid

⁹ <http://www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/la-pollution-de-l-air-c-est-quoi-a11001.html> consulté le 01.12.2019.



Figure 1: la pollution atmosphérique.

Source : site web

Selon la Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie de 1996, la pollution atmosphérique, ou pollution de l'air, est définie comme : "l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives"¹⁰.

I.2.1.1 Origines des polluants et principaux éléments

De nos jours, les principales causes de pollution de l'environnement proviennent en premier lieu de la production et de l'utilisation des diverses sources d'énergie, puis des activités industrielles et de façon paradoxale mais néanmoins importante, de l'agriculture¹¹.

On distingue les polluants naturels et les polluants générés par les activités humaines. Ils ont un impact sur notre environnement et sur notre santé :

a. Origine naturelle

- zones humides.
- éruptions volcaniques.
- particules et substances émises par les végétaux.
- remise en suspension et transport de particules par le vent.

¹⁰ Dictionnaire environnement et développement durable. [En ligne] <http://www.dictionnaireenvironnement.com>. Consulté le 06.12.2019.

¹¹ <https://www.universalis.fr/encyclopedie/pollution/3-les-principales-causes-de-pollution/> consulté le 06.12.2019.

CHAPITRE I

b. Activités humaines

- agriculture.
- transports.
- déchets.
- activités industrielles.
- chauffage¹².

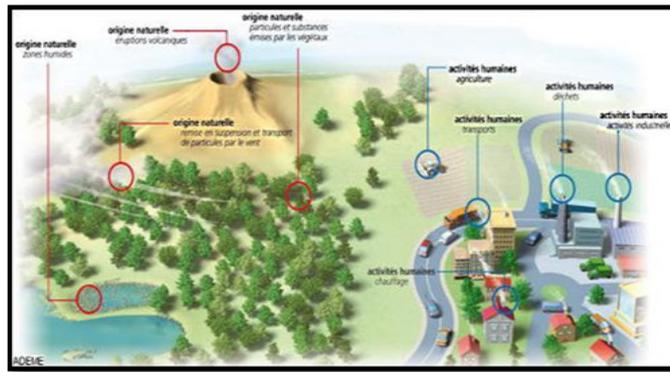


Figure 2: Les origines des polluants.

Source : site web

c. Les Principaux polluants

polluants	origine	observation	Impact sur environnement
Oxydes d'azote (NOX) ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}^2$)	Toutes combustions à hautes températures de combustibles fossiles (charbon, fioul, essence.....)le monoxyde d'azote (NO) rejeté par les pots d'échappement s'oxyde dans l'air et se	Doses admissibles : 100mg/m3sur une année pour le NO^2 , réagit avec les hydrocarbures et la lumière pour former des	- Rôle de précurseur dans la formation d'ozone dans la basse atmosphère. - Contribuent aux pluies acides qui affectent les végétaux et les sols. - Contribuent à la

¹² <https://www.mtaterre.fr/dossiers/pourquoi-notre-air-est-il-pollue/polluants-leurs-origines> consulté le 06.12.2019.

CHAPITRE I

	transforme en dioxyde d'azote (NO ₂) qui est à 90% un polluant « secondaire ».	oxydants photochimiques.	concentration de nitrates dans les sols.
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et composés organiques volatils (COV).	Combustions incomplètes, utilisation de solvants (peintures, colles) et de dégraissants, produits de nettoyage, remplissage de réservoirs automobiles, de citernes....	Réagit avec les oxydes d'azote et la lumière pour former des oxydants photochimiques.	- Précurseurs dans la formation de l'ozone. - Précurseurs d'autres sous-produits à caractère oxydant (PAN, acide nitrique, aldéhydes..;)
Ozone (O ₃)	Polluant secondaire, produit dans l'atmosphère sous l'effet du rayonnement solaire par des réactions complexes entre certains polluants primaires (Nox, CO, COV) et principal indicateur de l'intensité de la pollution photochimique).	Doses admissibles : 235 mg/ m ³ en 1h.	- Néocroses sur les feuilles et les aiguilles d'arbres forestiers. - Oxydation de matériaux (caoutchoucs, textiles...). - Contribue à l'effet de serre
Particules ou poussières en suspension (PM)	Combustions industrielles ou domestiques, transport routier diesel, origines naturelle (volcanisme, érosion...)	Doses admissibles : 75mg/m ³ sur une année, 260 mg/m ³ en 24h.	- Contribuent aux salissures des bâtiments et des monuments.
Dioxyde de soufre (SO ₂)	Combustions de combustibles fossiles (fioul, charbon, lignite,		- Contribue aux pluies acides qui affectent les végétaux et les sols.

CHAPITRE I

	gazole....) contenant du soufre. La nature émet aussi des produits soufrés (volcans).		- Dégrade la pierre (cristaux de gypse et croutes noires de micro particules cimentées).
Monoxyde de carbone (CO)	Combustions incomplètes (gaz, charbon, fioul ou bois), dues à des installations mal réglées (chauffage domestique) et provenant principalement des gaz d'échappement des véhicules.	Nocif pour la santé à des concentrations de plus de 5000 ppm pendant plus de 2h.	- Participe aux mécanismes de formation d'Ozone. - Se transforme en gaz carbonique CO ₂ et contribue ainsi à l'effet de serre.
Métaux lourds Plomb (Pb), mercure (Hg), arsenic (As), cadmium(Cd) nickel (Ni)	Proviennent de la combustion des charbons, pétroles, ordures ménagères mais aussi de certains procédés industriels (production du cristal, métallurgie, fabrication de batteries électriques). Plomb: principalement émis par le trafic automobile jusqu'à l'interdiction totale de l'essence plombée	Doses admissibles : 1.5mg/m ³ sur 3 mois.	- Contamination des sols et des aliments. - S'accumulent dans les organismes vivants dont ils perturbent l'équilibre biologique.

Tableau 1: Les principaux polluants, ENCARTA 2010.

I.2.1.2 Effets de la pollution sur l'environnement

Les êtres humains ne sont pas les seuls à être touchés par la pollution de l'air. Les plantes, les animaux et les bâtiments peuvent également subir les répercussions de

CHAPITRE I

la pollution atmosphérique. Les effets de la pollution atmosphérique sur l'environnement peuvent se ressentir à différentes échelles géographiques :

- **Au niveau local**

Altérations des écosystèmes

De manière aiguë ou chronique, les polluants atmosphériques ont de lourds impacts sur les cultures et les écosystèmes.

De manière ponctuelle, par exemple lors des forts épisodes de pollution à l'ozone, des nécroses ou des tâches apparaissent sur les feuilles des arbres.

Sur une période d'exposition prolongée à l'ozone, un affaiblissement des organismes et un fort ralentissement de la croissance sont observés, et à terme cela impacte le rendement des cultures agricoles.

Les polluants peuvent également parcourir des distances importantes et atteindre des écosystèmes sensibles. Sous l'effet des oxydes d'azote (NO_x) et du dioxyde de soufre (SO_2), les pluies, neiges, brouillards deviennent plus acides et altèrent les sols et les cours d'eau (perte des éléments minéraux nutritifs). Ces apports engendrent un déséquilibre de l'écosystème. Cette transformation du milieu se traduit en général par un appauvrissement de la biodiversité puis par la perturbation du fonctionnement général des écosystèmes.

La pollution de l'air affecte également la faune : déclin de certaines populations pollinisatrices, difficultés de certaines espèces à se reproduire ou à se nourrir. Elle modifie la physiologie des organismes, l'anatomie et les caractéristiques du biotope et des populations.



Figure 3: Nécroses dues à l'ozone sur une famille de tabac. Source : APPA Nord-Pas de Calais

▪ Impact sur les matériaux

Les processus naturels d'altération des murs et des bâtiments sont essentiellement dus aux conditions climatiques (variations de températures, humidité...) mais aussi à l'action des êtres vivants (bactéries, champignons, lichens...).

Les pierres utilisées pour la construction des monuments sont principalement des calcaires dont on connaît la réactivité aux agents atmosphériques. L'observation des façades ou des statues montrent un noircissement réparti de façon non uniforme dû au dépôt de particules en suspension. Les particules polluantes voient leur origine dans la combustion partielle des carburants fossiles, du bois, ainsi que des déchets.

▪ Au niveau global

Les polluants atmosphériques n'ont pas uniquement des effets négatifs sur l'homme et l'environnement, mais influencent aussi directement ou indirectement le climat.

Deux phénomènes principaux de pollution ont été mis en évidence à cette échelle :

- ✓ **Le « trou dans la couche d'ozone »** : la destruction de l'ozone stratosphérique est due à l'action de certains composés chimiques à base de chlore et de brome, tels que les chlorofluorocarbones (CFC) ou le bromure de méthyle (CH₃Br), résultant des activités humaines. Des mesures sont prises afin de réduire les émissions de telles substances dans l'air comme l'arrêt total de la production de CFC depuis 1994 (protocole de Montréal).
- ✓ **Le réchauffement ou dérèglement climatique** dû à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre (GES). Au cours du XXe siècle, un réchauffement général de la planète de + 0,5°C a été observé. Si ce phénomène persiste et s'amplifie, le réchauffement de la planète pourrait entraîner la fonte totale des glaciers et une élévation du niveau moyen des mers¹³.

¹³ <https://www.atmo-nouvelleaquitaine.org/article/les-effets-de-la-pollution-de-lair-sur-lenvironnement> consulté le 08.12.2019.



Figure 4: Les enjeux environnementaux

Source : <https://www.atmo-nouvelleaquitaine.org/>

I.2.2 Effets de serre et réchauffement climatique

I.2.2.1 L'effet de serre

L'effet de serre est originellement un phénomène naturel qui vise à résorber le rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre et maintenu sous forme de chaleur dans la partie inférieure de l'atmosphère. Avec la surabondance de gaz à effet de serre, ce phénomène fragile tend à transformer la Terre en véritable étuve.

Effet de serre : un phénomène naturel vital à notre condition de vie sur Terre

La planète Terre s'alimente en énergie grâce au soleil. De cette énergie, une partie est absorbée par l'atmosphère et par la terre, renvoyant l'autre partie au-delà de l'atmosphère. Pour maintenir la Terre à une température stable et vivable pour l'ensemble des écosystèmes et des espèces, il existe un phénomène naturel appelé l'effet de serre.

Depuis l'atmosphère, il se forme une barrière naturelle due aux gaz à effet de serre : la troposphère, empêchant les rayonnements infrarouges d'être rejetés dans l'espace. Sans ce phénomène, la température de la planète atteindrait les températures moyennes de -19 °C au lieu des actuels 15 °C. Il est donc vital et essentiel pour nos conditions de vie sur la Terre.

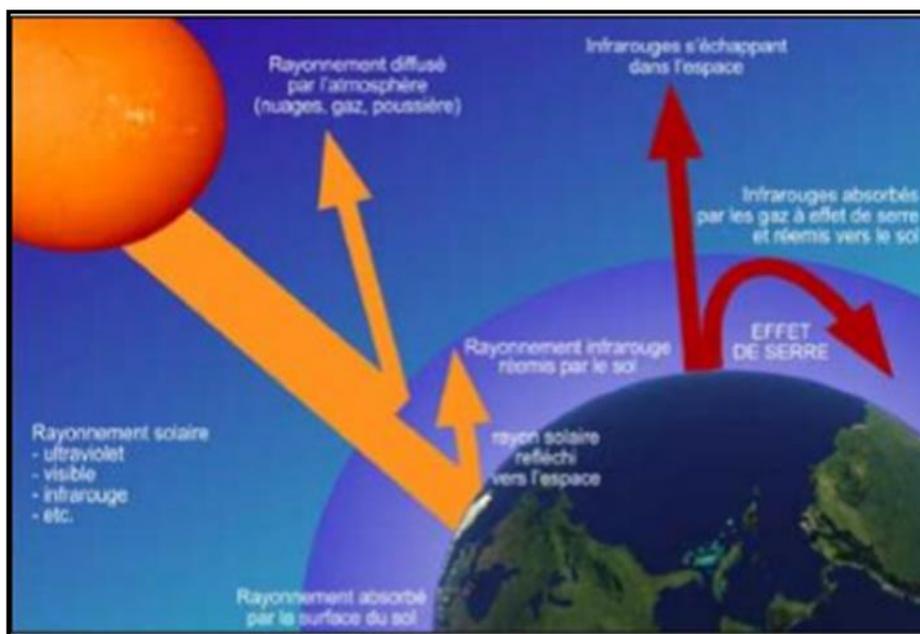


Figure 5: Le phénomène de l'effet de serre.

Source : Guide en ligne ‘ ‘ Changement climatique et énergie ‘ ‘ de quoi parle-t-on ?

I.2.2.1.1 Les principaux gaz à effet de serre

Naturellement présents dans l'atmosphère, les gaz à effet de serre sont nombreux, mais seuls quelques-uns participent activement à résorber les rayonnements infrarouges depuis la troposphère. Parmi ceux-là, la vapeur d'eau est la plus importante : elle représenterait à elle seule près de 70 % de ce phénomène naturel. On trouve ensuite le dioxyde de carbone (le CO₂), généré notamment par les éruptions volcaniques ou les feux de forêt. Certes moins concentré, il y a également le méthane, plus puissant que le CO₂. Celui-ci se forme par les processus naturels de fermentation (digestion des ruminants, marécages, etc.). Enfin, on trouve l'ozone qui protège aussi du rayonnement solaire ultraviolet (UV)¹⁴.

I.2.2.1.2 Emissions des gaz à effets de serre

Les émissions de gaz à effet de serre (CO₂) : produites par oxydation du carbone dans la combustion du gaz, du charbon, du bois, et du pétrole sont liées à la consommation d'énergie. L'accroissement de la concentration des gaz à effet de serre est source d'un effet de serre additionnel qui provoque le réchauffement climatique.

¹⁴ <https://www.geo.fr/environnement/quest-ce-que-leffet-de-serre-193565> consulté le 08.12.2019.

CHAPITRE I

Principalement l'utilisation d'énergies fossiles telles que le charbon, le pétrole et le gaz naturel, qui ont provoqué l'émission de tout ce CO₂¹⁵.

I.2.2.1.3 Sources des GES

Les émissions de GES sont générées principalement par :

- les activités dans les secteurs de l'énergie, des transports, de l'industrie, de l'agriculture et du bâtiment, qui ont recours pour la plupart à la combustion d'hydrocarbures.
- **Le transport**, première source d'émissions de gaz à effet de serre. Le secteur est responsable de 26 % des émissions de CO₂. Le transport routier est à l'origine de 91 % des rejets.
- **L'agriculture**, à l'origine de 21 % des émissions. Les activités agricoles rejettent principalement du protoxyde d'azote, lié à la fertilisation azotée, et du méthane, en raison notamment des déjections animales. « Il faut noter que les estimations d'émissions pour ces deux gaz présentent de fortes incertitudes ».
- **L'industrie**, en troisième position avec 20 % des émissions. Le secteur émet majoritairement du dioxyde de carbone mais aussi du protoxyde d'azote.
- **L'habitat**, autre source importante d'émissions de gaz à effet de serre. Aussi appelé secteur résidentiel-tertiaire, il est responsable de 19 % des émissions, essentiellement de dioxyde de carbone, venant des installations de chauffage, de production d'eau chaude et de climatisation¹⁶.
 - ✓ Les émissions ont augmenté d'environ 70% entre 1970 et 2004.
 - ✓ Le dioxyde de carbone (CO₂) étant la principale source, a augmenté de 80% dans la même période.
 - ✓ La majeure partie de la hausse d'émissions de CO₂ provient l'approvisionnement en énergie et du transport routier.
 - ✓ Les émissions de méthane (CH₄) ont augmenté d'environ 40% par rapport à 1970, dont 85% proviennent de l'utilisation des combustibles fossiles.
 - ✓ L'agriculture reste cependant la plus grande source d'émissions de méthane.

¹⁵ Inter- governmental Panel on Climate Change, IPCC. <http://www.ipcc.ch/> consulté le 08.12.2019.

¹⁶ <https://www.la-croix.com/Actualite/France/Les-sources-d-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre- NG - 2011-06-23-666929>

I.2.2.1.4 Bilan des émissions des gaz à effet de serre en Algérie

Le CO₂ est le principal gaz à effet de serre puisqu'il représente plus de 80% des émissions totales. En 2007, Les émissions dues à la combustion de l'énergie s'élèvent à 46 Millions de Tonnes de CO₂ ; Soit 3, 235 TCO₂ /TEP Le secteur des transports est le premier responsable à hauteur de 52 % des rejets de gaz à effet de serre, liés à l'utilisation massive de produits pétroliers, notamment le gasoil. A hauteur de 20 %, le secteur résidentiel occupe le second poste le plus émetteur des rejets nationaux ; l'utilisation du gaz naturel par les ménages étant à l'origine d'une grande partie de ces émissions. Le secteur de l'industrie est un émetteur également important de 17 % dans le bilan des émissions de GES, les fortes consommations de gaz naturel étant à l'origine d'une grande partie de ces rejets. Tandis que les secteurs faiblement consommateurs d'énergie se trouvent être également les secteurs les moins émetteurs en GES notamment l'agriculture et le tertiaire.

Les chiffres d'émission de CO₂ de l'électricité d'origine fossile est entre 400 g et plus de 800 g par kWh selon les technologies, sans même compter les émissions liées à l'installation initiale des centrales électriques. En Algérie la valeur moyenne est de 608 g/KWh [10]. La durée de vie de certains gaz à effet de serre dans l'atmosphère est considérable, notamment le gaz carbonique, le méthane et le peroxyde d'azote.

I.2.2.2 Réchauffement climatique

I.2.2.2.1 Définition du réchauffement climatique

Le terme "réchauffement climatique" désigne le phénomène d'élévation de la température moyenne mesurée à la surface de la terre. Il n'est constaté avec certitude par la communauté scientifique que depuis le début des années 1980. Le réchauffement climatique est dû à l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, conséquence des activités humaines modernes (transport, industries, élevage...). Il se traduit par un dérèglement du climat à l'échelle mondiale, dont les conséquences sont déjà visibles (hausse du niveau des océans, sécheresses, températures extrêmes...) ¹⁷.

Le réchauffement climatique apparaît comme une menace majeure pour le monde. Les activités humaines dans les villes se traduisent également par des émissions importantes de gaz à effet de serre. D'après le 4ème rapport du GIEC (Groupe d'Experts

¹⁷ <https://www.geo.fr/environnement/rechauffement-climatique-44094> consulté le 09.12.2019.

CHAPITRE I

Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat), ces émissions seraient pour la plupart responsables de l'augmentation de la température de la planète.

« Ce réchauffement est provoqué par l'accroissement progressif des concentrations des gaz à effet de serre présente dans l'atmosphère tel que le CO₂ qui provient principalement de la combustion d'énergie fossile, associée au transport, à la production d'électricité et se chaleur, le Méthane CH₄ qui provient des activités gazières et pétrolières, ainsi que d'autre gaz qui contribuent à ce réchauffement climatique »¹⁸.

I.2.2.2.2 Les causes du réchauffement climatique

L'Homme est à l'origine du réchauffement climatique :

- Les transports utilisant du pétrole rejettent du dioxyde de carbone (exemple : voitures, camions, avions . . .)
- Les usines peuvent rejeter des gaz 7000 fois plus puissant que le dioxyde de carbone.
- Les constructions des maisons en béton et le chauffage au fuel ou gaz rejettent du dioxyde de carbone dans l'air.
- Dans les élevages les vaches qui ruminent et les déjections des animaux rejettent un gaz à effet de serre, le méthane
- Dans les champs les engrais laissent échapper du protoxyde d'azote (un gaz à effet de serre)
- Pour pousser les arbres captent du dioxyde de carbone dans l'air mais quand il brûle ou pourrit, ce gaz est libéré dans l'atmosphère.
- Ceux-là qui utilisent du charbon et du pétrole sont les principales causes du réchauffement climatique car ils émettent des gaz à effet de serre comme du dioxyde de carbone (Co₂) dans l'atmosphère¹⁹.

I.2.2.2.3 Les conséquences du réchauffement climatique

Les plus importantes conséquences du réchauffement climatique sont :

¹⁸ Mohamed Tayeb AOUDIA, Gaz à effet de serre et réchauffement climatique, Equilibre : La lettre de la commission de régulation de l'électricité et de gaz, numéro spécial, environnement et développement durable, N°5 ; Mai 2009, P4

¹⁹ <https://sitetab2.ac-reims.fr/clg-tinqueux/-spip-/Les-causes-du-rechauffement-climatique.html> consulté le 12.12.2019.

- ✓ Les fontes des glaces seront accélérées elles provoqueront la montée des eaux donc certains rivages, petites îles, plusieurs villes ou même petits pays seront inondés.
- ✓ La météo sera perturbée il y aura de plus en plus d'ouragans, de pluies abondantes, des inondations et aussi de grosses perturbations atmosphériques
- ✓ La sécheresse sera dramatique, car il y aura moins de nourritures et moins d'eau potable, ce qui pourrait provoquer des guerres.
- ✓ Si la terre se réchauffe, de nombreuses espèces disparaîtront car de nombreuses espèces ne sauront pas comment s'adapter au réchauffement climatique (l'ours polaire serait le plus touché car il vit sur la banquise qui fait)²⁰.

I.2.3 La dégradation de la couche d'ozone

L'ozone (O₃), est une forme chimique particulière de l'oxygène (composée de trois atomes), très instable et réactive. Elle est produite par des molécules d'oxygène (O₂) qui sont envoyées par les ultraviolets (uv). La couche d'ozone représente schématiquement la partie de l'atmosphère où sa concentration est la plus élevée : la stratosphère. Elle est indispensable à l'être humain car elle est en fait une sorte de filtre naturel pour l'homme et sa perte engendrerait de sérieux problèmes. Sans la couche d'ozone, la vie n'aurait été possible que dans les océans, à une distance suffisante de la surface de l'eau. Selon la façon dont l'ozone est placé dans l'atmosphère, il peut protéger la vie ou lui nuire : près de la terre, dans la troposphère, l'ozone est un polluant dangereux pour l'homme, les végétaux et les matériaux, lors que dans la stratosphère il a un rôle protecteur, il nous protège des rayons ultraviolets nocifs du soleil²¹.

L'ozone (O₃) est présent dans l'atmosphère terrestre en quantité limitée, avec un maximum de concentration entre 15 et 50 km d'altitude. Cette molécule y joue un rôle essentiel en filtrant les rayons solaires ultraviolets dont les effets sur les êtres vivants peuvent être nocifs. L'influence des activités humaines sur la couche d'ozone stratosphérique s'est manifestée dès le début des années 1980, principalement au-dessus de l'Antarctique, où une baisse significative de la quantité totale d'ozone a été observée

²⁰ Ibid. Les documents viennent de la revue Images doc n° 324 « Pourquoi la Terre se réchauffe-t-elle ? »
Le groupe de Charles

²¹ <http://www2.ac-lyon.fr/etab/lycees/lyc-69/bernard/spip.php?article262> consulté le 12.12.2019.

CHAPITRE I

chaque printemps (ce que l'on nomme communément le «trou dans la couche d'ozone»)²².

I.2.3.1 les causes de la dégradation de la couche d'ozone

La dégradation de la couche d'ozone est provoquée par des gaz, principalement par :

- Les CFC (chlorofluorocarbones) qui se trouvent dans:
 - ✓ les bombes aérosols.
 - ✓ Les gaz des congélateurs et des climatiseurs.
 - ✓ Les extincteurs d'incendie.
 - ✓ Les solvants utilisés pour nettoyer les appareils électroniques,
 - ✓ Les mousses plastiques (verres de mousse, emballages, etc.)²³.

I.2.3.2 les conséquences de la dégradation de la couche d'ozone

La dégradation de la couche d'ozone provoque:

- ✓ Une diminution de la qualité des cultures.
- ✓ Une mauvaise croissance des plantes.
- ✓ La mort des animaux et végétaux aquatiques.
- ✓ Le cancer de la peau.
- ✓ Des maladies d'yeux (cataractes)²⁴.

I.2.3.3 La destruction de la couche d'ozone

La destruction met en jeu deux réactions chimiques, l'une transforme l'oxyde de chlore ClO en atome de chlore Cl qui ultérieurement détruit l'ozone, mais en restituant l'oxyde ClO, ce qui permet au cycle de recommencer un grand nombre de fois. Le chlore joue ainsi un rôle de catalyseur et une très faible quantité de ClO peut détruire un grand nombre de molécules d'ozone, à condition d'être en présence d'oxygène atomique, ce qui est le cas grâce à la décomposition de l'ozone par l'ultraviolet solaire²⁵.

I.2.3.4 Le réchauffement climatique et la perte d'ozone

Le réchauffement provoqué par les SAO et le refroidissement associé à la perte d'ozone est deux mécanismes distincts qui ne se compensent pas simplement l'un

²² MAHIEU, E. 2006. avec la collaboration de Pascal THEATE et Vincent BRAHY, dossier scientifique, AIR2 La destruction de la couche d'ozone, , chapitre 9 : L'air et le climat P1

²³ <http://ci.chm-cbd.net/links/sensibilisation-environnementale/file030161> consulté le 12.12.2019.

²⁴ Ibid

²⁵ Dossier: le climat et la couche d'ozone. Marie Lise Chanin. Publié le 11/10/2007

l'autre. La répartition spatiale et saisonnière de l'effet de refroidissement n'est pas celle de l'effet de réchauffement. Selon les résultats d'un nombre limité d'études de modélisation du climat mondial et d'analyses statistiques, l'appauvrissement de la couche d'ozone pourrait modifier les configurations de la variabilité du climat qui influent sur la circulation troposphérique et sur les températures dans les deux hémisphères. Toutefois, les changements observés dans ces configurations ne peuvent être attribués hors de tout doute à la déperdition d'ozone²⁶.

I.3 Le changement climatique

Le changement climatique correspond à une modification durable des paramètres statiques du climat global de la terre ou de ses divers climats régionaux due à des processus intrinsèques à la terre, à des forces extérieures ou, plus récemment aux activités humaines. Le terme « changement climatique » dans le contexte de la politique écologique ne correspond qu'aux changements du climat actuel, apparus au 20ème siècle et attendus pour le 21ème siècle²⁷.

I.3.1 Résultats de quelques conférences sur les changements climatiques

- ✓ Conférence de Rio : les Etats prend conscience des problèmes des émissions de CO2 liées aux énergies fossiles.
- ✓ Protocole de Kyoto de 1997, signé par 184 Etats, visait la réduction des gaz à effet de serre.
- ✓ Du 30 novembre au 11 décembre 2015, s'ouvre une nouvelle conférence sur le climat à Paris, la COP21, qui doit aboutir à un accord pour réduire les GES pour limiter le réchauffement climatique. Afin de réduire les GES dus aux énergies fossiles les Etats doivent engager leur transition énergétique²⁸.

I.4 De l'énergie fossile aux énergies renouvelables

L'Homme a développé de plus en plus de technologies au fil du temps (les voitures, le train, le chauffage individuel, les usines ...), pour toutes ces innovations il faut de l'énergie pour les faire fonctionner. L'énergie que l'on utilise provient principalement de la nature, soit elle est considérée comme une énergie fossile (pétrole,

²⁶ Rapport spécial du GIEC et du GETE, Préservation de la couche d'ozone et du système climatique planétaire: Questions relatives aux hydrofluorocarbures et aux hydrocarbures perfluorés, 2005, P4

²⁷ Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 5e rapport d'évaluation (2007).

²⁸ GIEC, (2008). Changements Climatiques. Rapport de Synthèse. [En ligne] www.ipcc.ch.

charbon, gaz, houille), soit comme une énergie renouvelable (électricité à partir de l'eau, du soleil, du vent...).

La consommation des énergies primaires fossiles est aujourd'hui beaucoup plus importante que celle des énergies renouvelables, même si la disponibilité prévisible de ces énergies tend à diminuer²⁹.

I.4.1 Qu'est-ce que l'énergie fossile

Énergie fossile désigne l'énergie produite à partir de composés issus de la décomposition sédimentaire des matières organiques, c'est à dire principalement composés de carbone. Une source d'énergie qui se dégrade dans le processus de production et d'utilisation et qui ne se régénère pas, ou qui se renouvelle selon un cycle relativement lent à l'échelle humaine³⁰.

I.4.1.1 La surexploitation des ressources fossiles

La consommation d'énergie non renouvelable est indispensable à l'économie. Elle varie en fonction du taux d'équipement (véhicules, chauffage/climatisation, appareils électroménagers, appareils électroniques). À l'échelle mondiale, selon L'AIE (Agence Internationale de l'Énergie) l'industrie consomme 29% des énergies primaires, le transport 27% et le résidentiel 23 %. Ainsi plus un pays est développé plus il consomme d'énergies³¹.

I.4.1.2 Différents types d'énergies fossiles

- **Le charbon** : à l'avantage d'être assez bien réparti sur la planète et se trouve en très grande quantité. Parmi ces principaux inconvénients, il y a son coût d'exploitation très élevé et la pollution qu'il génère.
- **Le pétrole** : à l'instar du charbon, est disponible presque partout sur le globe, son rendement énergétique est très important, il permet de produire un grand nombre de produits dérivés (plastique, engrais, gaz méthane et propane, essence, etc.) dont l'humanité ne peut pas encore se passer. Parmi ces inconvénients majeurs, on peut citer le fait qu'il soit très polluant (pour l'exploitation et l'utilisation), que son prix ne cesse d'augmenter et qu'il soit à l'origine de nombreux conflits à travers le monde.

²⁹ <https://www.brevetdescolleges.fr/docs/e4157004ba3da42e8c7df22289f71fa1-energie-fossile-et-renouvelable-svt-3eme.pdf> consulté le 12.12.2019.

³⁰ Dictionnaire de l'environnement et de développement durable

³¹ <http://www.dictionnaireenvironnement.com>

³¹ Chiffres clés de l'énergie, édition 2011. SOeS – chiffres de consommation 2010

CHAPITRE I

- **Le gaz naturel** : est très facilement exploitable, il est disponible en grande quantité, ne nécessite aucune transformation pour être utilisé et ne pollue pas énormément par rapport aux autres sources d'énergies fossiles. Son principal défaut est sa dangerosité (les explosions sont fréquentes aussi bien au niveau industriel que domestique)³².

I.4.1.3 La consommation mondiale d'énergie

La consommation mondiale d'énergie continue à croître sans perspective de ralentissement dans un avenir proche. Cette tendance est motivée par différents facteurs, à la fois économiques et sociologiques :

- ✓ l'augmentation de la population mondiale, en particulier dans les pays où l'utilisation d'énergie par personne doit se développer dans l'avenir. Par exemple, aujourd'hui, plus d'un milliard de personnes n'a pas encore accès à l'électricité. Environ 40% de la population mondiale vit sous stress hydrique. Cela signifie que les besoins énergétiques vont augmenter à l'avenir, afin de permettre aux populations de bénéficier d'un meilleur niveau de vie. Ce besoin en énergie supplémentaire n'est globalement pas compensé par une diminution de la consommation d'énergie dans les pays développés. Selon l'Agence Internationale de l'Energie, la consommation moyenne d'énergie par personne a augmenté de 10% entre 1990 et 2008,
- ✓ l'urbanisation et l'industrialisation, en particulier dans les pays en développement. Cela signifie que plus d'énergie sera nécessaire pour la construction, l'industrie et le transport des personnes et des biens.

La majeure partie de l'énergie est aujourd'hui obtenue en brûlant des combustibles fossiles (environ 82% en 2012). La conséquence est l'émission de grandes quantités de CO₂ (32 milliards de tonnes en 2014), ce qui a un impact reconnu sur le changement climatique par effet de serre³³.

De plus, la croissance mondiale de la demande en électricité s'accélère (+3,5%/an actuellement contre +2,7%/an lors de la précédente décennie 1990-2000), l'agence internationale de l'énergie (AIE) estimait la part de l'électricité dans la consommation

³² <https://www.calculo.fr/Eco-travaux/Les-sources-d-energies-fossiles>. consulté le 12.12.2019.

³³ [http://fr.electrical-installation.org/frwiki/La consommation mondiale d%27%C3%A9nergie %C3%A9lectrique](http://fr.electrical-installation.org/frwiki/La_consommation_mondiale_d%27%C3%A9nergie_%C3%A9lectrique) consulté le 13.12.2019.

CHAPITRE I

finale mondiale d'énergie à 16%. Pourtant, la production de cette forme d'énergie mobilise annuellement près de 39% des ressources énergétiques primaires d'origine non renouvelable et est à l'origine de 37% des émissions anthropiques de CO₂³⁴.

I.4.1.4 La consommation énergétique dans l'Algérie

▪ Consommation par produit

La structure de la consommation finale reste dominée par les produits pétroliers (39%)

dont le transport routier représente près de 90%. La répartition de la consommation finale par

produits est donnée comme suit :

- Produits pétroliers ont augmenté de 1,5% pour atteindre 12,3 MTEP.
- Gaz naturel a augmenté de 5,3%, pour s'établir à 8,0 MTEP.
- Electricité a augmenté de 2,8% pour s'établir à 8,6 MTEP.
- GPL a baissé de 1,5% pour s'établir à 2,3 MTEP³⁵.

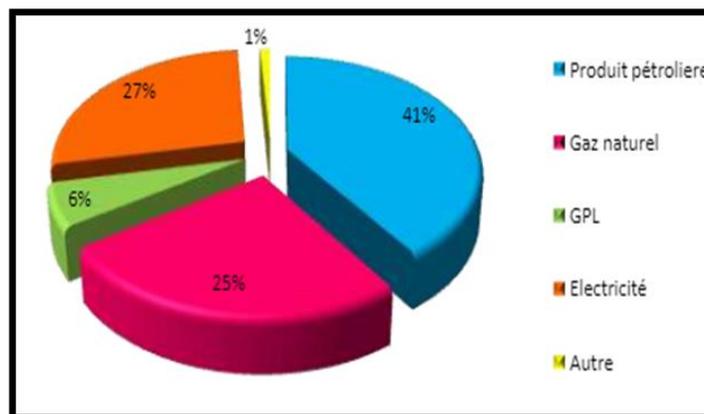


Figure 6: La consommation d'énergie finale par produit en Algérie (MEM,2012).

Source : Mémoire master professionnelle, Stratégie et développement de l'industrie gazière à l'horizon 2040, BALIOUZE Khadidja, 2014.

³⁴ Ministère de l'énergie et des mines. 2009. Conférence sur la maîtrise de l'énergie et de l'environnement dans un contexte d'économie de marche.

³⁵ <https://docplayer.fr/11548646-Strategie-et-developpement-de-l-industrie-gaziere-a-l-horizon-2040.html> consulté le 13.12.2019.

▪ Par secteur d'activité

La consommation énergétique finale par secteur d'activité est présentée par 3 secteurs en Algérie, il s'agit de l'industrie et BTP, le transport, les ménages et autres.

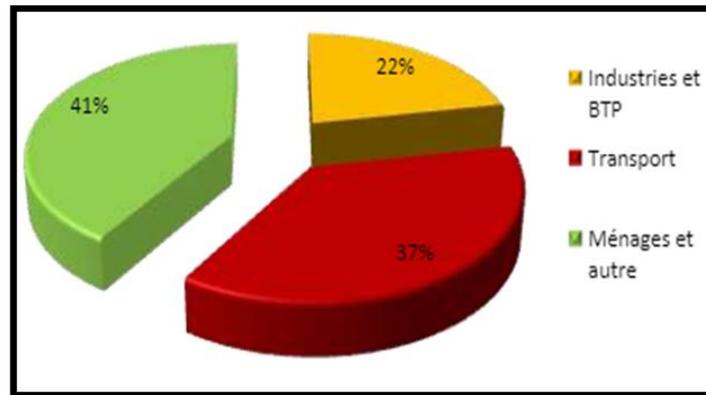


Figure 7: Consommation énergétique finale en Algérie par secteur d'activité 2012.

Source : *ibid.*

D'après la figure précédente en remarque que le secteur le plus consommateur d'énergie est le résidentiel de 41%, ensuite le transport de 37% et enfin l'industrie avec 22%³⁶.

Les différents types d'énergie dans le secteur résidentiel nous servent globalement à quatre différents usages :

- ✓ Le chauffage représente la plus forte consommation environ 60% de l'énergie domestique.
- ✓ L'éclairage et l'électroménager, l'audio-visuel et la climatisation représentent près de 20%.
- ✓ L'eau chaude sanitaire nécessaire représente près de 15%.
- ✓ La cuisson représente près de 5%.³⁷

Transiter vers les énergies renouvelables : un défi environnemental majeur.

En l'absence d'une réglementation internationale sur la limitation et la régulation de l'exploitation des hydrocarbures, d'autres solutions doivent amener à limiter l'impact néfaste des énergies fossiles. L'essentiel repose sur une stratégie de

³⁶ *Ibid.*

³⁷ CHITOUR.C, L'énergie- Les enjeux de l'an 2000, Alger : Office des Publications Universitaires OPU, 1991, p 41.

CHAPITRE I

transition écologique, qui doit comprendre une transition vers les énergies renouvelables.

I.4.2 Les énergies renouvelables

Une énergie renouvelable est une énergie qui est considérée comme telle à l'échelle de quelques générations humaines. Fournies par le soleil, le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau, les marées ou encore la croissance des végétaux, les énergies renouvelables n'engendrent pas ou peu de déchets ou d'émissions polluantes. Elles participent à la lutte contre l'effet de serre et les rejets de CO₂ dans l'atmosphère, facilitent la gestion raisonnée des ressources locales. Le caractère renouvelable d'une énergie dépend de la vitesse à laquelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est consommée. Le pétrole ainsi que tous les combustibles fossiles ne sont pas des énergies renouvelables, les ressources étant consommées à une vitesse bien supérieure à la vitesse à laquelle ces ressources sont naturellement créées³⁸.

I.4.2.1 Les différents types d'énergies renouvelables

I.4.2.1.1 L'énergie solaire

Le soleil est astre incandescent (sa température superficielle est estimée à 5 750°C) qui émet un rayonnement électromagnétique sous forme de lumière et de chaleur. Les rayons du soleil sont nécessaires pour entretenir, à la surface de la terre, les conditions de température et de lumière indispensable aux réactions biochimiques de la vie végétale et animale³⁹.



Figure 8: l'énergie solaire.

³⁸ Renewable Energy & Development. Brochure to accompany the Mobile Exhibition on Renewable Energy in Ethiopia. By Jargstorf, Benjamin. GTZ & Ethiopian Rural Energy Development and Promotion Centre (EREDPC). Addis Ababa 2004.

³⁹ Liebard, A. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique. Paris : Le moniteur. 2004

CHAPITRE I

L'énergie solaire est l'énergie transmise par le Soleil sous la forme de lumière et de chaleur. Cette énergie est virtuellement inépuisable à l'échelle des temps humains, ce qui lui vaut d'être classée parmi les énergies renouvelables.

I.4.2.1.2 L'énergie éolienne

Le principe consiste à utiliser la force propulsive du vent quand sa vitesse est supérieure à 15 Km/heure, pour faire tourner une génératrice et produire de l'électricité. Il existe deux types d'éoliennes :

- A. **Faible puissance** : pour alimenter en électricité une maison, ou une installation comme le pompage d'eau.
- B. **Grande puissance** : pour une production d'électricité pouvant atteindre 2500 à 6000 KWh, et pouvant être rattachée à un réseau de distribution.



Figure 9: L'énergie éolienne.

I.4.2.1.3 L'énergie hydraulique

L'énergie hydraulique désigne l'énergie qui provient de la force des eaux (cours d'eau et océans). Les centrales hydroélectriques ou usines marémotrices transforment l'énergie de la gravité de l'eau en énergie électrique grâce au courant de l'eau passant dans les turbines⁴⁰.

La production de l'électricité avec cette technique peut être avec multiple choix. On cite les deux principaux qui sont :

- Les turbines hydrauliques sont utilisées dans les installations hydroélectriques pour entraîner les générateurs qui produisent le courant électrique.
- Et on peut réaliser des petites turbines dans nos maisons, elle est uniquement utilisée pour fournir l'électricité nécessaire à la consommation du foyer⁴¹.

⁴⁰ https://www.dictionnaire-environnement.com/energie_hydraulique_ID939.html consulté le 14.12.2019.

⁴¹ JEAN JACQUOT, Energies renouvelables pour l'habitat, 2001



Figure 10: L'énergie hydraulique.

I.4.2.1.4 L'énergie géothermique

La chaleur du sous-sol chauffe directement l'eau ou fait tourner les turbines des centrales pour produire de l'électricité. Permet à la fois de chauffer et de rafraîchir grâce à un système de climatisation.

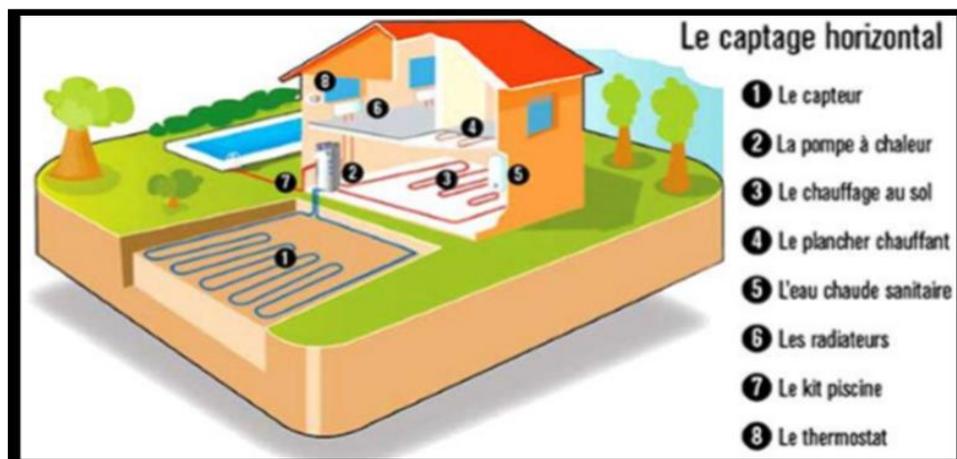


Figure 11: Schéma de principe de fonctionnement de l'énergie géométrique.

Source : PERACOD.

I.4.2.1.5 L'énergie de la biomasse

La biomasse désigne l'ensemble des matières organiques pouvant se transformer en énergie. On entend par matière organique aussi bien les matières d'origine végétale (résidus alimentaires, bois, feuilles) que celles d'origine animale (cadavres d'animaux, êtres vivants du sol).

Il existe trois formes de biomasse présentant des caractéristiques physiques très variées :

CHAPITRE I

- Les solides (ex : paille, copeaux, bûches).
- Les liquides (ex : huiles végétales, bio alcools).
- Les gazeux (ex : biogaz).

La biomasse est une réserve d'énergie considérable née de l'action du soleil grâce à la photosynthèse. Elle existe sous forme de carbone organique. Sa valorisation se fait par des procédés spécifiques selon le type de constituant.

La biomasse n'est considérée comme une source d'énergie renouvelable que si sa régénération est au moins égale à sa consommation. Ainsi, par exemple, l'utilisation du bois ne doit pas conduire à une diminution du nombre d'arbres⁴².

I.5 L'énergie solaire : Un avenir énergétique durable

I.5.1 Le soleil

Le Soleil est une grosse boule de gaz chaud tournant sur elle-même en 28 jours environ. Comme toutes les étoiles, le Soleil brille car il produit de l'énergie. C'est un gigantesque réacteur nucléaire. En son cœur, la température est de 15 millions de degrés⁴³.

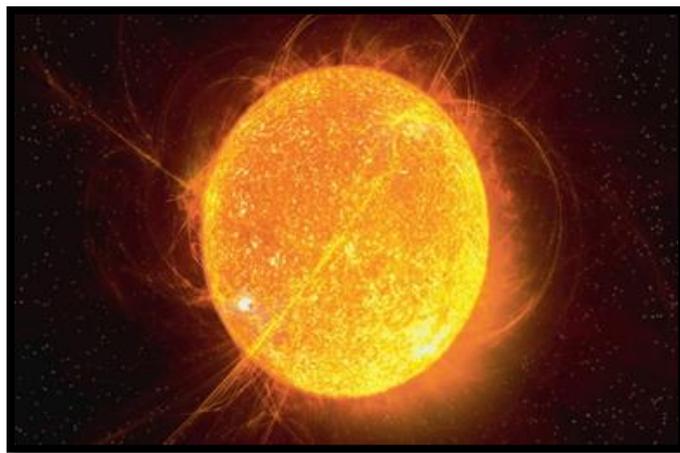


Figure 12: Le soleil.

I.5.2 L'énergie solaire en Algérie : potentiel énergétique inépuisable

L'Algérie en particulier et les pays du Maghreb ont un potentiel solaire élevé. Les taux d'irradiation solaire effectués par satellites par l'Agence Spatiale Allemande

⁴² <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/biomasse> consulté le 14.12.2019.

⁴³ <http://www.cea.fr/comprendre/Pages/matiere-univers/essentiel-sur-le-soleil.aspx> consulté le 15.12.2019.

CHAPITRE I

(DLR), montrent des niveaux d'ensoleillement exceptionnels de l'ordre de 1200 kWh/m²/an dans le Nord du Grand Sahara. Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit : 169.000 TWH/an pour le solaire thermique, 13,9 TWH/an pour le solaire photovoltaïque]. Cette énergie renouvelable présente à l'heure actuelle une réponse aux problèmes environnementaux et aux émissions de gaz à effet de serre qui menace la planète entière et une solution durable à la crise actuelle de l'énergie⁴⁴.

I.5.3 Potentiel solaire en Algérie

L'Algérie possède un gisement solaire parmi les plus élevés dans le monde, la durée moyenne d'ensoleillement dans le Sahara algérien est de 3500 heures, ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable dans cette région, s'il est exploité de manière économique, le tableau suivant indique le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie du pays⁴⁵.

Régions	Régions plateaux	Haut plateaux	sahara
Superficie	4%	10 %	86%
Durée moyenne d'ensoleillement (H/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (Kwh/m ² /an)	1700	1900	2650

Tableau 2: Taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie du pays.

Source: Journal of Scientific Research N° 0 vol. 1 (2010).

Conclusion

Nous avons vu que les problèmes environnementaux tels que la pollution, l'augmentation des GES, le changement climatique et l'épuisement des ressources naturelles risquent l'équilibre écologique de notre biosphère. Les énergies fossiles semblent un facteur aggravant cette crise environnementale et que les énergies renouvelables, notamment l'énergie solaire, sont devenues des alternatives incontournables dans toutes démarches productives.

⁴⁴ Bennouna. A ; Zejli.D ; Benchrifa. R Les Energies Renouvelables Pour un développement durable et globale CER, 2007 (CNRST).

⁴⁵ Harouadi. F et All Les potentialités d'exploitation d'hydrogène solaire en Algérie dans un cadre euromaghrébin Partie I: Phase d'étude d'opportunité et de faisabilité Revue CDER VOL 10 N 2 2007

Chapitre II : L'architecture solaire comme alternative écologique

Introduction

« L'architecture peut être comprise comme une organisation matérielle qui régule et organise les flux énergétiques ; ainsi qu'à la fois et de façon indissociable, comme une organisation énergétique qui stabilise et maintient les formes matérielles. »

Luis Fernandez Galiano,(1991).

L'Agence internationale de l'énergie (AIE) a encouragé et accéléré le développement d'une architecture solaire de haute qualité. Comme son nom l'indique, porte à la fois sur les qualités architecturales du bâtiment et sur l'intégration du solaire visant une haute performance énergétique⁴⁶.

Donc il nous paraît important de parler, dans ce chapitre, de L'architecture solaire et son intégration dans le projet architecturale, puis de définir la performance énergétique et l'efficacité énergétique dans les équipements de haute consommation énergétique.

II.1.L'architecture solaire comme alternative écologique

II.1.1. Définition de l'architecture solaire

C'est une conception des constructions en fonction du soleil⁴⁷.

L'architecture solaire est une architecture qui intègre au mieux l'exploitation de l'énergie solaire dans le bâtiment afin d'y accroître le confort des occupants ainsi que les performances environnementales (énergétiques, etc.), économique, social et des ambiances physiques architecturales (thermiques, visuelles, etc...)⁴⁸.

Elle est une architecture plus confortable et plus conviviale pour les occupants. L'architecture solaire, la conception bioclimatique, le chauffage solaire actif ou passif, sont des termes qui couvrent des choix techniques et philosophiques de construction. Ils utilisent, avec bon sens, des ressources qui sont toujours présentes dans la nature : le soleil, le vent, la végétation et la température ambiante.

⁴⁶ EIA (2011). Annual Energy Outlook, DOE/EIA-0383, 2011

⁴⁷ Dictionnaire Médiadico.

⁴⁸ Fernandez. P & Lavigne.P, Concevoir des bâtiments bioclimatiques : fondements & méthodes, Paris : Le moniteur,2009.

II.1.2 Le principe de l'architecture solaire

L'architecture solaire passive a pour but de réduire au maximum la consommation énergétique d'un bâtiment. Elle repose sur l'exploitation judicieuse des phénomènes naturels comme le climat et le rayonnement solaire⁴⁹.

II.1.3 Les formes de l'énergie solaire

L'énergie solaire peut être utilisée sous deux formes :

- ✓ Energie solaire passive qui doit tenir compte de l'énergie solaire lors de la conception architecturale utilisée directement par l'Homme pour s'éclairer (fenêtres, puits de lumière), se chauffer et cuisiner (chauffe-eau solaire, four solaire).
- ✓ Energie solaire active qui utilise des techniques développées pour interagir avec les rayonnements.

II.1.3.1 Energie solaire passive

La plus ancienne utilisation de l'énergie solaire consiste à bénéficier de l'apport direct du rayonnement solaire, c'est-à-dire l'énergie solaire passive. Pour qu'un bâtiment bénéficie au mieux des rayons du Soleil, on doit tenir compte de l'énergie solaire lors de la conception architecturale (façades doubles, orientation vers le sud, surfaces vitrées, etc.).

Dans un bâtiment solaire passif, l'apport solaire passif permet de faire des économies d'énergie importantes. Dans les bâtiments dont la conception est dite bioclimatique, l'énergie solaire passive permet aussi de chauffer tout ou partie d'un bâtiment pour un coût proportionnel quasiment nul.

- Le solaire passif s'articule autour de quatre paramètres essentiels :
 - ✓ La conception bioclimatique.
 - ✓ L'isolation thermique.
 - ✓ L'inertie thermique.
 - ✓ La ventilation naturelle⁵⁰.

⁴⁹ Lamaisonpassive.fr – Quelques informations sur la maison passive.

⁵⁰ Guide de l'énergie solaire passive. Edward Mazria, ISBN : 2863640119 .Éditeur : Parenthèses (1981).

CHAPITRE II

II.1.3.1.1 La conception bioclimatique

La conception bioclimatique d'un bâtiment passive doit respecter certaines règles essentielles. La plus importante est la situation du bâtiment. Vient alors le choix de son orientation et de sa forme. Une fois tous ces paramètres déterminés, on peut penser à son agencement intérieur et à la disposition des ouvertures.

a- Le site

Tout d'abord la situation idéale du bâtiment : sur le flanc sud d'une colline car elle y est à l'abri du vent froid du nord ; et l'ensoleillement, élément très important de l'architecture bioclimatique, y est bien meilleur. De plus, en règle générale, il est plus favorable sur le plan énergétique de construire des maisons mitoyennes que des maisons quatre façades. Une bonne disposition de la végétation alentour est également bénéfique au nord, des arbres persistants pour protéger du vent froid, au sud, des arbres caducs pour laisser passer le rayonnement solaire en hiver⁵¹.

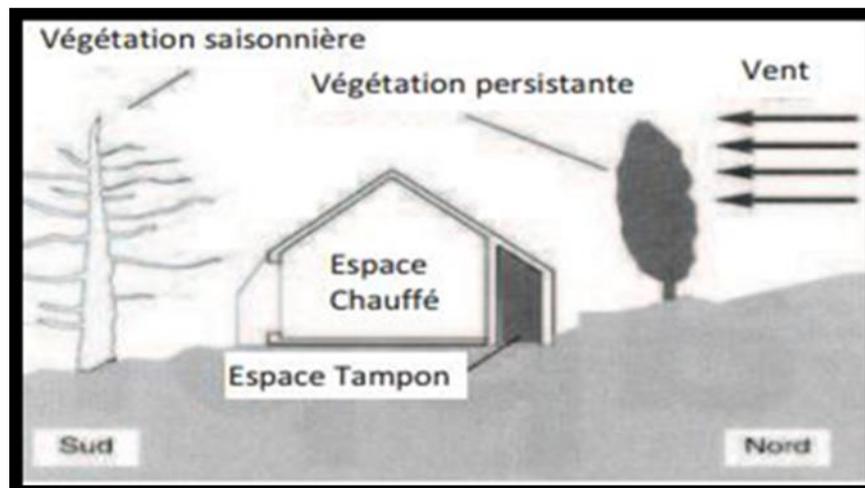


Figure 13: Exemple d'analyse de site en fonction du climat.

Source : Wikipédia Commons.

b- L'orientation

B. Givoni, place le concept de l'orientation au centre des éléments influant sur les ambiances intérieures d'un bâtiment.

Il définit, l'orientation d'un bâtiment par la direction vers laquelle sont tournées ces façades. Ce facteur est soumis à de nombreuses considérations, telles que la vue,

⁵¹ Dominique Gauzin-Muller, L'architecture écologique, le moniteur, 2001. P286.

CHAPITRE II

les déperditions possibles, l'aération et la nature du climat. En effet, l'orientation des bâtiments détermine la qualité de l'équipement en affectant son ambiance intérieure de deux manières et ce par la régulation de deux facteurs climatiques distinctes :

- Le rayonnement solaire et ses effets d'échauffement sur les murs et pièces orientées selon différentes directions ;
- La ventilation en rapport avec la direction des vents dominants et l'orientation de la construction⁵².

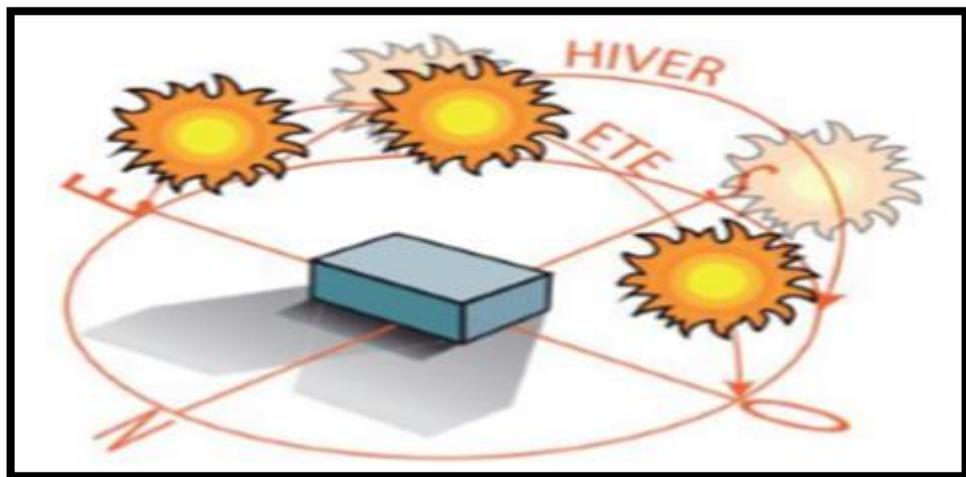


Figure 14: L'orientation par rapport à la course de soleil.

Source : guide de bioclimatique Nice.

Les paramètres importants dans le choix de l'orientation

L'orientation d'un bâtiment est fonction de sa destination :

- ✓ les besoins en lumière naturelle.
- ✓ l'intérêt d'utiliser le rayonnement solaire pour chauffer le bâtiment ou ; au contraire, la nécessité de s'en protéger pour éviter la surchauffe.
- ✓ l'existence de vents pouvant refroidir le bâtiment en hiver ou le rafraîchir en été.
- ✓ la ventilation en rapport avec la direction des vents dominants.

⁵² GIVONI.B, « L'homme, l'architecture et le climat », Éditions du Moniteur, Paris (1978).

c- La forme et la compacité

Une habitation confortable ne peut être que de forme simple et compacte. Toutefois, la forme du bâtiment influe sur :

- Le bilan global de l'éclairage énergétique du soleil.
- Le taux de déperditions thermiques.
- L'écoulement des flux aux abords des bâtiments.

Ainsi, selon V. Olygay (1963), la forme optimale d'un bâtiment correspond à celle qui permet de perdre un minimum de chaleur en hiver et d'en gagner un minimum en été. Il précise que :

- ✓ La forme allongée dans la direction est-ouest, donne de meilleurs résultats pour tous les climats.
- ✓ Par contre le carré, n'est pas optimale quelle que soit la localisation de la construction. Et toutes les formes allongées dans la direction nord-sud sont encore moins efficaces que la forme carrée⁵³.

La forme de chaque construction est l'élément essentiel du calcul du facteur de compacité dont l'objectif doit uniquement rester l'orientation des concepteurs vers les solutions à privilégier.

d- organisation intérieure du bâti

L'un des grands principes du bâtiment solaire passif est le fait qu'elle doit consommer un minimum d'énergie, que ce soit pour le chauffage ou pour l'éclairage. On utilise donc ces deux critères, le besoin en éclairage et le besoin en chauffage, dans le choix de la disposition des différentes pièces. On prend aussi en compte la durée, le moment et la manière dont ces pièces seront utilisées. Donc nous pouvons séparer les pièces selon 4 zones distinctes :

- ❖ **Zone Sud** : on retrouvera toutes les pièces "de vie" ; bien éclairées et bien chauffées par une bonne exposition au soleil, ce sont les pièces les plus souvent occupées. On peut y implanter le salon, la cuisine, la salle à manger...

⁵³ OLGAY.V, «Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism », Princeton, University Press, N.J., U.S.A. (1963), page.185.

CHAPITRE II

- ❖ **Zone Nord** : on s'assurera d'y créer un espace "tampon", dont les besoins en éclairage et chauffage sont faibles. Ce sont les pièces les moins occupées : couloirs, placards de rangement, buanderies, garages...
- ❖ **Zone Est** : on profitera du soleil matinal pour y installer les pièces ayant besoin de chaleur le matin et de fraîcheur en fin de journée. On peut y implanter les chambres, le coin "petit-déjeuner" comme la cuisine, la salle de bain...
- ❖ **Zone Ouest** : à l'inverse de la zone Est, on profitera du soleil du soir pour les pièces ayant besoin de fraîcheur le matin et de chaleur en fin de journée. On peut y implanter une salle de jeux, un bureau, la salle de bain...

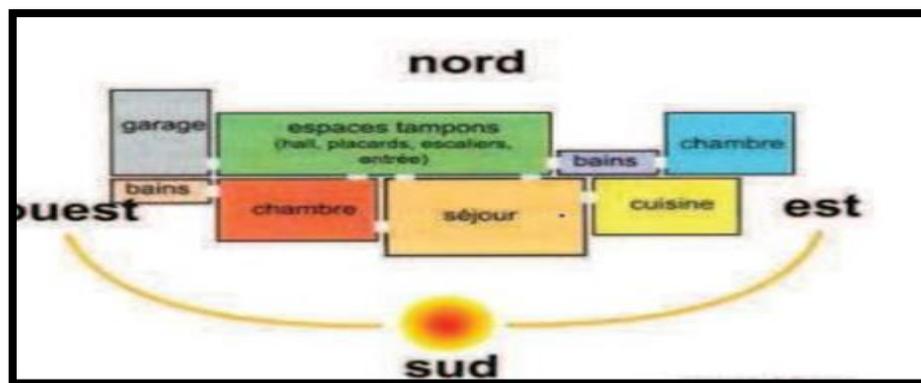


Figure 15: Schéma d'organisation des espaces intérieurs

e- Emplacement des ouvertures

L'emplacement et la taille des ouvertures détermineront les apports en éclairage et en chaleur. L'installation des ouvertures devra correspondre à un besoin maximal d'éclairage et de chaleur en période froide et minimal en période chaude.

Les caractéristiques des ouvertures ne sont donc pas les mêmes selon l'orientation des murs. On notera 3 types d'emplacements des ouvertures distinctes :

- **Pour les vitres orientées au Sud** : elles doivent être en grand nombre et de grande taille afin de capter un maximum de chaleur et de luminosité en période froide. On s'assurera de les protéger en été par des avancées (auvents, stores) en fonction de l'inclinaison des rayons du soleil.
- **Pour les vitres orientées à l'Est ou à l'Ouest** : il n'est pas souhaitable de leur donner de grandes dimensions au seul plan d'énergie solaire, car elles reçoivent

CHAPITRE II

très peu d'énergie solaire en hiver⁵⁴. Il faut aussi éviter de sur dimensionner les fenêtres orientés ouest pour risque de surchauffe⁵⁵. On ne dimensionne les ouvertures Est et ouest qu'en fonction de la vue et de l'éclairage. En été, elles sont, par contre, largement exposées (le matin pour les fenêtres Est, l'après-midi pour les fenêtres ouest). La température extérieure étant plus élevée l'après-midi, les ouvertures ouest produisent des surchauffes plus difficiles à éliminer⁵⁶.

- **Les ouvertures vitrées orientées au nord** : sont celles qui reçoivent le moins d'énergie solaire car c'est souvent du nord que viennent les vents les plus froids, donc ses ouvertures doivent être réduites⁵⁷. Mais à cause du problème de surconsommation en éclairage artificiel il faut éviter de trop réduire ces ouvertures⁵⁸.

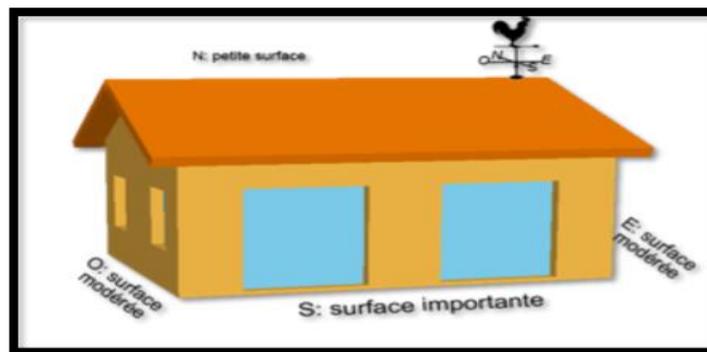


Figure 16: La surface des ouvertures en fonction des façades.

Source : site web.

II.1.3.1.2 L'isolation thermique

Tout isolant installé participe à la préservation de l'environnement, et pour avoir un confort thermique, une isolation thermique est plus que nécessaire.

- ✓ En hiver, l'isolation donne une bonne sensation de confort tout en limitant sa note de chauffage.

⁵⁴ Thierry CABRIOL- Daniel ROUX, « Chauffage de l'habitat et énergie solaire », tome2, Edition Edisud, France (1984).

⁵⁵ A. De HERDE & A. Evrard, « béton et utilisation rationnelle de l'énergie », Bulletin publié par : FEBELCEM – Fédération de l'Industrie Cimentière Belge, (2005), p 85a.

⁵⁶ C. et P. DONNADIEU/ H. et J.M. DIDILLON, « Habiter le désert – les maisons mozabites – », architecture + Recherches/ Editeur : Pierre MARDAGA, Bruxelles 1977.

⁵⁷ André RAVERAU, « Le M' Zab, une leçon d'architecture », Éditions Sindbad, Paris, 1981.

⁵⁸ C.A.U.E (Conseil en Architecture Urbanisme et Environnement), « L'Architecture bioclimatique », In revue d'architecture d'urbanisme et d'environnement de l'Ariège, France, (2005).

- ✓ En été, le confort sera obtenu en associant les atouts de cette isolation à une forte inertie thermique de la maison ainsi la température intérieure sera maintenue stable et la plus fraîche possible sans recours à la climatisation.

En effet, d'après P. DE HAUT (2007) une maison chauffée perd continuellement une partie de sa chaleur. Les grosses fuites de chaleur s'effectuent par les surfaces : toiture, murs et vitrages. Ces points sensibles d'une habitation peuvent générer jusqu'à 60 % des déperditions en chaleur, les joints entre les parois laissent également fuir la chaleur appelée « Ponts thermiques ». Ces derniers peuvent participer de 5 à 25 % à la fuite de chaleur. Mais l'impact d'un isolant, comme celui des autres matériaux d'un bâtiment, ne se réduit pas aux grains qu'il procure pendant son utilisation : C'est l'ensemble du cycle de vie du matériau, de sa production à son élimination, qui doit être pris en compte⁵⁹.

A. Le rôle de l'isolation

Le rôle d'isolation est d'interposer entre l'intérieur et l'extérieur une barrière au passage des calories au moyen de matériaux ayant une capacité de conduction la plus faible possible.

B. La fonction des isolants

Lorsque l'on chauffe l'air d'une habitation non isolée, les parois ne s'échauffent pas. Les calories qui atteignent ces dernières par convection et rayonnement passent au travers par conduction, et s'en échappent, à nouveau par convection et rayonnement, avant d'avoir eu le temps de l'échauffer. Ce n'est pas le froid qui entre, mais la chaleur qui sort.

II.1.3.1.3 L'inertie thermique

L'inertie thermique est la capacité d'un matériau à accumuler la chaleur puis à la restituer dans un temps plus ou moins long. Plus l'inertie est importante, plus l'habitation met de temps à se réchauffer ou se refroidir⁶⁰.

L'inertie thermique (ou la masse thermique) est le potentiel de stockage thermique d'un bâtiment. Elle peut être composée de divers matériaux lourds (pierre, brique, terre

⁵⁹ A. De HERDE & A. Evrard, « béton et utilisation rationnelle de l'énergie », Bulletin publié par : FEBELCEM – Fédération de l'Industrie Cimentière Belge, (2005), p 28.

⁶⁰ Roger. CASAR, Guide des calculs des déperditions et charges thermiques d'hiver, « Détermination des puissances de chauffage à installé dans les locaux », collection des guides de l'AICVF, ouvrage de la commission technique coordonné, Edition(1989).

CHAPITRE II

crue,...) qui répartis à l'intérieur de l'enveloppe isolante d'une construction, agissent comme accumulateurs de chaleur (l'hiver) ou de fraîcheur (l'été)⁶¹.

❖ Le principe de l'inertie thermique

Le principe de l'inertie thermique est complexe et fait appel à des notions de physique des matériaux. L'inertie d'un bâtiment est une fonction directe de sa capacité thermique, donc du produit de la masse de tous ses composants par leur chaleur spécifique massique.

Pour simplifier, on peut dire que plus un matériel est lourd et dense plus sa capacité à accumuler de la chaleur sera importante.

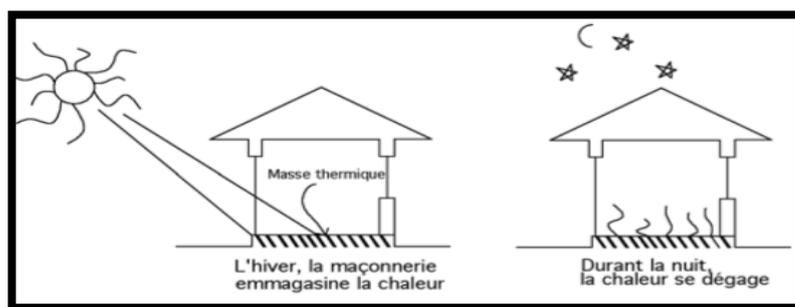


Figure 17: L'effet de la masse thermique.

Source : Liébard, A. et De Herde, A., 2005.

II.1.3.1.4 La ventilation naturelle

La ventilation vient du mot latin «ventus» qui signifie le mouvement d'air, (Watson et Labs, 1983)⁶². La ventilation naturelle est une stratégie passive, sans moyen mécanique, de maintenir un environnement intérieur confortable, donc elle est le cœur de la conception bioclimatique surtout dans les climats chauds. Elle est intéressante car d'une part, elle peut apporter de la fraîcheur si l'air extérieur est plus froid que l'air intérieur. D'autre part, elle permet un mouvement d'air qui joue sur le confort thermique car il accroît les échanges thermiques entre le corps et l'air⁶³.

⁶¹ ARCHIBIO : Groupe d'intervention en habitat écologique.

⁶² GIVONI .B : « L'homme, l'architecture et le climat » Edition Le Moniteur, Paris 1978 p 285.

⁶³ Hugues Boivin, la ventilation naturelle développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale, maître ès sciences (M.Sc.), université Laval Québec, (2007).

a) Le rôle de ventilation naturelle

La ventilation naturelle est nécessaire pour :

- Pour fournir l'air frais (santé).
- Pour fournir le mouvement d'air nécessaire.
- pour le refroidissement évaporatif convectif du corps humain (confort). Et pour dissiper la chaleur d'un bâtiment sans besoin de climatisation (économie d'énergie)⁶⁴.

b) Les stratégies de la ventilation naturelle

Il existe de nombreux types de modes de ventilation naturelle dans les bâtiments, les trois principaux sont :

- ✓ La ventilation transversale.
- ✓ La ventilation de simple exposition.
- ✓ La ventilation par tirage thermique⁶⁵.

i. La ventilation naturelle transversale

La prise en compte de la position des ouvertures par rapport au vent est importante dans la création du déplacement d'air. La ventilation traversant dans un local doit réunir deux conditions : Le premier est que le local comporte deux ouvertures, et la deuxième est que celles-ci soient sur deux façades opposées du local.

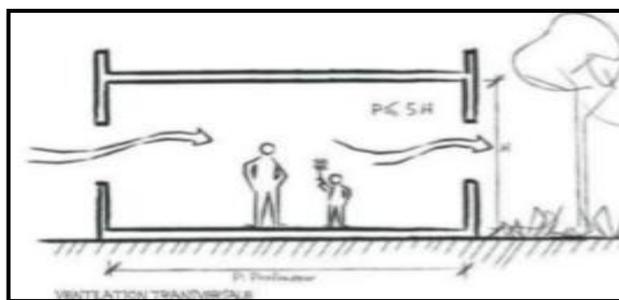


Figure 18: Schéma représente la ventilation transversale.

Source : « Natural ventilation in non domestic buildings ». Guide CIBSE, 2005.

⁶⁴Mat Santamouris (Ed), Environmental design of urban buildings: An Integrated Approach, Scan, London, UK, 2006.

⁶⁵ Guide Bio-Tech. La ventilation naturelle et mécanique, pilotage : Dominique Sellier, ARENE Îlede-France. (978-2-911533-00-6).

CHAPITRE II

Givoni B, estime que la meilleure condition de ventilation transversale est obtenue lorsque le flux d'air change de direction à l'intérieur de l'espace en se déplaçant de l'entrée vers la sortie⁶⁶.

ii. La ventilation par une seule façade

C'est le mode de ventilation naturelle le plus simple, il consiste en l'aération d'un espace sur une seule façade, permettant à l'air extérieur d'accéder et à l'air intérieur de sortir par la même ouverture, ou par une autre ouverture située sur le même mur de façade. Les fenêtres doivent être hautes, ou être munies d'ouvertures en bas et en haut de la façade, pour favoriser l'établissement d'un tirage thermique qui permettra à l'air extérieur plus frais d'entrer par les entrées basses, et à l'air intérieur de s'extraire par les orifices hauts.

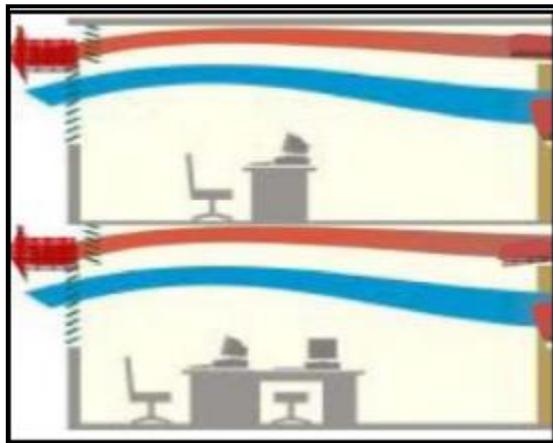


Figure 19: La ventilation unilatérale.

Source : « Natural ventilation in non domestic buildings ». Guide CIBSE, 2005.

iii. La ventilation naturelle par tirage d'air (effet de cheminées)

La ventilation par tirage thermique est parfois utilisée quand la ventilation traversant n'est pas possible et quand la ventilation par exposition simple n'est pas suffisante. Le tirage thermique est en général assuré la différence de température entre l'air chaud intérieur et l'air plus frais de l'extérieur.

⁶⁶ GIVONI .B : « L'homme, l'architecture et le climat » Edition Le Moniteur, Paris 1978, p 285.

CHAPITRE II

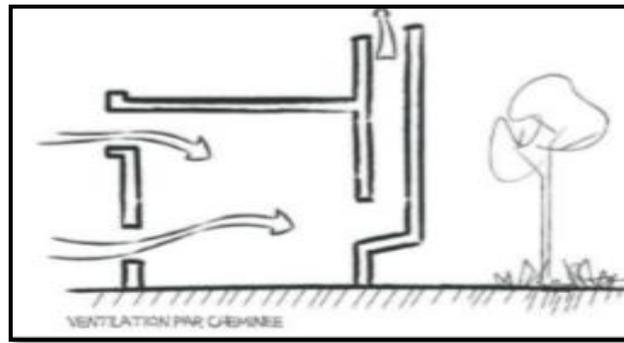


Figure 20: La ventilation par effet de cheminée.

Source : « Natural ventilation in non domestique buildings ». Guide CIBSE, 2005.

L'effet cheminée, particulièrement efficace en hiver et les nuits d'été, est le mouvement ascensionnel de l'air intérieur dans un conduit, du fait qu'il est plus chaud et donc plus léger que l'air extérieur. Ce mouvement induit une entrée d'air frais dans le bas du bâtiment ou du conduit et une sortie de l'air chaud par le haut. Un effet cheminée peut se réaliser à l'échelle d'une fenêtre, ou d'un bâtiment entier, ce procédé dépend de la hauteur de la <<cheminée>> et de la différence de température⁶⁷.

En effet, le bâtiment lui-même influence ses besoins énergétiques et la manière dont le climat dans lequel il se situe peut induire un besoin énergétique en chauffage ou en climatisation.

Le chauffage solaire passif repose sur quatre principes fondamentaux : capter l'énergie solaire, l'accumuler, la distribuer et la conserver. Ces principes touchent donc autant la conception formelle que technique du bâtiment⁶⁸.

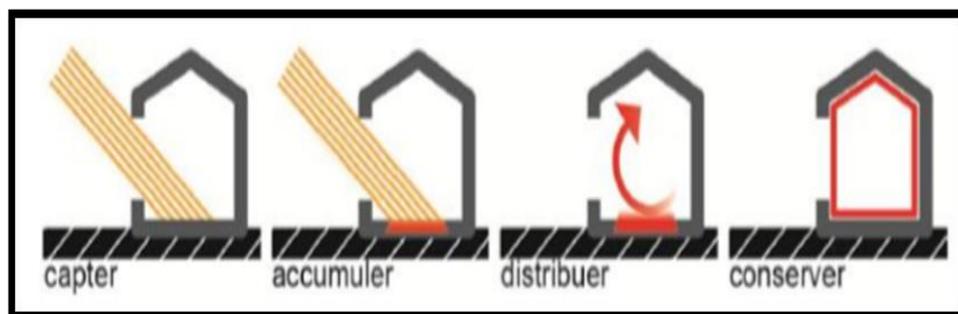


Figure 21: Représentation schématique des quatre principes du chauffage solaire passif.

⁶⁷ Guide pratique pour la construction et la rénovation durable de petit bâtiment, permettre une ventilation intensive recommandation pratique, ENE07, Février 2007.

⁶⁸ SHIRLEY GAGNON, ÉNERGIE SOLAIRE ET ARCHITECTURE, Les outils numériques et leur utilisation par les architectes pour la conception solaire, UNIVERSITÉ LAVAL, QUÉBEC 2012, P39.

CHAPITRE II

- a- Capter** : Pour capter l'énergie solaire, il existe trois grandes catégories. La première est dite d'apport direct qui correspond à du vitrage orienté correctement pour capter l'énergie solaire. La seconde est dite d'apports indirects et regroupe les murs capteurs et les toitures bassins. La dernière catégorie correspond aux apports séparés : Les serres. Le système solaire passif avec apports directs consiste à capter le rayonnement solaire par du vitrage et à le stocker dans des matériaux à forte inertie à l'intérieur des locaux. Ce procédé ne nécessite aucune technologie particulière, mais simplement d'orienter le vitrage pour capter le rayonnement solaire. En ce qui concerne le choix de l'inertie intérieure, les possibilités sont vastes. La chaleur peut se loger dans les dalles, les cloisons en maçonnerie lourde ou dans des systèmes plus particuliers comme les cloisons en bidons d'eau⁶⁹.
- b- Stocker** : Dans le solaire passif, la chaleur captée pendant les journées ensoleillées doit être stockée en prévision des nuits et des jours sans soleil. Pour juger la capacité d'un bâtiment à réguler la température, on regarde son inertie. Celle-ci vise à réduire les écarts importants de température que l'on peut trouver entre le jour et la nuit. Il y'a deux types d'inertie qui viennent stocker la chaleur des capteurs solaires. La première est dite d'absorption. Utilisé dans les apports directs, le matériau à forte inertie a uniquement une vocation de stockage de chaleur, (les dalles, les murs de refends et les cloisons lourdes). Le second type d'inertie est dit de transmission. La chaleur doit être stockée, mais aussi propagée jusqu'à l'intérieur du logement. Les murs capteurs ainsi que les toitures bassins utilisent l'inertie de transmission⁷⁰.
- c- Distribuer** : La chaleur du rayonnement solaire qui est stockée par l'inertie doit être distribuée dans tout le logement. Les transferts de chaleur se basent sur la conduction, la convection et le rayonnement. C'est toujours un corps chaud qui cède de la chaleur à un corps froid. Sans l'utilisation de techniques mécaniques. Le transfert de calories

⁶⁹ David DILLMAN, Architecture solaire passive et réhabilitation, Ecole d'architecture de la ville et des territoires à Marne la vallée, Janvier 2014, P10 .

⁷⁰ Ibid.

CHAPITRE II

dépend du différentiel de température et de la hauteur entre deux niveaux. A cause de la dilatation, l'air chaud plus léger a tendance à s'élever⁷¹.

d- Conserver : La conservation de la chaleur est un paramètre autonome vis-à-vis des trois précédents. La morphologie est un levier crucial pour limiter les déperditions sur l'extérieur. La stratégie consiste à minimiser la surface de l'enveloppe tout en maximisant le volume habitable. De plus, la taille du bâtiment influence sur la compacité⁷².

Le mur capteur et le mur trombe sont des exemples de dispositifs qui mettent à profit la convection naturelle pour transférer et accumuler de la chaleur à l'intérieur des bâtiments : L'air circule de bas en haut entre un vitrage et le mur orienté au sud. Il s'échauffe au contact du mur et pénètre dans la pièce. Le mur lui-même transmet lentement par rayonnement infrarouge une partie de la chaleur qu'il a reçue du soleil.

La figure présente un exemple de mur trombe intégré en façade sud, participant aux fortes exigences de Haute Qualité Environnementale (HQE) auxquelles le bâtiment devait répondre⁷³. En exposant un système de chauffage solaire passif qui utilise l'enveloppe du bâtiment pour occulter les rayons solaires d'été, laissant pénétrer les rayons d'hiver à l'intérieur du bâtiment.



Figure 22: Mur trombe de la bibliothèque des sciences de l'université de Versailles.

Source : Emilie.B « Conception de bâtiments solaires ».

⁷¹ ibid.

⁷² ibid.

⁷³ DEMERS, C. et POTVIN, A. Le chauffage solaire passif comme stratégie bioclimatique, Esquisses, Ordre des Architectes du Québec, 2004.

II.1.4 La conception solaire : éléments et démarches

II.1.4.1 La Conception solaire

L'élaboration d'un projet architectural bioclimatique et solaire, est un travail complexe à la fois technique et artistique sensibles. Parallèlement au déploiement de procédures intuitives⁷⁴, elle nécessite le recours à des instruments rigoureux, permettant le traitement des dimensions objectives. C'est dans le développement de cette idée, que s'inscrivent la recherche d'intégration des objets énergétiques et leurs efficacités comme troisième élément architectural dans le projet. La prise en compte des facteurs physiques, d'ambiances dans le projet d'architecture n'est possible que si l'on considère les formes des édifices comme des scènes constituées par l'intégration d'objet et de phénomènes⁷⁵.

II.1.4.2 Démarche d'intégration

La réussite d'une intégration solaire dépend de la conjugaison optimal des critères suivants qu'on considère primordiaux:

- Minimiser l'impact Visual des capteurs dans leur environnement proche et lointain.
- Adapter la forme, la proportion et la position des champs de capteur à la physiologie générale du bâtiment.
- Privilégier le capteur double fonction: Fonction couverture, brise soleil, allège, garde-corps, fenêtre, verrière, bardage, mur-rideau...
- Marier performance et intégration: Une bonne intégration architecturale ne nuit pas aux performances globales du système.
- Choisir le matériel adapté: Le marché du solaire s'est développé ces dernières années, après la standardisation du matériel, on commence à proposer des types et accessoires facilitant l'intégration du solaire dans le bâtiment, et offrant ainsi de diverses solutions pour l'usage recherché⁷⁶.

II.1.4.3 Types de conception des panneaux solaires

Un système photovoltaïque est composé d'un ensemble de modules (panneaux) photovoltaïque, d'un composant électrique (câbles) et un électronique (onduleur). Les

⁷⁴ Houpert.S, « approche inverse pour la résolution de contraintes solaires et individuelles dans le projet architectural et urbain », thèse de doctorat, école d'architecture de Nantes ,2003.

⁷⁵ Mazria.E « Le guide de l'énergie solaire passive », 1980.

⁷⁶ BENAMRA.M , » Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale », Université de BISKRA, 2013

CHAPITRE II

modules utilisent l'énergie solaire incidente pour produire de l'électricité par l'effet photovoltaïque.

Le but du système photovoltaïque est de réaliser une économie d'énergie importante pour la structure servie. Les avantages qui sont à la base du développement cette technologie sont:

- * La compatibilité avec les exigences architecturales et de la protection de l'environnement.
- * Aucune pollution sonore.
- * Une économie et une alternative aux combustibles fossiles.
- * Une production d'électricité sans émissions de polluants.

II.1.4.4 Intégration des capteurs solaire dans le bâtiment

Pour obtenir les économies attendues, les capteurs solaires doivent être correctement exposés au rayonnement solaire.

La pose de capteurs solaires peut se faire :

- ✓ en toiture.
- ✓ terrasse ou en pente.
- ✓ en façade.
- ✓ au sol.
- ✓ en garde-corps, auvent ...

II.1.4.4.1 Les capteurs en toiture inclinée

Capteur suivant la pente de la toiture :

- Pente faible favorise les gains entre Mars et Octobre. Solution idéale pour le photovoltaïque.

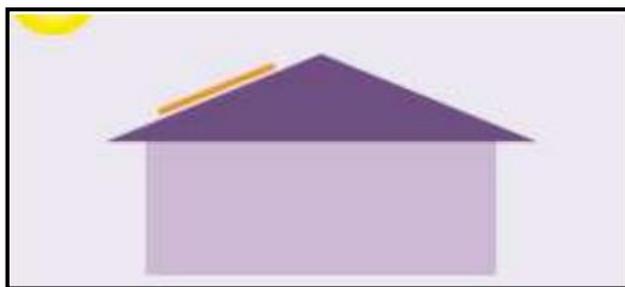


Figure 23: Installation du capteur sur une toiture de faible inclinaison.

CHAPITRE II

- Pente forte optimise les gains énergétiques durant toute l'année. Solution idéale pour le chauffage.

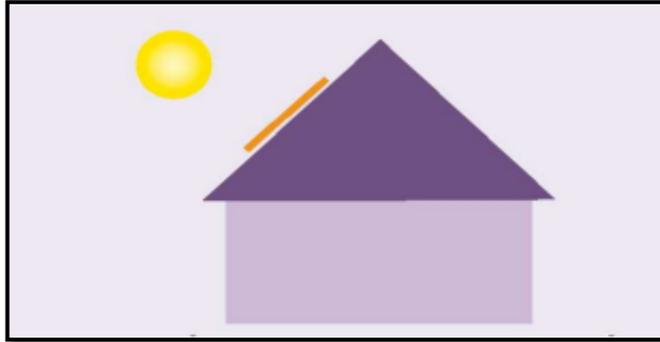


Figure 24: Installation du capteur sur une toiture à forte inclinaison.

- Capteurs en couverture de porche ou véranda. Une intégration naturelle dans le volume d'un élément architectural⁷⁷.

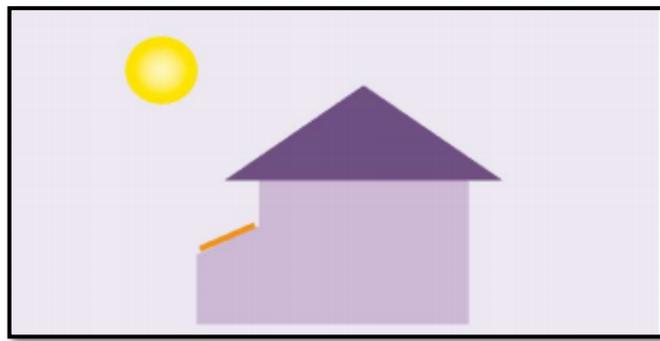


Figure 25: Installation du capteur sur un volume du bâtiment.

En neuf, il faut rechercher :

- une proportion satisfaisante entre la surface du pan de toiture et celle des capteurs.
- une cohérence de forme entre le pan de toiture et les capteurs.
- une implantation des capteurs en continuité des ouvertures, en toiture en privilégiant la symétrie.
- des coloris, des éléments techniques en harmonie avec la couleur de la toiture
- à éviter l'effet de surbrillance et de reflet.
- à insérer les capteurs dans l'épaisseur de la toiture.

⁷⁷ BENAMRA.M, « Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale ». Mémoire de magister. UNIV Mohamed KHIDER. BISKRA, 2013.

Sur l'existant, il faut parvenir à :

- limiter les contrastes entre les capteurs et la façade.
- implanter les capteurs à 50 ou 60 cm du faîtage.
- de l'égout et des rives du pan de toiture pour limiter leur impact visuel.
- soigner la pose des tuyauteries ...⁷⁸

II.1.4.4.2 Les capteurs en toiture terrasse

Solution consistant à fixer des capteurs solaires au-dessus d'un toit terrasse par l'intermédiaire d'un bac lesté ou d'un châssis support permettant d'orienter et d'incliner les modules selon les contraintes du projet.

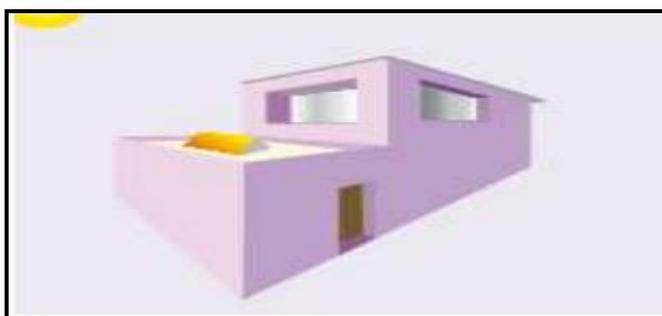


Figure 26: Installation des capteurs solaires sur une toiture terrasse.

Ces toitures sont des emplacements privilégiés pour capter l'énergie solaire, cependant la plupart de ces toits sont pourvus d'une étanchéité multicouche très délicate⁷⁹.

Il faut rechercher en toiture à :

- ✓ les mettre en place en composant une cinquième façade: alignement, proportion, ...
- ✓ utiliser des habillages de capteurs.
- ✓ les mettre en œuvre en continuité de la composition de la façade, derrière un acrotère, ou en prolongement...⁸⁰

II.1.4.4.3 Les capteurs en façades

Un capteur solaire intégré en façade sert non seulement comme capteur, mais également en tant qu'isolation thermique et d'élément formel de la façade. Ces capteurs

⁷⁸ Guide http://www.agglo-paysdaix.fr/?eID=tx_atofaldownload&objectId=8638 consulté le 05.01.2020.

⁷⁹ RECAUT, A., « Système photovoltaïque ». Ecole polytechnique Savoie, 2011, P152.

⁸⁰ Guide http://www.agglo-paysdaix.fr/?eID=tx_atofaldownload&objectId=8638

CHAPITRE II

intégrés offrent une irradiation solaire répartie d'une façon plutôt stable au cours de toute l'année. Le fait que les capteurs inclinés puissent être couverts de neige en hiver⁸¹.



Figure 27: Intégration des capteurs en façade.

Il faut rechercher :

- une cohérence de composition de façade avec les éléments : fenêtre, garde-corps, auvent, loggia, ...
- à recouvrir la totalité de la façade.
- à réaliser un calepinage régulier qui compose cette dernière.
- un équilibre entre l'implantation des capteurs et une architecture bioclimatique. (Art de bâtir en composant avec le climat, le lieu de construction, la végétation,... et les occupants, de manière à créer un environnement intérieur sain et confortable tout en minimisant l'usage des ressources non renouvelables (matériaux et énergies).

L'intégration architecturale des capteurs solaires en façade est plus facile dans le cas de projet neuf que dans l'existant. L'implantation en façade ou en garde-corps devrait être réservée à des applications de chauffage. Pour le C.E.S.I., si ce type de montage est réalisé, il est préférable d'utiliser des capteurs à tubes sous vide horizontaux dont les surfaces absorbantes pourront être inclinées à 45°⁸².

⁸¹ Talal, S., « Intégration des composants solaires thermiques actifs dans la structure bâtie », Thèse de doctorat, L'Institut National des Sciences Appliquées, Lyon, 2007.

⁸² Guide http://www.agglo-paysdaix.fr/?eID=tx_atofaldownload&objectId=8638

II.1.4.4 Les capteurs sur paroi verticale

a- Capteurs en allège, auvent, garde-corps, brise soleil

En allège, on peut intégrer le capteur sous une fenêtre, en auvent pour protéger le porche de la maison, ou en garde-corps pour un balcon, comme il peut avoir le rôle de brise soleil qui permet d'éviter au soleil d'été de pénétrer dans le bâtiment et de surchauffer les locaux⁸³.

-En gardes corps

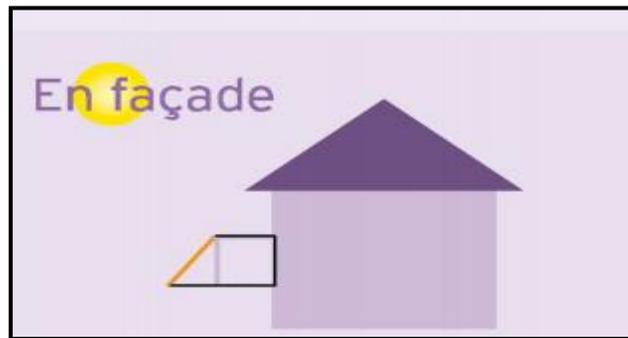


Figure 28: Intégration des capteurs solaires sur les gardes corps.

-En allège



Figure 29: intégration des capteurs solaires sur les allèges.

-En auvent ou brise soleil

⁸³ BENAMRA.M, « Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale ». Mémoire de magister. UNIV Mohamed KHIDER. BISKRA, 2013.



Figure 30: Intégration des capteurs solaires en avant et brise soleil sur les ouvertures.

b- Capteurs en couverture de décrochements de façades ou vérandas

Une intégration recommandée est celle de la couverture d'un décrochement de façade. L'inclinaison est préservée, l'orientation bien choisie permet un ensoleillement maximum, donc il est naturellement intégré dans le volume architectural⁸⁴.

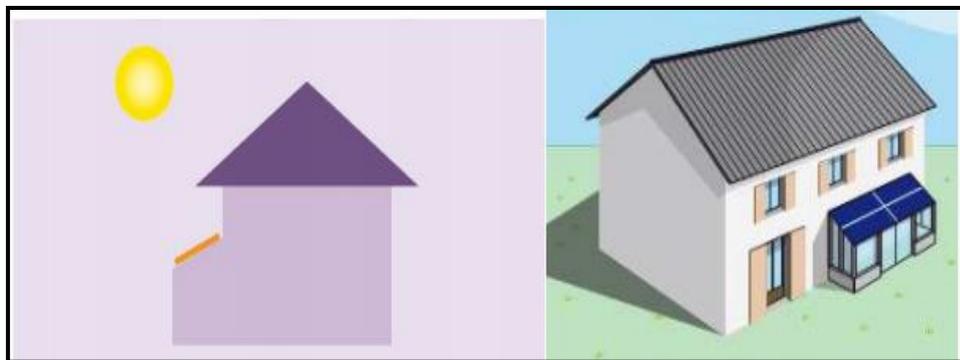


Figure 31: Intégration des capteurs solaires à la toiture d'une véranda ou de la serre.

II.1.4.4.5 Les Capteurs au sol

Dans certains cas favorables, les capteurs peuvent être posés sur talus et ainsi se cacher de tout, sauf du soleil. Il est alors nécessaire de les protéger des salissures qui pourraient diminuer leur rendement.

Cette solution est intéressante. Elle simplifie la pose et permet d'obtenir l'angle d'inclinaison choisi pour le capteur. Cette solution est envisageable sur un talus de jardin ou sur une terrasse au pied de la maison. Il faut faire face à une perte de rendement causée par une plus grande distance du transfert énergétique entre le capteur et le stockage, et porter une attention toute particulière aux raccords et à l'isolation, ce

⁸⁴ Ibid.

CHAPITRE II

qui implique l'absence de recours à cette solution dans les régions au climat trop rigoureux ou trop venteux.

Les capteurs solaires peuvent aussi trouver leur place naturellement comme composants des annexes de l'habitation sous réserve que ces annexes soient proches du bâtiment principal (serres, garages, abris, ...) ⁸⁵.

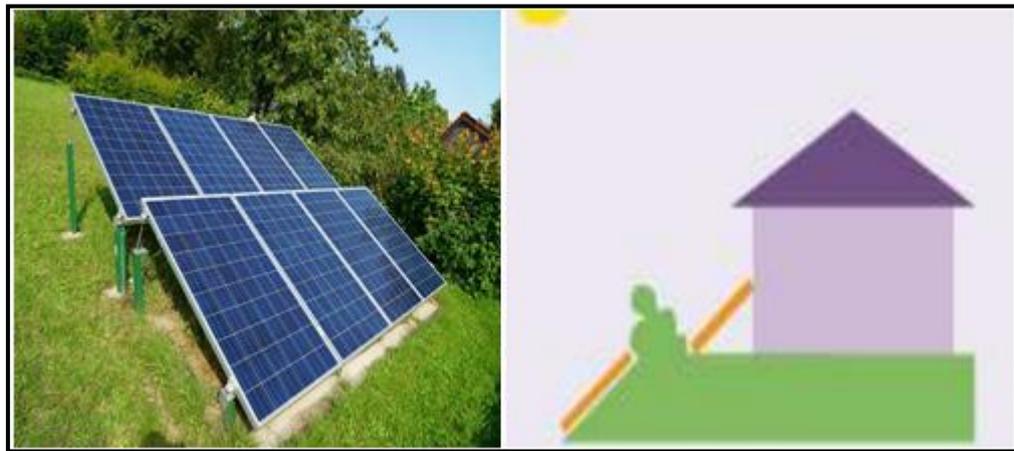


Figure 32: Installation des capteurs solaires sur le sol.

II.1.4.5. Les principaux avantages de l'intégration des systèmes solaires

Les principaux avantages de l'intégration des systèmes solaires sont qu'ils peuvent remplacer des composantes élémentaires de la construction (matériaux extérieurs et intérieurs) et qu'ils peuvent améliorer les propriétés architecturales et esthétiques, voire l'intérêt de la composition formelle, la richesse des perceptions dans l'expérience et l'occupation des lieux, et rehausser la qualité du résultat obtenu pour l'effort investi. Suite à des recherches sur les bâtiments écologiques, Lucuik (2005) relève pour sa part les avantages suivants :

- Des coûts opérationnels moindres pendant la durée de vie du bâtiment ;
- Une protection contre les augmentations futures du prix de l'énergie ; des primes d'assurances réduites ; des gains de productivité ;
- Une valeur plus élevée des bâtiments et des meilleurs taux d'occupation ;
- Une amélioration de l'image ; diverses considérations externes comme des effets sur l'infrastructure, sur l'environnement et sur l'économie locale.

⁸⁵ Talal.S, « Intégration des composants solaires thermiques actifs dans la structure bâtie ». Thèse de doctorat. L'Institut National des Sciences Appliquées. Lyon,2007.

- Une reconnaissance internationale démontrant un intérêt clair et symbolique pour le développement durable⁸⁶.

II.1.4.6. Les limites de l'intégration des systèmes solaires

- Le coût d'investissement des panneaux photovoltaïques est élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique par des batteries est nécessaire, le coût du système photovoltaïque augmente.
- Les panneaux contiennent des produits toxiques et la filière de recyclage n'est pas encore existante.
- Le rendement électrique diminue avec le temps (20% de moins au bout de 20 ans)⁸⁷.

II.2. Efficacité énergétique des bâtiments

La hausse conséquente du prix de l'énergie de ces dernières années, l'épuisement des ressources énergétiques fossiles, les contraintes réglementaires imposent à présent une démarche de gestion et d'optimisation de l'énergie : l'efficacité énergétique.

II.2.1. Définition des concepts

II.2.1.1. Efficacité énergétique

L'efficacité énergétique est le rapport entre l'énergie directement utilisée (dite énergie utile) et l'énergie consommée (en général supérieure du fait des pertes). Elle s'applique à un équipement énergétique particulier, par exemple une chaudière ou une pompe à chaleur. Elle relève des qualités intrinsèques de cet équipement.

Efficacités énergétique active et passive :

-L'efficacité énergétique passive se rapporte à l'isolation, la ventilation et aux équipements de chauffage.

-L'efficacité énergétique active touche à la régulation, la gestion de l'énergie, la domotique et la Gestion Technique du Bâtiment (GTB)⁸⁸.

⁸⁶ Mazria, E, Le guide de l'énergie solaire passive, Éditions Parenthèses, 1981.

⁸⁷ <http://energies-renouvelables.consoneo.com>, consulté le 06.01.2020.

⁸⁸ [Http://www.performance-energetique.lebatiment.fr](http://www.performance-energetique.lebatiment.fr), consulté le 06.01.2020.

II.2.1.2. Performance énergétique

La performance énergétique d'un bâtiment correspond à la quantité d'énergie consommée ou estimée dans le cadre d'une utilisation normale du bâtiment. Elle inclut notamment l'énergie utilisée pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, le refroidissement (éventuellement), la ventilation et l'éclairage. Plus la quantité d'énergie nécessaire est faible, meilleure est la performance énergétique de votre habitat⁸⁹.

II.2.1.3. Pas de performance énergétique sans efficacité énergétique

La notion de performance énergétique vise le confort thermique avec une exploitation annuelle optimisée des énergies consommées. L'intégration des énergies renouvelables, le solaire thermique et photovoltaïque, la pompe à chaleur, le puits canadien, octroie une performance énergétique meilleure, tout comme les générateurs et chaudières à haut rendement et les émetteurs de chauffage basse température comme le plancher chauffant, ainsi que les dispositifs de régulation et programmation⁹⁰.

II.2.2. Mesures d'efficacité énergétique

Nous avons choisis d'organiser les techniques d'efficacité énergétique en trois catégories distinctes, qui ont trait à leurs rapports à l'énergie utilisée⁹¹.

-Les mesures d'efficacité énergétique passives : elles concernent le bâti, c'est-à-dire l'enveloppe du bâtiment. Elles évitent les déperditions en renforçant la performance technique du bâtiment (isolation, parois vitrées...).

-Les solutions d'efficacité énergétique actives : elles agissent sur l'exploitation et l'optimisation des flux énergétiques via l'utilisation d'appareils performants et de systèmes intelligents de mesure, de contrôle et de régulation. C'est par exemple le cas des variateurs de vitesse.

-La sensibilisation des utilisateurs à leur empreinte environnementale : elle entraîne une baisse immédiate des consommations. De ce point de vue, l'information et la formation de chacun d'entre nous aux gestes éco responsables est indispensable.

⁸⁹ ibid

⁹⁰ <http://media.xpair.com>, consulté le 08.01.2020.

⁹¹ BOURSAS.A, étude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment d'habitation à l'aide d'un logiciel de simulation, mémoire de magister, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Constantine 1, Constantine, 2013, p.70

II.2.2.1. Les mesures d'efficacité énergétique actives

L'efficacité énergétique active peut être mise en œuvre soit dans le cadre d'une approche globale, soit par application. Optimisées individuellement ou de manière combinée, les actions suivantes permettent de réaliser des économies d'énergie significatives :

a. Mesure des consommations

- ✓ La mesure électrique
- ✓ La mesure du gaz naturel

b. Systèmes de régulation et d'automatisme

Pour les équipements de chauffage, de ventilation ou d'éclairage qui permettent d'adapter la consommation aux conditions extérieures et en fonction de la présence de personnes.

c. Gestion de la protection solaire

Des installations de protection solaire, de préférence variables, motorisées et automatisées, rendent dynamique le rayonnement solaire à travers les vitrages et régularisent le climat intérieur en fonction du climat extérieur.

d. Production d'énergie solaire

- ✓ Énergies solaires thermiques.
- ✓ Énergies solaires photovoltaïques.

e. Systèmes et équipements performants

- Système de ventilation double-flux.
- Pompes à chaleur (PAC) : Le principe de fonctionnement d'une PAC est identique à celui d'un réfrigérateur.
- Chaudière gaz à condensation : Dans les chaudières à condensation, la chaleur résiduelle contenue dans les gaz d'échappement est récupérée sous forme de vapeur d'eau par voie de condensation⁹².

⁹² Effinergie, Réussir un projet de Bâtiment Basse Consommation, 2008, p.21.

CHAPITRE II

II.2.3. Conditions d'efficacité énergétique

II.2.3.1 Course et masque solaire

Pour assurer une meilleure implantation des panneaux solaires. Il est nécessaire d'étudier les conditions climatiques notamment la course solaire et le masque environnementale pour optimiser la meilleure solution.

Ces ombres peuvent être produites par des arbres, bâtiments mitoyens ou proches, ou un relief environnant...

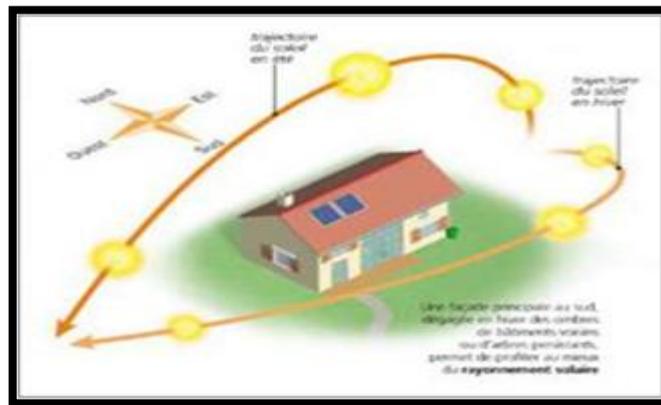


Figure 33: influence du masque solaire.

II.2.3.2 Conditions de performance

Pour assurer un meilleur rendement des panneaux solaires il est nécessaire d'opter pour une démarche passive visant à la réduction la consommation énergétique du bâtiment en augmentant sa performance énergétique en adéquation avec les différents labels et normes énergétiques.



Figure 34: Le rendement des capteurs solaires en référence de l'échelle de performance énergétique.

II.3. Exemples d'architecture solaire intégrant des systèmes solaires passifs et actifs

Logement collectifs, immeuble Mill'o

Sur la commune de Genève, 10 logements sont construits dans une logique communautaire et participative. Les circulations verticales donnent la sensation que plusieurs logements individuels sont superposés. L'énergie solaire est captée par de larges fenêtres au sud-Ouest.

Situation : Genève, suisse.

Date de construction : 2006

Surface de plancher : 1280 m²

Architecte : Stéphane Fuchs.

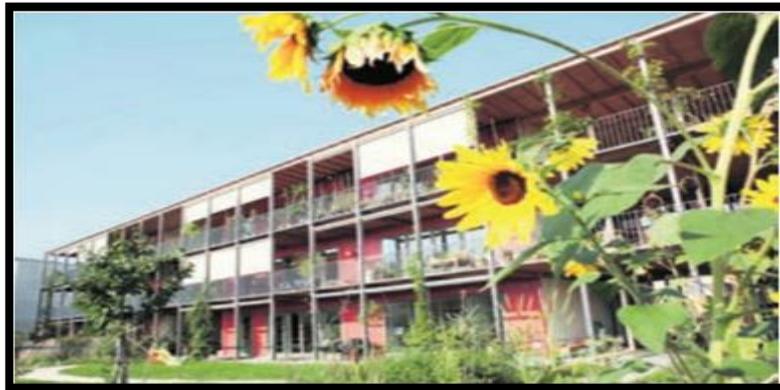


Figure 35: Logement collectifs, immeuble Mill'o.

20 logements sociaux rue des ortoux

Cet immeuble se veut comme une expérience en cherchant à s'ouvrir sur l'extérieur plutôt que de créer une bouteille thermos. La spécificité de ce projet réside dans l'épaisseur variable d'une double peau. Celle-ci fluctue d'une faible épaisseur qui forme un mur capteur jusqu'à 1m50 pour créer des serres froides.

Situation : Paris, France.

Date de construction : 2012.

Surface de plancher : 1620m².

CHAPITRE II

Architecte : Bablet nouvet reynaud archiectes.



Figure 36: 20 logements sociaux rue des ortheaux.

Maison Philippe Buffard

Cette maison a été conçue et construite par Philippe Buffard, le propriétaire. La maison se développe sur deux niveaux en enveloppant partiellement une serre chaude. Celle-ci est une pièce centrale qui fait la connexion entre de nombreuses pièces. Du fait de la situation sur la méditerranée, une attention particulière a été portée sur les protections solaires, qu'elles soient fixes ou mobiles.

Situation : Marseille, France.

Date de construction : 2007.

Surface de plancher : 145m².

Concepteur : Philippe Buffard.



Figure 37: Maison Philippe Buffard.

CHAPITRE II

Laboratoire d'énergie Xelios, Italie

Un projet qui se distingue cette fois par une double peau qui intègre un système solaire actif, photovoltaïque. Le projet manifeste avec franchise et audace plusieurs principes et moyens propres à la conception solaire, tels que des systèmes d'éclairage naturel, des systèmes de production de chaleur utile et un système de production d'électricité photovoltaïque.



Figure 38: Laboratoire d'énergie Xelios, Italie.

Siège social Tobias Grau, Allemagne

Un projet à l'allure technologique qui intègre plusieurs systèmes solaires. Le système d'occultation solaire, composé de lamelles de verre incurvées, permet notamment d'éviter la surchauffe l'été, d'optimiser le chauffage solaire passif et de contrôler l'éclairage naturel. Le projet intègre également un système photovoltaïque dans le verre, qui anime et protège une grande surface vitrée contre la surchauffe d'été.



Figure 39: siège social Grau, Allemagne.

Conclusion

Pour une bonne efficacité énergétique, nous devons prendre en considération une conception efficace du bâtiment et une performance des équipements de chauffage, ventilation et climatisation. Une conception efficace revient à bien choisir l'orientation, la compacité du bâtiment, la position et le type de vitrages ainsi que les matériaux de l'enveloppe. L'intégration des énergies renouvelables dans le bâtiment est la meilleure alternative afin de diminuer la dépense énergétique et les émissions des gaz à effet de serre. Donc, il est nécessaire d'intégrer les panneaux solaires en amont dans la phase conception, cette source peut générer les deux types de besoins énergétiques: la chaleur à travers le système thermique et l'électricité par le système photovoltaïque. Au final, on a vu que ce choix doit être accompagné par une démarche passive pour assurer un meilleur rendement énergétique.

Chapitre III : Simulation architecturale : recherche méthodologique

Introduction

Il existe un nombre important de logiciels dédiés à la simulation énergétique. Les logiciels existants diffèrent entre eux par les algorithmes qu'ils utilisent, par leur interface utilisateur et finalement par leurs vocations et leurs domaines d'application. Ce chapitre consiste à évaluer le bilan énergétique d'un bâtiment existant, en utilisant une méthode numérique, soit le logiciel TRNSYS.

III.1. La simulation en architecture

III.1.1. Définition de la simulation

Définition selon Dictionnaire Universel Francophone Hachette :

- Reproduction expérimentale des conditions réelles dans lesquelles devra se produire une opération complexe.
- Modèle de simulation : représentation mathématique d'un certain nombre d'éléments pouvant intervenir sur un système, afin d'étudier les conséquences de la variation de certains de ces éléments.⁹³

La simulation est un moyen efficace pour mettre au point et étudier le comportement thermique des bâtiments en régime variable. Mais il est nécessaire de savoir ce que l'on cherche pour utiliser l'outil de façon optimal.⁹⁴

III.1.2 Objectifs de la simulation

- Un ensemble de simulations peuvent être réalisées pour obtenir des résultats des indicateurs de performance. Une fois ces résultats obtenus, nous cherchons à les analyser et ensuite les présenter sous forme de graphes qui permettent de décrire le comportement du bloc en fonction de quelques paramètres de la conception du bloc.
- Les graphes sont des fonctions qui relient une caractéristique de la conception du bloc à sa réponse comportementale comme la consommation d'énergie ou le confort thermique...etc.

⁹³ <http://www.farnophonie.hachett-livre.fr>

⁹⁴ CHATELET.A, FERNANDEZ.P et LAVIGNE.P, Architecture climatique Une contribution au développement durable Tome 2 Concepts et dispositifs, EDITION EDISUD Aix-en-Provence, 1998, p133

CHAPITRE III

Dans cette étude, l'objectif final des simulations est, donc, l'obtention des résultats des indicateurs de performance du bloc à travers les graphes qui décrivent les comportements.

Pour cela, nous devons réaliser les simulations de telle façon que les résultats puissent être utiles pour cette fin. L'approche possible pour atteindre ces objectifs est de faire les simulations grâce à une étude paramétrique sur le modèle virtuel du bloc représentatif de la typologie choisie.

III.1.3. Méthodes de simulation

III.1.3.1. Méthode de simulation du Confort thermique

Lors de la conception des bâtiments, le confort hygrothermique, visuel, acoustique, olfactif, psychologique... sont des données essentielles qui seront tenir compte des exigences liées aux conditions climatiques de fonctionnement de certains équipements et appareillages de production (ordinateurs, machines...).

Logiciels : PEM - confort

III.1.3.2 Climat, données et analyse

Des données climatiques sont nécessaires pour la plupart des calculs en physique du bâtiment. Dans certains cas, comme le calcul du bilan énergétique, on se contentera de données mensuelles (moyennes mensuelles). Lors de simulations dynamiques, il faudra faire recours à des données horaires.

Logiciels : METEONORM

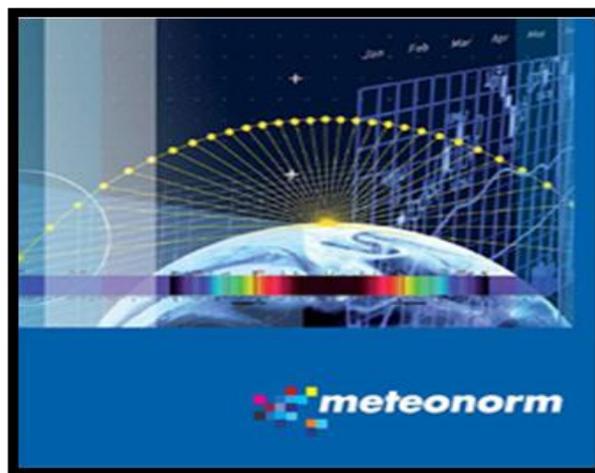


Figure 40: Logiciel des données météorologiques

Source : <https://logiciels.cstb.fr>

CHAPITRE III

III.1.3.3 Accès solaire, ombrages

De tous temps et dans toutes les civilisations les accès solaires ont joué un rôle important. La connaissance des phénomènes d'ombrage permet une meilleure maîtrise du fonctionnement passif des bâtiments et de leur interaction avec le milieu environnant.

III.1.3.4 Eclairage naturel / artificiel

Une attention toute particulière revient aux outils de simulation en éclairagisme.

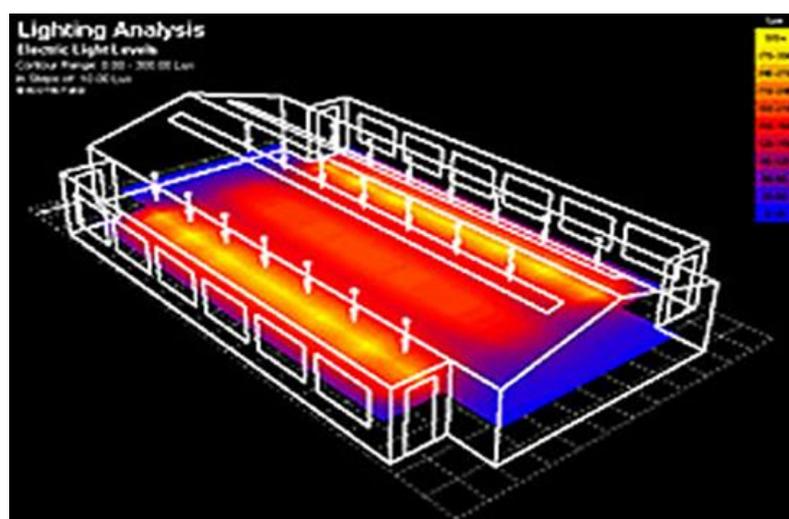


Figure 41: Logiciel ECOTECT de simulation d'éclairage naturel.

Source <http://www.squ1.com>

III.2. Simulation thermique : chauffage / climatisation

A. Chatelet et al affirment que « pour l'architecte, la simulation doit permettre de valider rapidement des options fondamentales, d'explorer et de commencer à optimiser certains choix...pour un meilleur confort et des charges de fonctionnement moindre ».

Pour évaluer notre bâtiment, on a utilisé le logiciel TRNSYS qui permet de tester selon le mode conventionnel le comportement énergétique global du bâti et de son environnement. Ceci afin de valider les résultats des mesures de consommation énergétique et de tester des variantes pour intégrer l'architecture solaire dans notre projet proposé.

III.2.1. Le logiciel TRNSYS : un outil de simulation thermique et énergétique

III.2.1.1. Description du logiciel

TRNSYS (TRAnsient System Simulation Program) est un logiciel modulaire de simulation dynamique des systèmes thermiques en général, et aussi dédié au calcul des performances thermiques des bâtiments multizones et de leurs équipements.

Ce logiciel a été développé au laboratoire « solar energy » à l'université Wisconsin Madison. USA, il possède une interface évaluée, extensible flexible transparente et ouverte, permettant d'ajouter de nouveaux composants et concepts. Un projet de simulation consiste : à choisir un ensemble de modèles mathématiques, de composants physiques (en s'appuyant soit sur des modèles existant dans la bibliothèque, soit en les créant) et consiste aussi à décrire les interactions entre les modèles.

III.2.1.2. But du logiciel TRNSYS

Dans l'optique d'une réduction des consommations d'énergie, des émissions de gaz à effet de serre des bâtiments et de la pollution engendrée par les matériaux, l'éco-conception et l'approche bioclimatique sont des préalables nécessaires. Ainsi, le recours aux énergies est limité et la construction retrouve une cohérence par rapport à son environnement.

La simulation thermique consiste à évaluer le comportement d'un bâtiment et de ses équipements en fonction des variations horaires de ses modes d'occupation et de la météo du site. Le champ d'application est vaste et plusieurs acteurs sont concernés : la simulation est utile à la maîtrise d'œuvre pour l'aider à concevoir un habitat confortable et économique, elle apporte des réponses au maître d'ouvrage soucieux du coût global du projet et de la satisfaction des futurs occupants, elle permet enfin au gestionnaire de patrimoine d'identifier des modes d'exploitation plus performants.

Le confort thermique été ne passe pas obligatoirement par un traitement actif de l'air par climatisation. Il faut tout d'abord dans le cadre de la maîtrise de l'énergie réduire au maximum les apports énergétiques responsables d'inconforts thermiques et éviter ainsi le recours à un système de traitement de l'air augmentant largement les consommations énergétiques.

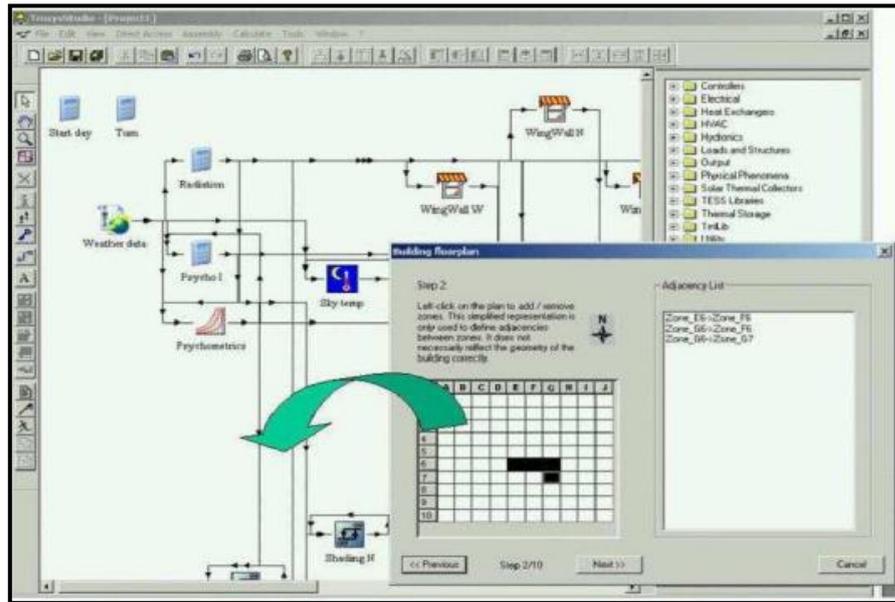


Figure 42: Interface du TRYNSYS studio simulation.

III.2.1.3. Fonctionnement

Le fonctionnement du logiciel est basé sur l'assemblage de modules élémentaires, appelés TYPE, représentant soit des composants du système simulé, soit des fonctions particulières (lecture de fichier météorologique). Les restrictions imposées au niveau de l'écriture des données TYPES assurent la compatibilité des développements et leur échange entre utilisateurs.

Ce logiciel informatique, se caractérise par ses fonctions qui peuvent se regrouper en trois domaines :

1. **Les entrées « inputs »** : concernant toutes les informations à introduire et à stocker dans des bibliothèques que le concepteur peut les utiliser. Ces entrées concernent (l'environnement physique « climat, site », le bâtiment « l'enveloppe », les apports internes « occupants.. », Les équipements « ventilation, chauffage, climatisation.. »)
2. **Le traitement des données** : se fait en fonction du bâtiment.
3. **Les sorties** : sont les ensembles des résultats qui peuvent être fournis par le logiciel à l'issue d'une exécution.

Ce logiciel multi zones permet de valider plusieurs options architecturales.

Les types (model utiliser) les plus utilisés pour la simulation dans le bâtiment sont :

CHAPITRE III

- Type9 : Lecture de données.
- Type54 : Générateur des données météo.
- Type33 : Diagramme psychométrique.
- Type16 : Processeur d'enseillement.
- Type56 : Bâtiment multi zone.
- Type25 : Impression des données.
- Type65 : Affichage des résultats.

Les phénomènes que le model de simulation thermique doit prendre en compte :

- Le transfert de chaleur par conduction à travers l'enveloppe et les effets de stockages calorifiques dans la masse du bâtiment.
- Les gains dus aux occupants, aux appareils, à la lumière électrique.
- L'ombrage des parois opaques et transparentes.
- Les effets des radiations solaires de courte longueur d'onde et les radiations reçues par les surfaces exposées et internes.
- Les radiations de longueur d'ondes échangées entre les surfaces externes, la voûte céleste et l'environnement.
- Les effets de l'humidité.

III.2.1.4. objectifs

- ✓ Minimiser les besoins énergétiques prévisionnels des bâtiments, sur la base des simulations thermiques dynamiques, tout en maintenant un bon confort des occupants.
- ✓ Valider le concept énergétique et orienter vers une architecture bioclimatique des bâtiments.
- ✓ Limiter ou annuler totalement les besoins en rafraîchissement des locaux. - Recourir à l'utilisation d'énergies renouvelables, pour assurer une partie ou la totalité de ces besoins énergétiques.
- ✓ Expérimenter par simulation des procédés alternatifs aux technologies énergivores.

CHAPITRE III

Il s'agit de mettre en œuvre des outils de calcul de conception permettant de simuler d'une façon réaliste le comportement des bâtiments et des systèmes (typiquement il s'agit d'un calcul dynamique heure par heure sur toute l'année).

III.2.1.5 Déroulement de la simulation

A partir des données architecturales et des propriétés thermo physiques du matériau, une analyse du comportement thermique des échantillons est effectuée à l'aide du logiciel « TRNSYS V 16 ». Le déroulement de la simulation a pris comme cheminement :

1. La première étape : concerne l'introduction des données climatiques de la région de Guelma (36° 17') ; les valeurs horaires des températures et des humidités relatives pour la période d'été.

2. La deuxième étape : concerne la description détaillée du bâtiment et les scénarios de la pratique de l'espace dans les fichiers TRNWIN et BID.

3. La dernière étape : concerne la lecture des résultats de la simulation par le biais du logiciel Excel.

III.2.1.6. Avantages du logiciel TRNSYS

Grâce à son approche modulaire TRNSYS est extrêmement flexible pour modéliser un ensemble de systèmes thermiques à différents niveaux de complexité. L'accès au code source permet aussi aux utilisateurs de modifier ou d'ajouter des composants qui ne figurent pas dans la bibliothèque d'origine. Cela en offrant une vaste documentation des sous programmes y compris explication, usages usuels et équations de base. Enfin la définition de la période de la simulation est très souple avec le choix du pas de temps du début à la fin de la simulation.

III.2.1.7. Limites du logiciel TRNSYS

TRNSYS ne dispose pas de valeur ou de système par défaut, l'utilisateur doit donc posséder des données définissant le bâtiment et le système.

CHAPITRE III

III.3. Cas d'étude et application

III.3.1 Présentation du cas d'étude : La faculté des sciences médicales –GUELMA

III.3.1.1 Situation



Figure 43: Plan de situation du cas d'étude. Source: Google Earth.

Elle se situe au sud de la ville de Guelma, dans le nouveau pôle universitaire qui se trouve dans la nouvelle extension POS Sud. Limitée par :

Au Nord, par le Pôle universitaire de Guelma Au Sud, par une route A l'Ouest, par une route et une forêt A l'Est, par un ensemble d'habitations collectives.

III.3.1.2 Etude du plan de masse

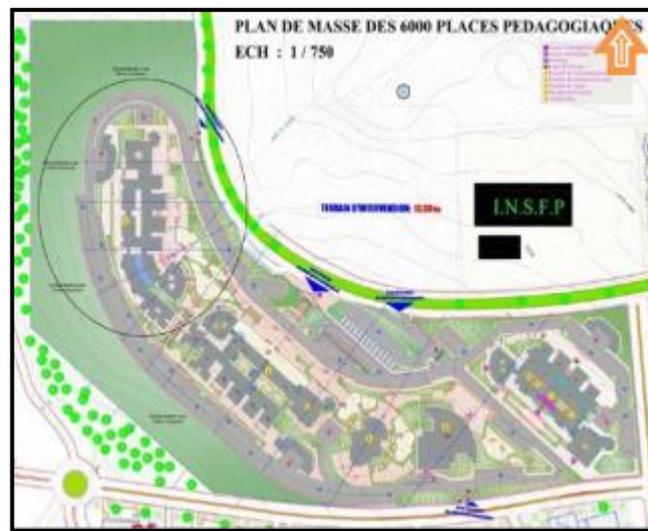


Figure 44: plan de masse. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M

CHAPITRE III

Le projet est composé de plusieurs blocs : Les Salles de classes (situées à proximité de l'accès principal), 4 amphis, les laboratoires, une bibliothèque, et un bloc administratif, une entrée principale, un accès principal.

III.3.1.3 Données mobilisées

Les données : Ce sont les données à introduire avec un niveau de définition minimum, qui seront nécessaires et pourront être stockées selon l'ergonomie du logiciel dans des bibliothèques que le concepteur peut utiliser.

- L'environnement physique (Climat, site, orientation).
- Le bâtiment (l'enveloppe, les surfaces des locaux).
- Les apports internes (occupants, éclairage, température, ..).
- Les équipements (ventilation, chauffage et système de refroidissement).

III.3.1.4 Evaluation énergétique : modélisation et simulation architecturale

Afin de pouvoir évaluer la consommation énergétique de notre cas d'étude, le recours à la simulation, comme étant un outil technologique facilitant cette tâche, nous paraissait utile. Pour ce faire, nous avons employé le logiciel de simulation thermique et énergétique TRNSYS.

III.3.1.5 Déroulement de simulation par le TRNSYS

Première étape : données climatique de Guelma



Figure 45: Donnée climatique de Guelma. A-Ensoleillement ; B- Température ; C-Précipitations

Deuxième étape : la description architecturale du bâtiment

Plans pour définir :

- La situation des salles de classe simulées : (RDC/ 1er étage / 2ème étage)
- la surface des salles de classe.

CHAPITRE III

- l'épaisseur des murs d'enveloppe

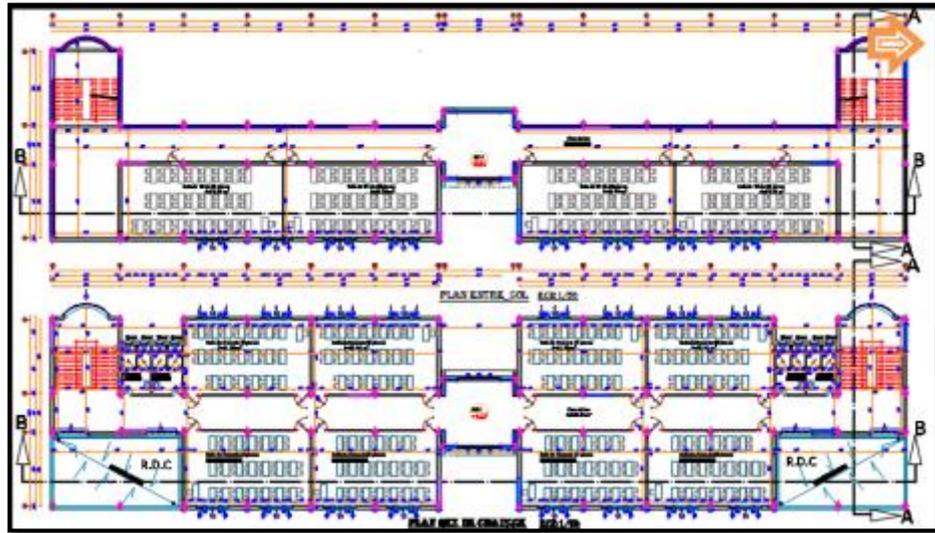


Figure 46: Plan R.D.C. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M.

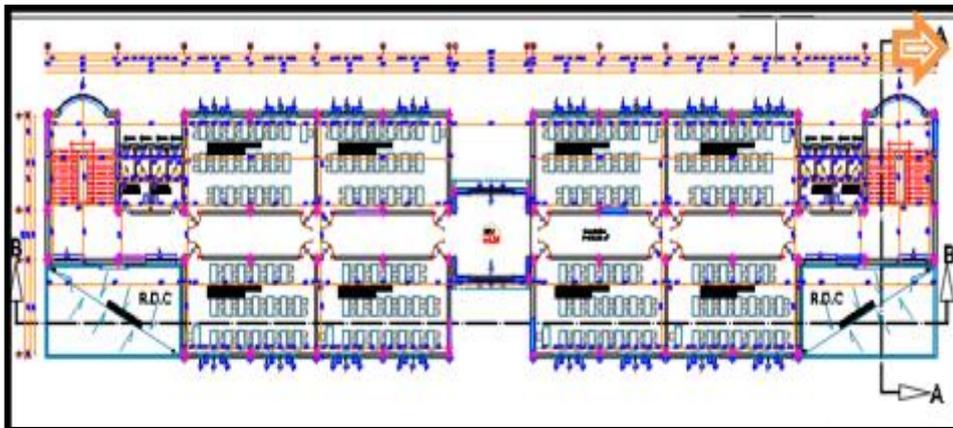


Figure 47: Plan 1er étage. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M.

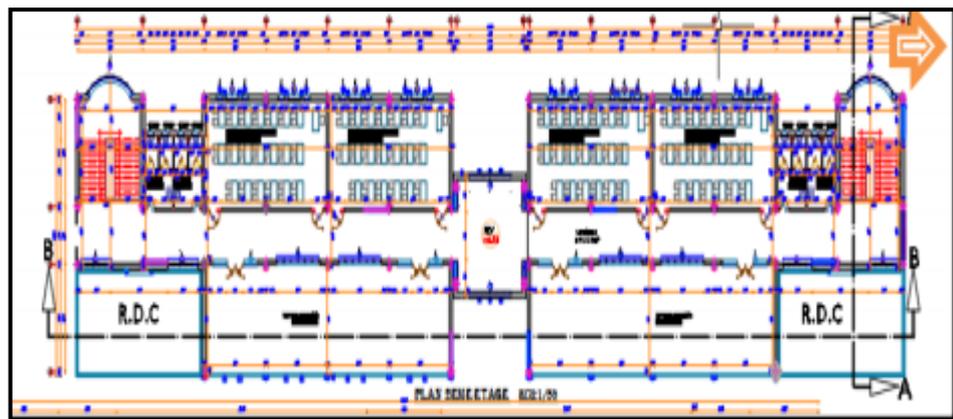


Figure 48: Plan 2ème étage. Source: Bureau d'étude C.E.T.A.M.

CHAPITRE III

- Façade : pour définir : le nombre et les dimensions des ouvertures.
- Plan de masse pour définir : l'orientation de bloc et des salles de classe simulées.

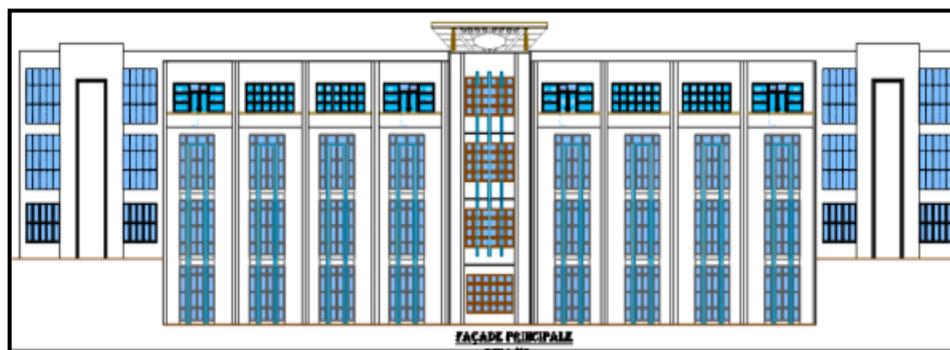


Figure 49: La façade principale. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M.

Dernière étape : concerne la lecture des résultats de la simulation par le biais du logiciel Excel. Les résultats du traitement sont rassemblés dans un fichier contenant l'évolution heure par heure des différents paramètres pour la durée de simulation.

III.3.1.6 Aspect énergétique : simulation et évaluation

III.3.1.6.1 Simulation d'une salle de classe de la faculté en R.D.C

Composants de la pièce :

Pour les murs (de l'extérieur vers l'intérieur) :

- Enduit extérieur de 3cm.
- Brique 25cm.
- lame d'air 5cm.
- Brique 10cm.
- Enduit de plâtre 2cm.

Pour le sol (de l'extérieur vers l'intérieur) :

- Gravier +sable.
- Béton (plate-forme) 10cm.
- Mortier 3 cm.
- Carrelage 5cm.

Pour le plafond (de l'extérieur vers l'intérieur) :

CHAPITRE III

- Carrelage 5cm.
- Mortier 3cm.
- Béton 5 cm.
- Hourdis 16cm.
- Enduit de plâtre 2cm.

A. Création de l'interface de simulation du projet ; par la création d'un fichier météo et la salle de classe (composition : dimensions et matériaux).

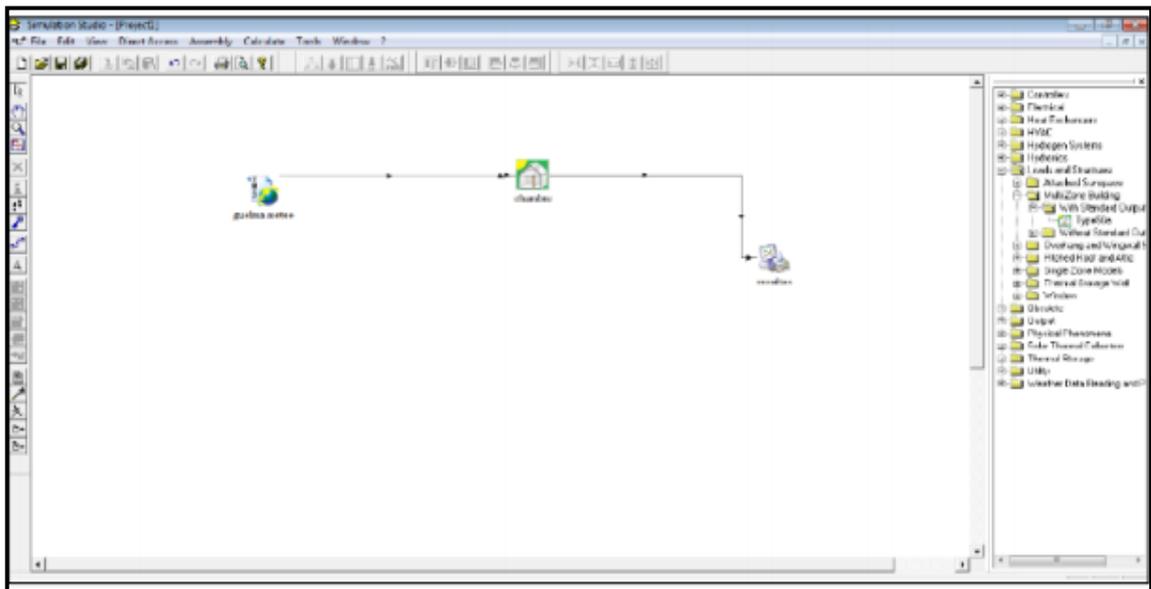


Figure 50: Interface de simulation. Source: TRNSYS.

B. Création des liaisons entre les éléments de projet (fichier météo-salle de classe) et (salle de classe - traceur).

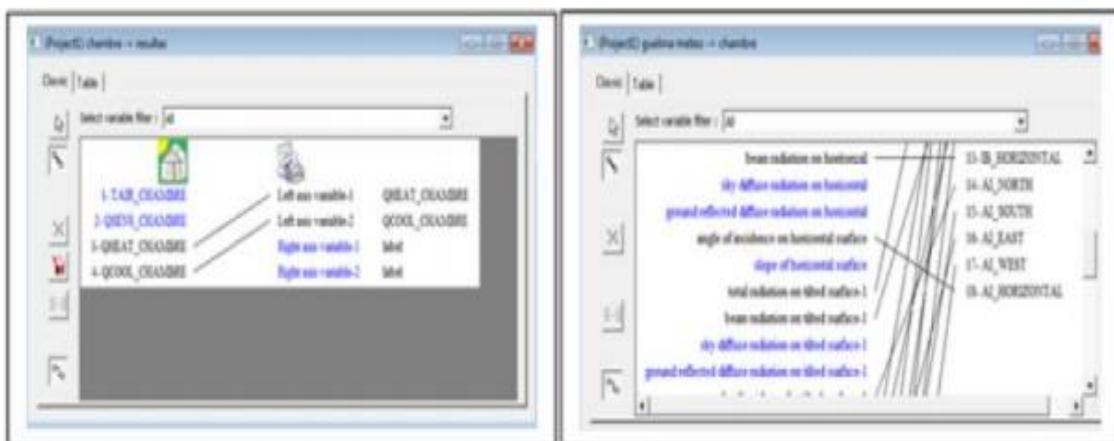


Figure 51: Liaison entre éléments de projet. Source TRNSYS.

CHAPITRE III

C. Détermination de temps de simulation (une année dans notre cas).

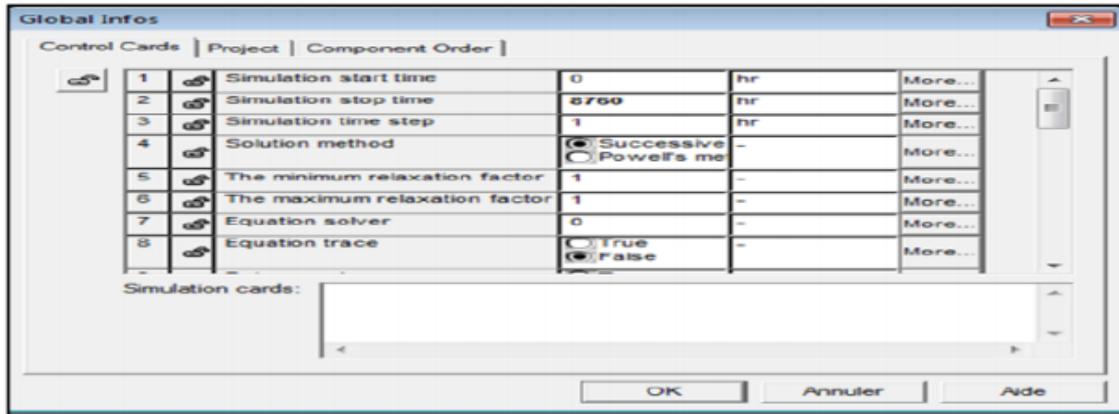


Figure 52: Temps de simulations. Source TRNSYS.

D. Lancement de simulation et obtention des résultats (graphe + calculs).

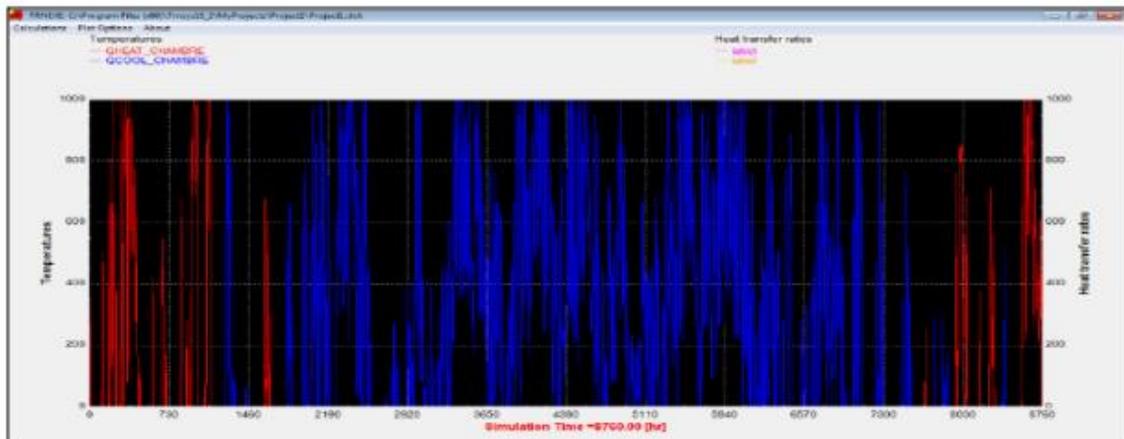


Figure 53: Résultat de simulation (Graph). Source TRNSYS.

MONTHLY SUMMARY STANDARD REPORT						
SUMMARY VALUES FOR ALL ZONES COMBINED						
MONTH	HEATING [KWH]	COOLING [KWH]	INFILTR. [KWH]	VENTILAT. [KWH]	SOLAR_RAD. [KWH]	INT_GAINS [KWH]
JAN	3.898E+01	0.000E+00	-8.137E-02	0.000E+00	9.631E+01	0.000E+00
FEB	2.496E+01	0.569E+00	-6.613E-02	0.000E+00	8.652E+01	0.000E+00
MAR	2.592E+00	6.242E+01	-5.053E-02	0.000E+00	4.288E+01	0.000E+00
APR	0.000E+00	8.245E+01	-3.232E-02	0.000E+00	5.426E+01	0.000E+00
MAY	0.000E+00	8.291E+01	-1.807E-02	0.000E+00	5.143E+01	0.000E+00
JUN	0.000E+00	9.271E+01	-1.340E-02	0.000E+00	4.957E+01	0.000E+00
JUL	0.000E+00	9.082E+01	-1.003E-02	0.000E+00	4.436E+01	0.000E+00
AUG	0.000E+00	9.956E+01	-1.251E-02	0.000E+00	5.215E+01	0.000E+00
SEP	0.000E+00	7.350E+01	-2.823E-02	0.000E+00	6.465E+01	0.000E+00
OCT	0.000E+00	5.583E+01	-4.659E-02	0.000E+00	9.558E+01	0.000E+00
NOV	7.635E+00	6.941E+00	-7.482E-02	0.000E+00	1.008E+02	0.000E+00
DEC	4.055E+01	9.105E-01	-8.297E-02	0.000E+00	1.037E+02	0.000E+00
SUM	1.157E+02	9.976E+02	-5.175E-01	0.000E+00	8.762E+02	0.000E+00

Figure 54: Résultats de simulation (Calcul). Source: TRNSYS.

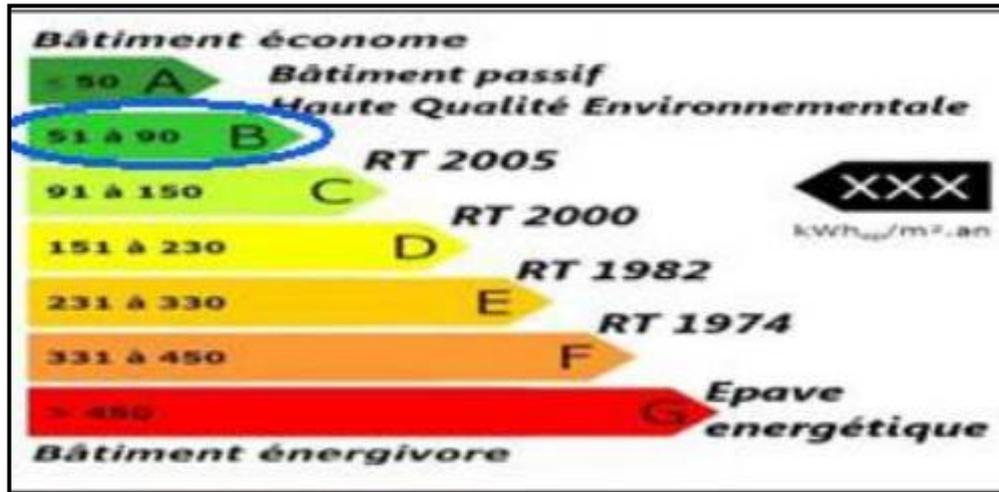


Figure 55: Classification de la salle RDC.

E. Résultat : Après ce calcul on obtient les bilans énergétiques de notre salle de classe, avec simple division du totale sur la surface occupée, on opte la classification de notre entité.

F. Cette entité est en classe C avec une consommation de 140 kWh/m².

III.3.1.6.2 Simulation d'une salle de classe de la faculté en 1er étage

Composants de la pièce :

Pour les murs (de l'extérieur vers l'intérieur) :

- Enduit extérieur de 3cm.
- Brique 25cm.
- lame d'air 5cm.
- Brique 10cm.
- Enduit de plâtre 2cm.

Pour le sol (de l'extérieur vers l'intérieur) :

- Enduit de plâtre 2cm.
- Hourdis 16cm.
- Béton 5 cm.
- Mortier 3cm.

CHAPITRE III

- Carrelage 5cm.

Pour le plafond (de l'extérieur vers l'intérieur) :

- Carrelage 5cm.
- Mortier 3cm.
- Béton 5 cm.
- Hourdis 16cm.
- Enduit de plâtre 2cm.

A. En refaire le même travail précède avec les nouveaux changements dans les matériaux en obtient des nouvelles résultats comme suit :

The screenshot shows a window titled "chambre étage intermédiaire results - Bloc-notes" with a menu bar (Fichier, Edition, Format, Affichage). The main content is a "MONTHLY SUMMARY STANDARD REPORT" with the following data:

SUMMARY VALUES FOR ALL ZONES COMBINED						
MONTH	HEATING [KWH]	COOLING [KWH]	INFILTR. [KWH]	VENTILAT. [KWH]	SOLAR_RAD. [KWH]	INT_GAINS [KWH]
JAN	4.424E+01	0.000E+00	-7.345E-02	0.000E+00	3.492E+01	0.000E+00
FEB	2.389E+01	0.000E+00	-5.351E-02	0.000E+00	3.522E+01	0.000E+00
MAR	1.019E+00	6.902E+00	-4.539E-02	0.000E+00	4.425E+01	0.000E+00
APR	0.000E+00	3.346E+01	-3.378E-02	0.000E+00	4.565E+01	0.000E+00
MAY	0.000E+00	5.764E+01	-1.884E-02	0.000E+00	5.627E+01	0.000E+00
JUN	0.000E+00	7.536E+01	-1.370E-02	0.000E+00	5.914E+01	0.000E+00
JUL	0.000E+00	6.976E+01	-1.046E-02	0.000E+00	5.299E+01	0.000E+00
AUG	0.000E+00	6.452E+01	-1.281E-02	0.000E+00	4.902E+01	0.000E+00
SEP	0.000E+00	3.655E+01	-2.879E-02	0.000E+00	4.715E+01	0.000E+00
OCT	0.000E+00	1.634E+01	-4.522E-02	0.000E+00	4.194E+01	0.000E+00
NOV	4.503E+00	0.000E+00	-5.897E-02	0.000E+00	3.423E+01	0.000E+00
DEC	3.389E+01	0.000E+00	-6.484E-02	0.000E+00	3.157E+01	0.000E+00
SUM	1.075E+02	3.588E+02	-4.598E-01	0.000E+00	5.273E+02	0.000E+00

ZONE NUMBER IS 1						
MONTH	HEATING [KWH]	COOLING [KWH]	INFILTR. [KWH]	VENTILAT. [KWH]	SOLAR_RAD. [KWH]	INT_GAINS [KWH]
JAN	4.424E+01	0.000E+00	-7.345E-02	0.000E+00	3.492E+01	0.000E+00
FEB	2.389E+01	0.000E+00	-5.351E-02	0.000E+00	3.522E+01	0.000E+00
MAR	1.019E+00	6.902E+00	-4.539E-02	0.000E+00	4.425E+01	0.000E+00
APR	0.000E+00	3.346E+01	-3.378E-02	0.000E+00	4.565E+01	0.000E+00
MAY	0.000E+00	5.764E+01	-1.884E-02	0.000E+00	5.627E+01	0.000E+00

Figure 56: Résultats de simulations (calcul). Source: TRNSYS.

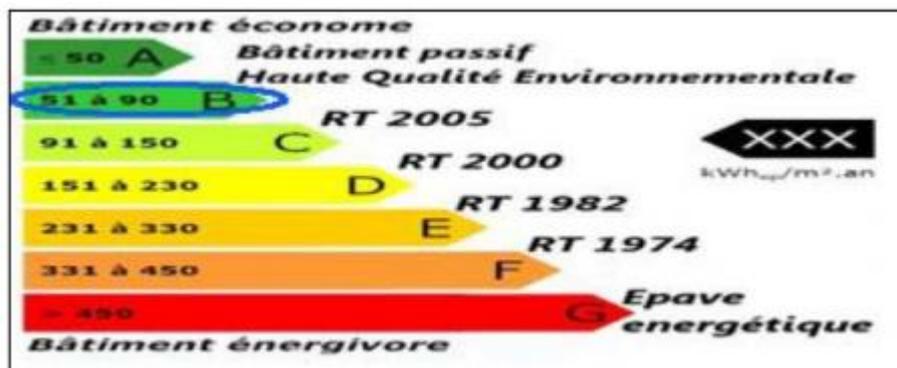


Figure 57: Classification de la salle de 1er étage.

B. Résultat : Dans ce cas la salle de classe présente un bilan énergétique moins énergivore que la même salle en R.D.C.

CHAPITRE III

Avec une consommation de 89 KWH /m² (classe B dans l'étiquette énergétique).

III.3.1.6.3 Simulation d'une salle de classe de la faculté en dernier étage

Composants de la pièce :

Pour les murs (de l'extérieur vers l'intérieur) :

- Enduit extérieur de 3cm.
- Brique 25cm.
- Lame d'air 5cm.
- Brique 10cm.
- Enduit de plâtre 2cm.

Pour le sol (de l'extérieur vers l'intérieur) :

- Enduit de plâtre 2cm.
- Hourdis 16cm.
- Béton 5 cm.
- Mortier 3cm.
- Carrelage 5cm.

Pour le plafond (de l'extérieur vers l'intérieur) :

- Béton 5 cm.
- Hourdis 16cm.
- Enduit de plâtre 2cm

A. En refaire le même travail précède avec les nouveaux changements dans les matériaux en obtient des nouvelles résultats comme suit :

CHAPITRE III

MONTHLY SUMMARY STANDARD REPORT						
SUMMARY VALUES FOR ALL ZONES COMBINED						
MONTH	HEATING [kwh]	COOLING [kwh]	INFILTR. [kwh]	VENTILAT. [kwh]	SOLAR_RAD. [kwh]	INT_GAINS [kwh]
JAN	3.485E+01	0.000E+00	-8.309E-02	0.000E-00	9.631E+01	0.000E+00
FEB	2.318E+01	7.787E+00	-6.751E-02	0.000E-00	8.652E+01	0.000E+00
MAR	2.391E+00	3.170E+01	-5.241E-02	0.000E-00	7.388E+01	0.000E+00
APR	0.000E+00	6.459E+01	-3.331E-02	0.000E-00	5.426E+01	0.000E+00
MAY	0.000E+00	9.116E+01	-1.850E-02	0.000E-00	3.143E+01	0.000E+00
JUN	0.000E+00	1.020E+02	-1.349E-02	0.000E-00	4.957E+01	0.000E+00
JUL	0.000E+00	9.941E+01	-1.016E-02	0.000E-00	4.436E+01	0.000E+00
AUG	0.000E+00	1.096E+02	-1.259E-02	0.000E-00	5.215E+01	0.000E+00
SEP	0.000E+00	8.499E+01	-2.835E-02	0.000E+00	6.455E+01	0.000E+00
OCT	0.000E+00	6.622E+01	-4.796E-02	0.000E+00	9.658E+01	0.000E+00
NOV	6.063E+00	9.507E+00	-7.852E-02	0.000E+00	1.008E+02	0.000E+00
DEC	3.734E+01	1.211E+00	-8.310E-02	0.000E+00	1.057E+02	0.000E+00
SUM	1.038E+02	6.677E+02	-5.314E-01	0.000E+00	8.752E+02	0.000E+00

Figure 58: Résultats de simulation (Calcul). Source: TRNSYS.

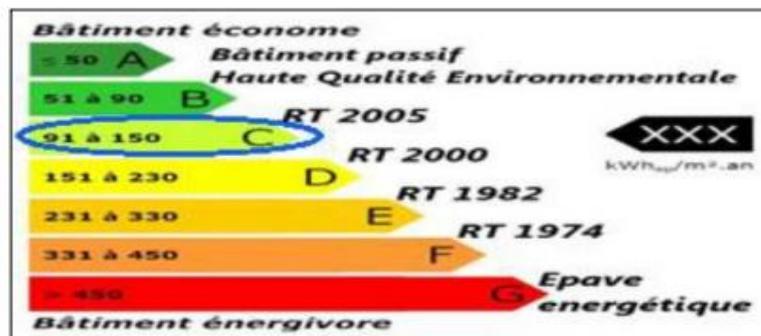


Figure 59: Classification de la salle de 2ème étage.

B. Résultat : Dans ce cas la salle de classe présente un bilan énergétique plus énergivore que la même salle en R.D.C et en 1er étage.

Avec une consommation de 143KWH /m2 (classe C dans l'étiquette énergétique).

III.3.1.7 Analyse de l'efficacité du panneau pendant une journée

III.3.1.7.1 Conditions de simulation

- La quantité d'énergie électrique produite par les panneaux solaires, est inférieure à la quantité d'énergie produite.
- Le panneau simulé est une unité de surface de 1.5 m². Pour calculer l'énergie totale, il suffit de multiplier sa quantité par la surface totale de captage.
- L'orientation est celle du SUD, avec une inclinaison de 36° selon l'altitude de la ville de Guelma.
- Le type utilisé et testé est le panneau photovoltaïque Monocristallin de condor, connu avec son rendement élevé par rapport à morphe (cas le plus favorable).

III.3.1.7.2 Caractéristique du panneau

Type de cellule	Cellule monocristalline avec anti-reflection
Nombre de cellules par module	60 Cellules (6x10)
Dimensions de la cellule	156x156 mm
Dimensions du module	1640x992x45 mm
Poids du module	17,5 kg
Cadre	Alliage en aluminium anodisé
Type de verre	Verre trempé, 3.2 mm d'épaisseur
Boite de jonction et connecteur	IP65, 3 Diodes By-passe et câbles compatibles avec un connecteur MC4
Température d'utilisation	- 40°C à 85°C

Figure 60: Caractéristique du panneau solaire utilisé. Source: Condor Electronics.

III.3.1.8 Résultat

- La consommation énergétique des salles de classes (la salle de classe RDC) est celle de : 140 kwh/m².
- La puissance énergétique générée par les panneaux aux orientations SUD, pendant la journée test (6heures de fonctionnement) : 1584 Wh et 578.16kwh/ans.
- Pour un champ de cinq panneaux en série, de 1.5 m². La surface des panneaux solaires est de : $1.5 \times 5 = 7.5 \text{ m}^2$.
- Donc la puissance totale sera : $260 \times 7.5 = 1950 \text{ Wh}$ et 427.05kwh/ans.
- Le rapport consommation réel/la puissance des panneaux : 4%.
- Cette puissance générée couvre la demande énergétique, avec un rendement de 4% des panneaux solaires.

III.3.1.8.1 Interprétation des résultats

- La consommation énergétique élevée dépend des matériaux utilisés.
- Des pertes thermiques.
- L'orientation des cellules et des espaces...

III.3.1.8.2 Recommandations

- Favoriser l'énergie Renouvelable dans la conception du projet⁹⁵.

⁹⁵ MENAI I, Vers une architecture solaire des établissements universitaires à Guelma, mémoire fin d'étude de l'université 08 Mai 1945 Guelma, Juin 2018.

Conclusion

En conclusion, on peut constater que la quantité d'énergie générée par les panneaux solaires avec l'orientation Sud couvre la demande annuelle des différentes zones simulées. L'efficacité des panneaux solaires et leur rendement électrique, dépend généralement de :

- ✓ Ses dimensions.
- ✓ Sa technologie.
- ✓ Du rayonnement reçu.
- ✓ De la durée d'exposition.

Chapitre IV : projet d'intervention : Analyse, programmation et intervention

Introduction

Dans ce chapitre on va faire une analyse sur un terrain d'intervention pour avoir leurs contraintes et leur potentialité afin de bien avoir intégrer notre projet proposé.

Aussi, une analyse sur des exemples pour tirer des principes (constructifs ou écologique), et tirer les programmes surfaciques étudiés.

IV.1. Analyse de site d'intervention

IV. 1.1 Motivation de choix

Notre choix a été fait suivant ces critères:

- La proximité des établissements universitaires et scolaires existants.
- Ensoleillement favorable pour l'exploitation de l'énergie solaire photovoltaïque et thermique.
- Sa situation sur un point culminant pour renforcer sa visibilité et son accessibilité.

IV.2 Présentation de la ville

IV.2.1 Situation géographique de la ville de Guelma

Cette ville de Nord-est algérien se situe au cœur d'une grande région agricole à 290m d'altitude, entourée de montagnes : Maouna, Dbegh et Houara ce qui lui donne le nom de la ville assiette.

Elle constitue, du point de vue géographique, un point de rencontre, voire un carrefour entre les pôles industriels du littoral (Annaba et Skikda) et les centres d'échanges des régions intérieures (Oum El Bouaghi et Tébessa). Elle occupe une position médiane entre le Nord du pays, les Hauts plateaux et le Sud, entre 36° 28' de latitude Nord et 7° 25' de longitude Est avec une altitude 290m (min.: 256m, max. : 321m).

Elle jouit également d'une position géométriquement centrale dans son territoire wilaya. La commune est limitée au Nord par les communes de Héliopolis et el Fedjoudj, à l'Est

CHAPITRE IV

par la commune de Belkeir qui s'étend et l'encadre vers le Sud, au Sud et Sud-ouest par Ben Djerrah et à l'Ouest par Medjez Ammar.



Figure 61: La situation géographique de la ville de Guelma.

Contexte géographique

La géographie de la wilaya se caractérise par un relief diversifié. Son relief se décompose comme suit :

- ✓ Montagnes : 37,82% dont les principales :
 - Maouna (Ben Djerrah) : 1 411m d'altitude.
 - Houara (Ain Ben Beidha) : 1 292m d'altitude.
 - Taya (Bouhemdane) : 1 208m d'altitude.
 - Dbegh (Hammam Dbegh) : 1 060m d'altitude.
- ✓ Plaines et plateaux : 27,22% ; Collines et piémonts : 26,29% ; Autres : 8,67%.

IV.2.2 Analyse climatique de la ville Guelma

IV.2.2.1 le climat de la ville de Guelma

D'après la classification donnée par recommandation architecturale 1993, la ville de Guelma appartient à la zone climatique E2 d'été et H2a d'hiver, qui possède deux saisons principales :

- Un été plus chaud moins humide ou l'écart de température diurne est important.

CHAPITRE IV

- Un hiver froid et sec, avec un écart de température diurne important.

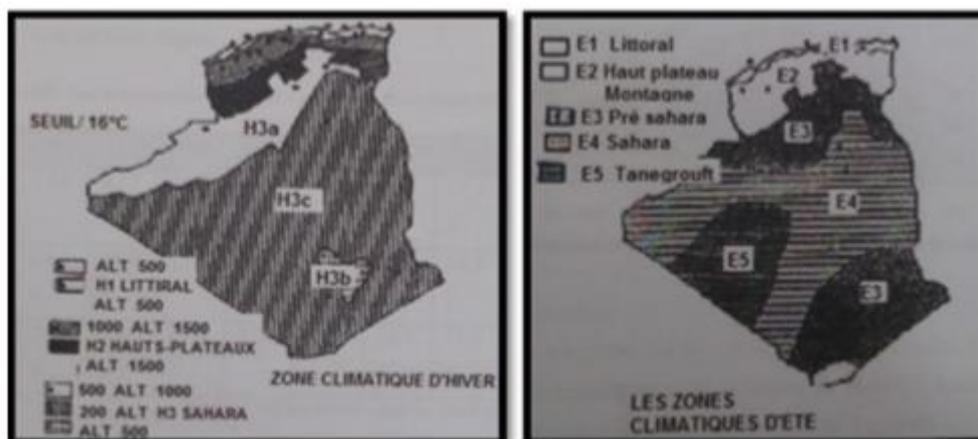


Figure 62: La classification du climat de la ville de Guelma.

Le climat de Guelma est donc un climat SUB-HUMIDE DE se caractérise par des hivers plus froids et plus longs et des étés chauds et moins humides.

L'interprétation des données météorologiques de Guelma sur une période de dix ans, et l'établissement de son diagramme solaire s'avère utiles pour mieux caractérisé son climat.

A rappeler que pour définir les climats on devra s'appuyer constamment sur les données moyennes et extrêmes⁹⁶.

IV.2.2.2 Températures

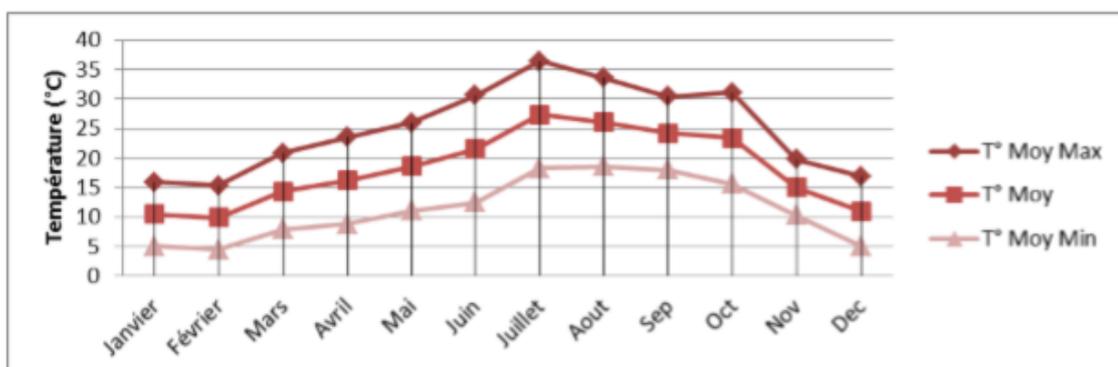


Figure 63: Graph des variations des températures mensuelles en 2016.

⁹⁶ ESTIENNE.P et GODARD. A, Climatologie, Paris: Edition Armand Colin, 1970, p11

CHAPITRE IV

La courbe des températures moyennes mensuelles évolue d'une manière régulière. La température moyenne annuelle est 18C° avec une valeur maximale de 36.4 dans le mois de Juillet et une valeur minimale de 4.4 dans le mois de Février.

IV.2.2.3 précipitation

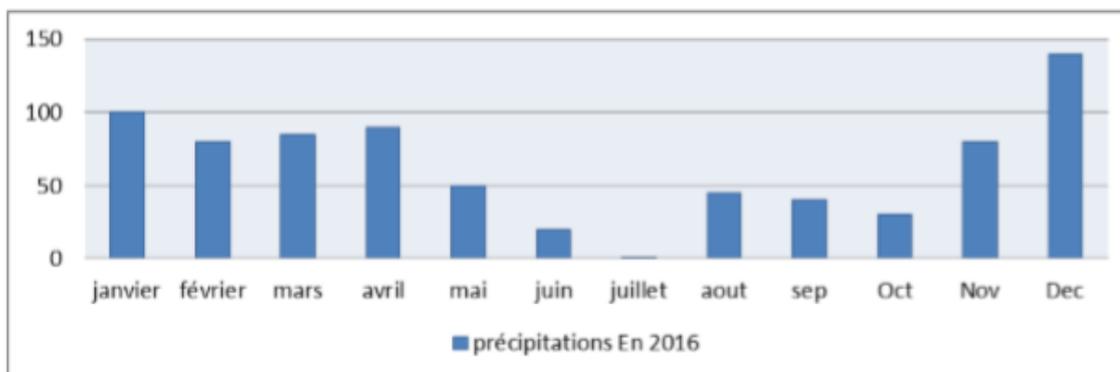


Figure 64: Graph de variations des précipitations mensuelles en 2016.

La répartition annuelle des précipitations est marquée par une importante période de sécheresse (Mai, Juin, Juillet et Août, septembre et octobre) où les précipitations sont très faibles ou rarement sous forme d'orages.

IV.2.2.4 Vitesse de vents

Les vents prédominants à Guelma sont d'une vitesse moyenne qui varié de 1.46 à 2m/s pour une moyenne annuelle de 1.80m/s.



Figure 65: Graph de variation de vitesse des vents mensuelle.

Les vents à Guelma sont de diverses directions. Ceux de nord-ouest atteignent leur maximum au mois de décembre et leur minimum au mois de Juillet. A l'inverse les

CHAPITRE IV

vents nord-est sont plus fréquents au mois de juillet, avec un maximum de fréquences entre les mois d'octobre et février. Enfin le sirocco se manifeste au nord plus qu'au sud de la région, surtout en juillet de 6 à 7 jours en moyenne. C'est un vent chaud et desséchant très néfaste pour les cultures.

IV.2.2.5 La rose des vents

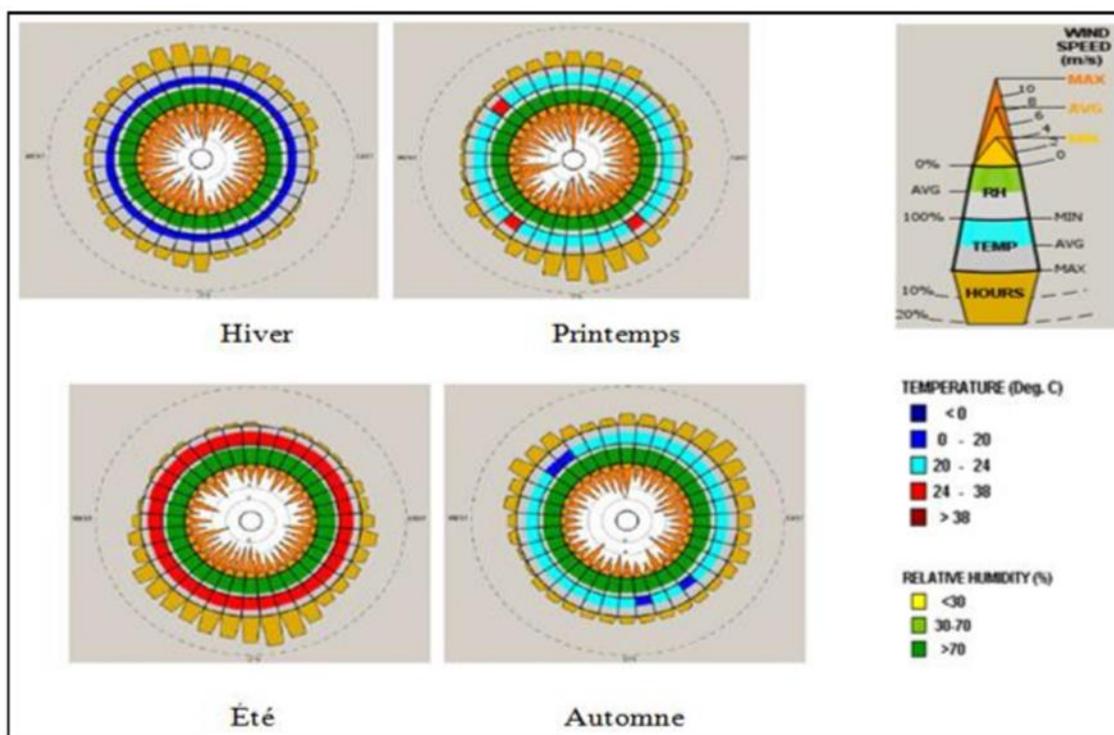


Figure 66: La rose du vent dans les 4 saisons de la wilaya de Guelma (Météonorm 7 + Climat).

A partir des données météorologiques du logiciel Météonorm 7 et de Climate consultant 6.0 qui trace la rose des vents dans la région de Guelma dans les quatre (04) saisons, on peut lire que dans la période :

- Hivernal : les vents viennent du côté Nord et moins fréquente du côté Sud-Ouest avec une température entre 0 °C et 20 °C.
- Du printemps : les vents viennent des côtés Sud et moins fréquente du côté Nord avec une température entre 20 °C et 24 °C.
- D'été : les vents viennent des côtés Sud, Sud-Est et Sud-Ouest avec une température varier entre 24 °C et 38 °C.
- D'automne : les vents viennent des côtés Nord-Est et Nord-Ouest avec une température varier entre 20 °C et 24 °C.

CHAPITRE IV

IV.2.2.6 Insolation

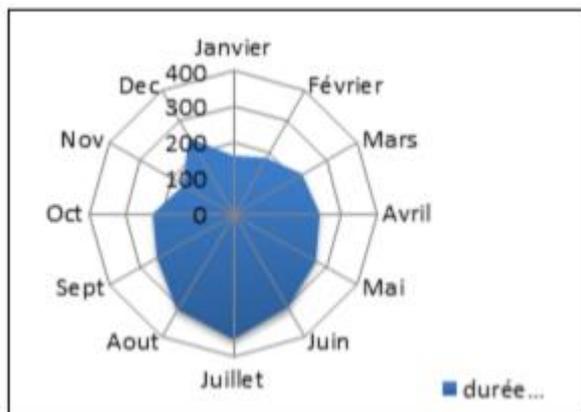


Figure 67: Variation de durée d'insolation mensuelle.

Le nombre d'heures d'ensoleillement pour les périodes chaudes dépasse 10 heures par jour.

L'insolation totale mensuelle est considérable. D'une moyenne de 243.3 h avec un minimum 160.9 h enregistré en janvier et un maximum 353 h enregistré en juillet.

IV.2.2.7 Diagramme ombrothermique de Guelma

Le diagramme ombrothermique de Guelma fait distinguer deux périodes. La première froide et humide où la courbe de précipitations est au-dessus de celle des températures. La seconde est considérée chaude et sèche. La période humide débute d'octobre à avril et la période sèche s'étale de mai à octobre.

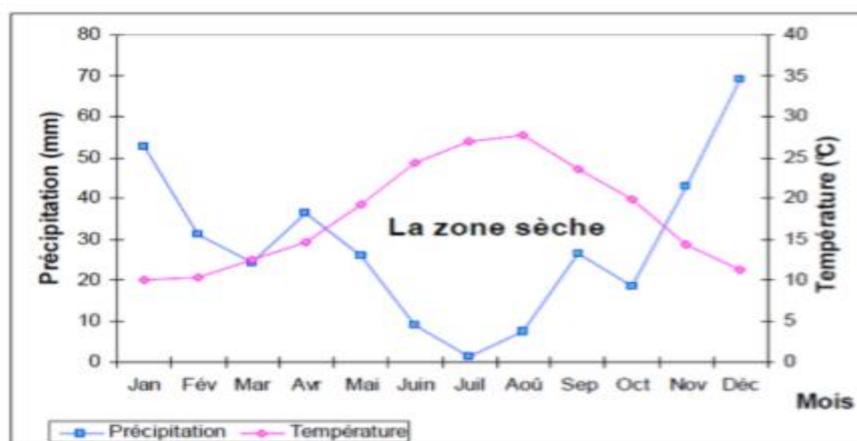


Figure 68: Le digramme ombrothermique de Guelma.

CHAPITRE IV

IV.2.2.8 Diagramme solaire de Guelma

Afin de connaître la trajectoire annuelle apparente du soleil dans la ville de Guelma, on a procédé au calcul des hauteurs et des azimuts solaires. Les valeurs calculées le 21 de chaque mois sont indiquées au tableau :

Heurs	Angle	21 Juin	21 Mai et 21 juillet	21 Avril et 21 Août	21 Mars et 21 Sept	21 Fev et 21 Octo	21 janv et 21 Nov	21 Déce
12	H	77° 16'	74° 16'	65° 47'	53° 52'	41° 97'	33° 28'	30° 27'
	A	0	0	0	0	0	0	0
13	H	71° 77'	69° 44'	61° 98'	50° 95'	39° 92'	31° 53'	28° 61'
	A	49° 38'	43° 68'	32° 64'	24° 25'	19° 29'	16° 53'	15° 69'
14	H	61° 15'	59° 40'	53° 51'	44° 11'	35° 66'	26° 58'	23° 89'
	A	71° 92'	66° 98'	55° 40'	44° 13'	37° 04'	31° 59'	30° 11'
15	H	49° 32'	47° 80'	42° 73'	34° 61'	25° 94'	19° 11'	16° 70'
	A	84° 38'	80° 54'	70° 47'	59° 22'	50° 34'	44° 50'	42° 63'
16	H	37° 25'	35° 75'	31°	23° 64'	15° 90'	09° 85'	07° 72'
	A	93° 64'	90° 78'	81° 55'	70° 97'	61° 83'	55° 45'	53° 30'
17	H	25° 27'	23° 71'	18° 95'	11° 92'	4° 80'		
	A	101° 50'	98° 68'	89° 10'	80° 82'	71° 72'		
18	H	13° 62'	11° 92'	6° 92'				
	A	109° 27'	106° 72'	99° 52'				
19	H	2° 52'	0° 64'					
	A	117° 50'	115° 15'					
20	H							
	A							
Angle du soleil levant & couchant		60° 43' 4h 03'	64° 32' 4h 17'	75° 36' 5h 01'	90° 24' 6h 01'	104° 63' 6h 59'	115° 67' 7h 43'	119° 58' 7h 58'

Tableau 3: Hauteur et azimut du soleil (Guelma).

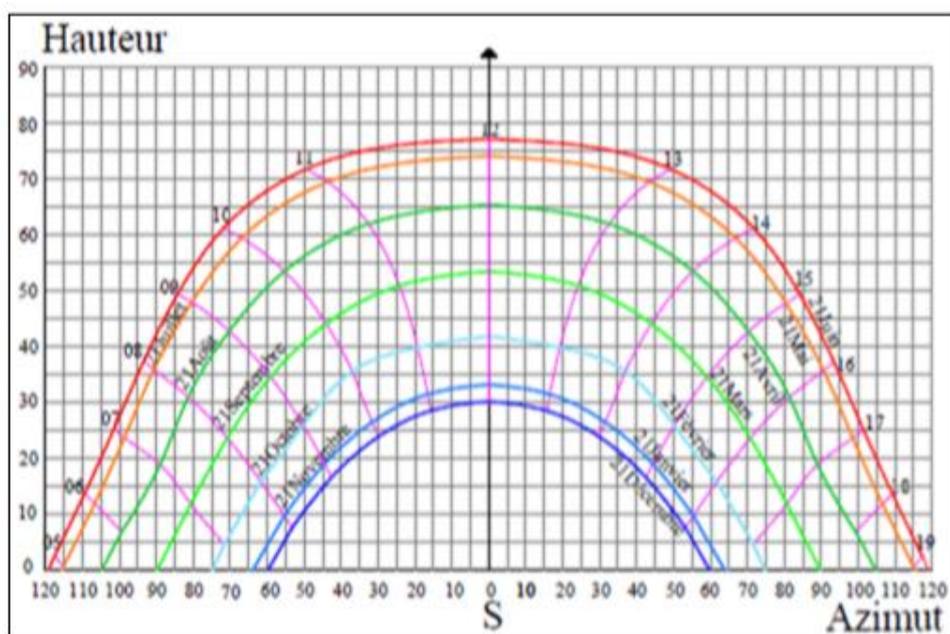


Figure 69: Le diagramme frontal de Guelma.

CHAPITRE IV

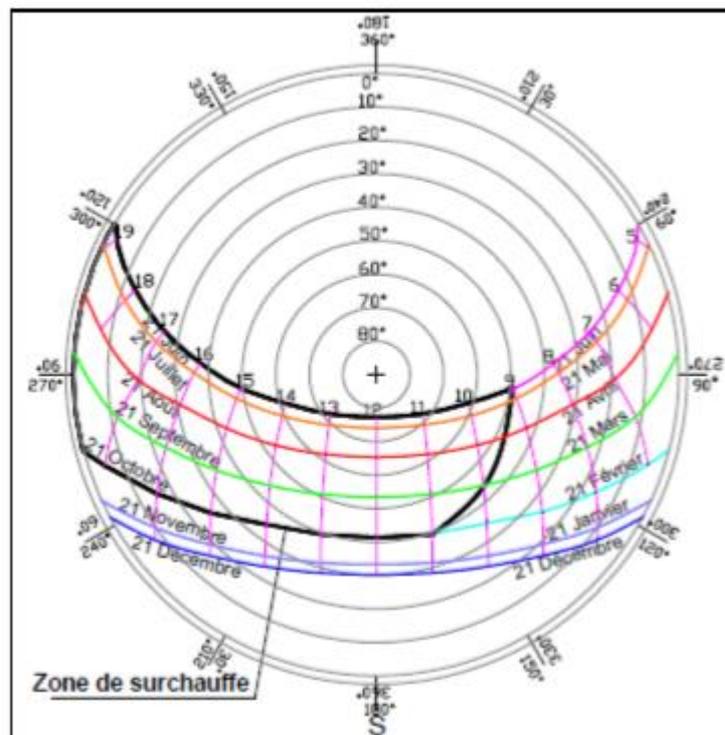


Figure 70: Le diagramme polaire de Guelma montrant la zone de surchauffe.

IV.2.3 Analyse bioclimatique de la ville de Guelma

Diverses recherches ont été entamées pour connaître les limites du confort thermique sous forme d'indices et diagrammes bioclimatiques.

IV.2.3.1 Application de la méthode de S. Szokolay

En se basant sur les recherches d'Hymphrey, Auliciens sur la température neutre, et la température effective (SET) des normes ASHRAEA, Steeve Szokolay a défini une zone de confort avec diverses zones de contrôle potentiel en fonction des données climatiques de la région d'étude⁹⁷. Cette méthode a été retenue pour évaluer la situation dans la ville de Guelma. Les recommandations se résument ainsi:

- Effet de masse thermique avec ventilation nocturne et un contrôle solaire à partir du mois de juin.
- Une ventilation naturelle pour la saison d'été.
- Le chauffage passif pour les mois assez froids comme octobre, mars; et le chauffage d'appoint pour les mois les plus froids tel que janvier.

⁹⁷ SZOKOLAY, Environmental science handbook for architects and builder. LACASTRE, LONDON, NEW YORK: THE CONSTRUCTION PRESS, 1979, p263.

CHAPITRE IV

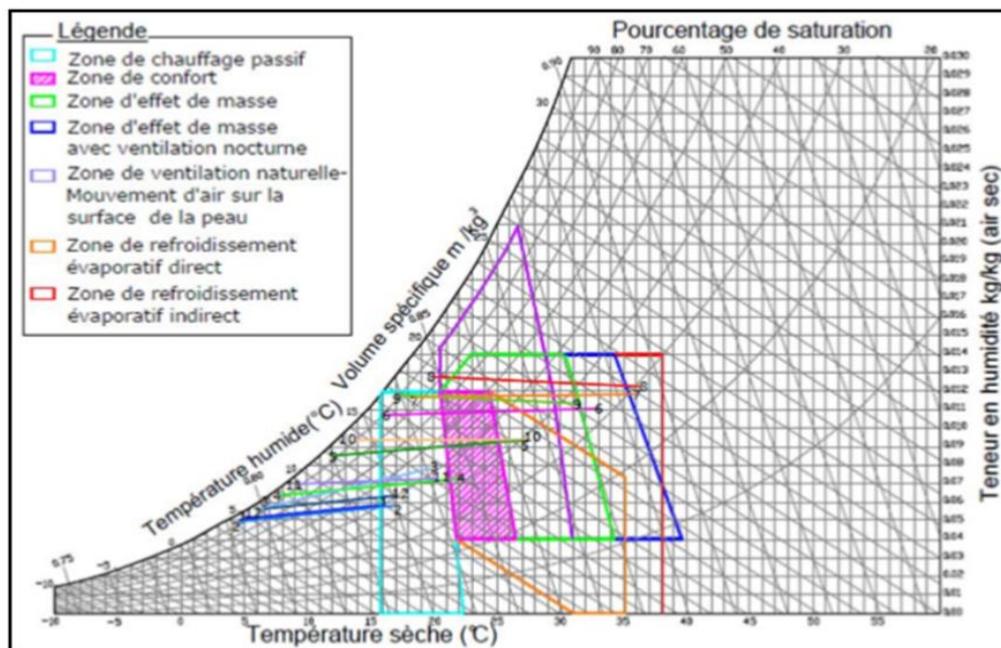


Figure 71: Le diagramme psychrométrique de Guelma.

IV.2.3.2 Les tables de Mahoney

Les tables de Mahoney présentent l'avantage d'intégrer certaines variables sociales et fonctionnelles en fonction des variations climatiques. C'est un autre outil pour déterminer les recommandations nécessaires à la réalisation du confort thermique dans le bâtiment. Les besoins en confort sont groupés en six indicateurs :

H1 : la ventilation indispensable (climat chaud et humide).

H2 : la ventilation souhaitée (climat chaud et sec).

H3 : la protection de la pluie nécessaire (climat tropical et tempéré).

A1 : l'inertie thermique (climat à grand écart diurne de température).

A2 : dormir dehors (climat chaud en été).

A3 : protection du froid. L'analyse et les résultats sont présentés sous forme de tables avec recommandations. Cette méthode a été aussi choisie pour évaluer la situation dans la ville de Guelma.

Les principes de conception architecturale et les recommandations nécessaires déduites sont :

- ✓ le plan compact.

CHAPITRE IV

- ✓ la cour intérieure à prévoir.
- ✓ les murs épais ainsi que la toiture afin de permettre le déphasage de la chaleur.
- ✓ la possibilité de bénéficier d'un chauffage passif en hiver avec un chauffage d'appoint en complément.
- ✓ la climatisation naturelle et la ventilation sont nécessaires en été.

IV.1.3 Analyse de site

IV.1.3.1 Présentation et délimitation de terrain



Figure 72: situation du terrain. Source : Google Earth.

Le site est situé au sud de la Wilaya de Guelma, commun de Guelma et au nord du POS SUD.

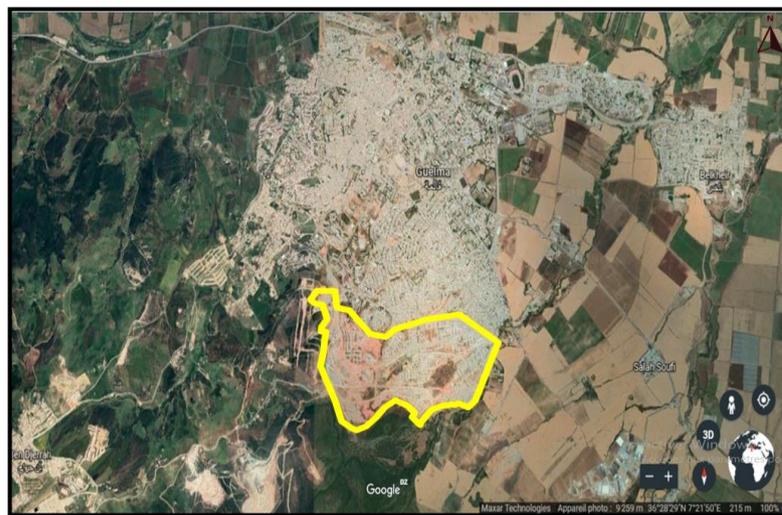


Figure 73: la situation du pos sud.

CHAPITRE IV



Figure 74: la situation du terrain par rapport au pos sud.

- Le terrain est entouré par habitat collectif, en EST et SUD.
- par une mosquée à l'OUEST.
- au NORD par salle de sport.

IV.1.3.2 Analyse physique du site

IV.1.3.2.1 tissu urbain



Figure 75: Le tissu urbain du terrain. Source: Google Earth réadapté par l'auteur.

Le terrain se trouve dans un tissu urbain dense il se compose de plusieurs cités résidentielles et à proximité d'un établissement universitaire (la faculté SOUIDANI BOUDJEMAA) et des établissements secondaires ainsi que la présence d'un équipement sportif.

CHAPITRE IV

IV.1.3.2 Morphologie

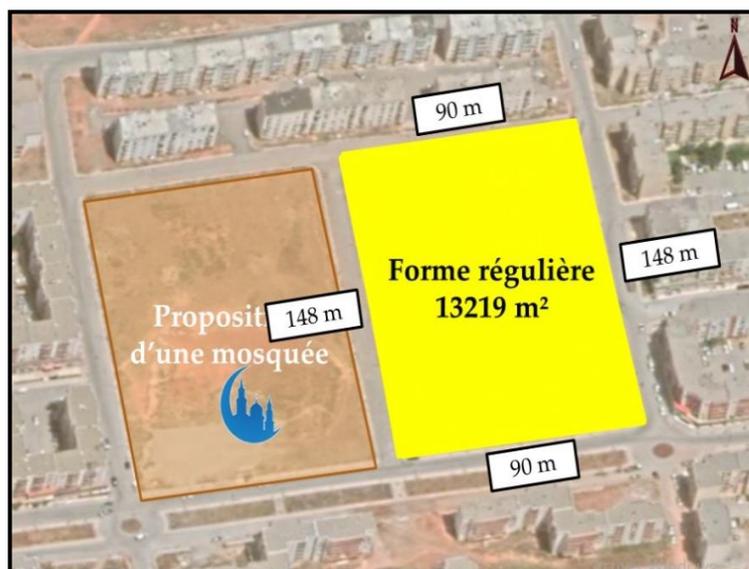


Figure 76: forme et surface du terrain. Source : Google Earth réadapté par l'auteur.

IV.1.3.2.3 Le profil topographique



Figure 77: coupe topographique du terrain. Source : Google Earth.

La topographie du site comporte des pentes plus ou moins moyennes à faibles : La coupe longitudinale montre une pente de 5% et la coupe transversale montre une pente de 7%.

CHAPITRE IV

IV.1.3.2.4 Accessibilité

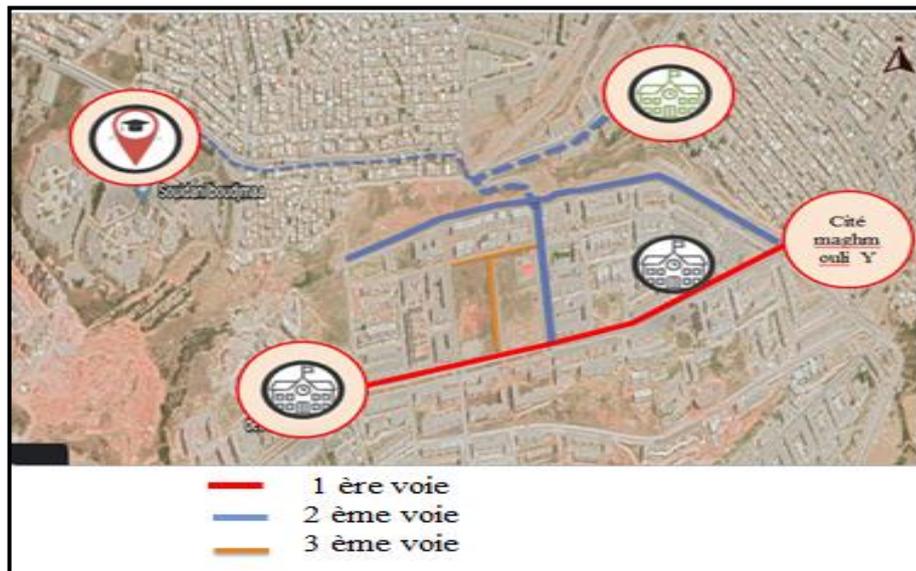


Figure 78: accessibilité de terrain. Source : Google Earth réadapté auteur

Il a 2 voies : La 1ere c'est la voie qui relie la cité 60 logements et la nouvelle ville.

La 2eme c'est la voie qui relie la cité Oued Elmaiz et la nouvelle ville.

La 3eme voie c'est une voie tertiaire.

IV.1.3.3 Analyse microclimatique du terrain

IV.1.3.3.1 Ensoleillements

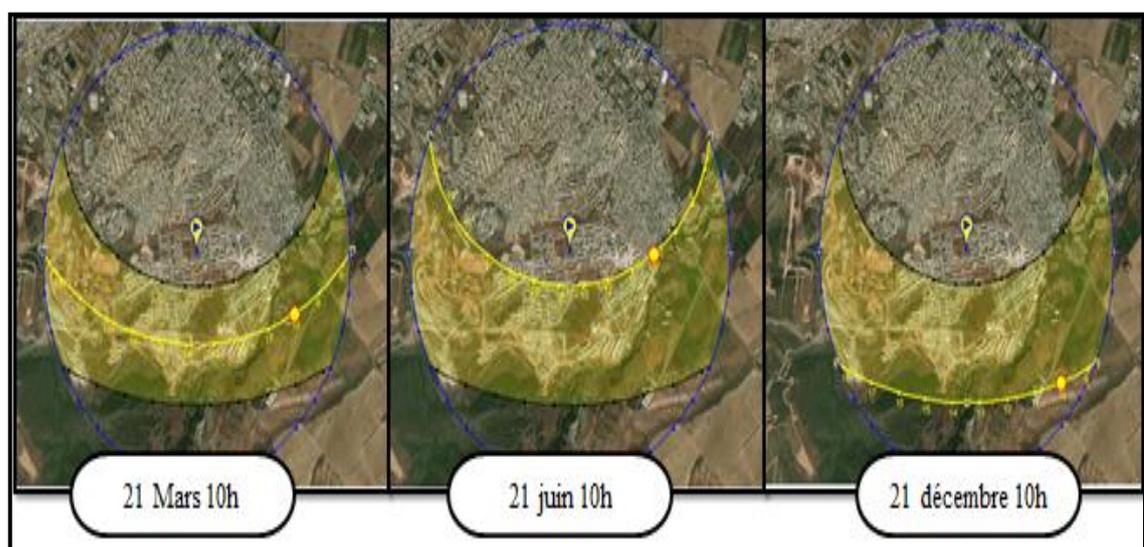


Figure 79: La course solaire pendant les 3 sollicités (21 décembre, 21 mars, 21 juin).

CHAPITRE IV

Source: SunEarthTools.com 2018.

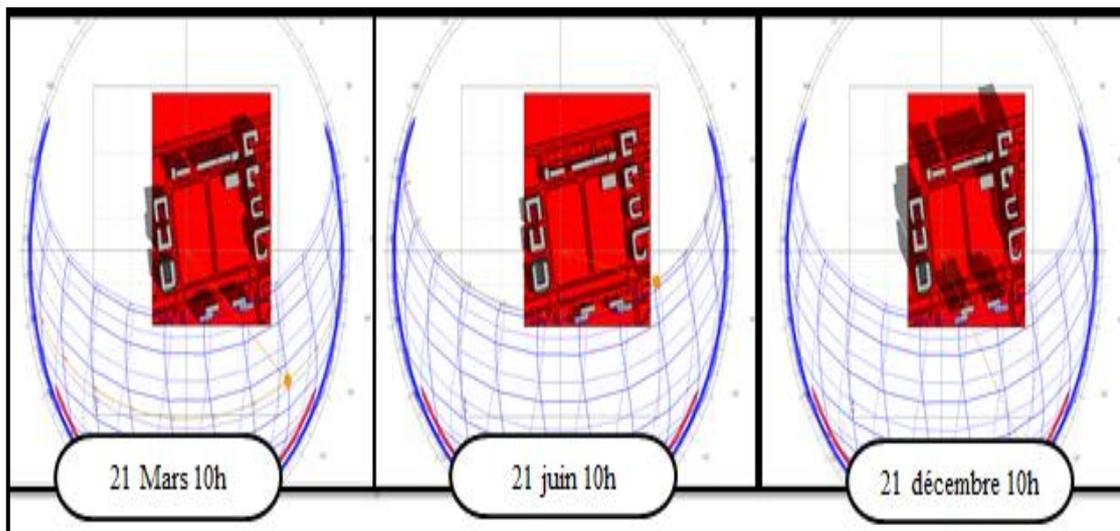


Figure 80: étude d'enseillement pendant les 3 sollicités par le logiciel Ecotect.

Source : auteur.

Le terrain forme un petit plateau bien à l'abri des constructions ce qui lui favorise un ensoleillement durant toute l'année.

IV.1.3.3.2 Vents dominants

Son exposition aux 2 vents est perceptible, surtout aux vents dominants du côté nord-ouest, du fait qu'il n'est pas protégé contre les vents.

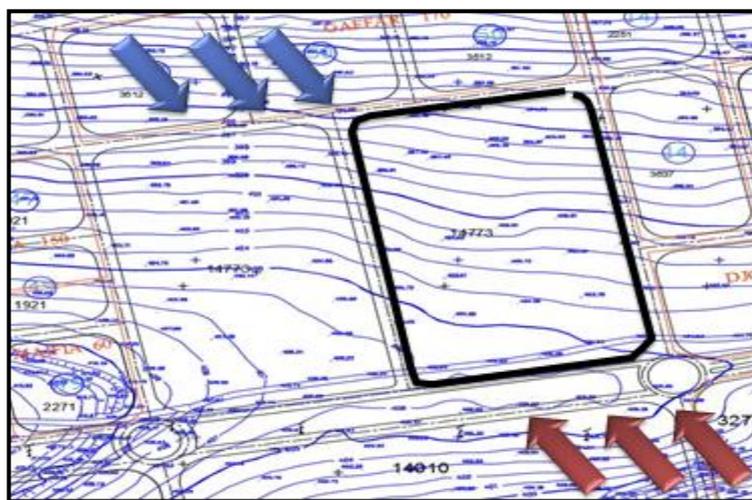


Figure 81: La direction des vents dominants.

Source: POS réadapté par l'auteur.

CHAPITRE IV

Le terrain est exposé aux vents dans les façades Nord-ouest en hiver, et sud est en été.

IV.3.5 Synthèse et critères de choix

- ✓ Sa situation géographique : ni loin, ni au milieu du centre-ville « facilement accessible ».
- ✓ Il est facilement accessible par différents types de transport (transport public: bus, taxis, privé: voitures personnelles). Grace à la présence des voies mécaniques et piétonne, le site est bien accessible de tous les côtés aussi bien pour les véhicules que pour les piétons.
- ✓ La proximité du pôle universitaire, équipements éducatifs et équipements sportifs.
- ✓ les habitants de la nouvelle ville ont besoins d'un équipement culturel dans un cadre de loisir, pour créer un pont entre la population et la culture d'une part, et les différentes tranches d'âges d'autre part. Cette dernière, pourra jouer un rôle important pour dynamiser la ville de Guelma.
- ✓ le terrain est bien ensoleillé ainsi que bien ventilé.
- ✓ La topographie du terrain est favorable à tout type de construction.

IV.2 Les centres de loisir scientifique : approche théorique

Introduction

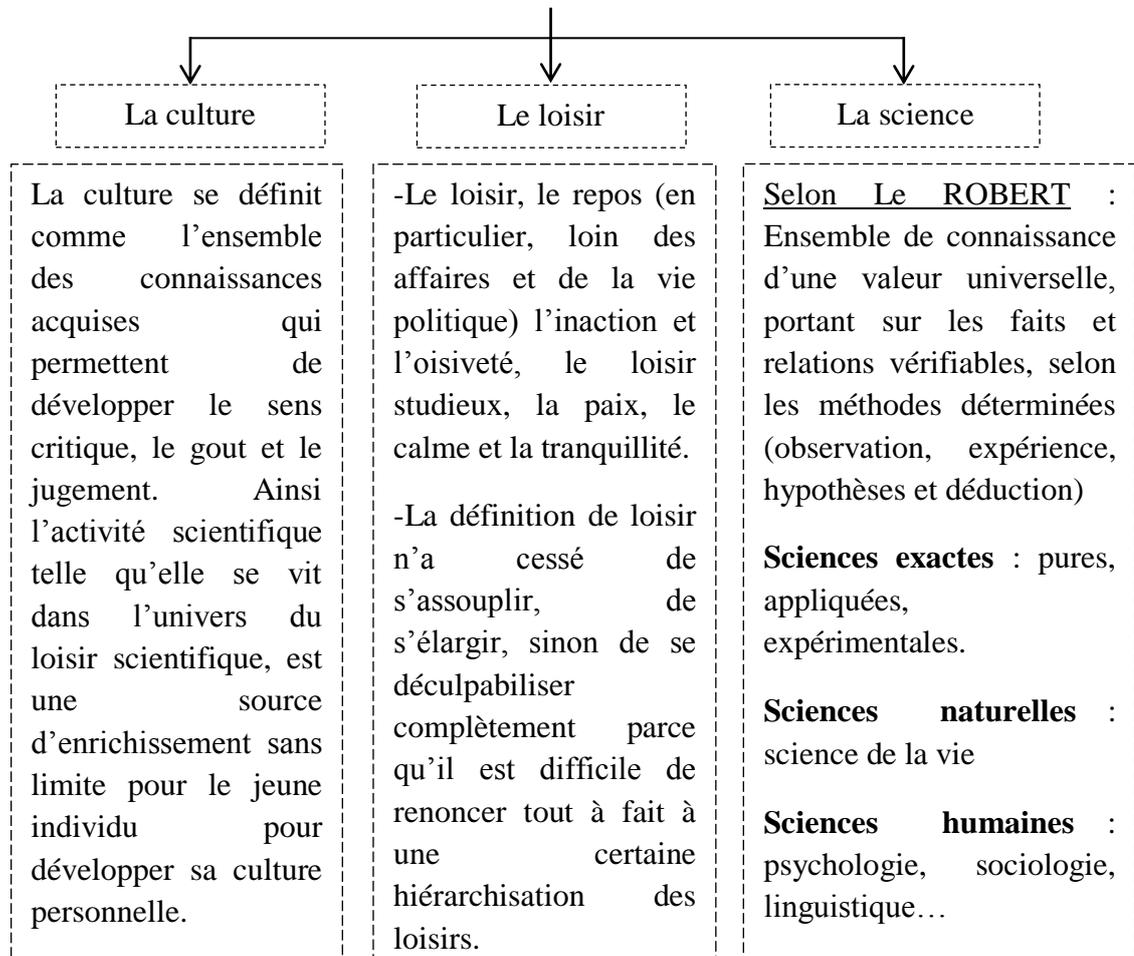
« ...un édifice sans thème, sans idée portante est une architecture qui ne pense pas, des ouvrages d'architecture qui naissent ainsi n'ont pas de sens, ils ne signifient rien et servent purement à satisfaire des besoins de la manière la plus trivial ». (Oswald Mathias Ungers "Cosmos of Architecture" 1972.)

IV.2.1 Définition du CLS

Le CLS :

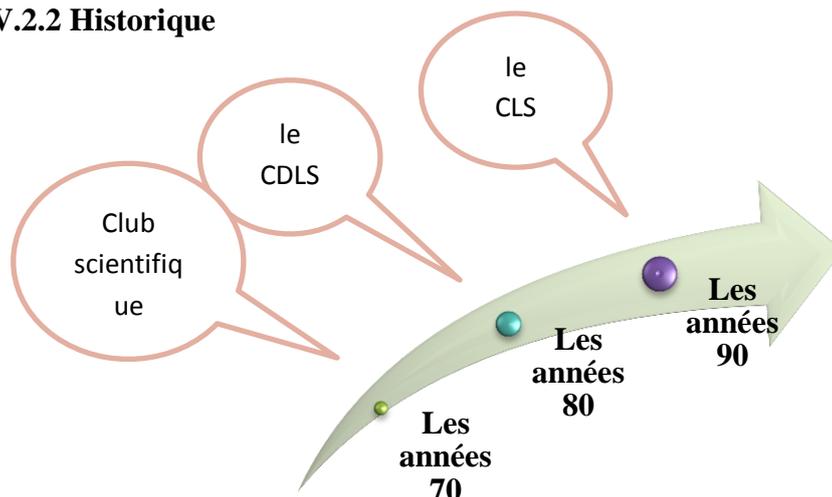
Le centre de Loisir Scientifique est un organisme à but non lucratif qui a pour mission de promouvoir le loisir ainsi que la culture scientifique et technologique auprès des jeunes et du grand public

Donc un centre de loisirs scientifiques a trois fonctions principales qui sont :



CHAPITRE IV

IV.2.2 Historique



IV.2.3 Les valeurs d'un CLS

Le loisir scientifique est régi par un ensemble de valeurs qui en définissent toute la spécificité. À cette pratique se greffent des valeurs :

- Certaines réalités sociales et humaines font de la pratique du loisir scientifique un outil de développement global des jeunes individus.
- Les divers cadres d'activités favorisent la communication, le développement de l'autonomie, du sentiment d'appartenance à un groupe, la responsabilisation, la confiance en soi et le respect des autres.
- De liberté et de plaisir d'apprendre.

IV.2.4 Les CLS en Algérie

Les Centres de loisirs scientifiques (CLS) sont une idée récente en Algérie, même si des initiatives timides çà et là ont été tentées dans certaines maisons de jeunes. A la demande de certaines associations, le gouvernement, par le biais du ministère de la Jeunesse et des Sports (MJS), a décidé d'élaborer un programme spécifique à ce genre d'établissement, en collaboration avec les collectivités locales. Une fiche technique a été arrêtée, mais elle a été appelée à être modifiée d'un établissement à un autre. Certaines activités, telles que l'informatique et l'astronomie, occupent une place importante dans ces programmes. Un cybercafé est indispensable dans chaque centre. «C'est une ouverture vers le monde extérieur», noteront les premiers responsables de ces centres. Des cours d'initiation et voire plus sont dispensés pour permettre aux jeunes d'accéder aux Technologies de l'information et de la communication (TIC).

CHAPITRE IV

Cela dit, dans chaque centre il y a une activité plus prisée que d'autres, sur laquelle le centre bâtit sa réputation. Toutefois, il n'a pas toujours été facile de maintenir certaines activités, faute de moyens et de volonté politique. Il faut dire que la gestion financière est assurée par des associations qui bénéficient de subventions de l'Etat. La direction de la jeunesse et des sports est chargée du programme pédagogique, dont le personnel veille à son application. Il est inscrit des ateliers en astronomie, en biologie et agronomie, en électricité, en mécanique et des «petits débrouillards» ainsi que des projections de films et documentaires scientifiques⁹⁸.

⁹⁸<https://www.djazairess.com/fr/infosoir/50652>

IV.3 Analyse des exemples

IV.3.1 Exemple 01: Connecticut Science Center

IV.3.1.1 Présentation

Fiche technique du projet

Architecte: Cesar Pelli & Associates.

Usages: l'éducation; Musée.

Surface : 14 300 m².

Étages: 6.

Début des travaux: Janvier 2006.



Figure 82: vue d'extérieur du Connecticut Science Center.

Source : Google image.

Le Centre est un organisme à but non lucratif dédié à améliorer l'enseignement des sciences à travers l'État du Connecticut, offrant des possibilités d'apprentissage pour les élèves et les adultes de tous âges, et engager la communauté dans l'exploration scientifique.

IV.3.1.2 Situation générale



Figure 83: carte et vue aérienne avec la situation de Connecticut aux Etats-Unis.

Source : Google Earth réadapté par l'auteur

CHAPITRE IV

Le Connecticut Science Center est situé à Hartford, la capitale de l'état du Connecticut dans le Nord-est des Etats-Unis.

Le Connecticut Science Center est situé exactement sur la rivière Connecticut.

IV.3.1.3 Les limites

Le Connecticut Science Center est entouré de deux équipements éducatifs :

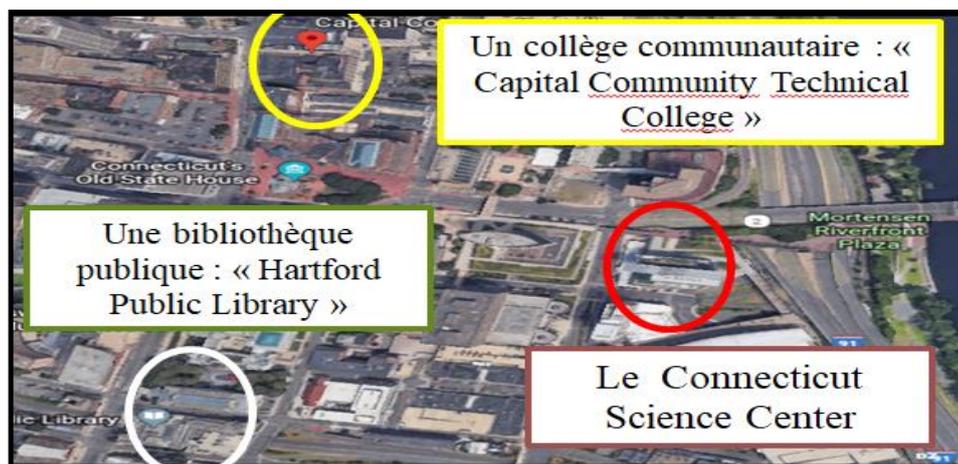


Figure 84: photo aérienne du projet avec les équipements éducatifs.

Source : Google Earth réadapté par l'auteur.

IV.3.1.4 Environnement immédiat :



Figure 85: photo aérienne avec l'esplanade et l'amphithéâtre a côté du fleuve.

Source : Google Earth réadapté par l'auteur.

CHAPITRE IV

L'existence d'une esplanade « Mortensen Riverfront plaza » Couvrant la I-91, allongée au côté Nord du Connecticut Science Center, réunit le centre-ville de Hartford avec le front de mer par un l'amphithéâtre ouvert, dont la scène est au pied du fleuve, ce qui produise une forte dynamique autour du projet.

IV.3.1.5 Etude du plan de masse

-  Columbus Boulevard
-  Grove ST

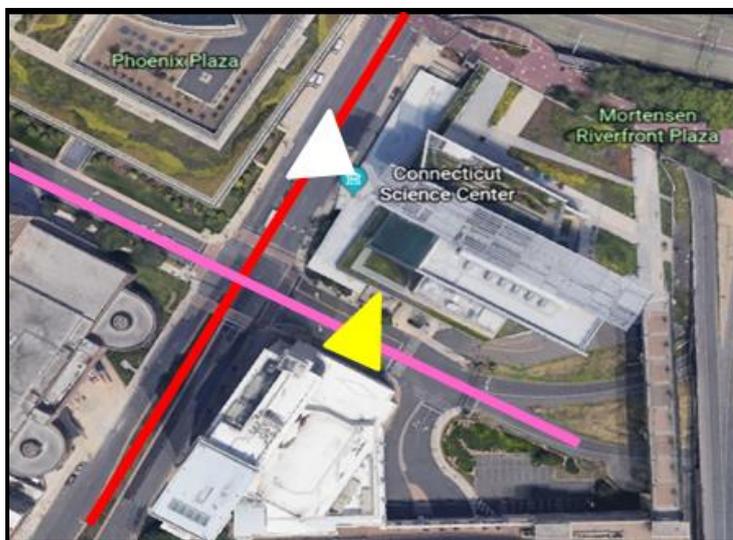


Figure 86: plan de masse du Connecticut Science Center.

Source : Google Earth réadapté par l'auteur

Le Connecticut Science Center est implanté au Croisement des deux rues: Columbus Boulevard et Grove ST sur un parking public, occupe toute la parcelle.



Figure 87: vue de l'angle avant et après l'implantation du projet.

Source : Google image réadapté par l'auteur.

L'implantation du Connecticut Science Center au coin d'intersection de Columbus Boulevard et Grove ST donne une nouvelle motivation et dynamique de cet angle.

CHAPITRE IV

Le Connecticut Science Center se connecte au parc urbain (esplanade) sur son côté nord avec deux passages, ce qui produit des meilleures connexions urbaines avec le site.

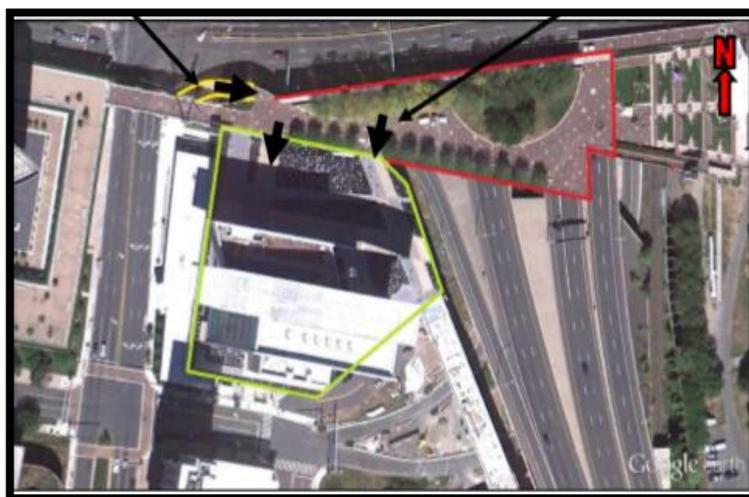


Figure 88: photo aérienne avec la relation entre le centre et le parc urbain.

Source : Google Earth réadapté par l'auteur.

IV.3.1.6 Orientation

Le Connecticut Science Center est long d'est en ouest et court du nord au sud. Cet allongement d'est à ouest suivant l'esplanade lui donne une relation directe avec le pont Fondateurs (en ouest) qui traverse la rivière Connecticut dont le projet fait une introduction impressionnante de Hartford, surtout la nuit, quand le Science Center brille avec excitation.

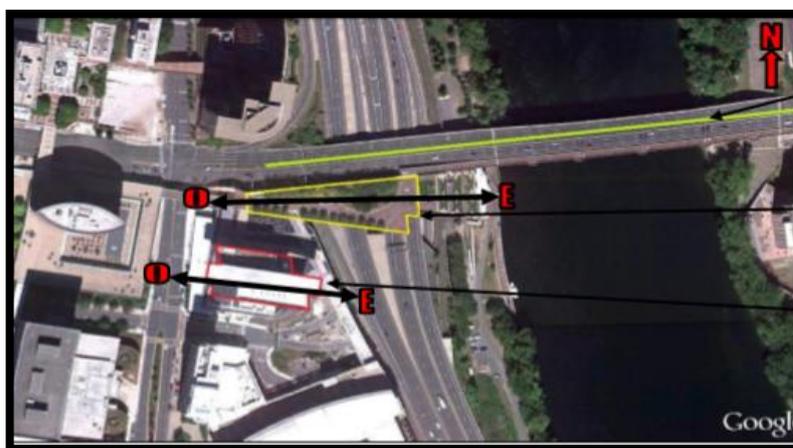


Figure 89: photo aérienne présente l'orientation du Connecticut Science Center.

Source : Google Earth réadapté par l'auteur.

IV.3.1.7 L'accès

a. Les accès mécaniques

Un seul accès mécanique défini au côté Sud du projet au niveau du parking public sous le bâtiment du Connecticut Science Center.

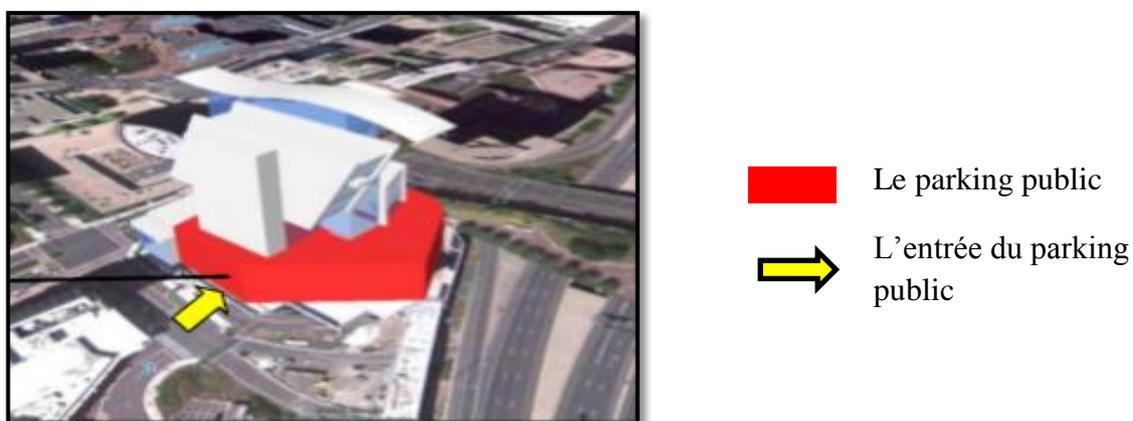


Figure 90: 3D du parking public sous le bâtiment du Connecticut Science Center.

b. Les accès piétons

Le bâtiment possède 04 accès piéton :

Entrée principale au niveau de Columbus Boulevard au côté Ouest du projet au niveau du parking public.

03 Entrées secondaires au côté Est du projet au niveau du toit du parking public.



Figure 91: vue aérienne avec les différents accès piéton du projet.

Source : Google Earth réadapté par l'auteur.

CHAPITRE IV

L'accès au toit du parking public (pour accéder aux trois entrées secondaires) se fait par Mortensen Riverfront Plaza (une esplanade publique) depuis des escaliers publics au côté Nord du projet.

Le Connecticut Science Center est aussi accessible par deux ponts piétonniers reliant directement le centre avec les deux bâtiments justes à côté : Le centre des congrès et le Phoenix Building.

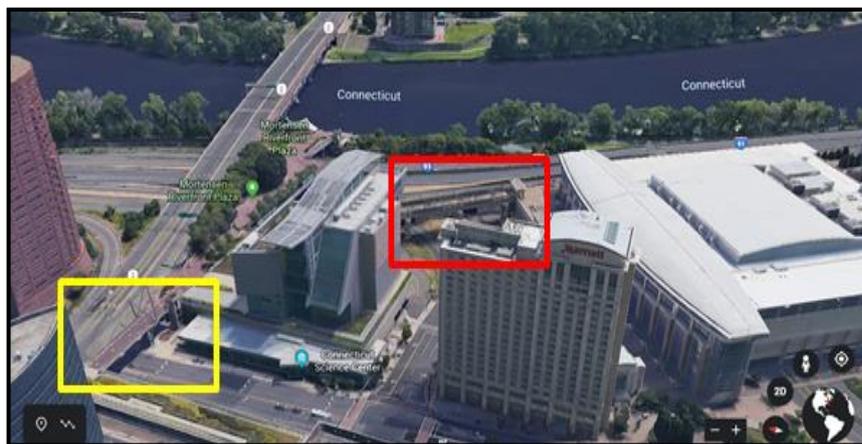


Figure 92: photo du projet avec les deux ponts piétons.

Source : Google Earth réadapté par l'auteur.

IV.3.1.8 Le principe de conception

- L'importance de l'espace public et son rôle dans la ville : l'implantation du Connecticut Science Center à côté d'un parc urbain et un amphithéâtre ouvert.
- La curiosité est ce qui amène les gens à l'intérieur, et c'est aussi l'élément clé de la science : la transparence du bâtiment donne une apparence de l'animation et la dynamique à l'intérieur du bâtiment de puis l'extérieur.

IV.3.1.9 Le volume

Le volume du bâtiment du Connecticut Science Center est une composition de trois éléments majeurs:



Un bloc orienté Sud en forme d'un parallélogramme, avec des dramatiques murs inclinés.

CHAPITRE IV

 Un volume terrassé qui est en recul sur un côté et en encorbellements de l'autre côté.

 Entre les deux, une étroite tour en verre surmontée par un toit en forme de S.

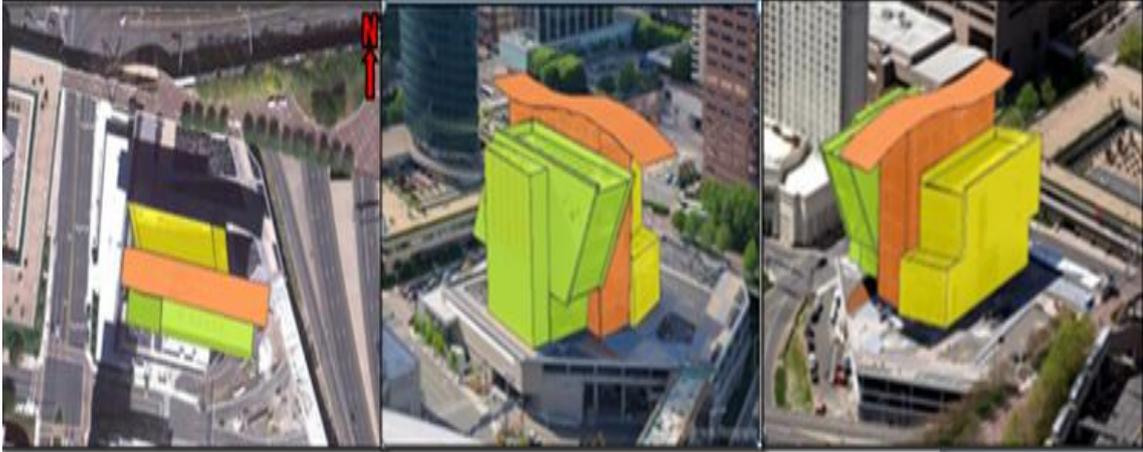


Figure 93: photo présente les 03 blocs du bâtiment.

Source : Google Earth réadapté par l'auteur.

La totalité du volume au nord est couvert d'un toit-jardin.



Figure 94: vue du volume du Connecticut Science Center avec le toit jardin.

Le toit en forme de S symbolise les vagues de la rivière du Connecticut, c'est l'image signature du projet.

CHAPITRE IV

Pour profiter au maximum de la vue sur la rivière, un petit volume est ajouté sur le mur incliné du bloc Nord utilisé comme espace d'observation.



Figure 95: vue du toit en forme de S et du volume ajouté.

Source : Google image réadapté par l'auteur.

Le toit en forme d'une vague et le mur incliné vers la rivière donne une impression que le bâtiment va plonger dans les eaux de la rivière.

IV.3.1.10 Les façades

Le bâtiment est couvert de verre transparent, des panneaux métalliques légers réfléchissants et des panneaux photovoltaïques et d'un grand écran de projection, créant une expérience énergétique multimédia qui annonce le monde passionnant au sein.

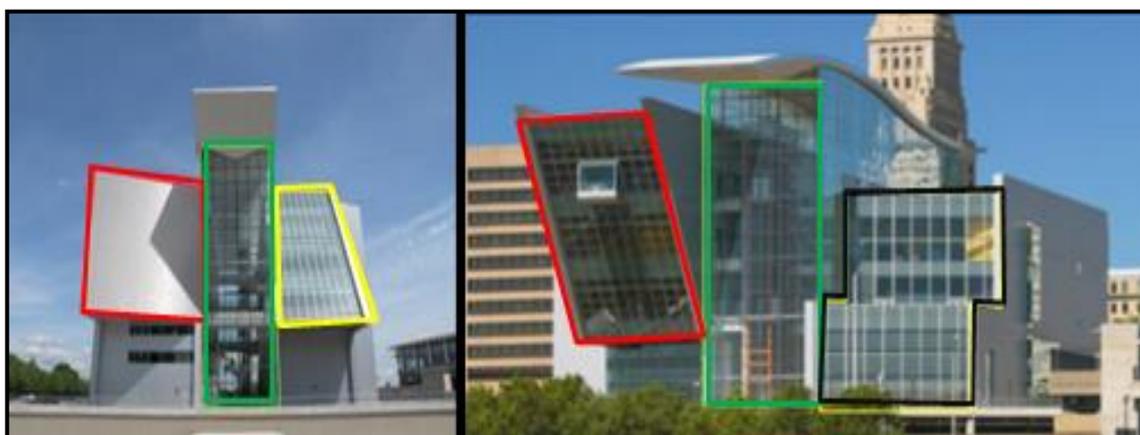


Figure 96: La façade Ouest (façade principale) et la façade ouest du projet.

Source : Google image réadapté par l'auteur.

Les façades sont remarquables par des volumes en reliefs :

CHAPITRE IV

- Volume incliné verticalement
- Volume verticale
- Volume incliné horizontalement
- Volume en gradin

Un système photovoltaïque de 86 kilowatts est prévu pour le mur sud pour réduire la consommation d'énergie du réseau du bâtiment.

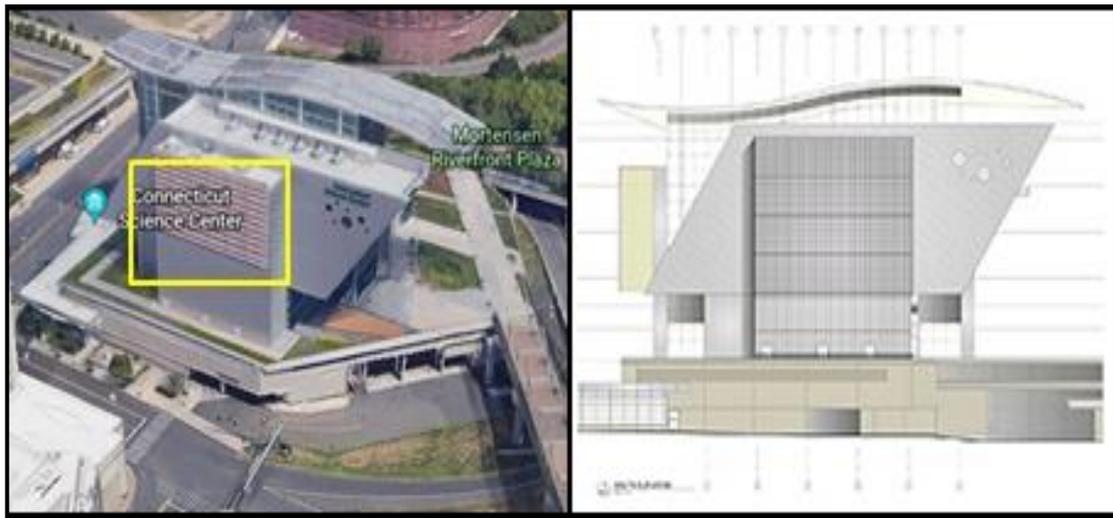


Figure 97: La façade sud du projet.

Le bâtiment utilise également des capteurs de dioxyde de carbone pour contrôler la quantité d'air frais.

IV.3.1.11 Etude intérieur

1. Principe d'organisation des plans

Le principe d'organisation des plans du Connecticut Science Center est :

Un hall de forme rectangulaire au centre et les espaces s'étalent sur les deux coté du hall, avec des passages dans les différents niveaux.

CHAPITRE IV

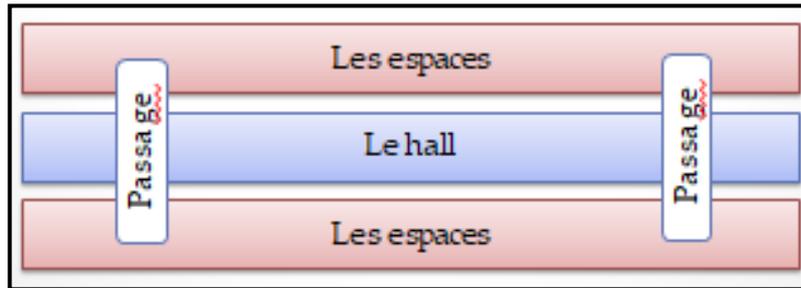


Figure 98: principe d'organisation des plans. Source : auteur.

2. Présentation des plans

- **Le niveau du parking public**

Ce niveau est composé de deux parties : Un parking public contient 03 niveaux, Un bloc supplémentaire contient Quatre laboratoires d'enseignement et une salle communautaire.

L'entrée principale du projet est au niveau du bloc supplémentaire à partir de Columbus Boulevard. L'utilisateur peut tout simplement prendre l'ascenseur (en face de l'entrée) pour commencer la visite du centre.

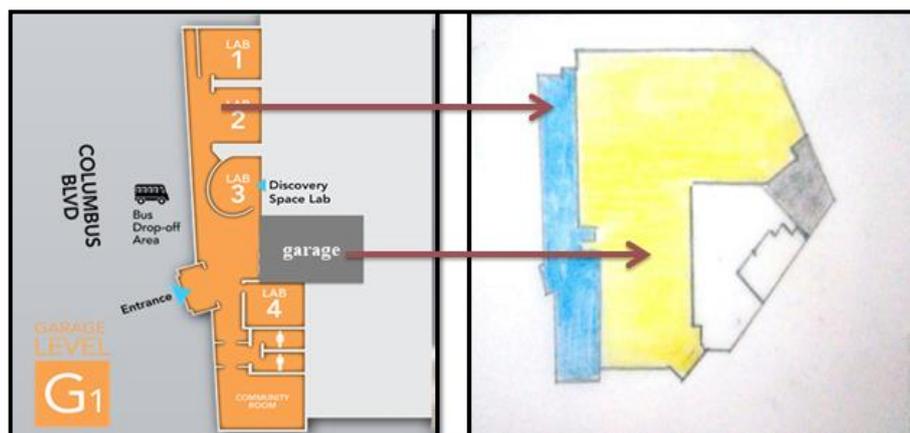


Figure 99: plan du parking.

- **Les différents étages**

CHAPITRE IV

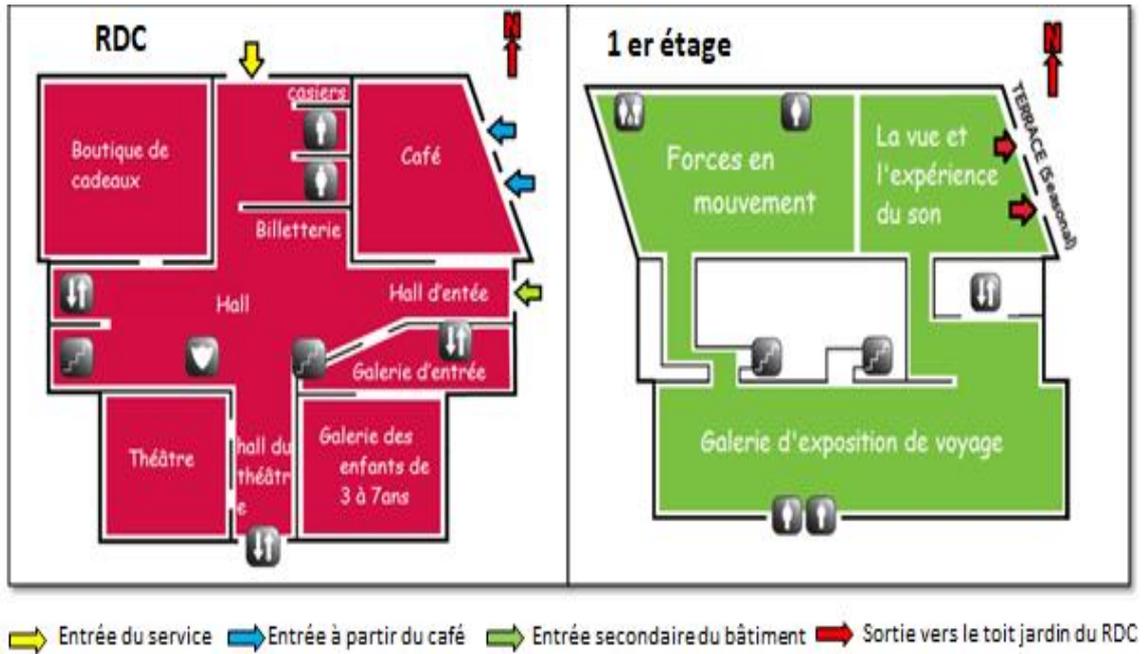


Figure 100: présentation des plans du RDC et 1er étage.

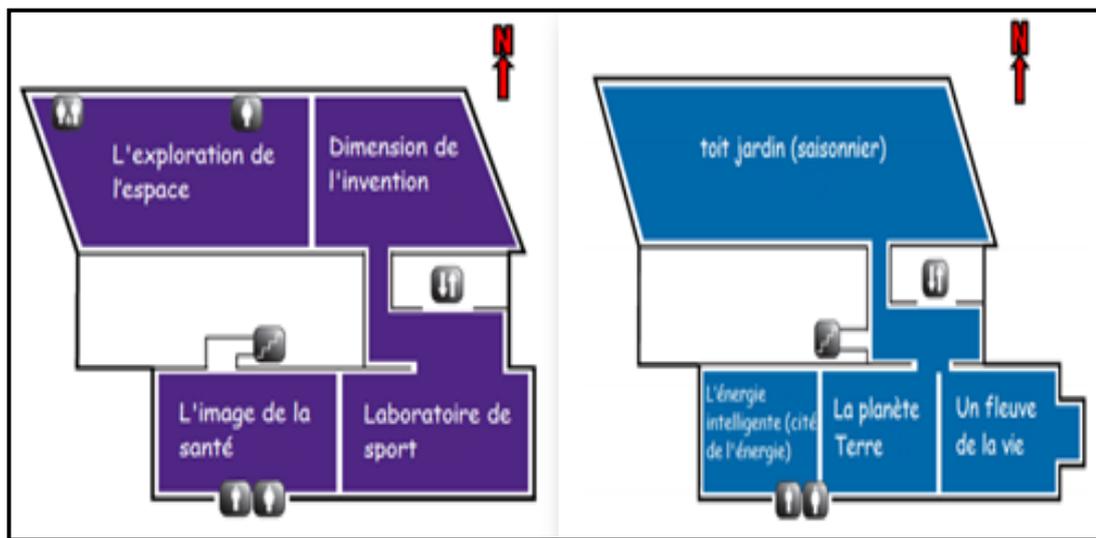


Figure 101: présentations des plans de 2ème et 3ème étage.

IV.3.1.12 Le système structurel

Il y a deux types de système structurels :

- ✓ Poteau poutre en béton armé (les trois étages du garage).

CHAPITRE IV

- ✓ Structure métallique (les quatre étages au-dessus du garage et la forme du toit en S).



Figure 102: vue du toit en S au cours d'exécution.

Synthèse

Le projet est intégré dans un milieu urbain, dans un angle d'intersections de 2 grands boulevards et à côté des grands équipements, tout ça nous créer un bruit (dans le cadre du confort acoustique) influençant sur le projet, exactement sur ses espaces qui exigent le calme pour le déroulement d'une bonne fonction. Ainsi qu'il assure la liaison entre les différentes parties de la ville à partir de son intégration d'une part et par sa transparence d'autre part.

Le Centre des sciences est consacré aux stratégies de développement durable du bâtiment, telles que les toits verts, le recyclage et les sources d'énergie renouvelables avec un jeu d'ombre et de lumière créant un volume dynamique par sa dégradation et sa transparence.

IV.3.2 Exemple 02: Centre de loisirs de Magnanville

IV.3.2.1 Présentation du projet

Magnanville fait partie du secteur sud-ouest de l'agglomération Mantaïse. Après une croissance urbaine forte et rapide, la commune a connu une baisse de population, elle a donc mis en chantier un nouveau quartier qui amènera bientôt de nouveaux habitants. Dans ce contexte, elle a souhaité améliorer ses équipements à destination de la jeunesse. Donc la Commune de Magnanville a programmée un projet de Centre de Loisirs sans hébergement « la cabane aux loisirs » sur le site des Erables et des salles d'animation sur le site de la Mare Pasloue.

CHAPITRE IV

Le projet est conçu par les architectes Nelly Breton et Olivier Fraysse de l'agence Terreneuve, accueillant 70 enfants, il a été inauguré en juin 2010.



Figure 103: vue d'extérieur du centre de loisirs de Magnanville.

IV.3.2.2 Situation générale

Le projet est situé à Magnanville, une commune de France, située dans les Yvelines près de Mantes-laJolie à 60 km à l'ouest de Paris.

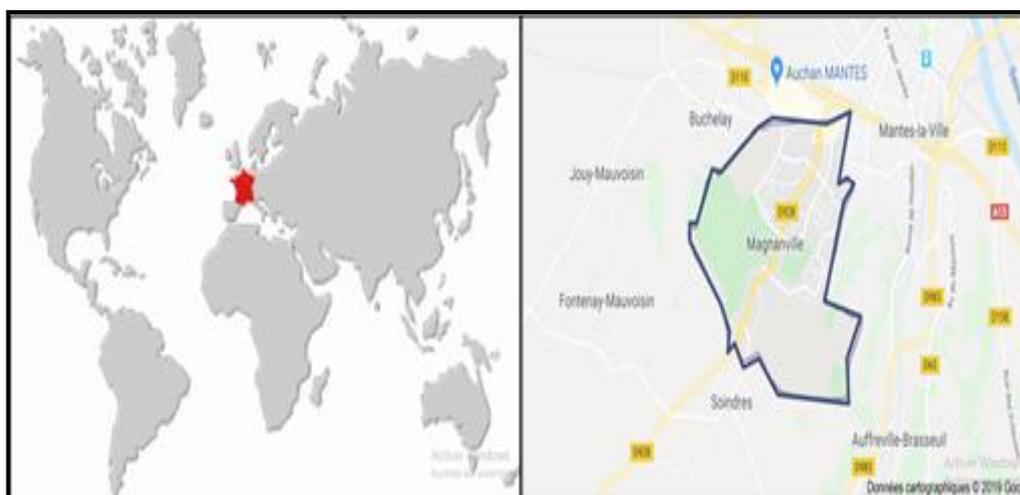


Figure 104: la situation du France et du Magnanville.

IV.3.2.3 L'environnement immédiat

Le projet se situe sur un axe qui offre une accessibilité au projet d'une part et sépare deux différents zone d'autre part.

CHAPITRE IV

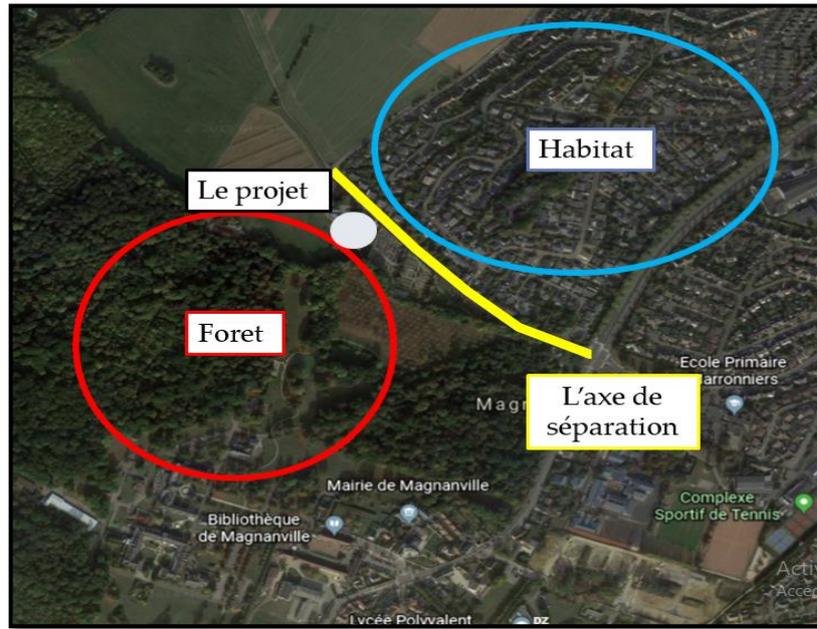


Figure 105: vue aérienne présente l'axe de séparation et les zones.

Le site possède plusieurs types d'équipements qui ont une forte relation avec le projet lesquels :

- ✓ Des équipements éducatifs.
- ✓ Des équipements sportifs.

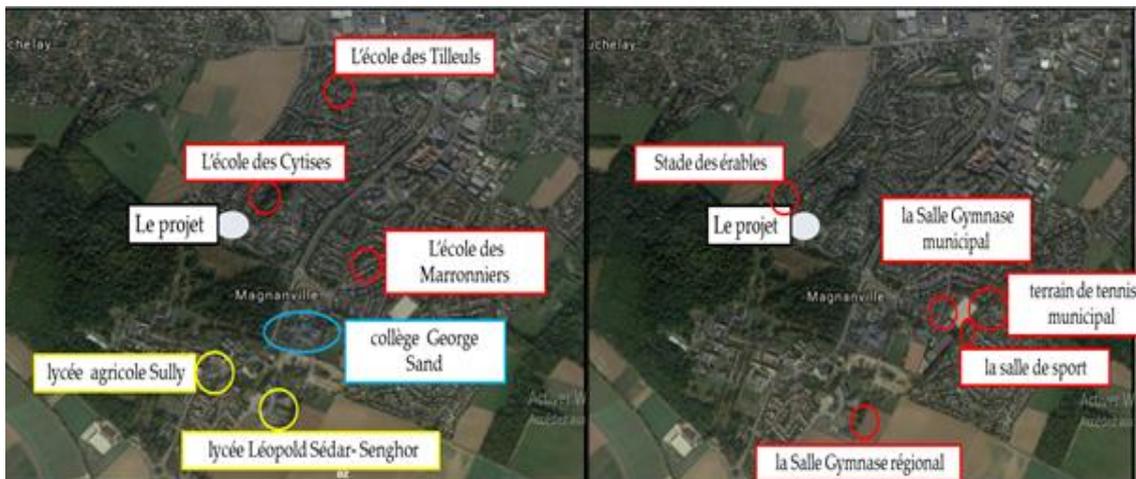


Figure 106: environnement immédiat du projet.

Source : Google image réadapté par l'auteur.

CHAPITRE IV

IV.3.2.4 Etude du plan de masse

Le bâtiment est implanté sur 566 m² et le reste du terrain 3600 m² d'aménagement extérieur donc: 13,4% de la surface du terrain pour le bâtiment et 86,4% de la surface du terrain vide, ce déséquilibre entre le bâti et le non bâti à comme but de préserver les qualités paysagères du site à forte dominante végétale.

Le bâtiment est composé des deux ailes, un est implanté parallèlement à la voie mécanique, l'autre est implanté perpendiculairement au premier avec une inclinaison suivant la topographie du terrain.

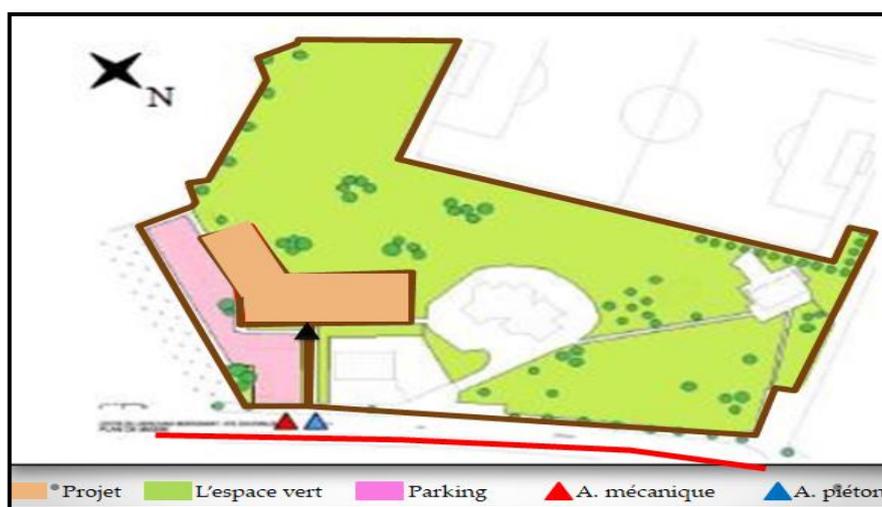


Figure 107: le plan de masse du projet.

Source : Google image réadapté par l'auteur.

IV.3.2.5 Orientation

Le bâtiment est en forme de L, l'aile le plus grand est orienté du NO au SE et l'aile le plus petit du N au S. Donc le projet est ensoleillé.

IV.3.2.6 Le volume

Le volume de la cabane de loisirs et un volume simple en forme de L avec un seul niveau RDC ce qui donne une petite hauteur au bâtiment qui s'adapte aux habitations individuelles juste à côté.

L'existence d'un patio à l'entrée du bâtiment permet de dégager le volume ainsi que les toitures en pente.

CHAPITRE IV

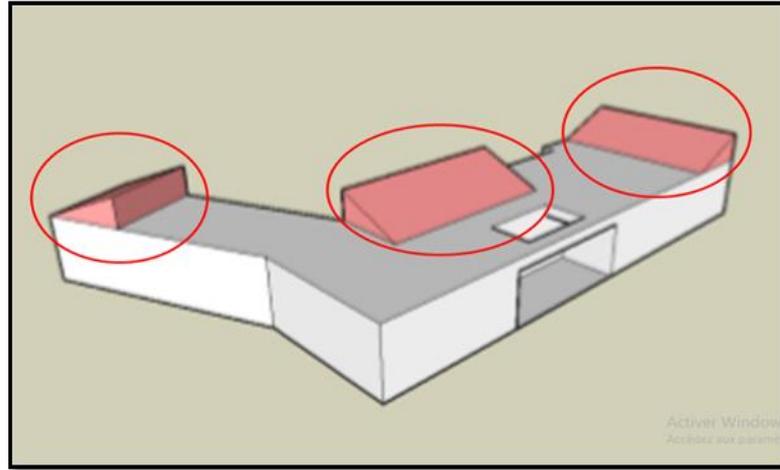


Figure 108: volumétrie du bâtiment.

IV.3.2.7 Les façades



Figure 109: les façades.

Un bardage en mélèze peint avec des pigments naturels en teinte rouge non rabotés, les clins de trois épaisseurs et de trois largeurs différentes, posés de façon non jointive et orientés verticalement ou horizontalement, donnent un aspect brut aux constructions à l'image d'une cabane.

Les planchers de mélèze brut présentent trois hauteurs donnant son relief à la façade.

Le bardage est également utilisé en claire-voie devant certaines ouvertures et permet ainsi de filtrer la lumière.

Les portes des locaux techniques sont habillées de bardage en continuité de la façade.

CHAPITRE IV

L'isolation du bâtiment est double : isolation par ouate de cellulose insufflée dans l'épaisseur de l'ossature bois (15cm) après pose du pare-vapeur et isolation intérieure plus traditionnelle en laine de roche (5cm).

IV.3.2.8 Principe d'organisation des plans

Le bâtiment est constitué d'un seul niveau RDC. Les espaces du bâtiment s'organisent tout au long d'un couloir de circulation, avec l'existence des espaces dégagés sur le couloir : accueil, bibliothèque.

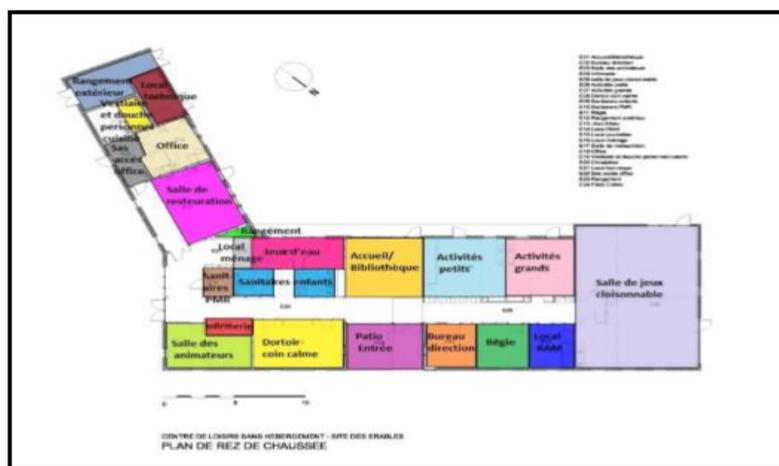


Figure 110: organisation du RDC.

IV.3.2.9 Le système structurel

La structure utilisée dans ce bâtiment est des panneaux en structure bois et OSB préfabriqués, cette technique garantit un temps de montage très rapide.

Le système de charpente en bois est utilisé pour les toitures en pente.

Synthèse

Le bon traitement des façades par l'utilisation d'un matériau économique le bois assure la continuité de la façade avec la forêt juste à côté du projet, ce qui produit une liaison avec son environnement d'une part, et assure une bonne isolation thermique et phonique d'autre part.

IV.3.3 Exemple 03: Centre de loisirs scientifique de Jijel

IV.3.3.1 La situation et accessibilité

CHAPITRE IV

Le projet est implanté sur un terrain de 0647 m² de forme quasi- rectangulaire orienté de Nord au Sud.

Situé à la wilaya de Jijel au côté Est de Bourmel.

- Le projet se situe dans un milieu urbain donc il est facile à accéder.



Figure 111: situation du CLS.

IV.3.3.2 Les limites



Figure 112: vue aérienne du terrain du projet et ses limites, Source : Google Earth.

Le projet est entouré de différents équipements sportifs et de jeunesse ce qui complète sa fonction, étant donné qu'il est destiné aux jeunes.

Par contre, le projet est un peu loin des équipements éducatifs qui ont une relation directe avec le CLS.

IV.3.3.3 Etude plan de masse

Le projet compose de 3 niveaux est implanté sur un terrain en pente.

CHAPITRE IV

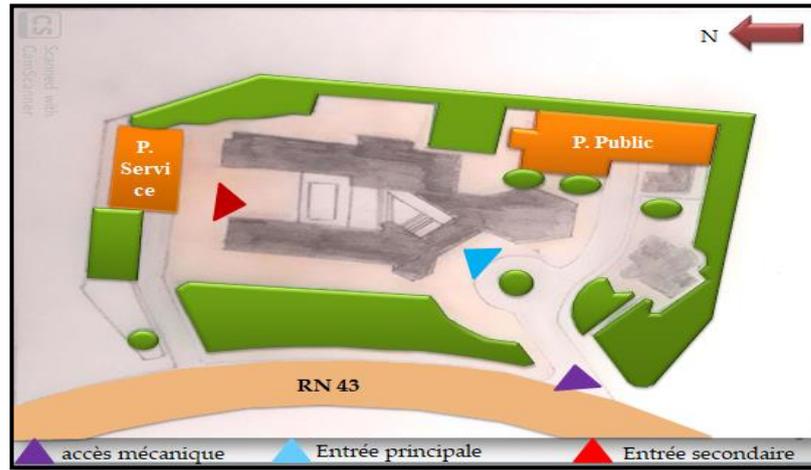


Figure 113: Plan de masse.

IV.3.3.4 Orientation

Le centre de loisir scientifique a été allongé du nord-est au sud-ouest, suivant la forme du terrain. (Pour mieux exploiter le terrain).



Figure 114: Vue aérienne du terrain du projet avec l'orientation.

IV.3.3.5 La volumétrie

Le projet représente d'une forme ferme, composé de (05) volumes majeurs qui s'ouvrent vers l'intérieur (cour intérieure ou patio), observant presque la même hauteur caractérise le bâtiment.

CHAPITRE IV



Figure 115: 3D du projet.

IV.3.3.6 Les façades

Les façades sont caractérisées par l'horizontalité et on voit que chaque façade n'est pas alignée grâce aux décrochements, au niveau de plan et du volume, qui jouent le rôle des brises soleil.

On remarque l'utilisation des baies vitrées de dimension variable. L'utilisation des éléments horizontaux et des éléments verticaux ayant la fonction décorative.



Figure 116: Les façades.

CHAPITRE IV

IV.3.3.7 Présentation des plans

A. Sous-sol

1. Atelier biologie
2. Atelier petits débrouillards
3. Dépôt
4. Cours
5. Consultation CD-ROM
6. Sanitaires
7. Dépôt
8. cafétéri

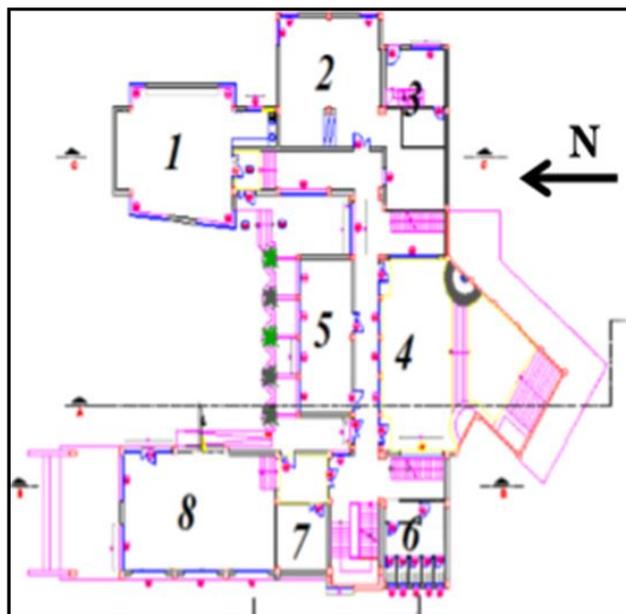


Figure 117: Le plan de sous-sol.

B. Le RDC

1. Atelier électrique
2. Atelier astronomie
3. Atelier pour enfants 10-12ans
4. Atelier pour enfants 6-7ans
5. Salle polyvalente
6. Accueil
7. Salle d'exposition
8. Librairie
9. Salle de lecture
10. Salle informatique
11. Cours
12. sanitaires

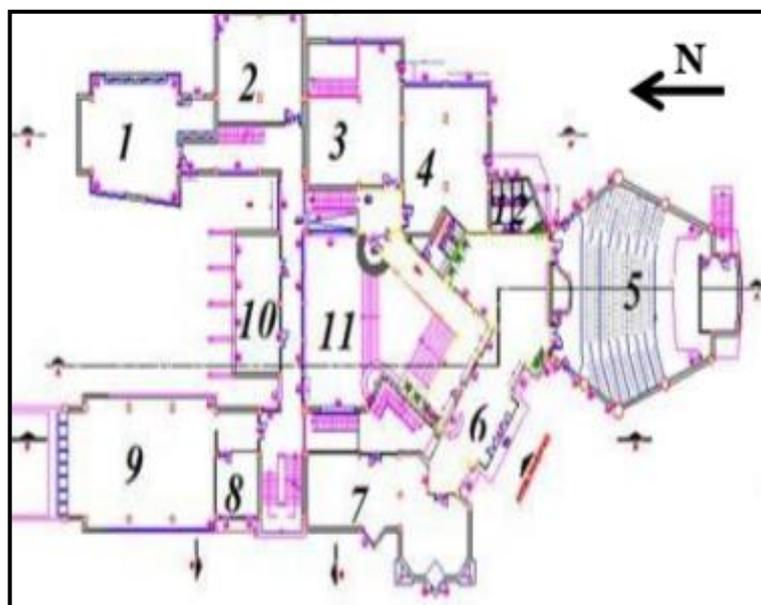


Figure 118: plan RDC.

CHAPITRE IV

C. Le 1 er Etage

1 –consultation internet 2-bureau de directeur 3-salle de réunion 4-
bureau adjoints 5-vide sur la cour 6-terrasse (pour l’atelier D’astronomie)

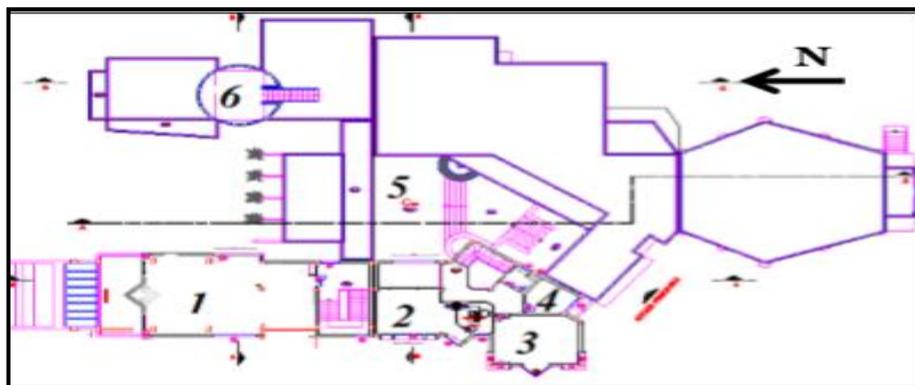


Figure 119: plan 1er étage.

Synthèse

Le projet se situe dans un milieu urbain entouré par des équipements sportifs complètent sa fonction.

Ce centre présente un projet fonctionnel mais non écologique par rapport aux 2 exemples précédents.

Recommandation

D’après l’analyse des exemples, on opte que chaque CLS se divise en grandes entités et chaque entité a des différents espaces.

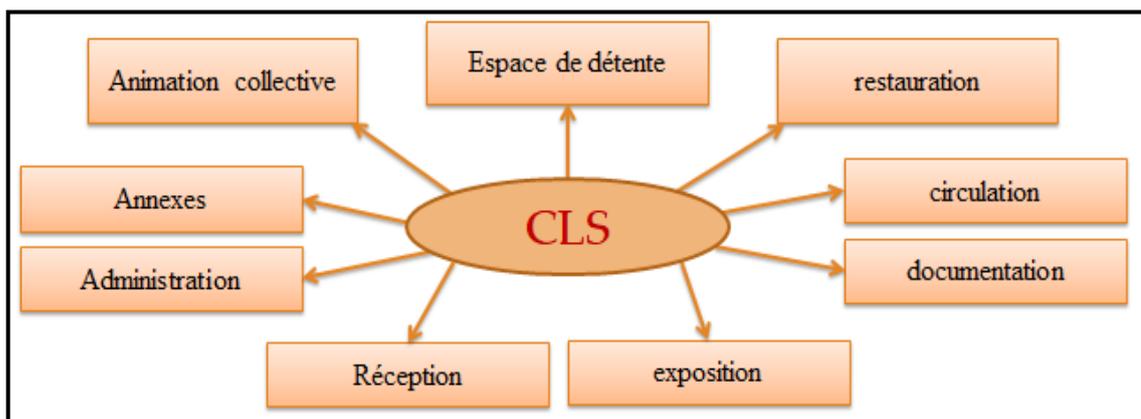


Figure 120: recommandation schématisé par auteur.

IV.4 Programmation

« Le programme est un moment fort du projet. C'est une information obligatoire à partir de laquelle l'architecture va pouvoir exister. C'est un point de départ mais aussi une phase préparatoire »⁹⁹.

La programmation architecturale est une démarche prévisionnelle, elle permet d'avoir une vision globale de l'opération envisagée et de maîtriser le processus de rationalisation de celle-ci par rapport à la commande. Elle part de l'idée initiale, fondatrice du futur projet, jusqu'à la mise en service des locaux.

IV.4.1 Objectifs de la programmation

Les objectifs du programme s'articulent autour de la vocation artistique et culturelle d'un projet ; cela se traduit par :

- L'harmonisation des fonctions et des proportions surfaciques et spatiales entre les différentes activités de l'équipement.
- La réponse aux exigences fonctionnelles d'un équipement ouvert au grand public, notamment en ce qui concerne les espaces d'accueil et de circulation.
- La participation à la lisibilité fonctionnelle du projet.

IV.4.2. programme retenu

D'après le tableau comparatif des trois exemples précédents, on opte ce programme retenu :

Entité	Espace	Surface	Unité	S.T	S.T.E
Accueil et information	réception	15	1	15	280
	Salle d'accueil	150	1	150	
	Billetterie	15	1	15	
	Salle d'honneur	100	1	100	
Administration	Réception	20	1	20	285
	Salle d'attente	30	1	30	
	secrétariat	30	1	30	
	Bureau de directeur	40	1	40	
	Salle de réunion	45	1	45	

⁹⁹ Cahier de l'EPAU n°2-3 1993, « programmation et conception en architecture » ; essais méthodologiques », M. Azouz ; enseignant à l'EPAU

CHAPITRE IV

	Comptabilité	30	1	30	
	Gestion	30	1	30	
	Archive	50	1	50	
Animation collective	Atelier pour enfant	80	2	160	2140
	Atelier des petits débrouillards	100	1	100	
	Dimension de l'intervention	100	1	100	
	Atelier d'astronomie	100	1	100	
	Energie intelligente	80	1	80	
	Atelier électrique	80	1	80	
	Atelier de biologie	80	1	80	
	Atelier de géologie	80	1	80	
	Atelier de dessin	100	1	100	
	Atelier de dessin artistique	100	1	100	
	Atelier de peinture	80	1	80	
	Atelier de mosaïque	80	1	80	
	Atelier de musique	80	1	80	
	L'expérience de son	80	1	80	
	Classes d'apprentissage	70	4	280	
	Salle des professeurs	80	1	80	
	Salle de travail en groupe	80	1	80	
	Salle d'informatique	80	1	80	
	Club internet	80	1	80	
	Production CD/ROM	80	1	80	
scénographie	80	1	80		
photographie	80	1	80		
Exposition	Salle d'exposition	200	1	200	200
Documentation	Bibliothèque (et ses annexes)	150	1	150	800
	Salle de lecture	200	2	400	
	Salle de conférence	250	1	250	
Restauration	Restaurant	250	1	250	400
	Cuisine et ses annexes	150	1	150	
commerce	Magasin	120	1	120	120
Détente	Airs de jeux	100	1	100	100

CHAPITRE IV

Logistique	Dépôt	50	1	50	200
	Locaux des constructions d'énergie solaire	150	1	150	
Infirmierie	Salle d'infirmierie	120	1	120	120

Tableau 4: Programme retenu. Source : Auteur.

Synthèse et recommandations

Cette étude nous a montré :

- ✓ L'importance de l'énergie solaire comme source écologique et abondante pour remplacer les énergies fossiles qui sont polluantes, nocives et consommatrices des ressources naturelles non renouvelables.
- ✓ il est nécessaire d'entamer une évaluation climatique et microclimatique tenant compte des conditions d'ensoleillement et de masque d'environnement, pour assurer un meilleur rendement des systèmes actifs et passifs.
- ✓ l'efficacité énergétique de ces dispositifs sera accompagnée par une conception passive qui assure une meilleure performance énergétique.
- ✓ Sur le plan opérationnel, l'efficacité des panneaux solaires et leurs rendement électrique, dépend généralement de :
 - Ses dimensions.
 - Sa technologie.
 - Du rayonnement reçu.
 - De la durée d'exposition.

IV.5 Genèse et démarche de projet

Projet proposé : un centre de loisir scientifique à Guelma (POS Sud) ; Sur une assiette de 13219 m² de surface.

IV.5.1 Objectifs

- Concevoir un équipement de loisir à efficacité énergétique.
- Réduire la consommation énergétique du projet.
- Optimisation de l'énergie solaire comme un choix écologique à mettre en avant.

IV.5.2 Principes à suivre

- Intégration des panneaux solaires comme élément conceptuels dans la composition du projet.

CHAPITRE IV

- Opter pour une éco conception en s'appuyant sur les deux aspects :
 - Une démarche passive (bioclimatique) du projet architectural.
 - Une démarche solaire confrontant notre choix énergétique aux contraintes de site et de programme.

IV.5.3 Schéma de principe

Présentation de la méthode de conception

Suivant un ensemble des étapes :

Etape 01 : choix des accès

D'après l'analyse de l'accessibilité : deux accès sont proposés pour permettre un fonctionnement rationnel et maîtrisé du projet.

- ✓ On a créé l'entrée principale (piétons) en face de l'intersection des voies mécaniques de projet.

➡ Accès principale :

- Nœud très important.
- angle urbain.
- le point le plus visible.

➡ Accès secondaire : Accès mécaniques

- alléger le flux mécanique au niveau De l'axe principal.

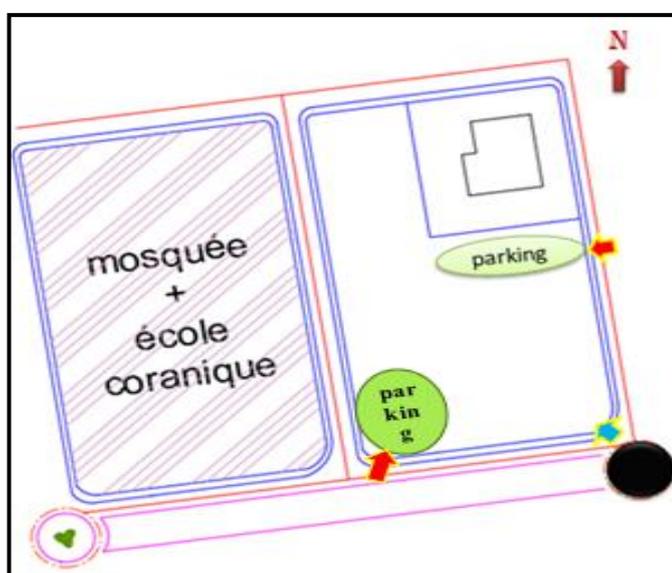


Figure 121: Schéma indiquant les principaux accès Source : auteur.

CHAPITRE IV

Etape 02 : identification des axes structurante de l'assiette du projet

Le terrain est Virtuellement divisé par deux axes :

- **Axe A** : orienté selon l'angle nord- ouest, contient un nœud de repère de départ du projet. Il présente la vue axonométrique de tout le projet.
- **Axe B** : sud-nord.

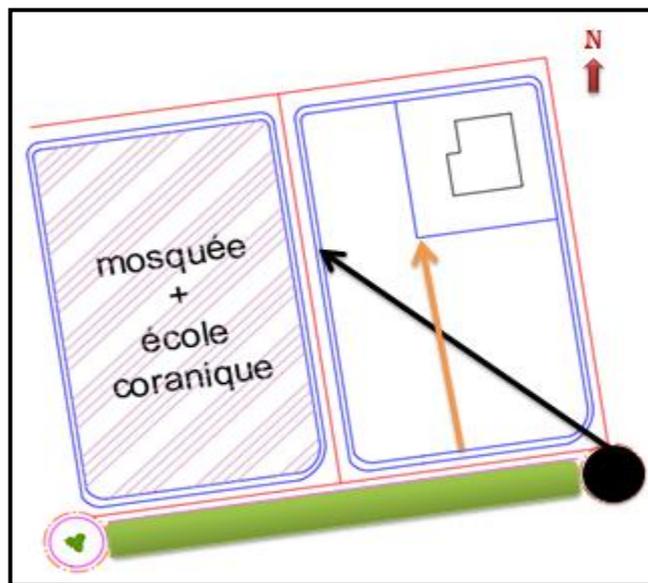


Figure 122: Schéma indiquant les axes principaux. Source : auteur.

Sachant que le grand boulevard joue un rôle d'un axe important vers lequel le projet est orienté. L'exploitation de cet axe par la construction d'une façade principale qui donne sur ce dernier pour enrichir le projet.

Etape 03 : la disposition des blocks (zoning)

- ✓ Assurer la continuité urbaine
- ✓ Mettre le projet en valeur.
- ✓ Favoriser la circulation piétonnière par la continuité avec l'espace aménagé, pour :
 - assurer la continuité urbaine.
 - assurer l'intégration au site.
 - assurer une bonne orientation, profitant le maximum des rayons solaires.

CHAPITRE IV

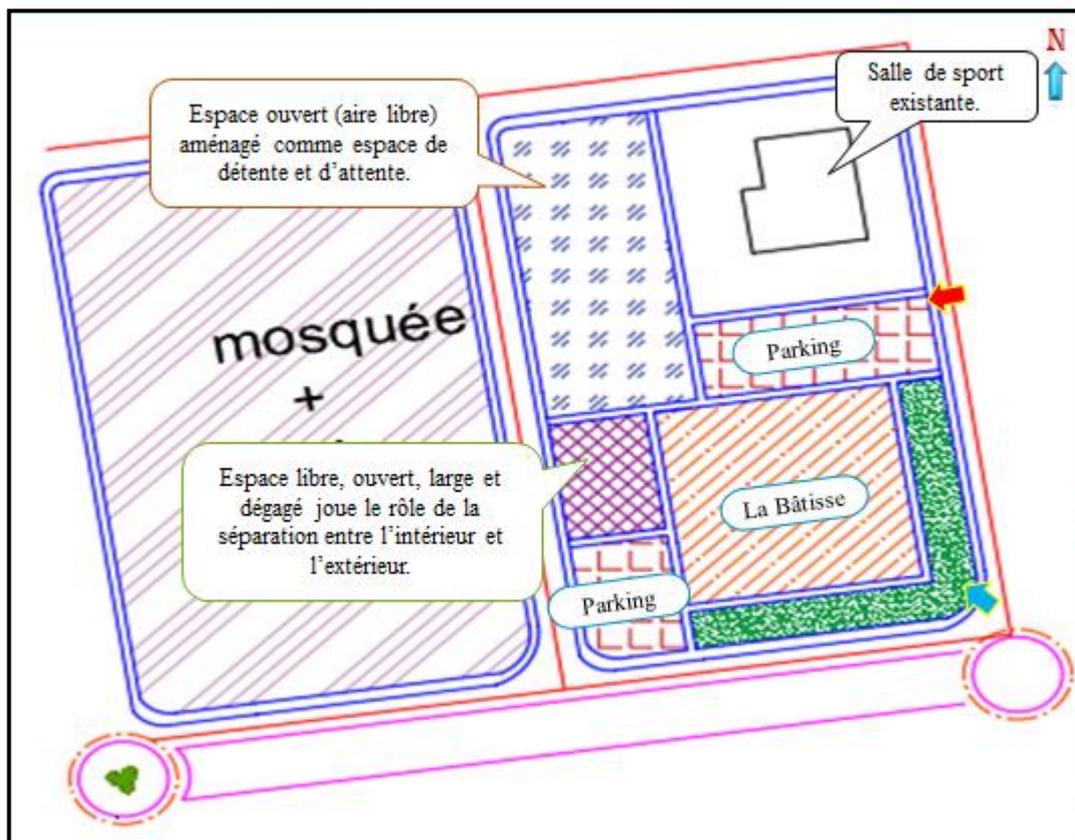


Figure 123: la disposition des blocs.

Etape 04 : schéma de principe

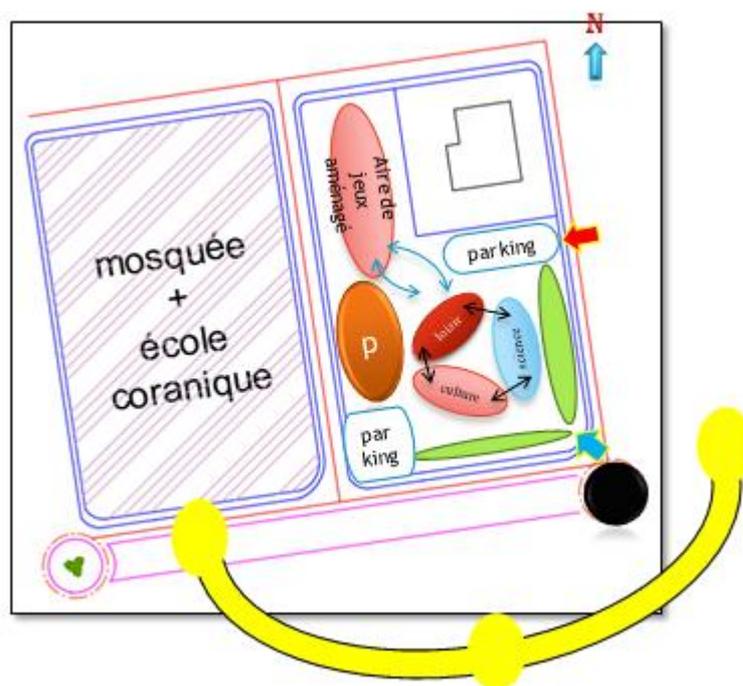


Figure 124: Schéma de principe du projet. Source: Auteur.

CHAPITRE IV

CLS englobe des 03 grandes fonctions, dont la fonction science a une forte relation avec la culture d'une part, ces deux 02 derniers sont reliées par la fonction loisir qui a une forte relation avec les airs de jeux à ciel ouvert d'autre part.

- I. **Accueil** : près de l'accès principal.
- II. **Science** : la grande masse du projet orienté vers la façade est pour profiter d'éclairage naturel.
- III. **Culture** : se localisé à proximité de l'entité accueil (le cœur de projet).

Pour assurer une bonne orientation et profiter le maximum des rayons solaire, on implante la science à l'est et la culture au sud pour bien bénéficier d'énergie solaire afin d'optimiser la consommation énergétique des ateliers grâce à l'utilisation des panneaux photovoltaïques.

- IV. **Loisir** : assurer la continuité (la liaison) entre l'espace bâtis et espace non bâtis (aire de jeux aménagé avec des espaces de détente).

Etape 05 : La genèse de la forme.

La méthode optée pour la conception du projet est « la métaphore ».

Notre forme de base s'est inspirée de la forme d'un jeu « domino », une joue se base sur la réflexion et sur un principe de « juxtaposition ».

Mais, notre principe sera « la juxtaposition et la superposition des déférents points de dominos.

Alors, vu que le CLS a 3 fonctions, on va les confondre avec les pièces de domino

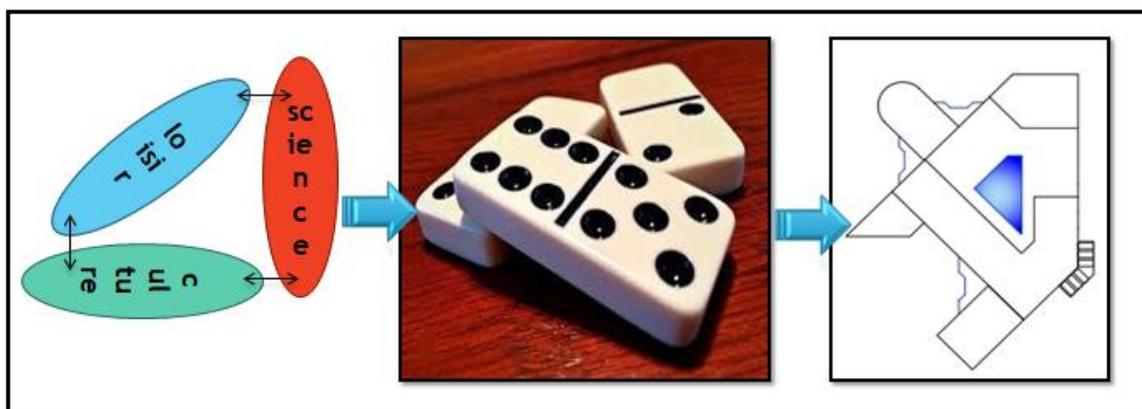


Figure 125: La forme finale obtenue par rapport à la métaphore.

CHAPITRE IV

Etape 06 : Approche environnementale

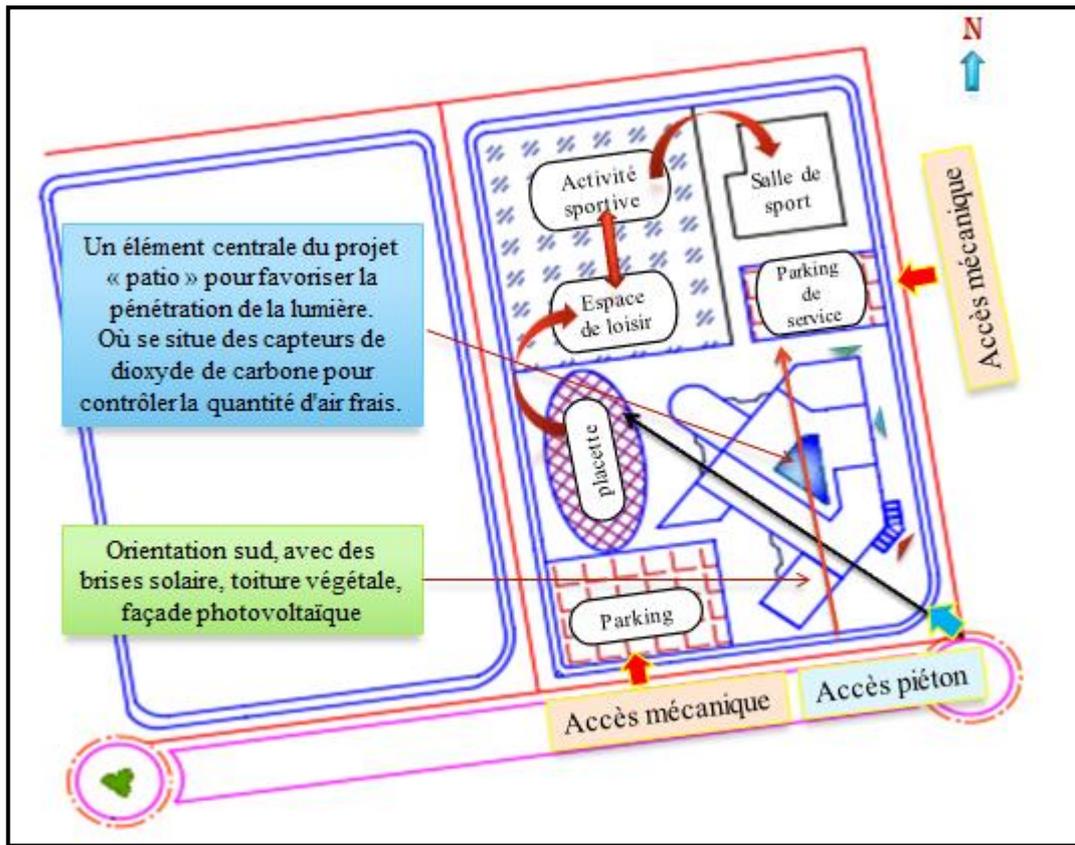


Figure 126: Schéma montrant l'environnement et les différentes techniques écologiques intégrées.

Source: Auteur.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

À travers ce mémoire, notre travail se situe dans le contexte d'intégrer l'énergie solaire dans le processus de la production du projet architecturale et minimiser la consommation énergétique à travers l'énergie solaire.

En premier lieu, la recherche théorique développée au début de ce travail nous a permis de construire une image globale sur des différents aspects telle que la consommation énergétique, des systèmes solaires, l'efficacité énergétique...etc.

Vu que, les ressources fossiles exploitées jusqu'à nos jours tendent vers l'épuisement, d'une part, en raison de l'exploitation toujours plus onéreuse des gisements de (charbon, pétrole et gaz naturel), d'autre part, en raison des changements climatiques planétaires liés aux rejets des GES provenant de la combustion d'énergies fossiles. Alors, les études scientifiques ont trouvé des solutions doivent amener à limiter l'impact néfaste des énergies fossiles. L'essentiel repose sur une stratégie de transition écologique, qui doit comprendre une transition vers les énergies renouvelables. De ce fait le solaire s'avère le plus pratique surtout en Algérie qui dispose d'un gisement solaire important.

L'essor de l'architecture écologique, ainsi bioclimatique, permet à la fois la théorisation et la concrétisation de cette réflexion dans la production architecturale du cadre bâti. Cette conception vise principalement plusieurs paramètres bioclimatiques qui sont : l'orientation, l'implantation, la ventilation, l'isolation, etc. Ainsi qu'une introduction des différentes dispositions de l'énergie solaire en minimisant le recours aux énergies fossiles, les effets pervers sur le milieu naturel et les coûts d'investissement et de fonctionnement.

Les gouvernements de l'environnement ont encouragé et accéléré le développement d'une architecture solaire de haute qualité. Comme son nom l'indique, porte à la fois sur les qualités architecturales du bâtiment et sur l'intégration du solaire visant une haute performance énergétique. L'intégration de l'énergie solaire dans le processus architecturale permet de produire un cadre bâti mieux adapté aux tendances écologique, qui cherchent une meilleure relation entre les trois composantes de l'environnement : l'homme (utilisateur ou producteur), l'environnement et le climat.

Sur le plan opérationnel, Il existe une diversité de méthodes « solaires », chacune d'elles a des conséquences sur l'aspect du bâtiment, sur la consommation d'énergie et

CONCLUSION GÉNÉRALE

sur le cout de la construction. L'utilisation de l'énergie solaire dans le bâtiment conduit au recours aux techniques différentes : thermiques pour produire de la chaleur ou photovoltaïques pour produire de l'électricité. Les usages thermiques et photovoltaïques de l'énergie solaire présentent de véritables intérêts toutefois, cette alternative est, jusqu'à présent, critiquée sur le plan économique vu que la filière solaire est encore en phase de développement et de vulgarisation notamment en Algérie.

Pour une meilleure efficacité énergétique, la conception doit primordialement rechercher les différentes dispositions de l'intégration des panneaux solaires en respectant l'orientation et l'inclinaison recommandées pour un meilleur rendement énergétique ; tout en les associant dans une démarche bioclimatique.

Bibliographie

Ouvrages

1. A. De HERDE & A. Evrard, « béton et utilisation rationnelle de l'énergie », Bulletin publié par : FEBELCEM – Fédération de l'Industrie Cimentière Belge, 2005, p 85a.
2. André RAVEREAU, « Le M' Zab, une leçon d'architecture », Éditions Sindbad, Paris, 1981.
3. C. et P. DONNADIEU/ H. et J.M. DIDILLON, «Habiter le désert – les maisons mozabites – », architecture + Recherches/ Editeur : Pierre MARDAGA, Bruxelles, 1977.
4. CHATELET.A, FERNANDEZ. P et LAVIGNE. P, Architecture climatique Une contribution au développement durable Tome 2 Concepts et dispositifs, EDITION EDISUD Aix-en-Provence, 1998, p133.
5. CHITOUR.Ch, L'énergie- Les enjeux de l'an 2000, Alger : Office des Publications Universitaires OPU, 1991, p 41.
6. Dominique Gauzin-Muller. L'architecture écologique, le moniteur, 2001. P286.
7. ESTIENNE. Pierre et GODARD. Alain, Climatologie, Paris: Edition Armand Colin, 1970, p11.
8. GIVONI.B, « L'homme, l'architecture et le climat », Éditions du Moniteur, Paris, 1978.
9. Guide de l'énergie solaire passive. Edward Mazria, ISBN : 2863640119, Éditeur : Parenthèses, 1981.
10. Liebard, Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique. Paris : Le moniteur,2004.
11. Mat Santamouris (Ed), Environmental design of urban buildings: An Integrated Approach, Scan, London, UK, 2006.
12. MAZRIA.E, « Le guide de l'énergie solaire passive », 1980.
13. OLGYAY.V, «Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism », Princeton, University Press, N.J., U.S.A. (1963), page.185.
14. Pierre Lavigne, « Concevoir des bâtiments bioclimatiques », le moniteur, 2009.

BIBLIOGRAPHIE

15. SZOKOLAY, Environmental science handbook for architects and builder. LACASTRE, LONDON, NEW YORK: THE CONSTRUCTION PRESS, 1979, p263.
16. Thierry CABRIOL- Daniel ROUX, « Chauffage de l'habitat et énergie solaire», tome2, Edition Edisud, France , 1984.

Revues

- a. Bennouna. A, Zejli. D, Benchrifa. R, Les Energies Renouvelables Pour un développement durable et globale CER, 2007 (CNRST).
- b. C.A.U.E (Conseil en Architecture Urbanisme et Environnement), « l'Architecture bioclimatique», In revue d'architecture d'urbanisme et d'environnement de l'Ariège, France, 2005.
- c. DEMERS, C. et POTVIN, A. Le chauffage solaire passif comme stratégie bioclimatique, Esquisses, Ordre des Architectes du Québec,2004.
- d. Guide Bio-Tech. La ventilation naturelle et mécanique, pilotage : Dominique Sellier, ARENE Île de France. (978-2-911533-00-6.
- e. Guide pratique pour la construction et la rénovation durable de petit bâtiment, permettre une ventilation intensive recommandation pratique, ENE07, Février 2007.
- f. Harouadi.F et All Les potentialités d'exploitation d'hydrogène solaire en Algérie dans un cadre euromaghrébin Partie I: Phase d'étude d'opportunité et de faisabilité Revue CDER VOL 10 N 2, 2007.
- g. Hugues Boivin, la ventilation naturelle développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale, maître ès sciences (M.Sc.), université Laval Québec, 2007.
- h. Mohamed Tayeb AOUDIA, Gaz à effet de serre et réchauffement climatique, Equilibre : La lettre de la commission de régulation de l'électricité et de gaz, numéro spécial, environnement et développement durable, N°5 ; Mai 2009, P4.

Thèses et mémoires

1. BENAMRA.M, « Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale », Université de BISKRA, 2013.
2. Bennouna. A ; Zejli.D ; Benchrifa. R Les Energies Renouvelables Pour un développement durable et globale CER, (CNRST), 2007.

BIBLIOGRAPHIE

3. BOURSAS.A , étude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment d'habitation à l'aide d'un logiciel de simulation, mémoire de magister, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Constantine 1, Constantine, 2013, p70.
4. Chergui et Benhamza, conception bioclimatique d'un centre de loisir scientifique au sein d'un éco quartier à Ghardaia" mémoire fin d'étude de l'université Saad Dahlab de Blida, 2018-2019.
5. David DILLMAN, Architecture solaire passive et réhabilitation, Ecole d'architecture de la ville et des territoires à Marne la vallée, Janvier 2014, P10.
6. Émilie. Bouffard, Conception de bâtiments solaires : méthodes et outils des architectes dans les phases initiales de conception, thèse de magister de l'université de LAVAL, Québec Canada, 2013.
7. Houpert. S, approche inverse pour la résolution de contraintes solaires et individuelles dans le projet architectural et urbain, thèse de doctorat ,école d'architecture de Nantes, 2003.
8. MENAI. I , Vers une architecture solaire des établissements universitaires à Guelma, mémoire fin d'étude de l'université 08 Mai 1945 Guelma, Juin 2018.
9. SHIRLEY GAGNON, ÉNERGIE SOLAIRE ET ARCHITECTURE, Les outils numériques et leur utilisation par les architectes pour la conception solaire, UNIVERSITÉ LAVAL, QUÉBEC 2012, P39.
10. Talal. S, « Intégration des composants solaires thermiques actifs dans la structure bâtie ». Thèse de doctorat. L'Institut National des Sciences Appliquées. Lyon,2007.

Articles

1. le climat et la couche d'ozone. Marie Lise Chanin. Publié le 11/10/2007
2. MAHIEU, E. 2006. avec la collaboration de Pascal THEATE et Vincent BRAHY, dossier scientifique, AIR2 La destruction de la couche d'ozone, chapitre 9 : L'air et le climat P1
3. Renewable Energy &Development. Brochure to accompany the Mobile Exhibition on Renewable Energy in Ethiopia.By Jargstorf,

BIBLIOGRAPHIE

Benjamin.GTZ & Ethiopian Rural Energy Development and Promotion Centre (EREDPC).Addis Ababa 2004.

Documents gouvernementaux

1. Chiffres clés de l'énergie, édition 2011. SOeS – chiffres de consommation, 2010.
2. EIA Annual Energy Outlook, DOE/EIA-0383, 2011.
3. GIEC, (2008). Changements Climatiques. Rapport de Synthèse. [En ligne] www.ipcc.ch.
4. Inter- governmental Panel on Climate Change, IPCC. [En ligne] <http://www.ipcc.ch/>
5. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 5e rapport d'évaluation, 2007.
6. Ministère de l'énergie et des mines. Conférence sur la maîtrise de l'énergie et de l'environnement dans un contexte d'économie de marche, 2009.
7. Rapport spécial du GIEC et du GETE, Préservation de la couche d'ozone et du système climatique planétaire: Questions relatives aux hydrofluorocarbures et aux hydrocarbures perfluorés, 2005.

Rapports d'étude

1. RECAUT, A, « Système photovoltaïque ». Ecole polytechnique Savoie. P152, 2011.

Dictionnaires

1. Vocabulaire de l'environnement Hachette. 1972. Paris. P48
2. Dictionnaire environnement et développement durable [En ligne] <http://www.dictionnaireenvironnement.com/>
3. Dictionnaire Médiadico.

Sites web

1. http://fr.electricalinstallation.org/frwiki/La_consommation_mondiale_d%27%C3%A9nergie_%C3%A9lectrique
2. <http://www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/la-pollution-de-l-air-c-est-quoia11001.html>

BIBLIOGRAPHIE

3. <http://www.cea.fr/comprendre/Pages/matiere-univers/essentiel-sur-le-soleil.aspx>
4. <Http://www.performance-energetique.lebatiment.fr>
5. <http://www2.ac-lyon.fr/etab/lycees/lyc-69/bernard/spip.php?article262>
6. <https://docplayer.fr/11548646-Strategie-et-developpement-de-l-industrie-gaziere-a-l-horizon2040.html>
7. <https://sitetab2.ac-reims.fr/clg-tinqueux/-spip-/Les-causes-du-rechauffement-climatique.html>
8. <https://www.atmo-nouvelleaquitaine.org/article/les-effets-de-la-pollution-de-lair-sur-lenvironnement>
9. <https://www.brevetdescolleges.fr/docs/e4157004ba3da42e8c7df22289f71fa1-energie-fossile-etrenouvelable-svt-3eme.pdf>
10. <https://www.calculo.fr/Eco-travaux/Les-sources-d-energies-fossiles>
11. <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/biomasse>
12. <https://www.geo.fr/environnement/quest-ce-que-leffet-de-serre-193565>
13. <https://www.geo.fr/environnement/rechauffement-climatique-44094>
14. https://www.la-croix.com/Actualite/France/Les-sources-d-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre- NG_2011-06-23-666929
15. <https://www.mtaterre.fr/dossiers/pourquoi-notre-air-est-il-pollue/polluants-leurs-origines>
16. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/pollution/3-les-principales-causes-de-pollution/>
17. Lamaisonpassive.fr – Quelques informations sur la maison passive