

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département d'Architecture

Spécialité : Architecture

Option : Architecture Ecologique

Présenté par : MENAI IKRAM

Titre :

**Vers une architecture solaire des établissements
universitaires à Guelma.**

Sous la direction de : DECHAICHA Assoul

Juin 2018

Dédicace :

Je dédie ce mémoire

À CELUI QUI M'A INDIQUÉ
QUE LA VOLONTÉ FAIT TOUJOURS LES GRANDES PERSONNES

A mon cher père

...

À CELLE QUI A ATTENDU AVEC PATIENCE LES FRUITS DE SA
BONNE EDUCATION

A ma très chère mère

...

A mon frère unique... Pour ses encouragements

...

A mon fiancé... Pour son soutien dans les moments difficiles

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

Remerciement :

Mes remerciements, avant tout, à DIEU tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a données durant ces longues années d'études afin que je puisse arriver à ce stade.

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

Je lui adresse aussi toute ma reconnaissance pour avoir dirigé ce travail. Je le 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 chef de département Mr BOUDJAHM Rafiq, Les jurés qui vont évaluer et examiner ce travail et 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, mon frère et mon fiancé qui m'ont toujours encouragé, qui ont su me soutenir à chaque moment et à qui je dois tout.

Ma gratitude à mes amies, Zineb, Kawther et Marwa pour leurs encouragements et discussions très intéressantes au cours de l'élaboration de ce travail, avec qui j'ai partagé de 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. Cette croissance est, essentiellement, due à la consommation excessive d'énergie qui s'appuie principalement sur les énergies fossiles. Les dégâts environnementaux ainsi que les différents dysfonctionnements générés par ses surexploitations ont conduit à la remise en question des modes progressistes à l'œuvre et le développement d'autres alternatives dites « écologiques » pour protéger notre biosphère. Dans ce contexte, le développement et l'intégration des énergies renouvelables sont devenus incontournables dans tout processus de production notamment le cadre bâti.

Plusieurs stratégies ont été développées et adoptées, qui visent d'une part, la réduction de la consommation des combustibles fossiles, d'autre part, l'amélioration de l'efficacité énergétique des nouvelles ressources dont il est nécessaire d'y faire recours et parmi lesquelles on trouve 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 le processus de conception architecturale.

Dans cette optique, notre étude consiste alors à 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 avec une application sur un établissement universitaire existant dans la ville de Guelma en s'appuyant sur la simulation architecturale comme outil méthodologique d'évaluation et d'estimation. Les résultats ont montré que les panneaux solaires peuvent répondre aux deux besoins énergétiques : la chaleur et l'électricité avec un rendement important.

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

Abstract :

The environmental record of recent times signals a destructive and alarming growth, threatening the ecosystems of our planet. This growth is mainly due to the excessive consumption of energy which is mainly on fossil fuels. The environmental disadvantages that the various dysfunctions generated by its overexploitation have led to the questioning of the progressive modes at work and the development of other so-called "ecological" alternatives to protect our biosphere. In this context, the development and integration of renewable energies have become essential in any production process, especially the built environment.

Several strategies have been developed and adopted, aimed at reducing the consumption of fossil fuels and at improving the energy efficiency of the new resources that are needed. among which we find the solar energy which, obviously, is manifested as a rather privileged alternative from its abundance in Algeria. In this respect, ecological architecture finds its relevance in integrating this energy into the architectural design process.

In this perspective, our study then consists of highlighting the importance of solar energy in construction, trying to study the different conceptual devices of solar panels to implement in the process of ecological architectural design to ensure a healthy and sustainable energy.

We will try to examine this energy choice with an application on an existing university institution in the city of Guelma by relying on architectural simulation as a methodological tool for evaluation and estimation. The results showed that solar panels can meet both energy needs: heat and electricity with high efficiency.

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

ملخص:

يشير السجل البيئي الذي لوحظ في العقود الأخيرة إلى حدوث نمو مدمر و مثير للقلق، مما يهدد الأنظمة البيئية لكوكبنا. ويعزى هذا النمو بشكل أساسي إلى الاستهلاك المفرط للطاقة ، والذي يعتمد أساسًا على الوقود الأحفوري. أدت الأضرار البيئية بالإضافة إلى الاختلال الناتج عن الاستغلال المفرط لها إلى طرح الأسئلة حول الأساليب التقدمية في العمل وتطوير البدائل الأخرى المسماة "الإيكولوجية" لحماية محيطنا الحيوي. في هذا السياق، أصبح تطوير وتكامل الطاقات المتجددة ضروريًا في أي عملية إنتاج بما في ذلك البيئة المبنية. قد تم وضع و اعتماد العديد من الاستراتيجيات التي تهدف إلى الحد من استهلاك الوقود الأحفوري وتحسين كفاءة الطاقة في الموارد الجديدة المطلوبة. نجد من بينها الطاقة الشمسية التي تتجلى بوضوح كبديل متميز و متواجد بوفرة في الجزائر. وفي هذا الصدد ، تجد الهندسة البيئية أهميتها في دمج هذه الطاقة في عملية التصميم المعماري. ومن هذا المنظور ، فإن دراستنا تتكون من إبراز أهمية الطاقة الشمسية في البناء ، محاولة دراسة الأجهزة المفاهيمية المختلفة للألواح الشمسية لتنفيذها في عملية التصميم البيئي الإيكولوجي لضمان مستقبل طاقة صحي ومستدام. سنحاول دراسة اختيار الطاقة هذا من خلال التطبيق على كلية جامعة موجودة في مدينة قالمة باستخدام المحاكاة المعمارية كأداة منهجية للتقييم والتقدير. أظهرت النتائج أن الألواح الشمسية يمكن أن تلبى احتياجات الطاقة: الحرارة والكهرباء بكفاءة عالية.

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

Table de matières :

DÉDICACE :.....	ii
REMERCIEMENT :	iii
RÉSUMÉ :.....	iv
Table de matières :	vii
Liste de figures :	xiv
Liste de tableaux :	xvii
Chapitre introductif	1
Introduction générale :	2
Problématique :	4
Hypothèse :.....	4
Objectifs :	4
Structure de mémoire :	5
Méthodologie	5
Chapitre 01 : Les enjeux environnementaux et énergétiques	6
Introduction :	7
I.1 Généralité sur l'environnement :	8
I.1.1 Environnement :.....	8
I.1.2 Ecologie :	8
I.1.3 Ecosystème :	8
I.1.4 Biotope :.....	9
I.1.5 Biocénose :.....	9
I.2 Les inquiétudes de l'environnement :.....	10
I.2.1 La pollution :.....	10
I.2.1.1 Origines des polluants et principaux éléments :.....	11
I.2.1.2 Effet de la pollution sur l'environnement :.....	12
I.2.2 Effet de serre et réchauffement climatique :	13
I.2.2.1 L'effet de serre :	13
I.2.2.1.1 Emissions des gaz à effets de serre :.....	14
I.2.2.1.2 Sources des GES :.....	14
I.2.2.1.3 Bilan des émissions des gaz à effet de serre en Algérie :	15
I.2.2.2 Réchauffement climatique:.....	16
I.2.2.2.1 Définition du réchauffement climatique :.....	16

I.2.2.2.2	Les conséquences du réchauffement climatique :.....	17
I.2.3	La dégradation de la couche d’ozone :	17
I.2.3.1	La destruction de la couche d’ozone :	18
I.2.3.2	Le réchauffement climatique et la perte d’ozone :	19
I.3	Le changement climatique :.....	19
I.3.1	Résultats de quelques conférences sur les changements climatiques :	19
I.4	De l’énergie fossile aux énergies renouvelables :	20
I.4.1	Qu’est-ce que l’énergie fossile :	20
I.4.1.1	La surexploitation des ressources fossiles :.....	20
I.4.1.2	Différents types d’énergies fossiles :.....	21
I.4.1.3	La consommation mondiale d’énergie :	21
I.4.1.4	La consommation énergétique dans l’Algérie	21
I.4.2	Les énergies renouvelables :	22
I.4.2.1	Les différents types d’énergies renouvelables :.....	23
I.4.2.1.1	L’énergie solaire :	23
I.4.2.1.2	L’énergie éolienne :	23
I.4.2.1.3	L’énergie hydraulique.....	24
I.4.2.1.4	L’énergie géothermique :.....	24
I.4.2.1.5	L’énergie de la biomasse :	25
I.5	L’énergie solaire : Un avenir énergétique durable.	25
I.5.1	Le soleil :.....	25
I.5.2	Potentiel solaire en Algérie	26
	Conclusion :.....	27
Chapitre 02 : L’architecture solaire: Pour une architecture consciente à l’énergie.....		28
	Introduction :	29
II.1	Architecture écologique : Concept et définition.....	30
II.1.1	Ecologie :.....	30
II.1.2	Empreinte écologique :.....	30
II.1.3	Climat :.....	30
II.1.4	Qu’est qu’une architecture écologique ?.....	31
II.2	L’approche bioclimatique :.....	31
II.2.1	Définition de la démarche bioclimatique :	32
II.2.2	Les étapes de la démarche de conception bioclimatique :.....	33

II.2.2.1	L'implantation :	33
II.2.2.2	Compacité et orientation :	33
II.2.2.3	Ventilation naturel :	35
II.2.2.4	Isolation bien soignée :	36
II.2.2.5	Captage du rayonnement solaire :	37
II.2.2.6	L'éclairage efficace :	37
II.3	L'Architecture solaire : Notions et concepts	38
II.3.1	Définition de l'architecture solaire :	38
II.3.2	Le principe de l'architecture solaire :	39
II.3.3	Les formes de l'énergie solaire :	39
II.3.3.1	La lumière naturelle	39
II.3.3.2	Energie solaire passive :	40
II.3.3.3	Energie solaire active :	43
II.3.4	Les systèmes solaires actifs :	44
II.3.4.1	Système solaire thermique :	44
II.3.4.1.1	Définition du système thermique :	44
II.3.4.1.2	Principe de fonctionnement :	44
II.3.4.1.3	Les types de capteurs solaires thermiques :	46
II.3.4.1.3.1	Capteurs solaires plans :	46
II.3.4.1.3.2	Capteur solaires à concertation :	47
II.3.4.2	Système solaire photovoltaïque :	48
II.3.4.2.1	Définition du système photovoltaïque :	48
II.3.4.2.2	La technologie des capteurs photovoltaïques :	48
II.3.4.2.3	L'effet photovoltaïque :	49
II.3.4.2.4	Le principe de fonctionnement :	50
II.3.5	La conception de l'architecture solaire :	51
II.3.5.1	La Conception d'un projet architectural solaire:	51
II.3.5.2	Types de conception des panneaux solaires:	52
II.3.5.3	Démarche d'intégration:	53
II.3.5.4	Intégration des capteurs solaire dans le bâtiment :	54
II.3.5.4.1	Les capteurs en toiture inclinée	54
II.3.5.4.2	Les capteurs en toiture terrasse	55
II.3.5.4.3	Les capteurs en façades	56

II.3.5.4.4	Les capteurs sur paroi verticale.....	57
II.3.5.4.5	Les Capteurs au sol	58
II.3.5.5	Conditions d'efficacité énergétique :	58
II.3.5.5.1	Besoin en capteurs :	58
II.3.5.5.2	Influence de l'orientation, de l'inclinaison sur la quantité d'énergie captée : 59	
II.3.5.5.3	Course et masque solaire :	60
II.3.5.5.4	Conditions de performance :	60
II.3.6	Exemples d'architecture solaire intégrant des systèmes solaires passifs et actifs : 61	
	Conclusion :	62
Chapitre 03	Simulation et recherche méthodologique	63
	Introduction :	64
III.1	La simulation numérique :	64
III.1.1	Définition de la simulation	64
III.1.2	Objectifs de la simulation :	64
III.1.3	Méthodes de simulation	65
III.1.3.1	Méthode de simulation thermique :	65
III.1.3.2	Climat, données et analyse.....	65
III.1.3.3	Accès solaire, ombrages.....	65
III.1.3.4	Eclairage naturel / artificiel.....	66
III.2	Simulation thermique : chauffage / climatisation.....	66
III.2.1	Simulation à l'aide du logiciel TRNSYS version 16:	66
III.2.1.1	Aperçus sur le logiciel :	66
III.2.1.2	Objectifs	68
III.2.1.3	Déroulement de la simulation :	68
III.2.1.4	Avantages du logiciel TRNSYS :	69
III.2.1.5	Inconvénients du logiciel TRNSYS :	69
III.3	Cas d'étude et application.....	70
III.3.1	Présentation du cas d'étude : La faculté des sciences médicales –GUELMA-..	70
III.3.1.1	Situation :	70
III.3.1.2	Etude du plan de masse :	70
III.3.1.3	Données mobilisées	71
III.3.1.4	Evaluation énergétique : modélisation et simulation architecturale :	71

III.3.1.5	Déroulement de simulation par le TRNSYS :.....	71
III.3.1.6	Aspect énergétique : simulation et évaluation	73
III.3.1.6.1	Simulation d'une salle de classe de la faculté en R.D.C.....	73
III.3.1.6.2	Simulation d'une salle de classe de la faculté en 1 ^{er} étage :	77
III.3.1.6.3	Simulation d'une salle de classe de la faculté en dernier étage	78
III.3.1.7	Analyse de l'efficacité du panneau pendant une journée.....	80
III.3.1.7.1	Conditions de simulation	80
III.3.1.7.2	Caractéristique du panneau	81
III.3.1.8	Résultat	81
III.3.1.8.1	Interprétation des résultats	81
III.3.1.8.2	Recommandations	81
	Conclusion.....	82
Chapitre 04 : Etape de projet : Site, Analyse, programmation et intervention.		83
IV.1	Analyse de site d'intervention:	84
IV.1.1	Motivation de choix:	84
IV.1.2	Présentation de la ville :	84
IV.1.2.1	Situation géographique de la ville de Guelma:	84
IV.1.2.2	Analyse climatique de la ville Guelma:	85
IV.1.2.2.1	Le climat de la ville de Guelma :.....	85
IV.1.2.2.2	Températures:	86
IV.1.2.2.3	Précipitation:.....	86
IV.1.2.2.4	Vitesse de vents:	87
IV.1.2.2.5	La rose des vents :.....	87
IV.1.2.2.6	Insolation:	88
IV.1.2.2.7	Diagramme ombrothermique de Guelma :	89
IV.1.2.2.8	Diagramme solaire de Guelma :	89
IV.1.2.3	Analyse bioclimatique de la ville de Guelma :	91
IV.1.2.3.1	Application de la méthode de S. Szokolay :	91
IV.1.2.3.2	Les tables de Mahoney :	92
IV.1.3	Analyse de site :	93
IV.1.3.1	Présentation et délimitation de terrain :	93
IV.1.3.2	Analyse physique du site :	94
IV.1.3.2.1	Morphologie:	94

IV.1.3.2.2 Le tissu urbain:.....	94
IV.1.3.2.3 Le profil topographique :	95
IV.1.3.2.4 Accessibilité:.....	95
IV.1.3.3 Analyse microclimatique du terrain:.....	96
IV.1.3.3.1 Ensoleillements	96
IV.1.3.3.2 Vents dominants:	96
Synthèse :	97
IV.2 Analyse des exemples :.....	98
IV.2.1 Exemple 01: La faculté de médecine d'Alger	98
IV.2.1.1 Présentation:.....	98
IV.2.1.2 Situation générale:	98
IV.2.1.3 L'environnement immédiat:	99
IV.2.1.4 Identification de l'environnement:	99
IV.2.1.5 L'accessibilité:.....	99
IV.2.1.6 Etude du plan d masse :	100
IV.2.1.7 Le découpage de la faculté :.....	100
IV.2.1.8 Les accès:	101
IV.2.1.9 L'espace vert:	102
IV.2.1.10 Typologie de façades :	102
IV.2.1.11 Organigramme fonctionnel du campus:.....	103
IV.2.1.12 Organigramme spatial du campus:.....	104
IV.2.1.13 Etude d'intérieur :	104
Synthèse :	105
IV.2.2 Exemple 02: La faculté des sciences médicales –GUELMA-	106
IV.2.2.1 Présentation:.....	106
IV.2.2.2 Situation générale:	106
IV.2.2.3 L'environnement immédiat:	106
IV.2.2.4 Identification de l'environnement:	107
IV.2.2.5 L'accessibilité:.....	107
IV.2.2.6 Etude du plan de masse :	108
IV.2.2.7 Les accès:	109
IV.2.2.8 L'espace vert:	109
IV.2.2.9 Typologie de la façade:.....	109

IV.2.2.10 Organigramme fonctionnel du campus:.....	110
IV.2.2.11 Organigramme spatial du campus :.....	110
IV.2.2.12 Etude d'intérieur :	111
IV.3 Programmation :	113
IV.3.1 Objectifs de la programmation :.....	113
IV.3.2 Le programme retenu :	113
Synthèse et recommandations :	116
IV.4 Genèse et démarche du projet :.....	117
IV.4.1 Objectifs :	117
IV.4.2 Principes à suivre :	117
IV.4.3 Présentation de la méthode de conception :	117
Conclusion générale :	122
Bibliographie.....	124

Liste de figures :

Figure 1: La pollution atmosphérique.	11
Figure 2: Le phénomène de l'effet de serre.	13
Figure 3: Les gaz à effet de serre dans le monde.	15
Figure 4: température moyenne de la surface de la terre entre 1856-2005	16
Figure 5: Série chronologique des anomalies de la colonne d'ozone, en moyenne mondiale.	18
Figure 6: La consommation finale de l'Algérie par secteur d'activité.	22
Figure 7: L'énergie solaire.....	23
Figure 8: L'énergie éolienne.....	23
Figure 9: L'énergie hydraulique.	24
Figure 10: L'énergie géothermique.	24
Figure 11: L'énergie de la biomasse.....	25
Figure 12: Le soleil.....	25
Figure 13: Irradiation solaire globale reçue sur plan incliné.....	26
Figure 14: Exemple d'analyse de site en fonction du climat.	33
Figure 15: Impact de la forme du bâtiment sur les déperditions thermiques.	34
Figure 16: La répartition des pièces selon l'orientation.....	35
Figure 17: Les types de ventilation naturelle.	36
Figure 18: Schéma d'isolation d'une maison.	36
Figure 19: Principe du captage du soleil.	37
Figure 20: Types des systèmes solaires classés selon différents besoins pour le bâtiment....	38
Figure 21: Schémas représentant différents compositions d'ouvertures vues en coupe.....	40
Figure 22: La Réfrigération et le chauffage solaires passifs	41
Figure 23: Représentation schématique des quatre principes du chauffage solaire passif.....	41
Figure 24: Mur trombe de la bibliothèque des sciences de l'université de Versailles.	43
Figure 25: Schéma du système solaire thermique.	44
Figure 26: Schéma représentant les composants de la production d'eau chaude sanitaire.	45
Figure 27: Schéma représentant le circuit de fonctionnement du système solaire thermique.	45
Figure 28: Schéma de la technologie solaire thermique.....	46
Figure 29: Schéma représentant le fonctionnement du capteur solaire à air.....	46
Figure 30: Le concentrateur parabolique.	47
Figure 31: Le central à tour.	47
Figure 32: Les capteurs cylindo-parabolique.	47
Figure 33: La technologie des capteurs solaires photovoltaïques.	48
Figure 34: de la cellule solaire au système photovoltaïque.....	49
Figure 35: Schéma montrant l'effet photovoltaïque.	49
Figure 36: Schéma d'installation photovoltaïque raccordé au réseau.	51
Figure 37: La façade est dotée de volets coulissants motorisés en panneaux photovoltaïques.	51
Figure 38: Les réalisations en opposition des ouvrages existants.....	52
Figure 39: Les réalisations en intégration des nouveaux ouvrages.....	53
Figure 40: Intégration des capteurs en toiture incliné.	54
Figure 41: Intégration des capteurs en toiture terrasse.....	55

Figure 42: Intégrations des capteurs en façade.	56
Figure 43: Les capteurs solaires en garde-corps et en allège.	57
Figure 44: Les capteurs solaires en brise soleil.....	57
Figure 45: Les capteurs solaires en décrochement de façade.....	57
Figure 46: Les capteurs solaires comme élément de paysage.	58
Figure 47: Influence de l'orientation et l'inclinaison sur le rendement.	59
Figure 48: Influence du masque solaire.	60
Figure 49: le rendement des capteurs solaires en référence de l'échelle de performance énergétique.	60
Figure 50: Habitation Imagine Rommen, Norvège.....	61
Figure 51: Laboratoires d'énergie Xelios, Italie (Studio Marco Acerbis).....	61
Figure 52: Siège social Tobias Grau, Allemagne.....	62
Figure 53 : logiciel de calcul d'ombrage.....	65
Figure 54: Logiciel ECOTECT de simulation d'éclairage naturel.	66
Figure 55: Schéma de déroulement de la simulation.	69
Figure 56: Plan de situation. Source: Google Earth réadapté par l'auteur.....	70
Figure 57: Plan de masse.....	70
Figure 58: Donnée climatique de Guelma. A-Ensoleillement ; B- Température ; C- Précipitations.	71
Figure 59: Plan RDC.	72
Figure 60: Plan 1er étage.....	72
Figure 61: Plan 2ème étage.	72
Figure 62: La façade principale.....	73
Figure 63: Plan de masse.....	73
Figure 64: Interface de simulation. Source: TRNSYS.....	74
Figure 65: Liaison entre éléments de projet. Source TRNSYS.....	75
Figure 66: Temps de simulations. Source TRNSYS.....	75
Figure 67: Résultat de simulation (Graph). Source TRNSYS.	76
Figure 68: Résultats de simulation (Calcul). Source: TRNSYS.	76
Figure 69: Classification de la salle RDC.	76
Figure 70: Résultats de simulations (calcul). Source: TRNSYS.....	78
Figure 71: Classification de la salle 1er étage.....	78
Figure 72: Résultats de simulation (Calcul). Source: TRNSYS.	79
Figure 73: Classification de la salle 2ème étage.	80
Figure 74: Caractéristique du panneau solaire utilisé. Source: Condor Electronics.	81
Figure 75: La situation géographique de la ville de Guelma.	84
Figure 76: La classification du climat de la ville de Guelma.....	85
Figure 77: Graph des variations des températures mensuelles en 2016.....	86
Figure 78: Graph de variations des précipitations mensuelles en 2016.....	86
Figure 79: Graph de variation de vitesse des vents mensuelle.....	87
Figure 81: <i>Variation de durée d'insolation mensuelle</i>	88
Figure 80: La rose du vent dans les 4 saisons de la wilaya de Guelma (<i>Méteonorm 7 + Climat</i> <i>Consiltant 6</i>).....	88
Figure 82: Le digramme ombrothermique de Guelma.....	89

Figure 83: Le diagramme frontal de Guelma	90
Figure 84: Le diagramme polaire de Guelma montrant la zone de surchauffe	91
Figure 85: Le diagramme psychrométrique de Guelma.....	92
Figure 86: La situation du terrain par rapport à la ville et à son entourage.	93
Figure 87: La morphologie et les dimensions du terrain.....	94
Figure 88: Le tissu urbain du terrain	94
Figure 89: Le profil topographique	95
Figure 90: Les voies d'accessibilité du terrain	95
Figure 91 : La course solaire pendant les 3 sollicités (21 décembre, 21 mars, 21 juin).	96
Figure 92: La direction des vents dominats.	96
Figure 93 : La faculté de médecine d'Alger.....	98
Figure 94: Plan de situation de la faculté de médecine d'Alger.....	98
Figure 95: L'environnement immédiat	99
Figure 96: Environnement: Lycée ALEXANDRE DUMAS ; Quartier résidentiel ; Centre commercial d'El Biar	99
Figure 97: L'accessibilité du Campus.....	99
Figure 98: Le plan de masse du campus	100
Figure 99: Le découpage des entités du campus.	100
Figure 101: L'accès principal du campus.	101
Figure 100: Les différents accès du campus.	101
Figure 104: La façade principale du campus.....	102
Figure 102: Plan de masse du campus.	102
Figure 103: Le patio dans le campus.....	102
Figure 105: La façade de la rotonde du campus.....	103
Figure 106: Organigramme fonctionnel du campus.....	103
Figure 107: Organigramme spatial du campus.	104
Figure 108: Le plan RDC du campus.....	104
Figure 109: Les plans 1 ^{er} et 2 ^{ème} étage du campus..	105
Figure 110: Les plans administration - bibliothèque du campus	105
Figure 112: La situation générale du campus.....	106
Figure 111: La faculté des sciences médicales -Guelma-	106
Figure 114: Identification de l'environnement.	107
Figure 113: L'environnement immédiat.	107
Figure 115: L'accessibilité au campus.....	107
Figure 116: Plan de masse et répartition des entités.	108
Figure 117: Les différentes fonctions dans le campus.	108
Figure 118: Les accès au campus.	109
Figure 119: La relation entre l'espace vert et le bâtiment.	109
Figure 120: Les façades des différents blocs.	110
Figure 121: L'organigramme fonctionnel du campus..	110
Figure 122: Organigramme spatial du campus.	110
Figure 123: Plan RDC du campus.....	111
Figure 124: Plan 1er étage du campus.	111
Figure 125: Plan 2ème étage du campus.	111

Figure 126: Plan 3ème étage du campus.....	112
Figure 127: Plan 4ème étage du campus.....	112
Figure 129: La composition du chromosome X.....	117
Figure 128: Chromosome X.....	117
Figure 130: La forme finale obtenue par rapport à la métaphore du chromosome X.....	118
Figure 131: Schéma montrant les différents axes du projet.....	119
Figure 132: Schéma montrant les différents accès du terrain.....	119
Figure 133: Schéma montrant l'environnement et les différentes techniques écologiques intégrées.....	120
Figure 134: Schéma de principe du projet.....	121

Liste de tableaux :

Tableau 1 : Les principaux polluants, ENCARTA 2010	12
Tableau 2: Les différents types d'énergie primaire. Source: IEA.	21
Tableau 3: La durée d'ensoleillement par région en Algérie.....	26
Tableau 4: Hauteur et Azimut du soleil (Guelma).....	90
Tableau 5: Le programme retenu de la faculté des sciences médicales.....	115

Chapitre introductif

Chapitre introductif

Introduction générale :

Durant ces dernières décennies, la consommation énergétique à l'échelle mondiale est devenue de plus en plus un souci inquiétant autant pour la communauté scientifique que politique. De nos jours, cette question constitue une préoccupation majeure omniprésente dans les débats professionnels et scientifiques, de par les défis qu'elle présente sur les différents plans.

La surexploitation massive des énergies fossiles, qui provient principalement des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon, ...etc.) ainsi largement constatée, est entrain de conduire à l'épuisement de ces réserves constituant une réelle menace 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.

À ce propos, il est devenu nécessaire de réfléchir et de faire recours aux alternatives développées et adoptées pour réduire l'impact énergétique sur l'environnement. C'est pourquoi qu'il est nécessaire de promouvoir les énergies renouvelables sous toutes leurs formes : solaire, éolienne, géothermique, biomasse, hydraulique, etc.

L'architecture écologique cherche fondamentalement la prise en compte de ses différentes énergies et leurs intégrations, ainsi que la mise en œuvre de matériaux respectueux de l'environnement et de l'habitant; ce qui peut nous permettre de réduire la demande énergétique et par conséquent les émissions de gaz à effet de serre. Dans cette optique, la lutte contre ces émissions des GES et aussi contre la pollution est une préoccupation assez importante dans le secteur du bâtiment, un secteur censé être grand consommateur d'énergie fossile.

À cet égard, l'architecture solaire, étant une approche écologique visant à concrétiser aussi bien la qualité architecturale et la qualité environnementale, comme son nom l'indique, trouve plus de faveur de la part des chercheurs et des responsables locaux suite à une conscience éco responsable indéniablement manifestée. L'intégration de l'énergie solaire dans le processus architecturale permet de produire un cadre bâti mieux adapté aux tendances écologiques, qui cherchent une meilleure conciliation entre les trois composantes de l'environnement : l'homme (utilisateur ou producteur), l'environnement et le climat.

Chapitre introductif

L'Algérie, à l'image des autres pays du Maghreb, de par sa situation latitudinale, possède un gisement solaire assez important, classé parmi les premiers à l'échelle planétaire. Avec ce potentiel, notre pays est tenu de penser sérieusement à la période d'après pétrole, la tâche est de taille, mais elle est indispensable pour le profit des générations futures.

L'architecte, premier acteur de la ville, est appelé à être inscrit dans toute approche environnementale dans la production du cadre bâti en valorisant la conception solaire entant un choix énergétique écologique. Dans cette perspective, notre travail est une tentative cherchant à mettre en évidence l'intégration des panneaux solaires dans la conception des équipements publics, particulièrement les établissements universitaires en raison de leurs grandes capacités d'accueil.

L'objectif de cette étude est de montrer, en premier lieu, la nécessité de l'intégration des panneaux solaires en amont dans la conception architecturale en répondant aux deux besoins énergétiques la chaleur et l'électricité. En deuxième lieu, de concevoir des bâtiments à Zéro énergie en utilisant les paramètres de l'architecture solaire passive, pour assurer un avenir durable et un environnement sain.

Chapitre introductif

Problématique :

Durant ces dernières décennies, la question énergétique devient de plus en plus un enjeu majeur et s'impose comme problématique omniprésente dans les réflexions et les débats scientifiques et professionnels portant sur la dégradation de l'environnement et les effets négatifs sur notre biosphère.

En effet, une remise en cause des énergies fossiles, de par leurs impacts néfastes sur l'environnement dus aux pollutions qu'elles génèrent perpétuellement ainsi que les risques sanitaires et le changement climatique, se manifeste de jour en jour et le recours aux alternatives dites renouvelable se généralise comme sources écologique à vulgariser.

L'Algérie, quant à elle, s'est engagée officiellement dans cette tendance. Toutefois, malgré qu'elle est abondante, l'énergie solaire n'est pas si exploitée. Les acteurs politiques et techniques, particulièrement les architectes, sont appelés à être impliqués dans une telle démarche visant à vulgariser l'architecture solaire.

Ce constat nous a amené à s'interroger sur la valorisation de l'énergie solaire entant que source durable dans la production du cadre bâti, notamment les équipements qui reçoivent en permanence du large public comme les établissements universitaires. Dans cette optique notre questionnement tourne autour de l'intégration des panneaux solaires dans la production architecturale en posant la question suivante :

Comment mettre en œuvre une démarche solaire dans le processus de conception architecturale des établissements universitaires, particulièrement à Guelma ?

Hypothèse :

Les panneaux solaires peuvent constituer un dispositif conceptuel à intégrer dans le processus de conception architecturale à travers une approche solaire.

Objectifs :

- La mise en évidence de l'importance de l'énergie solaire entant que source durable dans tous les projets du développement humain particulièrement la construction.
- Concrétisation et généralisation de l'énergie solaire en architecture pour réduire l'impact sur l'environnement.

Chapitre introductif

Structure de mémoire :

Notre mémoire est structuré en deux parties : partie théorique et partie pratique. La première partie théorique consiste à une analyse conceptuelle des différentes notions et concepts clé énoncés dans l'hypothèse. La seconde partie est une partie analytique mettant en examen notre cas d'étude. Globalement, cette étude est structurée en quatre chapitres comme suit :

- Le Premier chapitre, est une revue bibliographique concernant les aspects généraux des concepts clés autour desquels s'articule 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, l'efficacité énergétique des panneaux solaires dans les équipements de haute consommation énergétique.
- Le troisième chapitre, est consacré pour la partie pratique dont on a effectué une étude de cas d'une faculté des sciences médicales dans la ville de Guelma pour ensuite passer à la simulation de la consommation énergétique de trois salles de classe et calculer les énergies générées par les panneaux avec le logiciel *TRNSYS.16*.

Calcul des énergies générées par les panneaux en les comparants avec les besoins énergétiques, et qui touchent plus précisément la consommation d'électricité spécifique.

- Le quatrième chapitre, est dédié à l'analyse des exemples et la programmation ainsi l'analyse du terrain.

Il est à noter que les chapitres finissent 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.

Méthodologie

Après une analyse conceptuelle développée dans la partie théorique et après un dressement de l'état de l'art, nous avons adopté une méthodologie en s'appuyant sur les outils technologiques offertes par la simulation architecturale entant qu'outil d'aide à la conception et à l'évaluation énergétique sur ces deux volts : consommation thermique et énergétique par l'intermédiaire du logiciel *TRNSYS*.

I. Les enjeux environnementaux et énergétiques

Introduction :

Aujourd'hui, la thématique de l'efficacité énergétique, notamment dans le secteur du bâtiment, dispose d'une réelle opportunité de développement dans le monde.

Le bâtiment devient soudainement un enjeu central de deux défis planétaires majeurs: le changement climatique et l'approvisionnement énergétique.

Le secteur du bâtiment en Algérie (le résidentiel et le tertiaire) consomme plus de 41% du total de l'énergie, contre 46%¹ en Europe, et émet 19% des rejets de CO2 dans l'atmosphère, contre 25% ailleurs. Ce secteur représente un potentiel énorme d'efficacité énergétique et de réduction des gaz à effet de serres.

¹Centre d'analyse stratégique Français. (2010). « Choix Energétique dans l'immobilier résidentiel » n°172.

I.1 Généralité sur l'environnement :

I.1.1 Environnement :

Le mot environnement est polysémique, c'est-à-dire qu'il a 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 »²

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, géographe).

- 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). Le mot anglais environnement signifie milieu.³

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.

- Selon Haeckel (1866), par écologie, on entend "...la partie de la science qui concerne l'économie de la nature, l'étude de l'ensemble des relations des organismes avec leur environnement physique et biologique".

- 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.⁴

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

² Vocabulaire de l'environnement Hachette. (1972). Paris. P48

³ Dictionnaire environnement et développement durable, [En ligne] http://www.dictionnaire-environnement.com/environnement_ID1045.html. Consulté le 11 janvier 2018.

⁴ Ibid.

environnement (biotope).

Un écosystème est une unité écologique fonctionnelle formée par le biotope et la biocénose, en constante interaction.⁵

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 constant.⁶

I.1.5 Biocénose :

La biocénose désigne l'ensemble des organismes vivants qui vivent et se reproduisent dans un écosystème donné. La biocénose désigne donc l'ensemble des êtres qui vivent dans les mêmes conditions de milieu, dans un espace donné.

La biocénose se compose de trois groupes écologiques fondamentaux d'organismes : les producteurs (végétaux), les consommateurs (animaux), et les décomposeurs (bactéries, champignons, ...).⁷

⁵ Ibid.

⁶ Ibid.

⁷ Ibid.

I.2 Les inquiétudes de l'environnement :

Les inévitables déséquilibres entre l'humain et la nature, auparavant locaux et bénins, se produisent maintenant à un rythme si élevé, avec une telle intensité et une telle amplitude, qu'ils deviennent de plus en plus destructeurs et menaçants. Le monde assiste alors à l'apparition de nouveaux phénomènes écologiques qui représentent un danger très sérieux pour l'équilibre naturel.⁸

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

I.2.1 La pollution :

C'est la détérioration de l'environnement par des agents chimiques, physiques ou biologiques. La pollution de l'air résulte soit de l'introduction de substances nouvelles, soit (cas le plus fréquent) d'une augmentation des concentrations habituelles de substances déjà présentes à l'état naturel et qui peuvent atteindre dans ce cas des valeurs dangereuses.⁹

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

⁸ KERMICHE. H, BECETTI. M., (2010). « *Essai d'élaboration d'un rapport de développement durable SELON LE STANDARD GLOBAL REPORTING INITIATIVE* ». Mémoire de licence. Ecole supérieure de commerce. Algérie. [En ligne] "<https://www.memoireonline.com/>". Consulté le 01.01.2018.

⁹ Guide pratique (2016). « *La pollution de l'air extérieur* ».P2 [En ligne] [http:// www.ademe.fr](http://www.ademe.fr), consulté le 02.01.2018.

¹⁰ Dictionnaire environnement et développement durable. [En ligne] <http://www.dictionnaireenvironnement.com>. Consulté le 02.01.2018.



Figure 1: La pollution atmosphérique.

I.2.1.1 Origines des polluants et principaux éléments :

Parmi les causes principales de pollution sont :

- La production et la consommation des combustibles fossiles
- Les activités dues aux diverses industries chimiques
- Les activités agricoles (engrais et pesticide).¹¹

Les Principaux polluants :

Polluant	Sources principales	Observations
Particules en suspension	Gaz d'échappement; industries; incinération des déchets; production de chaleur et d'électricité; réactions des gaz polluants dans l'atmosphère	Doses admissibles : 75 mg/m ³ sur une année; 260 mg/m ³ en 24 h (composés de carbone, nitrates, sulfates et nombreux métaux dont le plomb, le cuivre, le fer et le zinc)
Plomb (Pb)	Gaz d'échappement; fonderies	Doses admissibles : 1,5 mg/m ³ sur 3 mois
Oxydes d'azote (NO, NO₂)	Gaz d'échappement; production de chaleur et d'électricité; acide nitrique; explosifs; usines d'engrais	Doses admissibles : 100 mg/m ³ (0,05 ppm) sur une année pour le NO ₂ ; réagit avec les hydrocarbures et la lumière pour former des oxydants photochimiques

¹¹ H-B, BRAHIM., Environnement et développement durable, cours, P32

Chapitre 01 : Les enjeux environnementaux et énergétiques

Oxydants photochimiques (principalement Ozone - O₃ -	Formés dans l'atmosphère par réaction des oxydes d'azote, des hydrocarbures et de la lumière	Doses admissibles : 235 mg/m ³ (0,12 ppm) en 1 h
Hydrocarbures autres que le méthane (éthane, éthylène, propane, butanes, pentanes, acétylène)	Gaz d'échappement; évaporation des solvants; procédés industriels; élimination des déchets solides	Réagit avec les oxydes d'azote et la lumière pour former des oxydants photochimiques
Gaz carbonique, ou dioxyde de carbone (CO₂)	Toute forme de combustion	Nocif pour la santé à des concentrations de plus de 5 000 ppm pendant plus de 2 h; le taux atmosphérique est passé d'environ 280 ppm il y a un siècle à plus de 350 ppm aujourd'hui; cette tendance pourrait contribuer à l'augmentation de l'effet de serre

Tableau 1 : Les principaux polluants, ENCARTA 2010

I.2.1.2 Effet de la pollution sur l'environnement :

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 (SO₂), 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.

I.2.2 Effet de serre et réchauffement climatique :

I.2.2.1 L'effet de serre :

L'effet de serre est à l'origine un phénomène naturel. L'atmosphère, l'enveloppe gazeuse qui entoure notre planète, est un véritable filtre par rapport aux rayons du soleil : il ne parvient à la surface de la Terre que le rayonnement solaire nécessaire à la vie. Approximativement 30 % de ce rayonnement est réfléchi vers l'espace par les nuages, la poussière et les surfaces réfléchissantes. Quant aux 70 % restants, ils sont absorbés par la surface de la Terre et réémis sous la forme de rayonnement infrarouge. Une partie de ce rayonnement est alors absorbée par l'atmosphère, qui se réchauffe. C'est sur ce principe qu'est basée l'utilisation de serres pour la production maraîchère, à l'origine du nom donné au phénomène.

Certains gaz, comme la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone (CO₂) ou le méthane (CH₄), sont naturellement présents dans l'atmosphère et retiennent une large part du rayonnement infrarouge renvoyée vers l'espace par la Terre. Ces gaz, dits « Gaz à effet de serre (GES) », maintiennent l'atmosphère à une température moyenne d'environ 15 °C. Sans eux, le thermomètre descendrait à — 18 °C, interdisant de facto le développement de la vie. ¹²

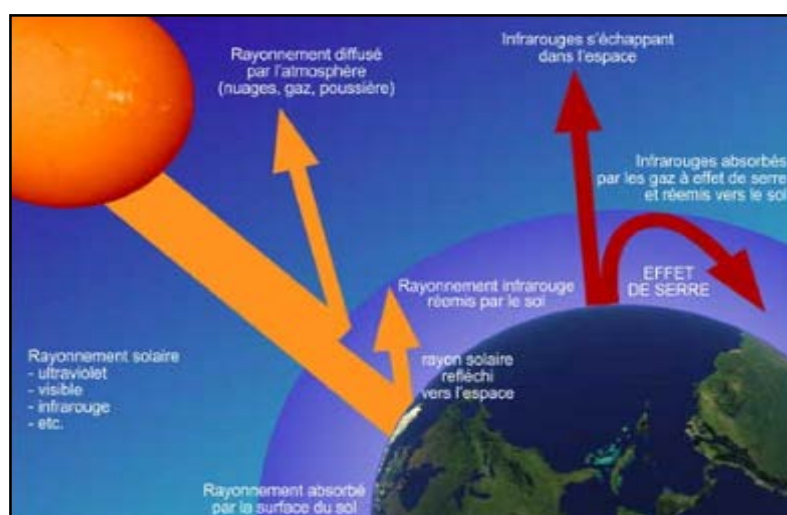


Figure 2: Le phénomène de l'effet de serre. Source: Ademe.

¹² Guide en ligne. « *Changement climatique et énergie : de quoi parle-t-on ?* » [En ligne] <http://www.ademe.fr>. Consulté le 04.01.2018.

L'effet de serre est donc un phénomène naturel et nécessaire, participant de l'équilibre bioclimatique de la planète.

Or, les activités humaines sont à l'origine d'émissions de GES dites « anthropiques ». Ces émissions supplémentaires modifient peu à peu la composition de l'atmosphère, plus concentrée en GES, et accentuent l'effet de serre. C'est cette augmentation de l'effet de serre qui est à l'origine du réchauffement climatique.

Si la part des émissions anthropiques dans le total des émissions de GES est relativement faible, l'impact de ces émissions additionnelles sur le climat via l'accroissement de l'effet de serre est, lui, important.¹³

I.2.2.1.1 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. Principalement l'utilisation d'énergies fossiles telles que le charbon, le pétrole et le gaz naturel, qui ont provoqué l'émission de tout ce CO₂.¹⁴

I.2.2.1.2 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.
- ✓ 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.

¹³ Ibid.

¹⁴ Inter- governmental Panel on Climate Change, IPCC. [En ligne] <http://www.ipcc.ch/>

- ✓ L'agriculture reste cependant la plus grande source d'émissions de méthane.¹⁵

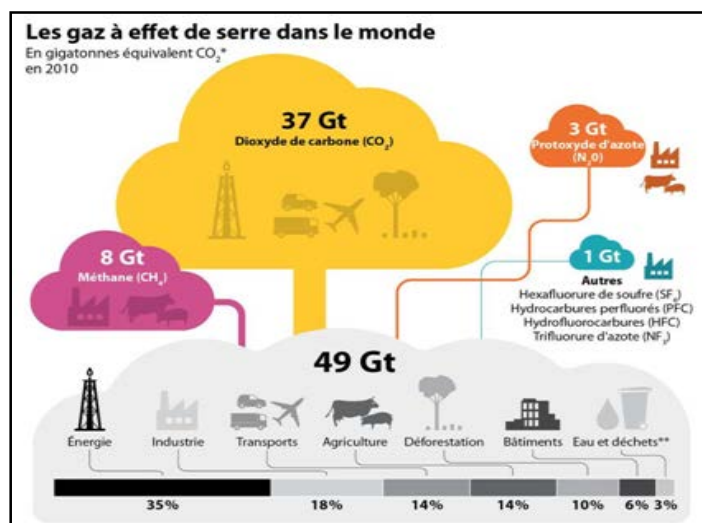


Figure 3: Les gaz à effet de serre dans le monde. Source: GIEC, Cop21

I.2.2.1.3 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 800g 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. 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.¹⁶

¹⁵ Ibid.

¹⁶ Ministère de l'Énergie et des Mines, « Consommation énergétique finale de l'Algérie » [En ligne] www.aprue.org.dz.

I.2.2.2 Réchauffement climatique:

I.2.2.2.1 Définition du réchauffement climatique :

Également appelé réchauffement planétaire ou réchauffement global, est un phénomène d'augmentation des températures sur la plus grande partie des océans et de l'atmosphère terrestre, mesuré à l'échelle mondiale sur plusieurs décennies, et qui traduit une augmentation de la quantité de chaleur retenue à la surface terrestre.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 Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat), ces émissions seraient pour la plupart responsables de l'augmentation de la température de la planète.¹⁸

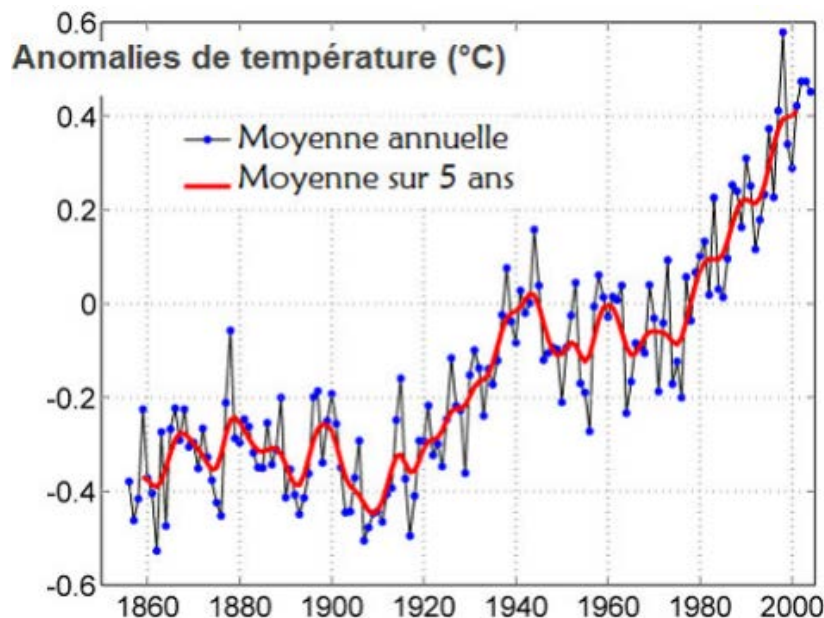


Figure 4: température moyenne de la surface de la terre entre 1856-2005

« 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,

¹⁷ Liebard, A., *Traité d'architecture et urbanisme*, France : Observatoire des énergies renouvelable. p35

¹⁸ Le 4ème rapport du GIEC annonce un 90% de certitude contre 66% de certitude présenté dans le 3ème rapport de 2001.

le Méthane CH₄ qui provient des activités gazières et pétrolières, ainsi que d'autres gaz qui contribuent à ce réchauffement climatique ». ¹⁹

I.2.2.2 Les conséquences du réchauffement climatique :

Le changement climatique perturbe les milieux naturels et la biodiversité. Les êtres humains sont, eux aussi, affectés car leur espace habitable, leur santé, l'agriculture, l'économie... sont impactés par les modifications du climat ²⁰.

- ✓ Certaines zones se réchauffent plus rapidement que d'autres
- ✓ Le cycle de l'eau et les climats se modifient
- ✓ Le niveau des océans monte
- ✓ Des mers plus acides
- ✓ Des cycles végétatifs accélérés
- ✓ Des espèces animales perturbées
- ✓ Des conséquences pour les êtres humains
- ✓ Le climat va continuer de changer au XXI^e siècle

I.2.3 La dégradation de la couche d'ozone :

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 chaque printemps (ce que l'on nomme communément le «trou dans la couche d'ozone»). ²¹

Au cours des dernières décennies, certaines pratiques domestiques, industrielles ou agricoles ont joué un rôle dans la diminution de la couche d'ozone, en émettant dans l'atmosphère des composés azotés, chlorés ou bromés. Notamment les CFC La superficie du «trou d'ozone» antarctique n'a cessé de croître pour passer de 5 à 25 millions de km² entre 1985 et 2001. ²²

¹⁹ AOUDIA, M- T., (2009). « 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 ; P4

²⁰ Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 5^e rapport d'évaluation (2013).

²¹ MAHIEU, E., (2006). Avec la collaboration de THEATE.P et BRAHY.B, dossier scientifique, AIR2 La destruction de la couche d'ozone, chapitre 9 : L'air et le climat. P1.

²² Ibid.

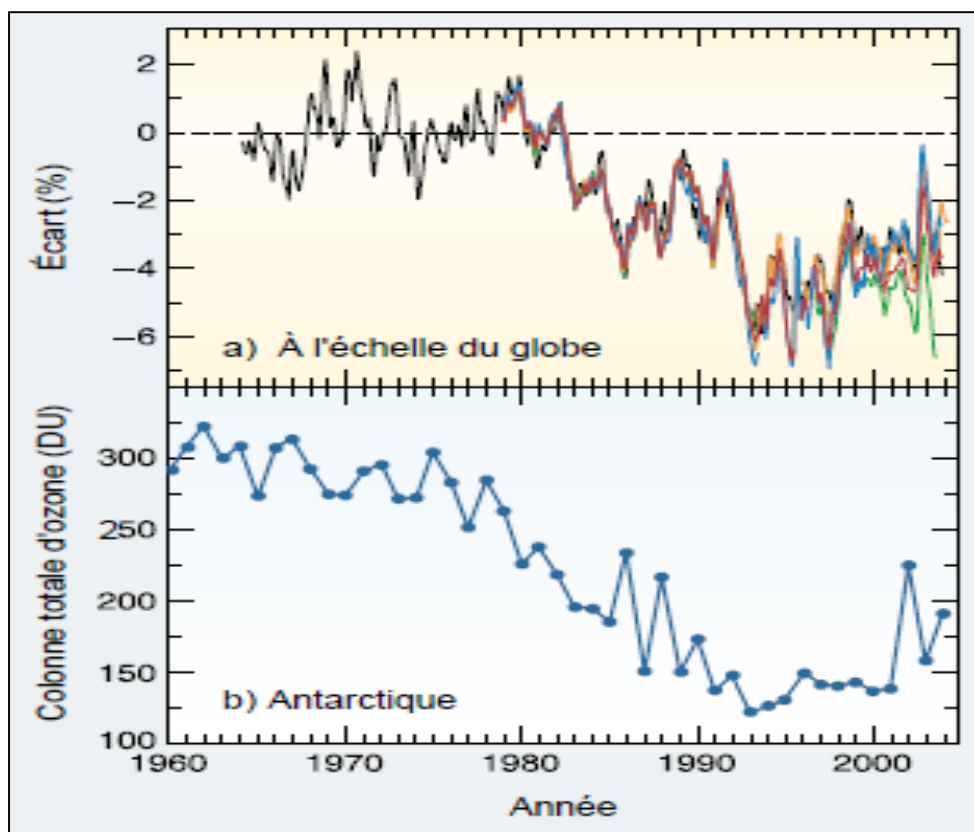


Figure 5: Série chronologique des anomalies de la colonne d'ozone, en moyenne mondiale.

Source : dossier scientifique, AIR2 La destruction de la couche d'ozone

I.2.3.1 La destruction de la couche d'ozone :

L'élévation des concentrations d'autres gaz à effet de serre pourrait avoir à long terme un impact de plus en plus marqué sur la couche d'ozone, en refroidissant la stratosphère et en modifiant la circulation stratosphérique. Il est probable que, par suite de l'effet de refroidissement et de la baisse des concentrations de SAO, la quantité d'ozone augmente dans une bonne partie de la stratosphère, mais diminue dans certaines régions, par exemple au-dessus de l'Arctique. Toutefois, les modifications de la circulation atmosphérique liées aux changements climatiques pourraient avoir des conséquences plus importantes que ces facteurs. L'impact net, sur l'ozone total, de la hausse des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère reste incertain, tant dans son ampleur que dans son sens. Selon les modèles actuels, il est très improbable qu'un trou d'ozone semblable à celui que l'on observe sur l'Antarctique se forme au-dessus de l'Arctique.²³

²³ Rapport spécial du GIEC et du GETE, (2005), *Préservation de la couche d'ozone et du système climatique planétaire: Questions relatives aux hydrofluorocarbures et aux hydrocarbures perfluorés*, P5

I.2.3.2 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 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'ozone.²⁴

I.3 Le changement climatique :

L'irrégularité des saisons d'une année à l'autre montre que le climat est naturellement variable. Cette variabilité est considérée comme étant normale ; elle est due à certains facteurs naturels tels que : les fluctuations des courants océaniques, les éruptions volcaniques, le rayonnement solaire etc. Mais depuis quelques années un certain nombre d'indicateurs et d'études montrent que le climat se réchauffe de façon inquiétante à l'échelle du globe et ceci incombe principalement aux différentes activités humaines. 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 siècle²⁵.

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 énergétique.²⁶

²⁴ Ibid.

²⁵ Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), (2007), 5^e rapport d'évaluation

²⁶ GIEC, (2008). *Changements Climatiques*. Rapport de Synthèse. [En ligne] www.ipcc.ch.

I.4 De l'énergie fossile aux énergies renouvelables :

Le réchauffement planétaire, l'augmentation des gaz à effet de serre et l'épuisement des ressources naturelles sont autant d'enjeux actuels qui engagent l'humanité à se sensibiliser, à se mobiliser et à se responsabiliser. Un tel engagement consiste inévitablement à réduire, d'une part, la consommation énergétique mondiale et à profiter, d'autre part, des énergies primaires renouvelables, avec pour conséquence une réduction de l'exploitation des énergies fossiles telles le pétrole, le charbon et le gaz naturel. 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 diminuer.

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 humaine.²⁷

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'énergies.²⁸

²⁷ Dictionnaire de l'environnement et de développement durable [En ligne] <http://www.dictionnaire-environnement.com>

²⁸ SOeS, (2011). *Chiffres clés de l'énergie*. Chiffres de consommation 2010.

I.4.1.2 Différents types d'énergies fossiles :

	Source d'énergie	Mix énergétique mondial 2011	Principaux usages	Avantages	Inconvénients
Non renouvelables	CHARBON	29 %	Chauffage, électricité, industrie chimique	Abondant	Fortes émissions de CO2
	PETROLE	31 %	Transports, électricité, industrie pétrochimique	Usages polyvalents et bonne adaptation aux transports	Réserves limitées, fortes émissions de CO2, tensions géopolitiques
	GAZ NATUREL	21 %	Chauffage, électricité, transports	Stockage assez facile	Réserves limitées, Infrastructures coûteuses, assez fortes émissions de CO2
	NUCLEAIRE	5 %	Electricité	Pas d'émissions de CO2	Installations coûteuses et dangereuses, stockage des déchets

Tableau 2: Les différents types d'énergie primaire. Source: IEA.

I.4.1.3 La consommation mondiale d'énergie :

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 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 CO₂²⁹. Le fort différentiel entre mobilisation des ressources primaires et consommation finale s'explique principalement par le rendement médiocre des centrales thermiques (32% en moyenne mondiale, tous types de centrales confondus) auquel s'ajoutent les pertes en ligne ainsi qu'aux différents stades de transformation de la tension jusqu'à l'utilisateur final (ces pertes sont de l'ordre de 12% en France¹).³⁰

I.4.1.4 La consommation énergétique dans l'Algérie

L'Algérie, riche en gaz et en pétrole ne s'est intéressée sérieusement à la rationalisation de l'utilisation de l'énergie qu'à la fin des années 80. Le gaz naturel qui constitue 60% de ses réserves en énergie fossile, alimente à hauteur de 30% de ses revenus en devises.³¹

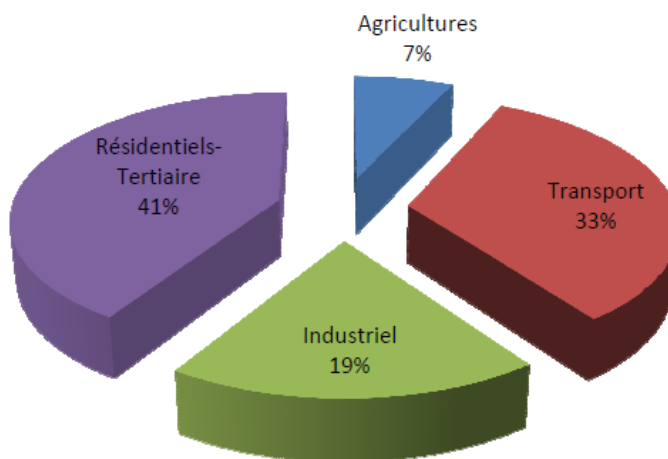
En 1995, la consommation nationale d'énergie a été de 25,3 MTep avec une pénétration plus grande des produits gazeux, plus disponible dans le bilan des ressources.

²⁹ 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.

³⁰ Centre d'analyse stratégique Français, (2010). « Choix Energétique dans l'immobilier résidentiel » n°172.

³¹ S, Assyl., (2004). Revue de SONATRACH. Réseau N°3. P30

Concernant la consommation finale, c'est le secteur résidentiel et tertiaire (45,7%) qui domine, suivi des secteurs de transports (27,8%) et de l'industriel BTP (26,8%). La part de la consommation finale représente près de 62% de la consommation nationale.³²



Les différents types d'énergie dans le secteur résidentiel nous servent globalement à quatre différents usages :³³

Figure 6: La consommation finale de l'Algérie par secteur d'activité. Source : www.aprue.org.dz.

- ✓ 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%.

I.4.2 Les énergies renouvelables :

Les énergies renouvelables constituent une solution respectueuse de l'environnement. Elles permettent d'acquérir une certaine autonomie énergétique et de réaliser des économies à moyen et long terme. En fonction de la situation géographique, plusieurs types d'énergies renouvelables sont utilisables.³⁴

« Une énergie renouvelable est une énergie exploitée par l'homme, de telle manière que ses réserves ne s'épuisent pas. En d'autre terme, sa vitesse de formation doit être plus grande que sa vitesse d'utilisation. »

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.³⁵

³² YACEF, A., (Avril 1997). Séminaire sur « L'économie de l'énergie ». Alger.

³³ CHITOUR, Ch., (1991). *L'énergie- Les enjeux de l'an 2000*. Alger : Office des Publications Universitaires OPU, p 41.

³⁴ BEGUIN, D., (Février 2006). « *Guide de l'éco-construction* » Agence Régionale de l'Environnement en Lorraine, ADEME. P23. [En ligne] <http://www.ademe.fr>. Consulté le 05.01.2018.

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 animale.



Figure 7: L'énergie solaire

L'énergie solaire est présente partout « énergie ambiante », intermittente (cycle journalier et saisonnier), propre (sans déchet, et disponible (pas de tarif, pas d'intermédiaire, pas de réseau). Cependant, elle nécessite des installations pour sa conversion en chaleur ou en électricité³⁶.

I.4.2.1.2 L'énergie éolienne :

L'énergie éolienne a été vite exploitée à l'aide de moulins à vents équipés de pales en forme de voiles, comme ceux que l'on peut voir aux Pays-Bas ou encore ceux mentionnées dans Don Quichotte. Ces moulins utilisent l'énergie



Figure 8: L'énergie éolienne.

mécanique pour actionner différents équipements.

Les moulins des pays bas actionnent directement des pompes dont le but est d'assécher ou de maintenir secs les polders du pays. Les meuniers utilisent des moulins pour faire tourner une meule à grains. Aujourd'hui, ce sont les éoliennes qui prennent la place des moulins à vent. Les éoliennes transforment l'énergie mécanique en énergie électrique.³⁷

³⁵ Amory, B., (1975). *Stratégie énergétique planétaire*. Paris : Ed Christian Bourgeois. P97

³⁶ Liebard, A., (2004). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique*. Paris : Le moniteur.

³⁷ Bell, R., (2007). *La bulle verte : La ruée vers l'or des énergies renouvelables*. Paris : Scali, P296.

I.4.2.1.3 L'énergie hydraulique

L'énergie hydraulique est également appelée "houille blanche". Elle n'est pas dépendante aux conditions météorologiques. C'est une énergie qui n'engendre aucune pollution lors de la production. La production de l'électricité avec cette technique peut être avec multiple choix. On cite les deux principaux qui sont :



Figure 9: L'énergie hydraulique.

- Les turbines hydrauliques sont utilisées dans les installations hydroélectriques pour entrainer 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 foyer.³⁸

I.4.2.1.4 L'énergie géothermique :

La chaleur interne de la terre est aussi une énergie considérée comme renouvelable et exploitable. Au centre de la terre, les roches sont en fusion, il s'agit du magma. On se sert de la vapeur ou de l'eau capturée entre les roches et chauffée par la chaleur de la terre pour produire de l'électricité et du chauffage. Cette énergie est appelée géothermique.



Figure 10: L'énergie géothermique.

La chaleur de la terre est produite par la radioactivité naturelle des roches qui constituent la croûte terrestre : c'est l'énergie nucléaire produite par la désintégration de l'uranium, du thorium et du potassium. Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie profonde ne dépend pas à des conditions atmosphériques (soleil, vent, pluie...)³⁹

³⁸ JACQUOT, J., (2001). *Energies renouvelables pour l'habitat*.

³⁹ Peeters, V., (2010). [En ligne] www.legrenelle-environnement.fr.

I.4.2.1.5 L'énergie de la biomasse :

Le terme bioénergie désigne l'énergie issue de toute matière organique renouvelable. Des produits très divers peuvent être utilisés, notamment les résidus de la foresterie, les copeaux, les cultures, les déjections animales et autres sources de déchets organiques. La



Figure 11: L'énergie de la biomasse.

bioénergie utilise plusieurs types de procédés différents. La biomasse peut être brûlée directement pour produire de la chaleur et/ou alimenter la production d'électricité. Elle peut subir un processus pour produire un carburant liquide comme le biodiesel. Comme elle peut subir un procédé de gazéification ou un procédé de digestion anaérobie pour produire des gaz qui peuvent être stockés puis utilisés pour chauffer, pour la cuisson et même pour la production d'électricité. L'énergie de la biomasse couvre un large éventail de technologies, depuis les applications primitives (par exemple, la production traditionnelle de charbon de bois et les fours à bois) jusqu'aux procédés énergétiques avancés, qu'on désigne souvent collectivement par l'expression 'La biomasse moderne'⁴⁰.

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

I.5.1 Le soleil :

Le soleil est une étoile sphérique qui est source de vie car elle nous fournit la plus grande partie d'énergie que nous utilisons. En effet, à part l'énergie géothermique et l'énergie nucléaire, toutes les énergies viennent du soleil.



Figure 12: Le soleil.

⁴⁰ Union européenne. (2012). « L'investissement dans les énergies renouvelables crée des emplois ».

I.5.2 Potentiel solaire en Algérie

L'Algérie possède un gisement solaire parmi les gisements 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 dessous indique le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie. Le volet de l'énergie solaire le plus utilisé dans notre pays est le solaire photovoltaïque mais les autres volets solaires thermiques et thermodynamiques restent toujours au stade d'expériences. ⁴¹

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie	0.04	0.1	0.86
Durée moyenne d'ensoleillement $\frac{\text{heures}}{\text{an}}$	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{an}}$	1700	1900	2650

Tableau 3: La durée d'ensoleillement par région en Algérie.

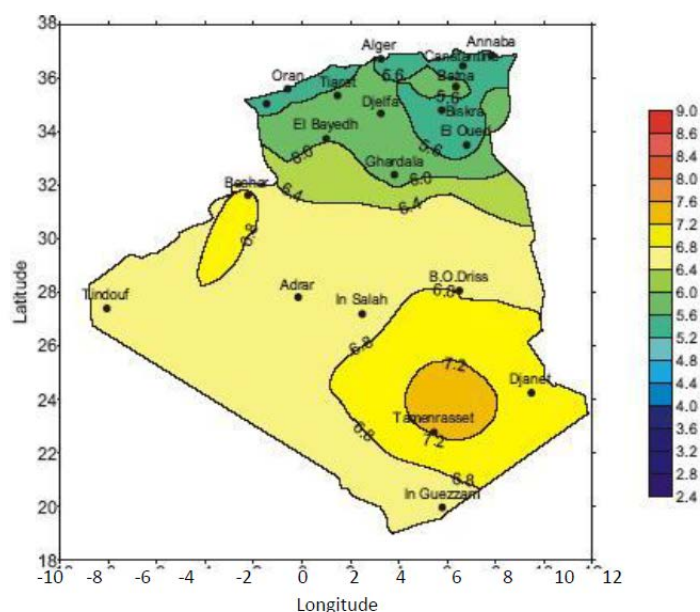


Figure 13: Irradiation solaire globale reçue sur plan incliné

Source : PIERRE HENRI 2002 «héliothermique le gisement solaire méthodes et calculs », éditions du GRE.

Imprimerie de L'UPS

⁴¹ BENTOUBA, S., (2006). «Les énergies renouvelables dans le cadre d'un développement durable en Algérie willayas du grand sud exemple » article Centre Universitaire de Béchar - Algérie, 11 et 12.

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.

II. L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

Introduction :

Notre planète reçoit une énorme quantité d'énergie solaire, cette dernière représente une géante source d'énergie, la quantité reçue par la terre est l'équivalent de 10000 fois ce que l'homme d'aujourd'hui installe. Cette énergie est connue comme une source inépuisable, saine et non polluante. Pour un bâtiment dit bioclimatique, cette source d'énergie peut offrir à ses occupants un confort adéquat et souhaitable.

Ce chapitre sera donc consacré à un développement théorique des notions et des concepts liés à la démarche solaire. L'approche écologique, la démarche bioclimatique et les dispositifs solaires dans le processus de conception architecturale seront recherchés.

II.1 Architecture écologique : Concept et définition

II.1.1 Ecologie :

Ce néologisme inventé en 1866 par Ernst Haeckel-zoologiste et embryologiste dérive du grec, il est composé à partir des deux termes : oikos (science) et logos (habitat) et se traduit littéralement par « science de l'habitat ». Il définit l'écologie comme « la totalité de la science des relation de l'organisme avec l'environnement, comprenant au sens large toutes les conditions d'existence.» En 1983 le scientifique Dajos a été un peu plus précis en reprenant la définition en ces termes, l'écologie est la science qui étudie « les conditions d'existence des êtres vivants, les interactions existant entre les êtres vivants et les interactions entre les êtres vivants et leur milieu = les écosystèmes.»⁴²

II.1.2 Empreinte écologique :

L'empreinte écologique est un indicateur synthétique destiné à évaluer la pression qu'exerce l'homme sur son environnement. Elle permet de comparer la consommation des ressources naturelles renouvelables et la capacité biologiquement productive de la nature.

L'économiste Williams E. Rees, l'un des deux concepteurs de l'empreinte écologique, propose la définition suivante : « L'empreinte écologique est la surface correspondante de terre productive de l'écosystème aquatique nécessaires à produire les ressources utilisées et à assimiler les déchets produits par une population définie, à un niveau de vie de matériel spécifié. »⁴³

II.1.3 Climat :

Les définitions du climat sont nombreuses, une définition plus large est donnée par l'encarta « l'ensemble des phénomènes météorologique qui se produisent au-dessus d'un lieu dans leur succession habituelle ».

Le climat désigne les conditions générales du temps et ce que l'on prévoit à cet égard. On peut envisager cette notion comme une condition locale ou l'appliquer à de plus vastes régions ou à la planète entière. « Le climat est le résultat de plusieurs années de tous les phénomènes atmosphériques observés dans un endroit particulier »⁴⁴ . Le climat d'un lieu dépend :

⁴²Matagne, P., (2003). « Aux origines de l'Etapos ; écologie, Innovations ». n°18, P31-32.

⁴³Ibid.

⁴⁴Abdulac , S & Pinon, P., (1973). «Maisons en pays islamiques : modèles d'architecture climatique». *L'architecture d'aujourd'hui*. Paris : Group expansion. N°167.

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

- ✓ De sa position en latitude
- ✓ De sa circulation atmosphérique générale
- ✓ Des caractéristiques de l'environnement et du site (relief, végétation, eau, ville etc.)

On peut distinguer un ensemble d'éléments et de facteurs climatiques rapportés en catégorie selon⁴⁵

- ✓ Facteurs énergétiques : rayonnement, lumière, et température
- ✓ Facteurs hydrologiques : précipitations et hygrométrie
- ✓ Facteurs mécaniques : vents et enneigements

En relation avec les concepts de l'urbanisme et l'architecture « Le climat est un des principales données de la morphologie des systèmes architecturaux et urbains »⁴⁶

II.1.4 Qu'est qu'une architecture écologique ?

« Architecture 'durable', 'écologique' ou 'environnementale' : quels que soient les termes en usage. [...] Une architecture respectueuse de l'environnement [...] vise notamment à réduire la pollution par la diminution de la consommation énergétique, la réutilisation de l'eau ou l'utilisation de matériaux 'écologiques'. Une architecture respectueuse de l'environnement naturel se présente comme une nécessité de toutes urgences pour notre nouveau siècle. Pour ce faire, les populations doivent sacrifier leurs intérêts à court terme « dans la perspective d'un profit à long terme ».⁴⁷

Une définition de l'architecture durable a finalement été formulée en Italie par l'ANAB (Association Nationale pour l'Architecture Bioécologique) :

Architecture durable : façon de bâtir selon des principes durables ayant pour objectif d'instaurer un rapport équilibré entre l'environnement et la construction.

II.2 L'approche bioclimatique :

Toute réalisation architecturale concrétise un microcosme en rapport plus ou moins étroit avec l'environnement auquel il appartient. Le but de la conception, de la rénovation et de la construction d'un bâtiment est de réaliser ce microcosme en concordance optimale avec son

⁴⁵ Akbari & al., (1992). *Cooling our communities* - a guibook on tree planting and light colored .U S : Environmental Protection Agency .Office of policy Analysis. Climate change Division. Berkeley Laboratory. P217.

⁴⁶ Toudert, A., (2000). « *Intégration dimension climatique en urbanisme* ». Mémoire de magister. Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme. Alger.

⁴⁷ Association Nationale pour l'Architecture Bioécologique. Italie

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

environnement et de donner ainsi au climat une juste place parmi les dimensions fondamentales de toute intervention de l'architecte sur l'environnement. L'architecture ainsi définie inclut le climat et la dynamique qu'il implique : c'est l'architecture bioclimatique.

L'occupant est au centre de l'architecture bioclimatique .Elle n'existe que dans l'objectif d'essayer de répondre à des exigences de confort. L'architecture bioclimatique se préoccupe donc des paramètres qui conditionnent le bien-être de l'habitant.

Le comportement des occupants commande la 'bonne marche' d'une habitation bioclimatique. Il importe que les habitations prennent conscience de l'importance de leur rôle et apprennent à vivre en symbiose avec leur environnement, au rythme des jours et des saisons.⁴⁸

II.2.1 Définition de la démarche bioclimatique :

Le terme bioclimatique fait référence à une partie de l'écologie qui étudie plus particulièrement les relations entre les êtres vivants et le climat.

En architecture⁴⁹, cette expression vise principalement l'amélioration du confort qu'un espace bâti peut induire de manière naturelle, c'est-à-dire en minimisant le recours à l'énergie non renouvelable, les effets pervers sur le milieu naturel et les coûts d'investissement et de fonctionnement. L'intérêt du bioclimatique va donc du plaisir d'habiter ou d'utiliser un espace à l'économie de la construction, ce qui en fait un élément fondamental de l'art de l'architecture. Toutes les échelles de l'architecture sont concernées, de la pièce habitable au fragment de ville, à la fois par l'amélioration à chacun des niveaux et par l'interdépendance de ces différentes échelles d'intervention. Par exemple, la réalisation des conditions de confort dans un bâtiment et l'utilisation des énergies renouvelables exigent la prise en compte de son environnement mais le modifient en retour. Il dépend donc de celui-ci et lui est nécessairement intégré. On peut donc considérer que la démarche bioclimatique consiste à sublimer une contrainte pour en faire un élément moteur de la conception. Notre propos n'est pas de tenter de prôner une telle démarche chez tous les concepteurs. Cependant, il nous semble nécessaire que ces derniers en connaissent les fondements, ne serait-ce que pour apprendre à mieux gérer les interactions entre la dimension climatique et les autres composantes du projet. Il s'agit, en quelque sorte, que le concepteur s'approprie les avancées réalisées dans ce domaine.

⁴⁸ Liebard, A., (2004). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique*. Paris : Le moniteur. P60

⁴⁹ Fernandez, P & Lavigne, P., (2009). *Concevoir des bâtiments bioclimatiques*. Paris : Le moniteur. P92

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

II.2.2 Les étapes de la démarche de conception bioclimatique :

Conception bioclimatique, c'est une technique qui relie en mieux l'être humain avec son environnement en s'appuyant sur une démarche durable ; renouvelable et respectueuse de l'environnement.

Une conception bien intégrée avec son environnement peut satisfaire à ses demandes en réduisant, optimisant ou même annulant les consommations énergétiques consacré au chauffage, à l'énergie ou pour la climatisation.

II.2.2.1 L'implantation :

Concernant les critères de choix d'un site d'implantation ; ils remontent loin dans le temps, le souci bioclimatique prenait souvent un caractère spontané. Nous pouvons citer Vitruve, dans son ouvrage les dix livres d'architecture, qui note « Quand on veut bâtir une ville, la première des choses qu'il faut faire est de choisir un lieu sain il doit être élevé qu'il ait une bonne température d'air, qu'il ne soit exposé ni aux grandes chaleurs, ni aux grands froids »⁵⁰

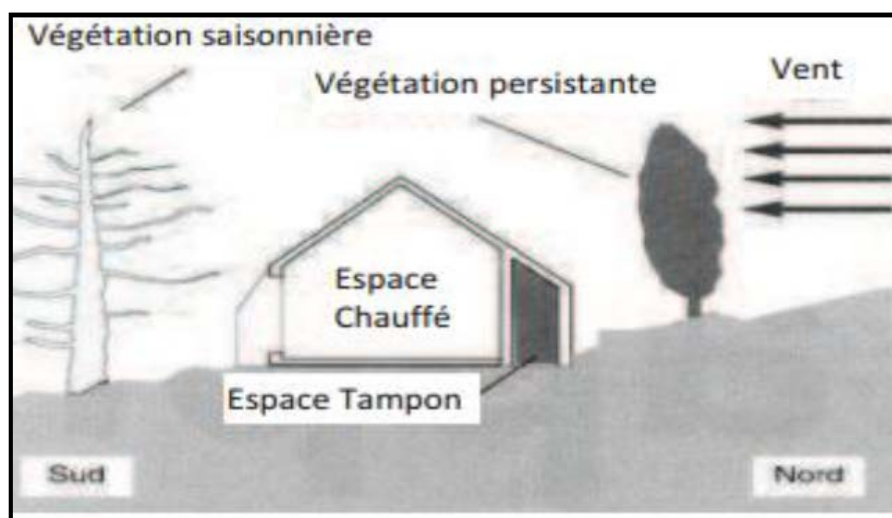


Figure 14: Exemple d'analyse de site en fonction du climat.

Une bonne implantation tient compte du relief, de l'ensoleillement, des vents locaux, elle détermine l'éclaircissement, les déperditions, les apports solaires, les possibilités d'aération⁵¹.

II.2.2.2 Compacité et orientation :

Une composition volumétrique bien réfléchi d'une habitation offre une bonne compacité cette dernière minimise les surfaces des parois en contact avec l'extérieure et même avec le sol, donc

⁵⁰ Izard, J-L., (1993). *Architectures d'été, construire pour le confort d'été*. France : Edisud.

⁵¹ Liebard, A., (2004). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique*. Paris : Le moniteur. P62

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

peu de déperdition à travers les murs et l'enveloppe de l'habitation et par conséquence consomme moins d'énergie malgré des couts d'investissement plus élevés.

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.

Les études sur la compacité des bâtiments résultent non seulement de la recherche d'économie d'énergie à long terme mais également de la limitation simultanée des investissements grâce à la diminution des surfaces des parois d'échange extérieures.

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 privilégier⁵².

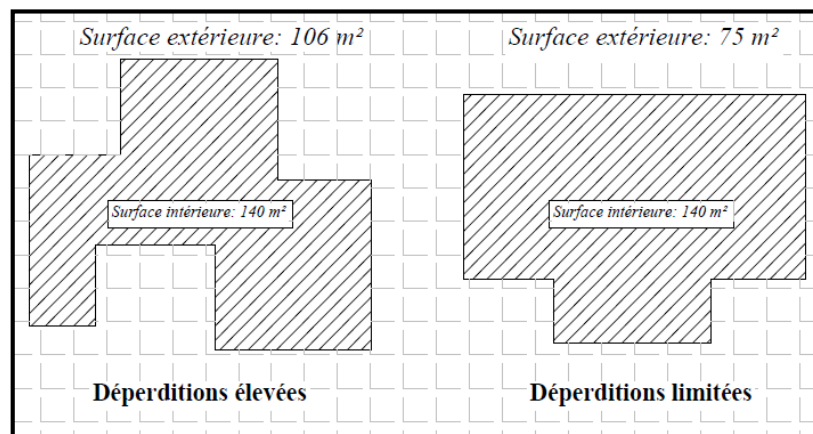


Figure 15: Impact de la forme du bâtiment sur les déperditions thermiques.

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, les déperditions possibles, l'aération et la nature du climat. En effet, l'orientation des bâtiments détecte la qualité de l'équipement en affectant son ambiance intérieure⁵³.

⁵² OLYGAY, V., (1963). «*Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism* ». U.S.A : Princeton university press. P185.

⁵³ GIVONI, B., (1978). *L'homme, l'architecture et le climat*. Paris : Le Moniteur.

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

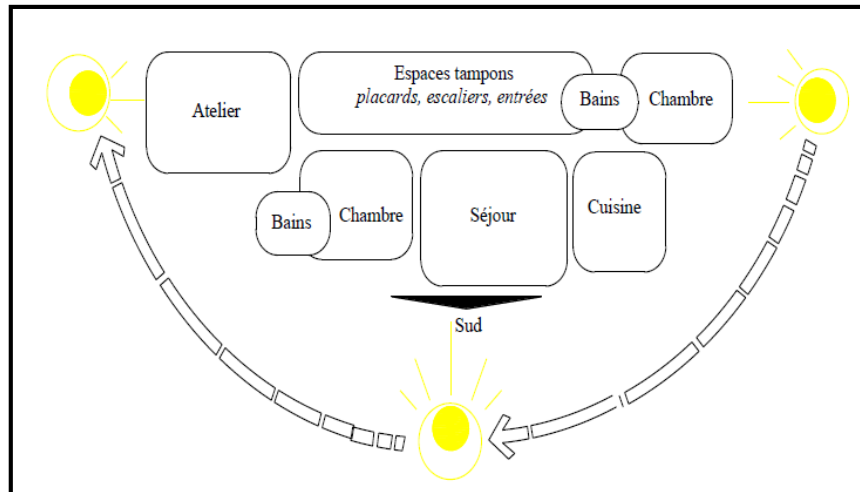


Figure 16: La répartition des pièces selon l'orientation.

Le travail de la conception doit consister à combiner au mieux les apports du soleil d'hiver et protections contre l'ensoleillement en été et en mi- saison.

II.2.2.3 Ventilation naturel :

La ventilation naturelle permet de renouveler l'air vicié par de l'air frais et sain, elle participe aussi au confort thermique du corps en lui prélevant de la chaleur, par évaporation de sueur.

Enfin, la ventilation permet le refroidissement de la masse interne des bâtiments dans certaines conditions de climat chaud. Elle permet d'évacuer la chaleur cumulée pendant la journée afin d'atténuer l'inconfort lors des périodes chaudes de l'année.

La ventilation naturelle est principalement utilisée pour le contrôle de la qualité de l'air intérieure et aussi pour fournir le confort thermique en été⁵⁴. Enfin, en paraphant A. Liebard, la ventilation naturelle est provoquée par une différence de température ou de pression entre les façades d'un bâtiment⁵⁵.

⁵⁴ Medjelekh, D., (2006). « *Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment* ». Mémoire de magister. UNIV MENTOURI de Constantine.

⁵⁵ Liebard, A., (2004). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique*. Paris : Le moniteur, P60

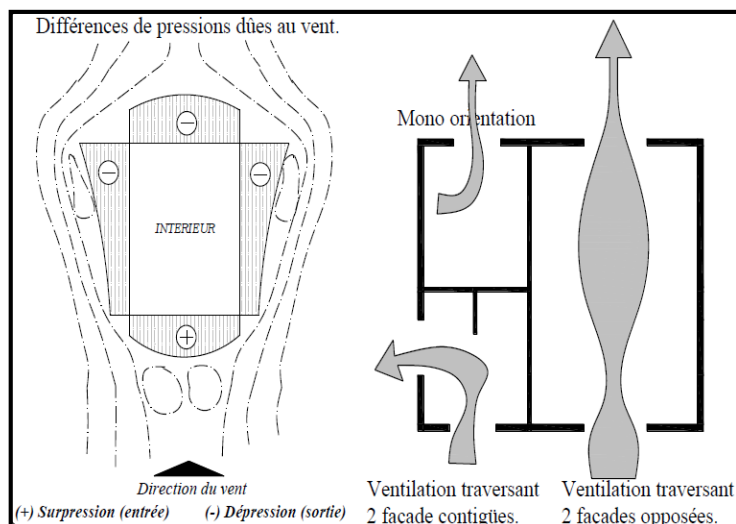


Figure 17: Les types de ventilation naturelle.

II.2.2.4 Isolation bien soignée :

Toujours l'isolation joue un rôle bénéfique, en hiver, elle minimise la déperdition de la chaleur du logement vers l'extérieur. En été, au contraire, elle rafraîchit l'habitat en limitant les pénétrations de chaleurs. L'isolation évite également les condensations et cette désagréable impression de 'mur froid' qui oblige à surchauffer les lieux pour conserver un niveau de confort suffisant. Lors de la construction ou de travaux de rénovation d'une maison, les travaux d'isolation doivent porter en priorité sur la toiture ou les combles (présenté 35% des déperditions en moyenne). Les premiers centimètres d'isolant sont toujours les plus efficaces. Les épaisseurs optimales sont en fonction du climat et de la nature de l'isolant⁵⁶.

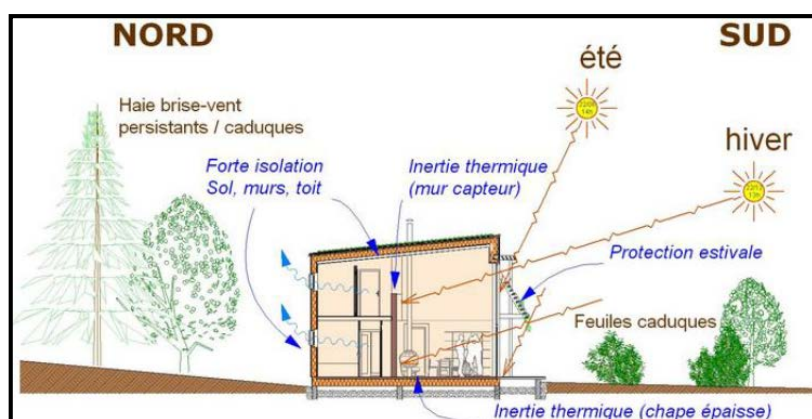


Figure 18: Schéma d'isolation d'une maison.

⁵⁶ L'Agence Méditerranéenne de l'Environnement (AME) et l'Ordre des Architectes du Languedoc-Roussillon. « Architecture et énergie renouvelables »

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

II.2.2.5 Captage du rayonnement solaire :

La pénétration des rayons solaires à travers le vitrage des ouvertures d'une habitation peut récupérer plusieurs centaines de KWh par an, donc nous pouvons profiter de ce gain de l'énergie solaire pour alimenter le besoin de la maison en chauffage, à cet effet l'architecture bioclimatique nous permet d'optimiser cette part d'apport gratuit en manipulant sur l'orientation des façades, type du vitrage et l'inertie thermique des murs.

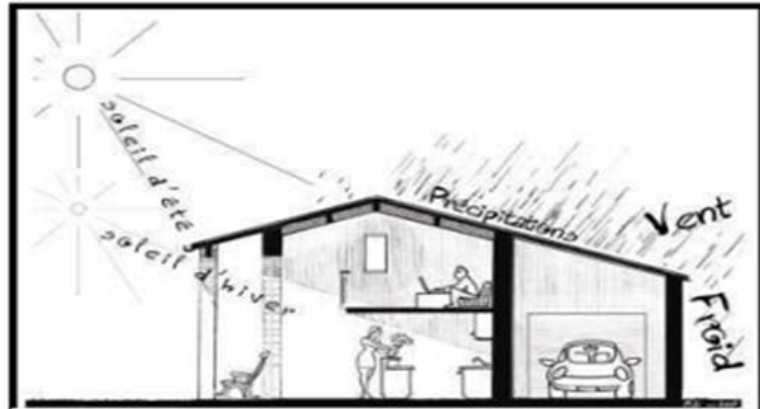


Figure 19: Principe du captage du soleil.

L'architecture bioclimatique nous offre une multitude de dispositifs pour le captage du soleil tel que les serres, vérandas, murs capteurs et murs trombe orientés plein sud ? Mais attention, pour que ces grandes baies, vérandas par exemple ne surchauffent pas la maison en été, il faut penser à protéger ces baies du soleil haut d'été.

II.2.2.6 L'éclairage efficace :

Pour la lumière, l'architecture bioclimatique favorise l'éclairage naturel, il faut cependant veiller aux risques d'éblouissement ou des risques de surchauffe et l'optimisation des apports d'éclairage naturel, réduit votre consommation électrique d'éclairage, également de ce fait il est considéré comme point essentiel de la conception bioclimatique.

II.3 L'Architecture solaire : Notions et concepts

L'architecture solaire, climatique, bioclimatique... autant de vocabulaires différents pour une même vision, procurent chacun une partie intégrante d'une économie de l'énergie renouvelable. D'autres termes insistent plutôt sur l'utilisation de l'énergie solaire, comme la maison solaire, l'architecture solaire, l'habitat solaire, l'habitat solarisé...

En se référant à la démarche traditionnelle, en général le principe essentiel de tous ces vocabulaires est de « bâtir avec le climat ou avec ses éléments comme le soleil » dans l'optique de la conservation d'énergie.⁵⁷

II.3.1 Définition de l'architecture solaire :

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.)⁵⁸

La qualité d'intégration architecturale dépend, entre autres, du contrôle et de la cohérence des systèmes solaires des points de vue fonctionnels, constructif et formel (esthétique).

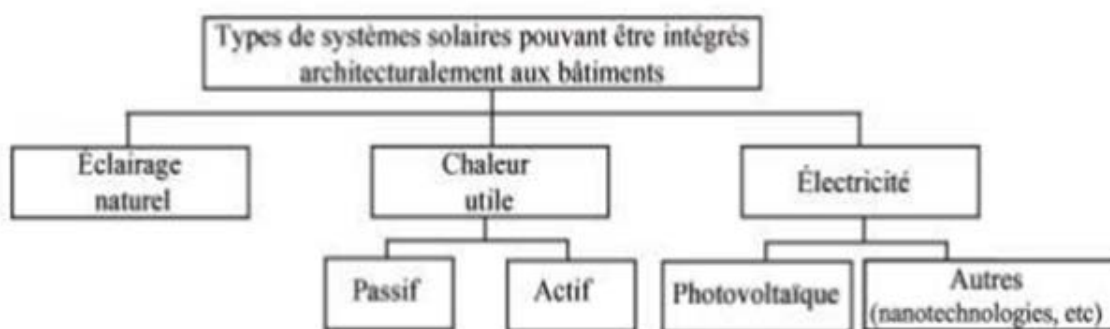


Figure 20: Types des systèmes solaires classés selon différents besoins pour le bâtiment.

⁵⁷ Emilie, B., (2013). « *Éléments de conception architecturale* ». Mémoire de magister. UNIV Québec. Canada

⁵⁸ Fernandez, P & Lavigne, P., (2009). *Concevoir des bâtiments bioclimatiques : fondements & méthodes*. Paris : Le moniteur.

II.3.2 Le principe de l'architecture solaire :

L'architecture solaire 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 solaire⁵⁹.

II.3.3 Les formes de l'énergie solaire :

II.3.3.1 La lumière naturelle

Contrairement à l'éclairage électrique, la lumière provenant naturellement du soleil ne consomme pas d'électricité et est gratuite. Elle est indissociable des gains thermiques passifs puisque l'éclairage naturel est évidemment possible que lorsque le rayonnement solaire et lumineux traverse l'enveloppe par les ouvertures. Son utilisation est donc une forme d'exploitation directe du rayonnement solaire. Alors l'éclairage naturel permet de réduire considérablement la consommation d'électricité destinée à l'éclairage.

En effet, il est maintenant reconnu que le rythme circadien, le rythme biologique régularisant notre état de veille et de sommeil, repose sur la durée, l'intensité et la distribution spectrale de la lumière en provenance du soleil et du ciel Certaines études ont même démontré que l'utilisation de la lumière naturelle dans les bâtiments augmentait, par exemple, la productivité des travailleurs.

Le potentiel solaire, et par conséquent le spectre lumineux, varie considérablement en fonction du couvert nuageux, de la localisation du site et du moment du jour et de l'année. La lumière directe est très franche, mais elle varie constamment. Elle est très concentrée lorsqu'elle est perpendiculaire à une surface, mais son intensité diminue lorsqu'elle se déplace. De plus, elle procure d'importants gains thermiques qui ne sont pas toujours souhaités. D'autre part, le rayonnement solaire, en traversant l'atmosphère et les nuages, procure au ciel une grande luminosité. Cette lumière, qu'il est possible de capter tout au long de l'année en ayant une vue sur le ciel ou par des ouvertures au nord, est plus douce et constante⁶⁰.

En architecture, l'utilisation de la lumière naturelle repose généralement sur des ouvertures fixes, alors que le soleil se déplace dans le ciel en permanence⁶¹. Plusieurs facteurs peuvent être pris en considération afin d'utiliser de manière optimale la lumière naturelle à l'intérieur des bâtiments. Ils peuvent être regroupés selon quatre catégories : la quantité des ouvertures, leur type et leur emplacement, le traitement des surfaces intérieures ainsi que le détail de

⁵⁹ Lamaisonpassive.fr – Quelques informations sur la maison passive.

⁶⁰ American Institute of Architects, 1982.

⁶¹ Ibid.

l'ouverture.

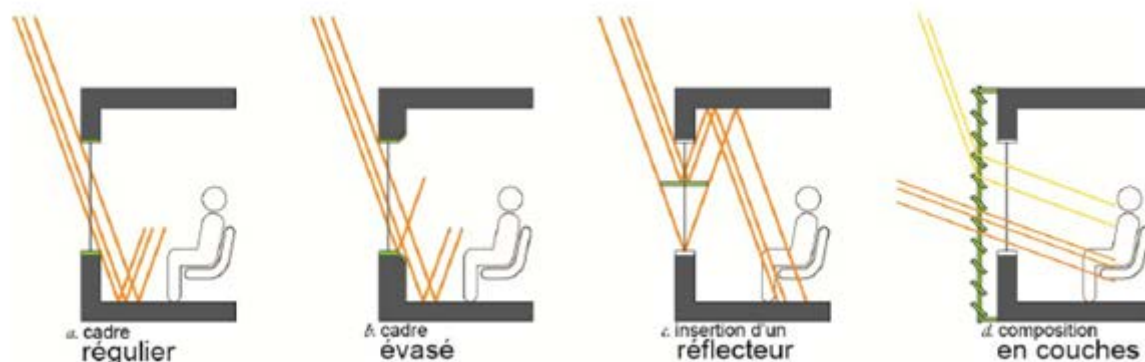


Figure 21: Schémas représentant différents compositions d'ouvertures vues en coupe.

Bien que le traitement des murs adjacents aux ouvertures soit primordial, les caractéristiques de la fenêtre ainsi que la composition du mur dans lequel elle se situe déterminent aussi la qualité de la lumière et sa distribution. La profondeur de la fenêtre, ou l'épaisseur du mur a un impact sur la perception de la limite entre intérieur et extérieur. Plus la fenêtre est profonde, plus la distinction entre l'extérieur et l'intérieur est grande. Par ailleurs, la qualité de la lumière naturelle ainsi que son intensité et sa distribution dans l'espace peut se jouer à l'intérieur de l'épaisseur de l'ouverture.

Par exemple, une ouverture évasée vers l'intérieur et de couleur claire permet d'augmenter jusqu'à 10 % la luminosité dans le coin opposé de la pièce.⁶²

II.3.3.2 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 nul⁶³.

⁶² GAGNON, Sh., (2012). « ÉNERGIE SOLAIRE ET ARCHITECTURE : Les outils numériques et leur utilisation par les architectes pour la conception solaire ». Mémoire de maitre en science. UNIV LAVAL. QUÉBEC, P 39.

⁶³ Mazria, E., (1981). *Guide de l'énergie solaire passive*. France: Parenthèses.

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

Ce type d'exploitation de l'énergie solaire ne nécessite pas de système mécanique ni de conversion d'énergie supplémentaire. Les gains solaires obtenus contribuent ainsi au chauffage des espaces⁶⁴. Bien que les gains thermiques soient recherchés en saison froide, il faut aussi que le bâtiment soit en mesure de les minimiser en saison chaude par des techniques d'ombrage (stores, rideaux, toit saillant, plantation d'arbres à des endroits stratégiques, etc.) ou par circulation d'air frais à l'intérieur des bâtiments, sans avoir recours aux systèmes mécaniques du bâtiment.

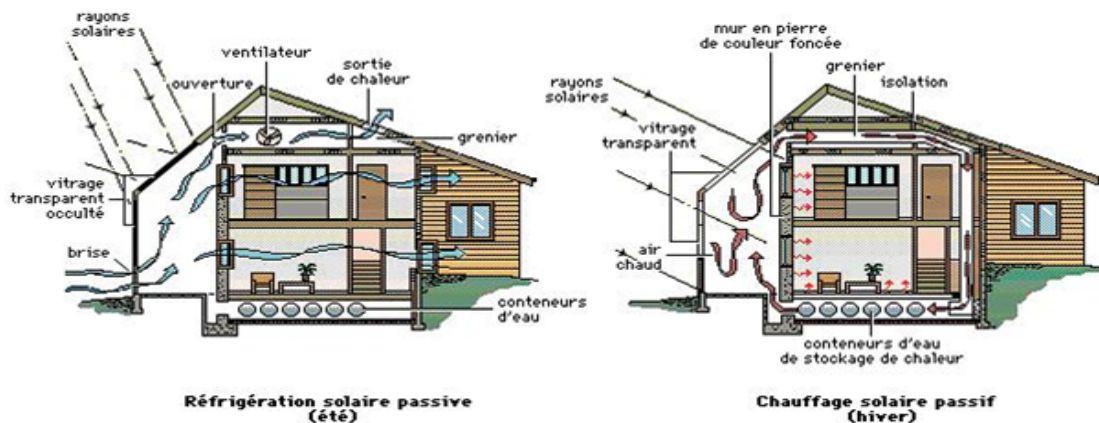


Figure 22: La Réfrigération et le chauffage solaires passifs

Les facteurs les plus importants de la conception solaire passive, en plus du choix du site et de l'implantation du bâtiment, sont son orientation, sa volumétrie, la position des ouvertures, le choix des matériaux ainsi que la composition des murs. 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.⁶⁵

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 bâtiment.⁶⁶



Figure 23: Représentation schématique des quatre principes du chauffage solaire passif.

⁶⁴ Goetzberger & Schmid, 1985; International Energy Agency, 2009

⁶⁵ GAGNON, Sh., (2012). « ÉNERGIE SOLAIRE ET ARCHITECTURE : Les outils numériques et leur utilisation par les architectes pour la conception solaire ». Mémoire de maitre en science. UNIV LAVAL. QUÉBEC, P 39.

⁶⁶ Ibid.

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

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'eau.⁶⁷

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 transmission.⁶⁸

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 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'élever.⁶⁹

⁶⁷ DILLMAN, D., (2014). « *Architecture solaire passive et réhabilitation* ». Mémoire de master. Ecole nationale supérieure d'architecture de la ville et des territoires à Marne la vallée. P10.

⁶⁸ Ibid.

⁶⁹ Ibid.

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

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 compacité.⁷⁰

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 répondre.⁷¹ 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 24: Mur trombe de la bibliothèque des sciences de l'université de Versailles.

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

II.3.3.3 Énergie solaire active :

Les systèmes solaires actifs captent le rayonnement solaire et le transforment pour l'utiliser sous une autre forme ou dans un autre endroit. On compte deux types d'utilisation de l'énergie solaire :

- le solaire thermique : des collecteurs transforment le rayonnement en chaleur.

⁷⁰ Ibid.

⁷¹ DEMERS, C & POTVIN, A., (2004). « *Le chauffage solaire passif comme stratégie bioclimatique* ». Esquisses. Ordre des Architectes du Québec.

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

- le solaire photovoltaïque : D'autres utilisent le rayonnement pour générer de l'électricité.

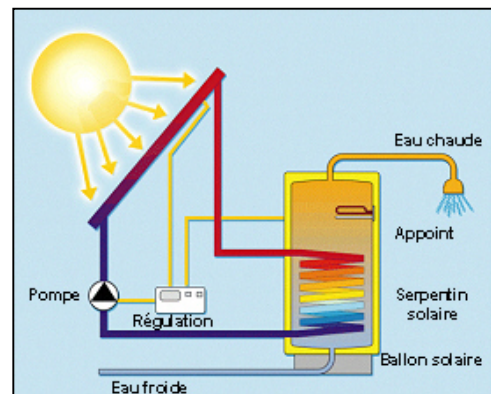
Tout comme pour l'utilisation directe, l'efficacité des systèmes actifs varie considérablement en fonction de la localisation du site ainsi que de leur orientation et inclinaison propres. L'utilisation de systèmes solaires actifs permet d'améliorer le bilan énergétique de l'édifice et ainsi réduire la dépendance aux sources d'énergie non renouvelable.⁷²

II.3.4 Les systèmes solaires actifs :

II.3.4.1 Système solaire thermique :

II.3.4.1.1 Définition du système thermique :

Un système solaire thermique exploite le rayonnement du soleil afin de le transformer directement en chaleur (énergie calorifique). Les systèmes thermiques actifs utilisent la chaleur du rayonnement solaire pour préchauffer l'air ou chauffer l'eau. L'air est utilisé pour



le chauffage des espaces intérieurs et permet ainsi de réduire la consommation énergétique des systèmes de ventilation de l'édifice. L'eau est quant à elle utilisée pour le chauffage de l'eau chaude domestique⁷³.

II.3.4.1.2 Principe de fonctionnement :

Un système solaire thermique actif est « un dispositif destiné à intercepter le rayonnement solaire en vue de sa conversion thermique et à transmettre la chaleur ainsi produite à un fluide caloporteur ».

Pour un système solaire de production d'eau chaude, le système est composé du capteur, d'un échangeur de chaleur, d'un ballon de stockage, de tuyauteries et de pompes.

⁷² GAGNON, Sh., (2012). « ÉNERGIE SOLAIRE ET ARCHITECTURE : Les outils numériques et leur utilisation par les architectes pour la conception solaire ». Mémoire de maitre en science. UNIV LAVAL. QUÉBEC, P 39.

⁷³ Guide pédagogique sur les énergies renouvelables.

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

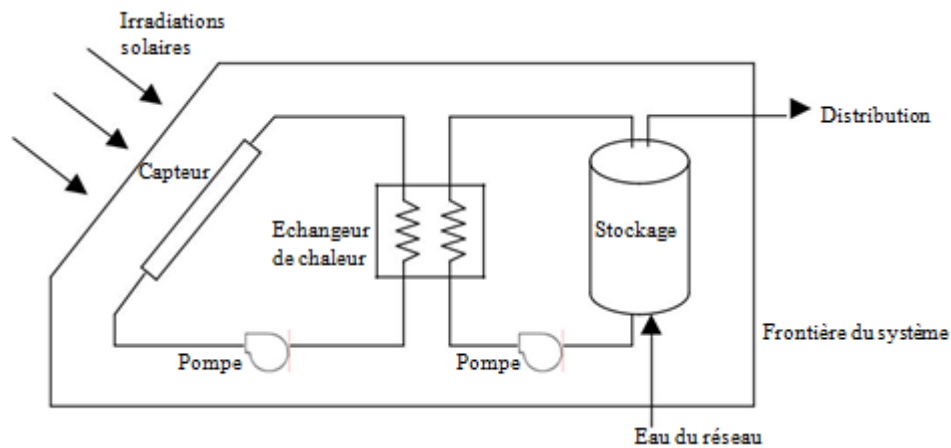


Figure 26: Schéma représentant les composants de la production d'eau chaude sanitaire.

Les composants, processus et effets qui font partie du système sont désagrégés en sous-systèmes et en interactions entre ces sous-systèmes. Les sous-systèmes sont définis par les entrées, les sorties, les caractéristiques du modèle et les contrôles. Par exemple, le ballon de stockage peut être considéré comme un sous-système défini par sa forme, sa dimension, et les débits entrants et sortants. L'interaction entre ces composants, en réponse aux variations climatiques et des besoins en énergie, déterminent la quantité d'énergie utile qui sera livrée par le système⁷⁴.

Du point de vue fonctionnel, le système solaire actif pourra être représenté de la façon suivante :

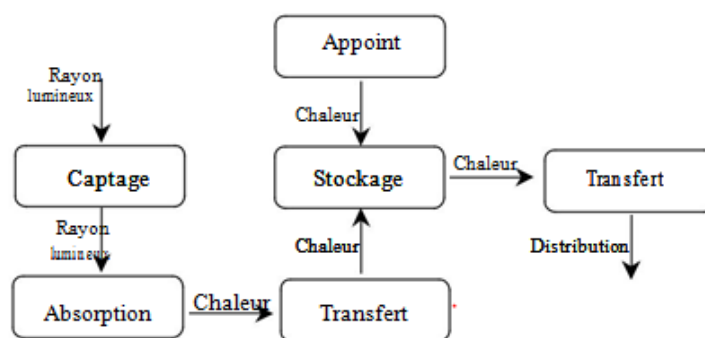


Figure 27: Schéma représentant le circuit de fonctionnement du système solaire thermique.

On distingue deux types de technologies permettant d'exploiter l'énergie solaire thermique :

⁷⁴ Talal, S., (2007). « *Intégration des composants solaires thermiques actifs dans la structure bâtie* ». Thèse de doctorat. L'Institut National des Sciences Appliquées. Lyon.

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

a- La technologie solaire thermique à basse température :

La technologie solaire «active» : traditionnellement, ce terme désigne les applications à basse et moyenne température. Les rayons du soleil, piégés par des capteurs thermiques

vitrés, transmettent leur énergie (énergie solaire) à des absorbeurs métalliques - lesquels réchauffent un réseau de tuyaux de cuivre où circule un fluide caloporteur.

Cet échangeur chauffe à son tour l'eau stockée dans un cumulus. Un chauffe-eau solaire produit de l'eau chaude sanitaire ou du chauffage généralement diffusé par un «plancher solaire direct».

b- La technologie solaire thermique haute température :

La technologie solaire concentrée ou «thermodynamique» : ce procédé fournit de la chaleur haute température (de 250 à 1 000°C) par concentration du rayonnement solaire. Ce pouvoir calorifique est utilisé pour actionner des turbines à gaz ou à vapeur afin de produire de l'électricité.⁷⁵

II.3.4.1.3 Les types de capteurs solaires thermiques :

II.3.4.1.3.1 Capteurs solaires plans :

Il existe différents types de capteurs solaires thermiques. Leur choix de mise en application dépend du type d'utilisation, de la nature de l'élément caloporteur utilisé et du niveau de température qu'ils permettent d'atteindre. On distingue généralement les **capteurs à air** et des **capteurs à eau** :

a- **Les capteurs à air** : permettent, par l'apport d'air réchauffé, d'augmenter la température de l'air ambiant interne de quelques degrés. D'un fonctionnement simple, ils sont pourtant peu employés.

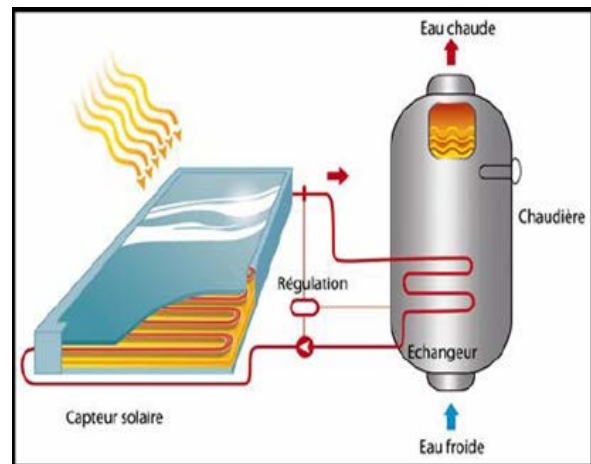


Figure 28: Schéma de la technologie solaire thermique.

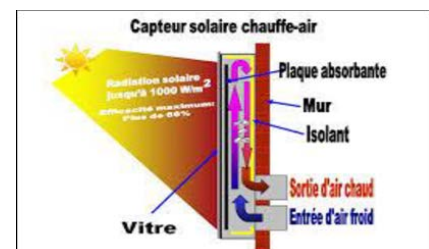


Figure 29: Schéma représentant le fonctionnement du capteur solaire à air.

⁷⁵ Guide pédagogique sur les énergies renouvelables.

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

b- Les capteurs à eau : fonctionnent à l'aide d'un fluide caloporteur. Ils se répartissent en trois familles :

- Les capteurs plans non vitrés : leur structure est assez simple, puisque composée d'un réseau de tubes plastiques noirs où circule le fluide caloporteur. Ils sont utilisés essentiellement pour le chauffage de l'eau des piscines en été.
- les capteurs plans vitrés : le fluide caloporteur, très souvent de l'eau mélangée à un antigel, passe dans un circuit en serpentin placé derrière une vitre.
- les capteurs à tubes sous vides : le fluide caloporteur circule à l'intérieur d'un double tube sous vide. Le principe est le même que pour les capteurs plans vitrés, l'isolation étant simplement assurée par l'absence de molécules d'air (sous vide).⁷⁶

II.3.4.1.3.2 Capteur solaires à concertation :

Trois technologies distinctes sont utilisées dans les centrales solaires à concentration :

a) les concentrateurs paraboliques :

Dans les concentrateurs paraboliques, les rayons du soleil convergent vers un seul point, le foyer d'une parabole.



Figure 30: Le concentrateur parabolique.
Source : GIZ/ Michael Netzhammer.

b) les centrales à tour :

Dans les centrales à tour, des centaines voire des milliers de miroirs (héliostats) suivent la course du soleil et concentrent son rayonnement sur un récepteur central placé au sommet d'une tour.



Figure 31: Le central à tour.
Source : GIZ/ Michael Netzhammer.

c) Les capteurs cylindro-paraboliques :

Les capteurs cylindro-paraboliques concentrent les rayons du soleil vers un tube caloporteur situé au foyer du capteur solaire.⁷⁷



Figure 32: Les capteurs cylindro-parabolique.
Source : GIZ/ Michael Netzhammer.

⁷⁶ Zondag, H- A & al., (2003). « The yield of different combined PV-thermal collector designs ». *Solar Energy*. Vol 74. Pp 253-269.

II.3.4.2 Système solaire photovoltaïque :

II.3.4.2.1 Définition du système photovoltaïque :

Les systèmes solaires pour produire de l'électricité peuvent être intégrés aux bâtiments en ayant recours à des systèmes actifs (mécaniques), qui convertissent l'énergie solaire en énergie électrique par l'effet photovoltaïque.

Le système photovoltaïque, soit la conversion de la lumière en électricité, a été découvert par Becquerel en 1839. Il a conduit au développement de l'énergie photovoltaïque pour des applications spatiales vers 1950 et pour des applications terrestres vers 1970 et 1980.

II.3.4.2.2 La technologie des capteurs photovoltaïques :

Les systèmes solaires photovoltaïques qui existent sur le marché se distinguent selon trois catégories, soit :




	Technologie	Rendement typique	Rendement maximum obtenu (laboratoire)
	Mono-cristallin	16-20%	28%
	Poly-cristallin	12-16%	20%
	Couche mince : Amorphe	6-7%	12.7%

Figure 33: La technologie des capteurs solaires photovoltaïques.

- 1) Les cellules en silicium cristallin,
- 2) Les cellules en silicium amorphe (première technologie à couche mince).
- 3) Les nanotechnologies, dont les systèmes à base de cellules organiques, polymères ou de fullerènes.⁷⁸

-Le panneau solaire photovoltaïque de silicium monocristallin est composé d'un seul cristal uniforme et son rendement est de 17 à 22%.

⁷⁷ Antonio, M., (2004). « *Les énergies renouvelables au Maroc* ». Maroc : CDER (Centre de Développement des Energies Renouvelables). [En ligne] : http://www.geocities.com/manuel_leandro/fr/beca_AECI.htm.

⁷⁸ BENAMRA, M., (2013). « *Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale* ». Mémoire de magister. UNIV Mohamed KHIDER. BISKRA.

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

-Celui de silicium multi cristallin est composé de plusieurs cristaux non uniformes et son rendement est de 11 à 17%.

-Celui de silicium amorphe exploite une surface composée de silicium hydrogéné ayant un rendement moyen entre 4 à 8%. et jusqu'à 13% pour une technologie amorphe de type "P-I-N".⁷⁹

Les aspects importants à retenir avec la technologie photovoltaïque sont les suivants :

- la dimension, de l'ordre de 0.2 à 2 m² (dans lequel chaque cellule photovoltaïque varie entre 10 x 10 cm à 20 x 20 cm), d'une épaisseur d'environ 0.4 à 1 cm et un poids de 9 à 18 kg/m² (données moyennes pour la technologie de silicium cristallin);
- L'apparence, variée, qui peut être opaque, translucide, avec ou sans encadrement et sous différentes couleurs, motifs et textures ;
- L'équipement, qui comprend un câblage assez restreint d'environ 0.8 à 1.5 cm de diamètre ;
- Le rendement, qui dépend de plusieurs facteurs dont la température des cellules et le type de technologie En effet, la chaleur interne à l'arrière des panneaux.

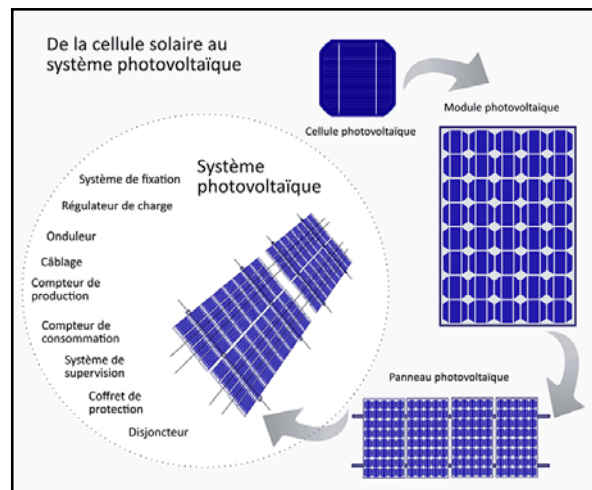


Figure 34: de la cellule solaire au système photovoltaïque.

II.3.4.2.3 L'effet photovoltaïque :

Un système photovoltaïque transforme directement le rayonnement solaire en électricité. Ce processus s'effectue à l'intérieur d'une cellule photoélectrique composée d'un matériau semi-conducteur. Ce dernier absorbe les photons du rayonnement solaire, ce qui libère des électrons qui circulent maintenant dans la matière. À ce jour, l'efficacité des cellules photovoltaïques est d'environ 20 %. Cela signifie que 20

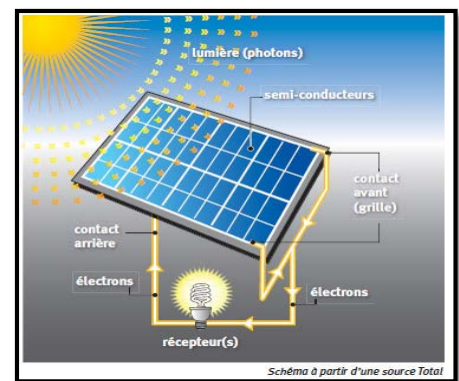


Figure 35: Schéma montrant l'effet photovoltaïque.

⁷⁹ Probst, M & al., (2012). UNI-SOLAR;

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

% de l'énergie du soleil absorbée par les cellules est transformée en électricité et 80 % en chaleur qui est dégagée par le système.⁸⁰

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou recouverts d'une mince couche métallique. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. C'est l'effet photovoltaïque.

II.3.4.2.4 Le principe de fonctionnement :

Une installation photovoltaïque est un système de production d'énergie électrique fonctionnant grâce à la lumière naturelle. Le principe physique mis en jeu, l'effet photovoltaïque, repose sur la capacité de certains matériaux à transformer l'énergie lumineuse en énergie électrique. Au sein du système, cette fonction est assurée par les modules ou panneaux photovoltaïques qui, d'un point de vue électrique, sont des générateurs de courant continu. Un ou plusieurs onduleurs, placés en sortie des modules, vont convertir ce courant continu en courant alternatif synchronisé sur la tension du réseau public. Ainsi l'électricité issue de l'installation photovoltaïque pourra être utilisée directement pour n'importe quelle application. Divers composants électriques classiques vont compléter le système qui sera ainsi conforme aux normes électriques et pourra être raccordé au réseau électrique par l'intermédiaire d'un branchement, comprenant entre autres un compteur de l'énergie produite. Un module photovoltaïque est caractérisé par son rendement surfacique exprimé en %, qui est le rapport entre l'énergie lumineuse reçue et l'énergie électrique délivrée. Celui-ci est de l'ordre de 14 % pour la technologie au silicium cristallin la plus largement répandue sur le marché.⁸¹

⁸⁰ GAGNON, Sh., (2012). « ÉNERGIE SOLAIRE ET ARCHITECTURE : Les outils numériques et leur utilisation par les architectes pour la conception solaire ». Mémoire de maître en science. UNIV LAVAL. QUÉBEC, P 39.

⁸¹ L'union sociale pour l'habitat. (2013). « Guide Intégration du photovoltaïque dans une opération de logement social ». P9.

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

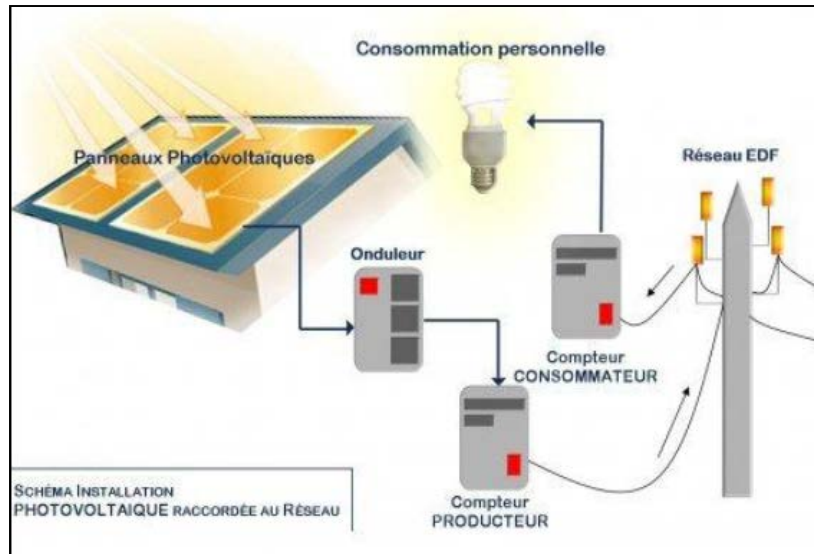


Figure 36: Schéma d'installation photovoltaïque raccordé au réseau.

Source : www.AdvanceBuilding.org

II.3.5 La conception de l'architecture solaire :

II.3.5.1 La Conception d'un projet architectural solaire:



Figure 37: La façade est dotée de volets coulissants motorisés en panneaux photovoltaïques.

Source: Eurosic2011.

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 intuitives⁸², 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

⁸² Houpert, S., (2003). « Approche inverse pour la résolution de contraintes solaires et individuelles dans le projet architectural et urbain ». Thèse de doctorat. École d'architecture de Nantes.

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

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 phénomènes.⁸³

II.3.5.2 Types de conception des panneaux solaires:

Le concept de l'architecture bioclimatique, ou la conception passive n'est pas l'objet de notre recherche, mais il est préférable de noter que n'en peut pas arriver à concrétiser une bonne intégration des éléments actifs, et calculer leur performance pour le bilan énergétique dans le bâtiment, sans passer par une architecture purement bioclimatique en utilisant tous ses éléments passifs connus. Alors, des modules solaires sont déployés principalement dans et sur des bâtiments. Pour cette raison, des modules solaires devraient être considérés non seulement en tant que composants techniques pour produire de l'électricité, mais comme matériaux de construction souple qui s'harmonise avec le bâtiment et, tout en se conformant aux règlements, peut être intégré dans son enveloppe. Si l'architecture dite solaire a été en majorité en réelle symbiose avec la mouvante géométrie du système solaire⁸⁴ et avec les lois de la chaleur sensible, elle n'en pas moins soulevé des problèmes inhérents à l'intégration des techniques solaire et leur rapport au concept global qu'est l'architecture.

Une grande variété de modules standards et spéciaux est préfabriquée, avec les modules standards, les concepteurs peuvent choisir entre de divers types de cellules, tailles et structures, d'armature, selon l'application, il y a également une gamme étendue des modules spéciaux. En distingue actuellement de grandes familles de conception des panneaux solaires aux cadres bâtis :

Les réalisations surimposition sur des ouvrages existant, ou on les appels solutions additifs : des capteurs solaires sont fixés au toit ou sur la façade en utilisant une structure en métal. En conséquence, le système solaire sera un élément structural technique additionnel au bâtiment avec la fonction unique de

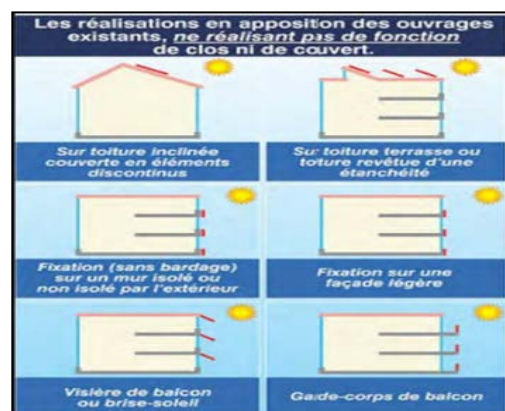


Figure 38: Les réalisations en opposition des ouvrages existants. Source : Ademe.

⁸³ Mazria, E., (1981). *Guide de l'énergie solaire passive*. France : Parenthèses.

⁸⁴ Mazouz, S., (2004). *Éléments de conception Architecturale*. Alger : OPU.

développer la puissance.

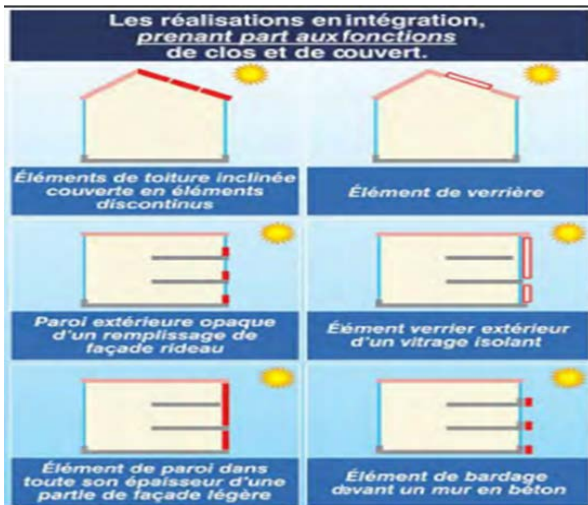


Figure 39: Les réalisations en intégration des nouveaux ouvrages. Source : Ademe.

Les réalisations en intégration, ou solutions intégratrices : des composants de construction du toit ou de la façade sont remplacés par les composants solaire - ceci est également connu en tant que le solaire intégré au bâtiment-. Le système solaire devient une partie de l'enveloppe du bâtiment et, en plus de la fonction de développer la puissance, remplit des fonctions telles que la protection contre les intempéries, l'isolation thermique, l'isolation de bruit (phonique), l'ombrage du soleil et la sécurité.

II.3.5.3 Démarche d'intégration:

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

- Minimiser l'impact visuel des capteurs dans leur environnement proche et lointain.
- Adapter la forme, la proportion et la position du chaps de capteur à la physionomie 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 recherché⁸⁵.

⁸⁵ BENAMRA, M., (2013). « *Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale* ». Mémoire de magister. UNIV Mohamed KHIDER. BISKRA.

II.3.5.4 Intégration des capteurs solaire dans le bâtiment :

L'harmonie architecturale est un élément important de la réussite de l'intégration des éléments solaires dans la construction. Le problème d'intégration du système solaire dans la construction repose surtout sur l'intégration des capteurs dans le bâtiment car ce composant du système est le plus visible et indique aux observateurs que le bâtiment est solarisé.

La tendance actuelle d'intégration des capteurs solaires ainsi que d'autres éléments du système solaire tend à les inclure dès la phase de conception des bâtiments. Ces éléments doivent donc être considérés comme des composants du bâtiment au même titre qu'un mur ou une toiture. À ce titre, l'architecte ou le concepteur se doit de l'intégrer dans l'ordonnancement d'une façade, d'une toiture ou d'un volume, en veillant conserver ses spécificités formelles et fonctionnelles : éléments vitrés de quelques mètres carrés, de couleur noire, orientés au sud dans une zone dégagée de toute ombre.

II.3.5.4.1 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.
- * Pente forte optimise les gains énergétiques durant toute l'année. Solution idéale pour le chauffage.
- * Capteurs en couverture de porche ou véranda. Une intégration naturelle dans le volume d'un élément architectural.



Figure 40: Intégration des capteurs en toiture inclinée.

Afin de réussir une intégration, on veille à respecter quelques bases :

- Aligner le champ de capteurs avec les éléments constitutifs du bâtiment (baies vitrées, arches, etc..).
- Privilégier une incorporation des capteurs dans la toiture.
- Intégrer soigneusement les passages des câbles ou tuyauteries.

Pour une construction neuve, si on a besoin de grandes surfaces de capteurs pour chauffage, eau chaude collective ou photovoltaïque, il est possible d'adapter le plus possible la taille du champ de capteurs pour couvrir l'intégralité d'un plan de toiture. Si la surface de la toiture

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

dépasse celle des capteurs, on pourrait compléter la différence restante par l'ajout d'un bac en acier, d'un complexe d'étanchéité, d'un vitrage sans absorbeur, dans l'objectif d'éviter un contraste trop marqué entre une grande surface vitrée foncée et une petite surface de tuiles.

Pour une construction existante, on suggère de ne pas surélever le capteur par rapport à la pente de la toiture, ou sur la terrasse, mais essayer de trouver une alternative (intégration en façade, au sol, etc) sur le corps d'un bâtiment pour minimiser l'impact visuel. ⁸⁶

II.3.5.4.2 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 41: Intégration des capteurs en 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 délicate

Avec ce type de toiture il est nécessaire de poser des structures dont la stabilité est assurée par leur propre poids. Ces structures sont en général fixes mais adaptées à l'angle de captage optimum. Une structure secondaire légère est composée de profilés rigides qui permettent d'adapter l'angle de captage au moment du montage⁸⁷.

⁸⁶ BENAMRA, M., (2013). « *Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale* ». Mémoire de magister. UNIV Mohamed KHIDER. BISKRA.

⁸⁷ RECAUT, A., (2011). « *Système photovoltaïque* ». Ecole polytechnique Savoie. P152

II.3.5.4.3 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 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 hiver.



Figure 42: Intégrations des capteurs en façade.

Les bâtiments à façades en verre, sont réfléchissants vus de l'extérieur et légèrement opaques vus de l'intérieur. Il est donc intéressant de réaliser, pour un tel bâtiment, une façade de capteurs qui laisserait passer suffisamment de lumière et fournirait l'énergie nécessaire à l'électricité, à l'eau chaude sanitaire, au chauffage et à la climatisation des locaux.⁸⁸

Ce genre de façade à capteurs solaires utilise les mêmes systèmes de fixation que les façades plaquées conventionnelles. Le plus souvent des rails verticaux sont fixés au gros œuvre, à une certaine distance pour tenir compte de l'isolation thermique et de la ventilation. Les brides de fixation doivent permettre un alignement très précis des rails et les déplacements longitudinaux dus à la dilatation. Les éléments de fixation des panneaux solaires sur les rails doivent également assurer un bon alignement et un léger jeu vertical. En outre, le montage, le câblage et le remplacement éventuel d'un seul module doivent être possibles.⁸⁹

En façade, on profite des décrochements pour que les capteurs prennent place naturellement, les allèges, gardes corps ou véranda, nous offrant ainsi plus d'alternatives d'intégration. Le capteur impose sa présence comme élément structurant de la façade et devient une partie de l'architecture.

⁸⁸ Talal, S., (2007). « *Intégration des composants solaires thermiques actifs dans la structure bâtie* ». Thèse de doctorat. L'Institut National des Sciences Appliquées. Lyon.

⁸⁹ RECAUT, A., (2011). « *Système photovoltaïque* ». Ecole polytechnique Savoie. P152.

II.3.5.4.4 Les capteurs sur paroi verticale

a- Capteurs en allèges, 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 locaux.⁹⁰



Figure 43: Les capteurs solaires en garde-corps et en allège.



Figure 44: Les capteurs solaires en brise soleil

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 architectural.⁹¹



Figure 45: Les capteurs solaires en décrochement de façade.

⁹⁰ BENAMRA, M., (2013). « *Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale* ». Mémoire de magister. UNIV Mohamed KHIDER. BISKRA.

⁹¹ Ibid.

II.3.5.4.5 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



Figure 46: Les capteurs solaires comme élément de

stockage, et porter une attention toute particulière aux raccords et à l'isolation, ce 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, ...).⁹²

II.3.5.5 Conditions d'efficacité énergétique :

II.3.5.5.1 Besoin en capteurs :

Pour le solaire thermique :

- Pour l'eau chaude sanitaire on aura besoin de 2 à 8 m² par habitation, lui assurant entre 60 à 80 de ses besoins.
- Pour l'eau chaude sanitaire et le chauffage, 10 à 20m² de capteurs peuvent couvrir 25 à 50 des besoins domestiques de chauffage, en utilisant un plancher chauffant ou des radiateurs à basse températures. Ce sont les systèmes solaires combinés (SSC).

⁹² Talal, S., (2007). « *Intégration des composants solaires thermiques actifs dans la structure bâtie* ». Thèse de doctorat. L'Institut National des Sciences Appliquées. Lyon.

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

Pour le solaire photovoltaïque :

- Si on est raccordé au réseau : on injecte sur le réseau de distribution via onduleur, la totalité ou le surplus de la production photovoltaïque. Une surface de capteurs comprise entre 25 et 30m² fournit jusqu'à 3000 WC.
- En site isolé : pour les bâtiments non raccordé au réseau, la production d'électricité est stockée dans les batteries garantissant localement les besoins de l'occupant.
- Donc de 8 à 10 m² de capteurs en conditions optimales d'orientation et inclinaison, fournit jusqu'à 1200kWh/an. Une famille de quatre personnes consomme entre 2000 et 3000 kWh d'électricité spécifique (hors chauffage et eau chaude sanitaire). Donc cette surface pourra leur couvrir entre 40 à 60% de leur consommation.⁹³

II.3.5.5.2 Influence de l'orientation, de l'inclinaison sur la quantité d'énergie captée :

L'orientation sud et une inclinaison de 30 à 45° environ par rapport à l'horizontale assurent les meilleurs rendements pour une installation solaire à nos latitudes. Mais même avec des écarts importants (orientation sud-ouest à sud-est, inclinaison de 25 à 70°), une installation solaire reste rentable. Une inclinaison plus faible est conseillée si les capteurs ne peuvent pas être orientés vers le sud. Des capteurs solaires inclinés à 30° et orientés à 45° sud-ouest présentent encore 95% de la puissance optimale. Et même en cas d'orientation est ou ouest, il est possible d'espérer encore 85 % si le toit est incliné de 25 à 40°. Une inclinaison plus forte du capteur offre l'avantage d'une fourniture d'énergie lissée sur l'année.

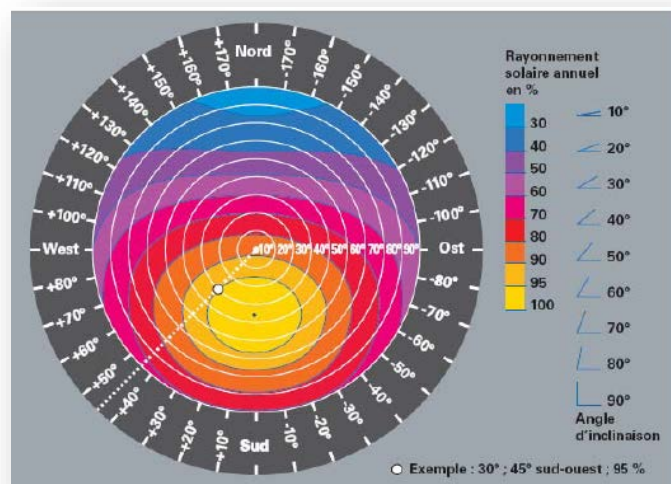


Figure 47: Influence de l'orientation et de l'inclinaison sur le rendement.

⁹³ BENAMRA, M., (2013). « *Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale* ». Mémoire de magister. UNIV Mohamed KHIDER. BISKRA.

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

Une inclinaison inférieure à 20° est à déconseiller pour éviter tout encrassement excessif des capteurs. ⁹⁴

II.3.5.3 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...

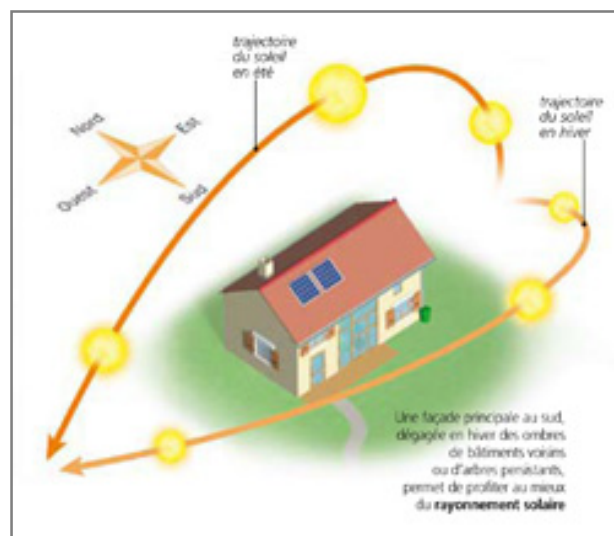


Figure 48: Influence du masque solaire.

II.3.5.4 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.

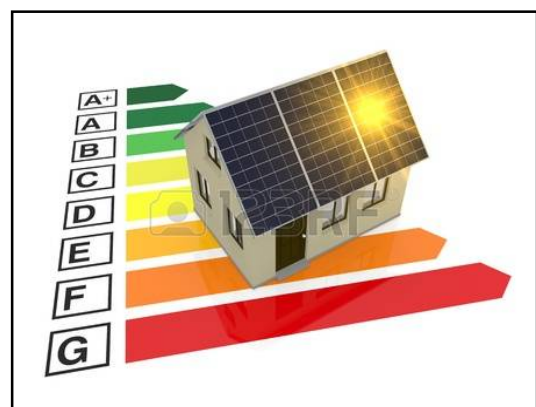


Figure 49: le rendement des capteurs solaires en référence de l'échelle de performance énergétique.

⁹⁴ MUCK, D., « capteurs solaire thermiques », COGESOL.

II.3.6 Exemples d'architecture solaire intégrant des systèmes solaires passifs et actifs :⁹⁵

Habitation Imagine Rommen, Norvège :

Un projet dont la volumétrie est conceptualisée afin d'intégrer un système solaire actif pour produire de l'électricité, utilisant la composition formelle pour exploiter l'énergie solaire efficacement sur une grande surface de l'enveloppe.



Figure 50: Habitation Imagine Rommen, Norvège.

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

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.

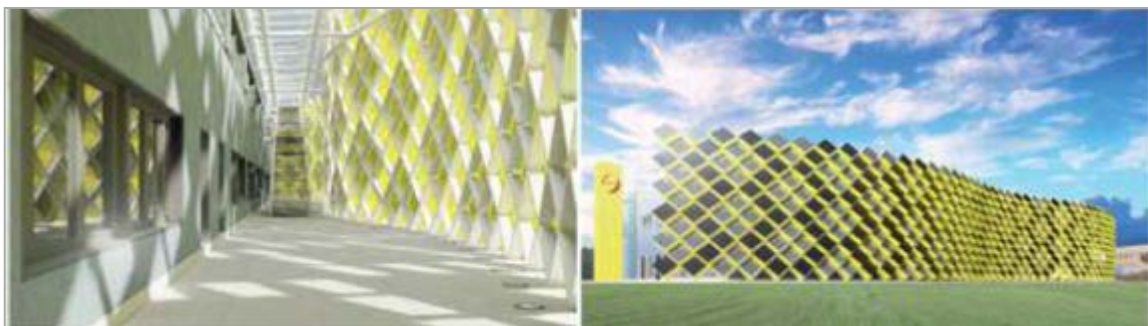


Figure 51: Laboratoires d'énergie Xelios, Italie (Studio Marco Acerbis).

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

⁹⁵Emilie, B., « conception de bâtiments solaires : méthodes et outils des architectes dans les phases initiales de conception ». Mémoire de magister. Québec. Canada.

Chapitre 02 : L'architecture solaire: Pour une architecture consciente à l'énergie

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 52: Siège social Tobias Grau, Allemagne.

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

Conclusion :

À travers ce chapitre on peut conclure qu'il est nécessaire d'intégrer les panneaux solaires en amont dans la phase conception. Plusieurs solutions peuvent être envisagées avec différents dispositifs. Ainsi que 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.

III. Simulation et 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, et déterminer ainsi les besoins en énergie pour le chauffage voire la climatisation.

III.1 La simulation numérique :

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 ou, par abrég., 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.

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 optimale.

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.
- 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 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**

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.

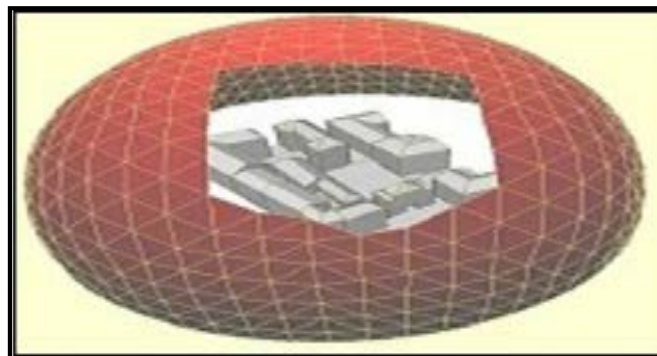


Figure 53 : logiciel de calcul d'ombrage

Source : <http://www.cerma.archi.fr>

III.1.3.4 Eclairage naturel / artificiel

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

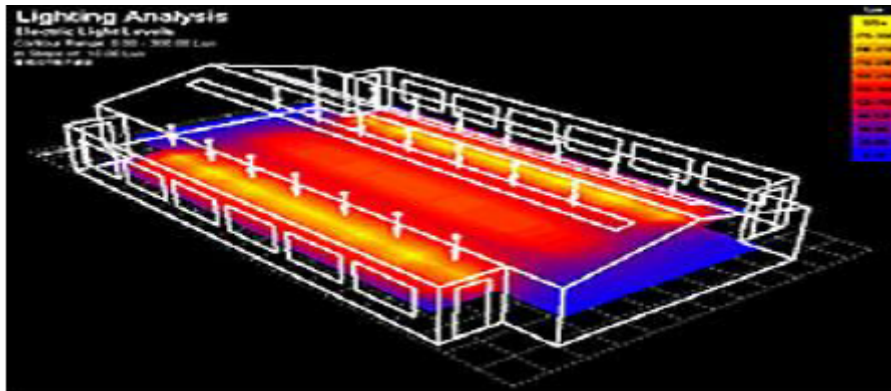


Figure 54: Logiciel ECOTECT de simulation d'éclairage naturel.

(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 (panneaux solaires) dans notre projet proposé.

III.2.1 Simulation à l'aide du logiciel TRNSYS version 16 :

III.2.1.1 Aperçus sur le logiciel :

TRNSYS (TRANSIENT SYSTEM SIMULATION PROGRAM : programme de simulation de systèmes transitoires), est un logiciel développé par le laboratoire « solar energy » de l'université de WISCONSIN Madison. C'est un outil de simulation en régime dynamique multi zones, structuré de manière modulaire, ce qui assure au programme une grande flexibilité et facilité par l'insertion des sous-programmes. La version 16 est développée en fortran.

Ce logiciel informatique, se caractérise par ses trois fonctions qui se résument comme suit :

- **Les entrées (inputs):** Elles concernent toutes les informations à introduire et à stocker selon l'ergonomie du logiciel dans des bibliothèques que le concepteur peut utiliser. Ces entrées englobent l'environnement physique (climat, site), le bâtiment

Chapitre 03 : Simulation et recherche méthodologique

(l'enveloppe), les apports internes (occupants...) et les équipements « ventilation, chauffage, climatisation...)

- **Le traitement des données :** se fait en fonction d'un modèle de représentation du bâtiment et la demande de l'utilisateur.
- **Les sorties (outputs):** sont les ensembles des résultats qui peuvent être fournis par le logiciel à l'issue d'une exécution.

Bien que l'application initiale de TRNSYS fût orientée vers les systèmes énergétiques solaires, le logiciel intègre aujourd'hui des types liés aux autres énergies renouvelables et aux calculs énergétiques des bâtiments.

TRNSYS utilise un grand nombre de modules représentant les composants de systèmes courants mais également de sous programmes et de gestion de base de données thermiques. Ce logiciel multi zones permet de valider plusieurs options architecturales.

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

- Type 9 : Lecteur de données standard.
- Type 54 : Générateur des données météorologiques.
- Type 33 : Lecture à partir du diagramme psychrométrique.
- Type 16 : Processeur ou générateur d'ensoleillement.
- Type 56 : Bâtiment multi zones (simuler le comportement thermique du bâtiment).
- Type 34 : Introduction et simulation des caractéristiques de la fenêtre; dimensions, type de protections, position de la protection avec détail.
- Type 25 : Impression des données.
- Type 65 : 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.2.1.2 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.

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.2.1.3 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.

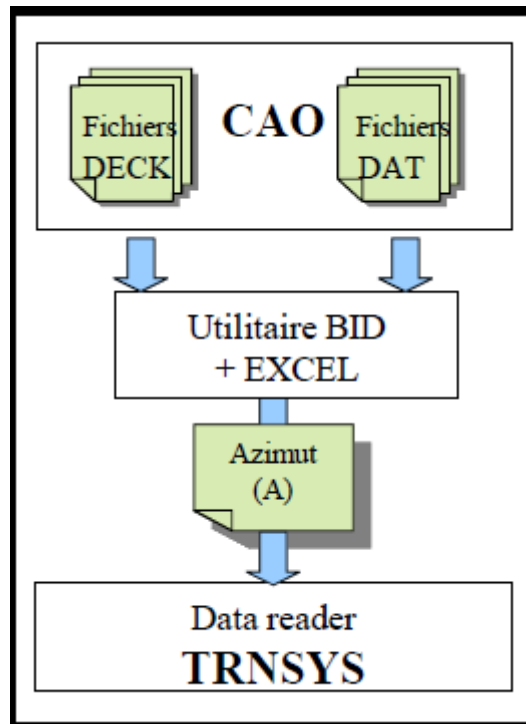


Figure 55: Schéma de déroulement de la simulation.

III.2.1.4 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 aux utilisateurs de modifier ou d'ajouter des composants qui ne figurent pas dans la bibliothèque d'origine.
- Documentation vaste de sous programmes y compris explication, usages usuels et équations de base.
- Définition très souple de la période de simulation : choix de pas de temps, du début et de la fin de la simulation.

III.2.1.5 Inconvénients 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.

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 :

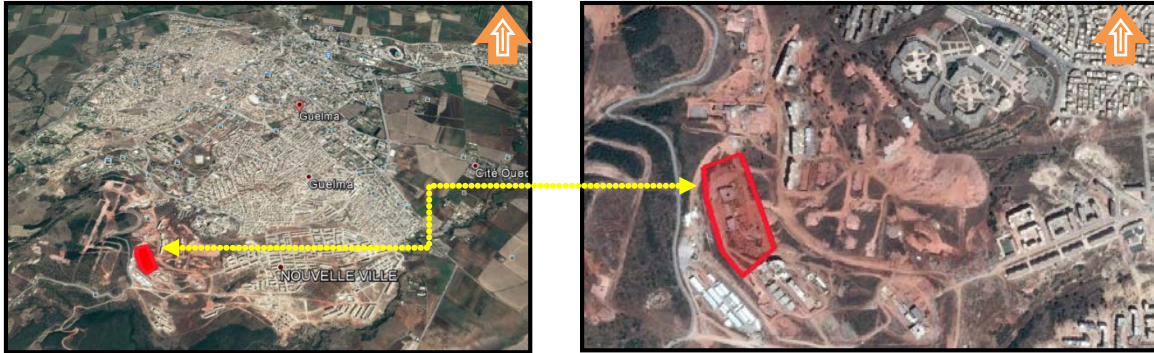


Figure 56: Plan de situation. Source: Google Earth réadapté par l'auteur.

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 :

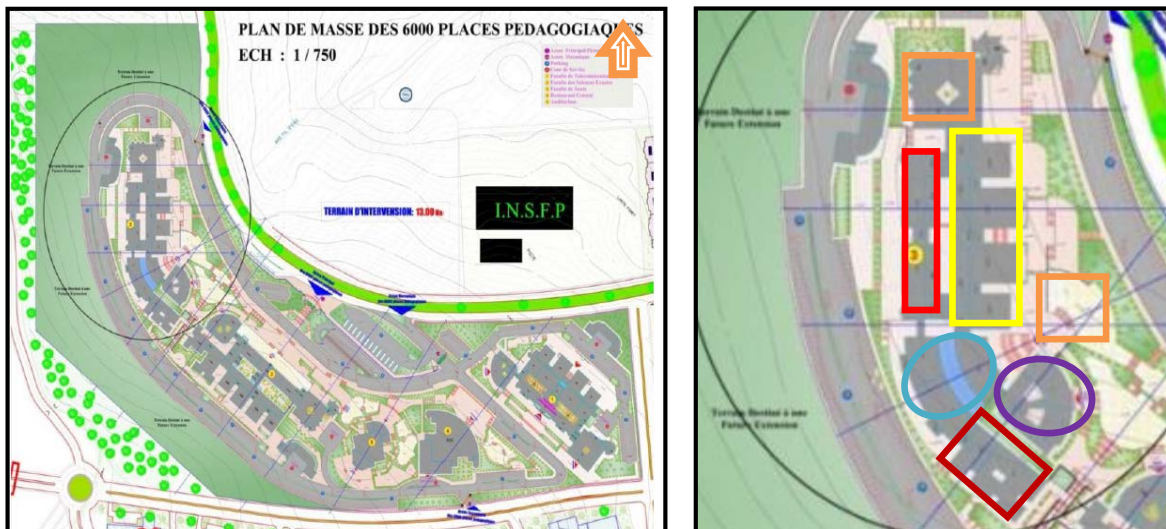


Figure 57: Plan de masse. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M réadapté par l'auteur.

Chapitre 03 : Simulation et recherche méthodologique

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

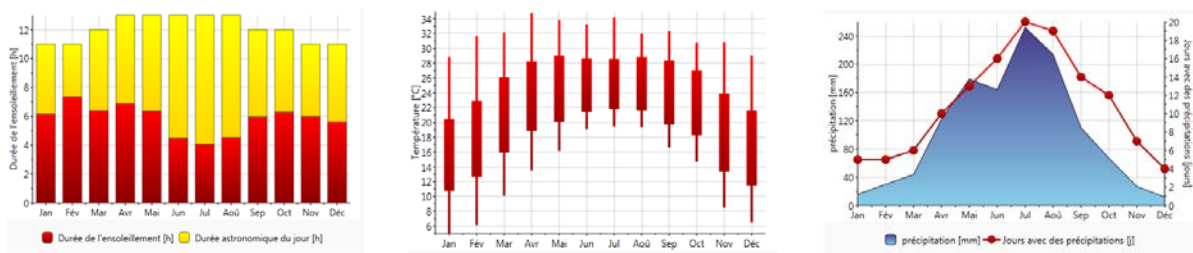


Figure 58: Donnée climatique de Guelma. A-Ensoleillement ; B- Température ; C-Précipitations.

Deuxième étape : la description architecturale du bâtiment

Plans pour définir :

- la situation des salles de classe simulées : (RDC/ 1^{er} étage / 2^{ème} étage)
- la surface des salles de classe.
- l'épaisseur des murs d'enveloppe.

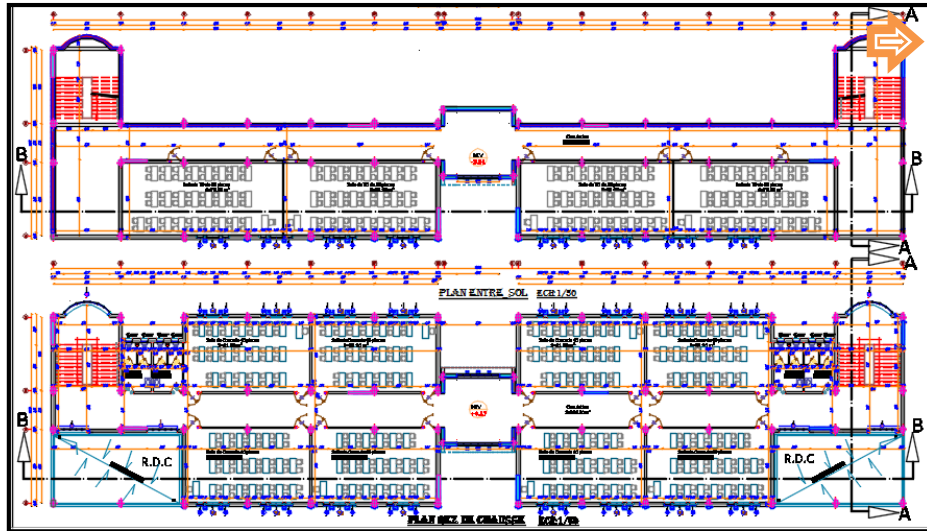


Figure 59: Plan R.D.C. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M.

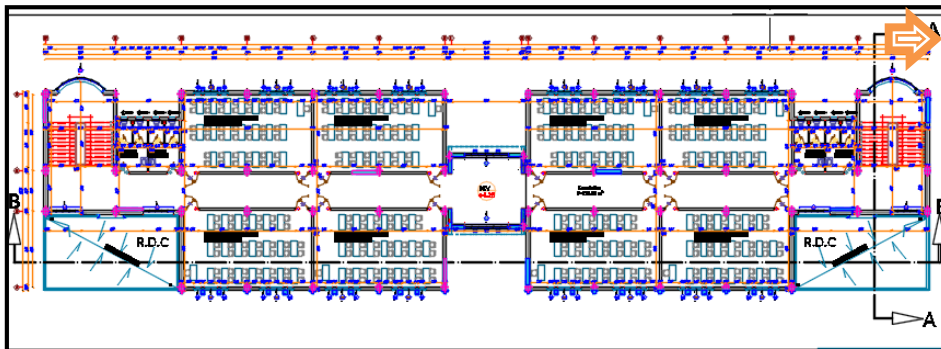


Figure 60: Plan 1er étage. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M.

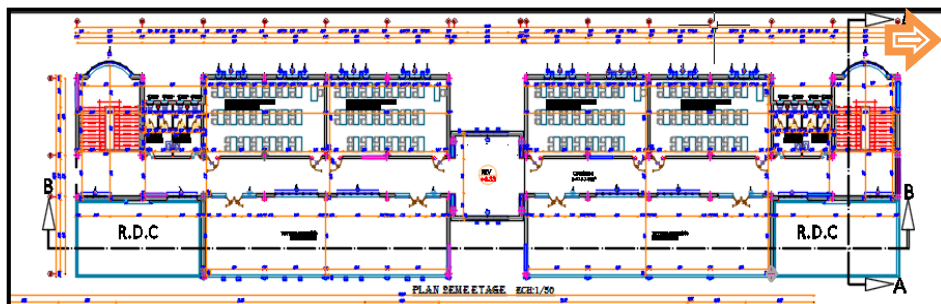


Figure 61: Plan 2ème étage. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M.

Chapitre 03 : Simulation et recherche méthodologique

Façade : pour définir : le nombre et les dimensions des ouvertures.

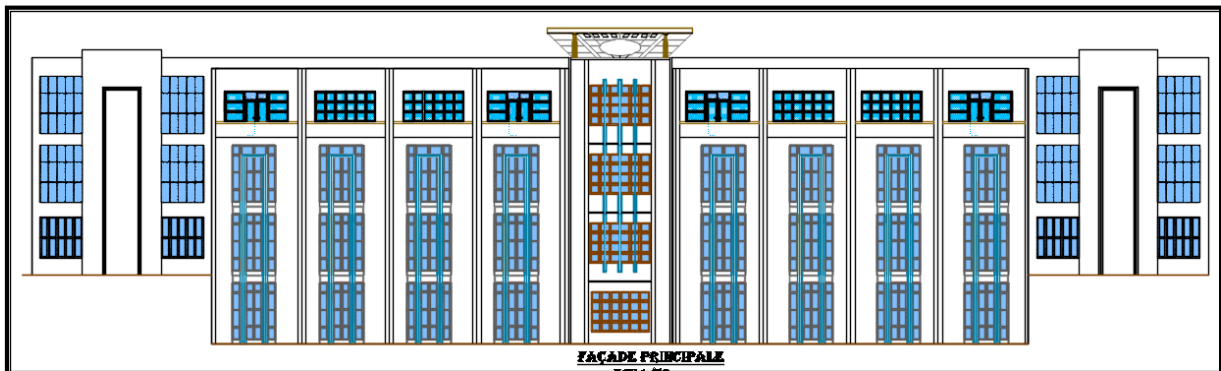


Figure 62: La façade principale. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M.

Plan de masse pour définir : l'orientation de bloc et des salles de classe simulées.

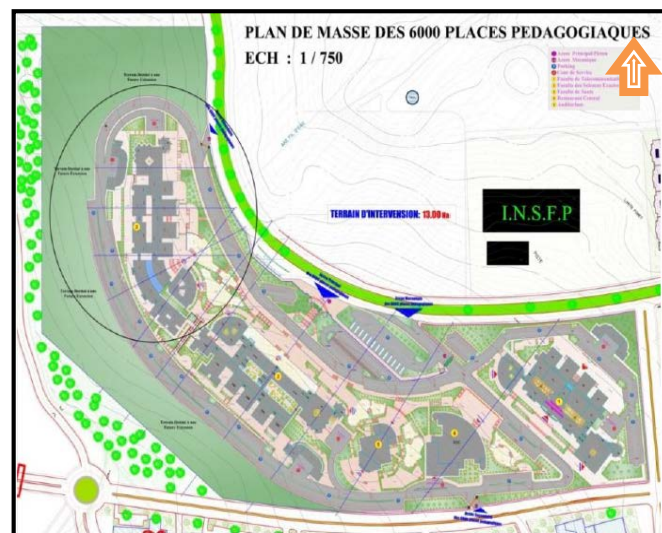


Figure 63: Plan de masse. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M.

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 ;

Chapitre 03 : Simulation et recherche méthodologique

- 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) :

- 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).

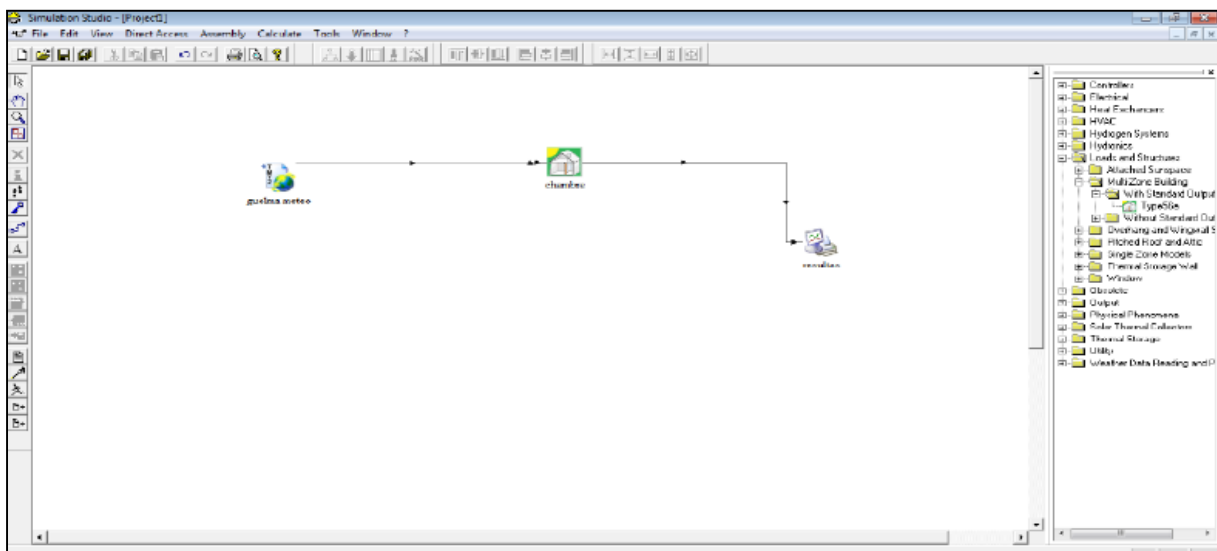


Figure 64: Interface de simulation. Source: TRNSYS.

Chapitre 03 : Simulation et recherche méthodologique

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

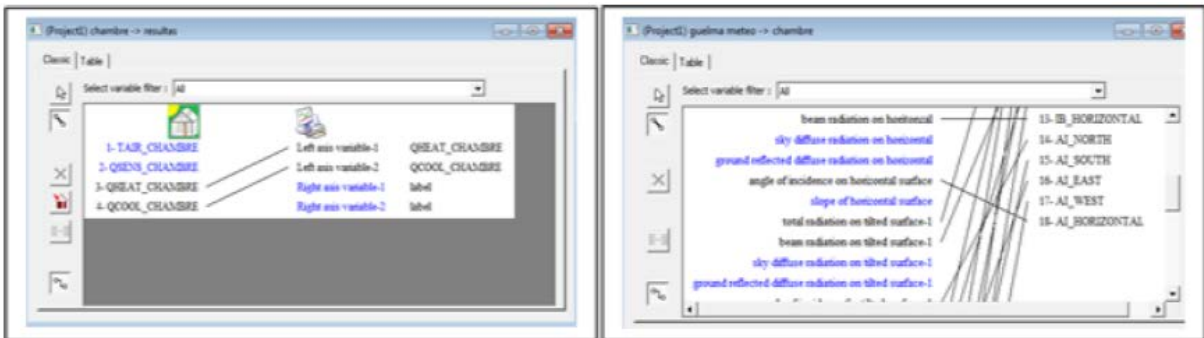


Figure 65: Liaison entre éléments de projet. Source TRNSYS.

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

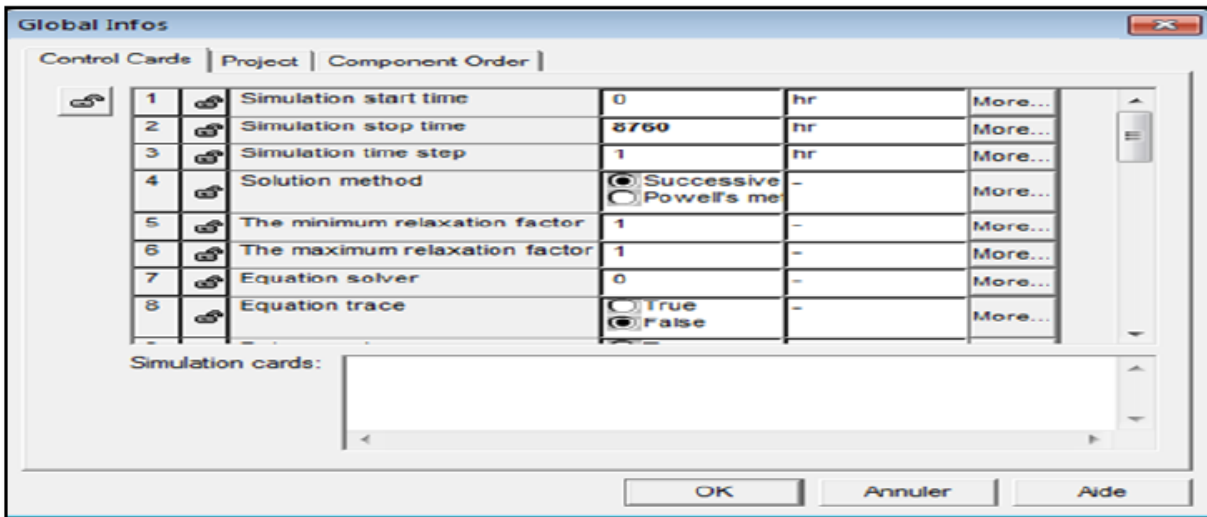


Figure 66: Temps de simulations. Source TRNSYS.

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

Chapitre 03 : Simulation et recherche méthodologique

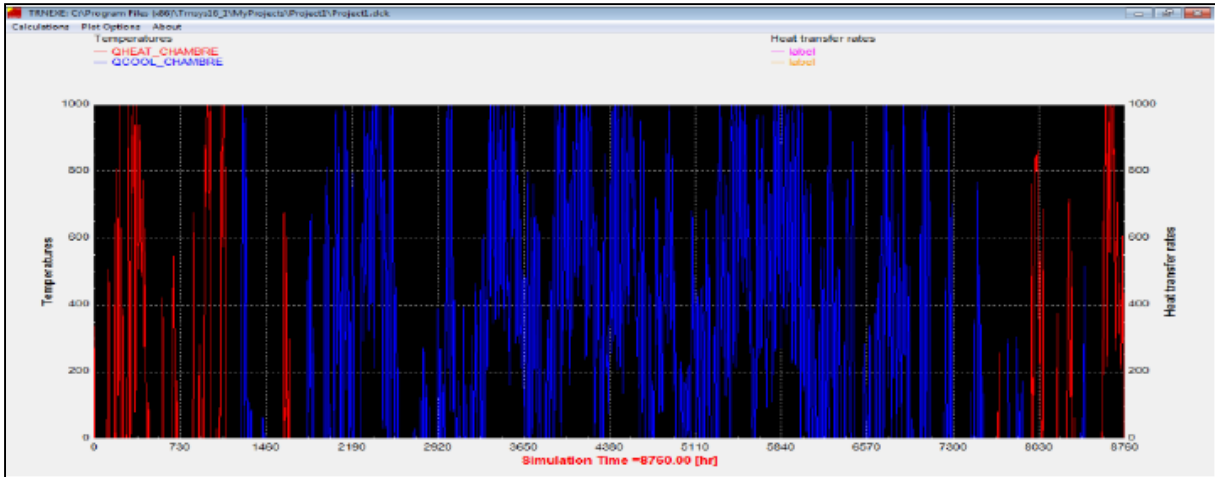


Figure 67: Résultat de simulation (Graph). Source TRNSYS.

Bldg-Monthly.out - Bloc-notes

```

*****
***** MONTHLY SUMMARY STANDARD REPORT *****
*****
SUMMARY VALUES FOR ALL ZONES COMBINED
*****
MONTH    HEATING      COOLING      INFILTR.     VENTILAT.     SOLAR_RAD.     INT_GAINS
        [KWH]      [KWH]      [KWH]      [KWH]      [KWH]      [KWH]
JAN      3.898E+01     0.000E+00    -8.137E-02    0.000E+00     9.631E+01     0.000E+00
FEB      3.496E+01     0.000E+00    -8.613E-02    0.000E+00     8.652E+01     0.000E+00
MAR      3.592E+01     0.000E+00    -5.073E-02    0.000E+00     7.388E+01     0.000E+00
APR      0.000E+00     8.291E+01    -1.232E-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    -1.000E-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     7.950E+01    -2.853E-02    0.000E+00     6.483E+01     0.000E+00
OCT      0.000E+00     5.588E+01    -4.695E-02    0.000E+00     9.658E+01     0.000E+00
NOV      7.653E+00     6.941E+00    -7.485E-02    0.000E+00     1.008E+02     0.000E+00
DEC      4.095E+01     9.105E-01    -8.297E-02    0.000E+00     1.057E+02     0.000E+00
SUM      1.157E+02     5.976E+02     5.175E-01     0.000E+00     8.762E+02     0.000E+00

ZONE NUMBER IS 1
*****
MONTH    HEATING      COOLING      INFILTR.     VENTILAT.     SOLAR_RAD.     INT_GAINS
        [KWH]      [KWH]      [KWH]      [KWH]      [KWH]      [KWH]
JAN      3.898E+01     0.000E+00    -8.137E-02    0.000E+00     9.631E+01     0.000E+00
FEB      3.496E+01     0.000E+00    -8.613E-02    0.000E+00     8.652E+01     0.000E+00
MAR      3.592E+01     0.000E+00    -5.073E-02    0.000E+00     7.388E+01     0.000E+00
APR      0.000E+00     8.291E+01    -1.232E-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    -1.000E-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     7.950E+01    -2.853E-02    0.000E+00     6.483E+01     0.000E+00
OCT      0.000E+00     5.588E+01    -4.695E-02    0.000E+00     9.658E+01     0.000E+00
NOV      7.653E+00     6.941E+00    -7.485E-02    0.000E+00     1.008E+02     0.000E+00
DEC      4.095E+01     9.105E-01    -8.297E-02    0.000E+00     1.057E+02     0.000E+00
SUM      1.157E+02     5.976E+02     5.175E-01     0.000E+00     8.762E+02     0.000E+00
    
```

Figure 68: Résultats de simulation (Calcul). Source: TRNSYS.

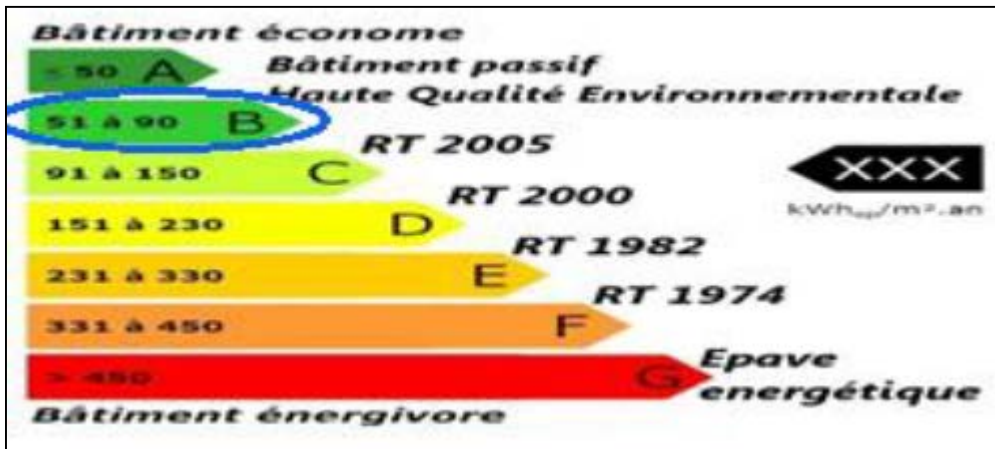


Figure 69: Classification de la salle RDC.

Chapitre 03 : Simulation et recherche méthodologique

- E. Résultat : Apres ce calcul en obtient les bilans énergétique de notre salle de classe ; et 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 1^{er} étage :

Composants de la pièce :

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

- Enduit extérieur de 3cm ;
- Brique 25cm ;
- Lamé 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) :

- 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 :

chambre etage intermediaire resultat - Bloc-notes

Fichier Edition Format Affichage ?

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	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	-3.351E-02	0.000E+00	3.322E+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	7.336E+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	4.215E+01	0.000E+00
OCT	0.000E+00	1.654E+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	-3.351E-02	0.000E+00	3.322E+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 70: Résultats de simulations (calcul). Source: TRNSYS.

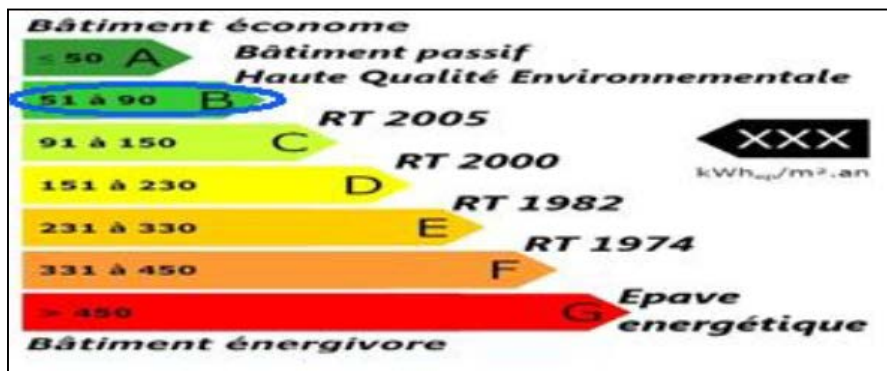


Figure 71: Classification de la salle 1er étage.

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

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 ;
- Lamé d'air 5cm ;
- Brique 10cm ;
- Enduit de plâtre 2cm.

Chapitre 03 : Simulation et recherche méthodologique

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 :

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	3.120E+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	5.143E+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	-1.010E-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	-2.855E-02	0.000E+00	6.465E+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	-8.530E-02	0.000E+00	1.057E+02	0.000E+00
SUM	1.038E+02	6.677E+02	-5.314E-01	0.000E+00	8.762E+02	0.000E+00

ZONE NUMBER IS 1						
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	3.120E+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	5.143E+01	0.000E+00

Figure 72: Résultats de simulation (Calcul). Source: TRNSYS.

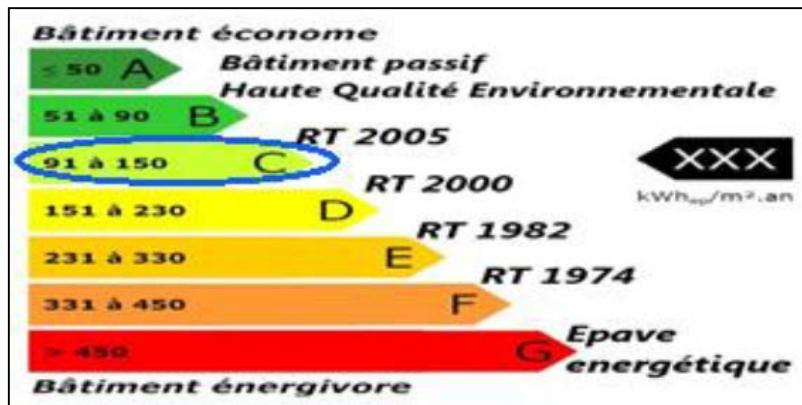


Figure 73: Classification de la salle 2ème étage.

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 1^{er} 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.
- Les panneaux solaires prennent la surface de toiture.
- 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).
- la puissance générée par les panneaux couvre largement la demande énergétique de la salle de classe étudiée (période nocturne).

III.3.1.7.2 Caractéristique du panneau

Type de cellule	Cellule monocristalline avec anti-reflection
Nombre de cellules par module	60 Cellules (6×10)
Dimensions de la cellule	156×156 mm
Dimensions du module	1640×992×45 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 74: Caractéristique du panneau solaire utilisé. Source: Condor Electronics.

La journée test est la plus ensoleillée, équivalente au solstice d'hiver, elle touche la consommation énergétique de : Eclairage ; chauffage ; Équipement.

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 projet.

Chapitre 03 : Simulation et recherche méthodologique

- Intégrer les panneaux solaires dans la production architecturale des facultés universitaires.

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 simule.

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. Etape de projet : Site, Analyse, programmation et intervention.

IV.1 Analyse de site d'intervention:

IV.1.1 Motivation de choix:

Pour le choix du site, on s'est basé sur certains critères parmi eux :

- La continuité avec le pôle universitaire et la présence de la cité universitaire Salah Yahya.
- Ensoleillement favorable pour l'exploitation de l'énergie solaire photovoltaïque et thermique.
- La nature du terrain est favorable pour éviter tout surplus budgétaires.
- Sa situation sur un point culminant pour renforcer sa visibilité et son accessibilité.

IV.1.2 Présentation de la ville :

IV.1.2.1 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).



Figure 75: La situation géographique de la ville de Guelma.

- 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 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.

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.1.2.2 Analyse climatique de la ville Guelma:

IV.1.2.2.1 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.
- Un hiver froid et sec, avec un écart de température diurne important.

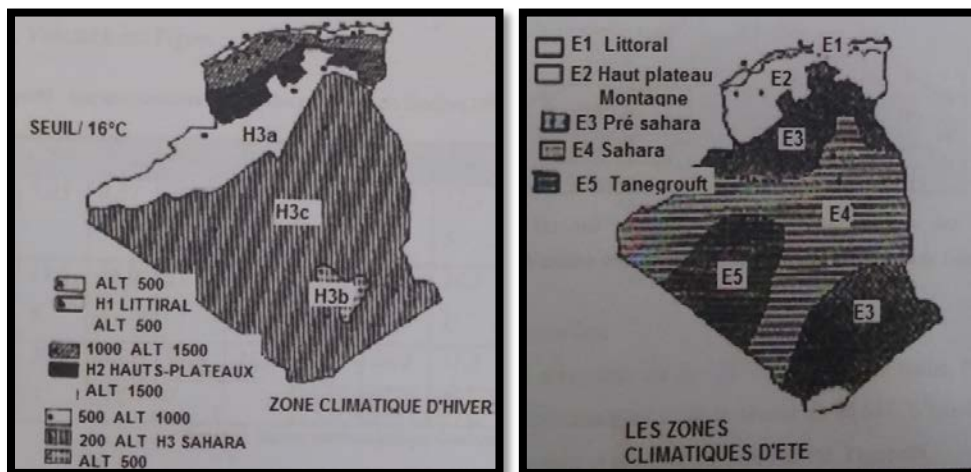


Figure 76: La classification du climat de la ville de Guelma

Le climat de Guelma est donc un climat SUB-HUMIDE. Il 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 caractériser son climat.

A rappeler que pour définir les climats on devra s'appuyer constamment sur les données moyennes et extrêmes.⁹⁶

IV.1.2.2 Températures:

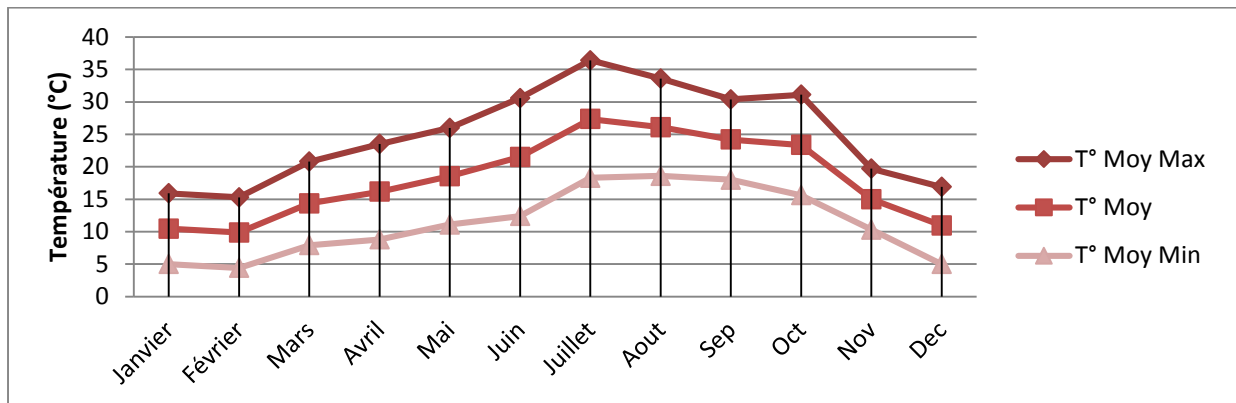


Figure 77: Graph des variations des températures mensuelles en 2016 (Source: Auteur)

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 moi de Juillet et une valeur minimale de 4.4 dans le mois de Février.

IV.1.2.2.3 Précipitation:

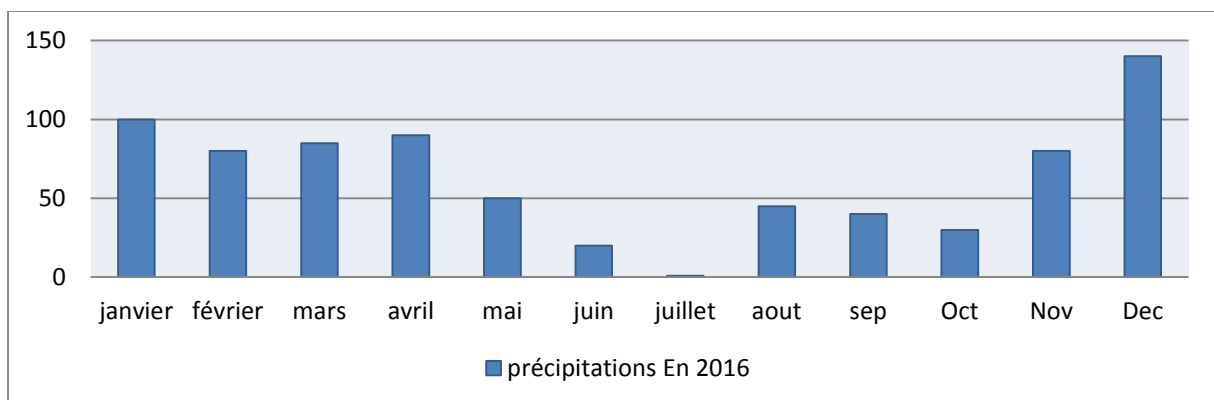


Figure 78: Graph de variations des précipitations mensuelles en 2016 (Source: Auteur)

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

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.1.2.2.4 Vitesse de vents:

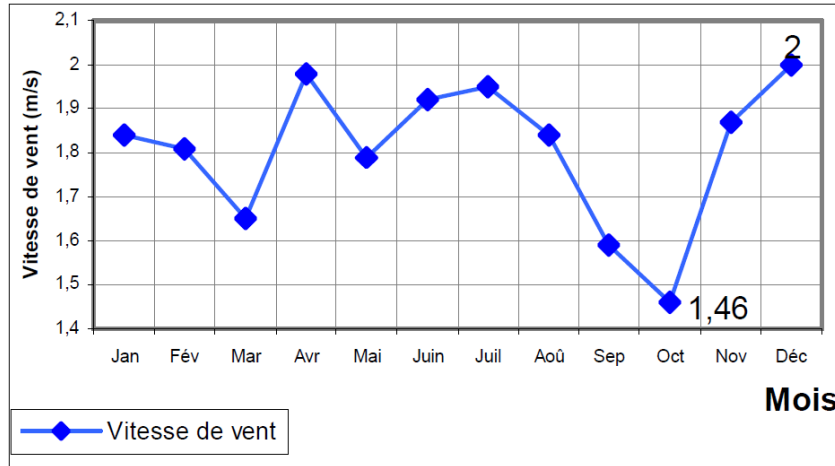


Figure 79: Graph de variation de vitesse des vents mensuelle

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.

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 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.1.2.2.5 La rose des vents :

A partir des données métrologiques du logiciel *Meteororme 7* et de *Climate consiltant 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 sont vienne du côté Nord et moins fréquente du côté Sud-Ouest avec une température entre 0 °C et 20 °C.
- Du printemps : les vents sont vienne des côtés Sud et moins fréquente du côté Nord avec une température entre 20 °C et 24 °C.
- D'été : les vents sont vienne des cotés Sud, Sud-Est et Sud-Ouest avec une température varier entre 24 °C et 38 °C.

- D'automne : les vents sont vienne des cotés Nord-Est et Nord-Ouest avec une température varier entre 20 °C et 24 °C.

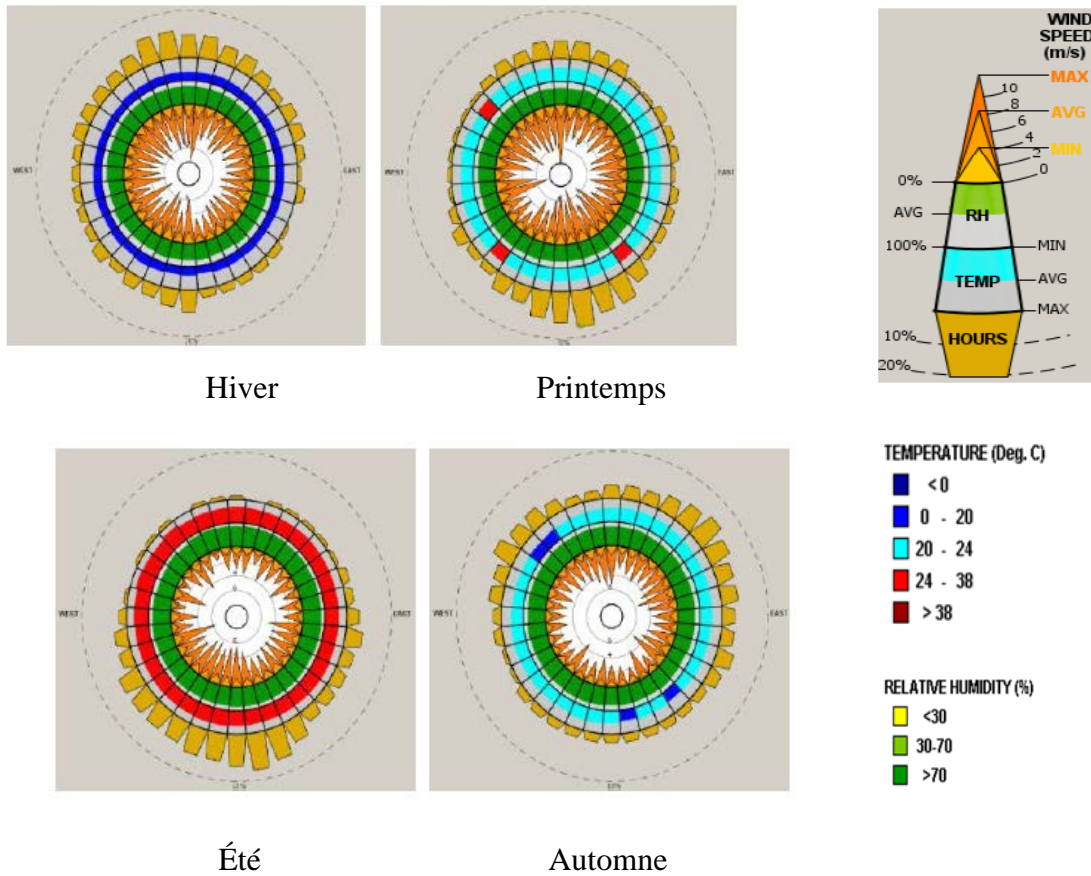


Figure 80: La rose du vent dans les 4 saisons de la wilaya de Guelma (*Méteonorm 7 + Climat*)

IV.1.2.2.6 Insolation:

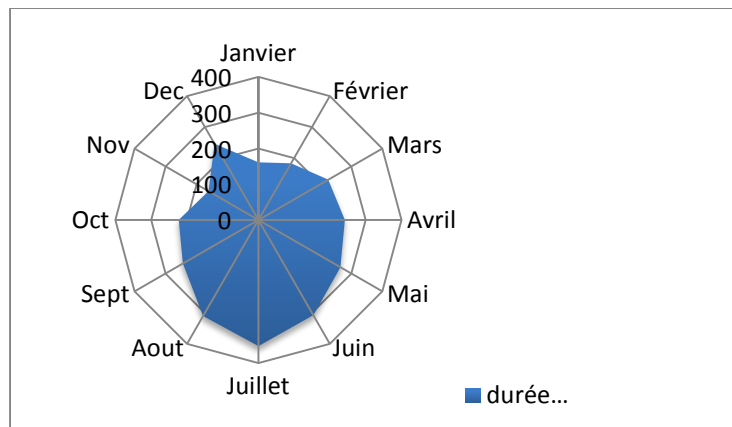


Figure 81: *Variation de durée d'insolation mensuelle*

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.1.2.2.7 Diagramme ombrothermique de Guelma :

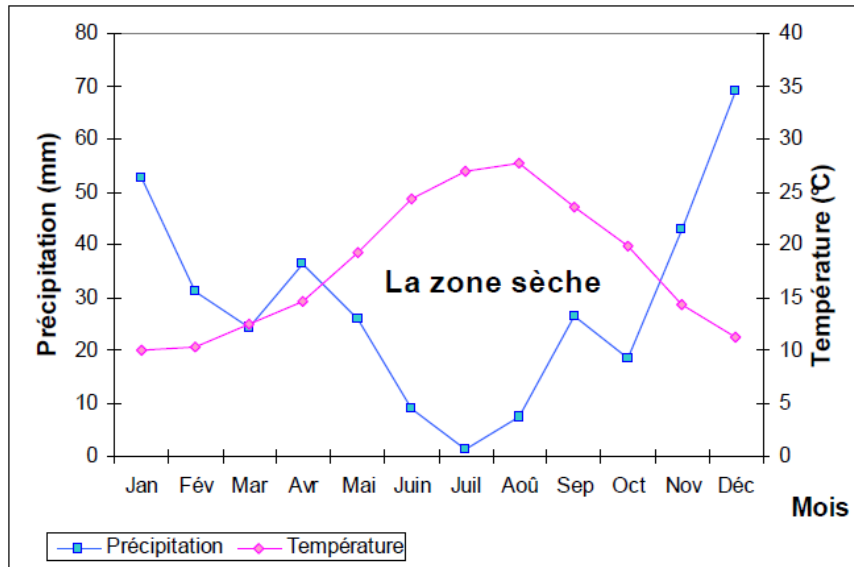


Figure 82: Le digramme ombrothermique de Guelma

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.

IV.1.2.2.8 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	21Juin	21 Mai et 21 juillet	21Avril et 21Août	21Mars et 21Sept	21Fev et 21Octo	21janv et 21Nov	21Déce
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 4: Hauteurs et Azimuts du soleil (Guelma).

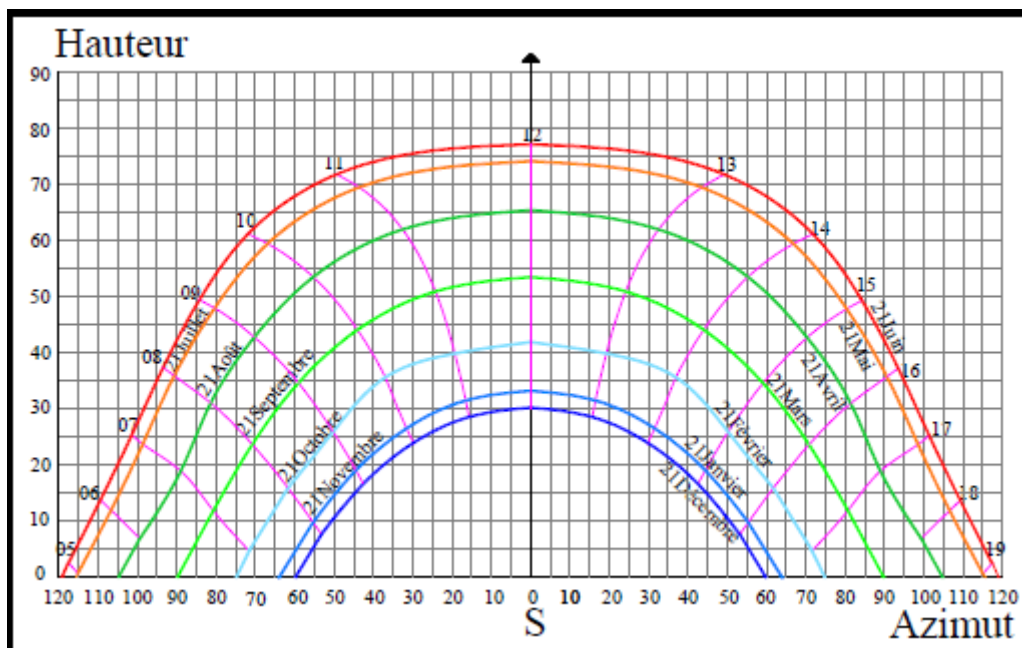


Figure 83: Le diagramme frontal de Guelma

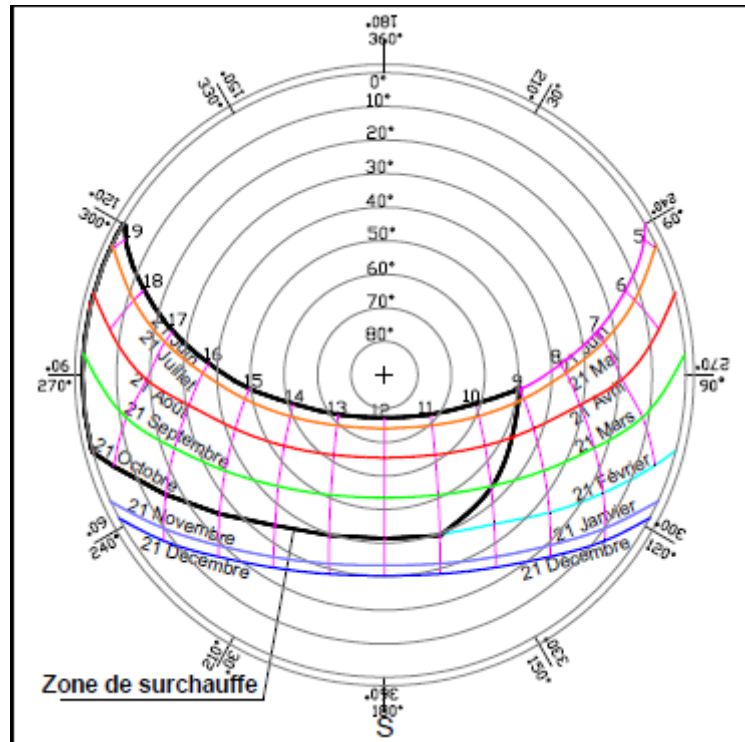


Figure 84: Le diagramme polaire de Guelma montrant la zone de surchauffe

IV.1.2.3 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.1.2.3.1 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'étude.⁹⁷ 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. S-V., (1979). « *Environmental science handbook for architects and builder* ». LACASTRE, LONDON, NEW YORK: THE CONSTRUCTION PRESS, p263.

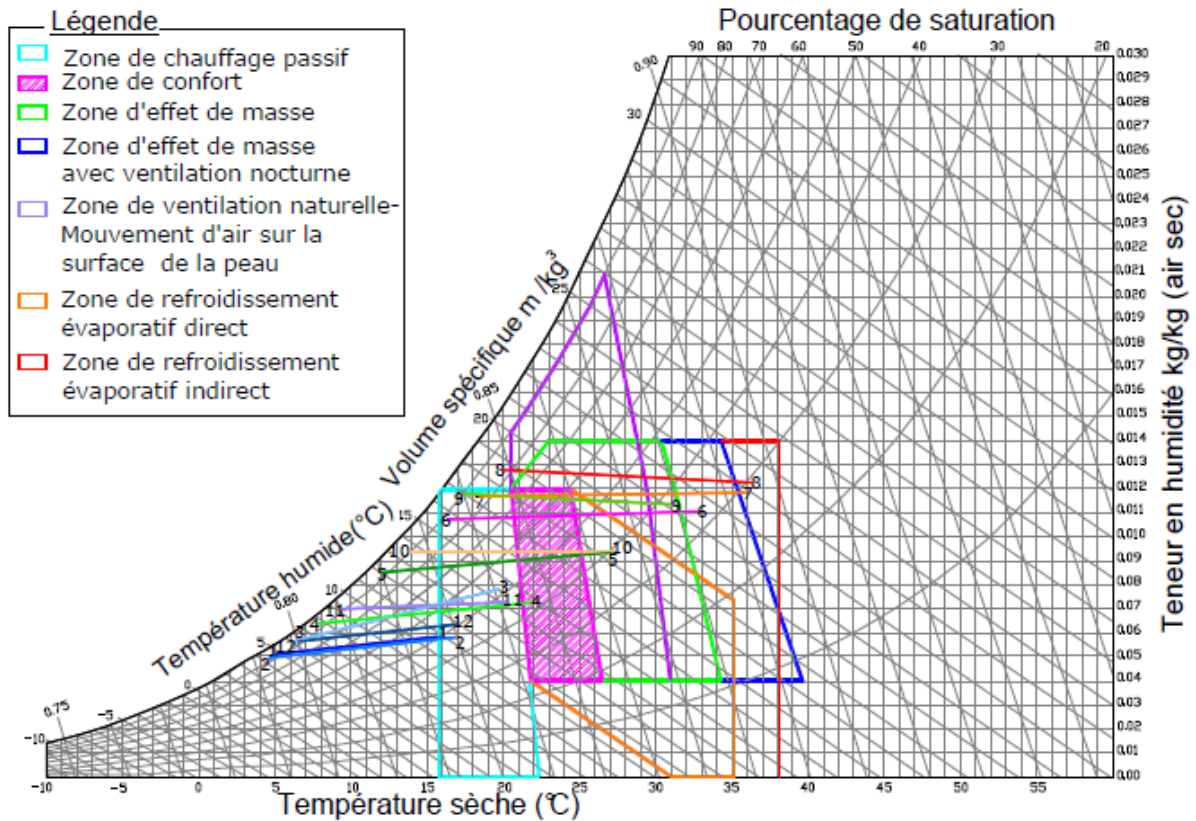


Figure 85: Le diagramme psychrométrique de Guelma

IV.1.2.3.2 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 ;
- 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 :

Le terrain de notre étude se situe au sud-ouest de la ville de Guelma. A proximité du pôle universitaire.

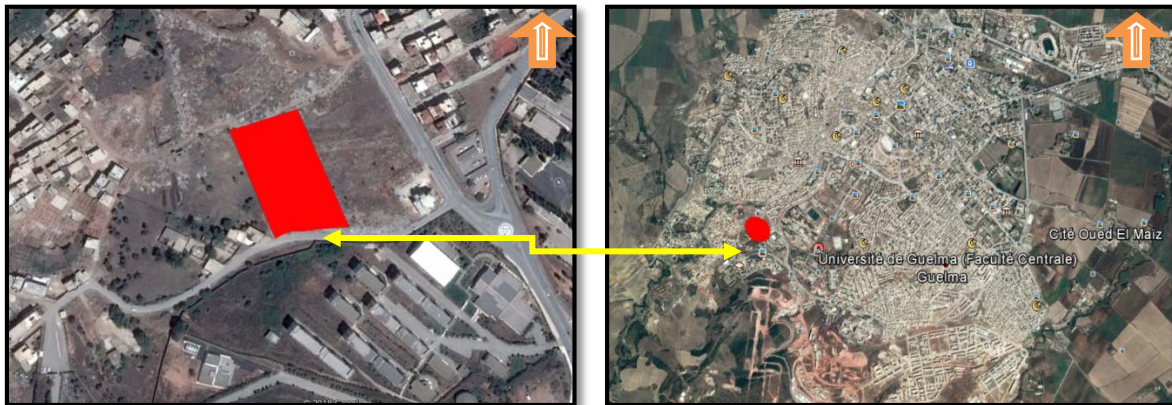


Figure 86: La situation du terrain par rapport à la ville et à son entourage.

(Source : Google Earth réadapté par l'auteur)

Il est limité par :

- Nord : un quartier résidentiel et un terrain réservé.
- Est : un terrain réservé.
- Sud : la voie et la résidence universitaire SALAH YAHYA.
- Ouest : Habitations individuelles.

IV.1.3.2 Analyse physique du site :

IV.1.3.2.1 Morphologie:

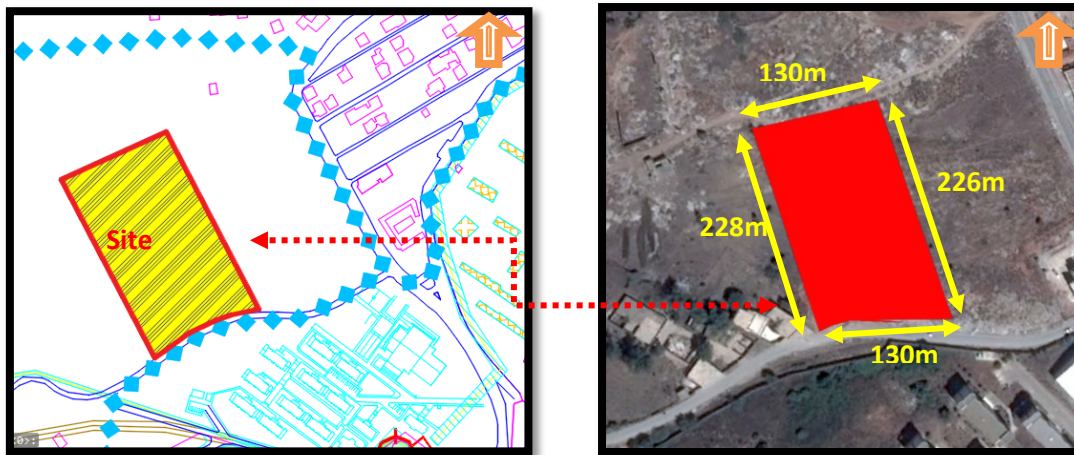


Figure 87: La morphologie et les dimensions du terrain

Forme: Irrégulière.

Surface total: 28 882m².

IV.1.3.2.2 Le tissu urbain:



Figure 88: Le tissu urbain du terrain (Source: Google Earth)

Le terrain d'étude se trouve dans une zone libre, sans mitoyenneté, à proximité des quartiers résidentiels et de la résidence universitaire SALAH YAHYA.

IV.1.3.2.3 Le profil topographique :

La coupe longitudinale :

La coupe transversale :



Figure 89: Le profil topographique (Source: Google Earth réadapté par l'auteur)

La topographie du site comporte des pentes plus ou moins moyennes à faibles : La coupe longitudinale montre une pente de 5.2% dont l'altitude se varie entre (370m et 382m) et la coupe transversale montre une pente de 10% dont l'altitude se varie entre (374m et 387m).

IV.1.3.2.4 Accessibilité:



Figure 90: Les voies d'accèsibilité du terrain (Source: Google Earth réadapté par l'auteur)

Le terrain est desservi par une seule voie mécanique. Il est donc accessible d'un seul coté (Coté Sud).

IV.1.3.3 Analyse microclimatique du terrain:

IV.1.3.3.1 Ensoleillements

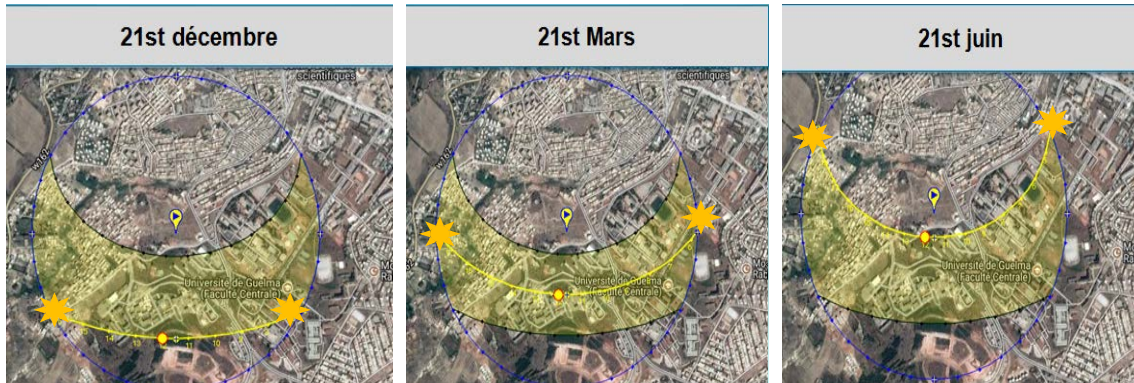


Figure 91 : La course solaire pendant les 3 solstices (21 décembre, 21 mars, 21 juin).

(Source: SunEarthTools.com 2018)

Le terrain est exposé au soleil pendant toute l'année vu son environnement immédiat qui ne marque aucun obstacle matériel ou naturel.

IV.1.3.3.2 Vents dominants:

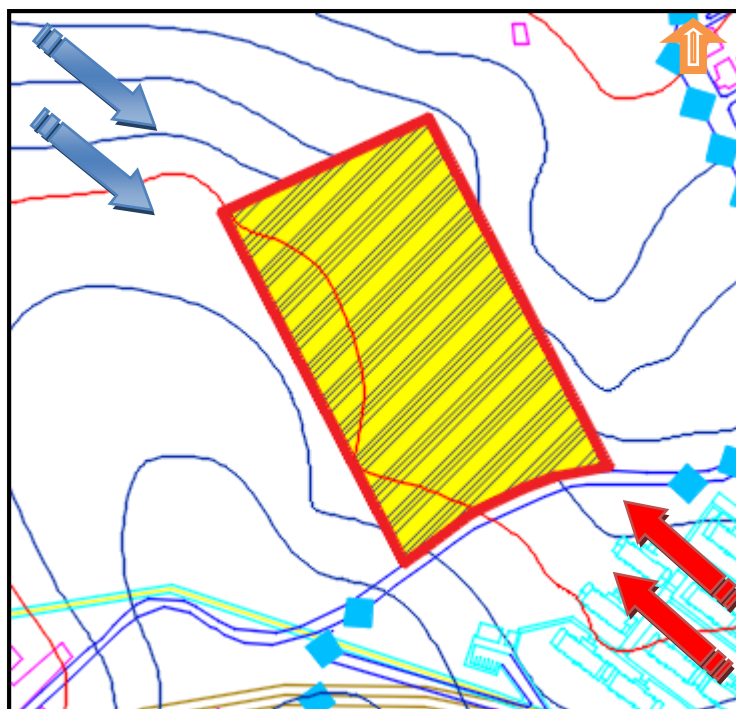


Figure 92: La direction des vents dominants.

(Source: PDAU réadapté par l'auteur)

Synthèse :

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none">- Le terrain est favorable pour l'implantation d'un équipement éducatif.- La proximité du pole universitaire- La présence d'une cité universitaire.- Un terrain qui profite d'une bonne exposition au soleil.- La topographie du terrain est favorable à tout type de construction.	<ul style="list-style-type: none">- Le terrain possède un seul accès.- Le terrain est exposé aux différentes directions de vent.

IV.2 Analyse des exemples :

IV.2.1 Exemple 01: La faculté de médecine d'Alger

IV.2.1.1 Présentation:

Il s'agit de la nouvelle faculté de médecine de ZIANIA - BEN AKNOUN-, inaugurée en 2012. Elle s'étale sur une superficie de 70 000 m² et supporte une capacité de 10 000 places pédagogiques.

Réalisation: Cosider

Lieu: Châteauneuf, Alger



Figure 93 : La faculté de médecine d'Alger

IV.2.1.2 Situation générale:

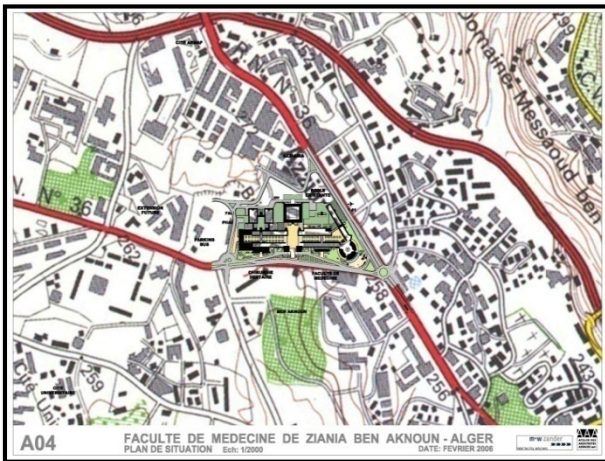


Figure 94: Plan de situation de la faculté de médecine d'Alger.

(Source : 1- Atelier des architectes associés SARL. 2- Google Earth réadapté par l'auteur).

La nouvelle faculté de médecine se situe à la commune de BEN AKNOUN – La wilaya d'ALGER- délimité par:

- Au nord et à l'est : Châteauneuf
- Au sud et à l'ouest : Cité Moudjahidine
- Au sud-est se trouve le centre commercial d'El-BIAR

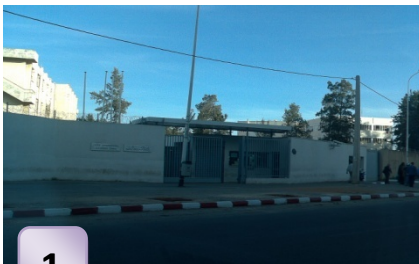
IV.2.1.3 L'environnement immédiat:



Figure 95: L'environnement immédiat (Source : Google Earth réadapté par l'auteur).

La faculté est entouré uniquement par le contexte urbain, Elle se situe au centre des cités résidentielles et à la proximité des autres équipements culturels : La faculté de droit , le lycée international ALEXANDRE DUMAS, La mosquée AIBED EL-RAHMANE ainsi que le centre commercial d'EL-BIAR.

IV.2.1.4 Identification de l'environnement:



1



2



3

Figure 96: Environnement: Lycée ALEXANDRE DUMAS ; Quartier résidentiel ; Centre commercial d'El Biar

IV.2.1.5 L'accessibilité:



Figure 97: L'accessibilité du Campus.

(Source : Google Earth réadapté par l'auteur).

La faculté est accessible par deux voies principale : La voie N41 (la continuité de l'avenue Mustapha Ali Khoja) et la voie N39 vers la faculté de droit.

IV.2.1.6 Etude du plan d masse :



Figure 98: Le plan de masse du campus (Source: Google Earth réadapté par l'auteur).

La conception générale du campus s'appuie sur le type architectural de Poly bloc.

Chaque fonction représente un bloc différent dans un tout homogène.

IV.2.1.7 Le découpage de la faculté :

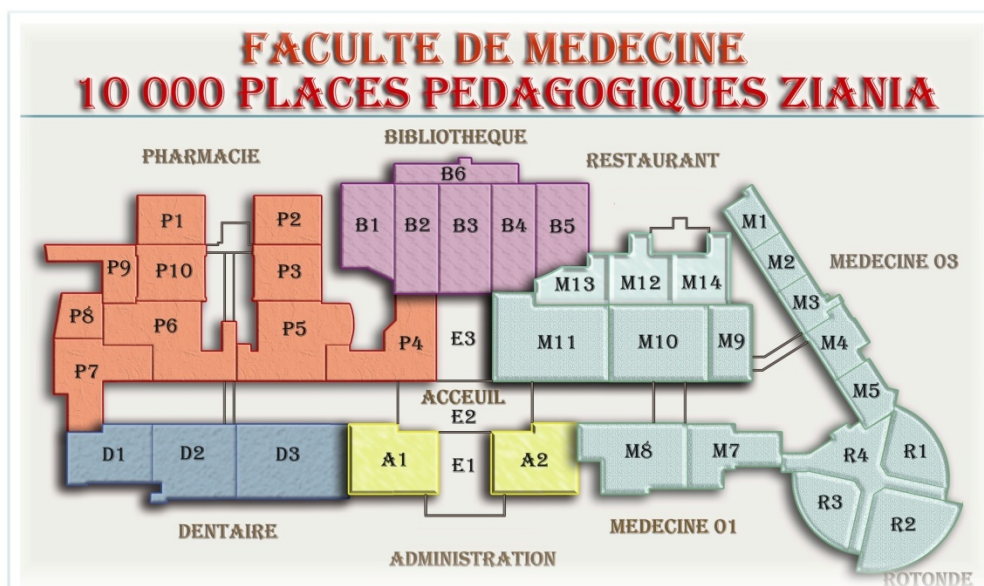


Figure 99: Le découpage des entités du campus. (Source: Atelier des architectes associes SARL).

Chapitre 04 : Etape de projet: Site, analyse, programmation et intervention

Le projet comprend: 10 000 places pédagogiques.

- Département de médecine (6 000 places)
- Département de pharmacie (2 000 places)
- Département de chirurgie dentaire (2 000 places)
- Administration
- Bibliothèque 700 places
- Restaurant 700 places
- Salles de conférences (Rotonde)

IV.2.1.8 Les accès:

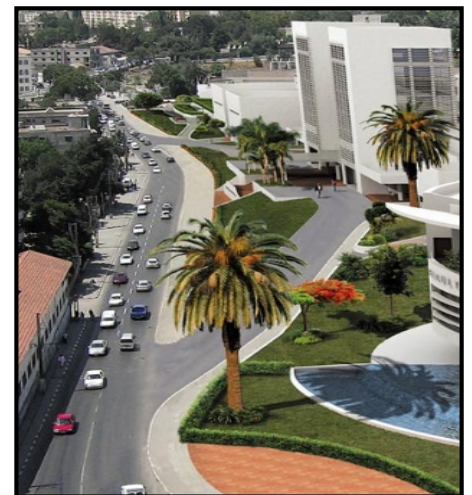


Figure 100: Les différents accès du campus. (Source: Google Earth réadapté par l'auteur).

L'accès principal du campus est centré, à côté il y a deux accès mécaniques qui mènent au parking sous-sol. Ainsi qu'une sortie du parking sur le côté latéral du projet.

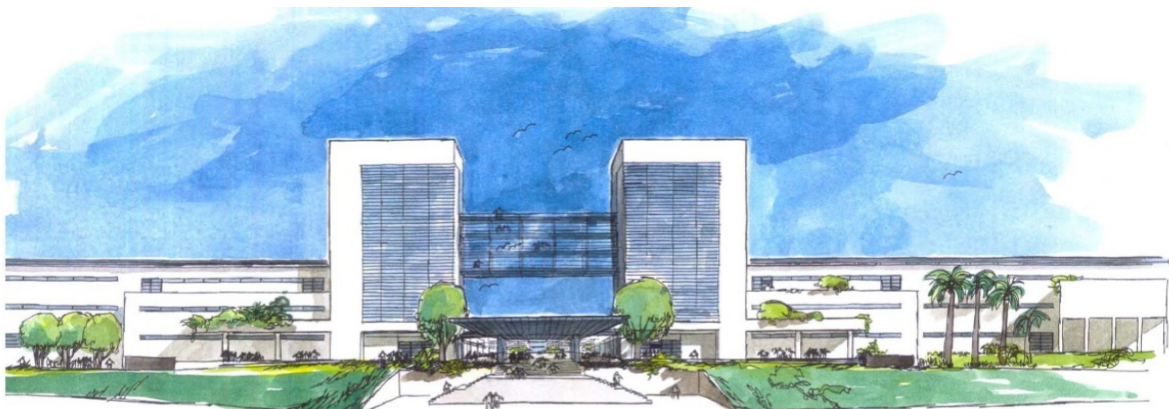


Figure 101: L'accès principal du campus. (Source: Atelier des architectes associés Sarl).

C'est la double tour de l'administration qui caractérise l'accès principale au campus et de sa grande place d'accueil.

IV.2.1.9 L'espace vert:

Le campus profite d'une surface verte importante dans la totalité du projet tel que les patios dans les départements, décoré par des séries d'arbre. En offrant un confort visuel aux étudiants, du à la relation entre la nature et le blanc du campus.

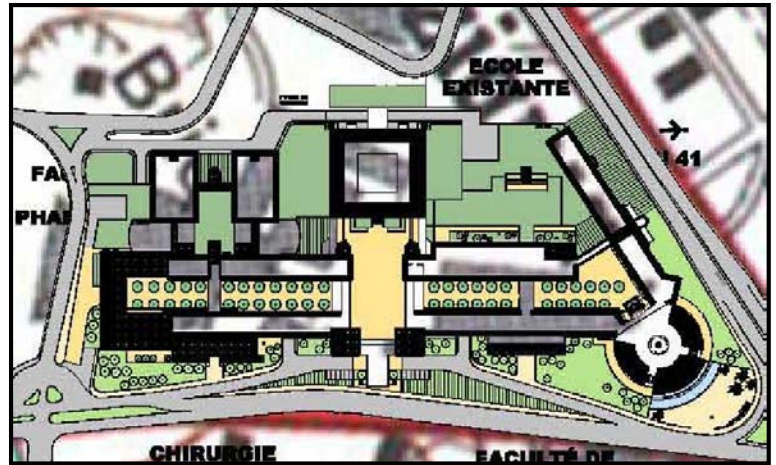


Figure 102: Plan de masse du campus. (Source: Atelier des architectes associes Sarl).



Figure 103: Le patio dans le campus

IV.2.1.10 Typologie de façades :



Figure 104: La façade principale du campus. Source: Atelier des architectes associes Sarl.



Figure 105: La façade de la rotonde du campus.

Des volumes architecturaux blancs, dans la tradition d'Alger la blanche, avec leurs creux d'ombres, leurs transparences et leurs jardins. A cette blancheur, les éléments métalliques opposent le gris du zinc ou aluminium.

Un autre jeu entre l'horizontalité et la verticalité des ouvertures en vitrage bleu transparent.

IV.2.1.11 Organigramme fonctionnel du campus:

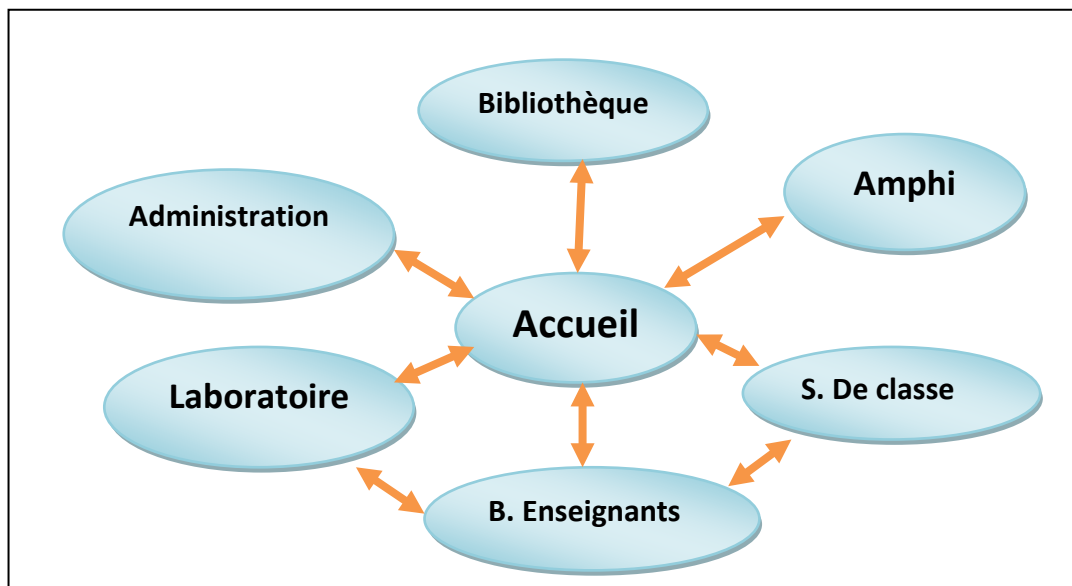


Figure 106: Organigramme fonctionnel du campus. Source: Auteur.

IV.2.1.12 Organigramme spatial du campus:

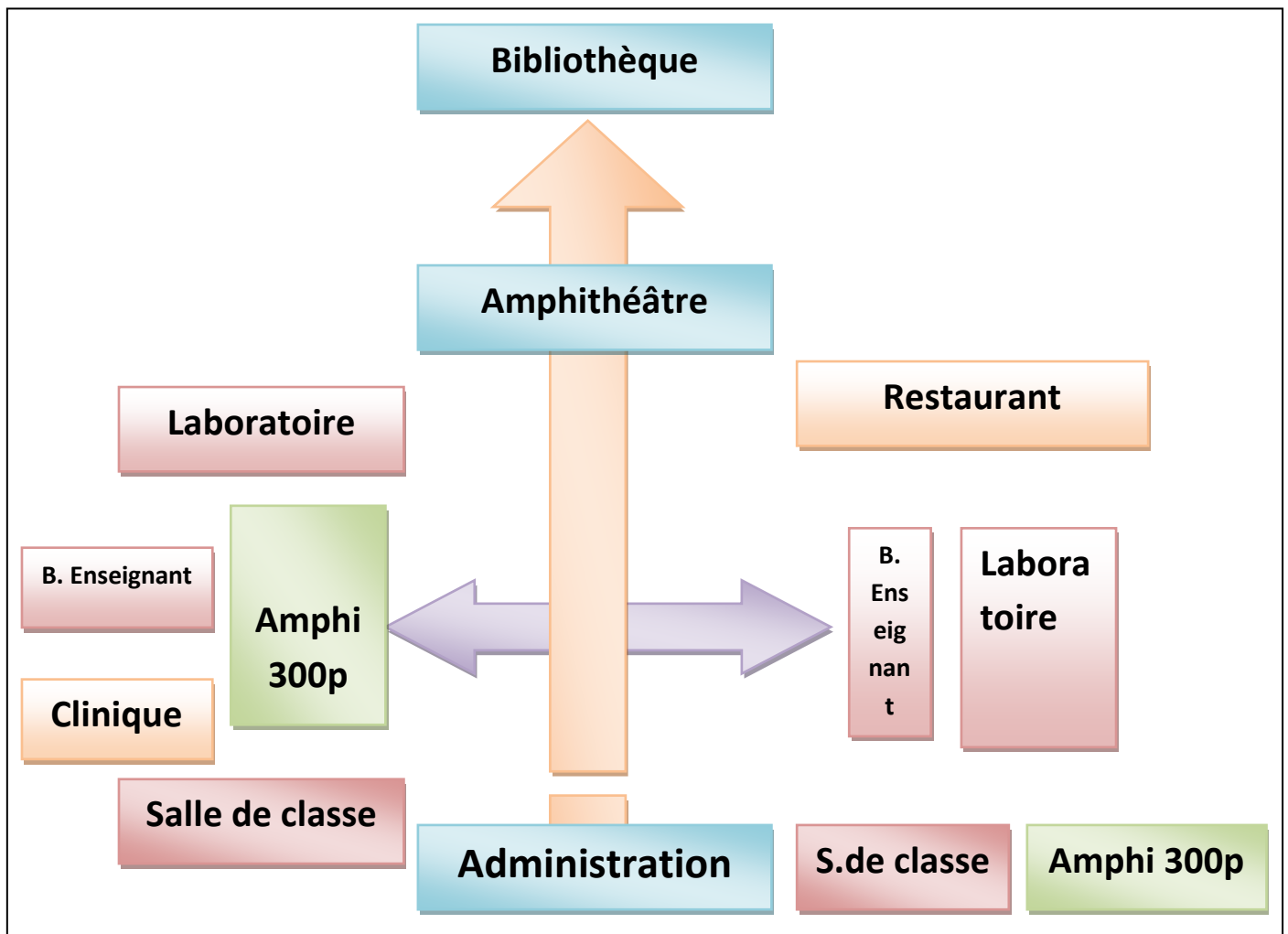


Figure 107: Organigramme spatial du campus. Source: Auteur.

IV.2.1.13 Etude d'intérieur :

Plan RDC :

Le plan rez de chaussée est le plan d'accueil ou se trouve l'entrée principale, et les espaces de détente. Il contient les espaces a grand flux : l'accueil, les amphithéâtres, le restaurant, les cafétérias...

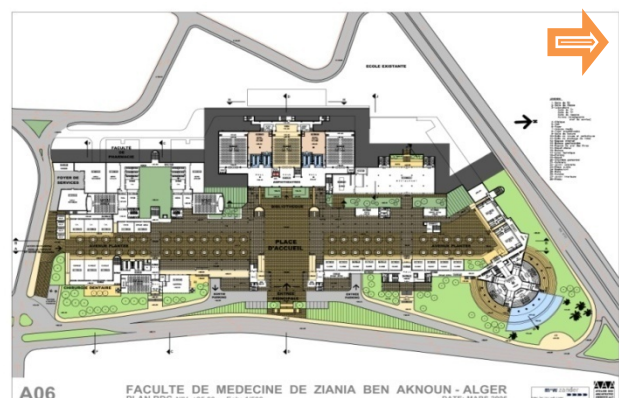


Figure 108: Le plan RDC du campus. (Source: Atelier des architectes associés Sarl).

Le 1^{er} et le 2^{ème} étage :

Aux étages, se trouve les espaces à moyen flux, qui concernent les étudiants du campus uniquement : Les salles de classes et de T.D, les laboratoires et les bureaux des enseignants du campus. Les blocs sont en relation entre eux par des passerelles.



Figure 109: Les plans 1^{er} et 2^{ème} étage du campus. (Source: Atelier des architectes associés Sarl).

La bibliothèque et l'administration :

Elles sont les deux éléments centraux dans le campus. La bibliothèque qui regroupe tout ce qui concerne les recherches scientifiques des trois spécialités.

L'administration marque l'accueil par sa double tour qui s'étale vers la hauteur. Elle contient les bureaux du personnel et de gestion du campus.

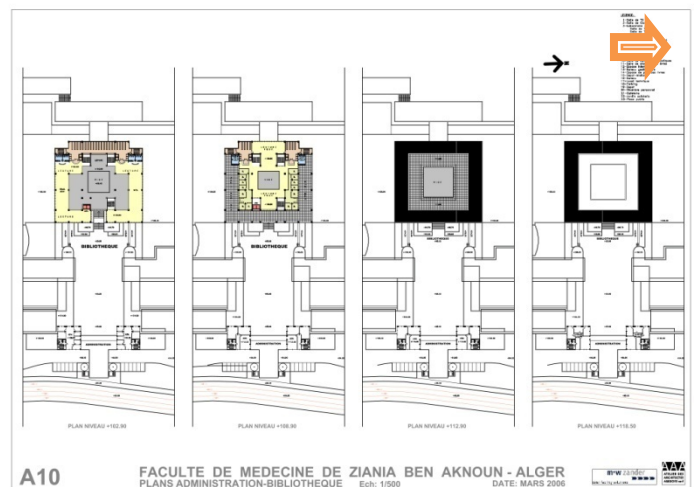


Figure 110: Les plans administration - bibliothèque du campus. (Source: Atelier des architectes associés Sarl).

Synthèse :

- Le campus profite d'un emplacement stratégique sur un point culminant.
- Le projet se trouve au barycentre des principaux hôpitaux universitaires d'Algier.
- Une bonne hiérarchisation des espaces.
- Un campus poly bloc qui sépare les fonctions sans les isoler. (passerelles)
- Une relation assez forte entre la verdure et le projet.

IV.2.2 Exemple 02: La faculté des sciences médicales –GUELMA-

IV.2.2.1 Présentation:

Une faculté des sciences médicales qui s'installe à Guelma au nouveau pôle universitaire. Elle s'étale sur un terrain d'une superficie de 44 000 m². Et supporte 2000 places pédagogiques. Elle reflète une continuité avec les autres facultés de l'université de 08 MAI 1945 de Guelma.



Figure 111: La faculté des sciences médicales - Guelma-

IV.2.2.2 Situation générale:

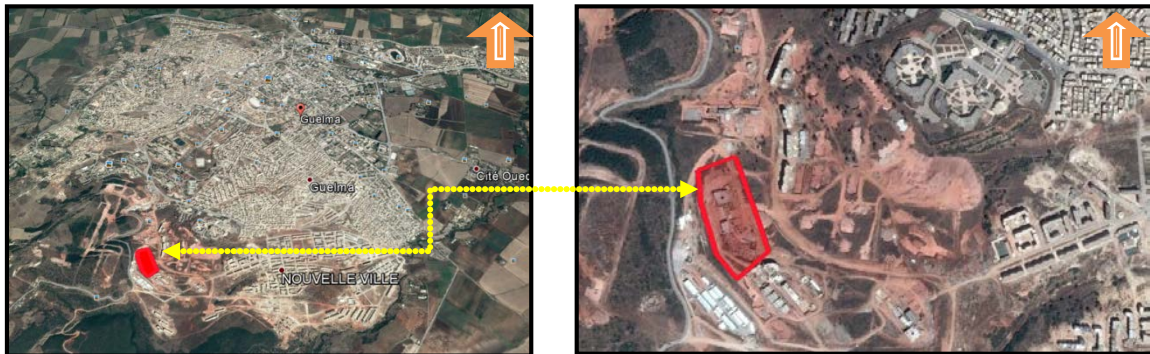


Figure 112: La situation générale du campus. Source: Google Earth réadapté par l'auteur.

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.

IV.2.2.3 L'environnement immédiat:

La faculté est entourée par deux contextes différents : L'un est urbain (par un ensemble d'habitation), l'autre est naturel par la forêt Djbel Hallouf.



Figure 113: L'environnement immédiat.

Source : Google Earth réadapté par l'auteur.

IV.2.2.4 Identification de l'environnement:



Figure 114: Identification de l'environnement.

IV.2.2.5 L'accessibilité:



Le terrain se trouve à proximité de la voie principale qui mène à BEN-DJERRAH. Il est entouré par une voie principale de côté de quartier résidentiel et une voie secondaire dans le campus.

Figure 115: L'accessibilité au campus.

Source: Google Earth réadapté par l'auteur.

IV.2.2.6 Etude du plan de masse :

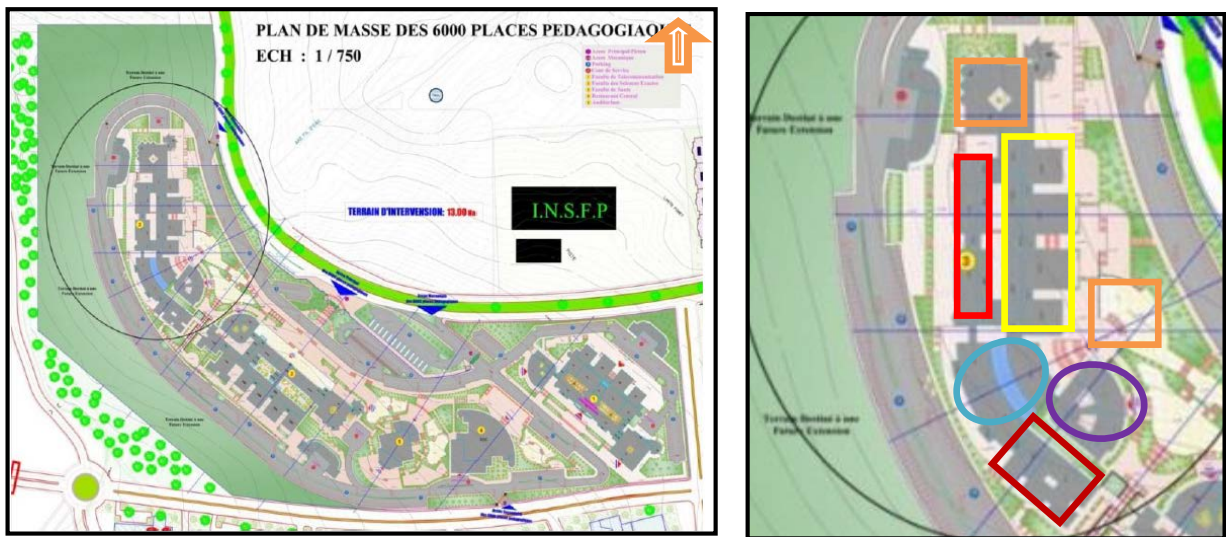


Figure 116: Plan de masse et répartition des entités. Source: Bureau d'étude C.E.T.A.M réadapté par l'auteur.

La conception générale du campus s'appuie sur le type architectural de Poly bloc.

Chaque fonction représente un bloc différent dans un tout homogène.

Le pôle pédagogiques et ses dépendances Il sera constitué :

Une entrée principale, un accès principal, les Salles de classes (situées à proximité de l'accès principal), 4 amphis, les laboratoires, une bibliothèque, et un bloc administratif.



Figure 117: Les différentes fonctions dans le campus.

IV.2.2.7 Les accès:

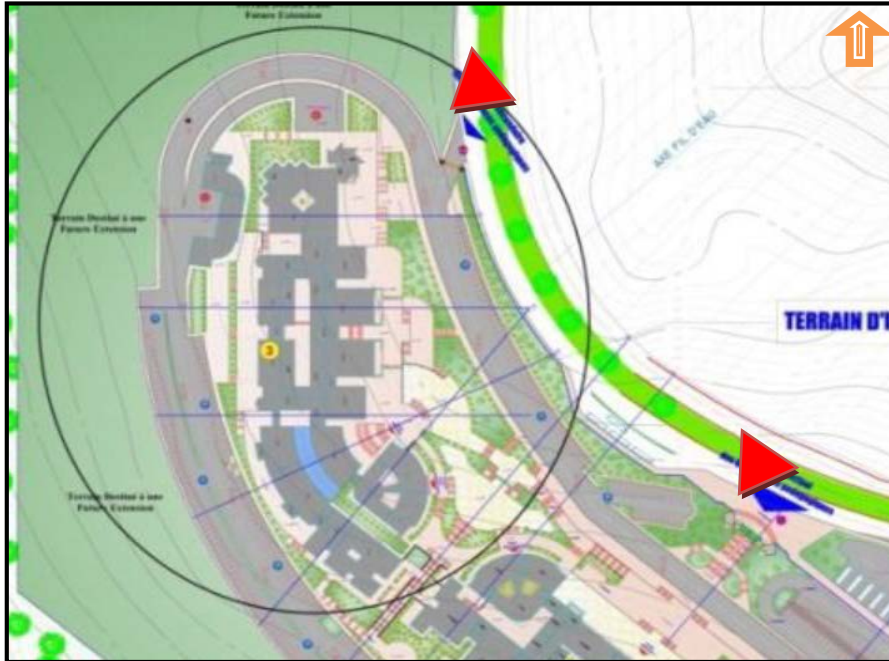


Figure 118: Les accès au campus. Source : Bureau d'étude réadapté par l'auteur.

Le projet d'étude profite d'un accès principal avec tout le campus et un accès secondaire pour la faculté des sciences médicales uniquement.

IV.2.2.8 L'espace vert:



Figure 119: La relation entre l'espace vert et le bâtiment.

Le projet d'étude est intégré dans le relief de terrain, ce qui donne une bonne intégration de la nature et l'obtention naturelle des espaces verts en contact direct avec les bâtiments du projet.

IV.2.2.9 Typologie de la façade:

La dégradation du volume obtenue par l'intégration à la pente donne un joli effet sur la façade de la faculté. La combinaison entre le cercle et le carré avec les éléments verticaux et horizontaux opposant la couleur blanche et grise du projet.



Figure 120: Les façades des différents blocs.

IV.2.2.10 Organigramme fonctionnel du campus:

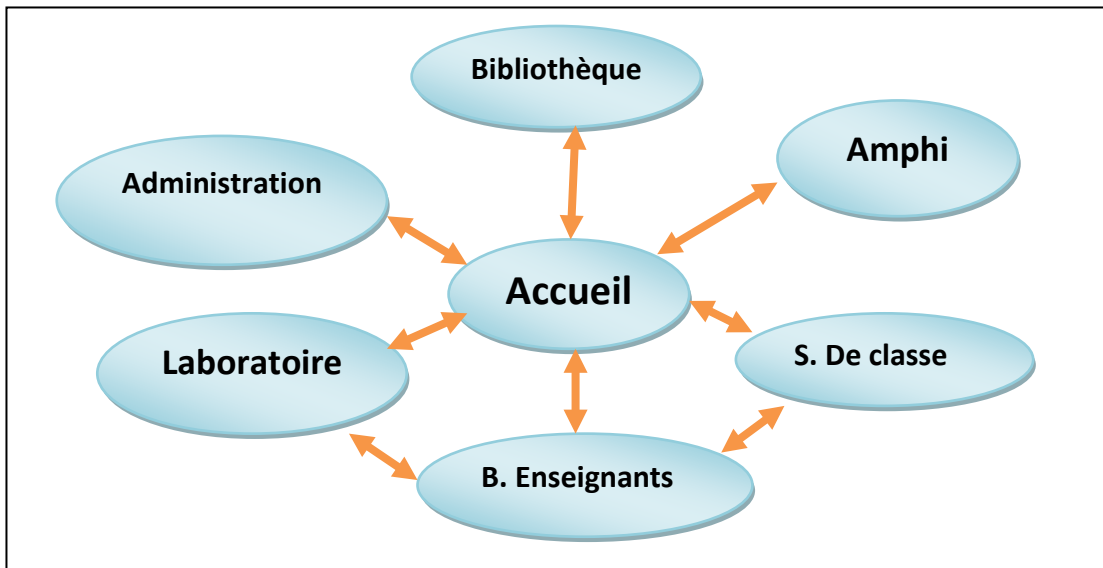


Figure 121: L'organigramme fonctionnel du campus. Source : Auteur.

IV.2.2.11 Organigramme spatial du campus :

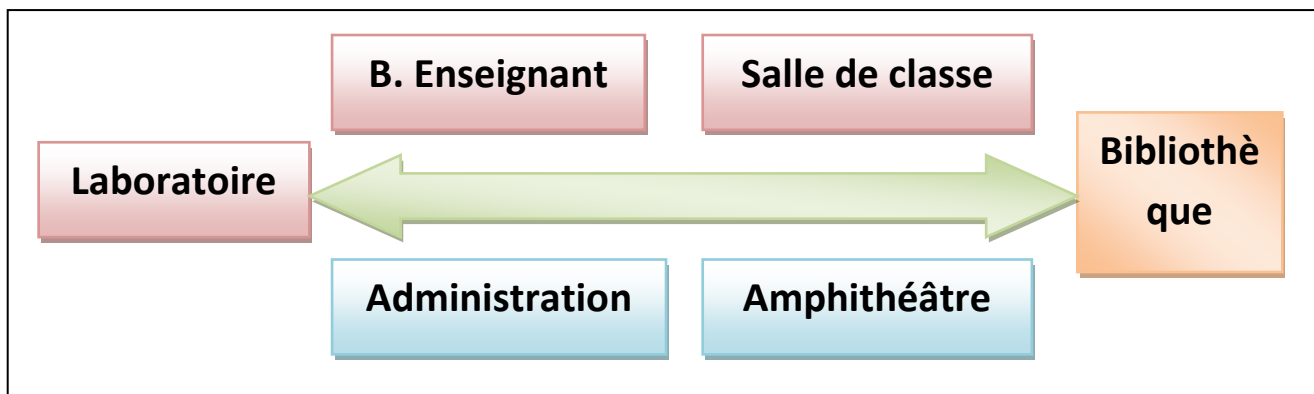


Figure 122: Organigramme spatial du campus. Source: Auteur.

IV.2.2.12 Etude d'intérieur :

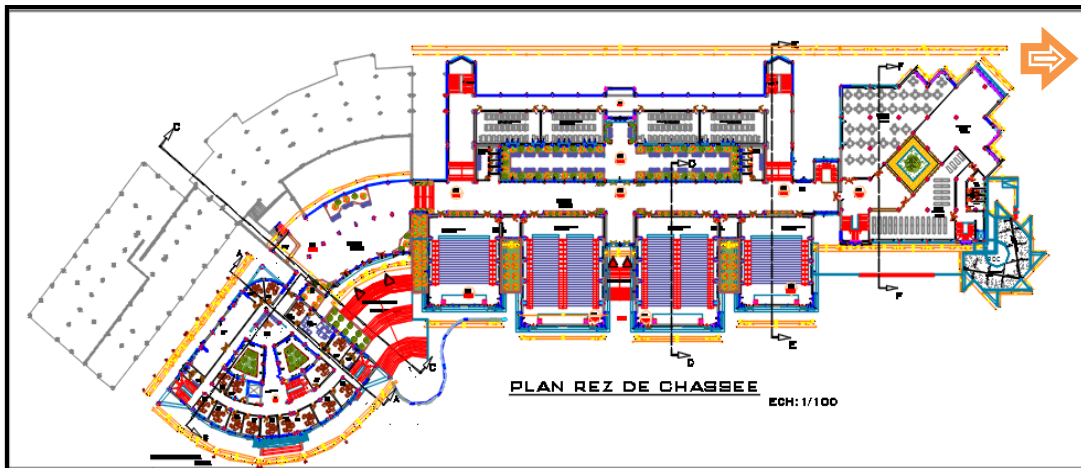


Figure 123: Plan RDC du campus. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M.

Le plan Rez de chaussée est le plan d'accueil. Il contient quatre blocs qui sont : les salles de classe, les amphis, la bibliothèque et l'administration.

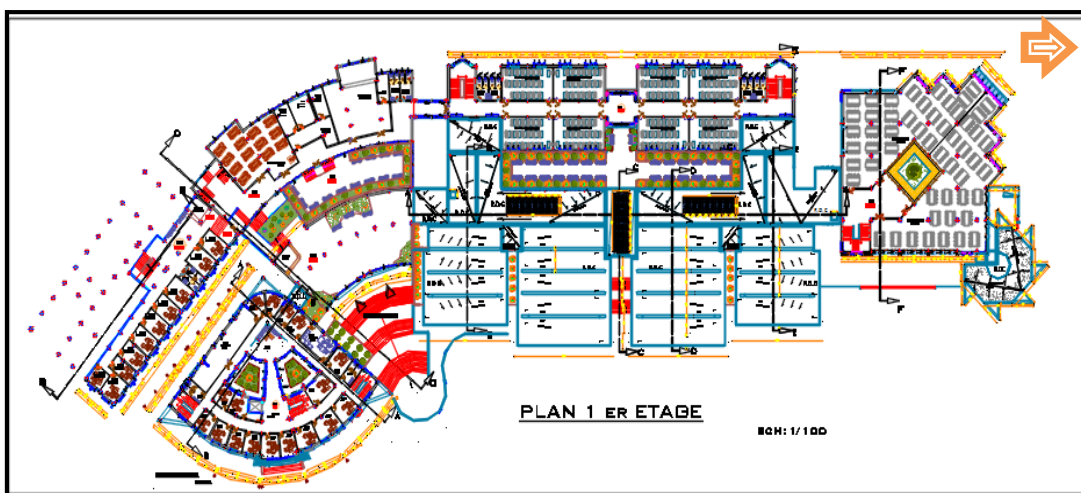


Figure 124: Plan 1er étage du campus. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M.

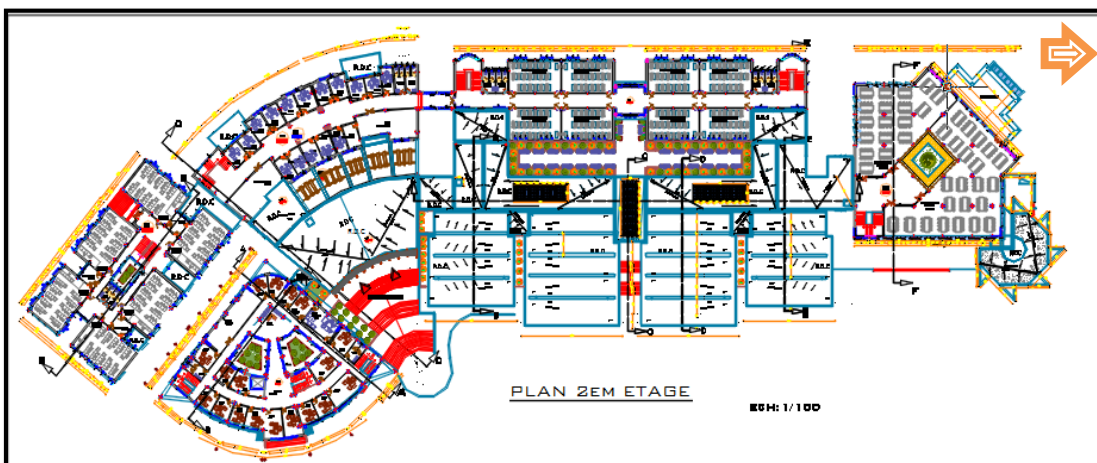


Figure 125: Plan 2ème étage du campus. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M.

Chapitre 04 : Etape de projet: Site, analyse, programmation et intervention

Le plan 1^{er} étage contient l'administration, les salles de classe, la bibliothèque et les bureaux des enseignants de plus.

Le Plan 2^{ème} étage contient les laboratoires de plus que les espaces dans l'étage précédent.

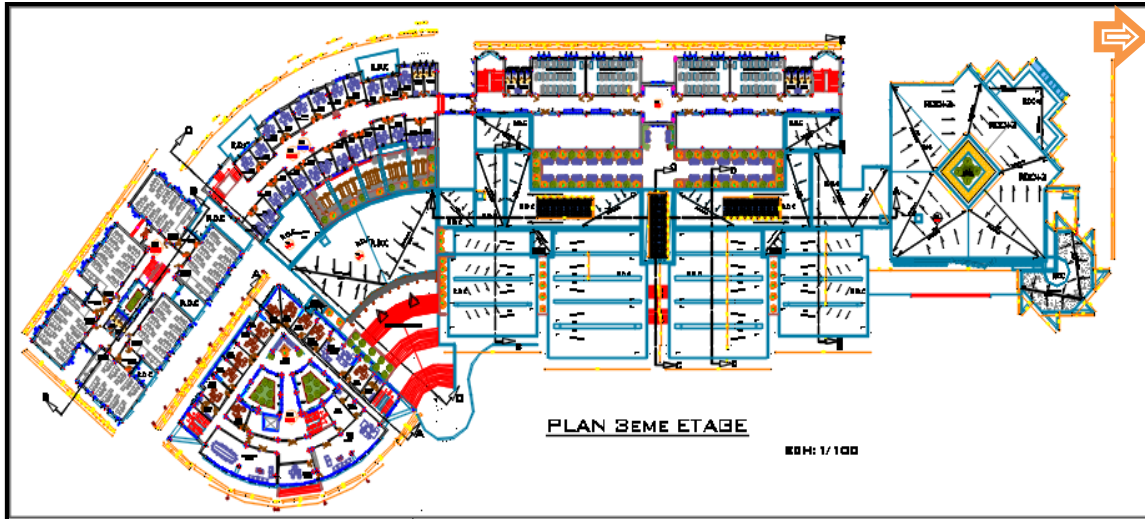


Figure 126: Plan 3ème étage du campus. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M.

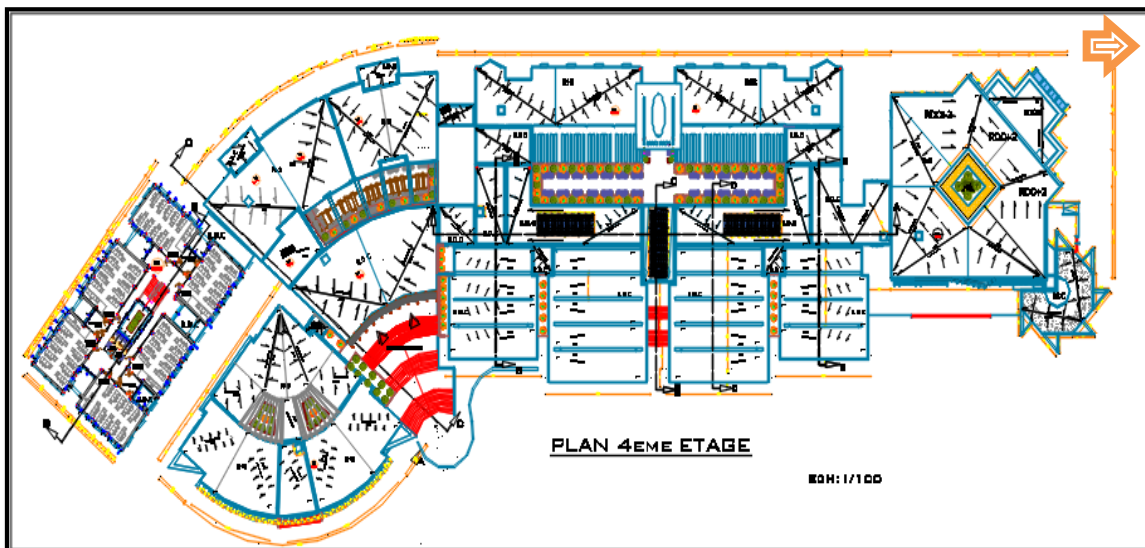


Figure 127: Plan 4ème étage du campus. Source : Bureau d'étude C.E.T.A.M.

Il y'a que les laboratoires qui montent au 4^{ème} étage.

IV.3 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 »⁹⁸

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.

Le programme est la dimension arithmétique de quantification pour constituer un véritable cadre objectif pour la conception architecturale en définissant les rôles et les buts de l'équipement ; en hiérarchisant et regroupant les activités.

IV.3.1 Objectifs de la programmation :

Évaluer les performances fonctionnelles, environnementales, techniques, que doit atteindre le bâtiment, les conditions opérationnelles (délais, coûts, procédures, ...) et d'exploitation qui doivent précéder à sa réalisation et à sa vie future.

IV.3.2 Le programme retenu :

Unité	Espace	Exemple 1 (Alger)		Exemple 2 (Guelma)		Programme retenue	
		Nombre	surface	Nombre	surface	Nombre	surface
Amphi-théâtre	Amphithéâtre 500 place	3	535	/	/	1	500
	Amphi théâtre 300 place	7	325	2	324	2	360
	Amphi théâtre 200 place	/	/	4	235	3	260
Restaur-ant	Restaurant 700 place	1	1000	/	/	1/400pp	580
	Cuisine	1	395	/	/	1	180

⁹⁸ Cahier de l'EPAU n°2-3 1993, «programmation et conception en architecture» ; essais méthodologiques », M. Azouz ; enseignant à l'EPAU.

Chapitre 04 : Etape de projet: Site, analyse, programmation et intervention

	Cafétéria	2	250	/	/	1	200
Salle pédagogique	Salle de TD	43	65	04	61	24	45
	Salle de classe	50	68	14	61	24	60
Laboratoires	Salle de TP	35	100	18	98	18	90
	S. préparation	30	14	50	15	18	18
	S. réserve	30	15	10	16	9	25
	Bureau d'enseignants	43	12	35	15	24	23
	Bureau chef service et secrétaire	30	13	/	/	/	/
Espaces repos	Clinique	5	140	1	80	3	60
	Foyer	3	100	1	146	3	60
	Espace média	3	100	1	142	3	60
Bibliothèque	Salle de lecture pour étudiant	1	1500	2	300	3	250
	Salle de lecture pour enseignants	1	700	1	400	3	100
	Salle des revues et périodiques	2	535	1	256	1	300
	Salle de stockage des livres	2	195	1	500	2	200
	Espace de prêt des livres	2	45	1	40	2	45
	Espace internet	1	200	1	240	1	200

Adminis tration	Bureau gestionnaire	14	16	5	16	8	16
	Salle de réunion	2	40	1	84	1	80
	Bureau	24	13	20	20	6	16
Annexes	Dépôt- atelier	5	295	/	/	2	40
	Dépôt	4	29	1	70	5	20
	Chambre personnelle	4	22	/	/	/	/
	Local technique	2	315	/	/	1	180
	Salle de prière	/	/	/	/	2	30
	Hall d'exposition	/	/	/	/	1	250
	Salle de reprographie	/	/	1	69	3	60

Tableau 5: Le programme retenu de la faculté des sciences médicales.

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.

Ainsi, pour assurer un meilleur rendement des systèmes actifs et passifs, il est nécessaire d'entamer une évaluation climatique et microclimatique tenant compte des conditions d'ensoleillement et de masque d'environnement.

De plus, 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.4 Genèse et démarche du projet :

Le projet proposé : une faculté des sciences médicales, a proximité du pole universitaire et de la résidence Salah Yahya – Guelma - . Dans une assiette de 28 880 m² de surface.

IV.4.1 Objectifs :

- Concevoir une faculté a empreinte écologique.
- Assurer une conception solaire éco-responsable en intégrant les paramètres de l'architecture bioclimatique.

IV.4.2 Principes à suivre :

- Utilisation de système solaire passif (paramètres bioclimatiques) et le système solaire actif en intégrant des panneaux solaire.
- Minimiser la consommation énergétique,
- Une conception de Haute Performance énergétique,
- Opter une éco conception : - Bioclimatique
 - éco matériaux.
 - une éco-gestion des eaux pluviales et usées et déchets.

IV.4.3 Présentation de la méthode de conception :

La méthode utilisée pour la conception de l'idée de base du projet s'intitule « la métaphore».

Une métaphore intangible du Chromosome X qui soit le responsable de la détermination du sexe et l'identification des êtres humains.

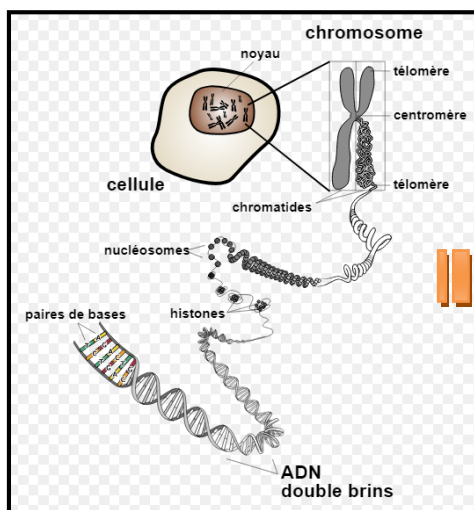


Figure 129: La composition du chromosome X.



Figure 128: Chromosome X.

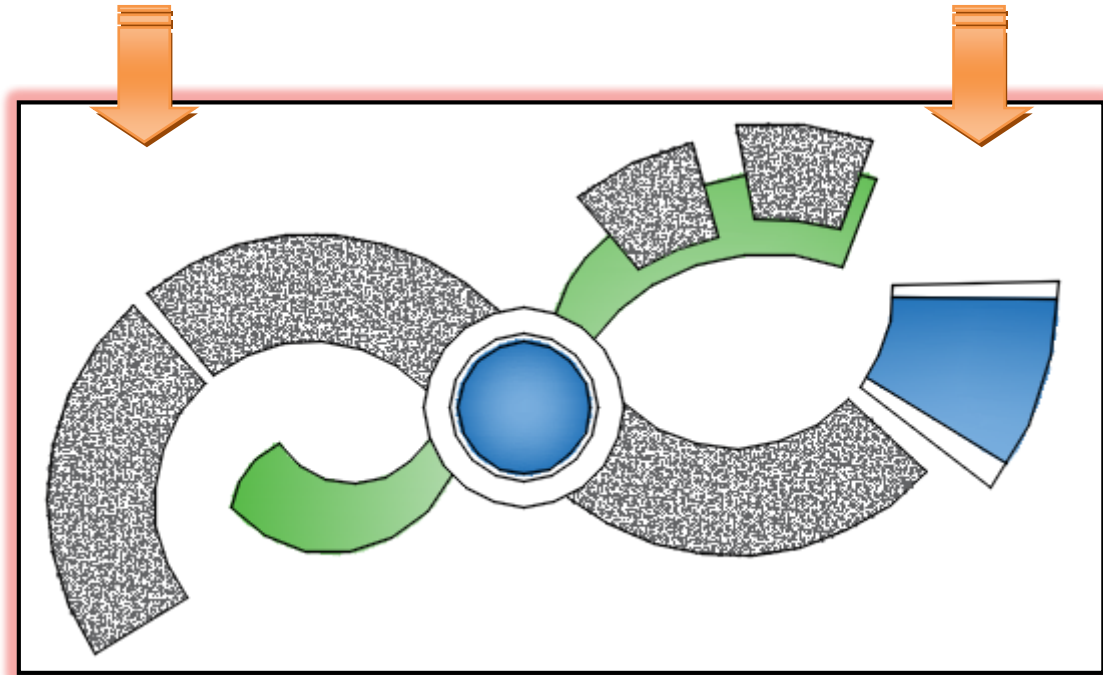


Figure 130: La forme finale obtenue par rapport à la métaphore du chromosome X.

➤ **Première étape : les axes principaux :**

La création d'un grand boulevard et d'une voie secondaire en plus de la voie secondaire déjà existante pour un renforcement d'accessibilité.

L'axe majeur : le boulevard de 20 m de largeur, sur lequel le projet est orienté.

L'exploitation de cet axe majeur par la construction d'une façade principale qui donne sur ce dernier pour enrichir le projet.

Les axes secondaires : contiennent des nœuds de repère de départ du projet. Il présente la vue axonométrique de tout le projet.

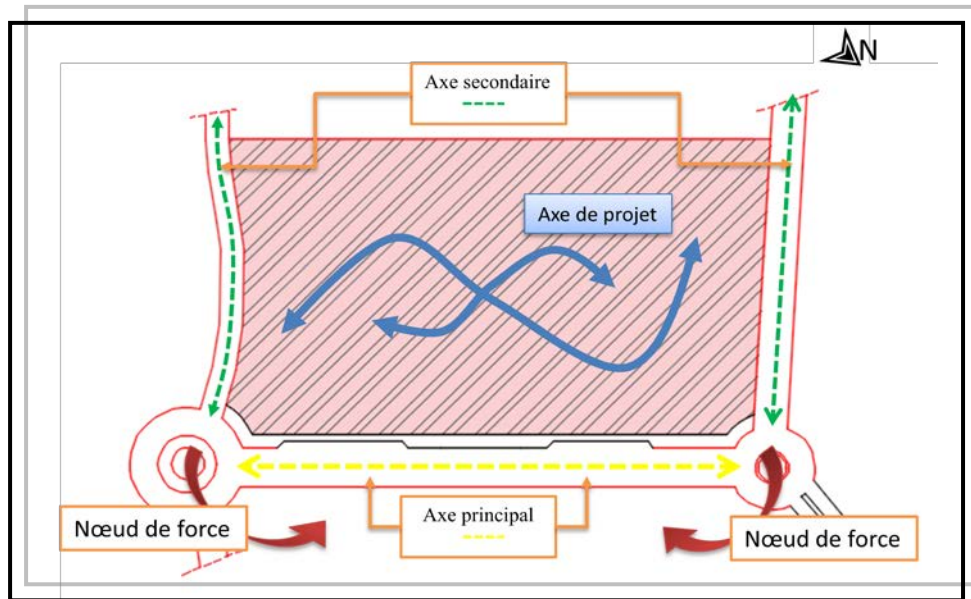


Figure 131: Schéma montrant les différents axes du projet. Source: Auteur.

➤ **Deuxième étape : les accès :**

Le projet est accessible par un accès majeur :

- Un accès principal qui contient l'entrée principale piétonne et l'accès mécanique vers les parkings, qui se caractérise par un flux mécanique assez important. Et un accès de service dans l'axe secondaire.

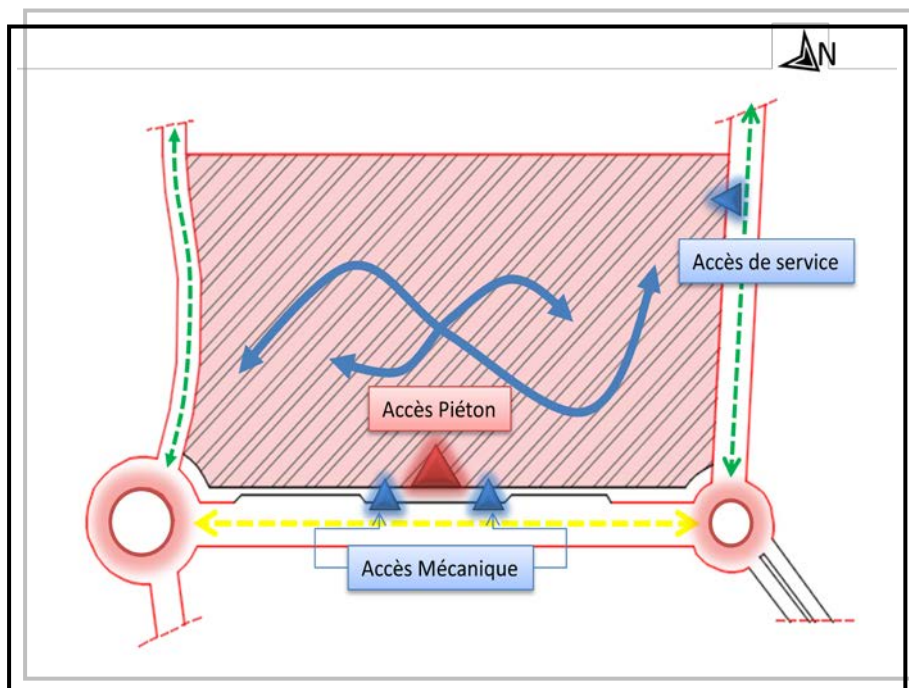


Figure 132: Schéma montrant les différents accès du terrain. Source: Auteur.

➤ **Troisième étape : Approche environnementale**

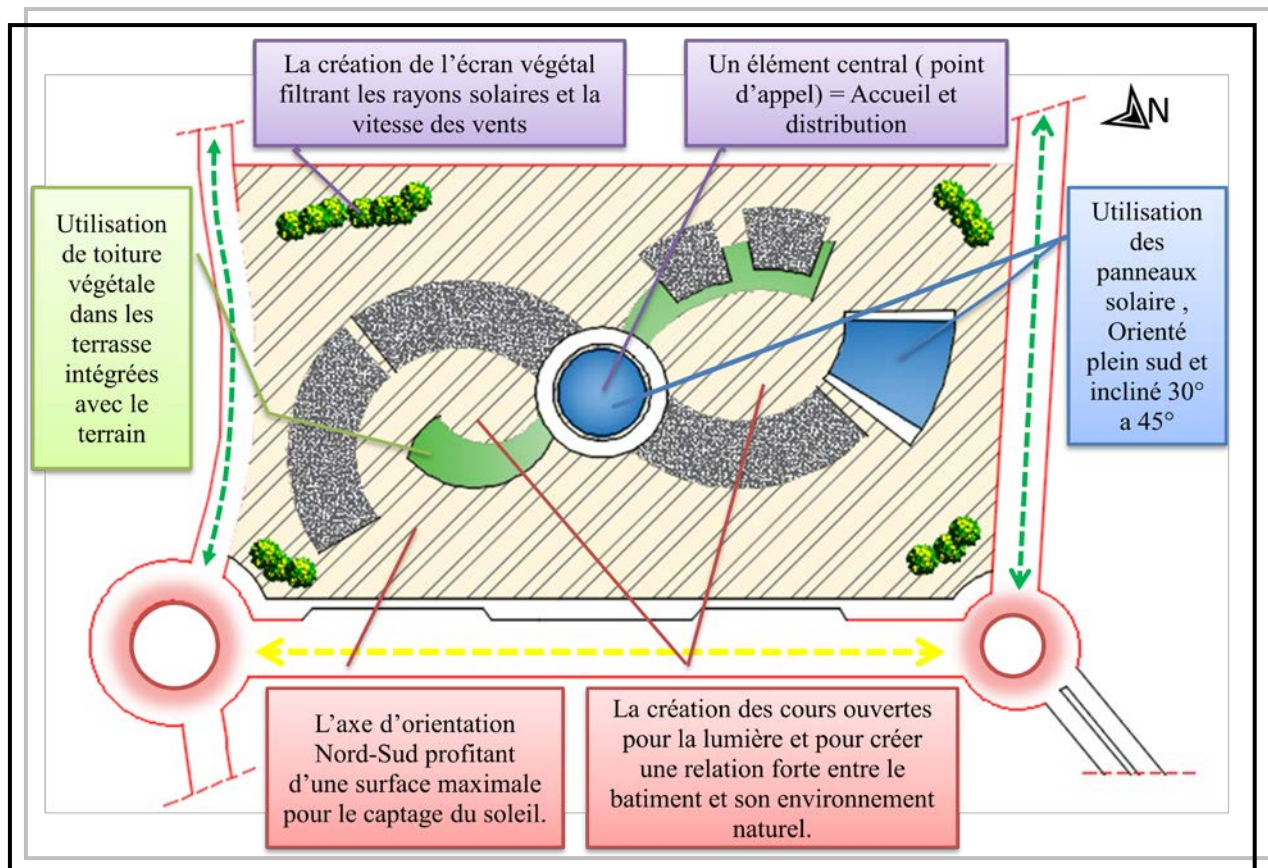
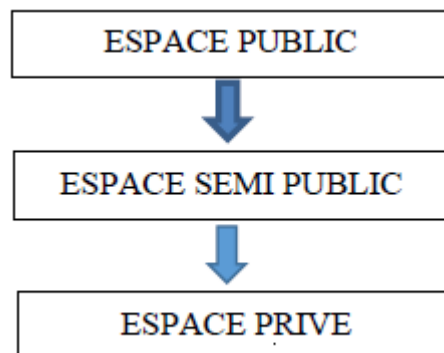


Figure 133: Schéma montant l'environnement et les différentes techniques écologiques intégrées. Source: Auteur.

➤ **Quatrième étape : Schéma de principe**

Le principe d'organisation spatiale est structuré suivant un mouvement de rotation et d'hierarchisation comme suit :



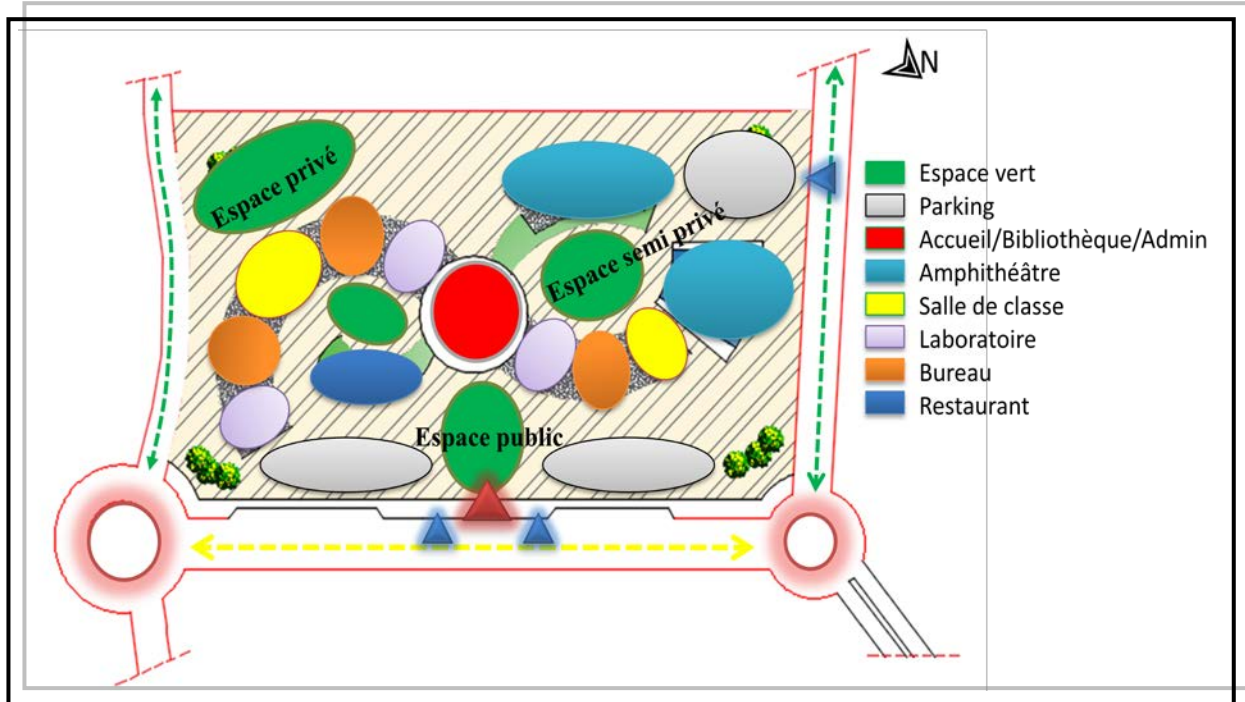


Figure 134: Schéma de principe du projet. Source: Auteur.

Conclusion générale :

Le long de cette étude, nous avons essayé de mettre en évidence l'efficacité de l'énergie solaire en tant que source énergétique renouvelable dans le processus du projet architectural.

Les enjeux énergétiques et climatiques à l'échelle mondiale nous révèlent une importante croissance de la consommation énergétique dont le secteur du bâtiment est considéré premier consommateur d'énergie et troisième émetteur de gaz à effet de serre.

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, les études scientifiques privilègent une transition impérative 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.

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 de l'énergie et sur le coût 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.

Conclusion générale

Dans cette optique, nous avons tenté d'effectuer une analyse d'efficacité énergétique des panneaux solaires sur notre cas d'étude par l'intermédiaire des outils d'analyse offertes par la simulation architecturale notamment avec le logiciel *TRNSYS*.

La simulation est effectuée d'abord sur un projet existant dans la ville de Guelma « la nouvelle faculté de médecine », les résultats obtenus après le calcul des bilans énergétiques de quelques salles de classe dans différents niveaux ont montré une consommation énergétique moyenne suivant le classement dans l'étiquette énergétique. La simulation des panneaux solaires nous a permis de constater que la quantité d'énergie générée par les panneaux solaires avec l'orientation sud peut couvrir la demande annuelle avec un important taux de rendement.

Bibliographie

Ouvrages :

1. Liebard, A., *Traité d'architecture et urbanisme*. France : L'observatoire des énergies renouvelable.
2. CHITOUR, Ch., (1991). *L'énergie- Les enjeux de l'an 2000*. Alger : Office des Publications Universitaires OPU, 359 p.
3. Amory, B., (1975). *Stratégie énergétique planétaire*. Paris : Christian Bourgeois.
4. Liebard, A., (2004). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique*. Paris : Le moniteur, 768 p.
5. Bell, R., (2007). *La bulle verte : La ruée vers l'or des énergies renouvelables*. Paris : Scali. 296 p.
6. Akbari & al., (1992). *Cooling our communities - a guibook on tree planting and light colored .U S* : Environmental Protection Agency. Office of policy Analysis. Climate change Division. Berkeley Laboratory, 217 p.
7. Fernandez, P & Lavigne, P., (2009). *Concevoir des bâtiments bioclimatiques*. Paris : Le moniteur, 430 p.
8. Mazria, E., (1981). *Guide de l'énergie solaire passive*. France : Parenthèses, 339 p.
9. Izard, J-L., (1993). *Architectures d'été, construire pour le confort d'été*. France : Edisud, 141 p.
10. GIVONI, B., (1978). *L'homme, l'architecture et le climat*. Paris : Le Moniteur, 460 p.
11. Mazouz, S. (2004). *Éléments de conception Architecturale*. Alger : OPU. 272 p.
12. OLGYAY, V., (1963). *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*. U.S.A : Princeton university press, 190 p.
13. SZOKOLAY, S-V., (1979). *Environmental science handbook for architects and builder*. LACASTRE, LONDON, NEW YORK: THE CONSTRUCTION PRESS.
14. ESTIENNE, P et GODARD, A., (1970). *Climatologie*, Paris: Edition Armand Colin.

Revues :

1. Centre d'analyse stratégique Français, (2010). « Choix Energétique dans l'immobilier résidentiel » n°172.
2. AOUDIA, M-T., (2009). « 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 ; P4

3. S, Assyl., (2004). Revue de SONATRACH. Réseau N°3. P30
4. Matagne, P., (2003). « Aux origines de l'Étapos ; écologie, Innovations ». n°18, 31-32pp
5. Abdulac, S & Pinon, P., (1973). «Maisons en pays islamiques : modèles d'architecture climatique ». *L'architecture d'aujourd'hui*. Paris: Group expansion. N°167. 14-15 pp.
6. DEMERS, C & POTVIN, A., (2004). « *Le chauffage solaire passif comme stratégie bioclimatique* ». Esquisses. Ordre des Architectes du Québec.
7. Zondag, H- A & al., (2003). « The yield of different combined PV-thermal collector designs ». *Solar Energy*. Vol 74. 253-269 pp.
8. Antonio, M., (2004). « *Les énergies renouvelables au Maroc* ». Maroc: CDER (Centre de Développement des Energies Renouvelables).
9. Probst, M & al., (2012). *UNI-SOLAR*.

Thèses et mémoires :

1. KERMICHE, H & BECETTI, M., (2010). « *Essai d'élaboration d'un rapport de développement durable SELON LE STANDARD GLOBAL REPORTING INITIATIVE* ». Mémoire de licence. Ecole supérieure de commerce. Algérie. [En ligne] ['https://www.memoireonline.com/'](https://www.memoireonline.com/)
2. Toudert, A., (2000). « *Intégration dimension climatique en urbanisme* ». Mémoire de magister. Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme. Alger.
3. Medjelekh, D., (2006). « *Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment* ». Mémoire de magister. UNIV MENTOURI de Constantine.
4. Emilie, B., (2013). « *Éléments de conception architecturale* ». Mémoire de magister. UNIV Québec. Canada.
5. GAGNON, Sh., (2012). « *ÉNERGIE SOLAIRE ET ARCHITECTURE : Les outils numériques et leur utilisation par les architectes pour la conception solaire* ». Mémoire de maitre en science. UNIV LAVAL. QUÉBEC.
6. DILLMAN, D., (2014). « *Architecture solaire passive et réhabilitation* ». Mémoire de master. Ecole nationale supérieure d'architecture de la ville et des territoires à Marne la vallée.
7. Talal, S., (2007). « *Intégration des composants solaires thermiques actifs dans la structure bâtie* ». Thèse de doctorat. L'Institut National des Sciences Appliquées. Lyon.
8. BENAMRA, M., (2013). « *Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale* ». Mémoire de magister. UNIV Mohamed KHIDER. BISKRA.

9. Houpert, S., (2003). « *Approche inverse pour la résolution de contraintes solaires et individuelles dans le projet architectural et urbain* ». Thèse de doctorat. École d'architecture de Nantes.

Articles :

1. BENTOUBA.S. (2006). « Les énergies renouvelables dans le cadre d'un développement durable en Algérie willayas du grand sud exemple » article Centre Universitaire de Béchar - Algérie, P11- 12.

Documents gouvernementaux :

1. Inter- governmental Panel on Climate Change, IPCC. [En ligne] <http://www.ipcc.ch/>

2. Ministère de l'Énergie et des Mines, « *Consommation énergétique finale de l'Algérie* » [En ligne] www.aprue.org.dz.

3. Le 4ème rapport du GIEC annonce un 90% de certitude contre 66% de certitude présenté dans le 3ème rapport de 2001

4. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 5^e rapport d'évaluation (2013).

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

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

7. SOeS., (2011). *Chiffres clés de l'énergie*. Chiffres de consommation 2010.

8. 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.

9. Union européenne., (2012). « *L'investissement dans les énergies renouvelables crée des emplois* ».

10. Association Nationale pour l'Architecture Bioécologique. Italie

11. American Institute of Architects, 1982.

12. L'union sociale pour l'habitat., (2013). « *Guide Intégration du photovoltaïque dans une opération de logement social* ». P9.

Rapports d'étude :

1. Guide pratique. (2016). « *La pollution de l'air extérieur* ».P2 [En ligne] <http://www.ademe.fr>

2. Guide en ligne. « *Changement climatique et énergie ‘ de quoi parle-t-on ?* » [En ligne] <http://www.ademe.fr>

Bibliographie

3. MAHIEU, E., (2006). Avec la collaboration de THEATE.P et BRAHY.B, dossier scientifique, AIR2 La destruction de la couche d'ozone, chapitre 9 : L'air et le climat P1.
4. Rapport spécial du GIEC et du GETE, (2005), *Préservation de la couche d'ozone et du système climatique planétaire: Questions relatives aux hydrofluorocarbures et aux hydrocarbures perfluorés*, P5
5. YACEF, A., (Avril 1997). Séminaire sur « L'économie de l'énergie ». Alger.
6. JACQUOT, J., (2001). *Energies renouvelables pour l'habitat*.
7. RECAUT, A., (2011). « *Système photovoltaïque* ». Ecole polytechnique Savoie. P152
8. BEGUIN, D., (Février 2006). « *Guide de l'éco-construction* » Agence Régionale de l'Environnement en Lorraine, ADEME. P23. [En ligne] <http://www.ademe.fr>.

Cours :

H-B, BRAHIM, Environnement et développement durable, P32

Dictionnaires :

1. Vocabulaire de l'environnement Hachette. (1972). Paris. P48
2. Dictionnaire environnement et développement durable [En ligne] <http://www.dictionnaire-environnement.com/>

Sites web :

1. Peeters, V., (2010). [En ligne] <http://www.legrenelle-environnement.fr>.
2. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie [En ligne] <http://www.ademe.fr>.
3. Mémoire online (200-2010) [En ligne] <https://www.memoireonline.com/>
4. Photovoltaïque Info : toute information sur le photovoltaïque. [En ligne] <http://www.photovoltaique.info/>
5. Enerray : [En ligne] <https://www.enerray.com/>
6. MUCK, D., « capteurs solaire thermiques », COGESOL. [En ligne] <http://www.cogesol.be/>
7. IPCC. [En ligne] <http://www.ipcc.ch/>.