

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : **Architecture**

Spécialité : **Architecture**

Option : **Architecture, environnement et technologie**

Présenté par : FNIDES Ghada

**Titre : Vers une démarche énergétique pour la conception d'un
équipement culturel.**

Sous la direction de : Mr. BELOUADEH Naceur

Juillet 2021

Dédicace

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

*Mes chers parents pour leur patience, leur amour, leur soutien, et leur
encouragement.*

Mes frères : MOHAMED EL AMINE et ABDELLAH

*Sans oublier mes amies et camarades pour leur soutien, et leurs
Compréhensions.*

Je vous dis MERCI

FNIDES Ghada

Remerciement

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

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

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

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

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

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

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

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

RÉSUMÉ

Ces dernières décennies les résultats des recherches environnementales ont montré que notre planète est en danger.

Non seulement l'environnement est en dégradation mais aussi les ressources naturelles sont épuisées. La pollution causée par l'homme dans toutes ces sortes (air, sol, eau etc..) menace notre environnement.

Le réchauffement climatique est l'un des plus graves conséquences. Il représente un vrai risque pour l'humanité et pour la nature.

Il y a une destruction des écosystèmes de notre terre. Pour trouver une solution au problème de la pollution et ses méfaits néfastes ou pour au moins la diminuer il faut exploiter d'autres énergies renouvelables, propres et durables telle que l'énergie solaire, hydraulique, biomasse, éolienne, géothermique etc...

Dans le cadre bâti il faut penser à une optique plus écologique comme l'énergie solaire qui est primaire et représente une alternative privilégiée et elle est abondante en Algérie. En appliquant ce genre d'énergie on réduit la consommation des énergies fossiles (pétrole, Gas, Carbon etc...).

Grâce à l'intégration de l'énergie solaire dans le processus de conception architecturale on aboutira sans doute à une architecture écologique et économique.

En Algérie, cette ressource naturelle n'a pas été vraiment exploitée. Alors dans notre étude nous essayons de montrer son application dans le secteur bâtiment et voir son efficacité.

Notre projet est un centre de loisirs scientifique dans lequel nous appuyions sur la simulation architecturale comme moyens méthodologiques d'évaluation et d'estimation. Ce choix énergétique basé sur l'étude des différents dispositifs conceptuels des panneaux solaires confirme que ces panneaux photovoltaïques peuvent répondre aux besoins thermiques et énergétiques et le résultat de notre bâtiment sera une réalisation favorable.

Mots clés : Architecture écologique, énergie solaire, architecture solaire, efficacité énergétique.

Abstract

In recent decades, the results of environmental research have shown that our planet is in danger.

Not only is the environment degraded, but also natural resources are depleted. Human-caused pollution of all kinds (air, soil, water, etc.) threatens our environment.

Global warming is one of the most serious consequences. It represents a real risk for humanity and for nature.

There is a destruction of the ecosystems of our earth. To find a solution to the problem of pollution and its harmful effects or at least to reduce it, we must exploit other renewable, clean and sustainable energies such as solar, hydraulic, biomass, wind, geothermal energy etc.

In the built environment, we must think of a more ecological perspective such as solar energy which is primary and represents a privileged alternative and it is abundant in Algeria. By applying this kind of energy, we reduce the consumption of fossil fuels (oil, gas, carbon, etc.). Integrating solar energy into the architectural design process will undoubtedly lead to ecological and economical architecture.

In Algeria, this natural resource has not been really exploited. So in our study we try to show its application in the building sector and see its efficiency.

Our project is a scientific recreation center in which we rely on architectural simulation as methodological means of evaluation and estimation. This energy choice based on the study of the different conceptual devices of solar panels confirms that these photovoltaic panels can meet thermal and energy needs and the result of our building will be a favorable achievement.

Keys words: ecological architecture, solar energy, solar architecture, energy efficiency, simulation

الملخص

أظهرت نتائج الأبحاث البيئية في العقود الأخيرة أن كوكبنا في خطر. لا تتدهور البيئة فحسب ، بل يتم أيضاً استنفاد الموارد الطبيعية. يهدد التلوث البشري بجميع أنواعه (هواء ، تربة ، ماء ، إلخ) بيئتنا.

الاحتباس الحراري هو واحد من أخطر العواقب. إنه يمثل خطراً حقيقياً على البشرية والطبيعة. هناك تدمير للنظم البيئية لأرضنا. لإيجاد حل لمشكلة التلوث وآثاره الضارة أو على الأقل للحد منه ، يجب علينا استغلال الطاقات المتجددة والنظيفة والمستدامة الأخرى مثل الطاقة الشمسية والهيدروليكية والكتلة الحيوية وطاقة الرياح والطاقة الحرارية الجوفية ، إلخ ...

في البيئة المبنية ، يجب أن نفكر في منظور بيئي أكثر مثل الطاقة الشمسية التي تعتبر أساسية وتمثل بديلاً متميزاً وهي متوفرة بكثرة في الجزائر. من خلال تطبيق هذا النوع من الطاقة ، فإننا نحد من استهلاك الوقود الأحفوري (النفط والغاز والكرتون وما إلى ذلك).

إن دمج الطاقة الشمسية في عملية التصميم المعماري سيؤدي بلا شك إلى هندسة معمارية بيئية واقتصادية. في الجزائر ، لم يتم استغلال هذا المورد الطبيعي حقاً. لذلك نحاول في دراستنا أن نظهر تطبيقه في قطاع البناء ونرى كفاءته.

مشروعنا هو مركز ترفيهي علمي نعتمد فيه على المحاكاة المعمارية كوسائل منهجية للتقييم والتقدير. يؤكد اختيار الطاقة هذا المستند إلى دراسة الأجهزة المفاهيمية المختلفة للألواح الشمسية أن هذه الألواح الكهروضوئية يمكنها تلبية الاحتياجات الحرارية والطاقة وستكون نتيجة بنايتنا إنجازاً إيجابياً.

الكلمات المفتاحية: العمارة البيئية، الطاقة الشمسية، العمارة الشمسية، كفاءة الطاقة، المحاكاة

SOMMAIRE

<i>Dédicace</i>	II
<i>Remerciement</i>	III
RÉSUMÉ	IV
Abstract	V
الملخص	VI
SOMMAIRE	VII
Liste des figures :	X
Liste des tableaux	XIV
Introduction générale	1
Problématique	1
Hypothèses	2
Objectifs	2
Structure de mémoire :	3
Méthodologie	4
CHAPITRE I : Démarche énergétique : pour une architecture consciente à l'énergie	
Introduction :	5
I.1 L'Architecture solaire : notions et concepts.....	5
I.1.1 Définition de l'architecture solaire :.....	5
I.1.2 Le principe de l'architecture solaire :.....	7
I.1.3 Les formes de l'énergie solaire :.....	7
I.1.4 Les systèmes solaires actifs :.....	12
I.2. Les types de capteurs solaires thermiques :.....	14
I.2.1. Capteurs solaires plans :.....	14
I.2.2 Capteurs solaires à concentration :.....	15
I.2.3 Système solaire photovoltaïque :.....	16
I.3. La conception de l'architecture solaire :.....	19
I.3.1. La Conception d'un projet architectural solaire :.....	19
I.3.2. Types de conception des panneaux solaires :.....	20
I.3.3. Démarche d'intégration :.....	21
I.4. Les Capteurs au sol.....	26

I.4.1. Conditions d'efficacité énergétique :	26
I.5. Exemples d'architecture solaire intégrant des systèmes solaires passifs et actifs.	28
I.5.1. Habitation Imagine Rommen, Norvège :	28
I.5.2. Laboratoire d'énergie Xelios, Italie :	28
I.5.3. Siège social Tobias Grau, Allemagne :	29
Conclusion :	29

CHAPITRE II : Les équipements culturels

Présentation du thème :	30
II.1 Définition des notions de base :	30
Introduction :	30
II.1.1. La notion de Loisir : Selon J. Dumazedier :	30
II.1.2. La notion de « la science » :	30
II.1.3. La notion de « culture » :	30
II.2 Le loisir et la culture Scientifique :	31
II.3 Objectifs d'un centre de loisir et la culture scientifique :	31
II.4. L'historique de CLS :	31
II.5. Les CLS en Algérie :	32
II.6. Les valeurs de CLS :	33
Conclusion :	33

CHAPITRE III : ANALYSE DES EXEMPLES

Introduction :	32
III.1. Choix des exemples :	32
III.1.1. Connecticut science center Hartford USA :	32
III.1.2. Le vaisseau, centre de culture scientifique, technique et industrielle, Strasbourg France :	32
III.1.3. Centre de loisir scientifique à Ghardaïa :	32
III.2. Connecticut science center, Hartford, états unis :	33
III.2.1. Présentation du projet :	33
III.2.2. Etude architecturale :	35
Synthèse :	39
III.3. CENTRE DE LOISIRS SCIENTIFIQUE DE MAGNAVILLE :	41
III.3.1. Présentation du projet :	41
SYNTHESE :	55
CONCLUSION :	56

CHAPITRE IV : Présentation de cas d'étude

Introduction	59
IV.1. Analyse de site d'intervention.....	59
i. Motivation de choix.....	59
IV.1.1 Présentation de la ville	59
IV.1.1.1 Situation géographique de la ville de Guelma.....	59
IV.1.1.2. Contexte géographique.....	60
IV.1.1.3. Analyse climatique de la ville Guelma.....	60
IV.1.2 Analyse bioclimatique de la ville de Guelma.....	66
IV.1.2.1 Application de la méthode de S. Szokolay	66
IV.1.2.2 Les tables de Mahoney	67
IV.1.3 Analyse de site	68
IV.1.3.1 Présentation et délimitation de terrain.....	68
IV.1.3.2 Analyse physique du site	69
IV.1.4 Analyse microclimatique du terrain	71
IV.1.4.1 Ensoleillements	71
IV.1.4.2 Vents dominants	71
IV.1.5 Synthèse et critères de choix	72
IV.2 Programmation.....	73
IV.2.1 Objectifs de la programmation	73
IV.2.2 Programme retenu	73
Synthèse et recommandations	75
IV.3 Genèse et démarche de projet	76
IV.3.1 Objectifs	76
IV.3.2 Principes à suivre	76
IV.3.3 Schéma de principe	76
• La genèse de la forme	76
• Approche environnementale.....	77
Conclusion générale	79
Bibliographie :	81

Liste des figures :

Figure 01 : Types des systèmes solaires classés selon différents besoins pour le bâtiment.	6
Figure 02 : besoin du bâtiment vs technologies solaires disponibles	6
Figure 03 : Schémas représentant différents compositions d'ouvertures vues en coupe.	8
Figure 04 : La Réfrigération et le chauffage solaires passifs	9
Figure 05 : Représentation schématique des quatre principes du chauffage solaire passif.	9
Figure 06 : Mur trombe de la bibliothèque des sciences de l'université de Versailles.	11
Figure 07 : Schéma du système solaire thermique.	12
Figure 08 : Schéma représentant les composants de la production d'eau chaude sanitaire.	13
Figure 09 : Schéma représentant le circuit de fonctionnement du système solaire thermique.	13
Figure 10 : Schéma de la technologie solaire thermique.	14
Figure 11 : Schéma représentant le fonctionnement du capteur solaire à air.	14
Figure 12 : Le concentrateur parabolique.	15
Figure 13 : Le central à tour.	15
Figure 14 : La technologie des capteurs solaire photovoltaïques.	16
Figure 15 : de la cellule solaire au système photovoltaïque.	17
Figure 16 : Schéma montrant l'effet photovoltaïque.	17
Figure 17 : Schéma d'installation photovoltaïque raccordé au réseau.	19
Figure 18 : La façade est dotée de volets coulissants motorisés en panneaux photovoltaïques.	19
Figure 19 : les réalisations en opposition des ouvrages existants	20
Figure 20 : Les réalisations en intégration des nouveaux ouvrages.	21
Figure 21 : Intégration des capteurs en toiture incliné.	22
Figure 22 : Intégration des capteurs en toiture terrasse.	23
Figure 23 : Intégrations des capteurs en façade	24
Figure 24 : Les capteurs solaires en garde-corps et en allège.	25
Figure 25 : Les capteurs solaires en brise soleil	25
Figure 26 : Les capteurs solaires en décrochement de façade.	25
Figure 27 : Influence de l'orientation et l'inclinaison sur le rendement.	27

Figure 28 : Habitation Imagine Rommen, Norvège.	28
Figure 29 : Laboratoires d'énergie Xelios, Italie (Studio Marco Acerbes).	29
Figure 30 : Siège social Tobias Grau, Allemagne.	29
Figure 31 : Objectifs de CLS	31
Figure32 : Historique des CLS.	32
Figure 33 : Le Connecticut science center.	35
Figure 34 : vue montrant les limites du projet.	36
Figure 35 : vue sur le Connecticut science center	37
Figure 36 : Vue sur le théâtre de verdure	37
Figure 37 : Vue sur le parc urbain	37
Figure 38 : Plan masse du centre de science	38
Figure 39 : les accès CT science center	38
Figure 40 : Pont piétonnier reliant le projet au phoenix building	38
Figure 41 : Pont piétonnier reliant le projet au centre de congrès	38
Figure 42 : les différents volumes de projet	39
Figure 43 : vue sur le mur incliné de la façade Est	39
Figure 44 : plate-forme d'observation	39
Figure 45 : Façade ouest du projet	40
Figure 46 : Façade ouest du projet	40
Figure 47 : vue sur la façade est la nuit	41
Figure 48 : vue sur la façade est	41
Figure 49 : image montrant les différents niveaux du projet	41
Figure 50 : plan du parking	42
Figure 51 : la circulation du Science center	42
Figure 52 : la structure mixte du Science center	42
Figure 53 : système photovoltaïque sur le mur sud de projet	43
Figure 54 : toit végétalisé	43
Figure 55 : proposition de César Pelli pour le concours	43
Figure 56 : le projet CLS	44
Figure 57 : carte avec la situation de Magnanville en France,	45
Figure 58 : vue aérienne avec la situation Du CLS de Magnanville,	45
Figure 59 : la maison de l'enfance	46
Figure 60 : vue aérienne du projet avec les limites	46

Figure 61 : la maison de l'enfance	46
Figure 62 : vue extérieur du projet	46
Figure 63 : vue extérieur du projet	46
Figure 64 : vue aérienne du projet avec les zones	46
Figure 65 : Le projet	47
Figure 66 : L'école des Cytises	47
Figure 67 : L'école des Tilleuls	47
Figure 68 : L'école des Marronniers	47
Figure 69 : lycée agricole Sully	47
Figure 70 : lycée Léopold Seder- Senghor	47
Figure 71 : Stade des érables	48
Figure 72 : terrain de tennis municipal	48
Figure 73 : la salle de sport	48
Figure 75 : la Salle Gymnase régional	48
Figure 76 : vue aérienne du projet avec l'accessibilité	48
Figure 77 : Plan de masse	49
Figure 78 : Plan de masse	50
Figure 79 : photo d'une habitation	51
Figure 80 : la volumétrie	51
Figure 81 : patio à l'entrée du bâtiment	51
Figure 82 : la façade Nord-Est	51
Figure 83 : les petites fenêtres de la façade,	52
Figure 84 : la façade Sud-Est	52
Figure 85 : la façade sud-ouest	53
Figure 86 : la façade sud-ouest	53
Figure 87 : la façade NORD-OUEST	54
Figure 88 : la façade à la cour de réalisation	54
Figure 89 : mélèze de la façade	54
Figure 90 : plan RDC du bâtiment	55
Figure 91 : Schéma d'organisation des espaces	55
Figure 92 : plan RDC du bâtiment avec l'éclairage	56
Figure 93 : patio à l'entrée du bâtiment	56
Figure 94 : patio à l'entrée du bâtiment	56

Figure 95 : plan RDC du bâtiment avec la circulation	57
Figure 96 : organigramme spatiaux	57
Figure 97 : Schéma d'organisation des espaces	58
Figure 97 : Vue extérieur des panneaux OSB	58
Figure 98 : image d'un Un panneau OSB	58
Figure 99 : Vue intérieur de la structure en bois	58
Figure 100 : consultation internet	60
Figure 101 : bibliothèque	60
Figure 102 : Librairie	60
Figure 103 : Médiathèque	60
Figure 104 : Espace de jeux	62
Figure 105 : La salle de spectacle	62
Figure 106 : Hall d'exposition	62
Figure 107 : Les différents ateliers	62
Figure 108 : Cafétéria	62
Figure 109 : La situation géographique de la ville de Guelma.	65
Figure 110 : La classification du climat de la ville de Guelma.	66
Figure 111 : Graph des variations des températures mensuelles en 2016	66
Figure 112 : Graph de variations des précipitations mensuelles en 2016.	67
Figure 113 : Graph de variation de vitesse des vents mensuelle.	67
Figure 114 : La rose du vent dans les 4 saisons de la wilaya de Guelma (Météonorm 7 + Climat).	68
Figure 115 : Variation de durée d'insolation mensuelle.	69
Figure 116 : Le digramme ombrothermique de Guelma	69
Figure 117 : Le diagramme frontal de Guelma.	70
Figure 118 : Le diagramme polaire de Guelma montrant la zone de surchauffe.	71
Figure 119 : Le diagramme psychrométrique de Guelma.	72
Figure 120 : situation du terrain.	73
Figure 121 : la situation du terrain par rapport au pos.	73
Figure 122 : Le tissu urbain du terrain.	74
Figure 123 : forme et surface du terrain.	75
Figure 124 : coupe topographique du terrain	75
Figure 125 : La course solaire pendant les 3 sollicités (21 décembre, 21 mars, 21	

juin).	76
Figure 126 : étude d'enseiillement pendant les 3 sollicitent par le logiciel Ecotect.	76
Figure 127 : La direction des vents dominants.	77
Figure 128 : Processus de métaphore	81
Figure 129 : la forme finale obtenu / métaphore.	81
Figure 130 : Schéma montrant l'environnement et les différentes techniques écologiques intégrées.	82
Figure 131 : structure d'un toit jardin	83

Liste des tableaux

Tableau 01 : les avantages et les inconvénients du projet	59
Tableau 02 : Hauteur et azimut du soleil (Guelma).	70
Tableau 03 : Programme retenu	78

Introduction générale

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

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

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

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

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

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

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

Problématique

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique. Cette vision du gouvernement algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain. Grâce à la combinaison des initiatives et des intelligences,

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

l'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable.

De par sa position géographique, l'Algérie est la mieux exposée au soleil, ce qui lui donne une place idéale pour capter cette énergie renouvelable et inépuisable qui pourra lui donner comme appellation la capitale mondiale des CDD (capitale du développement durable).

Comment peut-on montrer l'efficacité de l'énergie solaire en tant que source énergétique renouvelable dans le processus de la production architecturale ?

La ville de Guelma possède une grande capacité de jeunesse, touristique, culturelle et scientifique grâce à ses équipements, parmi eux nous avons les centres de loisirs scientifiques qui reçoivent un nombre important d'utilisateurs (enfant et adultes) offrent une occasion de créer un pont entre la population et la culture d'une manière motivante. Cette catégorie d'équipements est généralement considérée comme énergivore².

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

Comment pouvons-nous optimiser la consommation énergétique dans les centres de culture scientifique ?

Hypothèses

- Nous pouvons adopter une démarche solaire dans la conception des CLS à Guelma, pour une meilleure optimisation énergétique.
- Les panneaux solaires peuvent constituer un dispositif conceptuel à intégrer dans le processus de conception architecturale à travers une approche solaire.

Objectifs

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

Les objectifs de ce travail sont :

- Valorisation de l'énergie solaire comme une solution stratégique pour développer une conception architecturale futuriste plus adaptée à son environnement.

² Chergui et Ben hamza, „conception bioclimatique d'un centre de loisir scientifique au sein d'un éco quartier à Ghardaïa“ mémoire fin d'étude de l'université Saad Dalab de Blida, 2018-2019.

Introduction générale

- Montrer l'importance de l'intégration des énergies renouvelables afin de s'inscrire dans une vision écologique du projet architectural à Guelma
- Offrir aux jeunes un espace de regroupement, d'échanges et de loisirs, un espace qui joint le plaisir à l'apprentissage.
- Vulgariser la science et inculquer la culture scientifique à travers des activités ludiques.
- Compléter la fonction éducative prépondérante dans la zone avec la proximité de plusieurs établissements scolaires ce qui facilite les éventuelles sorties pédagogiques.

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 énoncée dans les hypothèses. La seconde partie est une partie analytique mettant en examen notre cas d'étude. Globalement, cette étude est structurée en quatre chapitres comme suit :

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.

- Le premier chapitre, la recherche de la qualité énergétique vise à établir un équilibre harmonieux entre les bâtiments et leurs consommations d'énergie. Ce chapitre a pour but de comprendre ces termes, ses concepts ainsi que ses principes, qui sont des éléments déterminants de la réussite de notre recherche
- Le deuxième chapitre, rassemble des généralités sur l'architecture solaire et son intégration dans le projet architecturale, la performance énergétique et l'efficacité énergétique des panneaux solaires dans les équipements de haute consommation énergétique.
- Le troisième chapitre, il s'agit d'une analyse pour les centres de loisirs scientifiques et la programmation ainsi l'analyse du terrain.

Méthodologie

Après une analyse conceptuelle développée dans la partie théorique et après un dressement de l'état de l'art, nous avons adopté une approche bioclimatique qui permet de réduire la consommation énergétique de l'habitat en utilisant les techniques du solaire passif et actif.

CHAPITRE I :
**Démarche énergétique : pour une
architecture consciente à l'énergie**

Introduction :

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

Luis Fernandez Galiano, (1991).

L'Agence internationale de l'énergie (AIE) a encouragé et accéléré le développement d'une architecture solaire de haute qualité. Comme son nom l'indique, porte à la fois sur les qualités architecturales du bâtiment et sur l'intégration du solaire visant une haute performance énergétique³.

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

I.1 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.⁴

I.1.1 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.)

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) (Munari

³ EIA (2011). Annual Energy Outlook, DOE/EIA-0383, 2011

⁴ Emilie.B, 'éléments de conception architecturale', mémoire de magister de l'université de Québec, Canada 2013

Probst et al. 2012).⁵



Figure 01 : Types des systèmes solaires classés selon différents besoins pour le bâtiment.
Source : www.guidebatimentdurable.brussels

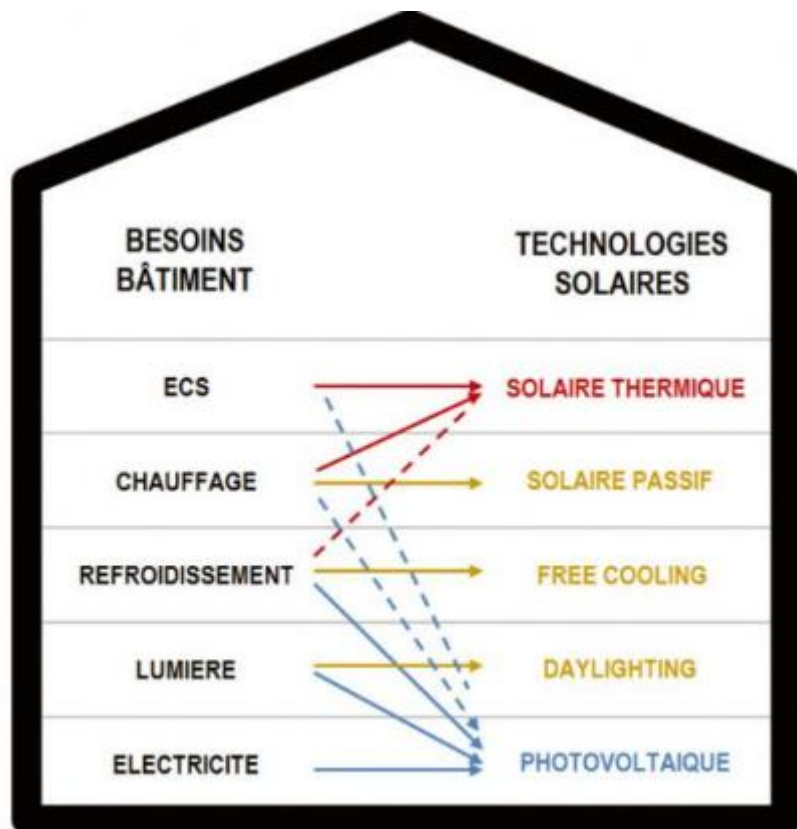


Figure 02 : besoin du bâtiment vs technologies solaires disponibles
Source : www.espazium.ch

⁵ Fernandez, P., & Lavigne, P. Concevoir des bâtiments bioclimatiques : fondements & méthodes, le moniteur. Paris, 2009

I.1.2 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 solaire⁶.

I.1.3 Les formes de l'énergie solaire :

I.1.3.1 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 constante⁷.

En architecture, l'utilisation de la lumière naturelle repose généralement sur des ouvertures fixes, alors que le soleil se déplace dans le ciel en permanence⁸.

⁶ Lamaisonpassive.fr – Quelques informations sur la maison passive.

⁷ American Institute of Architects, 1982.

⁸ Ibid.

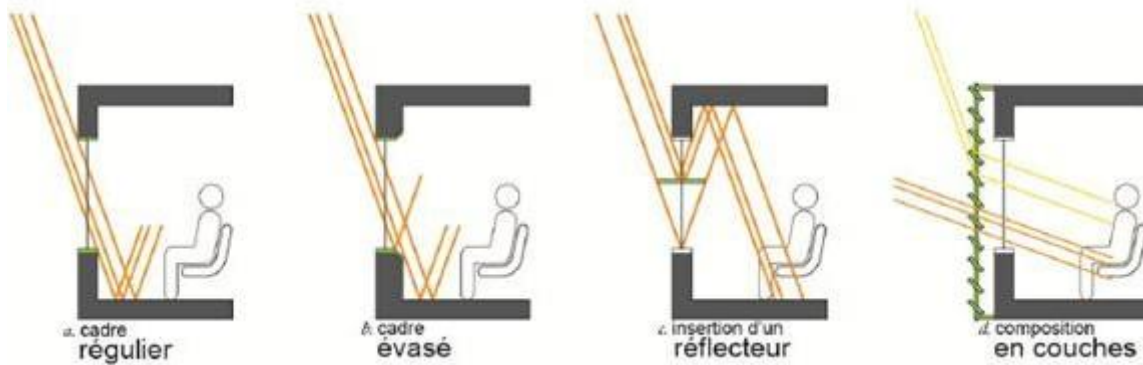


Figure 03 : Schémas représentant différentes compositions d'ouvertures vues en coupe.

Source : <https://energieplus-lesite.be/>

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.⁹

I.1.3.2 Énergie 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 nul¹⁰.

Ce type d'exploitation de l'énergie solaire ne nécessite pas de système mécanique ni de conversion d'énergie supplémentaire.

⁹ SHIRLEY GAGNON, ÉNERGIE SOLAIRE ET ARCHITECTURE, Les outils numériques et leur utilisation par les architectes pour la conception solaire, UNIVERSITÉ LAVAL, QUÉBEC 2012, P39

¹⁰ Guide de l'énergie solaire passive. Edward Mazria, ISBN : 2863640119. Éditeur : parenthèses (1981).

CHAPITRE I : Démarche énergétique : pour une architecture consciente à l'énergie

Les gains solaires obtenus contribuent ainsi au chauffage des espaces¹¹. 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.

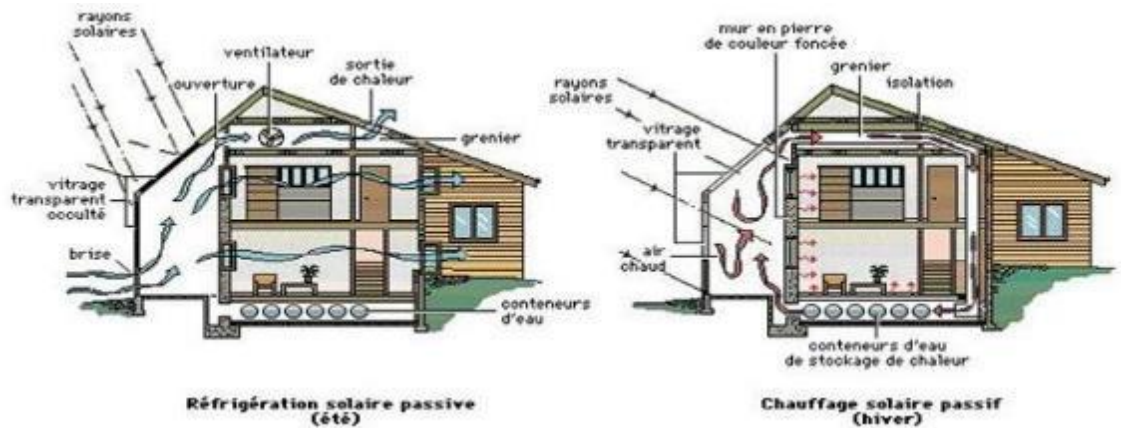


Figure 04 : La Réfrigération et le chauffage solaires passifs

Source : <https://www.septier.electricite.free.fr>

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.¹²

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.¹³



Figure 05 : Représentation schématique des quatre principes du chauffage solaire

Source : <https://slideplayer.fr/>

¹¹ Goetz berger et Schmid, 1985; International Energy Agency, 2009

¹² SHIRLEY GAGNON, ÉNERGIE SOLAIRE ET ARCHITECTURE, Les outils numériques et leur utilisation par les architectes pour la conception solaire, UNIVERSITÉ LAVAL, QUÉBEC 2012, P39

¹³ Ibid.

CHAPITRE I : Démarche énergétique : 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.¹⁴

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.¹⁵

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. A cause de la dilatation, l'air chaud plus léger a tendance à s'élever.¹⁶

¹⁴David DILLMAN, Architecture solaire passive et réhabilitation, Ecole d'architecture de la ville et des territoires à Marne la vallée, Janvier 2014, P10

¹⁵ Ibid.

¹⁶ Ibid.

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.¹⁷

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 bâtiment 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.¹⁸ 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 06 : Mur trombe de la bibliothèque des sciences de l'université de Versailles.

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

I.1.3.3 Energie 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.
 - 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

¹⁷ Ibid.

¹⁸ DEMERS, C. et POTVIN, A. (2004), Le chauffage solaire passif comme stratégie bioclimatique, Esquisses, Ordre des Architectes du Québec,

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.¹⁹

I.1.4 Les systèmes solaires actifs :

I.1.4.1 Système solaire thermique :

I.1.4.2 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 domestique²⁰.

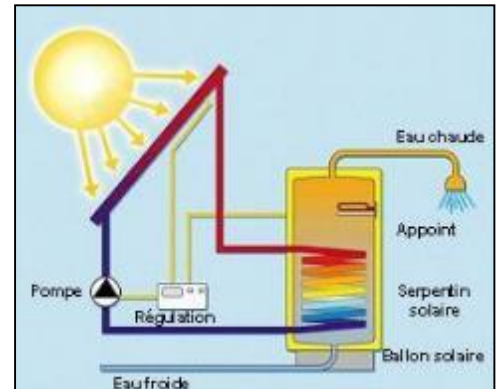


Figure 07 : Schéma du système solaire thermique.

Source :

<https://www.acteurdurable.org/>

I.1.4.3 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

¹⁹ SHIRLEY GAGNON, ÉNERGIE SOLAIRE ET ARCHITECTURE, Les outils numériques et leur utilisation par les architectes pour la conception solaire, UNIVERSITÉ LAVAL, QUÉBEC 2012, P39

²⁰ Guide pédagogique sur les énergies renouvelables.

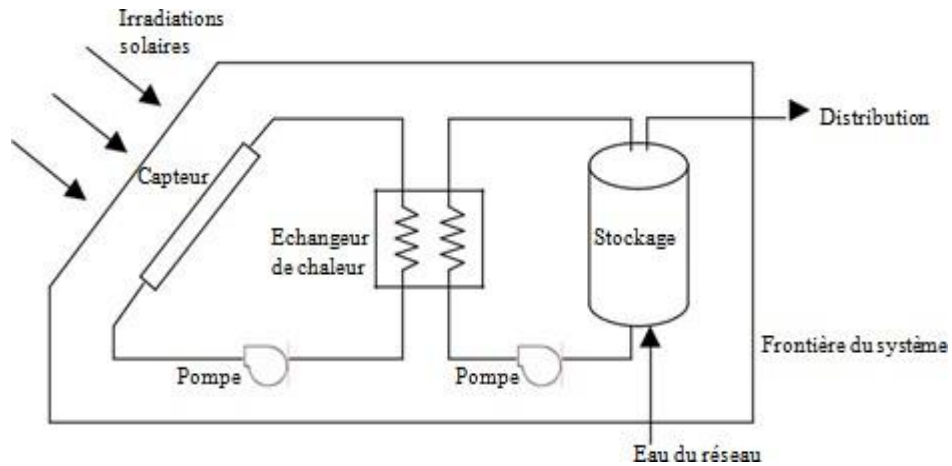


Figure 08 : Schéma représentant les composants de la production d'eau chaude sanitaire.

Source : <https://www.climandsoft.com>

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 système²¹.

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

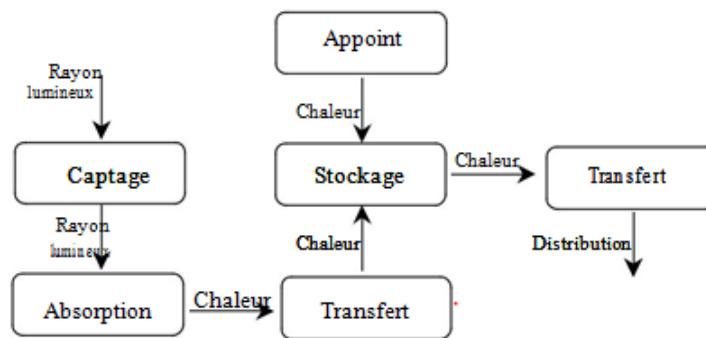


Figure 09 : Schéma représentant le circuit de fonctionnement du système solaire thermique.

Source : <https://www.encyclopedie-energie.org/>

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

²¹Talal SALEM : Intégration des composants solaires thermiques actifs dans la structure bâtie, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 19 janvier 2007.

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

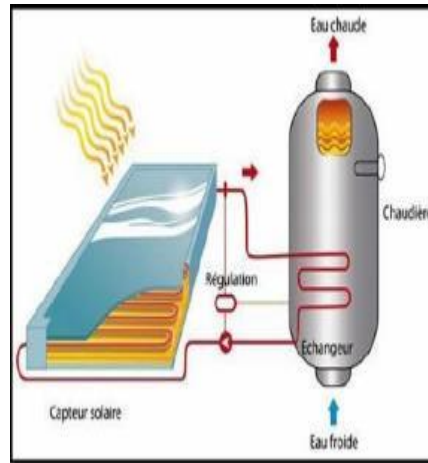


Figure 10 : Schéma de la technologie solaire thermique.

Source : Eduscol.education.fr

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.²²

I.2. Les types de capteurs solaires thermiques :

I.2.1. 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 11 : Schéma représentant le fonctionnement du capteur solaire à air.

Source : <https://www.econologie.com/>

²² Guide pédagogique sur les énergies renouvelables.

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).²³

I.2.2 Capteurs solaires à concentration :

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 12 : Le concentrateur parabolique.

Source : GIZ/ Michael Netzhammer.
foyer du capteur solaire.²⁴

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.

c. Les capteurs cylindro-paraboliques :

Les capteurs cylindro-paraboliques concentrent les rayons du soleil vers un tube caloporteur situé au



Figure 13 : Le central à tour.
Source : GIZ/ Michael Netzhammer.2008

²³ H. A. Zondag et al., The yield of different combined PV-thermal collector designs, Solar Energy, Vol. 74, pp 253- 269, 2003.

²⁴ M. Antonio, "Les énergies renouvelables au Maroc" CDER (Centre de Développement des Energies Renouvelables au Maroc), 2004.

I.2.3 Système solaire photovoltaïque :

I.2.3.1 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.

I.2.3.2 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 14 : La technologie des capteurs solaire photovoltaïques.

Source : <http://www.foad.uadb.edu.sn/>

- 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.²⁵

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

-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

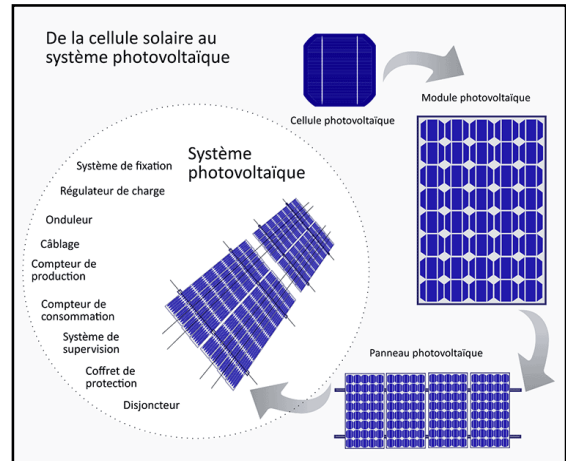
²⁵ M. BENAMRA (Mostefa Lamine) : Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale, Université de BISKRA, 2013

rendement moyen entre 4 à 8% . et jusqu'à 13% pour une technologie amorphe de type "P-I N".²⁶

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.²⁶

Figure 15 : de la cellule solaire au système photovoltaïque.

Source : <https://mypower.engie.fr/>

I.2.3.3 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

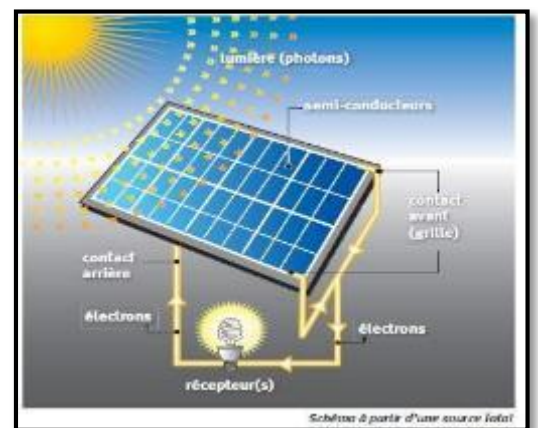


Figure 16 : Schéma montrant l'effet photovoltaïque.

Source : <https://mypower.engie.fr/>

²⁶ UNI-SOLAR ; Mundari Probst et al. 2012

Photovoltaïques est d'environ 20 %. Cela signifie que 20 % de l'énergie du soleil absorbée par les cellules est transformée en électricité et 80 % en chaleur qui est dégagée par le système.²⁷ 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.

I.2.3.4 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.²⁸

²⁷ SHIRLEY GAGNON, ÉNERGIE SOLAIRE ET ARCHITECTURE, Les outils numériques et leur utilisation par les architectes pour la conception solaire, UNIVERSITÉ LAVAL, QUÉBEC 2012, P39

²⁸ L'union social pour l'habitat, Guide Intégration du photovoltaïque dans une opération de logement social, Septembre 2013, P9

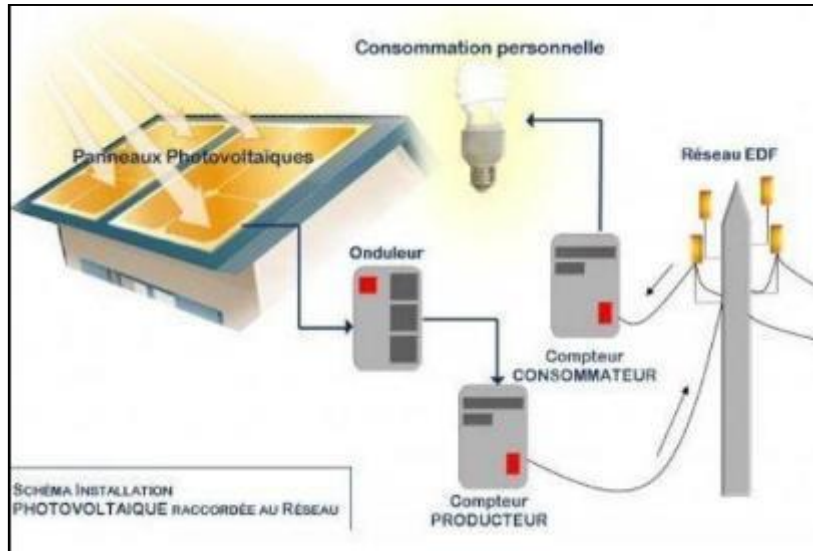


Figure 17 : Schéma d'installation photovoltaïque raccordé au réseau.

Source : www.AdvanceBuilding.org

I.3.La conception de l'architecture solaire :

I.3.1. La Conception d'un projet architectural solaire :



Figure 18 : 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 intuitives²⁹, elle nécessite le recours à des instruments rigoureux, permettant le traitement des dimensions objectives. C'est dans le développement de cette idée, que s'inscrivent la recherche d'intégration des objets énergétiques et leurs efficacités comme troisième

²⁹S.Houpert, « thèse de doctorat ».2003 école d'architecture de Nantes, titre : « approche inverse pour la résolution de contraintes solaires et individuelles dans le projet architectural et urbain »

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.³⁰

I.3.2. 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 solaire³¹ 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, En distingue actuellement de grandes familles de conception des panneaux solaires aux cadres bâtis :

Les réalisations surimposition sur des ouvrages existant, ou on les appelle solutions additifs : des capteurs solaires sont fixés au toit ou sur la façade en utilisant une structure en métal.

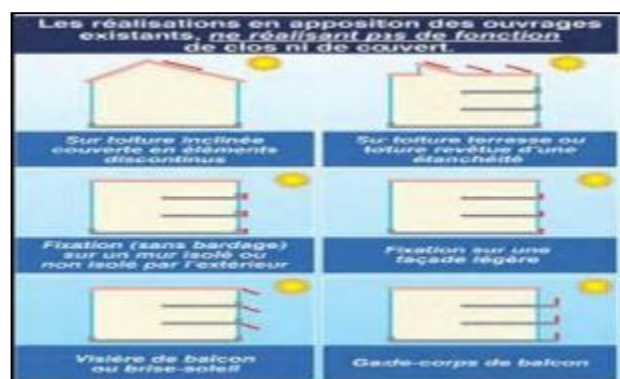


Figure 19 : les réalisations en apposition des ouvrages existants
Source : ADEM

³⁰ E. Mazria. « Le guide de l'énergie solaire passive », 1980.

³¹ S. Mazouz, Eléments de conception Architecturale, 2004.

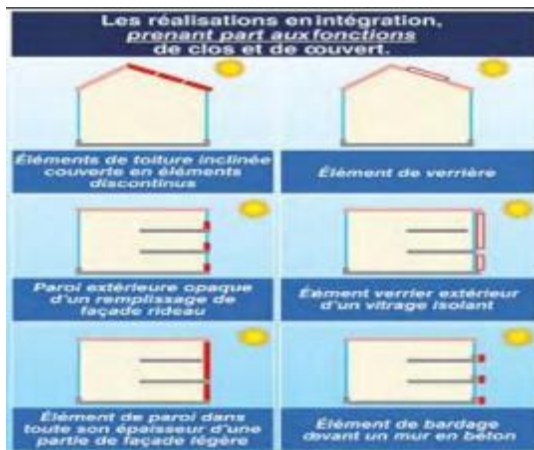


Figure 20 : Les réalisations en intégration des nouveaux ouvrages. **Source :** ADEME.

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.

I.3.3. Démarche d'intégration :

La réussite d'une intégration solaire dépend de la conjugaison optimale 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 champ 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 recherché³².

³² M. BENAMRA : Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale, Université de BISKRA, 2013

I.3.3.1 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 tendent 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.

I.3.3.2 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 21 : Intégration des capteurs en toiture inclinée.

Source : <https://photovoltaïque.es.fr/>

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 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.³³

I.3.3.3. 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 22 : Intégration des capteurs en toiture terrasse.

Source : <https://photovoltaïque.es.fr/>

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 montage³⁴.

³³ M. BENAMRA : Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale, Université de BISKRA, 2013

³⁴ Alain RECAUT, Système photovoltaïque, Ecole polytechnique Savoie, Oct. 2011, P152

I.3.3.4. 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 23 : Intégrations des capteurs en façade.
Source : <https://photovoltaïque.es.fr/>

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.³⁵

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.³⁶

En façade, on profite des décrochements pour que les capteurs prennent place naturellement, les allèges, garde-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.

I.3.3.5. Les capteurs sur paroi verticale

a. Capteurs en allèges, auvent, garde-corps, brise soleil

³⁵ Talal SALEM : Intégration des composants solaires thermiques actifs dans la structure bâtie, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 19 janvier 2007.

³⁶ Alain RECAUT, Système photovoltaïque, Ecole polytechnique Savoie, Oct. 2011, P152

CHAPITRE I : Démarche Energétique : Pour une architecture consciente à l'énergie

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.³⁷



Figure 24 : Les capteurs solaires en garde-corps et en allège.

Source : <https://photovoltaique.es.fr/>



Figure 25 : Les capteurs solaires en brise soleil **Source :**

<https://photovoltaique.es.fr/>

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.



Figure 26 : Les capteurs solaires en décrochement de façade.

Source : <https://photovoltaique.es.fr/>

³⁷ M. BENAMRA : Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale, Université de BISKRA, 2013

I.4. 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.

Il faut faire face à une perte de rendement causée par une plus grande distance du transfert énergétique entre le capteur et le stockage, et porter une attention toute particulière aux raccords et à l'isolation, ce 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, ...).³⁸

I.4.1. Conditions d'efficacité énergétique :

I.4.1.1 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).

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.³⁹

³⁸ Talal SALEM : Intégration des composants solaires thermiques actifs dans la structure bâtie, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 19 janvier 2007.

³⁹ M. BENAMRA (Mostefa Lamine) : Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale, Université de BISKRA, 2013

1.4.1.2. 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.

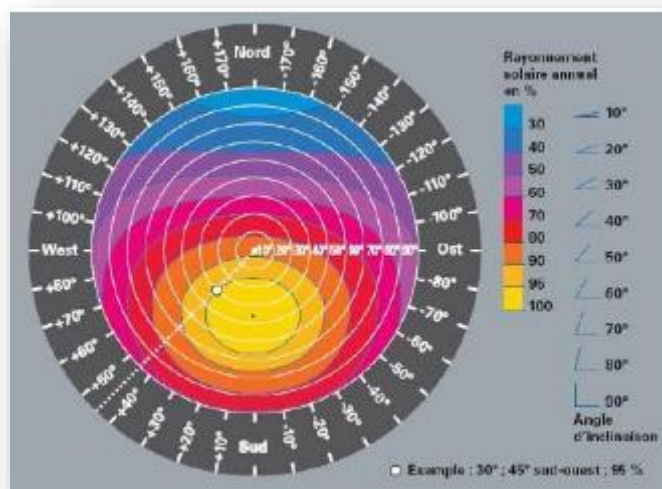


Figure 27 : Influence de l'orientation et de l'inclinaison sur le rendement. **Source :** <http://tpesolaire.chez.com/>

Des capteurs solaires :Inclinés à 30° et orientés à 45° sud-ouest présentent encore 95% de la puissance d'orientation est ou ouest, il est possible d'espérer encore 85 % si le toit est incliné de 25 à 40°. Une offre l'avantage d'une fourniture d'énergie lissée sur l'année.

Une inclinaison inférieure à 20° est à déconseiller pour éviter tout encrassement excessif des capteurs.⁴⁰

I.4.1.3.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

⁴⁰ Daniel MUCK, capteurs solaire thermiques, Cogesol

optimiser la meilleure solution.

I.5. Exemples d'architecture solaire intégrant des systèmes solaires passifs et actifs

I.5.1. 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 28 : Habitation Imagine Rommen, Norvège.
Source : Emilie.B « Conception de bâtiments solaires ».

I.5.2. 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 29 : Laboratoires d'énergie Xelios, Italie (Studio Marco Acerbes).
Source : Emilie.B « Conception de bâtiments solaires ».

I.5.3. 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 30 : 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.

CHAPITRE II :

Approche Thématique

*“ Dis-le moi et je l’oublierai, enseigne-le moi et je m’en souviendrai, implique-moi et j’apprendrai ”.*⁴¹

_ Benjamin Franklin _

⁴¹ <http://lesbeauxproverbes.com/tag/benjamin-franklin/>

Présentation du thème :

II.1 Définition des notions de base :

Introduction :

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

II.1.1. La notion de Loisir : Selon J. Dumazedier :

" Le loisir se définit comme un ensemble d'occupations auxquelles l'individu peut s'adonner de son plein gré pour se reposer, se divertir, développer son information, sa participation sociale volontaire après s'être dégagé des obligations professionnelles, familiales, et sociales ".⁴²

II.1.2. La notion de « la science » :

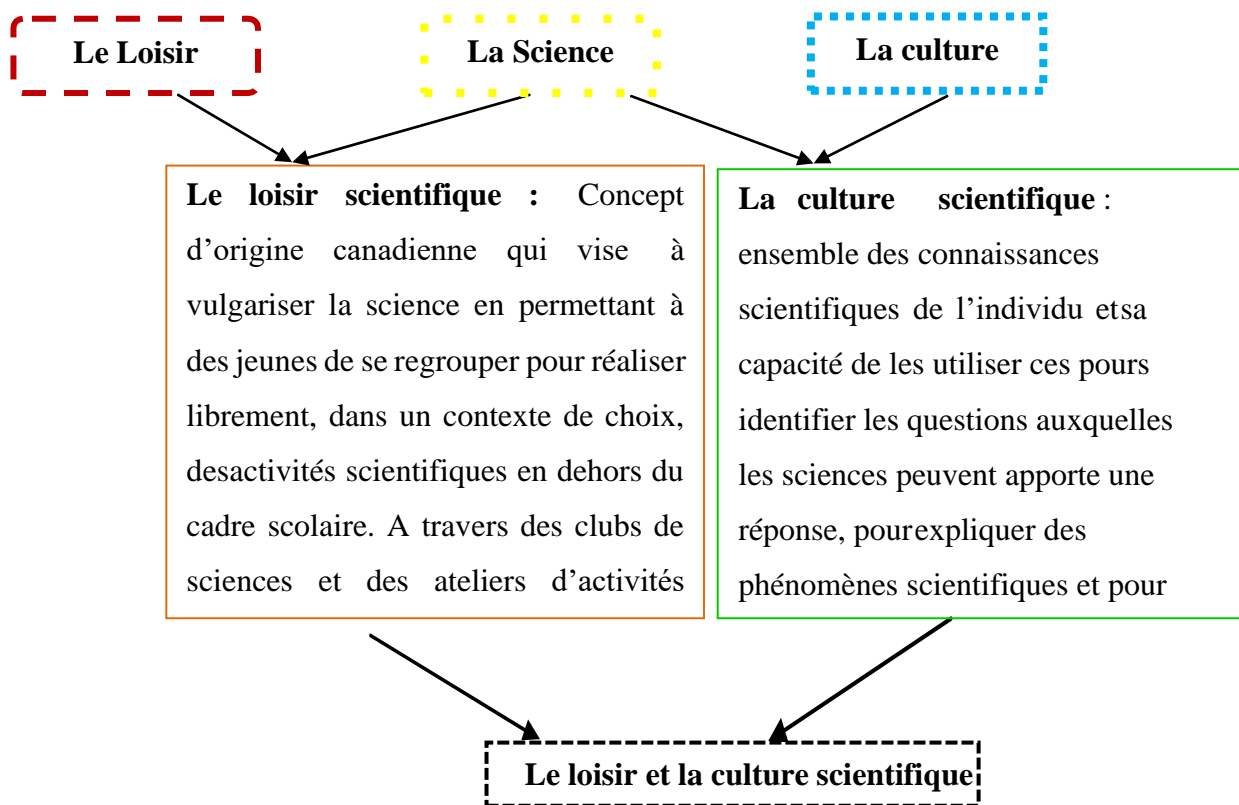
Selon le dictionnaire français LAROUSSE : «Ensemble cohérent de connaissances relatives à certaines catégories de faits, d'objets ou de phénomènes obéissant à des lois et vérifiés par les méthodes expérimentales. Parmi ses domaines : la géologie, l'astronomie, la biologie, l'informatique, la météorologie, physique, mathématique, robotique, nature et environnement.

II.1.3. La notion de « culture » :

Définition de la culture par l'UNESCO : «La culture, dans son sens le plus large, est considérée comme l'ensemble des traits distinctifs, spirituels et matériels, intellectuels et affectifs, qui caractérisent une société ou un groupe social. Elle englobe, outre les arts et les lettres, les modes de vie, les droits fondamentaux de l'être humain, les systèmes de valeurs, les traditions et les croyances.»

⁴² Cazeneuve Jean. Dumazedier Joffre, Vers une civilisation du loisir ? In: Revue française de sociologie, 1962, 3-4. P 455.

II.2 Le loisir et la culture Scientifique⁴³ :



II.3 Objectifs d'un centre de loisir et la culture scientifique⁴⁴ :

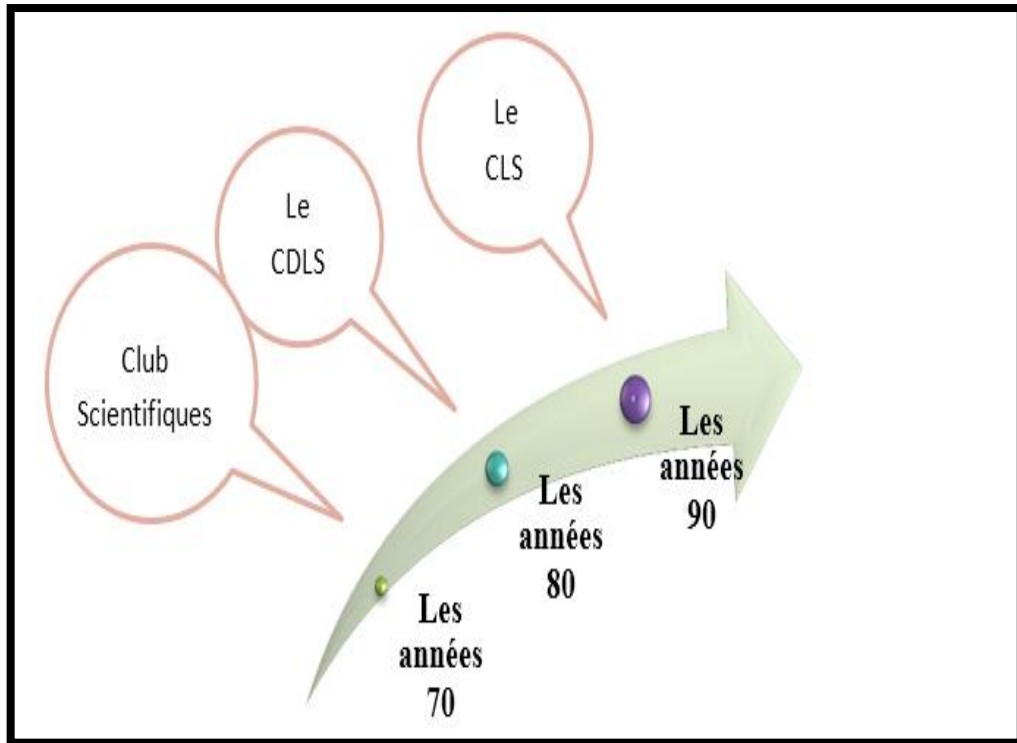


Figure 31 : Objectifs de CLS
Source : Auteur

II.4. L'historique de CLS :

⁴³ Définition de la culture scientifique : Source : PISA 2006 : Les compétences en sciences, un atout pour réussir, vol. 1. Définition du loisir scientifique Source : le loisir scientifique un concept en mutation.

⁴⁴ Le loisir scientifique, un concept en mutation Sylvie toupin, coordonnatrice du développement scientifique, conseil de développement du loisir scientifique, Montréal.



II.5. Les CLS en Algérie :

Les Centres de loisirs scientifiques (CLS) sont une idée récente en Algérie, même si des initiatives timides çà et là ont été tentées dans certaines maisons de jeunes. A la demande de certaines associations, le gouvernement, par le biais du ministère de la Jeunesse et des Sports (MJS), a décidé d'élaborer un programme spécifique à ce genre d'établissement, en collaboration avec les collectivités locales. Une fiche technique a été arrêtée, mais elle a été appelée à être modifiée d'un établissement à un autre. Certaines activités, telles que l'informatique et l'astronomie, occupent une place importante dans ces programmes. Un cybercafé est indispensable dans chaque centre.

Cela dit, dans chaque centre il y a une activité plus prisée que d'autres, sur laquelle le centre bâtit sa réputation. La direction de la jeunesse et des sports est chargée du programme pédagogique, en biologie et agronomie, en électricité, en mécanique et des « petits débrouillards » ainsi que des projections de films et documentaires scientifiques⁴⁵.

⁴⁵ <https://www.djazairss.com/fr/infosoir/50652>

II.6. Les valeurs de CLS :

Le loisir scientifique est régi par un ensemble de valeurs qui en définissent toute la spécificité.

À cette pratique se greffent des valeurs :

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

Conclusion :

Le centre de Loisir Scientifique est un organisme à but non lucratif qui a pour mission de promouvoir le loisir ainsi que la culture scientifique et technologique auprès des jeunes et du grand public. Donc un centre de loisirs scientifiques a trois fonctions principales qui sont : La culture, la science et le loisir.

CHAPITRE III :

ANALYSE DES EXEMPLES

III. ANALYSE DES EXEMPLES :

Introduction :

L'analyse des exemples est un moyen pour mieux comprendre les différents aspects du projet, organisationnelle ou architectural ainsi à travers l'aspect analytique et critique nous pouvons sortir avec des idées et des informations qui nous seront utiles dans notre conception.

III.1. Choix des exemples :

III.1.1. Connecticut science center Hartford USA :

Similaire à notre contexte d'intervention, le « Science center » est un exemple remarquable d'intégration à l'urbain. À travers son architecture, César Pelli a su compléter les espaces publics proches du centre tout en tirant profil de la rivière du Connecticut.

III.1.2. Le vaisseau, centre de culture scientifique, technique et industrielle, Strasbourg France :

Avec une surface globale proche de la nôtre. Le vaisseau est un exemple très remarquable en matière de fonctionnement et d'organisation d'espaces. Avec un programme très riches et des espaces fluides, lisibles et modulables.

III.1.3. Centre de loisir scientifique à Ghardaïa :

Est un projet réalisé au service de la direction de la jeunesse et du sport. Le climat qui règne au m'Zab est de type saharien, caractérisé par de faibles précipitations, un soleil écrasant et un sol dont la végétation presque est n'existante, les étés y sont torrides, alors que les hivers rigoureux avec des vents froids.

III.2. Connecticut science center, Hartford, états unis :



Figure 33 : Le Connecticut science center. **Source :** ctsciencecenter.org

Fiche technique :

Situation : Hartford, capitale de l'état du Connecticut, Nord-est des états unis.

Type : Musée.

Superficie totale : 15000 m²

Architecte : César Pelli & Associates ~~Archit~~

Client : Connecticut science center. **Durée de réalisation :** 2001-2009.

Contexte : urbain

Style architectural : Postmoderne

III.2.1. Présentation du projet :

Connecticut science center, centre de science et d'exploration du Connecticut. Musée attractif qui fait partie du développement d'Adriaen's landings, un programme d'aménagement de la parcelle de terrain sur le bord de la rivière du Connecticut qui inclut un palais de congrès, un hôtel majeur et d'autres attractions tout au long de la rivière. Le bâtiment est de 15000 m² de surface totale dont 3700 m² sont des expositions interactives (150 expositions interactives).

Le projet dans son contexte



Figure 34: vue montrant les limites du projet. **Source :** Google Earth traité par auteurs.

➤ The Connecticut science center s'étant sur l'axe est-ouest parallèlement à l'esplanade

« Mortensen river front of Plaza » et au pont fondateur qui traverse la rivière du Connecticut cet allongement renforce la relation du projet avec l'urbain, ainsi visible du pont, le projet représente une vitrine et une introduction impressionnante de la ville de Hartford notamment la nuit quand le « CT science center » brille avec éclat.

- █ **Columbus Boulevard**
- █ **Grove ST**

Le Connecticut science center est implanté à l'intersection de deux voies : Columbus Boulevard et Grove st, ce qui offre une dynamique urbaine à cet angle.

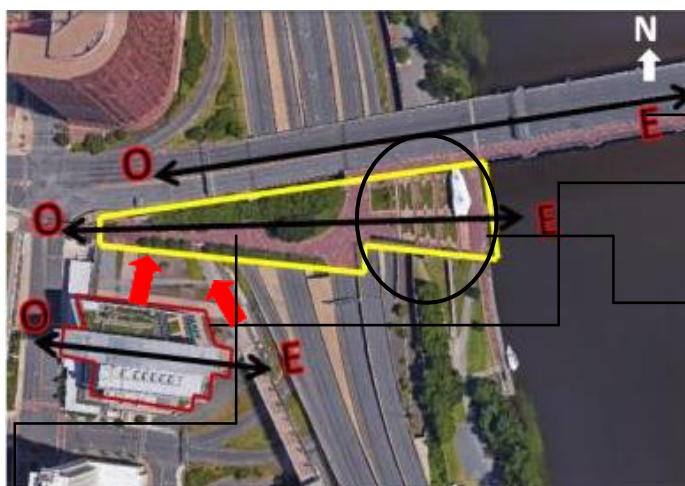


Figure 35 : vue sur le Connecticut science center
Source : Google Earth traité par auteurs

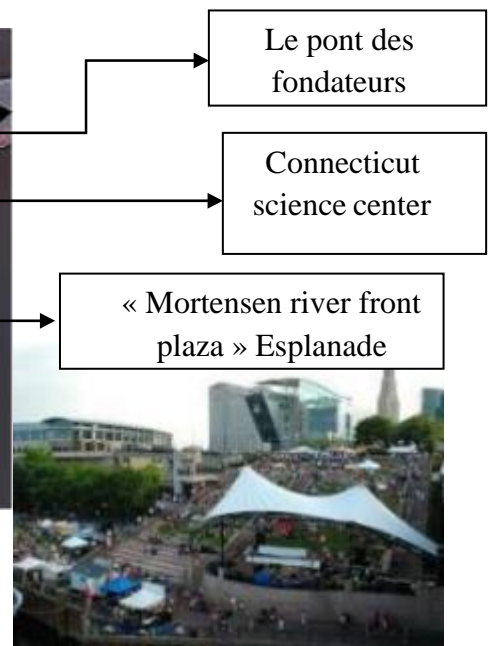


Figure 36 : Vue sur le théâtre de verdure
Source : www.urbanplanet.org/forums/



Figure 37 : Vue sur le parc urbain
Source : www.urbanplanet.org/forums/

L'existence de l'esplanade « Mortensen river front Plaza » qui s'allonge au nord du centre scientifique offrant une dynamique urbaine autour du projet. L'esplanade relie le centre-ville de Hartford avec le front de rivière du Connecticut.

Figure 38 : Plan masse du centre de science
Source : <https://www.urbanplanet.org/forums>

- Columbus Boulevard
- Accès mécanique**
- Accès au parking public
- Accès piétons**
- Un accès principal
- 3 accès secondaires



Figure 39 : les accès CT science center
Source : Google Earth traité par auteures



Figure 40 : Pont piétonnier reliant le projet au phoenix building Source : johnweeks.com

Figure 41 : Pont piétonnier reliant le projet au centre de congrès Source : johnweeks.com



Accessibilité of CT science center :

Le projet est accessible par un accès mécanique vers le parking et 4 accès piétonniers ; un principal du Columbus boulevard et 3 secondaires dont l'accès se fait par l'esplanade « Mortensen River front plaza » Depuis un escalier public au nord du projet le reliant ainsi à l'urbain. La liaison à l'urbain et aussi assurée par deux ponts piétonniers qui relient Le Connecticut science center directement aux bâtiments avoisinants : Le centre de congrès et le phoenix building.

III.2.2. Etude architecturale :



- Un bloc orienté Sud en forme de parallélogramme, avec de dramatiques murs inclinés.
- Un volume en recule sur un côté et en encorbellement sur l'autre

Figure 42 : les différents volumes du projet
Source : Google-Earth traitement auteures

Une étroite tour en verre surmonté d'un toit emblématique en S

Le Connecticut science center se compose de trois volumes distincts, Le hall vitré séparant deux autres volumes. Pour profiter au maximum de la vue sur la rivière, un petit volume a été ajouté sur la façade Est. Le volume contient une plate-forme d'observation, en étant en encorbellement totalement vitrée il donne l'impression de flotter



Plate-forme d'observation

Mur incliné de l'est



Figure 44 : Plate-forme d'observation
Source : pcparch.com/project/connecticut-science-center

Figure 43: vue sur le mur incliné de la façade Est
Source : www.urbanplanet.org/forums

Façades : La façade ouest « Façade principale » :

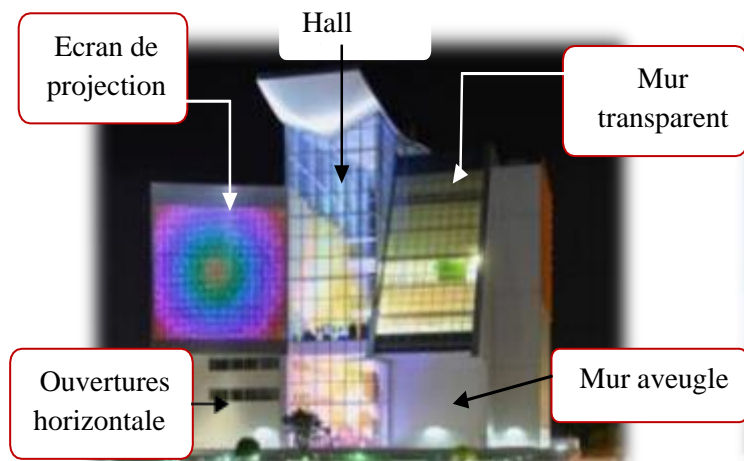


Figure 45 : Façade ouest du projet
Source : <http://pcparch.com/project/connecticut-science-center>.



Figure 46 : Façade ouest du projet
Source : <http://pcparch.com/project/connecticut-science-center>

La façade Est « du côté de la rivière du Connecticut » :



Figure 47 : vue sur la façade est la nuit
Source : <http://pcparch.com/project/connecticut-science-center>

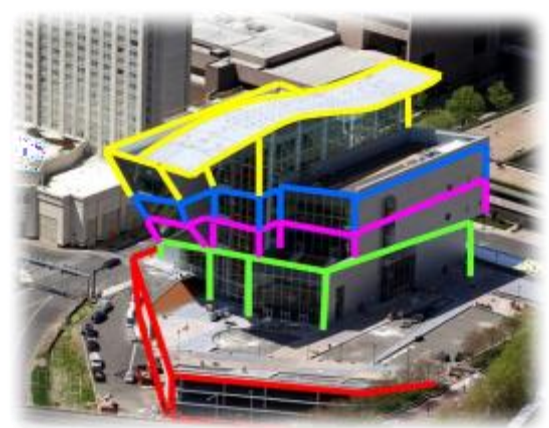


Figure 48 : vue sur la façade est
Source : <http://pcparch.com/project/connecticut-science-center>.

➤ La façade est donne sur la rivière du Connecticut, en étant complètement vitrée, elle offre de magnifiques vues sur la rivière et l'esplanade.

- Volume incliné vitré
- Volume vertical vitré
- Volume en gradin vitré

Les plans : Le projet se compose de sept (07) niveaux : Trois (03) sont consacrés au parking (soubassement) sur lesquels se développent quatre autres niveaux (RDC, 1^{er}, 2^{eme} et 3^{eme} étage). Les trois niveaux du parking comme un ou socle du projet servent à atteindre le niveau de l'esplanade



- 3^{eme} étage
- 2^{eme} étage
- 1^{er} étage
- RDC
- Parking (03 niveaux)

Figure 49 : image montrant les différents niveaux du projet
Source : architectureweek.com. Traité par auteures



Le parking :

Contient deux grandes entités :



Parking public
contient 03 niveaux.



Bloc supplémentaire
contient 04 laboratoires
d'enseignement et une
salle communautaire.



L'entrée principale du projet



Figure 50: plan du parking **Source:** architectureweek.com

La circulation :

Circulation Horizontale :
cursive

Circulation verticale : escalier
ascenseur



La circulation dans le bâtiment est assurée par des escaliers et des ascenseurs pour ce qui est de la circulation verticale, la circulation horizontale est assurée par des halls.

Figure 51 : la circulation du Science center
Source : www.urbanplanet.org/forums



Figure 52 : la structure mixte du Science center
Source : www.urbanplanet.org/forums

Le système constructif :

Il existe deux systèmes constructifs :
Poteaux-poutres en **béton armé** pour
les trois niveaux du parking et la
structure métallique pour les étages

en dessus et le toit en S.

Qualités environnementales :

- Pile à combustible qui peut générer de l'électricité.
- Capturer la chaleur perdue de la pile et l'utiliser pour préchauffer l'eau chaude et le système de chauffage du bâtiment.
- L'utilisation de vitrages à haute performance sur l'enveloppe extérieure.
- Système photovoltaïque de 86 kilowatts posé sur le mur sud permet de réduire de plus de la moitié la consommation d'énergie du réseau.
- matériaux de construction fabriqués localement (95% de l'acier de voitures recyclées)
- L'éclairage d'exposition a été conçu pour utiliser des luminaires à faible consommation d'énergie.
- 30% du site est végétalisé (les jardins sur le toit, autres zones plantées)



Figure 53 : système photovoltaïque sur le mur sud du projet
Source : Google earth



Figure 54 : Toit végétalisé
Source : ctsciencecenter.org/visit/exhibits/rooftop-garden/



Figure 55 : proposition de César Pelli pour le concours
Source : www.urbanplanet.org/forums/

Synthèse :

- Lancement d'un concours international pour la conception d'un centre scientifique à Hartford

au bord du Connecticut. Quatre finalistes de grande renommée

- Le maître d'ouvrage qui est le président du centre scientifique pose des exigences précises quidoivent être satisfaites dans les propositions des quatre finalistes. « Nous voulons un centre scientifique flexible, accessible, sécurisé, «vert», qui utilise des sources d'énergies renouvelables, un bâtiment sensible aux bâtiments environnants offrant des vues spectaculaires du centre-ville et des rives de la rivière du Connecticut »⁴⁶. Déclare Theodore S. Sergi, président du centre.



La rivière

Le toit plongé

Le mur incliné

- Parmi les quatre propositions, celle de César Pelli a été retenue grâce à ses réponses pertinentes qui satisfirent toutes les exigences posées par le président du centre, A travers des concepts francs et clairs matérialisés comme suit :

- ✓ **se jeter dans la rivière** : Le toit plongé ; les murs inclinés, le toit « S » évoquant la forme des vagues et la plate-forme en encorbellement donne illusion que le projet plonge dans les eaux du Connecticut.

- ✓ **Plate-forme d'observation**

Liaison avec l'espace public : le parc urbain et le théâtre de verdure

La transparence suscitant la curiosité des gens. De plus cette dernière est l'élément clé de la science **Liaison avec le centre-ville et le tissu urbain**, concept propre à César Pelli matérialisé par le hall complètement vitré du côté donnant sur la ville.



⁴⁶ Sources des images : <https://ctsciencecenter.org>
<https://www.urbanplanet.org/forums/topic/5665-completed-connecticut-science-center-adriaens-landing/>

III.3. CENTRE DE LOISIRS SCIENTIFIQUE DE MAGNAVILLE :

III.3.1. Présentation du projet :

Magnanville fait partie du secteur sud-ouest de l'agglomération Mantaïse. Après une croissance urbaine forte et rapide, la commune a connu une baisse de population, elle a donc mis en chantier un nouveau quartier qui amènera bientôt de nouveaux habitants. Dans ce contexte, elle a souhaité améliorer ses équipements à destination de la jeunesse. Donc la Commune de Magnanville a programmé un projet de Centre de Loisirs sans Hébergement

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

- **La situation :**

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



Figure 56 : le projet CLS
Source : google.com google.com



Figure 57 : carte avec la situation de Magnanville en France, Source google.com

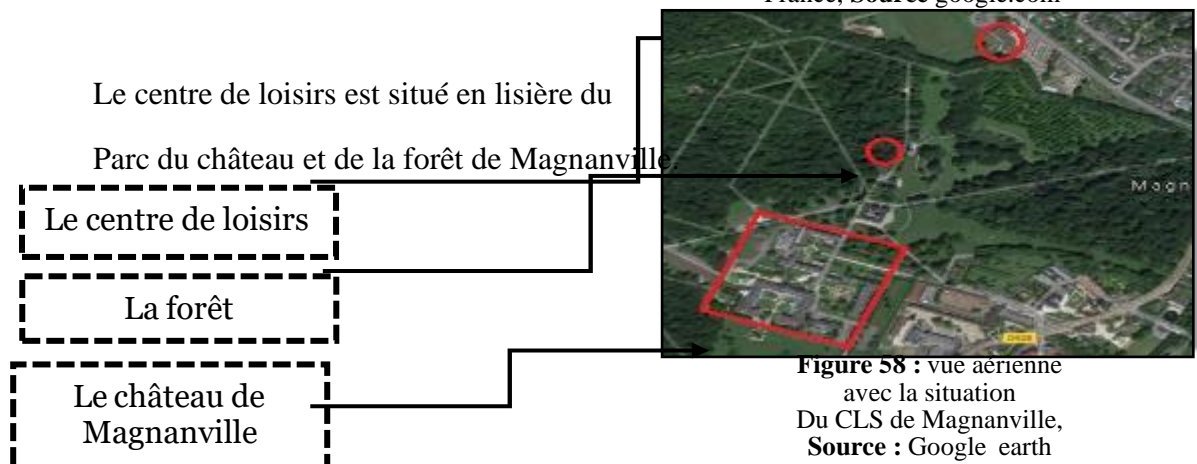


Figure 58 : vue aérienne avec la situation Du CLS de Magnanville, Source : Google earth

Les limites :

Le projet est limité par : **N-O:** maison de l'enfance **E:** cimetière **S:** forêt

Q: Stade des Erables

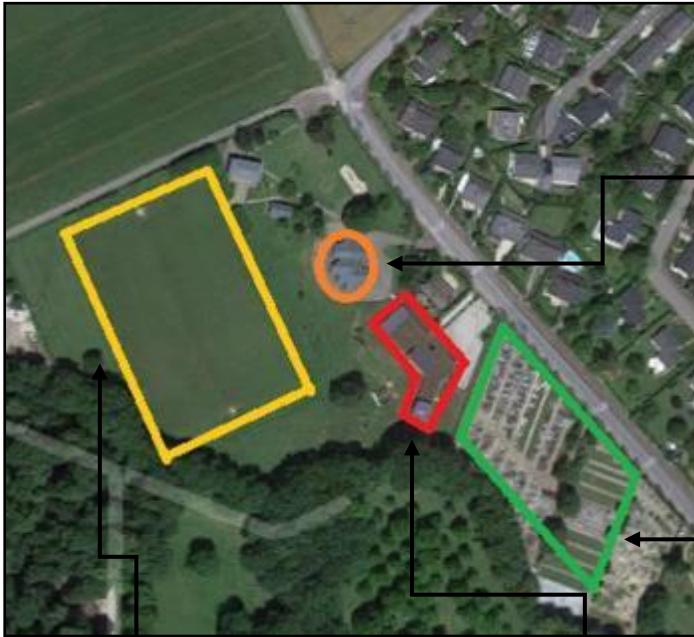


Figure 60 : vue aérienne du projet avec les limites



Figure 59 : la maison de l'enfance



Figure 61 : la maison de l'enfance



Figure 63 : vue extérieur du projet



Figure 62 : vue extérieur du projet

• **Environnement immédiat :**

Le projet se situe sur un axe (Avenue des Erables) sépare deux différentes zones :



Figure 64 : vue aérienne du projet avec les zones

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

a) Les équipements éducatifs de voisinage :

- Deux lycées : le lycée Léopold Sédar-Senghor et le lycée agricole Sully (privé).
- Un collège : le collège George Sand.
- Trois écoles primaires et maternelles : l'école des Marronniers, l'école des Cytises et l'école des Tilleuls.



Figure 66 : L'école des Cytises



Figure 67 : L'école des Tilleuls



Figure 65 : Le projet



Figure 68 : L'école des Marronniers



Figure 69 : lycée agricole Sully



Figure 70: lycée Léopold
Seder- Senghor



b) Les équipements sportifs de voisinage :

- Terrain de tennis municipal
- Salle de sport
- Salle Gymnase municipal



Figure 72 : terrain de tennis municipal Figure 71 : Stade des érables



Figure 73 : la salle de sport

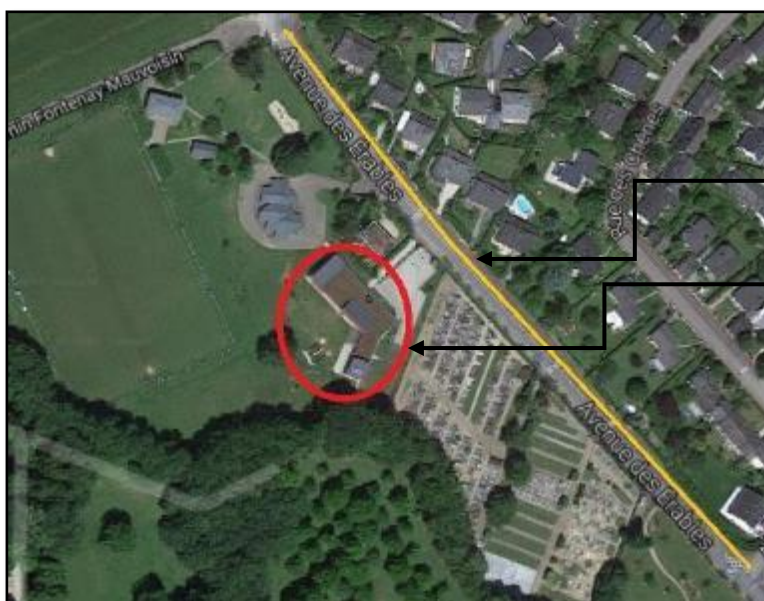


Figure 75 : la Salle Gymnase régional



- Salle Gymnase régional

c) L'accessibilité :



Avenue des Erables

Le centre de loisirs

Le projet est bien accessible par une voie secondaire, l'avenue des Erables.

Figure 76 : vue aérienne du projet avec l'accessibilité

Plan de masse :



Figure 77 : Plan de masse
Source : ArchDaily.com

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

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

d) Orientation :

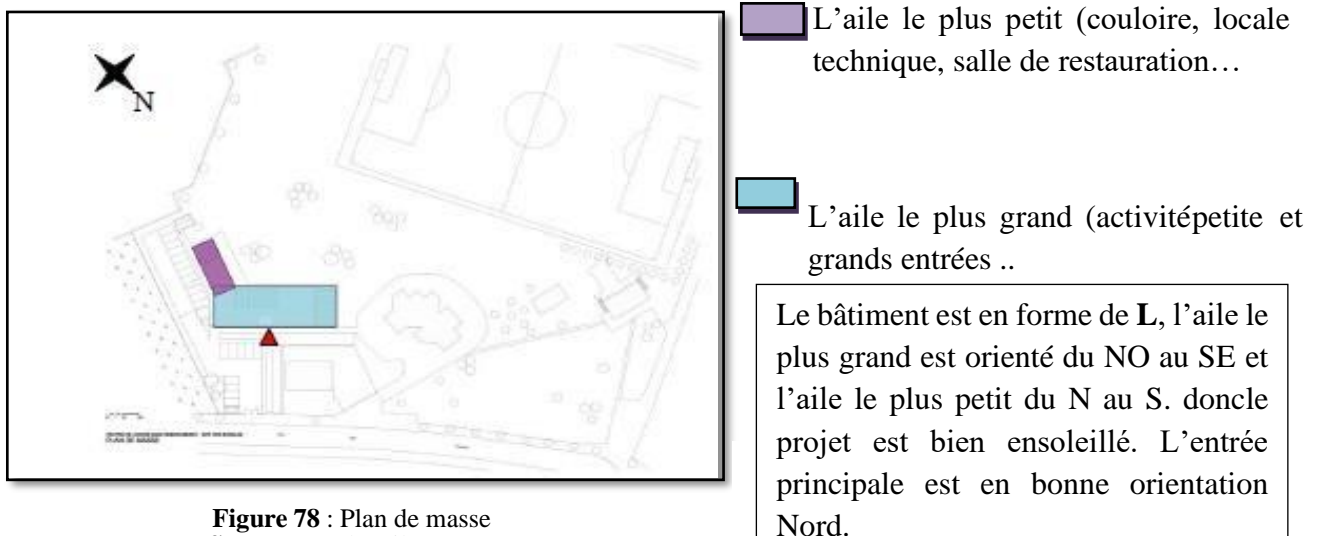


Figure 78 : Plan de masse
Source : ArchDaily.com

e) La volumétrie :

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

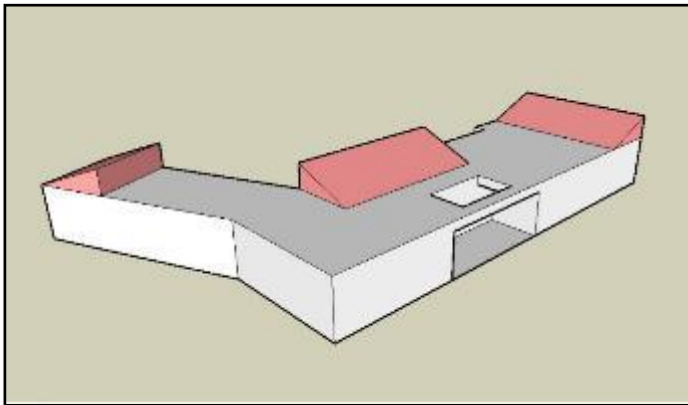


Figure 80 : la volumétrie
Source : ArchDaily.com



Figure 79 : photo d'une habitation
Source : ArchDaily.com

L'existence d'un patio à l'entrée du bâtiment permet de dégager le volume.

Les toitures en pente permettent de dégager les grands volumes nécessaires à certaines espaces (hall et salle de jeux).



Figure 81 : patio à l'entrée du bâtiment
Source : ArchDaily.com

f) Les façades :

Façade Nord Est (Façade principale) :

C'est la façade contenant l'accès principale, elle est allongée du NO au SE, caractérisée par l'horizontalité avec des petites fenêtres de forme triangulaire éparpillées sur la façade.



Figure 82 : la façade Nord-Est
Source : ArchDaily.com

En remarque que tous les espaces de cette façade sont mal éclairés à cause des petites ouvertures,



Figure 83 : les petites fenêtres de la façade,
Source : ArchDaily.com



Salle des animateurs

Dortoir

patio D'entrée



Bureau directs

Régie

Local RAM

Salle de jeux

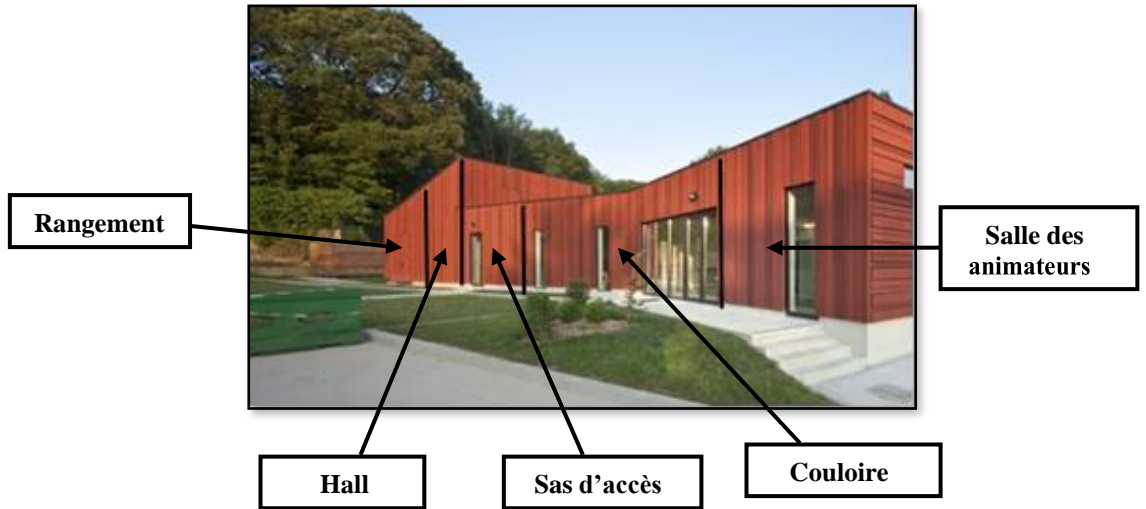
Façade Sud Est :

Façade simple avec des inclinaisons des toitures. Contrairement à la façade NE, Les ouvertures de cette façade Sont des grandes portes vitrées.



Figure 84 : la façade Sud-Est
Source : ArchDaily.com

Les espaces de cette façade (couloire et salle des animateurs) sont bien éclairés à cause des grandes portes vitrés.



Façade Sud-Ouest :

Façade contient des grandes baies vitrées tout au long de la façade avec des petites fenêtres en haut dans la hauteur ajoutée de la toiture en pente.



Figure 85 : la façade Sud- Ouest
Source : ArchDaily.com



Figure 86 : la façade Sud-Ouest
Source : ArchDaily.com



- | | | | | | | | |
|------------------|-----------------------|------------|-----------|-----------------------|--------|-----------------|-----------|
| Salle D'activité | Accueil/ Bibliothèque | Jeux d'eau | Rangement | Salle de restauration | Office | Local technique | Rangement |
|------------------|-----------------------|------------|-----------|-----------------------|--------|-----------------|-----------|

Façade Nord-Ouest :

Cette façade est la façade de la salle de jeux, c'est une façade simple de forme rectangulaire, elle est caractérisée par des petites ouvertures et des unes seul grandes baies vitrées qui assure l'éclairage nécessaire pour cet espace.



Figure 87 : la façade NORD-OUEST
Source : ArchDaily.com

g) La texture et les couleurs :

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



Figure 88 : la façade à la cour de réalisation,
Source : ArchDaily.com



Figure 89: mélèze de la façade
Source : ArchDaily.com

h) Principe d'organisation des plans :

Le bâtiment est constitué d'un seul niveau RDC. La transition entre extérieur et intérieur se fait par étape (auvent filant, patio d'accès, etc.).

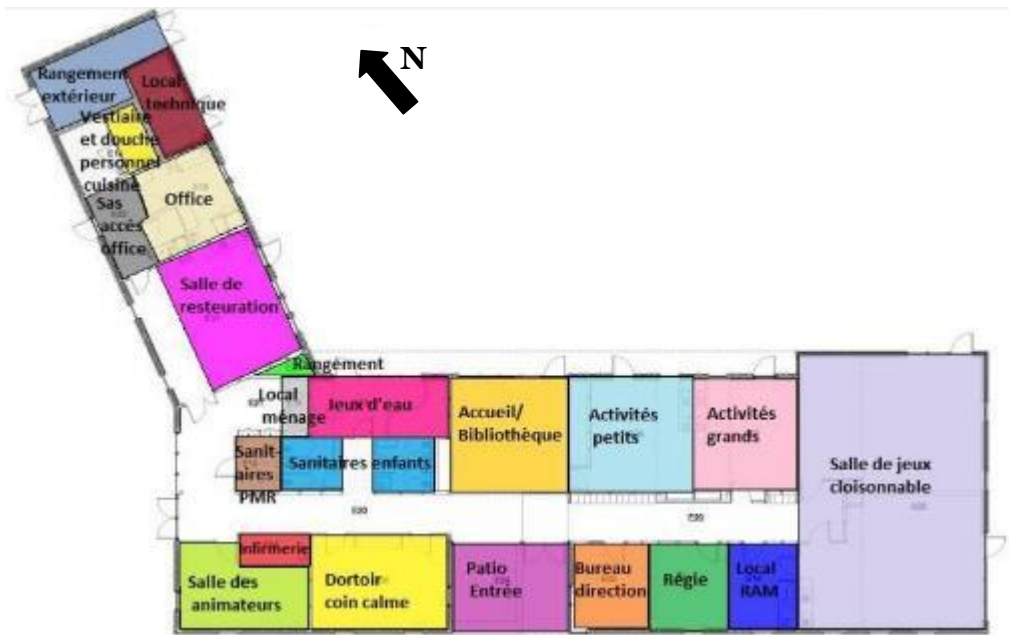


Figure 90 : plan RDC du bâtiment
Source : ArchDaily.com

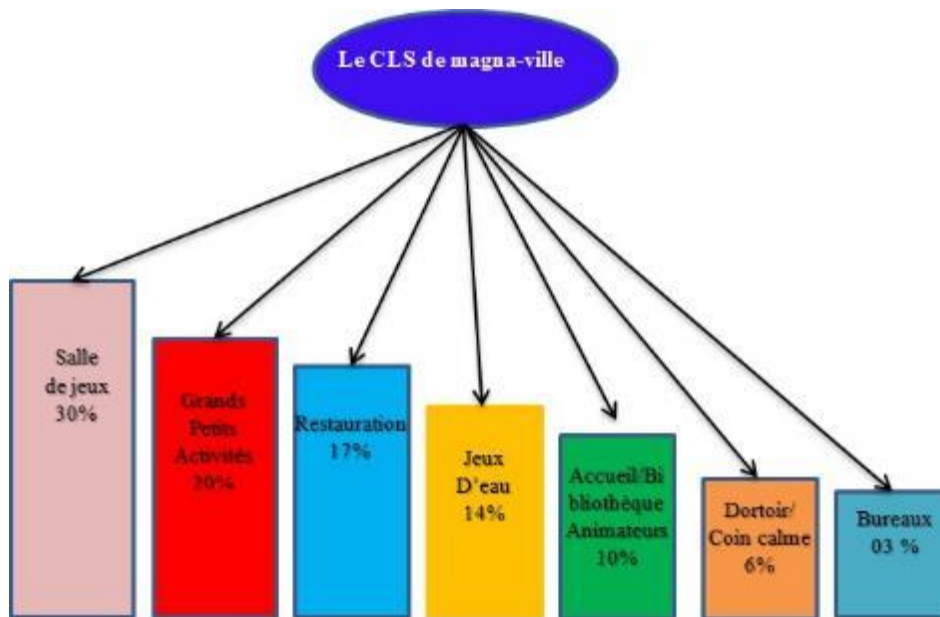
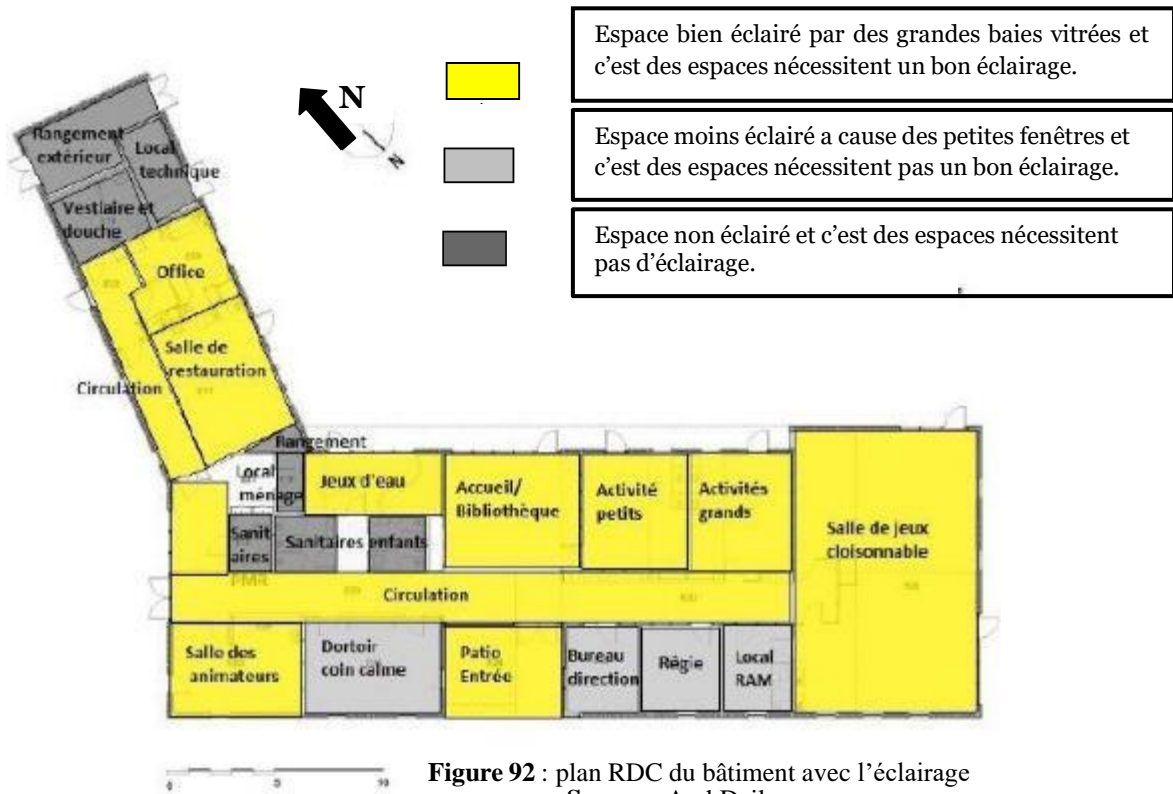


Figure 91 : Schéma d'organisation des espaces, source : Auteurs.

L'éclairage :



➤ Les espaces du bâtiment s'organisent tout au long d'un couloir de circulation, avec l'existence des espaces dégagés sur le couloir : accueil, bibliothèque.



Figure 93 : patio à l'entrée du bâtiment
Source : ArchDaily.com

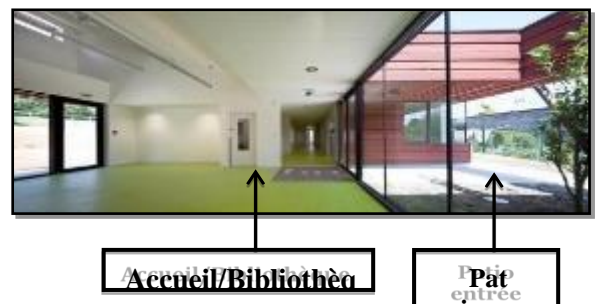


Figure 94 : patio à l'entrée du bâtiment
Source : ArchDaily.com

La circulation :

L'entrée du bâtiment est un patio qui s'ouvre sur un espace ouvert d'accueil et Bibliothèque.

La circulation à l'intérieur du bâtiment ce fait par un couloir étroit.



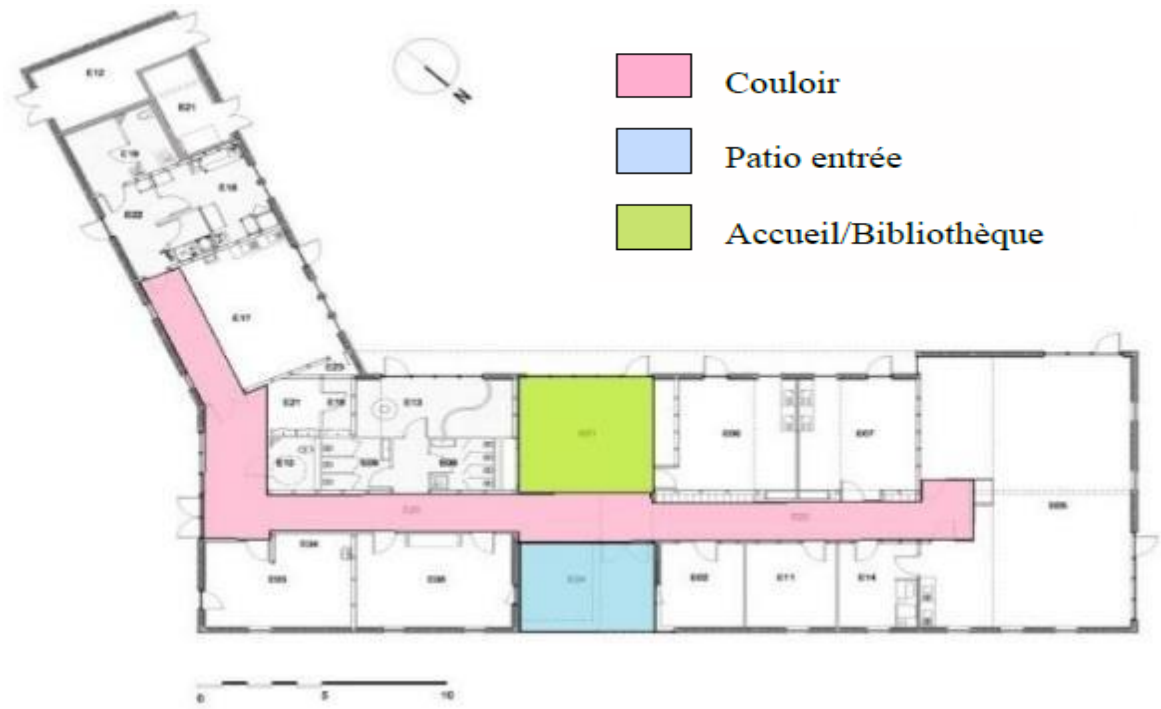


Figure 95 : plan RDC du bâtiment avec la circulation
Source : ArchDaily.com

Organigramme spatial :

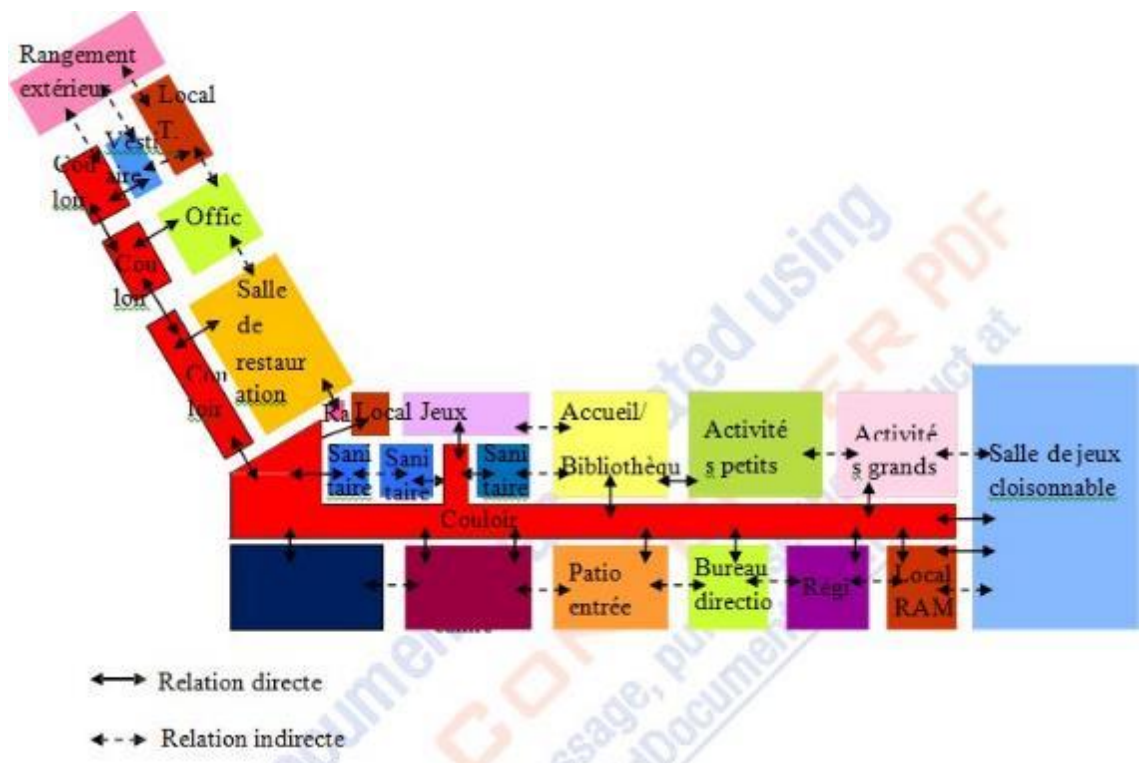


Figure 96 : organigramme spatiaux
Source : ArchDaily.com

Organigramme fonctionnel :

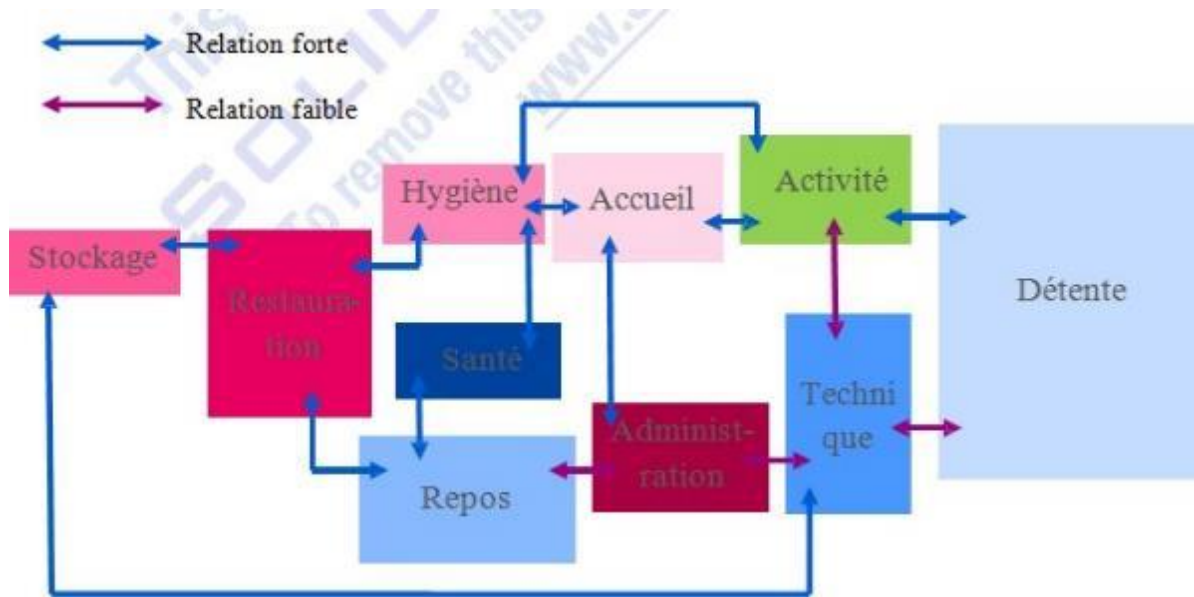


Figure 97 : Schéma d'organisation des espaces
Source : ArchDaily.com

i) Système constructif :

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

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



Figure 97 : Vue extérieure des panneaux OSB
Source : ArchDaily.com



Figure 98 : image d'un Unpanneau OSB
Source : ArchDaily.com



Figure 99 : Vue intérieur de lastructure en bois
Source : ArchDaily.com

SYNTHESE :

Les avantages	Les inconvénients
	<p>Situation :</p> <p>Le centre de loisirs de Magnanville est implanté au périphérique d'une zone d'habitation individuel, donc il est un petit peu éloigné des habitants</p>
<p>L'environnement immédiat :</p> <p>Le projet est entouré par : des équipements éducatifs (deux lycées, un collège et trois écoles primaires et maternelles) et des équipements sportifs (deux Salle Gymnase, une salle de sport, un stade et un terrain de tennis).</p>	<p>Le plan de masse :</p> <p>Il Ya pas une séparation entre l'accès mécanique et l'accès piéton.</p>
<p>L'orientation :</p> <p>Le projet est allongé du NO au SE, donc la plupart des espaces sont bien ensoleillés, avec une bonne orientation de l'entrée au Nord.</p>	<p>Intérieur :</p> <p>La circulation :</p> <p>La circulation à l'intérieur du bâtiment ce fait par des couloirs très étroits.</p>
<p>Le volume :</p> <p>Le volume simple assure le contact direct de toutes les espaces avec l'extérieur.</p>	
<p>Les façades :</p> <p>L'ouverture des façades est faite de façon qu'ils soient en fonction avec les espaces intérieurs. Un bon traitement des façades avec du bois qui assure la continuité de la façade avec la forêt juste à côté du projet.</p>	

Tableau 01 : les avantages et les inconvénients du projet

CONCLUSION :

Suite à l'étude thématique et l'analyse des exemples, nous avons recommandes les espacesprincipales dans un centre de loisirs scientifique suivant :

Consultation internet :

Est un espace qui permet aux jeunes de navigation sur Internet, il a plusieurs fonctions telle que la communication, la recherche et l'amusement.



Figure 100 : consultation internet
Source : google.com

Bibliothèque :

Lieu où une collection de livres est ouverte à la lecture et au prêt. Une salle de lecture est un espace aménagé dans une bibliothèque, destiné à permettre au public de consulter les documents sur place, et de s'en servir comme support de travail.



Figure 101 : bibliothèque

Librairie :

La librairie est un commerce dont le rôle principal est la vente de livres. Il existe différents types de points de vente du livre : librairie de livres neufs (généraliste ou spécialisée), Librairie de livres anciens et d'occasion, maisons de la presse, librairies-papeteries, librairiesambulantes...



Figure 102 : Librairie
Source : google.com

Médiathèque :

Espace chargé de la conservation et de la mise à la disposition du public d'une collection de documents qui figurent sur des supports variés (bande magnétique, disque, film, papier, etc.).



Figure 103 : Médiathèque

Espace de jeux et de loisir :

Espace aménagé destiné aux enfants, et doté d'équipements tels que toboggans, balançoires, etc.



Figure 104 : Espace de jeux
Source : google.com

La salle de spectacle :

Est un lieu de communication mentale et imaginaire.
Sa fonction : théâtre, cinéma...



Figure 105 : La salle de spectacle
Source : google.com

Hall d'exposition :

Un lieu où on place sous le regard du public des œuvres d'art



Figure 106 : Hall d'exposition
Source : google.com

Les différents ateliers :

Ce sont des espaces pour le découvert destiné aux enfants et adultes telle qu'astronomie, biologie, électrique, mécanique, artisanal.



Figure 107 : Les différents ateliers
Source : google.com

Cafétéria :

Lieu public où l'on consomme des boissons ou des plats simples.



Figure 108 : Cafétéria

CHAPITRE IV :

Présentation de cas d'étude

Introduction

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

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

IV.1. Analyse de site d'intervention

i. Motivation de choix

Notre choix a été fait suivant ces critères :

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

IV.1.1 Présentation de la ville

IV.1.1.1 Situation géographique de la ville de Guelma

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

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

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

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



Figure 109 : La situation géographique de la ville de Guelma.

IV.1.1.2. 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 altitude.
 - Houara (Ain Ben Beidha) : 1 292m d'altitude.
 - Taya (Bouhemdane) : 1 208m d'altitude.
 - Dbegh (Hammam Dbegh): 1 060m altitude.

- ✓ Plaines et plateaux : 27,22% ; Collines et piémonts : 26,29% ; Autres : 8,67%.

IV.1.1.3. Analyse climatique de la ville Guelma

IV.1.1.3.1 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.

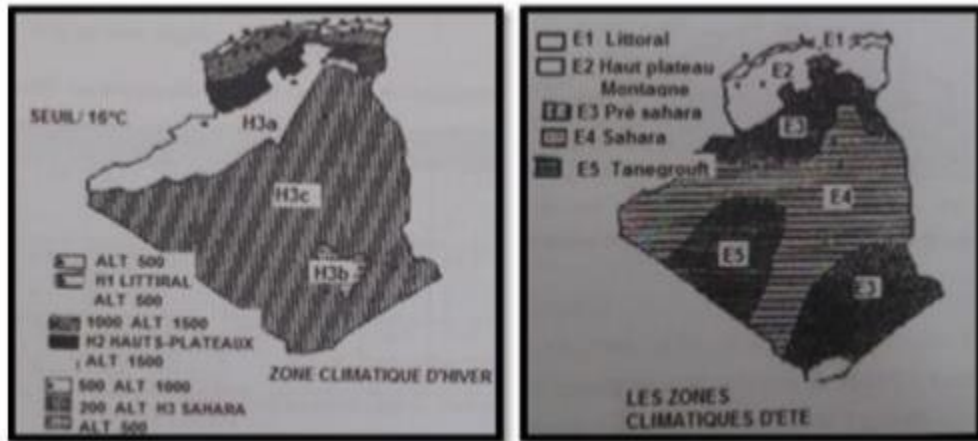


Figure 110 : La classification du climat de la ville de Guelma.

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

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

A rappeler que pour définir les climats on devra s'appuyer constamment sur les données moyennes et extrêmes.⁴⁷

IV.1.1.3.2 Températures

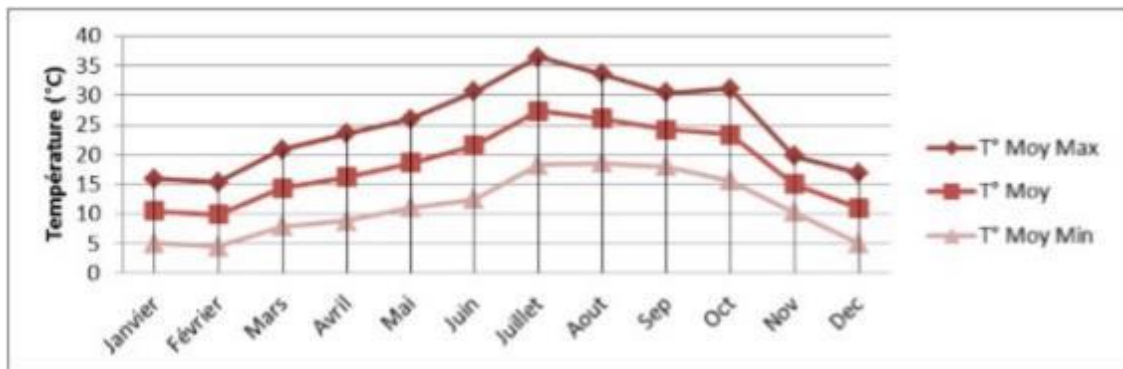


Figure 111 : Graph des variations des températures mensuelles en 2016.

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

⁴⁷ESTIENNE.P et GODARD. A, Climatologie, Paris: Edition Armand Colin, 1970, p11

IV.1.1.3.3 précipitations

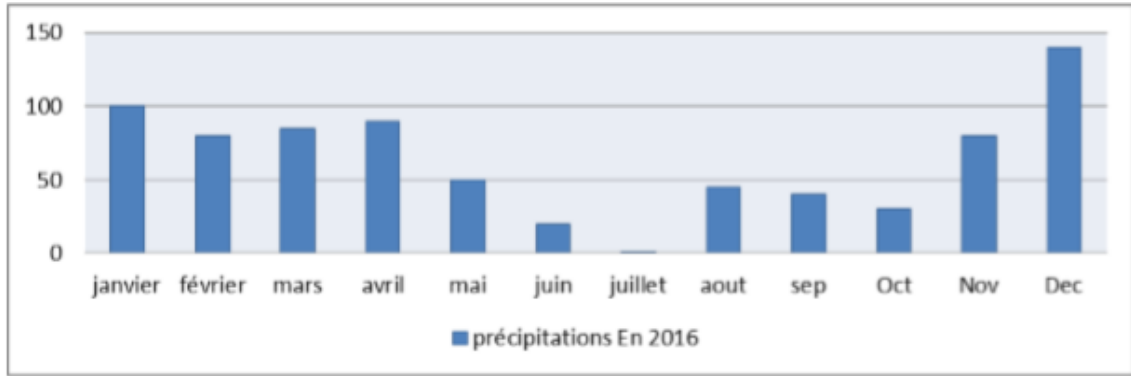


Figure 112 : Graph de variations des précipitations mensuelles en 2016.

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

IV.1.1.3.4 Vitesse de vents

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



Figure 113 : Graph de variation de vitesse des vents mensuelle.

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

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.1.1.3.5 La rose des vents

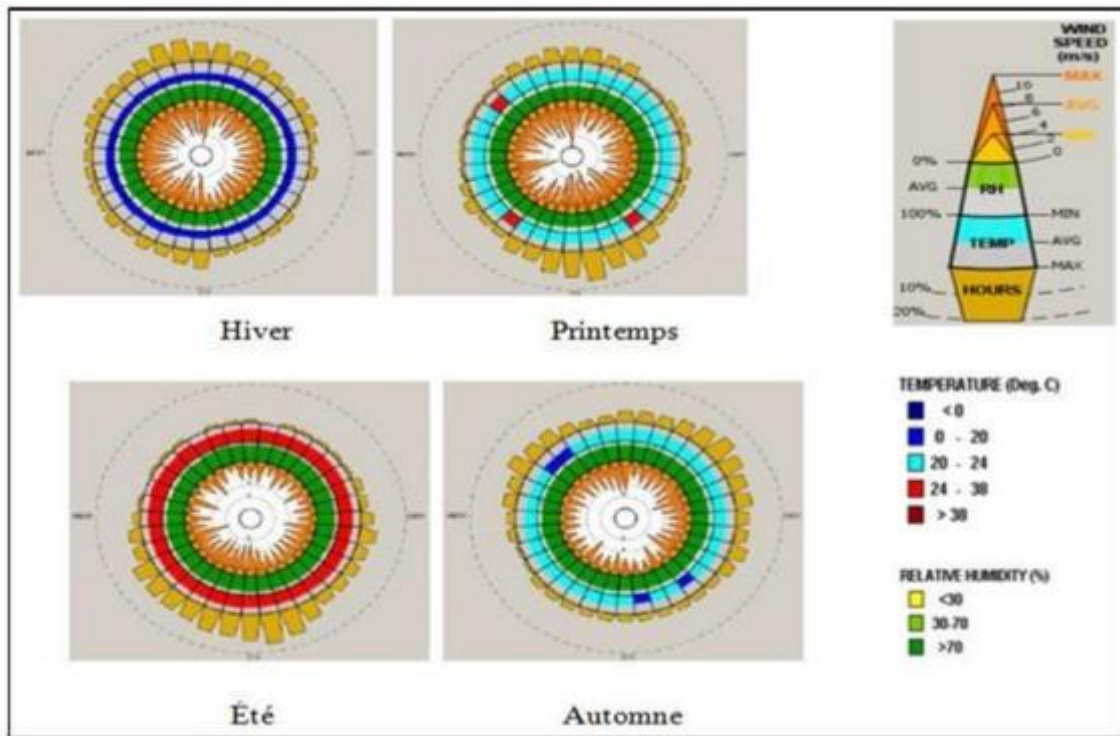


Figure 114 : La rose du vent dans les 4 saisons de la wilaya de Guelma (Météonorm 7 + Climat).

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

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

IV.1.1.3.6.

Insolation

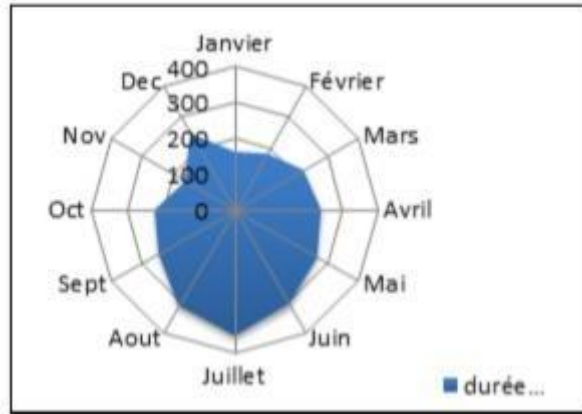


Figure 115 : Variation de durée d'insolation mensuelle.

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.1.1.3.7. Diagramme ombrothermique de Guelma

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

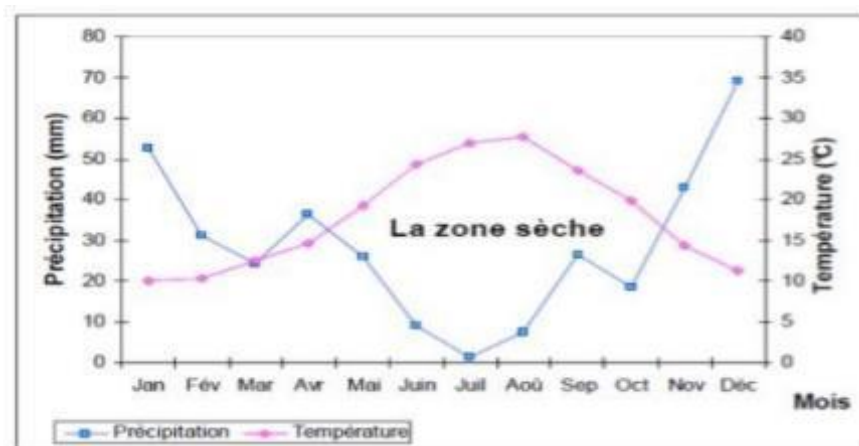


Figure 116 : Le diagramme ombrothermique de Guelma.

IV.1.1.3.8 Diagramme solaire de Guelma

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

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

Tableau 02 : Hauteur et azimut du soleil (Guelma).

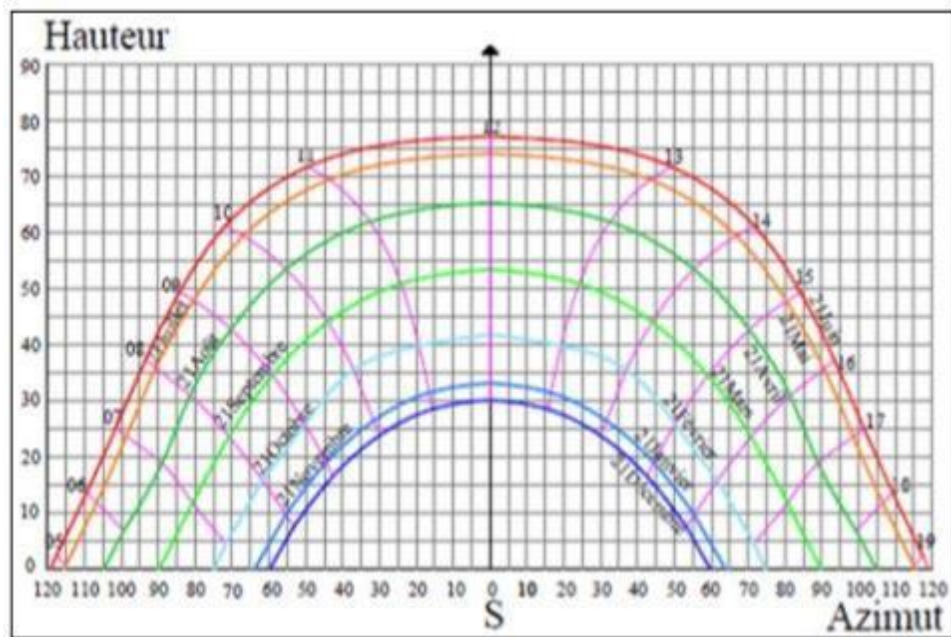


Figure 117 : Le diagramme frontal de Guelma.

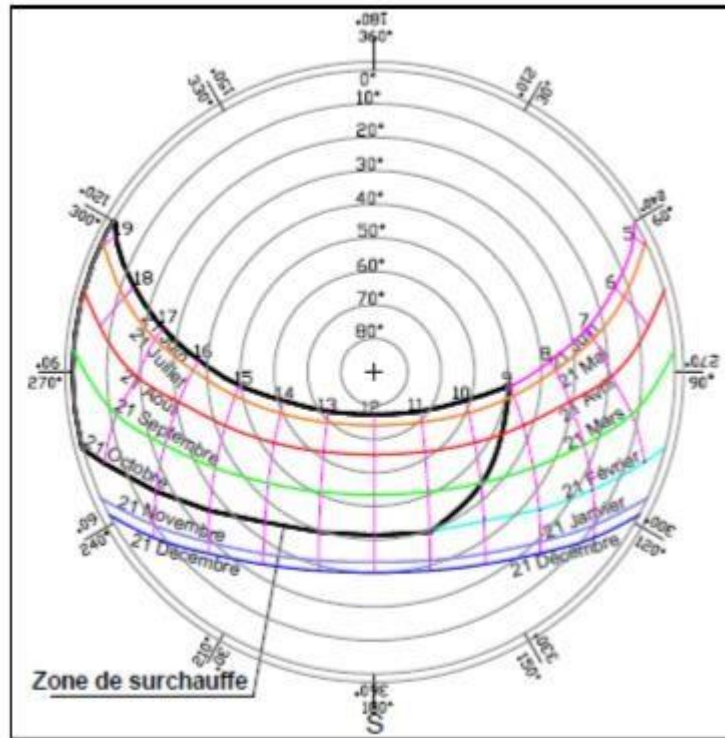


Figure 118 : Le diagramme polaire de Guelma montrant la zone de surchauffe.

IV.1.2 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.1.2.1 Application de la méthode de S. Szokolay

En se basant sur les recherches d'Humphrey, Auliciems sur la température neutre, et la température effective (SET) des normes ASHRAEA, Steve Szokolay a défini une zone de confort avec diverses zones de contrôle potentiel en fonction des données climatiques de la région d'étude⁴⁸. 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.

⁴⁸ SZOKOLAY, Environmental science handbook for architects and builder. LACASTRE, LONDON, NEWYORK: THE CONSTRUCTION PRESS, 1979, p263.

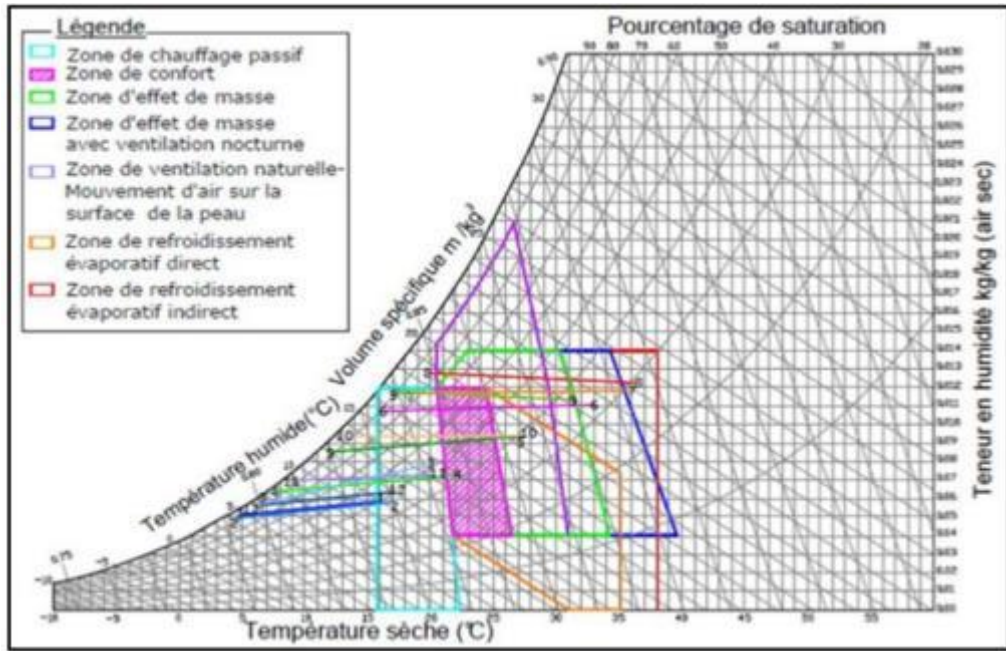


Figure 119 : Le diagramme psychrométrique de Guelma.

IV.1.2.2 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

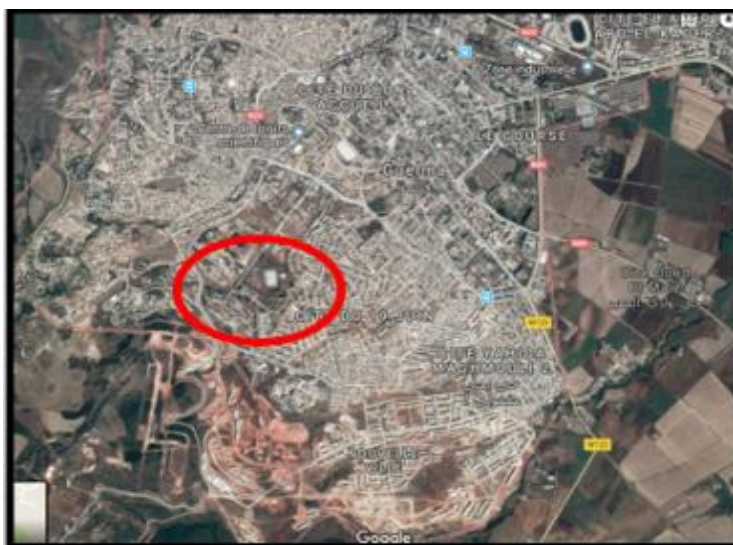


Figure 120 : situation du terrain. Source : Google Earth.

Le terrain se situe à l'ouest de la ville de Guelma, commune de Guelma.



Figure 121 : la situation du terrain par rapport au pos.
Source : Google Earth réadapté par l'auteur

- Le terrain est entouré par des habitations individuelles, en EST et OUEST et au NORD.
- Au SUD OUEST par L'université 08 Mai 1945 à l'Ouest.
- Au SUD EST par une caserne.

IV.1.3.2 Analyse physique du site

IV.1.3.2.1 tissu urbain

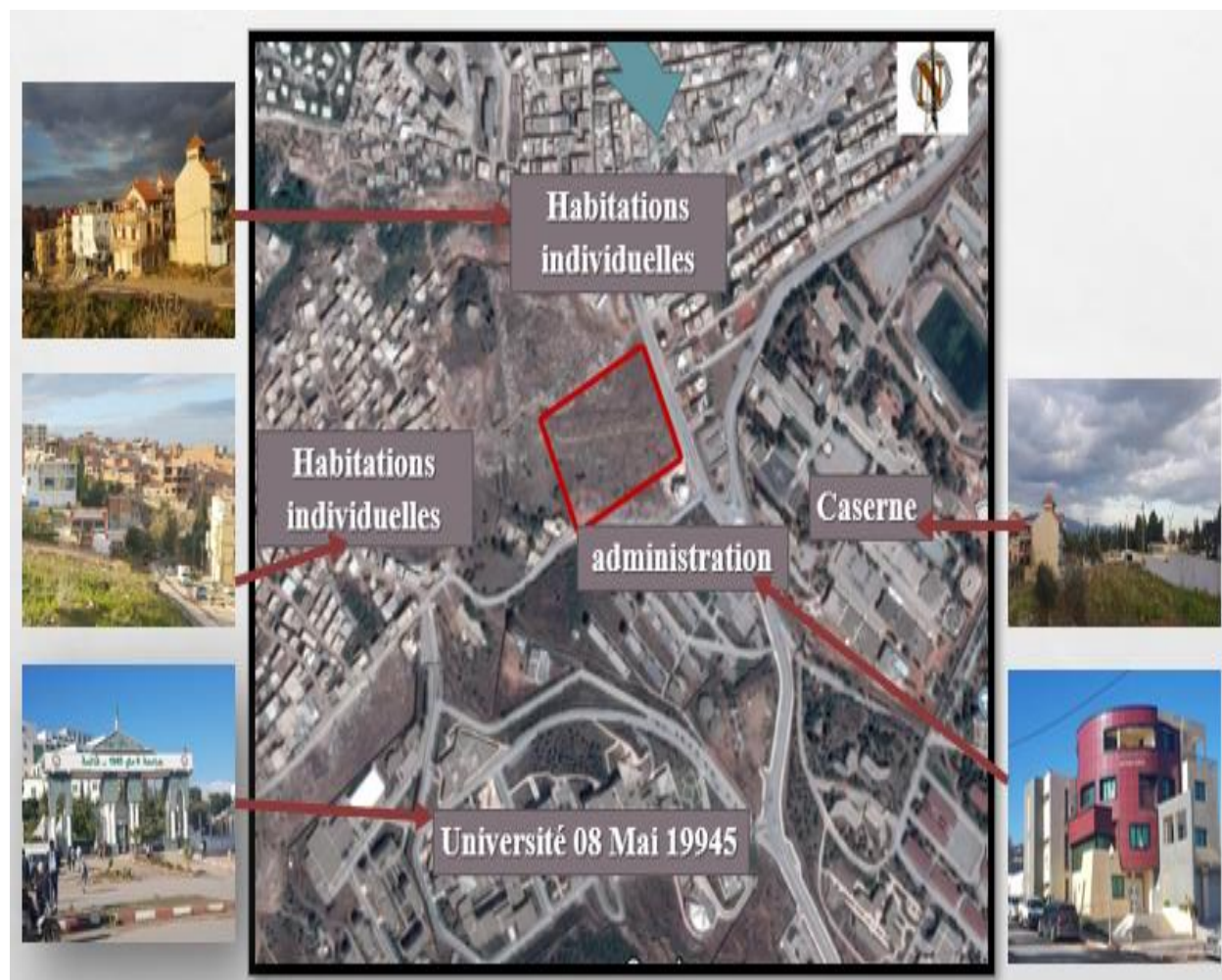


Figure 122 : Le tissu urbain du terrain. **Source :** Google Earth réadapté par l'auteur.

Le terrain se trouve dans un tissu urbain dense il se compose de plusieurs cités résidentielles et à proximité de l'université 08 MAI 1945 et des établissements secondaires et une caserne ainsi une administration.

IV.1.3.2.2 Accessibilité et circulation

- Le terrain est bien accessible, donne sur une route principale et l'autre secondaire ainsi qu'une piste.
- Circulation piétonne d'un flux moyen
- Le terrain a une forme rectangulaire, d'une surface de 32 290 m²

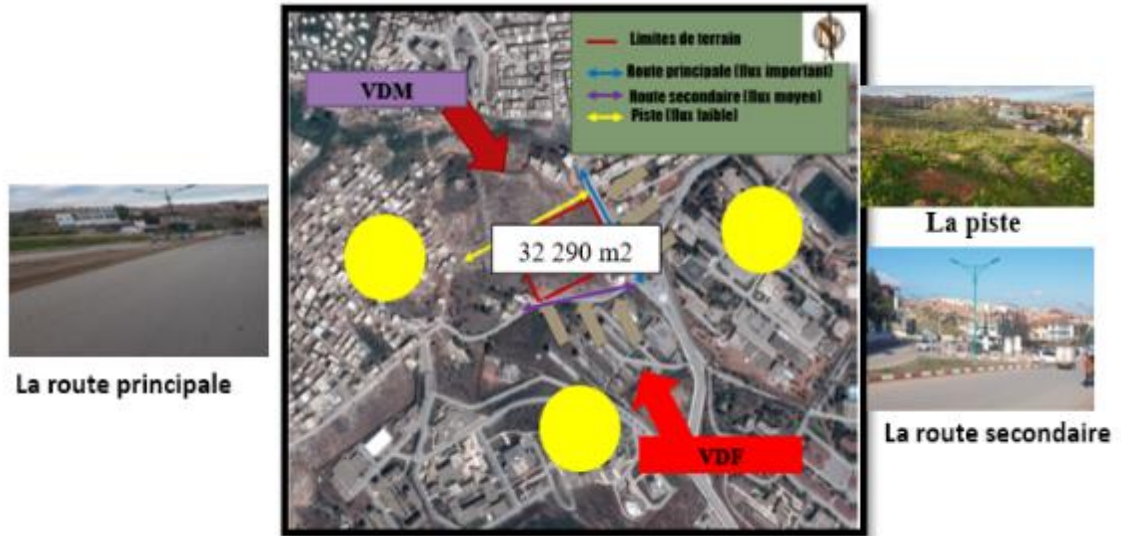


Figure 123 : forme et surface du terrain. Source : Google Earth réadapté par l'auteur.

IV.1.3.2.3 Le profil topographique

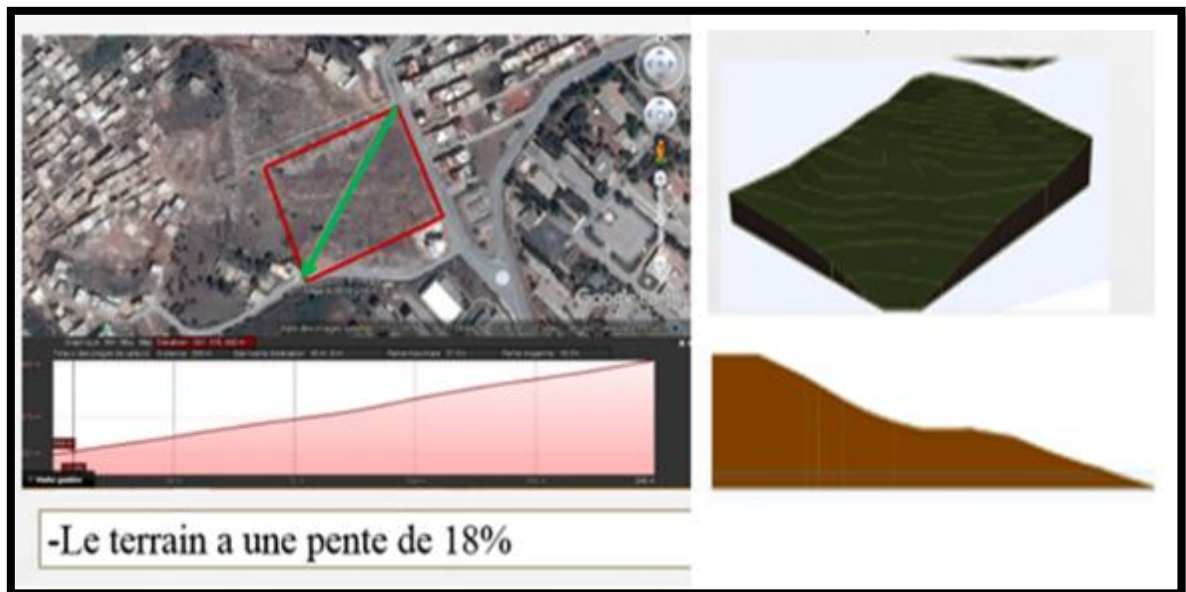


Figure 124 : coupe topographique du terrain. Source : Google Earth.

Notre terrain est colinéaire avec une pente de 18.00 %

IV.1.4 Analyse microclimatique du terrain

IV.1.4.1 Ensoleillements

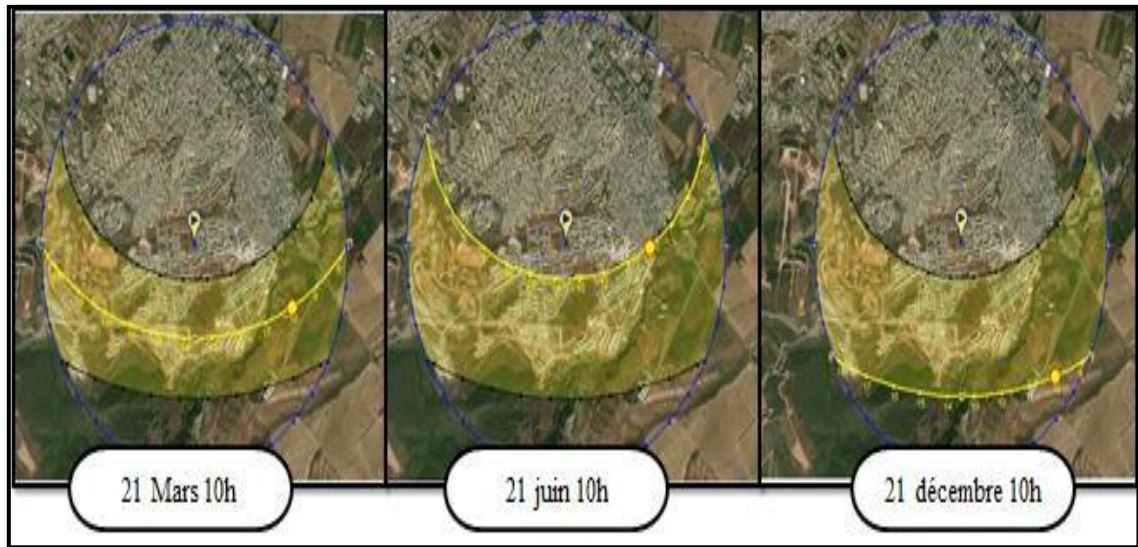


Figure 125 : La course solaire pendant les 3 sollicités (21 décembre, 21 mars, 21 juin).

Source : SunEarthTools.com 2018.

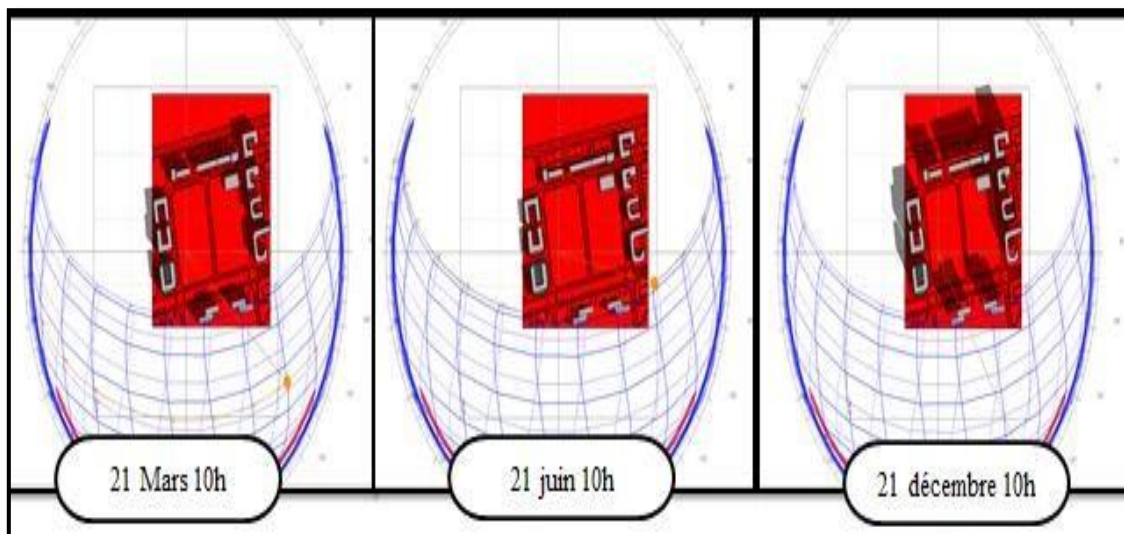


Figure 126 : étude d'ensoleillement pendant les 3 sollicités par le logiciel Ecotect.

Source : auteur.

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

IV.1.4.2 Vents dominants

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

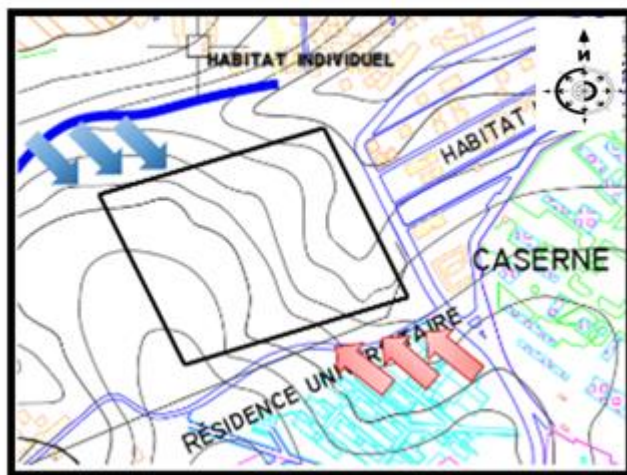


Figure 127 : La direction des vents dominants.
Source : POS réadapté par l'auteur.

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

IV.1.5 Synthèse et critères de choix

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

IV.2 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 »⁴⁹.

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

IV.2.1 Objectifs de la programmation

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

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

IV.2.2 Programme retenu

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

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

⁴⁹ Cahier de l'EPAU n°2-3 1993, « programmation et conception en architecture » ; essais méthodologiques », M. Azouz ; enseignant à l'EPAU

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

Logistique	Dépôt	50	1	50	200
	Locaux des constructions	150	1	150	
	D'énergie solaire				
Infirmierie	Salle d'infirmierie	120	1	120	120
L'auditorium	Salle de projection	50	1	50	920
	Salle de répétition	80	2	160	
	Salle d'honneur	100	2	200	
	Salle de costume	120	2	240	
	Salle de maquillage	50	1	50	
	Salle d'attente	40	1	40	
	Billetterie	40	2	80	
	Foyer	100	1	100	

Tableau 03 : Programme retenu. **Source :** Auteur.

Synthèse et recommandations

Cette étude nous a montré :

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

IV.3 Genèse et démarche de projet

Projet proposé : un centre de loisir scientifique à Guelma (POS Sud) ; Sur une assiette de 23290 m² de surface.

IV.3.1 Objectifs

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

IV.3.2 Principes à suivre

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

Opter pour une éco conception en s'appuyant sur les deux aspects :

Une démarche passive (bioclimatique) du projet architectural.

IV.3.3 Schéma de principe

- La genèse de la forme

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

Notre forme de base s'est inspirée de la forme de l'œil.

Nous avons identifié deux axes principaux pour notre projet, après on a ajoutée deux d'autres formes liées à l'œil, La première forme est le sourcil ; la deuxième est la forme des cernes, puis on a ajouté les cils inférieurs, aiguisée les coins pour le faire rassembler à l'oeil d'une femme portant un eye-liner.

Il nous reste plus que développer l'idée.

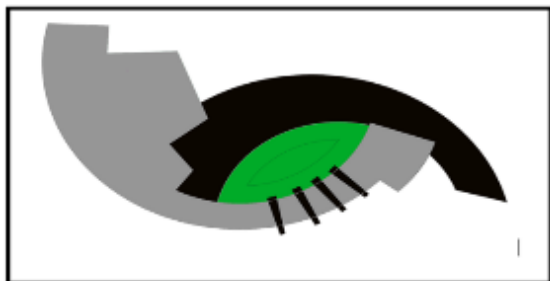


Figure 129 : la forme finale obtenu / métaphore.

Source : Auteur

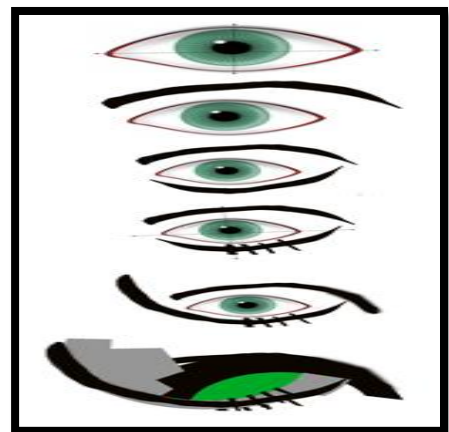


Figure 128 : Processus de métaphore

Source : auteur

- Approche environnementale

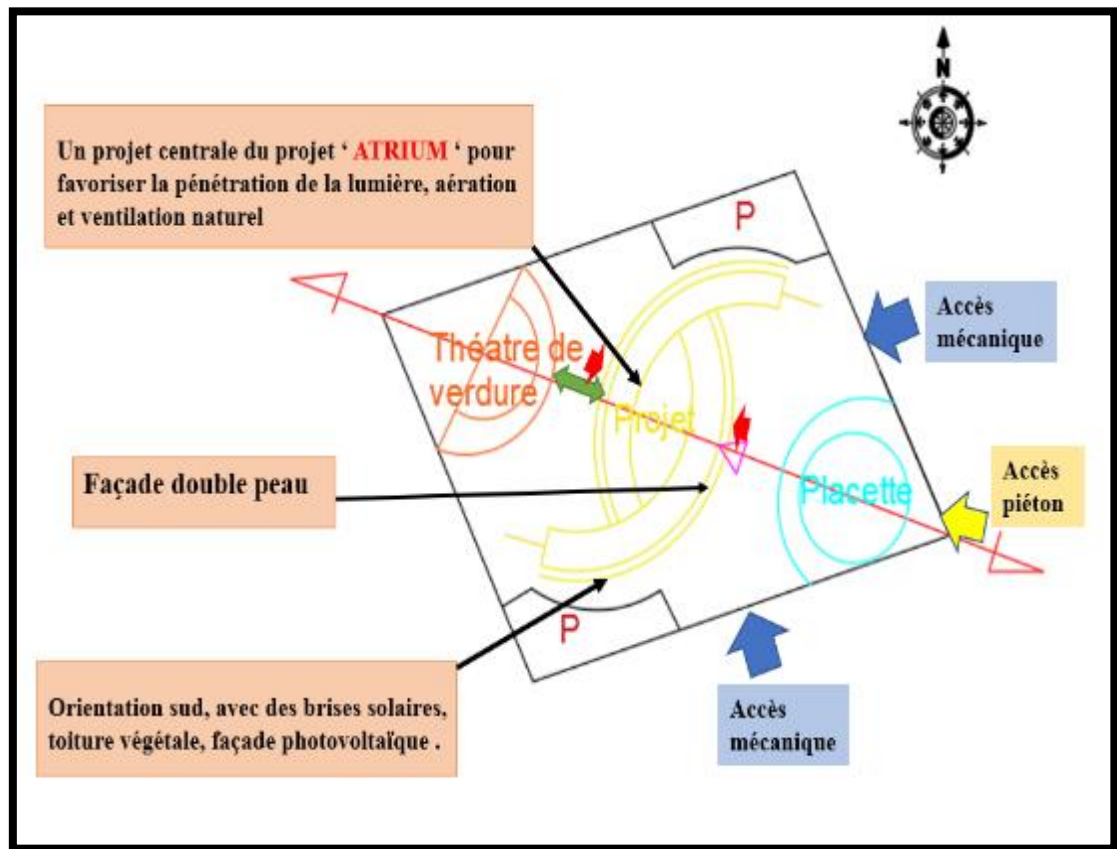


Figure 130 : Schéma montrant l'environnement et les différentes techniques écologiques intégrées.
Source : Auteur.

- Solutions bioclimatiques :

1- Orientation et implantation en gradin :

L'orientation du projet en plein sud permet d'assurer une efficacité énergétique par l'optimisation des apports solaires gratuits et le confort thermique des espaces sera atteint avec le minimum d'énergie consommée.

Les atriums :

Pour profiter d'un maximum d'apport naturel et gratuit on a prévu deux atriums importants comme étant des dispositifs bioclimatiques passifs.

Assurant le confort intérieur, Les atriums jouent un double rôle, celui du chauffage passif en hiver par un effet de serre et un rôle de ventilation naturelle en été par un effet de cheminée.

2- Les brise-soleils :

Un élément architectural servant à diminuer l'inconfort lié au rayonnement direct du soleil, peut-être horizontal ou vertical, fixe ou orientable selon la surface vitrée à protéger. Pour une meilleure efficacité, poser le brise-soleil de l'extérieur.

3- La végétation :

La végétation est le moyen le plus écologique utilisé pour l'appréciation du confort.

Les toits jardin :

De par sa composition de différentes couches, le toit végétalisé constitue une stratégie bioclimatique ; par une isolation thermique qui permet de diminuer les dépenses énergétiques en chauffage et climatisation...



Figure 131 : structure d'un toit jardin

Source : <http://www.strikto.fr>

4- Les énergies renouvelables :

Pour profiter d'un maximum d'apport naturel et gratuit et limiter les déperditions d'énergie :

- On a optimisé les apports solaires par l'utilisation des dispositifs passifs de chauffage et de ventilation naturelle (Atriums, murs inclinés)
- Utilisation des panneaux photovoltaïques sur la toiture.

5- Choix constructif :

Le choix du système constructif est établi dans le but d'assurer le bon fonctionnement du projet et de répondre à ses exigences formelles.

Dans notre projet on a opté pour une structure métallique compte tenu des besoins structurel et spatial car elle offre plusieurs avantages tel que :

Les grandes portées, la légèreté, la flexibilité, la rapidité d'exécution et le respect de l'environnement par le caractère recyclable de l'acier.

La structure métallique présente des inconvénients tels que la mauvaise résistance au feu, pour remédier à cela les éléments porteurs vont recevoir un habillage ou un cloisonnement de plaques Placoplatre avec l'utilisation de la peinture intumescente.

Conclusion générale

L'architecture n'est pas une science exacte, elle ne dépend pas de règlements universels, mais dépend de paramètres hétérogènes.

Pour cela elle doit être l'image d'un contexte organisé par rapport aux exigences des usagers, d'un site et surtout d'une culture cherchant son identité.

La conception d'un projet de centre de loisirs scientifique doit s'appuyer sur un travail intellectuel capable de mettre en interaction les quatre dimensions le site et ses contraintes, le programme et ses exigences, les références architecturales et techniques, l'aspect environnemental.

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

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

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

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.

Le développement durable a opéré une transformation considérable dans le domaine de l'architecture, c'est la naissance d'une architecture écologique qui s'intéresse aussi bien au projet en cherchant la passivité depuis sa conception jusqu'à sa réalisation qu'à l'individu en aspirant à son confort et bien être.

Bibliographie :

Ouvrage :

1. Cahier de l'EPAU n°2-3 1993, « programmation et conception en architecture » ; essais méthodologiques », M. Azouz ; enseignant à l'EPAU
2. Daniel MUCK, capteurs solaire thermiques, Cogesol
3. Définition de la culture scientifique : Source : PISA 2006 : Les compétences en sciences, un atout pour réussir, vol. 1. Définition du loisir scientifique Source : le loisir scientifique un concept en mutation.
4. DEMERS, C. et POTVIN, A. (2004), Le chauffage solaire passif comme stratégie bioclimatique, Esquisses, Ordre des Architectes du Québec,
5. E. Mazria. « Le guide de l'énergie solaire passive », 1980.
6. ESTIENNE.P et GODARD. A, Climatologie, Paris: Edition Armand Colin, 1970, p11
7. Fernandez, P., & Lavigne, P. Concevoir des bâtiments bioclimatiques : fondements & méthodes, le moniteur. Paris, 2009
8. Cazeneuve Jean. Dumazedier Joffre, Vers une civilisation du loisir ? In: Revue française de sociologie, 1962, 3-4. P 455.
9. Goetz berger et Schmid, 1985 ; International Energy Agency, 2009
10. Guide de l'énergie solaire passive. Edward Mazria, ISBN : 2863640119. Éditeur : parenthèses (1981).
11. H. A. Zondag et al. The yield of different combined PV-thermal collector designs, Solar Energy, Vol. 74, pp 253- 269, 2003
12. Le loisir scientifique, un concept en mutation Sylvie toupin, coordonnatrice du développement scientifique, conseil de développement du loisir scientifique, Montréal.
13. Pierre Lavigne, « Concevoir des bâtiments bioclimatiques », le moniteur, 2009
14. S. Mazouz, Eléments de conception Architecturale, 2004.
15. SZOKOLAY, Environmental science handbook for architects and builder. LACASTRE, LONDON, NEW YORK: THE CONSTRUCTION PRESS, 1979, p263.
16. UNI-SOLAR ; Mundari Probst et al. 2012

Thèses et mémoires :

1. Alain RECAUT, Système photovoltaïque, Ecole polytechnique Savoie, Oct. 2011, P152
2. Chergui et Ben hamza, „conception bioclimatique d’un centre de loisir scientifique au sein d’un éco quartier à Ghardaïa“ mémoire fin d’étude de l’université Saad Dalab de Blida, 2018-2019.
3. David DILLMAN, Architecture solaire passive et réhabilitation, Ecole d’architecture de la ville et des territoires à Marne la vallée, Janvier 2014, P10
4. EIA (2011). Annual Energy Outlook, DOE/EIA-0383, 2011
5. Emilie.B, ‘éléments de conception architecturale’, mémoire de magister de l’université de Québec, Canada 2013
6. L’union social pour l’habitat, Guide Intégration du photovoltaïque dans une opération de logement social, Septembre 2013, P9
7. M. Antonio, "Les énergies renouvelables au Maroc" CDER (Centre de Développement des Energies Renouvelables au Maroc), 2004
8. M. BENAMRA (Mostefa Lamine) : Intégration des systèmes solaires photovoltaïques dans le bâtiment : Approche architecturale, Université de BISKRA, 2013
9. SHIRLEY GAGNON, ÉNERGIE SOLAIRE ET ARCHITECTURE, Les outils numériques et leur utilisation par les architectes pour la conception solaire, UNIVERSITÉ LAVAL, QUÉBEC 2012, P39
10. S.Houpert, « thèse de doctorat ».2003 école d’architecture de Nantes, titre : « approche inverse pour la résolution de contraintes solaires et individuelles dans le projet architectural et urbain »
11. Talal SALEM : Intégration des composants solaires thermiques actifs dans la structure bâtie, L’Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 19 janvier 2007.

Site internet :

1. American Institute of Architects, 1982.
2. <http://lesbeauxproverbes.com/tag/benjamin-franklin/>
3. <https://www.djazairess.com/fr/infooir/50652>
4. Guide pédagogique sur les énergies renouvelables.

5. Ibid.com
6. Lamaisonpassive.fr – Quelques informations sur la maison passive.