

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

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



## **Mémoire de Master**

**Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma**

**Faculté des Sciences et de la Technologie**

Département de : **Architecture**

Spécialité : **Architecture**

**Option : ARCHITECTURE, TECHNOLOGIES ET  
ENVIRONNEMENT**

Présenté par : **CHETTIBI HEMZA**

---

**Thème : Bâtiment à basse consommation énergétique**

---

**Sous la direction :**

Mme. Mihoubi Mounira

Mme. Hafsi F.Zahra

**2020**

## **Dédicace**

### **À MES CHERS PARENTS...**

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.*

*Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.*

*Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.*

*Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçois.*

### **A MES CHERS ET ADORABLE FRERES ET SŒUR...**

*Karima, ma confidente, Hichem, mon conseiller, Tahar, mon bras droit et mon ami d'enfance Ali, mon petit frère.*

*En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.*

### **À MES CHERS PETITS NEVEUX ET NIECE...**

*Ziyad, Randa et Nabil, Puisse Dieu vous garder, éclairer votre route et vous aider à réaliser à votre tour vos vœux les plus chers.*

## Remerciement

Tout d'abord je tiens à remercier Dieu, le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force, l'intelligence et la patience pour faire aboutir ce modeste travail.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance. En premier lieu, Je tiens à remercier mes encadreur, Mme. Mihoubi Mounira et Mme. Hafsi Fatma Zahra, pour leurs patiences, leurs disponibilités et surtout leurs judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, chercheurs et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant cette recherche.

Enfin, je remercie ma famille en particulier ma mère, qui était toujours là pour moi.

## **Résumé :**

A l'échelle planétaire, le secteur du bâtiment constitue le gros consommateur d'énergie et une forte part des impacts environnementaux d'origine anthropique. De ce fait il présente un fort potentiel d'amélioration à la fois sur les plans énergétique et environnementaux. Il est donc considéré comme un élément important de diminuer la consommation d'énergie et agir pour améliorer l'efficacité énergétique dans les bâtiments.

Aujourd'hui, l'amélioration de l'efficacité énergétique dans le secteur des bâtiments constitue un axe très important, pour cela plusieurs labels de qualité en termes de développement durable, et la maîtrise de la consommation, ont vu le jour tels que : bâtiment à basse consommation, la haute performance énergétique, et la haute qualité environnementale...etc.

Pour améliorer la performance énergétique de ce secteur, toutes constructions devront avoir un contenu en carbone limité, de ce fait les architectes se doivent de prendre en compte la dimension écologique dans leurs conceptions, en adoptant les solutions dites « passives » qui consistent à réduire la consommation d'énergie des équipements et des matériaux grâce à une meilleure performance en utilisant l'énergie renouvelable et d'être capable de « faire mieux avec moins ».

**Mots clés :** la consommation d'énergie, efficacité énergétique, labels, bâtiment à basse consommation, la haute performance énergétique, performance énergétique, énergie renouvelable.

## ملخص

عالمياً، يشكل قطاع البناء المستهلك الرئيسي للطاقة ويتسبب في جزء كبير من الأثار البيئية ذات الاصل البشري. نتيجة لذلك فإنّ هذا الاخير لديه امكانيات كبيرة للتحسين من حيث استهلاك الطاقة وتحسين البيئة. لذلك يعتبر التقليل من استهلاك الطاقة والعمل على تحسين كفاءة الطاقة في المباني عنصراً مهماً.

اليوم، يعد تحسين كفاءة الطاقة في قطاع المباني محوراً مهماً للغاية، حيث ظهرت العديد من ملصقات الجودة من حيث التنمية المستدامة واتقان استهلاك الطاقة، مثل، بناء منخفض الاستهلاك، وأداء عالي للطاقة، وجودة بيئية عالية ... إلخ.

لتحسين أداء الطاقة في هذا القطاع، يجب أن تحتوي جميع الإنشاءات على محتوى كربوني محدود، وبالتالي يجب على المهندسين المعماريين مراعاة البعد البيئي في تصميمهم، من خلال اعتماد ما يسمى بالحلول "السلبية" التي تعمل على تقليص استهلاك الطاقة لكل من المعدات ومواد البناء بفضل أداء أفضل يكون باستعمال الطاقة المتجددة والقدرة على تحقيق أداء أفضل بأقل تكلفة.

**الكلمات المفتاحية** استهلاك الطاقة، كفاءة تحويل الطاقة، علامة، بناء منخفض الاستهلاك، الاداء العالي للطاقة،

أداء الطاقة، الطاقة المتجددة

**Abstract :**

On a planetary scale, the building sector constitutes the big consumer of energy and a large part of the environmental impacts of anthropogenic origin. As a result, it has great potential for improvement in both energy and environmental terms. It is therefore considered as an important element to reduce energy consumption and act to improve energy efficiency in buildings.

Today, improving energy efficiency in the buildings sector constitutes a very important axis, for this several quality labels in terms of sustainable development, and the control of consumption, have emerged such as: building low consumption, high energy performance, and high environmental quality... etc.

To improve the energy performance of this sector, all constructions must have a limited carbon content, therefore architects must take into account the ecological dimension in their design, by adopting so-called "passive" solutions which consist in reducing the energy consumption of equipment and materials through better performance using renewable energy and being able to "do more with less".

**Keywords:** energy consumption, energetic efficiency, labels, low consumption building, high energy performance, energetic performance, renewable energy.

## TABLE DES MATIERES

Résumé

ملخص

Abstract

Liste des figures

Liste des tableaux

Acronymes et abréviations

INTRODUCTION GÉNÉRALE

### Chapitre I : Environnement, consommation énergétique et bâtiment

Introduction.....	19
I.1 Environnement : définition de concepts .....	22
I.1.1 Définition de l'environnement : .....	22
I.1.2 Les activités humaines : impacts et crise environnementale.....	22
I.2 Consommation énergétique et bâtiment : .....	22
I.2.1 Aperçu sur les énergies : .....	22
I.3 Consommation énergétique : .....	26
I.3.1 Contexte internationale : .....	26
I.3.2 Contexte Nationale : .....	29
I.4 Le secteur du bâtiment : principal consommateur énergétique dont la consommation ne cesse de croître : .....	30
I.4.1 Situation énergétique du bâtiment dans le monde : .....	31
I.4.2 Situation énergétique du bâtiment en Algérie : .....	32
I.4.3 Énergétique du bâtiment : .....	33
Conclusion : .....	37

### Chapitre II : Etat de l'art : Performance énergétique, Réglementation et labels vers une haute performance énergétique

Introduction .....	38
II.1 La Performance énergétique d'un bâtiment : .....	38
II.1.1 Qu'est-ce que la performance énergétique ? .....	38
II.1.2 Diagnostic de Performances Énergétiques : .....	38
II.1.3 Qu'est-ce que l'efficacité énergétique ? .....	39
II.1.4 L'Efficacité énergétique dans le bâtiment : .....	40

II.1.5	Pas de performance énergétique sans efficacité énergétique : .....	40
II.1.6	Énergies Renouvelables et Efficacité Énergétique : .....	41
II.2	Etat de l'art des Réglementation et labels vers une haute performance énergétique : .....	41
II.2.1	Evolution des bâtiments à basse consommation : .....	41
II.3	Les bâtiments performants : .....	53
II.3.1	Bâtiments basse consommation : .....	54
II.3.2	Bâtiments passifs : .....	54
II.3.3	Bâtiments à énergie positive : .....	55
II.4	Expériences Internationales : .....	56
II.4.1	Hélios, Bâtiment emblématique de L'INES : .....	56
II.4.2	Laboratoire nationale des énergies renouvelables ; NREL : .....	61
II.4.3	Synthèse : .....	68
II.5	Solutions et techniques d'efficacité énergétique : .....	69
II.5.1	Les solutions d'efficacité énergétique passives : .....	69
II.5.2	Les solutions d'efficacité énergétique actives : .....	79
	Conclusion : .....	81

### **Chapitre III : Etude de cas et outils de simulation.**

	Introduction : .....	82
III.1	La simulation des performances énergétiques du bâtiment : .....	82
III.1.1	Modélisation et simulation du bâtiment : .....	82
III.1.2	La simulation : outil d'aide à la conception .....	83
III.1.3	La simulation : étude du comportement des bâtiments existants : .....	84
III.1.4	Les outils les plus utilisés au niveau international .....	84
III.2	Etude de cas : .....	86
III.2.1	Présentation du cas d'étude : Centre de recherche de l'Université 08 Mai 1945 Guelma. ....	86
III.2.2	Les conditions de simulation : (cas de l'étude) .....	87
III.2.3	Aspect énergétique : simulation et évaluation .....	90

### **Chapitre IV : Analyse et processus de conception**

	Introduction : .....	96
IV.1	Analyse des exemples : .....	96
IV.1.1	Exemple 01 : Centre de recherche sur l'énergie solaire et l'hydrogène .....	96
IV.1.2	Exemple II : Laboratoire national de l'énergie renouvelable .....	101
IV.1.3	Exemple 03 : Institut national de l'énergie solaire « INES » .....	109
IV.1.4	Définition du centre de recherche : .....	117

a. Typologie du domaine de la recherche : .....	117
- Recherche fondamentale : Qui s'applique à tous les domaines des sciences exactes tels que : mathématique, physiques ; chimie, etc. Ainsi que les sciences sociales et humaines .....	117
IV.1.5 Programmation spatiale et fonctionnelle : .....	119
IV.2 Analyse de site : .....	123
IV.2.1 Présentation de la ville de Guelma : .....	124
IV.2.2 La wilaya dans quelques chiffres : .....	124
IV.2.3 Motivation de choix du terrain : .....	127

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Les différentes sources énergétiques dans le monde sont toutes issues du soleil. Source Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques (Source : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, À Léa-Linh, Hélène, David et Violaine Liébard).....	24
Figure 2 : Consommation mondiale d'énergie primaire en 2017 (Source : www.planetoscope.com) .....	26
Figure 3 : Consommation énergétique mondiale par région (Source : www.planetoscope.com) .....	27
Figure 4: Structure de la consommation primaire d'énergie en Algérie par produits (Source : BP Statistical Review of World Energy) .....	29
Figure 5 : Consommation finale d'énergie par secteur à l'échelle nationale (Source : Minist2re de l'énergie ; www.Energy.gov.dz) .....	30
Figure 6 : Répartition des émissions de GES par secteur d'activité dans le monde ; (Source : GIEC, 3e groupe de travail, 2014).....	31
Figure 7: Répartition de la consommation finale dans le secteur du bâtiment en Algérie (Source : Auteur) .....	32
Figure 8 : Consommation énergétique annuelle 2019 de la cité Hamlaoui, Guelma (Source : Sonelgaz de Guelma).....	33
Figure 9 : Évolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année, sans effet des installations techniques de chauffage ou climatisation. La bande grisée représente les exigences de confort. C représente la température extérieure, A un bâtiment bien conçu et B un bâtiment inadapté à son climat. (Source : Roulet Claude-Alain. THERMIQUE DU BÂTIMENT, TOUT LE CONFORT AVEC PEU D'ÉNERGIE.).....	34
Figure 10: Schéma de l'EFFET DE SERRE (Source :Internet) .....	35
Figure 11: A. L'étiquette énergie / B. L'étiquette climat (Source : Google) .....	39
Figure 12 : Moyennes pour une maison d'avant 1975 non isolée (Source : ADEME) .....	43
Figure 13 : Evolution de la réglementation thermique en France (Source : www.harmonie.fr/1974-2020-evolution-reglementation-thermique).....	46
Figure 14 : Comparaison entre les labels MINERGIE® et MINERGIE-P (Source : https://www.swissbois.ch/index.php/technologie/standard-minergie) .....	51
Figure 15 : Hélios siège de l'INES (Source : www.ines-solaire.org/fr/).....	56
Figure 16 : Traitement de l'espace intérieur de Hélios (Source : www.ines-solaire.org/fr/)	57
L'implantation du bâtiment s'adresse au sol, sa Source : Google .....	58
Figure 17 : Hélios siège de l'INES	58
Figure 18: Schéma explicatif de fonctionnement de l'atrium dans deux saisons différentes (Source : Dossier de Presse) .....	58
Figure 19 : Schéma explicatif de fonctionnement de l'atrium pendant la nuit dans deux saisons différentes (Source : Dossier de Presse) .....	59
Figure 20 : La différenciation des façades A/ Façade Ouest, B/Façade Nord, C/Façade Sud ; (Source : Google) .....	59
Figure 21 : Coupe transversale (Source : www.Ines-solaire.org).....	60
Figure 22 : Laboratoire national des énergies renouvelables (Source : ArchDaily.com).....	61
Figure 23 : RSF siège de NREL (Source : Archdaily.com). .....	62
Figure 24 : Façade SUD de RSF siège de NREL (Source : Archdaily.com). .....	63
Figure 25 : SRF Siège de NREL, Diagramme du bâtiment et énergie. (Source : Us department of energy).....	64
i Figure 26 : Le labyrinthe agit comme une batterie Thermique. (Source : US department of energy) .....	64

Figure 27 : Diagramme montrant le fonctionnement du capteur solaire transpiré. (Source : Us Department of Energy).....	65
Figure 28 : L'extérieur du panneau préfabriqué aide à réguler les températures intérieures (Source : Us department of Energy) .....	65
Figure 29 : La lumière du jour intérieure dans le bâtiment RSF (Source : Us Department of Energy) .....	66
Figure 30 : Les fenêtres sud avec surplombs et ouest de RSF (Source : :http://www.aiatopten.org).....	67
Figure 31: Un système de lumière du jour à persiennes réfléchit la lumière du soleil vers le plafond, créant un effet d'éclairage indirect. Les parasols fixes limitent l'excès de lumière et l'éblouissement (Source : Us Department of Energy) .....	67
Figure 32 : Schéma explicatif qui montrant la lumière du jour et la ventilation naturelle (Source : ArchDaily.com).....	67
Figure 33 : La conception bioclimatique.....	69
Figure 34: Exemple d'orientation pour les façades. (Source : Guide Effinergie).....	70
Figure 35 : Exemple de zonage pour la répartition des pièces. (Source : Guide Effinergie) .....	70
Figure 36: Les principaux ponts thermiques (Source : Google).....	74
Figure 37 : Perméabilité à l'air d'une maison (Source : Projetvert.fr).....	76
Figure 38 : Schématisation des types de ventilation naturelle (A, B, C) Source : « Natural ventilation in non domestic buildings ». Guide CIBSE, 2005.....	77
Figure 39 : Schématisation des types de ventilation naturelle (A, B, C) ; Source : « Ventilating Facades », Ashrae journal, Avril 2009. ....	78
Figure 40 : Schéma de principe d'un puit canadien.....	78
Figure 41 : Schéma explicatif VMC double flux .....	79
Figure 42 : Chaudière à bois –Source Guide AITF/EDF Bâtiments basse consommation. ....	80
Figure 43 : Schéma de principe d'une pompe à chaleur (Source : Google) .....	80
Figure 44 : Schéma de fonctionnement d'un chauffe-eau sanitaire. (Source : https://resilience-bouquehault.fr/leau-chaude/) .....	81
Figure 45 : Schéma de système solaire combiné. (Source : Google) .....	81
Figure 46: Illustration des données d'entrée pour les outils de simulation .....	83
Figure 47 : Le programme EnergyPlus (Source :Energyplus) .....	85
Figure 48: Plan de masse du centre (Source : Université de 08 Mai 1945 Guelma).....	87
Figure 49 : Plan Sous-Sol du centre (Source : Université de 8 Mai 1945 Guelma).....	87
Figure 50 : Plan RDC du centre (Source : Université de 08 Mai 1945 Guelma) .....	88
Figure 51: Plan du 1 <sup>er</sup> Etage du centre (Source : Université de 08 Mai 1945 Guelma) .....	88
Figure 52 : Plan du 2 <sup>eme</sup> Etage du centre (Source : Université de 08 Mai 1945 Guelma)... ..	89
Figure 53 : Donnée climatiques de la wilaya de Guelma : 1/Températures 2/ Précipitations (Source : Meteonorm).....	90
Figure 54 : Situation de la zone a étudiée.....	91
Figure 55 : Interface du logiciel de simulation ( Source : TRNSYS) .....	93
Figure 56 : Interface de TRNBUILD (Source : TRNSYS) .....	93
Figure 57 : Importation des données climatologique de Guelma "Weather Data File" (Source : TRNSYS).....	93
Figure 58: Interface de TRNBUILD (Source : TRNSYS) .....	94
Figure 59 : Interface de TRNBUILD (Source : TRNSYS) .....	94
Figure 60 : siège de ZSW (Source : www.zsw-bw.de) .....	96
Figure 61 : Situation du ZSW (Source: Google earth,).....	96
Figure 62:L'environnement immédiat du ZSW (Source : Google Earth, réadapter par l'auteur).....	97

Figure 63 : Accessibilité du terrain (Source : ArchDaily.com	Accès .....	97
Figure 64: Plan Sous-sol	Figure 65 : Plan RDC....	98
Figure 66 : Plan 1er Niveau	Figure 67 : Plan 2eme	
Niveau.....		98
Figure 68 : Plan 3eme Niveau (Source : www.zsw-bw.de)	Figure 69 :	
Plan 4eme Niveau.....		99
Figure 70 : Façade en aluminium anodisé noir. (Source : Archdaily.com).....		99
Figure 71 : Coupe verticale du centre de recherche (Source : Archdaily.com).....		100
Figure 72 : Façade photovoltaïque a couche mince à base de cuivre (Source : www.zsw-bw.de) .....		100
Figure 73 : de façade modulaire (Source : Internet).....		101
Figure 74: Traitement de l'espace intérieur du ZSW. (Source : https://www.zsw-bw.de/)		101
Figure 75 : Installation du laboratoire internationale de l'énergie renouvelable (Source : Google Earth) .....		102
Figure 76 : Plan d'implantation de l'unité, Installation d'intégration de système énergétique .....		102
Figure 77 : Environnement immédiat du Laboratoire (Source : Google Earth réadapté par l'auteur) .....		103
Figure 78 : Plan et Organigramme fonctionnelle du Niv RDC (Source : US department of energy ).....		104
Figure 79 : Plan et organigramme fonctionnel du 1er Niv ( Source : Us Department Of Energy) .....		105
Figure 80 : Plan et organigramme fonctionnel du 2e Niv (Source : Us Department Of Energy) .....		105
Figure 81 : Façade avec étagère lumineuse (Source : ArchDaily.com) .....		107
Figure 82 : Schéma explicatif montrant la pénétration de la lumière naturelle pendant la journée (Source : ArchDaily.com).....		107
Figure 83 : Coupe verticale du bâtiment administratif (Source : ArchDaily.com) .....		108
Figure 84 : Avantages et inconvénients de l'exemple 02 (Source : Auteur) .....		109
Figure 85 : Installation de l'institut INES (Source : Internet).....		109
Figure 86 : Plan de masse d'INES (Source : Internet) .....		109
□ L'est part l'aéroport Chambéry Savoie Mont Blanc.L'ouest par INSEEC U. Campus Chambéry	Figure 87 : Environnement immédiat d'INES.....	110
Figure 88 : Schéma fonctionnel d'INES (Source : ) .....		111
Figure 89: Schéma de principe de la Cellules Photovoltaïques LMOPS ET LCS (Source : Archdaily.com) .....		112
Figure 90: Figure 86 : Schéma de principe de la Cellules système thermique (Source : Archdaily.com).....		113
Figure 91: Département de formation et administration de INES (Source e : ArchDaily.com) .....		114
Figure 92: Façade NORD d'INES (Source : Archdaily.com) .....		114
Figure 93: Façade OUEST d'INES (Source : Archdaily.com) .....		115
Figure 94: Figure 89 : Façade EST d'INES (Source : Archdaily.com).....		115
Figure 95 : Avantages et inconvénients de l'exemple 03 (Source : Auteur) .....		116
Figure 96 : La carte de la Wilaya de Guelma (Source : Andi) .....		124
Figure 97: Vue sur le relief de la Wilaya (Source : Internet) .....		124
Figure 98 : Géomorphologie de la wilaya de Guelma (Source : Mémoire de fin d'étude de KHITER Fares, Université de Guelma) .....		124
Figure 99: Un diagramme représentant les températures moyennes mensuelle de Guelma en (°C) (Source : Auteur) .....		125

Figure 100: Un diagramme représentant les précipitations annuelles en mm de la ville de Guelma. (Source : Auteur) .....	126
Figure 101 : Diagramme des vents (Source : Mémoire de fin d'étude, Riffi Lamis. Université de Guelma).....	126
Figure 102: Sites et monuments naturels et historique de la ville de Guelma (Source : Internet) .....	127
Figure 103 : Une vue sur le terrain d'intervention (Source : Auteur).....	128
Figure 104 : Situation de la zone d'intervention par rapport a la Wilaya de Guelma (Source : Auteur).....	128
Figure 105 : Schéma montrant l'accessibilité vers la zone d'intervention (Source : Auteur) .....	128
Figure 106 : Situation du terrain par rapport au centre-ville de la wilaya de Guelma (Source : Auteur).....	129
Figure 107 : Limitation du terrain d'étude (Source : Auteur).....	129
Figure 108 : Coupe longitudinale direction Est-Ouest (Source : Auteur) .....	130
Figure 109 : Coupe transversale direction Nord-Sud (Source : Auteur) .....	130
Figure 110 : Accessibilités vers le terrain d'étude (Source : Auteur) .....	131
Figure 111 : Classification des voies de circulation selon : A/ La largeur B/ La fréquentation C/ Le flux. (Source : Auteur) .....	131
Figure 112 : Calcul de la position du soleil dans le ciel dans les mois de décembre, juin et mars (Source : SunEarthTools.com).....	132
Figure 113: Schéma démonstratif montrant la position du soleil dans les mois de décembre, mars et juin (Source : Auteur) .....	132
Figure 114 : Direction des vents dominants. (Source : Auteur) .....	133

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les principaux gaz a effet de serre et leurs source .....	36
Tableau 2 : Les exigences du label MINERGIE® pour les bâtiments neufs (Source F.Chlela) .....	49
Tableau 3 : Les exigences du label MINERGIE® pour les bâtiments rénovés (Source F.Chlela) .....	49
Tableau 4 : Le tableau indique l'épaisseur des principaux isolants à mettre en œuvre.....	72
Tableau 5 : Quelques possibilités de traitement les principaux ponts thermiques et indique (Source : Guide Effinergie) .....	75
Tableau 6 : les avantages et inconvénients comparés de Quatre Dispositifs.....	79
Tableau 7 : Données géo-climatiques de la ville de Guelma (Source: Weather Tool ) .....	89
Tableau 8 : Zones et dimensions du cas de base .....	91
Tableau 9: Caractéristiques thermiques des matériaux (Source : Internet ) .....	92
Tableau 10 : Programme du Niv RDC (Source : Auteur ) .....	104
Tableau 11 : Programme du 1er Etage (Source :Auteur) .....	105
Tableau 12 : Les températures moyennes mensuelles à la station de Guelma (1992/2017) (Source : Mémoire de fin d'étude de KHITER Fares, Université de Guelma .....	125

## **ABREVIATIONS**

**BBC** : Bâtiment A Basse Consommation Energétique

**GIEC** : le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

**GES** : Gaz à Effet de Serre

**ER** : Énergie Renouvelable

**Mtep** : Mégatonne Équivalent Pétrole (unité énergétique).

**AIE** : Agence Internationale de l'énergie

**BTP** : Bâtiment

**DPE** : Diagnostic De Performance Energétique

**GTB** : La Gestion Technique du Bâtiment

**WBCSD**: World Business Council for Sustainable Development

**IRENA** : l'Agence internationale pour les énergies renouvelables

**RT** : Réglementation thermique

**Tic** : La température intérieure conventionnelle

**BEPOS** : les Bâtiments à Energie Positive

**SHON** : Surface hors œuvre nette

**HQE** : La Haute Qualité Environnementale

**PNME** : Programme national de maîtrise de l'énergie

**DTRC** : Document techniques réglementaires

**CNERIB** : Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment.

**ECS** : Eau Chaude Sanitaire

**INES** : Institut Nationale De l'Energie Solaire

**ZAC** : Zone d'Aménagement Concerté

**NREL** : National Renewable Energy Laboratory

**ESIF** : Installation d'intégration des systèmes énergétiques

**RSF** : Research Support Facility

**ADEME** : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

**VMC** : Ventilation Mécanique Contrôlée

## ACRONYMES

**Q<sub>h</sub>** : Le besoin de chauffage effectif du bâtiment

**Ch<sub>h</sub>** : Le besoin de chauffage du bâtiment

**G** : Un coefficient de déperdition volumique

**COP** : Coefficient de performance

**U** : Coefficient de transmission thermique

**U<sub>w</sub>** : Le coefficient de déperdition thermique des baies vitrées

**S** : Facteur solaire

**FTL** : Facteur de transmission de lumière

## **Introduction :**

L'énergie est, au même titre que l'eau et la nourriture, une ressource indispensable à la vie. Son abondance relative a contribué de façon décisive au développement économique et technique au cours des âges. Celui-ci s'est accéléré dans des proportions exceptionnelles au cours du XIX<sup>e</sup> siècle, et plus encore son développement au XX<sup>e</sup>, a révolutionné l'usage de l'énergie dans de nombreux domaines : habitat et vie domestique, circulation et traitement de l'information, transports... Cependant, malgré les progrès considérables accomplis, les besoins élémentaires en énergie d'une part encore trop importante de l'humanité ne sont pas satisfaits.<sup>1</sup>

Aujourd'hui la plupart des pays industrialisés dépendent du pétrole et du gaz naturel pour assurer leurs besoins en énergie. Qui sont la première source des émissions de gaz à effet de serre dans un monde qui souffre déjà des effets de l'activité humaine sur son environnement. Il est aujourd'hui communément admis que le réchauffement climatique résulte de l'activité humaine et de l'émission de gaz à effet de serre en quantité remarquable. Les modes de production et de consommation d'énergie sont responsables à hauteur de 70% des émissions de GES, et 80% de la consommation mondiale d'énergie est assurée par les énergies fossiles.<sup>2</sup>

Il est bien connu que le secteur du bâtiment est le plus gros consommateur en énergie et ils contribuent également énormément à l'émission de CO<sub>2</sub>, et surtout ils offrent le plus grand potentiel pour la conservation d'énergie. Les récentes statistiques de consommation d'énergie en Algérie indiquent que la demande d'énergie et la consommation annuelle d'énergie ont considérablement augmenté. La forte demande actuelle de consommation énergétique dans le pays est due principalement à l'augmentation du niveau de vie de la population et du confort qui en découle, ainsi qu'à la croissance des activités industrielles. Cette situation exprime, que le domaine du bâtiment présente un véritable potentiel d'amélioration à la fois dans le domaine énergétique et environnemental (constitue un gisement d'économie d'énergie important).<sup>3</sup>

Pour éviter de s'exposer aux différents problèmes (accès aux ressources, émissions de gaz à effet de serre, changement climatique), on doit mener une réflexion à propos de

---

<sup>1</sup> Christian Ngo. L'énergie ressources, technologies et environnement. 3<sup>ème</sup> édition. DUNOD.

<sup>2</sup> « Etude pour une Prospective Energétique Concernant la France » Rapport final 01-02 2002, Observatoire de l'Energie. Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières.

<sup>3</sup> Ministère de l'énergie .Algérie . <https://www.energy.gov.dz/>. Consulter le 02/12/2019.

l'évolution de la situation énergétique du secteur du bâtiment, qui doit se préparer à modifier son rapport aux consommations énergétiques.<sup>4</sup> Pour cela La construction de bâtiments à haute performance énergétique peut constituer l'une des réponses possibles aux défis énergétique et environnementaux d'aujourd'hui. De ce fait on parle de plus en plus des bâtiments à énergie positive (BBC), des bâtiments qui produisent plus d'énergie qu'elles n'en consomment. L'efficacité énergétique dans le bâtiment est donc un indicateur précieux pour répondre aux enjeux énergétiques actuels (économie des ressources, réduction des gaz à effets de serre et de l'empreinte carbone, utilisation d'énergies renouvelables, etc.).<sup>5</sup>

L'objet de ce mémoire est de mettre en évidence les tendances visant à réduire la consommation énergétique dans le bâtiment afin de minimiser leur impacts sur l'environnement, en se focalisent sur l'approche BBC comme approche écologique cherchant à mettre l'aspect énergétique comme enjeu primordial à prendre en compte dans la conception architecturale des équipements publics à Guelma, particulièrement le secteur de la recherche scientifique.

---

<sup>4</sup> S.Semahi et B.Djebri. La conception des logements à haute performance énergétique (HPE) en Algérie - Proposition d'un outil d'aide à la conception dans les zones arides et semi-arides. Laboratoire Ville, Architecture et Patrimoine, LVAP Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme, EPAU El Harrach, Algiers, Algeria

<sup>5</sup> Nazila Kahina Hannachi-Belkadi. Développement d'une méthodologie d'assistance au commissionnement des bâtiments à faible consommation d'énergie. Autre. Université Paris-Est, 2008. Français.  
ffNNT : 2008PEST0241ff. ffe1-00468589ff

## **Problématique :**

Le modèle énergétique qui se diffuse actuellement dans le monde, et dans lequel s'inscrit le modèle énergétique algérien est dominé par la consommation excessive des hydrocarbures. A l'heure actuelle, aucun pays n'est autonome sur le plan énergétique, qu'il s'agisse de la maîtrise des sources d'énergie ou des techniques de production et de transformation.

En Algérie la presque totalité des recettes proviennent des hydrocarbures or ces derniers sont des énergies fossiles épuisables, ou les experts prévoient la fin du pétrole dans les années 2040 et la fin du gaz naturel pour les années 2060<sup>[1]</sup>. Selon le ministre de l'énergie, la production algérienne d'électricité est tributaire, à 97%, du gaz naturel <sup>[2]</sup>. Il est temps d'imaginer le paysage énergétique de demain qui aura le moins d'impact négatif sur notre qualité de vie.

Actuellement le pays est face à une croissance très vive de la natalité alors une croissance démographique très élevée, cela traduit une accélération foudroyante de notre demande énergétique au cours des années. <sup>[3]</sup> La consommation énergétique a connu une croissance très élevées entre 1970 et 2015 ou le secteur du bâtiment est le premier consommateur d'énergie. Il représente aussi le plus gros potentiel d'économie d'énergie, c'est un secteur non productif mais énergivore, puisque il consomme 41% de l'énergie finale <sup>[4]</sup>.

La question de la consommation des énergies ne cesse d'augmenter d'année en année selon la société nationale de l'électricité et du gaz, La wilaya de Guelma, comme le reste des autres wilayas, elle avait en 2018 un taux de consommation élevé égale à 14.38 GWh et à la fin du mois de septembre 2019 la consommation d'énergie a atteint 11.49 GWh. <sup>[5]</sup>

Les acteurs du secteur de bâtiments ce contente pour la réduction de la consommation pour la protection de l'environnement. Les architectes quant à eux sont appelés a adopté cette approche et à concrétiser ces principes notamment de la production de cadre bâti. La question posée sur ce problème est la suivante :

**Comment réduire l'impact énergétique du projet architectural ?**

## **Hypothèses :**

- Les architectes à travers l'approche bâtiment à basse consommation énergétique peuvent contribuer à la réduction de la consommation énergétique des bâtiments.
- Une approche passive est une alternative pertinente qui peut conduire à la conception des équipements BBC notamment des centres de recherches scientifique à Guelma.

## **Objectifs :**

- Proposer un nouveau model énergétique comme substitut de l'énergie traditionnelle qui repose essentiellement sur l'énergie solaire qui est la meilleure alternative pour renforcer la sécurité énergétique vue le potentiel élevé qu'elle dispose la willaya de Guelma.
- Améliorer et minimiser les consommations énergétiques des bâtiments sans réduire leurs performances et sans induire des impacts négatifs sur l'environnement. Selon un principe : Qu'avec moins d'énergie on peut atteindre une bonne performance énergétique.

## **Méthodologie et structure du mémoire :**

### **✓ La Première partie :**

Introductive, elle comprend l'introduction, la problématique, les hypothèses et les objectifs. Cette partie a été accomplie à travers des relevés et données obtenues de la direction de Sonelgaz et des recherches documentaires et bibliographiques.

### **✓ La Deuxième partie :**

Une partie théorique qui consiste à une recherche bibliographique et documentaire qui comprend 02 chapitres à travers lesquelles on explique les différents concepts de bases liées à notre recherche, qui permettent d'identifié et mieux comprendre notre problème.

- Le premier chapitre : introductif définit le problème de la consommation énergétique à l'échelle mondial et national, et les différents concepts liés à notre thème.
- Le deuxième chapitre : Etat de l'art, montrant l'évolution des bâtiments performants en particuliers le BBC, et les techniques a adopté lors de la conception

architecturale pour réussir un bâtiment passif ainsi que les différentes expériences internationales qui ont adopté cette approche.

✓ **La troisième partie :**

Analytique contient 02 chapitres, le troisième chapitre étude de cas d'un exemple existant, Analyse et simulation en utilisant le logiciel de simulation «ECOTECT».

Le quatrième chapitre, Processus et conception, une analyse architecturale et technique de trois exemples liés à notre projet, qu'il s'agit d'un centre de recherche et de développement de l'énergie solaire à Guelma. Pour finir par le processus de conception du projet.

## **Chapitre I : Environnement, consommation énergétique et bâtiment**

### **Introduction :**

Le souci de protéger l'environnement paraît avoir doté les acteurs de la vie économique et politique d'un langage universel et transversal, à usage varié, récurrent et incontournable observé à plusieurs échelles internationales et nationales et dans plusieurs sphères (sociale, politique et économique).<sup>6</sup>

La participation de l'activité humaine au dérèglement du climat est un fait avéré.

L'Homme qui consomme des quantités toujours plus grandes des ressources naturelles abondantes mais limitées dont il tire sa subsistance et son bien-être. La combustion des énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon...) entraîne divers problèmes notamment les gaz à effet de serre, réchauffement climatique et pollution, ce qui induit une augmentation durable de la température moyenne de la planète.

#### **I.1 Environnement : définition de concepts**

#### **I.2 Consommation énergétique et bâtiment :**

##### **I.2.1 Aperçu sur les énergies :**

L'énergie est une des ressources les plus importantes, Elle a une telle place dans nos préoccupations et aucune société ne peut s'en passer sans elle, la vie ne serait pas possible. Nous nous procurons de l'énergie grâce à notre alimentation. Si le thème de l'énergie occupe aussi abondamment les débats économiques et politiques, c'est qu'il s'agit d'un produit vital. L'énergie rend des services à l'activité humaine sous différentes formes notamment mécanique, thermique, chimique, électrique, rayonnante et nucléaire permettant chacune des utilisations différentes.

Considérée comme un bien social, l'énergie est partout nous entoure et nous fait vivre, contribuant à notre bien-être. L'énergie donc est la composante indispensable de notre monde qui est en développement permanent. Elle est tellement naturelle que nous n'avons plus conscience de son importance.

---

<sup>6</sup> Olivier Fermaux, Industrie et environnement, les données du contentieux p11 éd Marketing, Paris 1994

### **I.2.1.1 Différents systèmes énergétique :**

Le maintien et le développement des activités humaines sur la terre reposent sur l'existence d'énergies disponibles en abondance et à bon marché. Ces énergies se partagent en énergies renouvelables (ER) dites énergies "flux", et en énergies non renouvelables, dites énergies fossiles ou énergies "stock"

Les énergies renouvelables englobent toutes les énergies inépuisables qui, depuis toujours, nous viennent du soleil, directement sous forme de lumière et de chaleur, ou indirectement par les cycles atmosphériques et la photosynthèse. Le soleil dispense un rayonnement électromagnétique qui constitue notre source lumineuse et thermique.

Les énergies renouvelables sont largement disponibles à la surface de la Terre, et leur emploi permet actuellement d'obtenir des installations à faible et moyenne puissance, appropriée à l'échelle domestique :

- **Energie solaire :**

La chaleur peut être captée directement par les fenêtres ou les capteurs solaires et peut également être transformée en énergie électrique grâce aux cellules photovoltaïques.

- **Energie éolienne :**

Le rayonnement solaire est également à l'origine des mouvements de la masse d'air, lesquels, par différences de température et de pression, produisent l'énergie éolienne.

- **La biomasse :**

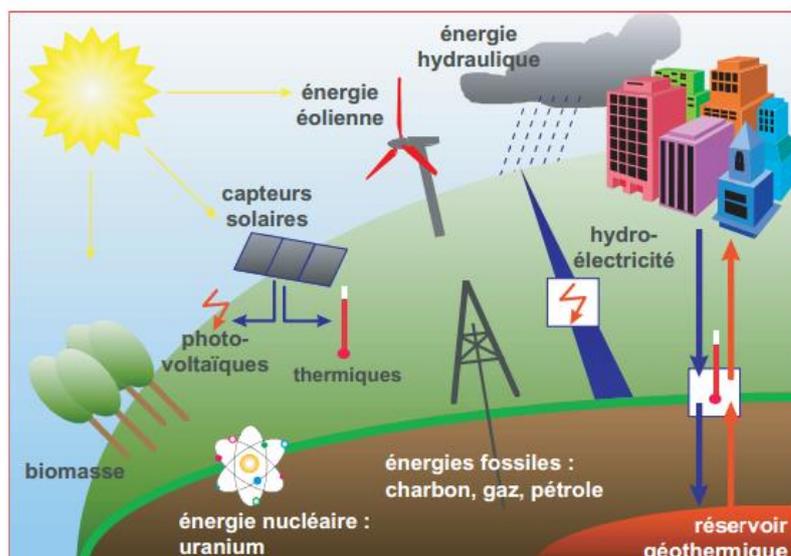
La biomasse végétale est le résultat de la transformation par photosynthèse du rayonnement solaire : elle peut être considérée comme une énergie flux (exploitation avec replantation) ou comme une énergie stock (déforestation sans replantation).

- **Energie hydraulique :**

L'énergie hydraulique est alimentée par l'eau, restituée au cycle naturel par les précipitations après évaporation à la surface des océans.

- **Energie géothermale :**

L'énergie géothermique, chaleur stockée dans la masse terrestre, peut également être exploitée pour, entre autres, le chauffage des édifices (Bassin parisien, Islande, Alaska, etc.).



Par ailleurs, les énergies non renouvelables sont elles-mêmes des sous-produits fossiles végétaux ou animaux de l'énergie solaire (charbon, gaz, pétrole, etc.) ou des gisements naturels (uranium). Ces énergies sont disponibles en quantités limitées, mais leur exploitation permet d'obtenir des installations à haute puissance (centrale thermique ou nucléaire) capables de faire face à des applications industrielles.<sup>15</sup>

Figure 1 : Les différentes sources énergétiques dans le monde sont toutes issues du soleil. Source Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques (Source : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, À Léa-Linh, Hélène, David et Violaine Liébard)

### **I.2.1.2 Architecture et énergie solaire :**

Parmi les énergies renouvelables, l'architecture bioclimatique utilise principalement le solaire. L'architecture solaire consiste à utiliser la conception architecturale pour tirer profit de l'énergie solaire dans le but de réduire la consommation d'énergie produite hors site, tout ceci sans compromettre la qualité architecturale. D'après les ingénieurs Michael Kuehn et Dirk Mattner (2003), le but principal de l'architecture solaire est de concevoir des bâtiments offrant un confort optimal, à la fois en été et en hiver, en consommant le moins d'énergie possible.

#### **I.2.1.2.1 L'Architecture solaire :**

L'architecture solaire comporte trois approches distinctes : le solaire passif, l'utilisation de la lumière naturelle et le solaire actif. Idéalement, ces différentes approches d'exploitation de l'énergie solaire devraient être indissociables les unes des autres.

<sup>15</sup> Alain Liébard , André De Herde. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable. p3a.

- **Le solaire passif :**

L'utilisation directe du rayonnement solaire en architecture comme source de chaleur, communément appelée « solaire passif », est probablement la forme d'architecture solaire la plus simple et la plus efficace (Hegger, 2003). On parle de simplicité et d'efficacité puisque ce type d'exploitation de l'énergie solaire ne nécessite pas de système mécanique ni de conversion d'énergie supplémentaire. Le solaire passif consiste à profiter directement du rayonnement solaire en optimisant la volumétrie du bâtiment, son orientation et les matériaux utilisés.

- **La lumière naturelle :**

Contrairement à l'éclairage électrique, la lumière provenant naturellement du soleil ne consomme pas d'électricité et est gratuite (Müller et Schuster, 2003). 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 autre forme d'exploitation directe du rayonnement solaire. Alors que les gains solaires passifs contribuent au chauffage des espaces, l'éclairage naturel permet de réduire considérablement la consommation d'électricité destinée à l'éclairage.

- **Le solaire actif :**

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 indirecte de l'énergie solaire : le solaire thermique et photovoltaïque. Dans le premier cas, des collecteurs transforment le rayonnement en chaleur et dans le second cas, ils l'utilisent pour générer de l'électricité. Tout comme pour l'utilisation directe, l'efficacité des systèmes actifs varie considérablement en fonction de la localisation du site ainsi que de leur orientation et inclinaison propres. L'utilisation de systèmes solaires actifs permet d'améliorer le bilan énergétique de l'édifice et ainsi réduire la dépendance aux sources d'énergie non renouvelable.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> SHIRLEY GAGNON, ÉNERGIE SOLAIRE ET ARCHITECTURE Les outils numériques et leur utilisation par les architectes pour la conception solaire. ÉCOLE D'ARCHITECTURE DE L'UNIVERSITÉ LAVAL FACULTÉ D'AMÉNAGEMENT, D'ARCHITECTURE ET DES ARTS VISUELS UNIVERSITÉ LAVAL. QUÉBEC. 2012. p 35-39.

### I.3 Consommation énergétique :

#### I.3.1 Contexte internationale :

##### a. Par type d'énergie :

La consommation d'énergie primaire dans le monde en 2017 était de 13 511,2 Mtep (millions de tonnes d'équivalent pétrole) selon BP, et 14 050 Mtep selon l'AIE, marquant une augmentation de près de 2% par rapport à 2016, et de 40% depuis 2000. Malgré la trajectoire définie par la COP21, les émissions sont donc reparties à la hausse.

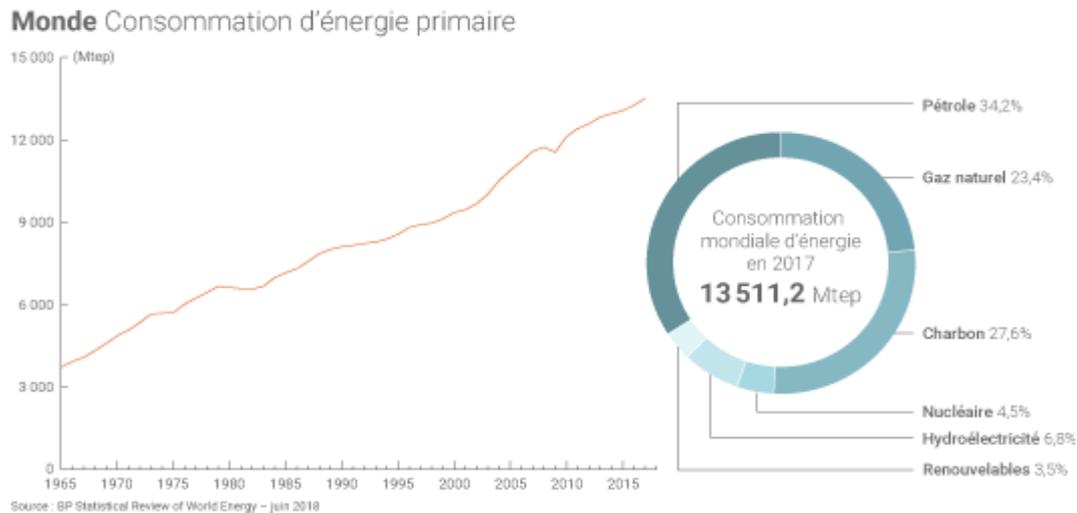


Figure 2 : Consommation mondiale d'énergie primaire en 2017 (Source [www.planetoscope.com](http://www.planetoscope.com))

Le charbon garde son rang de première source d'énergie dans le monde, avec **37%** de la demande énergétique mondiale, et l'énergie nucléaire a augmenté sa part de 3% en 2017, représentant toujours **10%** de l'énergie mondiale.

Ceci signifie que la plupart des pays industrialisés dépendent du pétrole, du gaz naturel et du charbon pour assurer leurs besoins en énergie, A l'échelle mondiale, ces ressources représentent 56.4% de toute l'énergie consommée .Ce sont des sources d'énergie épuisable et non recyclable.

##### b. Par région :

Dans cette statistique, l'énergie primaire se compose uniquement des combustibles faisant l'objet d'échanges commerciaux. Les combustibles non inclus sont notamment le bois, la tourbe et les déchets animaux. Même s'ils représentent des sources d'énergie importantes dans certains pays, peu de statistiques fiables sont disponibles concernant leur consommation. En 2014, la consommation d'énergie primaire de l'Afrique s'élevait à environ 422 millions de tonnes d'équivalent pétrole. Le pétrole était mesuré en millions de tonnes, toutes les autres sources d'énergie en millions de tonnes d'équivalent pétrole.<sup>17</sup>

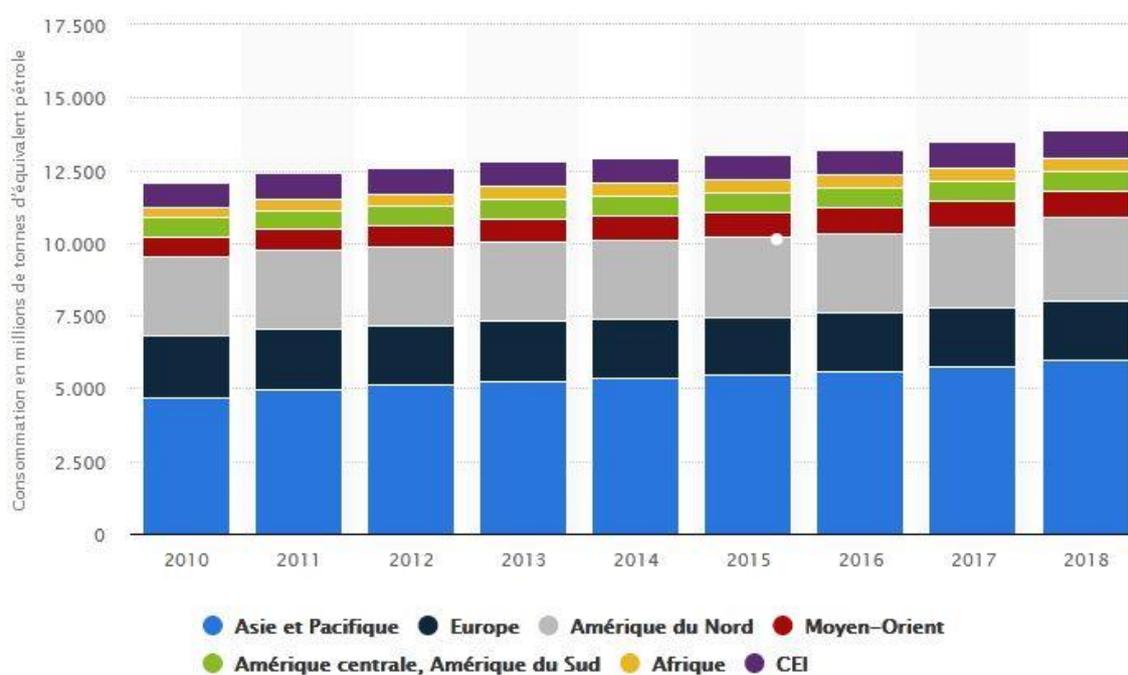


Figure 3 : Consommation énergétique mondiale par région (Source : [www.planetoscope.com](http://www.planetoscope.com))

<sup>17</sup> <https://www.planetoscope.com/Source-d-energie/229-consommation-mondiale-d-energie-en-tep-.html>, Consulter le 26 /12/2019

**c. Par secteur :**

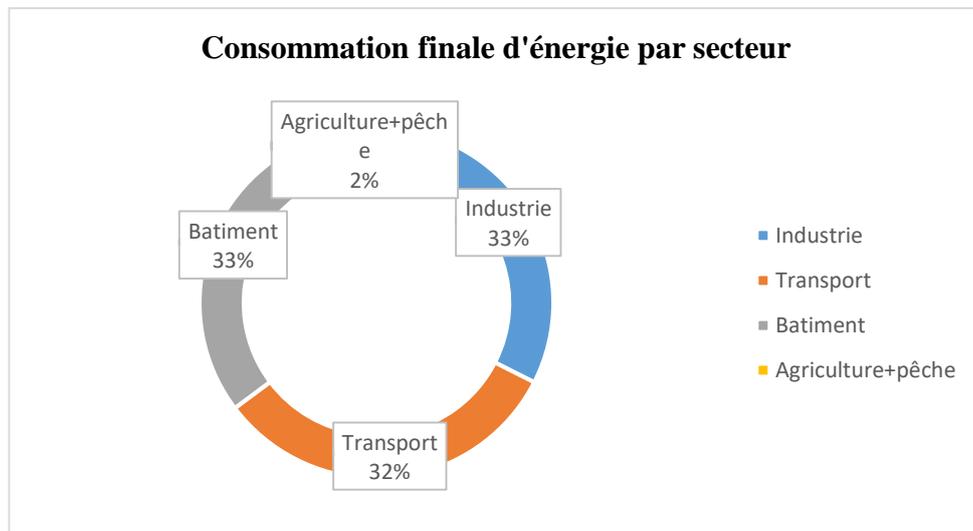


Figure 3 : Consommation finale d'énergie par secteur à l'échelle mondiale

**d. Répartition entre les différentes énergies :**

Le graphique ci-dessous représente l'évolution de la consommation mondiale d'énergie primaire répartie entre les différentes énergies, et en superposition la courbe des émissions énergétiques de CO<sub>2</sub>, avec une échelle adaptée. Les unités sont le million de tonne équivalent pétrole (Mtep) et le million de tonnes (Mt) de CO<sub>2</sub>.

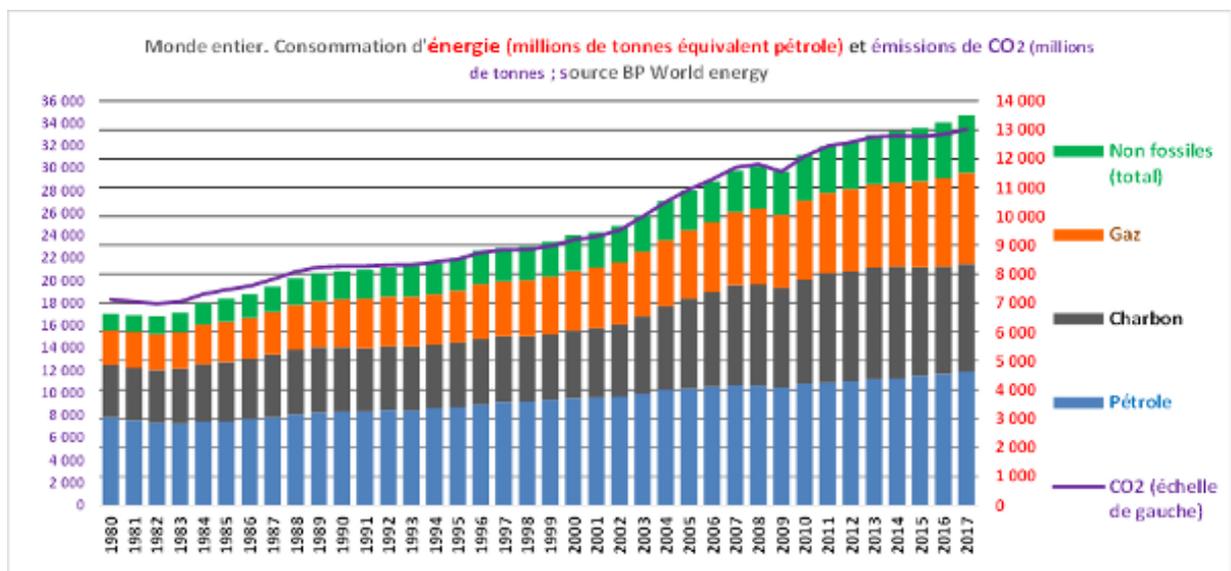


Figure 4 : Consommation d'énergie en MTEP et émissions de CO<sub>2</sub>, Source : BP world energy

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont calculées par BP à partir des consommations d'énergies fossiles déclarées par les pays. Comme ces énergies sont très prépondérantes dans le « mix énergétique », il y a quasi-coïncidence entre la courbe des émissions de CO<sub>2</sub> et le total de la consommation d'énergie. Toutefois, un décrochement est observable à partir de 2013, en

raison du recours accru aux nouvelles énergies non fossiles, notamment les énergies intermittentes éolienne et solaire.

La répartition entre les différentes énergies s'est progressivement modifiée au fil des années. L'année 1990 étant habituellement considérée comme référence, il est intéressant de comparer la répartition des énergies de 1990 avec celle de 2017. Pendant ces 27 années, la consommation d'énergie est passée de 8 100 Mtep à 13 500 Mtep, elle a donc été multipliée par 1,66.<sup>18</sup>

### I.3.2 Contexte Nationale :

#### a. Par type d'énergie :

Le rythme de consommation interne d'énergie poursuit sa tendance haussière et risque de doubler à l'horizon 2030, voire triplé à l'horizon 2040, selon un bilan du ministère de l'Energie. Ainsi, La consommation de gaz naturel en Algérie a augmenté de 75% entre 2008 et 2018.

En 2018, l'Algérie a consommé 42,7 milliards de m<sup>3</sup> de gaz (soit 46% de la production annuelle du pays) et environ 414 000 barils/jour de pétrole (soit 28% de la production annuelle). L'offre en énergies renouvelables - très peu exploitées en Algérie - est actuellement insuffisante alors qu'elle pourrait incontestablement pallier la baisse des réserves conventionnelles de gaz et de pétrole.<sup>19</sup>

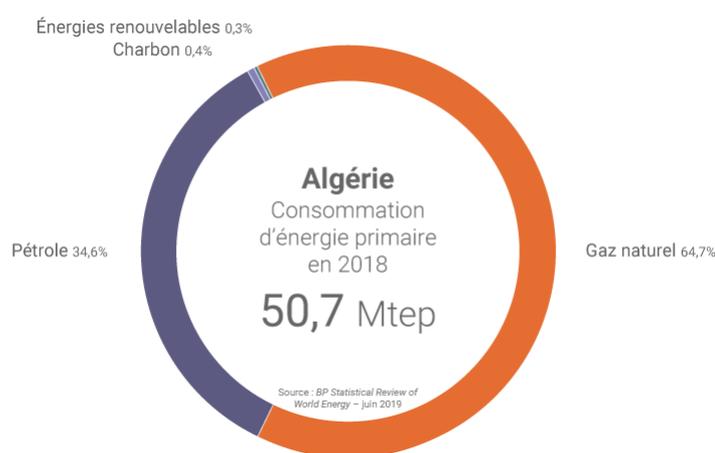


Figure 4: Structure de la consommation primaire d'énergie en Algérie par produits (Source : BP Statistical Review of World Energy)

<sup>18</sup> [https://www.climato-realistes.fr/rapport-bp-energie-2018/#\\_ftn1](https://www.climato-realistes.fr/rapport-bp-energie-2018/#_ftn1) consulter le 10/12/2019

<sup>19</sup> Nassima Ouhab-Alathamneh, L'économie algérienne : histoire d'un avenir hypothéqué

## b. Par secteur :

La consommation des ménages a atteint 19 808 tonnes de produits pétroliers durant l'année 2017, dont 14 196 tonnes pour le résidentiel et 416 pour l'agriculture, contre 18 584 tonnes durant l'année d'avant soit une augmentation de 6,6%. A souligner que l'énergie électrique représente plus de 60% de l'énergie consommée par les ménages, alors que 98% de l'électricité est produite à partir du gaz naturel.

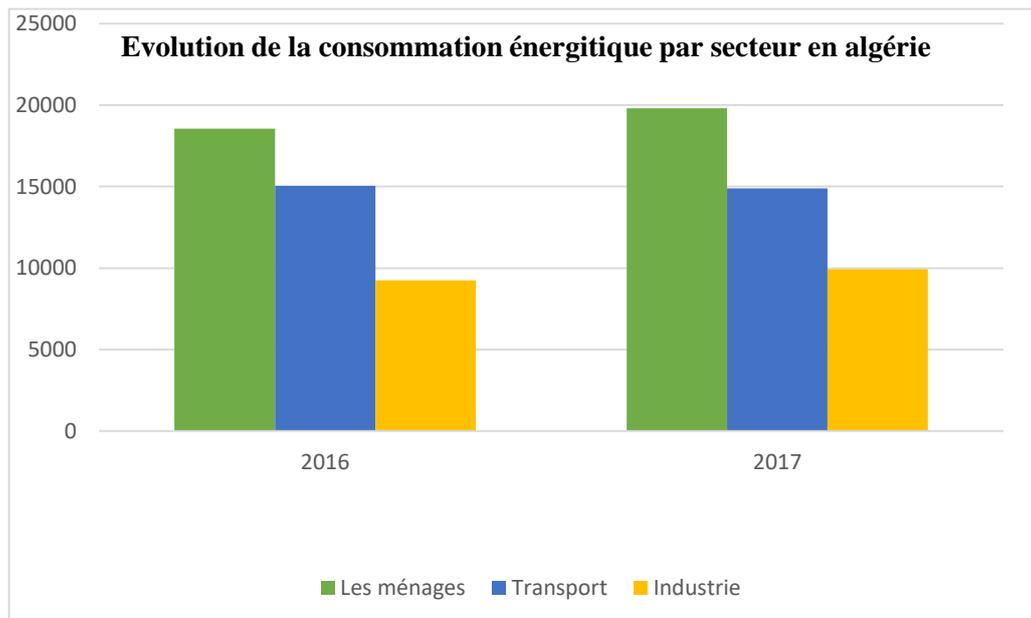


Figure 5 : Consommation finale d'énergie par secteur à l'échelle nationale (Source : Ministère de l'énergie ; [www.Energy.gov.dz](http://www.Energy.gov.dz))

L'autre secteur le plus énergivore est celui des transports avec une consommation de 14 895 Tep (tonnes équivalent pétrole) en 2017 contre 15 057 Tep en 2016 enregistrant une baisse de 1,1%. Tandis que le bilan du secteur de l'industrie et du BTP a enregistré une hausse de 7,6% durant l'année écoulée avec 9943 Tep contre 9242 Tep en 2016<sup>20</sup>

### I.4 Le secteur du bâtiment : principal consommateur énergétique dont la consommation ne cesse de croître :

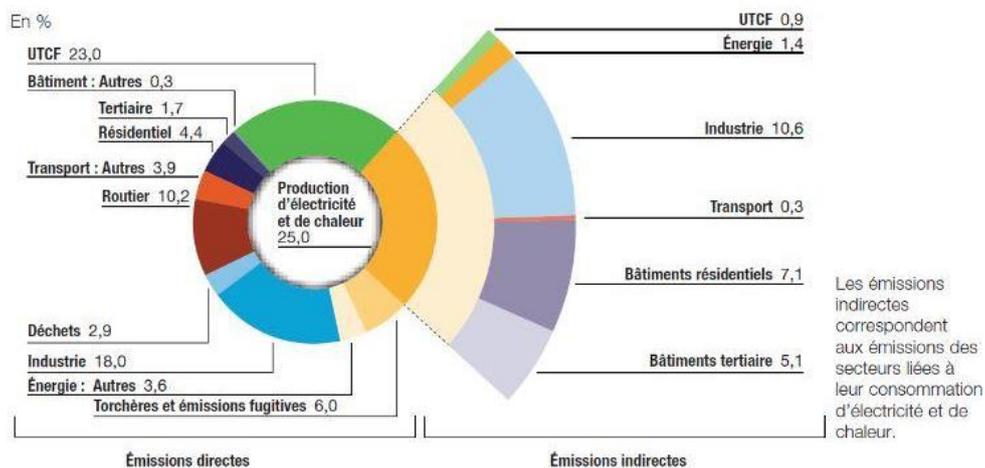
#### Introduction :

L'énergie est à l'heure actuelle omniprésente dans l'activité humaine tant l'ensemble de la vie humaine quotidienne est dépendante d'objets qui requièrent de l'énergie transformée pour fonctionner et aussi pour les fabriquer. L'accès à l'énergie et la production d'énergie,

<sup>20</sup> Ministère de l'énergie ; <https://www.energy.gov.dz/> consulté le 22/12/2019

qui provient en grande partie des énergies fossiles émettrices massives de CO<sub>2</sub> (principal gaz à effet de serre identifié) constituent dès lors des problématiques énergétiques auxquelles doivent se confronter les sociétés actuelles car celles-ci impliquent des dimensions environnementales, économiques et politiques d'envergure.

Figure 6 : Répartition des émissions de GES par secteur d'activité dans le monde ; (Source : GIEC, 3e groupe de travail,



2014)

#### I.4.1 Situation énergétique du bâtiment dans le monde :

Mendler et Odell affirment que « **Les bâtiments et la construction contribuent directement et indirectement à nos grands problèmes environnementaux. Les bâtiments sont des terribles consommateurs et générateurs de déchets, et le processus industriel utilisé dans la manufacture des matériaux des bâtiments et des équipements contribue aussi aux déchets et à la pollution** »<sup>21</sup>

Parmi les postes de consommation d'énergie, le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire) fait partie des postes les plus importants d'émission de CO<sub>2</sub>, compte tenu de l'importance et de la diversité des énergies consommées. En effet, le secteur du bâtiment représente le plus important secteur consommateur d'énergie au niveau mondial : 33% de la consommation énergétique mondiale en 2017. Cette demande énergétique, compte tenu de l'accroissement de la démographie mondiale qui ne cesse de croître.

Selon **Peter Busby** approximativement 40% de l'énergie mondiale est pour le rafraîchissement, le chauffage et l'alimentation en électricité des bâtiments<sup>22</sup>. Plus

<sup>21</sup> MENDLER. Sandra and ODELL. William, The HOK Guidebook to Sustainable design, New York : John Wiley & Sons, 2000, p2

<sup>22</sup> BUSBY. Peter, Sustainable design fundamentals for building, Canada: Beauregard Printers, 2001, p1. Avril 1986, p112.

précisément, ce sont les conditions de confort intérieur (chauffage à gaz, climatisation), qui sont à l'origine du problème.

#### I.4.2 Situation énergétique du bâtiment en Algérie :

Le rythme de consommation interne d'énergie poursuit sa tendance haussière et risque de doubler à l'horizon 2030, selon un bilan du ministère de l'Énergie.

Le secteur du bâtiment est le premier consommateur d'énergie en Algérie, C'est un secteur non productif mais énergivore. Puisque il consomme 41% de l'énergie finale. Ou la consommation du chauffage vient en tête de liste avec 46% de la consommation totale dans le secteur du bâtiment, suivie par le cuisson des aliments (22%), la production de l'eau chaude (13%) et les utilisations électriques (19%)<sup>23</sup>.

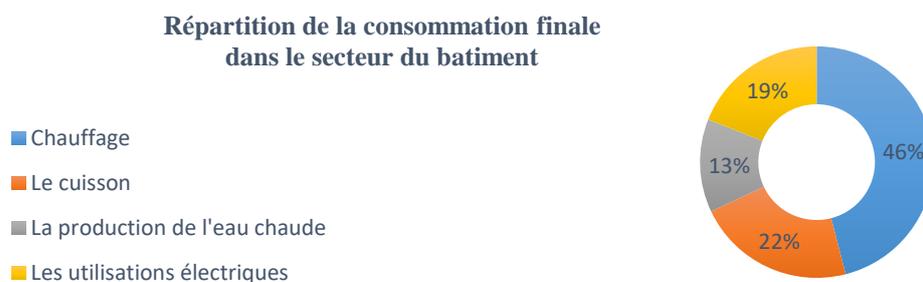


Figure 7: Répartition de la consommation finale dans le secteur du bâtiment en Algérie (Source : Auteur)

Selon la société nationale de l'électricité et du gaz,. La wilaya de Guelma, comme le reste des autres wilayas, elle avait en 2018 un taux de consommation élevé égale a 14.38 GWh et à la fin du mois de septembre 2019 la consommation d'énergie a atteint 11.49 GWh, en particulier la cité Hamlaoui ou était le taux de sa consommation égale a 2.01 Gwh réparti comme suit :

<sup>23</sup> Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie

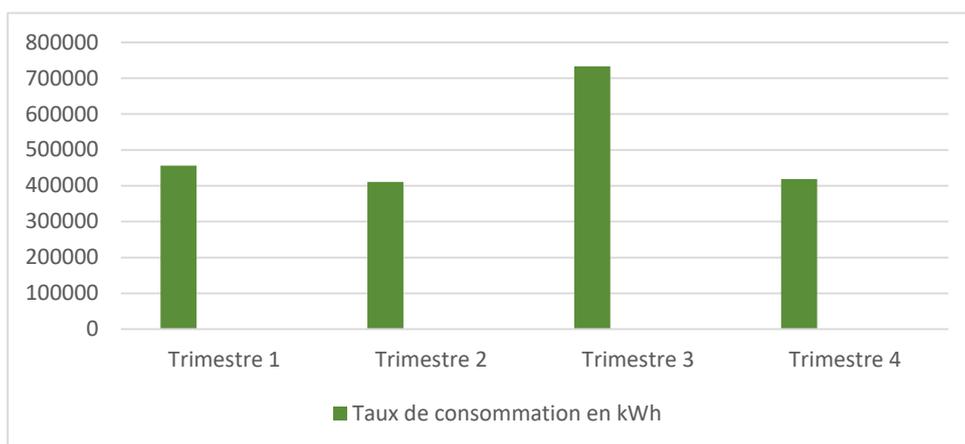


Figure 8 : Consommation énergétique annuelle 2019 de la cité Hamlaoui, Guelma (Source : Sonelgaz de Guelma)

### I.4.3 Energétique du bâtiment :

#### I.4.3.1 Le bâtiment est un gros consommateur d'énergie :

Dans les pays industrialisés, les bâtiments consomment une partie importante de l'énergie utilisée par la société et, en conséquence, ils sont source d'une partie non négligeable de la pollution. Cette énergie est l'objet de nombreux usages, notamment :

- **Le chauffage** et/ou le **refroidissement**, pour assurer un climat intérieur confortable
- **La circulation** de fluides tels que l'air (ventilation), l'eau (eau chaude, chauffage)
- **Les transports** (ascenseurs)
- **L'éclairage**
- **Les communications** (téléphone, radio, télévision)
- **La production** de biens (fabriques, cuisines, couture, etc.).

Dans les climats tempérés et froids, la plus grande part de l'énergie utilisée par un bâtiment sert au chauffage. Le flux de chaleur généré dans le système de chauffage aboutit inévitablement à l'extérieur par différentes voies plus ou moins directes.

Dans les climats plus chauds, il peut être nécessaire et en tous cas confortable d'abaisser la température intérieure des bâtiments. Ce refroidissement, et l'assèchement de l'air (sous les tropiques) peut aussi être un grand consommateur d'énergie.

#### I.4.3.2 Le bâtiment devrait être confortable :

Un bâtiment devrait assurer, sans aucune consommation d'énergie, un confort au moins équivalent à celui régnant à l'extérieur. S'il est bien conçu et construit, il peut fournir un confort nettement supérieur (courbe A de la Figure ci-dessous). Un tel bâtiment ne surchauffe pas ou peu en été et profite des gains solaires pendant les périodes froides, pour raccourcir la saison de chauffage.

La bande grisée représente les exigences de confort. C représente la température extérieure, A un bâtiment bien conçu et B un bâtiment inadapté à son climat. Un bâtiment inadapté à son climat, a tendance à surchauffer en saison chaude et à être glacial en saison froide. Ces bâtiments consomment de grandes quantités d'énergie pour assurer un confort acceptable.<sup>24</sup>

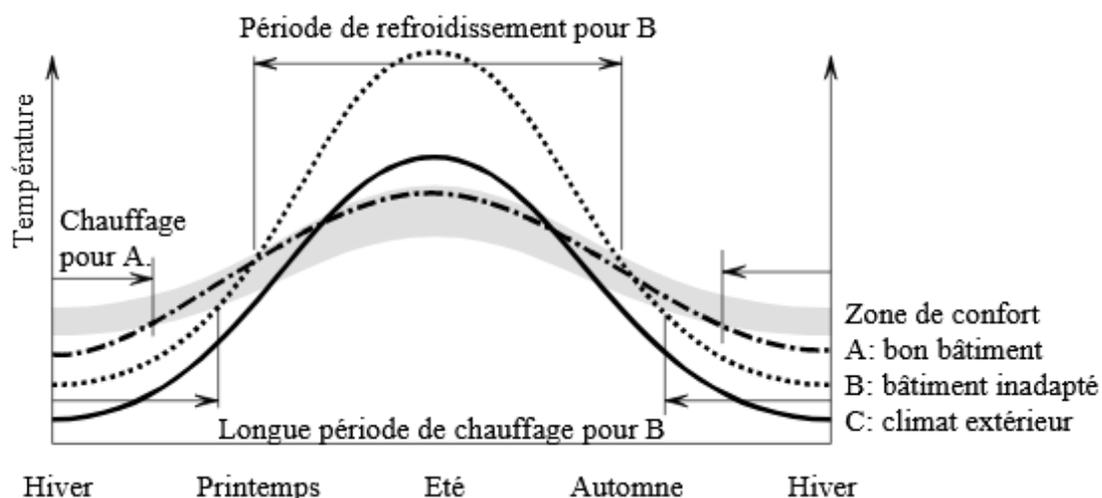


Figure 9 : Évolution des températures dans des bâtiments au cours de l'année, sans effet des installations techniques de chauffage ou climatisation. La bande grisée représente les exigences de confort. C représente la température extérieure, A un bâtiment bien conçu et B un bâtiment inadapté à son climat. (Source : Roulet Claude-Alain. THERMIQUE DU BÂTIMENT, TOUT LE CONFORT AVEC PEU D'ÉNERGIE.)

### I.4.3.3 Contexte environnemental :

#### I.4.3.3.1 Effet de serre et changements climatiques :

L'énergie se trouve au cœur de la problématique du changement climatique.

L'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> constatée dans l'atmosphère est liée à l'activité humaine et en premier lieu à la production d'énergie ; en deuxième lieu, à la consommation d'énergie finale dans le secteur du bâtiment (climatisation des bâtiments, le chauffage, etc.). Près des deux tiers sont directement imputables au secteur de bâtiment, et

<sup>24</sup> Roulet Claude-Alain. THERMIQUE DU BÂTIMENT, TOUT LE CONFORT AVEC PEU D'ÉNERGIE. Edition nouvelle, 2000. P1.

proviennent essentiellement des installations de chauffage et de production d'eau chaude et de froid.

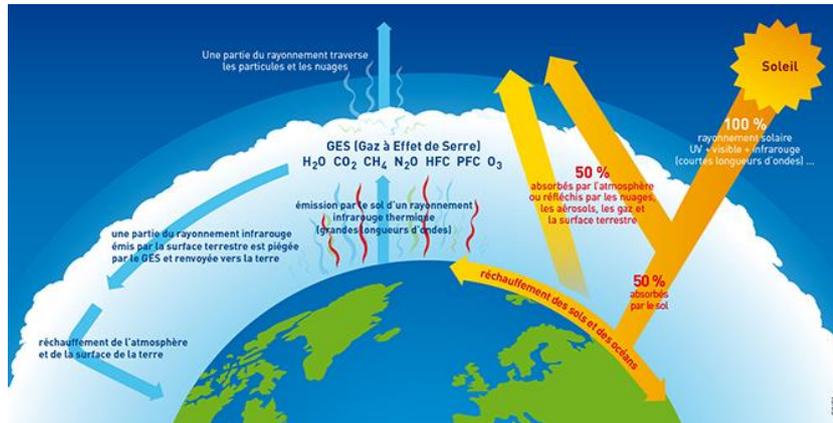


Figure 10: Schéma de l'EFFET DE SERRE (Source :Internet)

- **Définition :**

L'effet de serre est un phénomène d'origine naturelle qui permet de retenir une partie de la chaleur émise par le Soleil dans l'atmosphère de la planète. Il est également renforcé par divers processus d'origine anthropique.

- **Un phénomène naturel :**

Le Soleil émet de l'énergie rayonnante qui traverse l'atmosphère. Une partie de cette énergie est absorbée par la surface de la planète et le reste demeure dans l'atmosphère. Les rayons qui sont absorbés par le sol et les océans réchauffent ceux-ci. Durant la nuit, de l'énergie est alors émise à partir de la surface de la planète, et ce, sous forme de rayons infrarouges. Ces rayons se dirigent alors vers l'atmosphère pour ensuite être soit transportés dans l'espace ou être absorbés par l'atmosphère. C'est ce qu'on appelle l'effet de serre naturel.<sup>25</sup>

- **Amplifié par les activités humaines :**

Depuis l'ère industrielle, ce phénomène naturel est amplifié par les activités humaines émettrices de gaz qui absorbent les rayonnements dans l'infrarouge thermique. La modification de l'atmosphère qui en résulte conduit à un effet de serre « additionnel », qui

<sup>25</sup> <http://www.alloprof.qc.ca/BV/pages/s1353.aspx>

se traduit par un réchauffement global, et au-delà, par une modification du système climatique de la planète.<sup>26</sup>

- **Les principaux gaz à effet de serre :**

Gaz à effet de serre	Source naturelle	Source humaine
La vapeur d'eau (H <sub>2</sub> O)	Evaporation de l'eau surtout au-dessus des océans	Centrales électriques - Irrigation
Le dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	Respiration des êtres vivants – Feux de forêt - Volcans...	Utilisation massive d'énergies fossiles pour les transports, les bâtiments et l'agriculture Déforestation
Le méthane (CH <sub>4</sub> )	Digestion des herbivores – Décomposition des végétaux- Volcans	Intensification des élevages (bovin) et des cultures (riz) - Décharge d'ordures
Le protoxyde d'azote (N <sub>2</sub> O)	Marécages	Utilisation d'engrais azotés
Ozone de basse atmosphère (O <sub>3</sub> )	Foudre	Industrie - Circulation automobile
Les gaz fluorés (CFC, HFC, PFC)	N'existent pas dans la nature	Gaz des bombes aérosols et des climatiseurs

Tableau 1: Les principaux gaz a effet de serre et leurs source

#### **I.4.3.3.2 Impact du secteur bâtiment :**

La croissance du nombre de bâtiments est un facteur explicatif de la croissance de la consommation d'énergie du secteur tertiaire. Le secteur du bâtiment n'arrive qu'en deuxième position avec 23% des émissions après le secteur du transport mais reste un secteur très fortement contributif. Sa contribution moindre est due en partie à l'utilisation d'énergie moins émettrice de CO<sub>2</sub> et plus diversifiée que pour le secteur du transport qui utilise du pétrole à plus de 90 %.<sup>27</sup>

Le bâtiment peut être considéré comme un nœud énergétique complexe car il est relié à de nombreux flux énergétiques : réseaux de chaleur, réseau électrique, réseau de gaz et apport gratuit (solaire, vent).

<sup>26</sup> [http://www.inra.fr/Grand-public/Rechauffement-climatique/Tous-les-dossiers/Changement-climatique-gaz-a-effet-de-serre-et-agriculture/L-effet-de-serre/\(key\)/1](http://www.inra.fr/Grand-public/Rechauffement-climatique/Tous-les-dossiers/Changement-climatique-gaz-a-effet-de-serre-et-agriculture/L-effet-de-serre/(key)/1)

<sup>27</sup> Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

## **I.5 Conclusion :**

Deux facteurs concourent à une demande énergétique plus forte dans l'avenir. Ce sont l'accroissement de la population mondiale et le fait que les pays en voie de développement souhaitent accroître leur niveau de vie. En prenant une croissance énergétique annuelle mondiale de 2 à 2.5% par an, cela revient à doubler la consommation énergétique de la planète à l'horizon d'une trentaine d'année. Pour satisfaire à ces besoins supplémentaires, sans pour autant trop accroître l'effet de serre, il sera nécessaire de développer l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables, qui ne représentent pour le moment que de l'ordre de 20 de la consommation énergétique mondiale.

La consommation d'énergie primaire reste et restera encore, pendant de nombreuses décennies, largement dominée par les combustibles fossiles, notamment le pétrole. Ils représentent près de 90% de l'énergie commerciale et rien ne peut encore les remplacer ni quantitativement ni économiquement.

Ce chapitre montre que l'Algérie doit faire face à plusieurs défis dans le futur. Elle doit surtout repenser le problème de l'énergie dans sa globalité et prendre conscience de ses possibilités d'économies d'énergie.

## **Chapitre II : Etat de l'art : Performance énergétique, Réglementation et labels vers une haute performance énergétique**

### **Introduction :**

La conception des bâtiments à faible consommation d'énergie est un processus complexe qui nécessite une approche particulière. En effet, les choix techniques et architecturaux retenus pour ce genre de conception influent de manière très importante sur le comportement énergétique du bâtiment. Ainsi, la forme du bâtiment, sa compacité, son orientation, ont des conséquences significatives sur sa performance énergétique, de mauvais choix peuvent entraîner des défaillances difficilement prévisibles dont l'impact sur la consommation énergétique du bâtiment n'est souvent découvert que lors de son exploitation.

La diminution de la consommation énergétique des bâtiments constitue un enjeu majeur de ce début de siècle. La réalisation de bâtiments à faible consommation d'énergie est un processus complexe qui nécessite le développement d'outils performants d'assistance à leur conception, leur construction et leur maintenance. Dans ce chapitre, Nous recherchons

Des solutions et techniques qui nous aideront à atteindre notre objectif qui est l'efficacité énergétique dans le bâtiment.

Avant de définir et caractériser les différents bâtiments performants, on pense qu'il est primordiale de faire une petite aperçue sur quelque réglementations thermiques et labels qui leurs sont associé. Ces labels internationaux et réglementations présentés dans cette section sont utilisés comme cible pour définir les indicateurs et les exigences de performances énergétiques visées dans le cadre de cette recherche.

## **II.1 La Performance énergétique d'un bâtiment :**

### **II.1.1 Qu'est-ce que la performance énergétique ?**

La performance énergétique, c'est la quantité d'énergie que consomme annuellement le bâtiment eu égard à la qualité de son bâti, de ses équipements énergétiques et de son mode de fonctionnement.

La notion de performance énergétique vise le confort thermique avec une exploitation annuelle optimisée des énergies consommées. Elle se traduit au préalable par le DPE ou diagnostic de performance énergétique qui positionne le logement ou le bâtiment dans une échelle énergétique allant de A à G, appelée également "étiquette énergie", qui indique le niveau de consommation de chauffage, d'eau chaude sanitaire, et de climatisation. Le DPE positionne également le niveau de pollution en indiquant dans une échelle le taux d'émission de gaz à effet de serre (GES).<sup>28</sup>

### **II.1.2 Diagnostic de Performances Énergétiques :**

Diagnostic de Performance Énergétique (DPE), cet outil indique la performance énergétique d'un logement ou d'un bâtiment, évaluant sa consommation énergétique dans un premier temps puis son impact en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Initié dans le cadre de la politique énergétique européenne, le DPE doit contribuer à la réduction de la consommation énergétique et à la limitation des émissions de gaz à effet de serre.

Le DPE, Diagnostic de Performances Énergétiques est une sorte de document qui permet de connaître la consommation en énergie. Ce dernier est une échelle qui se compose de lettres, indiquant chaque une le degré de consommation en énergie d'un produit. Ce

---

<sup>28</sup> [https://www.xpair.com/lexique/definition/performance\\_energetique.htm](https://www.xpair.com/lexique/definition/performance_energetique.htm) ; Consulter le 24/12/2019

diagnostic permet de démontrer si des objets que vous utilisez au quotidien sont énergivores, ou s'ils ont une consommation normale ou faible.<sup>29</sup>

La lecture du DPE est facilitée par deux étiquettes à 7 classes de A à G (A correspondant à la meilleure performance, G à la plus mauvaise) :

- L'étiquette énergie : pour connaître la consommation d'énergie primaire.
- L'étiquette climat : pour connaître la quantité de gaz à effet de serre émise.

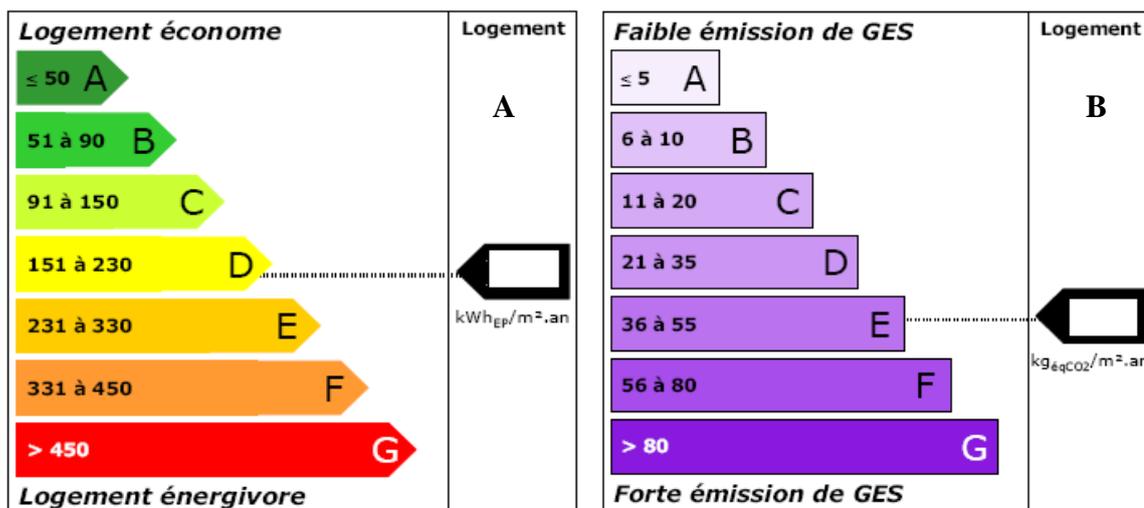


Figure 11: A. L'étiquette énergie / B. L'étiquette climat (Source : Google)

### II.1.3 Qu'est-ce que l'efficacité énergétique ?

L'efficacité énergétique est le moyen le plus rapide, le plus propre et le plus rentable de réduire notre consommation d'énergie et de respecter les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Elle peut se définir comme le rapport entre le service délivré au sens large (performance, produit, énergie, confort, service) et l'énergie qui y a été consacrée. L'amélioration de l'efficacité énergétique consiste, par rapport à une situation de référence :

- Soit à augmenter le niveau de service rendu, à consommation d'énergie constante.
- Soit à économiser l'énergie à service rendu égal.

Les solutions d'efficacité énergétique consistent le plus souvent à économiser l'énergie à service rendu égal ou à augmenter le niveau de service rendu, à consommation d'énergie

<sup>29</sup> <https://www.geoplac.com/lexique-cee/dpe/> ; Consulter le 24/12/2019

Constante. Elles visent donc à améliorer la performance délivrée avec une moindre consommation d'énergie.<sup>30</sup>

L'efficacité énergétique se réfère à la réduction de la consommation d'énergie sans toutefois provoquer une diminution du niveau de confort ou de qualité de service dans les bâtiments. Selon Thierry Salomon, elle correspond à réduire à la source la quantité d'énergie nécessaire pour un même service, soit, mieux utiliser l'énergie à qualité de vie constante.<sup>31</sup>

▪ **Efficacité énergétique active et passive :**

- L'efficacité énergétique passive se rapporte à l'isolation, la ventilation et aux équipements de chauffage.
- L'efficacité énergétique active touche à la régulation, la gestion de l'énergie, la domotique et la Gestion Technique du Bâtiment (GTB).

**II.1.4 L'Efficacité énergétique dans le bâtiment :**

L'efficacité énergétique est rapidement devenue l'un des grands enjeux de notre époque et les bâtiments en sont une des composantes majeures. Ils consomment plus d'énergie que tout autre secteur et contribuent donc dans une large mesure au changement climatique. [Björn Stigson, président du WBCSD, World Business Council for Sustainable Development].

Aujourd'hui, les bâtiments jouent un rôle très important dans la dépense énergétique. Pour cela nous devons réfléchir aux procédés qui permettront la réduction de cette dépense énergétique. Plusieurs paramètres agissent sur le comportement thermique du bâtiment dont la forme, l'orientation, ses éléments constructifs et les aménagements intérieurs.<sup>32</sup>

**II.1.5 Pas de performance énergétique sans efficacité énergétique :**

La notion de performance énergétique vise le confort thermique avec une exploitation annuelle optimisée des énergies consommées. L'intégration des énergies renouvelables, le solaire thermique et photovoltaïque, la pompe à chaleur, le puits canadien, octroie une

---

<sup>30</sup> Yves Robillard. Vers un bâtiment durable : Les équipements et solutions d'efficacité énergétique. Paris, Septembre 2011. P.7

<sup>31</sup> Nadia Saïfi .Contribution à la conception des bâtiments à faible consommation d'énergie dans les zones arides, Génie des procédés, Université de Ouargla, 2016.

<sup>32</sup> L'efficacité énergétique dans le bâtiment. KHARCHI Razika, Maître de Recherche B, Equipe bioclimatique, Division Solaire Thermique et Géothermie – CDER.

Performance énergétique meilleure, tout comme les générateurs et chaudières à haut rendement et les émetteurs de chauffage basse température comme le plancher chauffant, ainsi que les dispositifs de régulation et programmation.<sup>33</sup>

### **II.1.6 Énergies Renouvelables et Efficacité Énergétique :**

Les énergies renouvelables peuvent jouer un rôle plus important dans l’approvisionnement en énergie primaire lorsque la fourniture des services énergétiques est plus efficace. Plus leur part augmente, moins la quantité d’énergie primaire nécessaire pour le même niveau de service est importante. Les énergies renouvelables comme l’énergie éolienne, l’énergie solaire et l’hydroélectricité, qui ne requièrent pas un apport de combustible, améliorent l’efficacité, car il n’est pas nécessaire de convertir la chaleur. L’alimentation en électricité en périodes de pointe est donc réduite et les pertes de transmission et l’engorgement sont moins importants.

Une analyse de façon plus approfondie des synergies techniques on était effectués par l’Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA) et le Centre de Copenhague pour l’efficacité énergétique (C2E2) pour démontrer l’effet des énergies renouvelables sur l’efficacité énergétique. Leur déploiement accru pourrait réduire l’intensité énergétique dans certains pays de 5 à 10 % d’ici à 2030 par rapport au statu quo. Le développement parallèle de l’efficacité énergétique et des énergies renouvelables pourrait réduire la demande énergétique mondiale de 25 % d’ici à 2030.

## **II.2 Etat de l’art des Réglementation et labels vers une haute performance énergétique :**

### **II.2.1 Evolution des bâtiments à basse consommation :**

#### **II.2.1.1 Le contexte français :**

Divers acteurs français, publics et privés, se sont mobilisés pour réduire l’impact environnemental du bâtiment. En effet, le secteur du bâtiment constitue une des clés permettant de résoudre le défi environnemental, car il offre des possibilités d’évolution importantes en matière d’énergie :

---

<sup>33</sup> [https://www.xpair.com/lexique/definition/performance\\_energetique.htm](https://www.xpair.com/lexique/definition/performance_energetique.htm) ; Consulter le 01/02/2020.

- Les bâtiments peuvent utiliser plusieurs sources d'énergie, dont les énergies renouvelables. Ces énergies peuvent être combinées. Elles peuvent, le cas échéant, changer plusieurs fois sur la durée de vie du bâtiment.
- Les travaux d'amélioration des performances énergétiques des bâtiments peuvent être programmés sur plusieurs années et cette évolution renforce à chaque fois la valeur patrimoniale du bien.
- Les occupants des bâtiments ont des comportements d'usage relativement constants au cours du temps. Leurs besoins évoluent sur des cycles longs, sans rupture brutale, et peuvent raisonnablement être anticipés.

Dans cette partie, nous allons nous intéresser au contexte français en termes de politique énergétique, et réglementation thermique. De plus, nous allons présenter les différents labels et certifications concernant les bâtiments à basse consommation d'énergie.

#### **A. Les réglementations thermiques françaises :**

La réglementation thermique est un ensemble de lois visant à la maîtrise de l'énergie dans le bâtiment par la limitation de la consommation globale d'énergie des bâtiments et l'imposition des performances globales (un seuil réglementaire de performance), ceci pour assurer le confort des occupants du bâtiment, réduire les émissions de polluants et diminuer les charges d'exploitation des locaux (chauffage, climatisation...)<sup>34</sup>

La réglementation thermique française a pour but de fixer une limite maximale à la consommation énergétique des bâtiments neufs pour le chauffage, la ventilation, la climatisation, et à améliorer le confort thermique d'été dans les locaux non rafraîchis. Elle porte à la fois sur les bâtiments neufs résidentiels et tertiaires. Elle impose des exigences à satisfaire sur la consommation d'énergie, la température atteinte en été et les performances pour une série de composants (isolation, ventilation, système de chauffage ...).<sup>35</sup>

- **La RT 1974 : un premier pas**

---

<sup>34</sup> Foura Samir ; performance énergétique en Algérie, 2008 page 59

<sup>35</sup> Fadi Chlela. Développement d'une méthodologie de conception de bâtiments à basse consommation d'énergie. Energie électrique. Université de La Rochelle, 2008. Français. fftel-00271813

La première réglementation thermique arrive en 1974, suite du choc pétrolier de 1973. Cet évènement a fait prendre conscience qu'il est important de maîtriser la consommation des énergies fossiles. Elle se met en place à l'initiative du Premier Ministre de l'époque Pierre Messmer. Son objectif est de faire diminuer de 25% minimum la consommation énergétique des bâtiments par rapport aux dernières normes instaurées à la fin des années 50. Alors que la consommation de chauffage est estimée à 300 kWh/m<sup>2</sup>.an en 1974, la réglementation thermique souhaitait la faire baisser à 225 kWh/m<sup>2</sup>.an. Pour atteindre ce but, il fut imposé aux propriétaires d'installer au minimum une couche d'isolation thermique ainsi que des appareils permettant de réguler la température des chauffages. Par ailleurs, la RT 1974 met également en place le coefficient G, calculé en watt par mètre cube habitable pour une variation d'un degré kelvin entre la température extérieure et intérieure du logement (W/m<sup>3</sup>. °K). Celui-ci mesure les déperditions d'énergies dans un logement, à travers ses parois et le renouvellement de l'air.

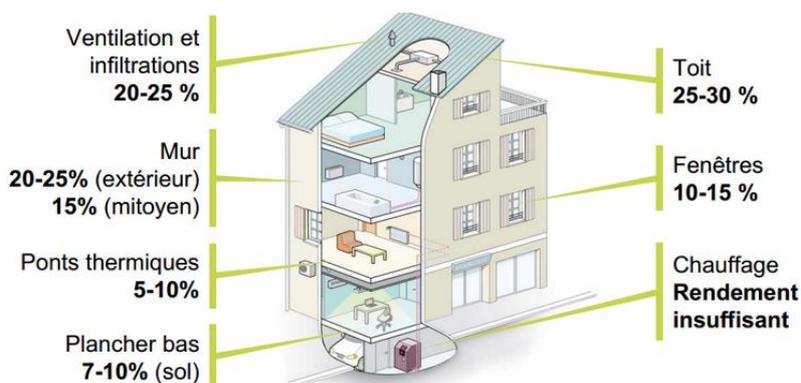


Figure 12 : Moyennes pour une maison d'avant 1975 non isolée (Source : ADEME)

- **La RT 1982 : De nouveaux critères**

Suite au second choc pétrolier de 1979, sont instaurées de nouvelles mesures. Le gouvernement de Pierre Mauroy fixe en premier lieu un nouvel objectif de réduction de 20 % de la consommation d'énergie par rapport à 1974, ce qui revenait à 170 kWh/m<sup>2</sup>.an. De plus, le coefficient B est créé, il exprime les besoins de chauffage annuel déterminé en W/m<sup>3</sup>. °K. Ce coefficient se positionne sur le G et il est calculé en se basant sur ses « apports gratuits », venant notamment du soleil.

Par ailleurs, un premier label voit le jour. Le Label Haute Isolation est imposé aux logements neufs tout comme le Label Solaire qui est créé en 1983.

- **La RT 1988 : Extension aux bâtiments tertiaires**

Cette nouvelle réglementation inclue des exigences de performances minimales de l'enveloppe et des systèmes mis en place. La RT 1988 s'élargie et s'applique aux immeubles non résidentiels (bureau, commerces...).

Cette réglementation permet de créer un nouveau critère, le coefficient C (pour consommation). Il permet de calculer les besoins d'un logement en chauffage et en eau chaude sanitaire en prenant en compte le rendement des équipements. Les normes deviennent plus strictes avec les ventilations et climatiseurs dans les bâtiments tertiaires.

- **La RT 2000 : Ajout d'une exigence sur le confort d'été**

À l'image du Sommet de la Terre à Rio en 1992, qui encourageait le développement durable et du Protocole de Kyoto en 1997, qui visait à réduire les émissions de gaz à effet de serre dans les pays signataires. C'est dans ce contexte que la France conçoit la RT 2000. Celle-ci vise, elle aussi, à faire baisser de 20% de la consommation d'énergie par rapport à 1982, (pour la ramener à 130 kWh/m<sup>2</sup>.an) et de 40% pour les bâtiments du tertiaire.

La notion de confort d'été se développe et des normes dans la construction des bâtiments neufs sont imposées aux architectes : la consommation d'énergies qui ne doit pas dépasser un plafond de référence ; la température estivale dans les bâtiments non climatisés doit rester en dessous d'une température de référence ; ou encore on oblige une performance minimum pour certains systèmes comme la ventilation, le chauffage, la climatisation...

- **La RT 2005 : Ajout d'une exigence sur le confort d'été**

La réglementation thermique RT2005 (Réglementation thermique, 2005) a succédé le 1er septembre 2006 à la réglementation thermique RT2000 (Réglementation thermique, 2000) dont l'application était obligatoire depuis le 1<sup>er</sup> juin 2001. Elle s'applique à tous les bâtiments neufs.

La réglementation thermique vise à réduire les consommations d'énergie dans les bâtiments, et à améliorer le confort thermique d'été dans les locaux non rafraîchis. Elle porte à la fois sur les bâtiments neufs résidentiels et tertiaires. Elle impose des exigences à satisfaire sur la consommation d'énergie, la température atteinte en été et les performances pour une série de composants (isolation, ventilation, système de chauffage ...).

- La RT2005 a trois exigences :
  - **Les exigences sur la consommation d'énergie :**

La consommation conventionnelle d'énergie d'un bâtiment pour le chauffage, la ventilation, le refroidissement, la production d'eau chaude sanitaire, les auxiliaires des systèmes et l'éclairage des locaux (pour des bâtiments non résidentiels) s'exprime sous la forme d'un coefficient exprimé en kWh/m<sup>2</sup> d'énergie primaire (kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>), noté  $C_{ep}$ . La surface prise en compte est égale à la surface de plancher hors œuvre nette (SHON).

Le coefficient  $C_{ep}$  d'un bâtiment doit être inférieur ou égal au coefficient de référence de ce bâtiment, noté «  $C_{ep-ref}$  », déterminé sur la base des caractéristiques thermiques de référence.

○ **Les exigences sur la température intérieure :**

La température intérieure conventionnelle atteinte en été, notée  $T_{ic}$ , est la valeur maximale horaire en période d'occupation de la température opérative. Pour le résidentiel, la période d'occupation considérée est la journée entière. Elle est calculée en adoptant des données climatiques conventionnelles pour chaque zone climatique.

La température intérieure conventionnelle  $T_{ic}$  doit être inférieure à la température intérieure conventionnelle de référence, notée «  $T_{ic-ref}$  », déterminée sur la base des caractéristiques thermiques de référence.

○ **Exigence de performances minimales pour une série de composants et équipements :**

La RT2005 définit des exigences sur les performances des composants de l'enveloppe et des équipements de génie climatique.

• **La RT 2012 : De nouveaux objectifs plus concrets**

Suite au Grenelle de l'environnement de 2007, le gouvernement de François Fillon au travers de la RT 2012 veut enclencher la vitesse supérieure. La réglementation a des objectifs clairs : Entre 2013 et 2020, elle vise entre 13 et 15 millions de CO<sub>2</sub> en moins et jusqu'à 150 milliards de kWh économisés. C'est pourquoi la RT 2012 encourage fortement l'utilisation des énergies renouvelables et des systèmes innovants tels que l'installation de panneaux solaires thermiques. Elle place de nouvelles contraintes dans le but d'avoir des isolations thermiques intérieures et extérieures et des étanchéités de qualité, ainsi que l'élimination des ponts thermiques dans les logements.

Dans ce sens, la RT 2012 est destinée à développer au mieux le label BBC. Tous les bâtiments neufs sans distinction, ne devront plus dépasser les 50 kWh/m<sup>2</sup>/an de consommation d'énergie. Trois caractéristiques seront désormais à prendre en compte par l'architecte lors d'une construction :

- Le Bbio (Besoin bioclimatique) : Il représente le besoin d'énergie en comprenant le chauffage, les lumières et le refroidissement. Celui-ci doit rester en dessous du seuil Bbiomax.
- La Cep (Consommation d'énergie primaire) : Tout comme le Bbio, elle comprend le chauffage, l'éclairage et les systèmes de refroidissement, auquel on ajoute la production d'eau chaude sanitaire ainsi que les systèmes auxiliaires tels qu'une pompe à chaleur ou une ventilation mécanique contrôlée.
- La Tic (Température Intérieure Conventionnelle) : Elle doit correspondre à un certain niveau de confort estival sans l'utilisation de système de refroidissement (climatisation).
- **La RT 2018-2020 : Les bâtiments à énergie positive :**

Le futur est clair : zéro gaspillage énergétique ! La RT 2020 sera axée sur la construction de bâtiments qui produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment, à travers l'apparition des Maisons Passives et des BEPOS, les Bâtiments à Energie Positive.<sup>36</sup>

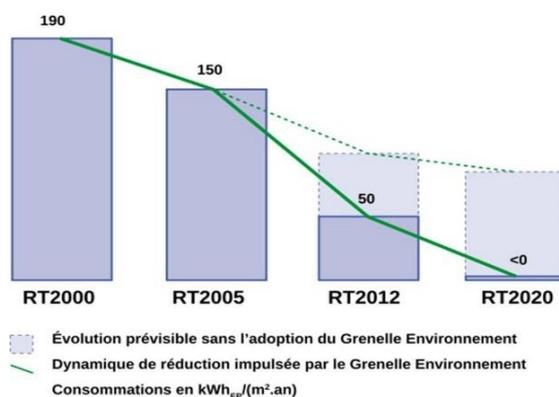


Figure 13 : Evolution de la réglementation thermique en France (Source : [www.harmonie.fr/1974-2020-evolution-reglementation-thermique](http://www.harmonie.fr/1974-2020-evolution-reglementation-thermique))

## B. Labels :

Cinq nouveaux labels sont créés pour attester de la performance énergétique des bâtiments neufs :

<sup>36</sup> <http://www.harmonie.fr/1974-2020-evolution-reglementation-thermique> ; Consulter le 02/02/2020.

- a. Les labels haute performance énergétique** : Ces labels ont été mis en place pour valoriser les bâtiments neufs obtenant un niveau de performance énergétique supérieur au niveau réglementaire. Ils sont attribués par des organismes en convention avec l'État :
- **Le label haute performance énergétique, HPE 2005** : consommation globale d'énergie inférieure de 10 % à la consommation de référence RT 2005.
  - **Le label très haute performance énergétique, THPE 2005** : consommation globale d'énergie inférieure de 20 % à la consommation de référence RT 2005.
  - **Le label haute performance énergétique énergies renouvelables HPE EnR 2005** : niveau du label HPE et besoins en chauffage assurés à plus de 50 % par une chaudière bois-énergie (ou biomasse) ou un réseau de chaleur alimenté à plus de 60 % par des énergies renouvelables.
  - **Le label très haute performance énergétique énergies renouvelables** : consommation globale d'énergie inférieure de 30 % à la consommation de référence RT 2005 et l'une des conditions suivantes remplies :
    - Plus de 50 % des besoins d'eau chaude sanitaire couverts par du solaire thermique et plus de 50 % des besoins en chauffage couverts par une chaudière bois-énergie (ou biomasse) ou un réseau de chaleur alimenté à plus de 60 % par des énergies renouvelables.
    - Plus de 50 % des besoins d'eau chaude sanitaire et de chauffage couverts par du solaire thermique.
    - Plus de 25 kWh/m<sup>2</sup> SHON (surface hors œuvre nette) d'énergie primaire couverts par une d'énergie électrique utilisant une énergie renouvelable ou plusieurs.
    - Bâtiment équipé d'une pompe à chaleur performante (coefficient de performance [COP] > 3,5).
    - Plus de 50 % des besoins d'eau chaude sanitaire d'un immeuble collectif couverts par du solaire thermique.<sup>37</sup>
- b. Les labels Effinergie et bâtiment basse consommation énergétique BBC 2005** : Il s'agit de labels gérés par l'association Effinergie dont le but est de promouvoir les constructions à basse énergie et de développer en France un référentiel de performance énergétique des bâtiments neufs ou existants. Ces labels s'appuient sur

---

<sup>37</sup> Pascale Maes. Labels d'efficacité énergétique .HQE, BBC-EFFINERGIE, MAISON PASSIVE, RT2005/2018, QUALITEL

le standard Suisse Minergie (Minergie, 2007), mais en l'adaptant aux particularités constructives, réglementaires, normatives et climatiques du marché français ou la consommation conventionnelle d'énergie primaire du bâtiment pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage des locaux est inférieure ou égale à 50 % de la consommation référence de la RT2005.

- c. La Haute Qualité Environnementale (HQE) :** La HQE prend en compte le développement durable d'un projet dans sa globalité. Elle est définie comme étant une démarche, celle de "management de projet" visant à limiter les impacts d'une opération de construction ou de réhabilitation sur l'environnement tout en assurant à l'intérieur du bâtiment des conditions de vie saines et confortables (HQE, 2004). La HQE définit 14 exigences (ou cibles) à respecter. Chaque cible se décompose en cibles élémentaires. On en distingue actuellement 52. La quatrième cible concerne la gestion de l'énergie qui se décompose en quatre cibles élémentaires :
- Renforcement de la réduction de la demande et des besoins énergétiques.
  - Renforcement du recours aux énergies satisfaisantes de point de vue impact environnemental.
  - Renforcement de l'efficacité des équipements énergétiques.
  - Utilisation de générateurs propres lorsqu'on a recours à des générateurs à combustion<sup>38</sup>.

### **II.2.1.2 Etat de l'art des opérations internationales :**

Suivant leurs niveaux de performances énergétiques, les bâtiments à basse consommation d'énergie peuvent être classés en trois familles : **bâtiments performants, bâtiments très performants et bâtiments zéro énergie ou à énergie positive.**

#### **A. Bâtiments performants :**

Les bâtiments performants, souvent appelés bâtiments basse énergie, existent à plusieurs milliers d'exemplaires. Ils se caractérisent principalement par une conception architecturale bioclimatique, une bonne isolation thermique (15 à 20 cm d'isolant), des fenêtres performantes, un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait, parfois associé à un puits climatique, un système de génération performant (pompe

---

<sup>38</sup> Fadi Chlela. Développement d'une méthodologie de conception de bâtiments à basse consommation d'énergie. Energie électrique. Université de La Rochelle, 2008. Français. fftel-00271813

à chaleur, chaudière bois, chaudière à condensation...) et une attention particulière est portée à la perméabilité à l'air et aux ponts thermiques.

Les opérations les plus connues de ce type de bâtiments sont les labels Suisse MINERGIE® et MINERGIE-ECO®. MINERGIE® est un label d'efficacité énergétique et de confort. MINERGIE-ECO® est un complément au standard MINERGIE® qui prend en compte l'aspect écologique des constructions.

- **Le label MINERGIE® :**

MINERGIE® est un label de qualité en termes de performance énergétique et de confort thermique destiné aux bâtiments neufs et rénovés en Suisse (MINERGIE, 2007).

MINERGIE® est un label de qualité en termes de performance énergétique et de confort thermique destiné aux bâtiments neufs et rénovés en Suisse (MINERGIE, 2007).

Il existe éventuellement des exigences supplémentaires, en fonction de la catégorie du bâtiment, concernant l'éclairage et la production de froid.

Catégorie de bâtiments	Indice pondéré de dépense d'énergie (kWh/m <sup>2</sup> )	Ventilation mécanique	Exigence primaire sur l'enveloppe
Habitat collectif	≤ 42	Obligatoire	$Q_h \leq 80\% \cdot Ch_{ii}$
Habitat individuel	≤ 42	Obligatoire	$Q_h \leq 80\% \cdot Ch_{ii}$
Administration	≤ 40	Obligatoire	$Q_h \leq 80\% \cdot Ch_{ii}$
Ecoles	≤ 40	Obligatoire	$Q_h \leq 80\% \cdot Ch_{ii}$
Commerce	≤ 40	Obligatoire	$Q_h \leq 80\% \cdot Ch_{ii}$
Restauration	≤ 45	Obligatoire	$Q_h \leq 80\% \cdot Ch_{ii}$

Tableau 2 : Les exigences du label MINERGIE® pour les bâtiments neufs (Source F.Chlela)

Catégorie de bâtiments	Indice pondéré de dépense d'énergie (kWh/m <sup>2</sup> )	Ventilation mécanique	Exigence primaire sur l'enveloppe
Habitat collectif	≤ 80	Obligatoire	$Q_h \leq 120\% \cdot Ch_{ii}$
Habitat individuel	≤ 80	Obligatoire	$Q_h \leq 120\% \cdot Ch_{ii}$
Administration	≤ 70	Obligatoire	$Q_h \leq 120\% \cdot Ch_{ii}$
Ecoles	≤ 70	Obligatoire	$Q_h \leq 120\% \cdot Ch_{ii}$
Commerce	≤ 70	Obligatoire	$Q_h \leq 120\% \cdot Ch_{ii}$
Restauration	≤ 85	Obligatoire	$Q_h \leq 120\% \cdot Ch_{ii}$

Tableau 3 : Les exigences du label MINERGIE® pour les bâtiments rénovés (Source F.Chlela)

$Q_h$  est le besoin de chauffage effectif du bâtiment.  $Ch_{ii}$  est le besoin de chauffage du bâtiment, calculé selon la norme Suisse (SIA 380/1, 2001).  $Q_h$  ne doit pas dépasser 80% de  $Ch_{ii}$ . On évite ainsi de compenser la qualité insuffisante d'une enveloppe de bâtiment uniquement par des installations techniques coûteuses.

- **Le label MINERGIE-ECO® :**

Il s'agit d'un complément au standard MINERGIE®. En plus des exigences d'efficacité énergétique et de confort thermique, MINERGIE-ECO® exige des modes de construction sains et écologiques. L'évaluation des qualités d'un bâtiment dans les domaines de la santé et de l'écologie est effectuée à l'aide d'une méthode basée sur différentes normes (MINERGIE, 2007).

### **B. Bâtiments très performants :**

Il s'agit en général de bâtiments "passifs" dont le concept a été défini par le Dr. Wolfgang Feist de l'institut de recherche allemand Passivhaus (Passivhaus, 2007). Les constructions passives à une large échelle ont débuté en 1998 avec le projet européen CEPHEUS (CEPHEUS, 2001). Des bâtiments passifs ont ainsi été construits dans cinq pays Européens. Le retour d'expérience de ce projet a montré la faisabilité de ce type de bâtiment, ainsi que les précautions à prendre en compte lors de leurs mises en œuvre (Feist et al, 2005).

Suite au projet CEPHEUS, des labels de bâtiments passifs ont été créés en Allemagne et en Suisse. Le label Allemand s'appelle **Passivhaus** (Passivhaus, 2007) et le label Suisse **MINERGIE-P®** (MINERGIE, 2007).

- **Le label MINERGIE-P® :**

MINERGIE-P® est un label de la marque MINERGIE® qui correspond au standard "bâtiment passif". Les exigences de ce standard en termes de consommations d'énergies sont évidemment plus basses que celles du standard MINERGIE®. Il est destiné aux catégories suivantes de bâtiments : habitat collectif, habitat individuel et administration.

La Figure ci-dessous compare les exigences des deux standards : MINERGIE® et MINERGIE-P®.

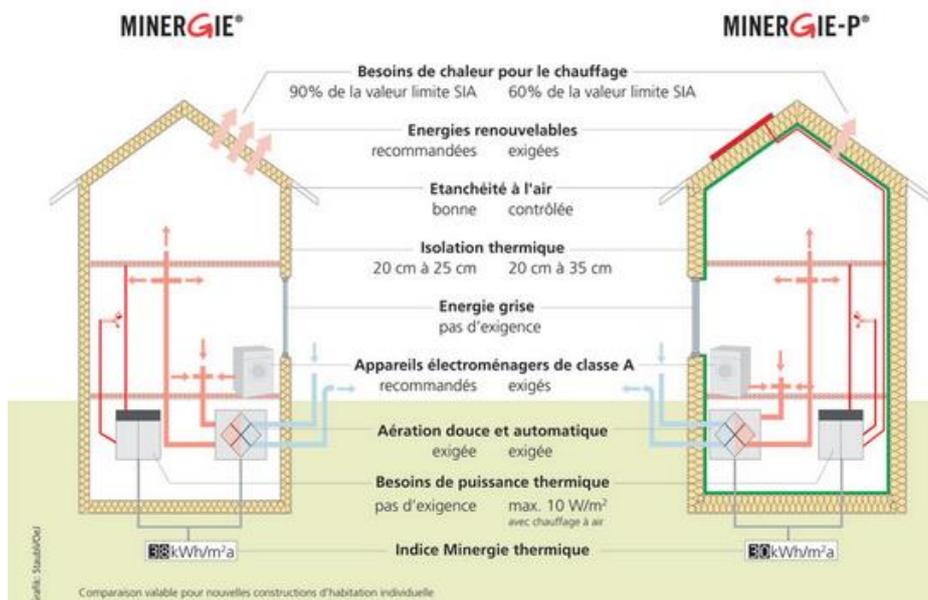


Figure 14 : Comparaison entre les labels MINERGIE® et MINERGIE-P (Source : <https://www.swissbois.ch/index.php/technologie/standard-minergie>)

- **Le label Passivhaus :**

Le Label Passivhaus est délivré par l'institut de recherche allemand Passivhaus, crée par le Dr. Wolfgang Feist en 1996 (Passivhaus 2007, Feist 2005). Ce label est destiné aux bâtiments résidentiels et tertiaires. Pour atteindre le standard Passivhaus, il est nécessaire d'avoir :

- Un besoin annuel de chauffage < 15 kWh/m²an
- une demande annuelle d'énergie primaire inférieure à 120 kWh/m²an pour le chauffage, l'eau chaude et l'électricité (incluant les applications domestiques),

Un bâtiment Passivhaus est la combinaison d'une enveloppe avec une isolation thermique très performante, d'une perméabilité à l'air très faible, de la récupération d'énergie sur la ventilation et de préchauffage d'air neuf (double flux avec récupération, puits climatique) et des sources d'énergies renouvelables.

### C. Bâtiments zéro énergie :

- **Zéro Energy Building : (USA)**

Zéro Energy Building est un concept qui est apparu suite à la construction d'une maison sans consommation de chauffage, dans la Task 13 « Solar low energy house » de l'Agence International de l'énergie (AIE) sous la direction scientifique du Fraunhofer Institut. Grâce

à des simulations, il a été démontré que les besoins de chauffage peuvent être assurés par l'installation solaire, ce qui ramène sa consommation à zéro.<sup>39</sup>

Les principes de ce label consistent à réduire au maximum les besoins en chauffage, de refroidissement et d'électricité, grâce à une enveloppe et des équipements performants et économes dont les besoins en énergie sont satisfaits par des gains d'efficacité tels que l'utilisation des technologies renouvelables (panneaux photovoltaïques, une turbine de vent, ou un générateur de biogaz...)<sup>40</sup>

### **II.2.1.3 Etat de l'art des opérations nationales (Algériennes) :**

En 1986, l'Algérie, pays exportateur de pétrole et de gaz naturel, subit de plein fouet le contrechoc pétrolier : les prix du pétrole baissent et provoquent une diminution des rentrées de devises pour le financement de l'activité économique. Dans ce contexte, le pays prend conscience de la nécessité de définir une politique d'efficacité énergétique. Aujourd'hui notre pays dispose d'un arsenal juridique important en matière de rationalisation de l'utilisation de l'énergie dans le bâtiment.

#### **A. Législation (lois, décrets arrêtés) :**

##### **a. Les lois :**

- Loi N ° 99 – 09 du 28 Juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie. Définir les conditions, les moyens d'encadrement et la mise en œuvre de la politique nationale de maîtrise d'énergie.
- Loi 04-09 du 14 aout 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre de développement durable.

##### **b. Les décrets :**

- Décret n° 2000-90 du 24 Avril 2000 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs.
- Décret exécutif n° 04-149 du 19 mai 2004 fixant les modalités d'élaboration du programme national de maîtrise de l'énergie (PNME)
- Décret exécutif n° 05-495 du 26 décembre 2005 relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie.

---

<sup>39</sup> MISSOUM (Mohammed) : *Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance Énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie*, mémoire de Magistère en génie mécanique, Faculté de technologie, université Hassiba Benbouali, Chlef, décembre 2011, p.97-98.

<sup>40</sup> SEMAHI (Samir) : contribution méthodologique a la conception des logements à haute performance énergétique (HPE) en Algérie, mémoire de magister, laboratoire architecture et environnement, école polytechniques d'architecture et d'urbanisme, Alger, 2013, p.32

- Décret n° 04-16 du 11 janvier 2005 fixant les règles spécifiques d'efficacité énergétique applicables aux appareils fonctionnant à l'électricité, au gaz et aux produits pétroliers.
- Arrêté interministériel du 29 novembre 2008 définissant les dispositions générales relatives aux modalités d'organisation et d'exercice du contrôle de l'efficacité énergétique des appareils domestiques soumis aux règles spécifiques d'efficacité énergétique et fonctionnant à l'énergie électrique.<sup>41</sup>

#### **B. Document techniques réglementaires :**

La réglementation algérienne s'est enrichie de document technique réglementaire, les DTRC initiés par le ministère de l'habitat et mis en œuvre par le CNERIB. Ces documents qui sont destinés uniquement aux bâtiments à usage d'habitation, mentionnent entre autre les exigences réglementaires que doivent satisfaire leurs enveloppes à savoir :

- **DTR C 3-2** « Règles de calcul des déperditions calorifiques » pour le problème d'hiver pour les bâtiments à usage d'habitation, il vise la limitation de la consommation énergétique relative au chauffage des locaux à travers le calcul des déperditions thermiques.
- **DTR C 3-4** intitulé « Règles de calcul des apports calorifiques » pour le problème d'été. Il vise la limitation de la consommation énergétique relative à la climatisation des locaux.
- **DTR C 3.31** "Ventilation naturelle - Locaux à usage d'habitation" élaboré en 2005.fournit les principes généraux qu'il y a lieu d'adopter lors de la conception des installations de ventilation naturelle.<sup>42</sup>

### **II.3 Les bâtiments performants :**

Les bâtiments énergétiquement efficaces sont classés en quatre catégories :

- Bâtiments basse consommation [**BBC**]
- Bâtiments passifs [**BP**]
- Bâtiments à consommation nulle [**ZNE**]

<sup>41</sup> MAZARI(Mohammed) : étude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère Public, mémoire de magister en architecture, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, 2012, p.75

<sup>42</sup> AFRA(Hamid), Réglementation thermique et performance énergétique du bâtiment, in Salon international sur les énergies renouvelables et le développement durable, Oran, octobre 2013, p. 7

- Bâtiments à énergie positive [BEPOS].<sup>43</sup>

### **II.3.1 Bâtiments basse consommation :**

Le Bâtiment Basse Consommation énergétique (ou BBC) est un label attribué aux bâtiments qui ont une basse consommation d'énergie pour le chauffage, la climatisation, l'éclairage, l'eau chaude sanitaire (ECS) et la ventilation. Le bâtiment basse consommation (BBC) est défini par l'arrêté du 8 mai 2007 relatif au contenu et aux conditions d'attribution du label « haute performance énergétique ».

Les bâtiments à usage autre que d'habitation sont considéré BBC lorsque la consommation conventionnelle d'énergie primaire du bâtiment pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage est inférieure ou égale à 50% de la consommation conventionnelle de référence, définie à l'article 9 de l'arrêté du 24 mai 2006 relatif à la réglementation thermique 2005.

Pour les bâtiments d'habitation l'objectif de performance BBC est fonction de la zone climatique et de l'altitude. La consommation conventionnelle d'énergie primaire du bâtiment pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage doit être inférieure à 50 kWh/m<sup>2</sup> /an pondéré d'un coefficient géographique.<sup>44</sup>

- Il existe deux types de conditions d'attribution du label BBC en fonction de l'âge du logement :
  1. Les logements neufs ne doivent pas dépasser l'objectif de consommation de 50 kWh/m<sup>2</sup>.an.
  2. Les logements existants doivent présenter une consommation inférieure à 50 % de la consommation conventionnelle. L'objectif de consommation est fixé pour eux à 80 kWh/m<sup>2</sup>.an.

### **II.3.2 Bâtiments passifs :**

Un bâtiment passif est un bâtiment chauffé passivement, c'est-à-dire qu'il ne comprend pas de système de chauffage actif et qui se chauffe avec moins de 15 kWh par an et par m<sup>2</sup>. Le

---

<sup>43</sup> Nadia Saïfi .Contribution à la conception des bâtiments à faible consommation d'énergie dans les zones arides, Génie des procédés, Université de Ouargla, 2016.

<sup>44</sup> Guide AITF/EDF, Bâtiments basse consommation.

soleil, l'isolation, les gains intérieurs... suffisent même en hiver pour maintenir le bâtiment à une température agréable.<sup>45</sup>

Les bâtiments passifs associent un confort inégalé à une très faible consommation d'énergie. Une conception et un savoir-faire de qualité jumelés à des fenêtres supérieures, à des niveaux d'isolation élevés et à une ventilation à récupération de chaleur sont les éléments clés qui distinguent la construction du bâtiment passive. En termes d'apparence, cependant, ces bâtiments extrêmement efficaces se fondent parfaitement avec leurs voisins conventionnels.

En effet, le bâtiment passif décrit une norme de performance et non spécifique méthode de construction : tandis que les bâtiments Passive doivent répondre à des objectifs de demande d'énergie spécifiques, les concepteurs de bâtiments sont libres de choisir la meilleure façon de les satisfaire.<sup>46</sup>

### **II.3.3 Bâtiments à énergie positive :**

Un bâtiment à énergie positive (parfois abrégé en BEPOS) est un bâtiment qui produit plus d'énergie (électricité, chaleur) qu'il n'en consomme pour son fonctionnement.

Ces bâtiments sont la combinaison de bâtiments basse énergie ou passifs avec des toits solaires photovoltaïques et parfois thermiques. Leur réalisation en France n'est possible aujourd'hui que via des subventions permettant de limiter le surcoût lié aux systèmes photovoltaïques.

De nombreux programmes d'opérations concernant les bâtiments zéro énergie ou à énergie positive sont en cours à l'étranger, comme au Japon, Etats-Unis, Canada, Allemagne et Nouvelle-Zélande. A l'exception du Japon, ces opérations sont basées sur le même concept de bâtiment. Les besoins d'énergie pour le chauffage, le refroidissement et l'électricité sont réduits à travers une bonne conception de l'enveloppe et des équipements performants et économes.<sup>47</sup>

---

<sup>45</sup> <https://www.passivhaus-vauban.de/passivhaus.fr.html> ; Consulter le 27/12/2019

<sup>46</sup> Nadia Saïfi .Contribution à la conception des bâtiments à faible consommation d'énergie dans les zones arides, Génie des procédés, Université de Ouargla, 2016.

<sup>47</sup> Fadi Chlela. Développement d'une méthodologie de conception de bâtiments à basse consommation d'énergie. Energie électrique. Université de La Rochelle, 2008. Français

## II.4 Expériences Internationales :

### II.4.1 Hélios, Bâtiment emblématique de L'INES :

#### ▪ Présentation :

HELIOS, le siège de l'INES "relève avec ambition le défi de concilier une architecture nouvelle et des performances énergétiques" expliquent Michel RÉMON et Frédéric NICOLAS, les concepteurs. Il a été complété, dans le cadre du contrat de Projet Etat Région (CPER), par la Région Rhône-Alpes et l'Etat pour un montant de 3,4 M€. Sur plus de 7 000 m<sup>2</sup>, ce bâtiment accueille plusieurs activités de l'INES, notamment la recherche, la formation et la direction générale.



Figure 15 : Hélios siège de l'INES

(Source : [www.ines-solaire.org/fr/](http://www.ines-solaire.org/fr/))

Issue d'un concours européen d'architecture, l'équipe d'architectes sélectionnée se devait de répondre à deux exigences :

- o Consommations annuelles inférieures à **27 kWh/m<sup>2</sup>/an.**
- o Utilisation de **l'énergie solaire** pour couvrir à minimale **40 % des besoins.**

#### II.4.1.1 Principes de conception :

Le bâtiment HELIOS de l'INES accueille la direction générale de l'INES ainsi que les activités de formation et de recherche liées au bâtiment. Il est une **vitrine de la conception et de la mise en œuvre de ces nouvelles approches conceptuelles et techniques.**

« Nous n'avons pas voulu appliquer à la conception classique d'un édifice ce que certains appellent les "contraintes solaires" ou environnementales (faible consommation, sur-isolation, peu ou pas d'énergies fossiles, bioclimatisme, etc...). Par un processus dialectique, nous nous sommes attachés au contraire à déconstruire et reconstruire les principes de la conception architecturale et technique d'un édifice pour aboutir à une nouvelle cohérence de notre méthode conceptuelle. Nous avons écarté l'arbitraire et le compromis », expliquent Michel Rémon et Frédéric Nicolas.

Pour cela, ils ont cherché à conjuguer les approches spécifiques du projet et en particulier :

- o L'approche fonctionnelle et technique,
- o L'approche bioclimatique thermique et énergétique,
- o L'approche architecturale et urbaine.

#### a. Compacité :

Ainsi, l'approche fonctionnelle s'est enrichie de l'exigence de compacité liée à la volonté de limiter au maximum les déperditions de l'enveloppe. Le bâtiment est composé d'un plan en anneau continu minimisant les « développés » de façade. Cette compacité du plan et de la coupe apporte aux usagers une **proximité des lieux de travail, une convivialité propice à l'activité de recherche comme aux sessions de formation.**

L'espace intérieur traité en atrium acquiert un climat spécifique définissant sa lumière, sa spatialité, son ambiance. Ce paysage intérieur est proposé comme un lieu "en plus". Traité comme un écrin, l'atrium devient le cœur du projet, son foyer, à la fois lieu à vivre et "machine" énergétique.



Figure 16 : Traitement de l'espace intérieur de Hélios (Source : [www.ines-solaire.org/fr/](http://www.ines-solaire.org/fr/))

#### b. Intégration :

Du point de vue architectural, urbain et paysager la géométrie de l'édifice répond au cahier des charges de la ZAC pour participer au paysage urbain du Technopôle. Il s'adresse à la géographie du lieu, à sa composition urbaine, à son sol, à son horizon.

Les différentes façades s'expriment en fonction des espaces auxquels elles font face. La façade sur l'avenue est traitée de manière unitaire et monumentale pour exprimer l'échelle de l'édifice. La façade d'entrée se signale clairement depuis son parvis par son appel de lumière, de l'ombre vers la lumière de l'atrium.

#### c. Énergétique :

Du point de vue bioclimatique et énergétique, l'édifice d'adresse au ciel, à l'espace cosmique. Il s'accorde à la course du soleil selon les saisons et les moments de la journée.

Ils s'ouvre à la brise du nord pour prendre toute sa capacité a rafraichir son atrium en même temps qu'il s'en protège.

Inclinée à 30° sur l'horizontale, la grande aile qui porte des capteurs thermiques s'oriente exactement plein sud. Comme une grande "écopé" sa sous face capte la brise du nord. La verrière de l'atrium s'inscrit dans la même géométrie nord/sud.



Figure 17 : Hélios siège de l'INES Source : Google

L'implantation du bâtiment s'adresse au sol, sa toiture s'adresse au ciel et aux vents. Cette articulation des géométries urbaine et cosmique produit la complexité du bâtiment, les vibrations de son enveloppe, sa complexité symbolique et poétique accordée en outre à l'échelle du grand paysage des montagnes qui l'entourent. L'édifice est à la fois urbain et héliotrope.

#### d. Données techniques :

Il s'agit d'un bâtiment très technique comportant de nombreux laboratoires et locaux à fortes charges internes et besoins en ventilation et rafraîchissement. Le challenge a consisté à proposer un bâtiment n'utilisant pas de liquide frigorigène, pas d'énergie fossile et n'émettant aucun CO2.

Pour ce faire les architectes ont pris les exigences énergétiques de départ –**consommations annuelles inférieures à 27 kWh/m<sup>2</sup>/an et utilisation de l'énergie solaire pour couvrir à minima 40 % des besoins** comme moteur de développement du projet et non comme une contrainte. Ils ont ainsi développé une approche transversale et contextuelle qui articule les **exigences urbaines et fonctionnelles avec la prise en compte des facteurs climatiques** (héliotropisme en particulier), donnant sa dynamique au bâtiment : ainsi la grande toiture

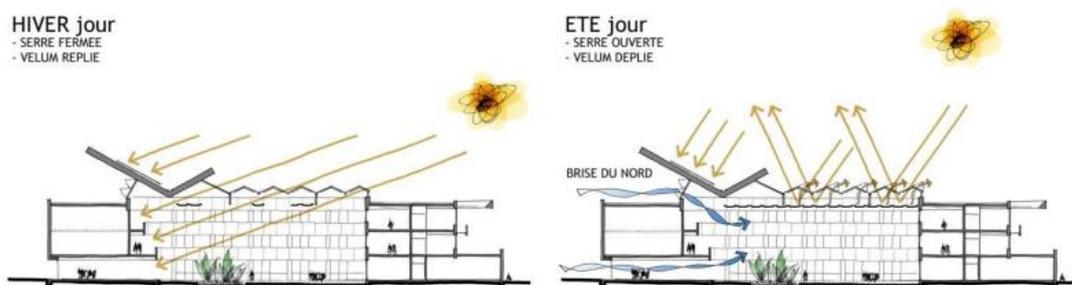


Figure 18: Schéma explicatif de fonctionnement de l'atrium dans deux saisons différentes (Source : Dossier de Presse)

Support des capteurs et la verrière couvrant l'atrium central sont décalées de 27° par rapport au reste du bâtiment pour être orientées plein Sud. Le bâtiment lui-même répond aux exigences de confort et de consommation grâce à l'étude de stratégies saisonnières (hiver, été et intersaisons) validées par des simulations thermiques dynamiques.

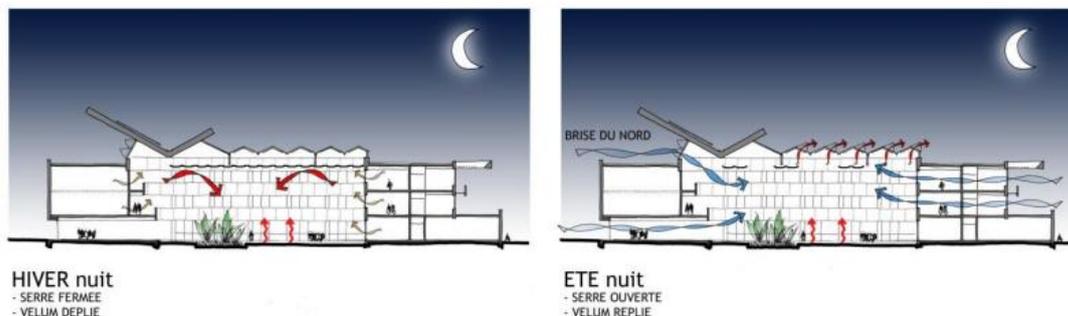


Figure 19 : Schéma explicatif de fonctionnement de l'atrium pendant la nuit dans deux saisons différentes (Source : Dossier de Presse)

#### e. Limitation des besoins de chaleur et de froid :

La compacité du bâtiment limite les surfaces déperditives en offrant le meilleur rapport entre celles-ci et les volumes chauffés : un rectangle de 50x65m, rendu possible grâce à la présence d'un atrium central. Les **parois sont hyper isolées** ( $U=0,19\text{W/m}^2\text{°C}$  pour les parois opaques,  $U_w < 1,4\text{ W/m}^2\text{°C}$  pour les menuiseries avec un  $U_g = 1,1\text{ W/m}^2\text{°C}$  pour les vitrages) et les **ponts thermiques** ont été traités (limitation des ponts thermiques à 12%) grâce à une isolation par l'extérieur.

#### f. Optimisations des apports gratuits, internes et externes :

Ces apports sont optimisés grâce à la **différenciation des façades** dont la dynamique permet de jouer un rôle de véritable filtre permettant de dériver le climat intérieur que l'on veut contrôlable et confortable du climat extérieur incontrôlable et souvent inconfortable. La **conception des baies vitrées** et leur protection solaire basée sur une optimisation multicritères (associant l'éclairage naturel et le confort thermique) participent à optimiser ces apports. Enfin des protections solaires limitent le recours à des dispositifs de rafraîchissement ou climatisation actifs.



Figure 20 : La différenciation des façades A/ Façade Ouest, B/Façade Nord, C/Façade Sud ; (Source : Google)

Enfin le bâtiment dispose d'une **très forte inertie thermique** mobilisable (variant de 775 à 926 KJ/m<sup>2</sup>), répartie entre les planchers et les façades permettant de respecter les exigences de flexibilité et d'absorber les pics de chaleur en période estivale.

L'**atrium central**, véritable poumon du bâtiment, au climat tempéré et contrôlé, permet d'optimiser l'éclairage naturel, de réduire les déperditions et de favoriser la ventilation naturelle des locaux.



**g. Mise en placement d'équipements complémentaires de chauffage, de ventilation et de rafraîchissement ou de climatisation :**

La **production de chaleur** est assurée par un ensemble de 280m<sup>2</sup> de capteurs solaires plans couvrant au moins 40% des besoins de chaleur et d'une chaudière bois - granulés.

**Le rafraîchissement des locaux est assuré par une ventilation naturelle avec sur-ventilation nocturne.** La rose des vents exceptionnellement unidirectionnelle a permis de développer une stratégie de refroidissement nocturne des structures par ventilation naturelle des locaux. Elle a permis aussi de supprimer le bouchon thermique de l'atrium central en provoquant une dépression au niveau de la verrière de cet atrium grâce à une large écope qui sert de support aux panneaux solaires thermiques.

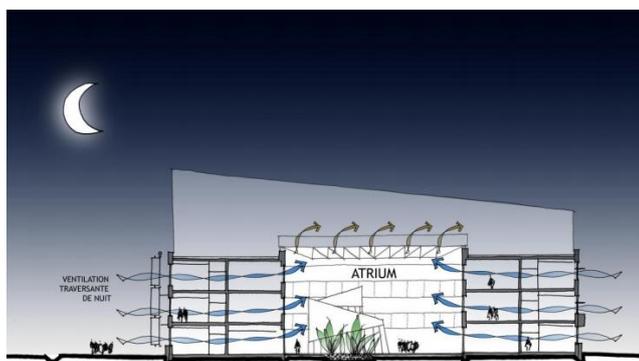


Figure 21 : Coupe transversale (Source : [www.Ines-solaire.org](http://www.Ines-solaire.org))

**La climatisation des laboratoires est assurée par un système de Dessiccant Cooling** alimenté par les mêmes capteurs solaires thermiques, permettant de respecter l'objectif de « zéro liquide frigorigène ». L'exigence programmatique de rafraîchissement des laboratoires a conduit à utiliser les panneaux solaires pour le chauffage des locaux et pour en climatiser d'autres. La technologie retenue est celle du rafraîchissement évaporatif par dessiccation (communément appelé Dessiccant Cooling).

### **i. Limitation des besoins en éclairage et éclairage artificiel très performant :**

Le recours à un **éclairage naturel abondant** avec des niveaux de facteur de lumière de jour dans les bureaux et les laboratoires compris entre 2.8 et 3.4% en milieu de pièce et de 3.8 à 2.5% maximum au fur et à mesure que l'on se rapproche des murs, conduit à une autonomie lumineuse de 75%.

La mise en place d'un **éclairage artificiel très performant** avec des luminaires à haut rendement lumineux qui limitent les apports internes à 8W/m<sup>2</sup> en pleine puissance en cas de besoin. En règle générale, l'éclairage des locaux est de type fluorescent avec tubes type T5 ou lampes fluorescentes compactes et optiques à haut rendement. L'éclairage de chaque local bureau ou laboratoire est réalisé en deux allumages, soit par la commande de deux rangées distinctes de luminaires, soit, chaque fois que possible par allumage d'un tube sur deux afin de maintenir une bonne uniformité d'éclairage.<sup>48</sup>

### **II.4.2 Laboratoire nationale des énergies renouvelables ; NREL :**

#### **▪ Présentation :**

Il Crée un nouveau lieu de travail pour les scientifiques et les ingénieurs qui collaborent au développement et à la fourniture de technologies liées aux énergies renouvelables et héberge le centre de données le plus puissant et le plus éco énergétique au monde dédié exclusivement à la recherche sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique. L'installation d'intégration des systèmes énergétiques (ESIF) sur le campus du Laboratoire national des énergies renouvelables (NREL) du ministère de l'Énergie à Golden, Le Colorado est un modèle de conception durable et de performance éco énergétique.

L'ESIF crée une nouvelle maison pour les scientifiques et les ingénieurs pour collaborer au développement et à la fourniture de technologies d'énergie renouvelable et abrite le centre de données le plus puissant et le plus économe en énergie au monde dédié uniquement à la recherche sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique, ce



Figure 22 : Laboratoire national des énergies renouvelables (Source : ArchDaily.com)

<sup>48</sup> Dossier de presse, Bâtiment Hélios.

complexe de recherche de pointe transformera l'infrastructure énergétique du pays.

#### **II.4.2.1 Principes de conception :**

Le Research Support Facility (RSF) est un bâtiment très important pour le NREL. C'est une vitrine de la façon dont les bâtiments haute performance peuvent être esthétiquement attrayants, acquis à un coût



compétitif au premier coût et au cycle de vie, et grâce à une conception intégrée, comment les bâtiments haute performance peuvent réduire les risques de performance pour le propriétaire et le constructeur. Non seulement le RSF est conçu pour répondre à la cote LEED Platine telle que définie par le US Green Buildings Council, mais il est également le premier bâtiment à zéro énergie de ce type. Le bâtiment est une vitrine d'une conception durable et performante. Il démontre l'intégration de caractéristiques et de pratiques de conception haute performance, présente les avancées technologiques et capte l'imagination du public pour les technologies renouvelables et économes en énergie.

- **Compacité :**

Le bâtiment c'est une vitrine de la façon dont les bâtiments haute performance peuvent être esthétiquement attrayants, acquis à un coût de premier cycle et de cycle de vie compétitif, et grâce à une conception intégrée, comment les bâtiments haute performance peuvent réduire les risques de performance pour le propriétaire et le constructeur. La volumétrie du bâtiment est composée de deux grands volumes, reliés par un autre volume plus discret, qui délimite le grand forum intérieur central et de rencontres. Pensé de manière rationnelle, le projet a privilégié les économies de moyens, notamment par l'utilisation de formes simples, tout en offrant des espaces esthétiques, qualitatifs et fonctionnels, propices à l'étude et à la recherche. L'ensemble de ces dispositions permet d'obtenir un bâtiment très performant énergétiquement, et ce de manière passive.



Figure 23 : RSF siège de NREL (Source : Archdaily.com).

### ▪ **Energétique :**

L'objectif de conception préliminaire était de rendre le RSF aussi économe en énergie que possible. Pour atteindre cette efficacité, L'équipe de conception a déterminé que la lumière du jour devait jouer un grand rôle. Une fois décidé, le besoin de refroidissement mécanique a été éliminé. Atteindre une énergie nette zéro nécessite une optimisation et une intégration de tous les flux énergétiques et les systèmes du bâtiment. L'éclairage est un système d'éclairage naturel, systèmes de contrôle de la lumière du jour, contrôles d'occupation et éclairage à haute efficacité. Le confort thermique est abordé à l'aide d'un système intégré de masse thermique, de dalles rayonnantes, de purge nocturne et de ventilation. Le chauffage à une approche systémique conservation de l'énergie.



Figure 24 : Façade SUD de RSF siège de NREL (Source : Archdaily.com).

### ▪ **Données techniques :**

Le modèle énergétique extrêmement détaillé du bâtiment prédit une intensité énergétique de 9.31Kwh/an. Le système photovoltaïque sur site est dimensionné pour répondre à une énergie nette zéro du site à une intensité d'utilisation d'énergie de 10.26Kwh/an.

### ▪ **Diagramme du bâtiment et énergie :**

- 1) Le bâtiment est organisé en longues ailes de bureaux pour une orientation solaire optimale.
- 2) 1,6 MW de panneaux photovoltaïques sur site ; 450 kW sur le toit.
- 3) Le parasol à 3 persiennes protège les vitrages du hall d'entrée.
- 4) Le ratio fenêtre / mur, pour les murs nord et sud est de 25% et les fenêtres sont organisées pour capter le plus de lumière du jour.
- 5) Dalles radiantes assurent le chauffage et le refroidissement des surfaces.
- 6) Fenêtres à commande manuelle permettent une ventilation naturelle et les fenêtres automatisées peuvent s'ouvrir pendant les nuits d'été et purger les espaces avec de l'air frais
- 7) Vitrage électro chromique ouest et thermo chromique est, vitrage, ombragé avec balcons encastrés.

- 8) Capteurs solaires transpirés sur la façade sud du bâtiment.
- 9) Un espace de bureaux ouverts avec des postes de travail discrets permet l'éclairage naturel et la ventilation naturelle.
- 10) Plancher surélevé fournissant de l'air de ventilation.
- 11) Dépôts thermiques à labyrinthe refroidis et chauffés passivement l'air pour une utilisation future.



Figure 25 : SRF Siège de NREL, Diagramme du bâtiment et énergie. (Source : Us department of energy)

#### ▪ **Chauffage et refroidissement passifs :**

Le RSF intègre de nombreux systèmes de chauffage et techniques de refroidissement :

- 15cm de béton à l'intérieur des panneaux préfabriqué isolants extérieur / intérieur, offrant une protection thermique qui aide à modérer les températures internes toute l'année.
- Le labyrinthe sous le bâtiment stocke également la chaleur et de l'air frais pour aider à conditionner le bâtiment.
- Les commandes de fenêtre fonctionnelles et automatiques permettent ventilation naturelle et soutien au refroidissement nocturne.

#### **1. Stockage thermique de labyrinthe :**

L'étage inférieur a dû être construit au-dessus du niveau du sol, car le sol situé sous le bâtiment a dû être retiré en raison de la présence d'argile expansive sur le site. Cela a créé un grand vide sanitaire sous les deux longues ailes dont l'équipe de conception a décidé de placer un Labyrinthe de murs de

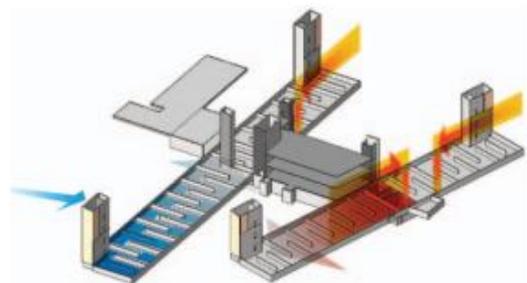


Figure 26 : Le labyrinthe agit comme une batterie Thermique. (Source : US department of energy)

béton en quinconce, ce qui ajoute beaucoup de masse thermique. Par temps froid, l'air chauffé par le capteur solaire transpiré Le collecteur chauffe la masse thermique, ce qui préchauffe ensuite l'air de ventilation. Le labyrinthe peut réchauffer l'air extérieur de 5 à 10 °C.

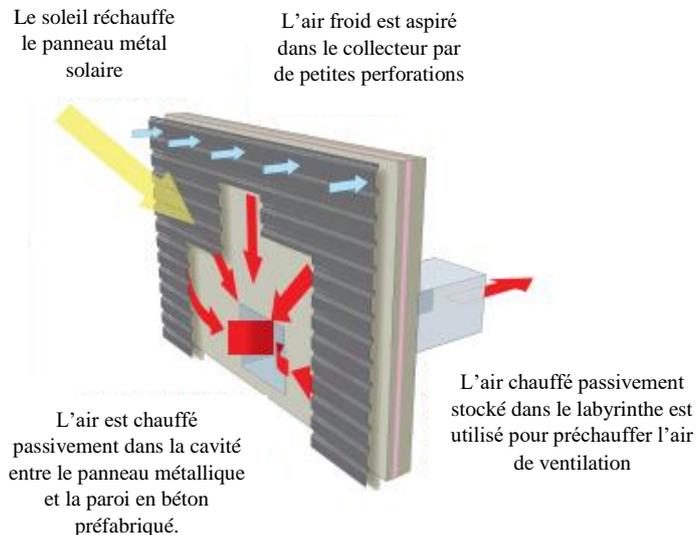


Figure 27 : Diagramme montrant le fonctionnement du capteur solaire transpiré. (Source : Us Department of Energy)

## 2. Panneaux isolants préfabriqués extérieurs / intérieurs :

En raison de la vaste enveloppe extérieure requise pour optimiser l'éclairage naturel et la ventilation naturelle, l'équipe a conçu un système de mur extérieur modulaire, thermiquement massif, et porté sur une structure efficace baie. La grille structurelle sans colonne mesure 9 m par 18 m, et intègre l'approche «kit de pièces» du bâtiment.



Figure 28 : L'extérieur du panneau préfabriqué aide à réguler les températures intérieures (Source : Us department of Energy)

## 3. Dispositifs d'éclairage naturel et réfléchissants de la lumière :

La lumière du jour était l'un des facteurs les plus puissants dans la conception du RSF. La configuration «Lazy H» du bâtiment a évolué en réponse au besoin de la pénétration profonde de la lumière du jour dans le bâtiment. Une combinaison d'une modélisation informatique approfondie et d'une sélection rigoureuse et placement des



fenêtres et des dispositifs réfléchissant la lumière, produit un bâtiment dans lequel presque tous les occupants sont près d'une fenêtre.

Sur la façade sud, des surplombs ombragent le verre de vision inférieur. La lumière pénètre à travers le verre de

Lumière du jour supérieur et les persiennes hautement réfléchissantes, le dirigent vers le plafond et plus profondément dans l'espace.

Figure 29 : La lumière du jour intérieure dans le bâtiment RSF (Source : Us Department of Energy)

Les interrupteurs manuels, les capteurs photoélectriques et les détecteurs de présence assurent un éclairage électrique n'est allumé que lorsque la lumière du jour ne peut pas fournir un éclairage suffisant.

(LED) lampes de travail, dont chacune ne consomme que 3 watts, fournissent un éclairage électrique localisé. Le concept de contrôle de RSF est d'encourager occupants d'allumer leurs lumières si la lumière du jour est insuffisante et de les éteindre lorsqu'elles quittent l'espace, avec la présence des capteurs de vacance éteignez les lumières si les occupants ne le font pas.

- **Fenêtres à triple vitrage avec fenêtre individuelle Surplombs :**

Les concepteurs ont choisi des tailles de fenêtres qui maximiserait la lumière du jour mais minimiserait l'éblouissement ainsi que la perte et le gain de chaleur indésirables. Le vitrage de chacune des fenêtres est adapté à sa fonction. Tous les verres de vision sur les côtés nord et sud du bâtiment sont à triple vitrage et les cadres de fenêtres à rupture thermique augmentent l'efficacité énergétique des unités.

Les fenêtres de la façade nord sont légèrement plus grandes que celles de la façade sud, car la lumière nord est plus diffuse et moins sujette aux reflets.

Les façades est et ouest présentent respectivement un vitrage thermo chromique et électro chromique. Le vitrage thermo chromique résiste au transfert de chaleur pour réduire les pertes de chaleur, et le vitrage électro chrome se teinte en réponse à un petit courant électrique pour réduire le gain de chaleur.



Figure 30 : Les fenêtres sud avec surplombs et ouest de RSF (Source :<http://www.ariatopen.org>)

▪ **Persiennes légères et surplombs de pare-soleil :**

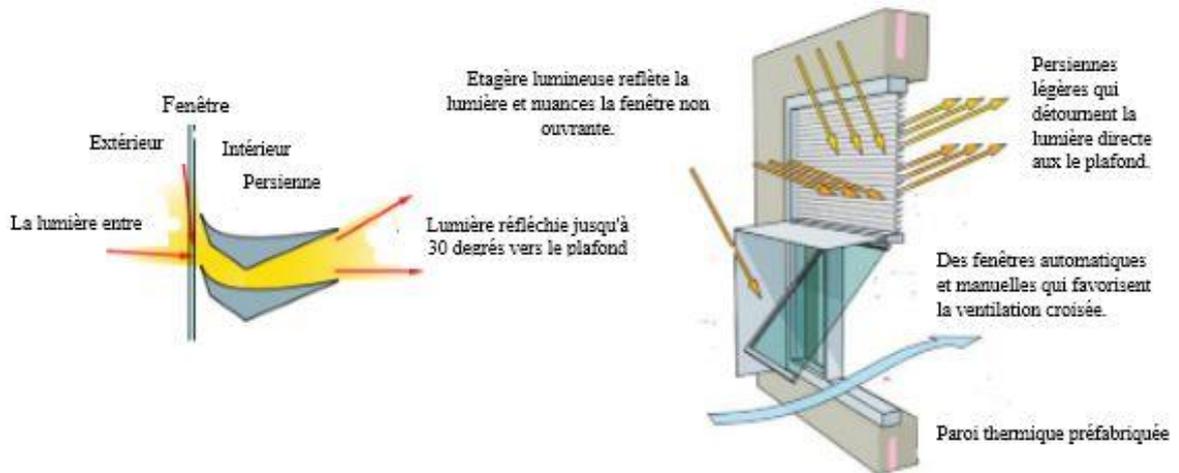


Figure 31: Un système de lumière du jour à persiennes réfléchit la lumière du soleil vers le plafond, créant un effet d'éclairage indirect. Les parasols fixes limitent l'excès de lumière et l'éblouissement (Source : Us Department of Energy)

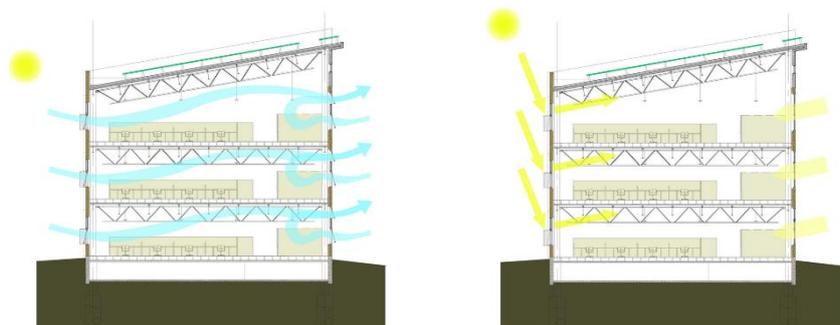


Figure 32 : Schéma explicatif qui montrant la lumière du jour et la ventilation naturelle (Source : ArchDaily.com)

**4. Chauffage et refroidissement par rayonnement :**

Les deux ailes des bureaux sont chauffées et refroidies par une dalle de plafond rayonnante, utilisant de l'eau chauffée par la centrale de chauffage à combustibles renouvelables du NREL (chaudière centrale à copeaux de bois) et refroidie par des refroidisseurs à haute efficacité qui fournissent de l'eau fraîche sur le campus du NREL. Le système de chauffage et de refroidissement du bâtiment comprend 42 miles de tubes chauffants rayonnants qui traversent les plafonds à chaque niveau. Ces systèmes à base d'eau permettent une grande réduction de la puissance du ventilateur. Parce qu'ils sont séparés des systèmes de ventilation, il y a plus de possibilités d'optimisation.

- **Système de ventilation à déplacement sous le plancher :**

Un système d'air extérieur dédié (DOAS) et une ventilation naturelle assurent la ventilation du RSF. L'air de ventilation est distribué par un système de distribution d'air sous le plancher (UFAD) avec des diffuseurs à tourbillon. Par temps doux, les fenêtres ouvrantes assurent une ventilation naturelle.

Lorsque les conditions ne permettent pas une ventilation naturelle, le DOAS fournit une ventilation mécanique. Le DOAS est couplé au système UFAD, qui fournit de l'air de ventilation à basse pression et vitesse, réduisant la consommation d'énergie du ventilateur. La séparation des fonctions de conditionnement d'espace et de ventilation permet de réduire la taille des systèmes d'air par rapport à un système d'air forcé standard.

- **Centre de données éco énergétique :**

Parce que le NREL est situé dans un climat favorable au «free cooling», le système de refroidissement du RSF a été conçu pour minimiser l'utilisation du refroidissement climatisé traditionnel et utiliser à la place des méthodes directes de refroidissement par air et par évaporation pendant presque toute l'année, sauf pour la plupart jours chauds et humides.<sup>49</sup>

### **II.4.3 Synthèse :**

Ces bâtiments sont les premiers centres de recherche au monde en termes de la performance et efficacité énergétique, des bâtiments qui produisent plus d'énergie qu'il n'en consomme. A leurs performances techniques s'ajoute la qualité architecturale du projet. Chaque bâtiment a ses propres caractéristiques qui le distinguent des autres.

Les concepteurs ont pu réaliser des bâtiments à basse consommation énergétique exemplaires, très efficace en énergie, surtout producteurs en énergie. Les bâtiments s'inscrit dans une démarche globale de développement durable, A l'issue de cette étude, il apparaît qu'il existe plusieurs facteurs qui peuvent contribuer à la réduction de la consommation énergétique, et cela varie selon l'emplacement et le type de bâtiment.

À travers ces exemples, nous pouvons mentionner quelques points clés que les concepteurs ont prises en compte lors de la conception de ces bâtiments, et parmi eux, d'abord l'exposition du bâtiment, le bâtiment sera implanté pour bénéficier au mieux des apports solaires passifs (si récupération de la chaleur en hiver), tout en limitant le réchauffement en période estivale. Ensuite l'organisation générale du bâtiment c'est-à-dire des bâtiments compacts, qui permettent de limiter les pertes de chaleur, maximiser la récupération

---

<sup>49</sup> The Design-Build Process for the Research Support Facility, US Department of Energy.

d'énergie et de générer les ponts thermiques. Ce sont des bâtiments technologiquement avancés, l'utilisation des appareils et techniques de construction plus développées, qui constituent le secret de l'efficacité de ces bâtiments, les a rendu une vitrine technologique pour leurs milieu.

## **II.5 Solutions et techniques d'efficacité énergétique :**

### **II.5.1 Les solutions d'efficacité énergétique passives :**

Opter pour une construction labellisée BBC (Bâtiment Basse Consommation), c'est bénéficier d'un grand confort, été comme hiver avec une température homogène et agréable grâce à des performances énergétique, tel que son orientation, son isolation et sa perméabilité aux infiltrations et une ventilation de haute performance, et de sécuriser l'approvisionnement en énergie et d'améliorer le rendement d'exploitation du bâtiment.

#### **II.5.1.1 La conception architecturale :**

Dès les premières esquisses, l'architecte commence à définir la forme du bâtiment, compacité, orientation, ouverture au soleil, masques architecturaux, casquettes, loggias, balcons, taille et positionnement des baies, occultations, protections face aux vents. Etc.

Cette étape de conception a un impact primordial sur le résultat final de l'opération car les choix faits

conditionnent pour une très grande part la capacité du bâtiment à limiter les surfaces déperditives, intégrer les apports solaires, préserver le confort d'été, favoriser l'usage de l'éclairage naturel, intégrer des équipements d'énergie renouvelable, etc. C'est l'aptitude bioclimatique du bâtiment.

Il est donc important que, dès cette phase, des échanges aient lieu entre le maître d'ouvrage, l'architecte et le bureau d'études thermiques. Ceci permettra d'associer efficacement qualité architecturale, performance énergétique, logique économique et respect du programme de l'opération.

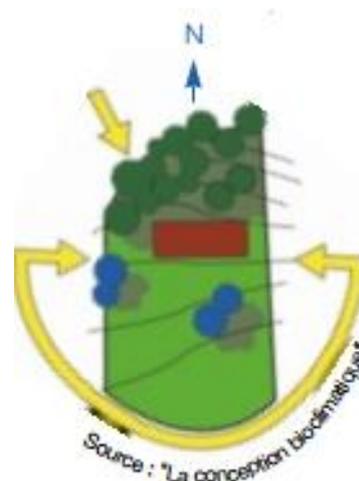


Figure 33 : La conception bioclimatique

### a. Bien orienter les façades :

L'implantation et l'assise du bâtiment vont d'abord dépendre des contraintes ou des opportunités du site.

En terme d'énergie, les points essentiels pour l'orientation seront la possibilité d'intégrer des capteurs solaires (en toiture, en auvent), de favoriser un ensoleillement optimal des façades en hiver, de limiter les vitrages à l'ouest qui sont les plus problématiques vis-à-vis du confort d'été, de limiter les effets des vents d'hiver et de permettre une ouverture des fenêtres en été pour profiter de la fraîcheur du soir et de la nuit.

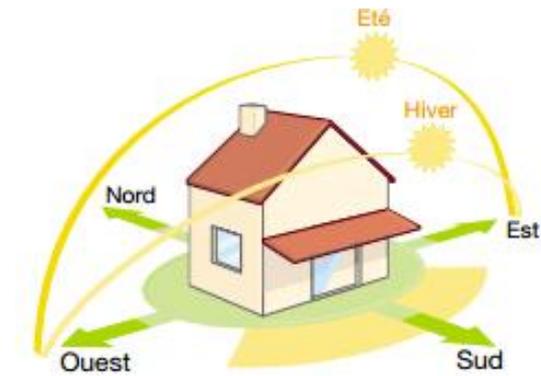


Figure 34: Exemple d'orientation pour les façades. (Source : Guide Effinergie)

### b. Organisation des espaces intérieurs :

- Quelques règles de bon sens permettent de limiter les consommations d'énergie sans surinvestissement :
- Privilégier l'orientation sud pour les pièces de jour
- Privilégier des matériaux à forte inertie pour les parois intérieures qui réceptionnent le rayonnement solaire d'hiver
- Disposer au nord les pièces pas ou peu chauffées (garage, cellier, ...)
- Regrouper les pièces de nuit (qui sont moins chauffées en général) regrouper les points de puisage d'eau chaude sanitaire et les rapprocher de la production.<sup>50</sup>

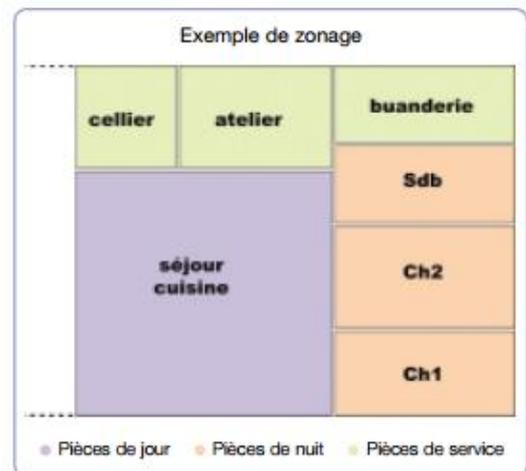


Figure 35 : Exemple de zonage pour la répartition des pièces. (Source : Guide Effinergie)

### c. Compacité du bâtiment :

La compacité d'un bâtiment représente le rapport entre le volume habitable et l'ensemble des surfaces de déperdition. Les pertes sont donc d'autant plus réduites que ces surfaces sont optimisées par rapport au volume habitable. La réduction des décrochés de façades et

<sup>50</sup> Réussir un projet de Bâtiment Basse Consommation, Guide Effinergie.

l'optimisation de la compacité du bâtiment sont les clés de la réussite d'un projet sur le plan énergétique.

Le travail d'optimisation de la compacité va de pair avec une bonne répartition des pièces à l'intérieur d'un bâtiment. Les zones type garages, serres, circulation...doivent être réparties afin de créer des espaces tampons entre les locaux chauffés et l'extérieur, si possible au nord pour les locaux de services.

#### **d. Surfaces vitrées et orientation :**

Le soleil fournit lumière et chaleur. Une orientation adaptée du bâtiment peut permettre d'en bénéficier et de réduire ainsi les consommations énergétiques. Il convient de :

- Limiter les surfaces vitrées aux alentours de 1/6 de la surface habitable.
- Orienter la majorité des vitrages au sud pour capter les apports solaires en hiver.
- Optimiser la nature des vitrages pour : Bénéficier des apports solaires, réduire les déperditions en hiver et éviter les surchauffes l'été.
- Protéger les façades en installant :
  - Sur les façades exposées au sud des protections fixes (auvents, débords) qui suppriment le rayonnement en été (soleil haut sur l'horizon), mais captent les apports solaires en hiver (soleil bas sur l'horizon).
  - Sur les façades ouest des protections mobiles (volets, stores à lames orientables).

### **II.5.1.2 L'enveloppe du bâtiment :**

#### **a. Modes constructifs et isolation :**

Plusieurs types de modes constructifs permettent d'atteindre le label BBC :

- Solution classique d'isolation extérieure ou intérieure. Sachant que dans le cas d'une isolation par l'intérieur, les ponts thermiques peuvent représenter une forte part des, cette solution sera plutôt réservée au cas de réhabilitation.
- La construction bois dont les avantages sont équivalents à ceux de la construction à isolation répartie, avec un avantage supplémentaire, la fabrication d'une maison en bois nécessite 10 fois moins d'énergie que celle d'une maison « conventionnelle ».
- la construction sans isolation rapportée – exemple : solutions à isolation répartie, briques en terre cuite en 50 cm d'épaisseur :  $U = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,

Le tableau ci-dessous indique l'épaisseur des principaux isolants à mettre en œuvre pour obtenir un coefficient R de 4 m<sup>2</sup>.K/W. (rappel : R=1/U), ce coefficient est le minimum à respecter pour les murs et le plancher bas dans une construction BBC.

Type d'isolant	Epaisseur en cm	Type d'isolant	Epaisseur en cm
Polyuréthane	12	Liège expansé	16
Polystyrène extrudé	14	Laine de bois	17
Laine de roche	16	Chanvre en vrac	18
Laine de verre	16	Laine de mouton	18
Laine de lin	16	Polystyrène expansé	18

Tableau 4 : Le tableau indique l'épaisseur des principaux isolants à mettre en œuvre

### b. Confort d'été :

Les bâtiments sur-isolés sont sujets aux surchauffes estivales selon un effet « thermos ». D'où la nécessité de :

- **Réduire de manière drastique les apports de chaleur dans le bâtiment :**
  - II. Les apports solaires par des occultations efficaces.
  - III. Les apports internes provenant de la consommation électrique, de l'utilisation d'ECS, etc., ce qui entraîne une diminution des consommations d'électricité.
- **stocker (inertie) :**

En hiver et en demi-saison, lors d'une journée bien ensoleillée, une forte inertie (courbe rouge) permet d'emmagasiner les apports solaires et de décaler le pic de Température intérieure plus tard dans journée, quand la température extérieure est plus basse. Mais une faible inertie (courbe verte) n'amortit que très peu le pic de température intérieure, qu'il ne retarde que de quelques heures. L'inertie thermique agit donc comme une régulation naturelle du climat intérieur.

Evacuer les apports stockés dans la structure du bâtiment, de préférence par la ventilation naturelle nocturne, c'est-à-dire en ouvrant les fenêtres la nuit, ce qui implique que la disposition des pièces permette un brassage d'air suffisant. La ventilation mécanique est déconseillée, mais si elle doit être utilisée, les consommations électriques du ventilateur doivent entrer dans le bilan énergétique.

### c. Menuiseries et occultations solaires :

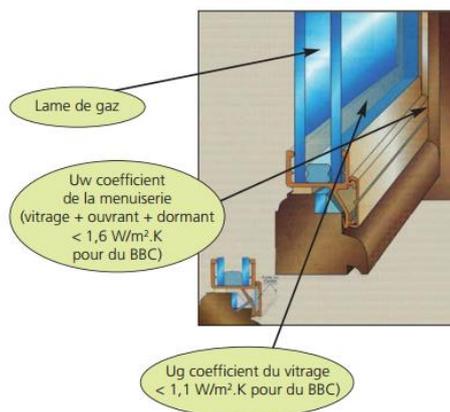
Les déperditions par les fenêtres sont importantes car la résistance thermique d'une fenêtre peut être dix fois plus faible que celle d'un mur. Voici les éléments à privilégier :

- **Le bois :**

Les menuiseries bois avec parement aluminium offrent tous les avantages

- **Une lame d'air épaisse :**

Le double vitrage comprend deux vitres de verre entre lesquelles est enfermée une lame de gaz (argon, voire krypton) qui rend le vitrage isolant. Un triple vitrage (3 vitres, 2 lames d'air) est encore plus isolant, mais, au-delà de 16 mm d'épaisseur de la lame de gaz, il n'y a plus d'isolation supplémentaire.



- **Des vitrages peu émissifs :**

à savoir des vitres recouvertes d'une pellicule ultra mince, invisible à l'œil nu, qui arrête les infrarouges, car les infrarouges sont la chaleur.

- **Un label Acotherm :**

Pour les menuiseries avec Label \*Acotherm, exiger l'étiquetage « Th 9 » ou « Th10 » voir « Th11 ».

Classe Th	Menuiserie Uw en W/m2.K
Th6	$2,6 < U < 2,2$
Th7	$2,2 < U < 2,0$
Th8	$2,0 < U < 1,8$
Th9	$1,8 < U < 1,6$
Th10	$1,6 < U < 1,4$
Th11	$1,4 < U$

Le label ACOTHERM garantit les performances acoustiques et thermiques des fenêtres en tenant compte à la fois de la menuiserie et du vitrage (tous matériaux confondus).

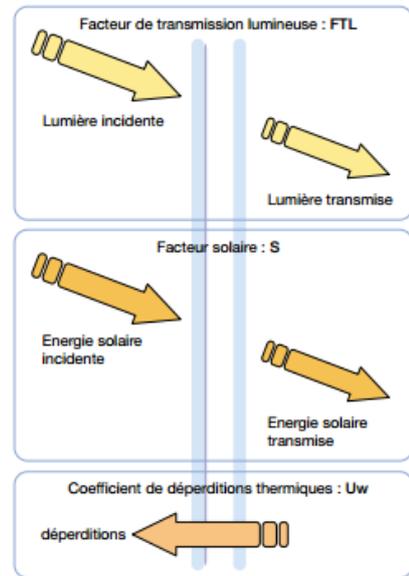
- **Le coefficient de déperdition thermique :**

Le coefficient de déperdition thermique des baies vitrées (vitrage et menuiserie : Uw) ne devra pas dépasser  $1,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  et pourra aller jusqu'à  $0,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

L'habitude consiste souvent à analyser les fenêtres uniquement à partir de ce coefficient de déperdition thermique ( $U_w$ ), qui ne prend en compte que les pertes de chaleur par la fenêtre. La capacité de la baie à capter la chaleur du soleil et la lumière du jour est rarement considérée.

Pour un bâtiment **BBC - effinergie**, on choisira systématiquement les fenêtres en fonction à la fois de leur coefficient  $U_w$ , de leur facteur solaire ( $S$ ) et de leur facteur de transmission de lumière (FTL).

Les facteurs solaires et les facteurs de transmission de lumière du jour dépendent du type de vitrage et de la surface respective du cadre et du vitrage. L'analyse thermique devra prendre en compte ces différents éléments.



Exemples de caractéristiques de fenêtre		
	$U_w$	S
Fenêtre courante RT 2005	1,8	0,45
Fenêtre double vitrage performante	1,4	0,45
Fenêtre triple vitrage	0,8	0,38

▪ **Un bon facteur solaire moyen ( $S_w$ ) :**

Le facteur solaire exprime la proportion d'énergie solaire transmise dans le bâtiment à travers le vitrage, un facteur solaire de 0.42 laisse passer 42 % de l'énergie du soleil. Le maximum théorique de 1 correspondant à l'absence de vitrage. Le facteur solaire moyen doit être maximisé (0.6 double vitrage, 0.5 triple vitrage), sauf pour certains bâtiments tertiaires si le confort d'été exige des vitrages de contrôle solaire.

**d. Ponts thermiques :**

Principaux ponts thermiques à traiter :

- Les jonctions avec la toiture
- Les jonctions avec les menuiseries
- Les jonctions avec les planchers intermédiaires et bas

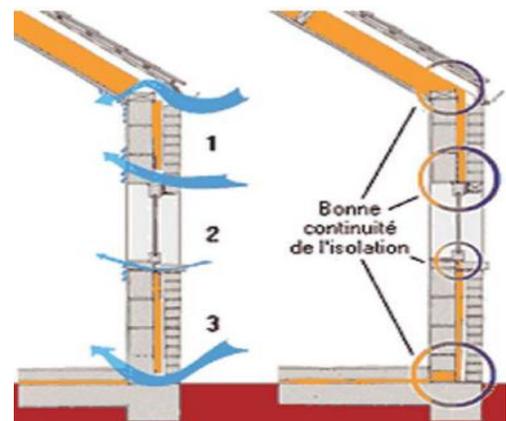


Figure 36: Les principaux ponts thermiques (Source : Google)

Ces ponts thermiques doivent être limités en conception, en s'attachant à avoir une « Frontière » d'isolant autour du bâtiment.

- Le tableau ci-dessous reprend les principaux ponts thermiques et indique quelques possibilités de traitement :

	<b>Isolation intérieure</b>	<b>Isolation extérieure</b>
Acrotère	Faire un retour d'isolant d'au moins 5 cm d'épaisseur autour de l'acrotère	
Balcon	Désolidariser totalement ou partiellement le balcon de la façade extérieure	Désolidariser totalement ou partiellement le balcon de la façade extérieure
Poutres sur parking	Faire un retour d'isolant d'au moins 5 cm d'épaisseur sur les 3 faces des poutres	
Plancher bas sur terre-plein	Prolonger l'isolant dans le sol sur au moins 60 cm	Prolonger l'isolant dans le sol sur au moins 60 cm
Dalle intermédiaire	Mettre en place dans la mesure du possible des rupteurs de ponts thermiques	
Menuiseries	Effectuer systématiquement un retour d'isolant d'au moins 5 cm d'épaisseur sur le pourtour de la menuiserie	Effectuer systématiquement un retour d'isolant d'au moins 5 cm d'épaisseur sur le pourtour de la menuiserie

Tableau 5 : Quelques possibilités de traitement les principaux ponts thermiques et indique (Source : Guide Effinergie)

#### **e. Perméabilité à l'air :**

Assurer un bon niveau d'étanchéité à l'air dans un bâtiment consiste à maîtriser les flux d'air qui circulent à travers les orifices volontaires (bouches de ventilation et entrées d'air) et à limiter les flux incontrôlés pouvant causer pathologies, inconfort, et gaspillage d'énergie.

- On peut distinguer quatre enjeux principaux liés à l'étanchéité à l'air :
  - l'hygiène et la santé (qualité de l'air intérieur)
  - le confort thermique et acoustique
  - la facture énergétique
  - la conservation du bâti

Les défauts d'étanchéité se traduisent par des infiltrations d'air parasites, ils se situent principalement au niveau des jonctions : menuiseries extérieures, passages des câbles et appareillages électriques, trappes et éléments traversant les parois, liaisons façades-planchers, façades-toitures et insertion des coffres de volets roulants...Etc.

Traiter le problème de l'étanchéité à l'air du bâtiment revient à s'attaquer à tous les points sensibles de manière transversale sur l'ensemble des lots techniques et non techniques, à savoir :

- Les liaisons façade planché
- Les menuiseries extérieures (seuils de porte, liaisons en linteau, appuis, tableaux...)
- Les équipements électriques (interrupteurs et prise de courant sur parois extérieures)
- Les trappes et éléments traversant les parois (trappes accès comble gaine électriques)

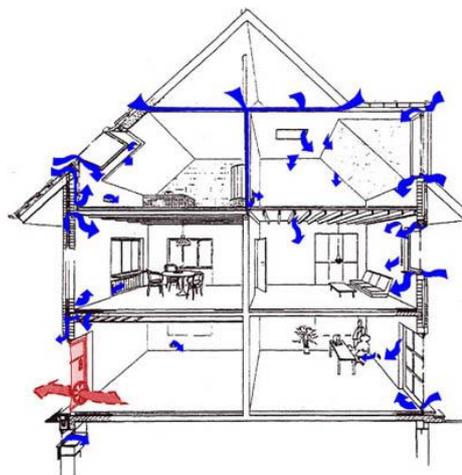


Figure 37 : Perméabilité à l'air d'une maison (Source : Projetvert.fr)

#### f. Ventilation :

Une meilleure isolation thermique, une meilleure étanchéité à l'air, une utilisation généralisée du chauffage, l'emploi du vitrage performant, réalisés sans une ventilation adéquate, aggravent considérablement les problèmes de condensation et de moisissures dans les habitations.<sup>51</sup>

##### ▪ Ventilation d'un seul côté : mono exposé

C'est le cas où il n'y a des ouvertures que d'un seul côté, généralement une seule façade de l'espace à ventiler, tandis que l'autre côté est cloisonné et sans ouvrants. L'efficacité de cette configuration étant faible, il faut se limiter, en général, à une profondeur de la pièce inférieure ou égale à 2 fois la hauteur sous plafond. On considère qu'une profondeur de 6 mètres est le maximum pour avoir une ventilation efficace dans toute la zone. (Figure 35, A)

##### ▪ Ventilation transversale :

La ventilation transversale correspond au cas où l'air entre par une façade du bâtiment et ressort par une façade différente, généralement du côté opposé. (Figure 35, B)

##### ▪ Capteur de vent et variantes :

<sup>51</sup> Guide de la ventilation mécanique - Jean-David.Delord.

Le capteur de vent est un dispositif traditionnel. Des versions modernisées existent, qui ne rentrent pas dans le contexte d'une ventilation transversale. Le ventilateur monté en toit est une petite cheminée compartimentée qui capte le vent à 360°. Le compartiment faisant face au vent fait office d'entrée d'air, tandis que le compartiment opposé fait office de sortie d'air. Le côté au vent est en surpression. (Figure 35, C)

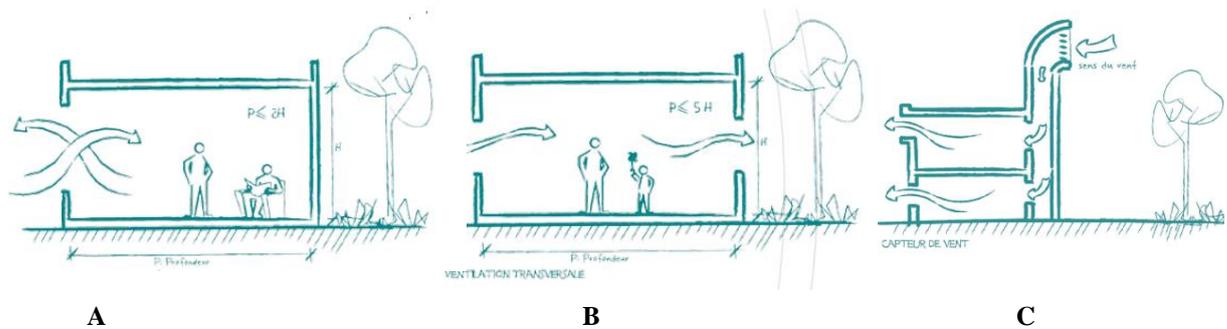


Figure 38 : Schématisation des types de ventilation naturelle (A, B, C) Source : « Natural ventilation in non domestic buildings ». Guide CIBSE, 2005

- **Ventilation par cheminées :**

C'est une ventilation qui repose sur l'effet de tirage thermique, et qui peut être assistée par le vent si la sortie est conçue pour être toujours dans des zones de pression négative. La ventilation se fait dans l'espace ciblé, puis est extraite le long de conduits verticaux. Il est possible d'avoir de l'air entrant d'un côté puis sortant de l'autre, ou bien d'avoir de l'air entrant des deux côtés et s'échappant par le milieu (atrium par exemple). (Figure 36, A)

- **Ventilation par atrium :**

L'atrium permet de remplir de nombreuses fonctions, en amenant de la lumière naturelle notamment. Il joue également un rôle dans la ventilation naturelle, car il agit comme une cheminée solaire géante. De plus, l'intérêt de l'atrium est que le volume de bâtiment que l'on peut ventiler naturellement est doublé par rapport au cas précédent de la cheminée placée sur un côté, puisque l'entrée d'air se fait des deux côtés du bâtiment, tandis que l'extraction se fait au milieu (effet équivalent à mettre une rangée de cheminées au centre du bâtiment). (Figure 36, B)

- **Ventilation par façade double peau (FDP) :**

Ce choix est judicieux lorsqu'il s'agit de répondre à un certain nombre de contraintes, tels qu'un grand pourcentage de vitrage, pas de dispositifs extérieurs.<sup>52</sup> (Figure 36, C)

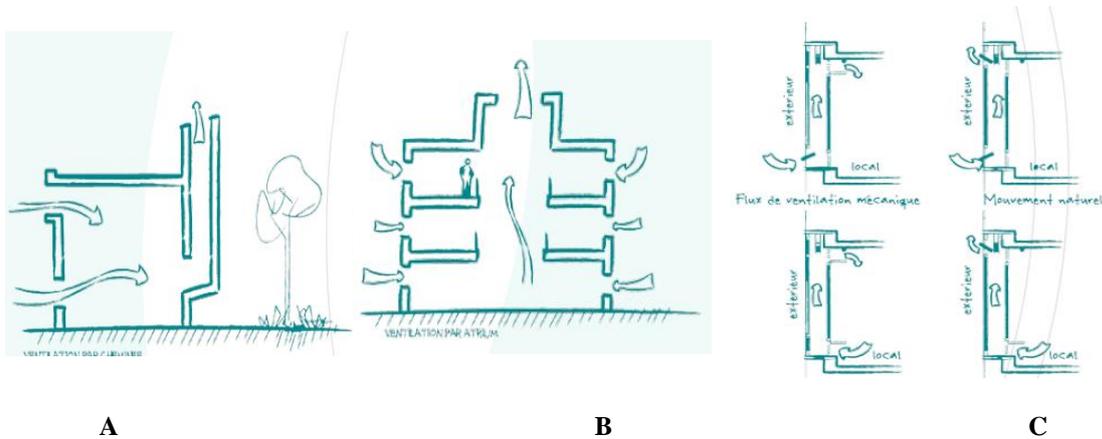


Figure 39 : Schématisation des types de ventilation naturelle (A, B, C) ; Source : « Ventilating Facades », Ashrae journal, Avril 2009.

- **Puits canadien : refroidissement/réchauffement passif :**

Le puits canadien, ou puits provençal, permet de réduire la température de 5 à 8° C en période de canicule, avec une consommation électrique dérisoire. Il diminue aussi la consommation de chauffage l'hiver. C'est un système géothermique de surface, basé sur le simple constat que la température du sol à 2 m de profondeur est à peu près constante, environ 17° C en été et 4° C l'hiver. Il sert surtout de climatisation naturelle

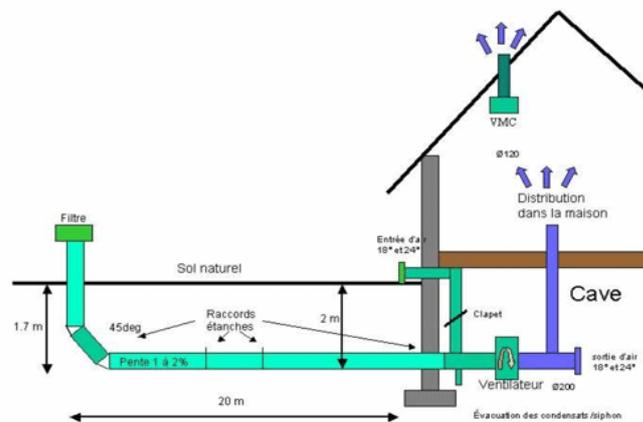


Figure 40 : Schéma de principe d'un puits canadien

<sup>52</sup> : « Ventilating Facades », Ashrae journal, Avril 2009.

## II.5.2 Les solutions d'efficacité énergétique actives :

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

### II.5.2.1 Systèmes et équipements performants :

#### A. La ventilation :

Des études (ADEME) montrent que dans les logements mal ventilés, l'air intérieur peut être plus pollué que l'air extérieur. La ventilation est donc une priorité, à condition de limiter les déperditions de chaleur par l'utilisation de systèmes performants.

##### ▪ Système double-flux :

Grace à un échangeur de chaleur entre l'air du bâtiment et l'air frais, appelé centrale double flux ou réchauffe l'air frais avec la chaleur de l'air évacué, sans mélanger les flux. On peut récupérer jusqu'à 90% des calories extraites, à condition que le bâtiment soit étanche à l'air car tout l'air neuf entrant doit passer par l'échangeur de chaleur.

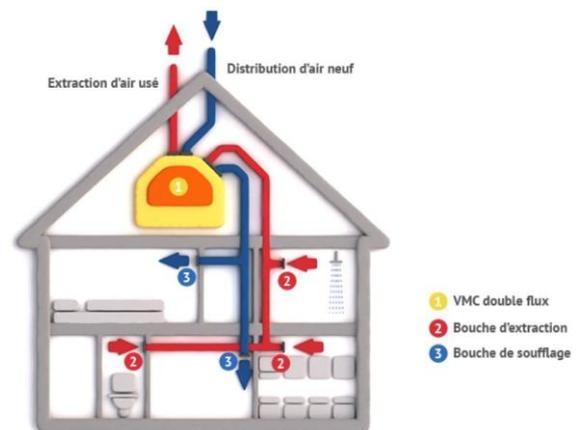


Figure 41 : Schéma explicatif VMC double flux

#### B. Le chauffage :

La production de chauffage, d'eau chaude sanitaire ou d'électricité à partir d'énergies renouvelables, va de pair avec une utilisation rationnelle de l'énergie

	Gaz	Bois	PAC eau/eau	PAC air/eau
Avantages	Condensation rendement élevé, Simplicité de mise en œuvre	Energie renouvelable neutre en émissions de CO2 et issue de ressources locales	COP*élevé supérieur à 4	Coût moindre que les PAC eau/eau Utilisable dans l'existant
Inconvénients	Emissions de CO2	Filière d'approvisionnement, manipulations, présence d'un silo	Coût élevé, études de sol nécessaires Réservé au neuf	COP* moindre que les PAC eau/eau, (environ 2.2)

Tableau 6 : les avantages et inconvénients comparés de Quatre Dispositifs

\*COP : Coefficient de performance. C'est la quantité d'énergie transférée pour 1 kWh électrique utilisé. Valeur moyenne annuelle.

##### ▪ Bois énergie :

Le bois énergie constitue un élément important de développement durable, à condition d'utiliser des appareils performants et bien entretenus, et du bois de qualité. Aujourd'hui, les différents modèles de chaudières à bois permettent de brûler des combustibles secs ou humides. Ils sont équipés de systèmes d'alimentation et de décentrages automatiques.



Figure 42 : Chaudière à bois –Source Guide AITF/EDF Bâtiments basse consommation

- **Pompe à chaleur :**

L'air extrait du logement peut servir au chauffage de l'eau chaude sanitaire via une pompe à chaleur utilisant cet air vicié comme source froide. Ce système permet de récupérer la chaleur de l'air extrait sans passer par un système double flux. &

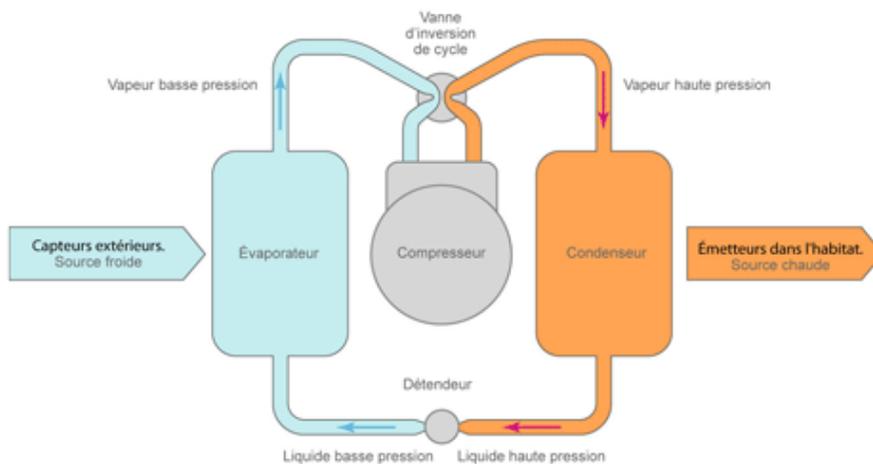


Figure 43 : Schéma de principe d'une pompe à chaleur (Source : Google)

- **Chaudière gaz à condensation :**

Dans les chaudières à condensation, la chaleur résiduelle contenue dans les gaz d'échappement est récupérée sous forme de vapeur d'eau par voie de condensation.

## II.5.2.2 Production d'énergie solaire avec systèmes innovants :

### a. Énergies solaires thermiques :

La production solaire permet d'économiser jusqu'à 50 % sur les besoins en énergie pour la production d'eau chaude. Il comprend des capteurs solaires thermiques posés en toiture, un système de circulation et de régulation et un ballon de stockage d'eau chaude. Il peut être utilisé indépendamment du système de chauffage.

### b. Système combiné capteur solaire + pompe à chaleur :

Grace à l'association d'un capteur solaire non vitré et d'une pompe à chaleur, ce système permet de produire de l'eau chaude sanitaire en réunissant les avantages des deux technologies. (Figure 41)

- **L'eau chaude sanitaire :**

L'ECS peut représenter plus de 50 % des consommations en énergie primaire d'un bâtiment performant. C'est un point très sensible à prendre en compte dès la conception du bâtiment.<sup>53</sup> (Figure 42)

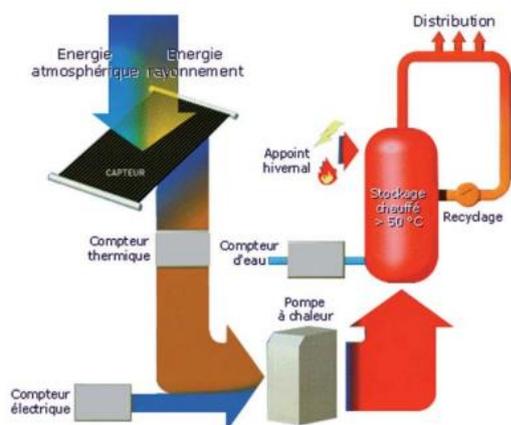


Figure 45 : Schéma de système solaire combiné. (Source : Google)

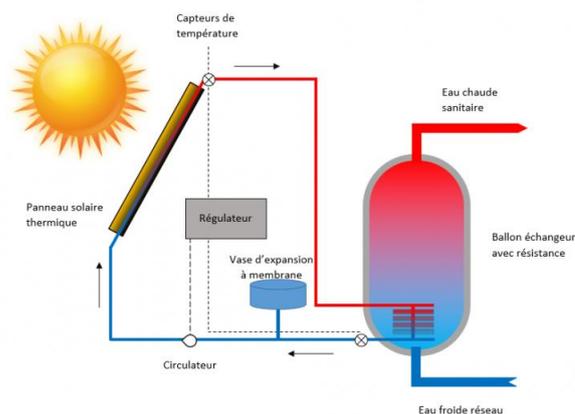


Figure 44 : Schéma de fonctionnement d'un chauffe-eau sanitaire. (Source <https://resilience-bouquehault.fr/leau-chaude/>)

## II.6 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes réglementations thermiques et labels nationales et internationales. Ensuite, nous avons dressé l'état de l'art des opérations internationales en termes de label BBC, d'applications et de technologies.

La performance énergétique du bâtiment concerne aussi bien l'isolation, la ventilation, les systèmes de production de chauffage, d'eau chaude sanitaire et de refroidissement que l'utilisation des énergies renouvelables ou les consommations d'usage courant. L'état de l'art réalisé a permis de mettre en évidence les solutions adoptées pour concevoir des bâtiments à basse consommation d'énergie. Un bâtiment basse consommation énergétique ou BBC est un bâtiment qui, par son niveau de performance dans le domaine énergétique, entre dans le cadre de la volonté de réduire la consommation en énergie des bâtiments. Il faut savoir que cette consommation occupe une place prépondérante dans le processus de l'émission de gaz à effet de serre

<sup>53</sup> Guide AITF/EDF, BATIMENT BASSE CONSOMMATION

## **Chapitre III : Etude de cas et outils de simulation.**

### **Introduction :**

La modélisation et la simulation occupent une place très importante dans la recherche scientifique et le développement industriel. Les outils de simulation de la performance thermique du bâtiment "BPS " peuvent servir de support pour le développement et la mise en place de bâtiments à haute efficacité énergétique. La simulation a pour but d'imiter les conditions physiques réelles en utilisant des modèles mathématiques pouvant représenter tous les flux d'énergie ainsi que leurs interactions.<sup>54</sup>

Pour répondre aux exigences en termes de performances énergétiques d'un bâtiment et de contraintes imposées par la Réglementation Thermique et les différents labels, l'utilisation de la simulation est aujourd'hui indispensable. En effet, pour atteindre ces nouveaux seuils de performances, il est nécessaire d'évaluer l'intérêt de construire le bâtiment avec tel matériau plutôt qu'un autre, de voir quelle surface de vitrages doit être mise en place au sud pour minimiser les besoins de chauffage sans pour autant augmenter les besoins de refroidissement... Ainsi, dans chaque projet de construction neuve ou de rénovation d'un bâtiment, la simulation permet de tester et dimensionner les différentes alternatives possibles afin de définir les solutions les plus adaptées à ce projet.<sup>55</sup>

### **III.1 La simulation des performances énergétiques du bâtiment :**

#### **III.1.1 Modélisation et simulation du bâtiment :**

Toute simulation de modèle est basée sur des équations, des principes et des hypothèses. Les résultats peuvent être incorrectes, si certaines hypothèses ne sont pas prises en compte dans la simulation ou ne cadrent pas avec la réalité. Il existe de nombreuses méthodes de modélisation du bâtiment. Différents critères peuvent être utilisés pour classer les modèles de simulation des performances thermiques du bâtiment.

Selon **Reddy and Maor (2006)**, les modèles informatiques en général peuvent être de type diagnostic ou pronostic, ou encore définis comme modèles de connaissance ou inverse. Les modèles de simulation énergétiques du bâtiment utilisés dans la phase

---

<sup>54</sup> Madi Kaboré. Enjeux de la simulation pour l'étude des performances énergétiques des bâtiments en Afrique sub-saharienne. Génie civil. Université Grenoble Alpes ; Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2015. Français.

<sup>55</sup> Stephanie Bontemps. Validation expérimentale de modèles : application aux bâtiments basse consommation. Construction durable. Université de Bordeaux, 2015. Français. ffNNT : 2015BORD0337ff. fftel-01271593

conception sont en général des modèles pronostics et de connaissance. Ils sont plus flexibles à l'image des modèles physiques réels et sont plus adaptés aux études comparatives. Dans le bâtiment, l'approche de modélisation inverse peut trouver son application dans le cas où la simulation a pour but de comprendre le comportement thermique d'un bâtiment existant. Cela nécessite que le modèle soit en mesure de représenter fidèlement le comportement réel du bâtiment.

La Figure suivante donne une illustration des données d'entrée d'un modèle de BPS qui se composent essentiellement de la géométrie du bâtiment, des apports internes (occupants, récepteurs électriques), des données météorologiques, des stratégies d'exploitation, des systèmes CVC 2 et des paramètres spécifiques de simulation (critères de convergences, pas de temps, simulation ou dimensionnement).

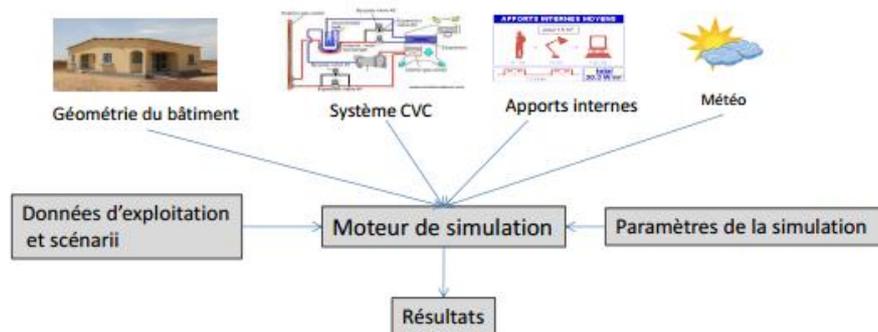


Figure 46: Illustration des données d'entrée pour les outils de simulation

### III.1.2 La simulation : outil d'aide à la conception

L'évolution des outils de simulation des performances énergétiques dans le bâtiment permet de disposer de modèles détaillés prenant en compte les connaissances actuelles des phénomènes physiques en interactions dans le bâtiment. Les outils de simulation permettent de faire des études de faisabilité technique en comparant différentes solutions techniques sur une construction (enveloppe, isolations, menuiseries, traitement des ponts thermiques, prises en compte des énergies renouvelables, systèmes, fluides...). Ils permettent aussi de mener des études diagnostiques précises, afin de préconiser des mesures correctives et de chiffrer des économies d'énergies. Ils sont vus comme des outils d'aide à la conception au profit des acteurs du bâtiment.

Leurs domaines d'application sont les suivants :

- Chauffage et climatisation (dimensionnement)
- Diagnostic de performance énergétique pour la conception et la rénovation

- Gestion énergétique des bâtiments et le contrôle
- Analyse des coûts et du cycle de vie
- Étude des options d'efficacité énergétique
- Support pour la définition d'indices et standards au profit des décideurs.

Les outils BPS peuvent être appliqués dans l'analyse d'un bâtiment tout au long de son cycle de vie : la conception, la construction, l'exploitation, la maintenance et la gestion. Les outils BPS performants nécessitent l'utilisation d'outils d'ingénierie et sont très peu utilisés en dehors des experts dans le domaine.

### **III.1.3 La simulation : étude du comportement des bâtiments existants :**

La simulation de modèles de connaissance détaillés est un moyen pour étudier les comportements des bâtiments existants tel que le niveau de confort, l'analyse des postes de consommations et les erreurs de conception entre autres, l'objectif étant d'identifier et d'appliquer les meilleures stratégies de gestion. Il s'agit aussi de comprendre les raisons pour lesquelles les performances d'un bâtiment ne suivent pas les trajectoires voulues. Il est communément admis que l'utilisation d'un modèle de simulation pour analyser un bâtiment existant nécessite que le modèle soit capable de représenter le comportement réel. Cela implique souvent la calibration qui est un processus d'ajustement des paramètres du modèle. Ces types d'études s'avèrent nécessaires et souvent indispensables pour répondre aux faiblesses de l'expérimentation et la complexité d'un bâtiment réel.

### **III.1.4 Les outils les plus utilisés au niveau international**

Les besoins en termes d'outils de simulation changent en fonction de l'état d'avancement d'un projet, ce qui explique la grande diversité des outils qui existent pour simuler le comportement énergétique des bâtiments. Dans une phase d'avant-projet l'utilisation des outils de simulation consistera à obtenir une tendance de la performance énergétique. On utilise alors des outils simples. La liste des outils présentée ci-après est indicative mais non exhaustive. Entre autres on peut citer les outils suivant :

- **Trnsys (Transient System Simulation Tool)** Il est développé par l'université de Wisconsin et une entreprise privée TESS, le groupe TransSolar en Allemagne et le CSTB en France interviennent sur la diffusion du logiciel et l'interface pour les utilisateurs. C'est un environnement modulaire et très flexible qui inclut une interface graphique et une librairie de composants pour modéliser les systèmes

énergétiques appliqués aux bâtiments. Il est plus orienté équipements techniques et le bâtiment se résume à un type.

- **ESP-r** C'est un outil développé à la base par des chercheurs de l'université de Strathclyde à Glasgow (Ecosse) depuis 1974 et a été rendu "open source" récemment. Il permet la résolution de problèmes de thermique, d'acoustique et d'éclairage et a fait l'objet de nombreuses validations (Strachan, 2008) principalement dans le cadre d'annexes de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE). Le manque de facilité de prise en main et de base de données pour les matériaux en font un outil plus adapté à la recherche qu'à l'utilisation en bureau d'études.
- **EnergyPlus** EnergyPlus fut développé aux États Unis grâce à la volonté du département de l'énergie de recentrer ses financements autour d'un seul outil de simulation des bâtiments. Il s'agit d'un code validé à l'aide des tests de IEA BESTEST. Il se comporte comme un gestionnaire de simulation qui utilise plusieurs modules pour estimer les besoins en énergie des bâtiments. Le cœur du modèle de bâtiment est basé sur deux anciens programmes de simulation monolithiques du DOE : BLAST et DOE-2 et le langage de programmation FORTRAN 90.

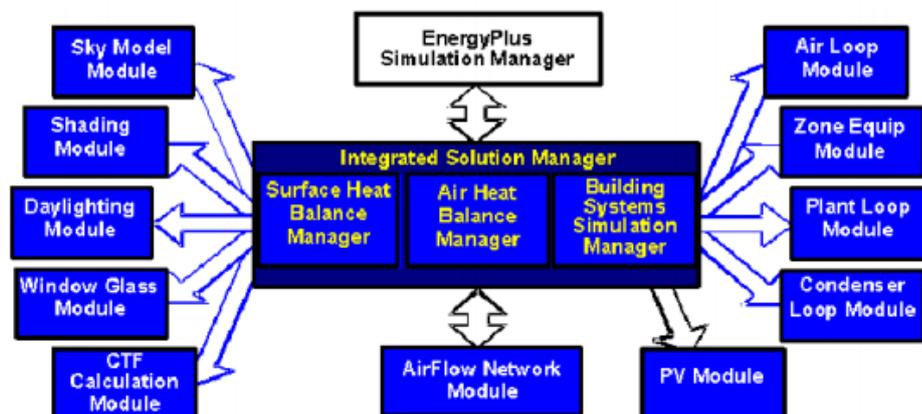


Figure 47 : Le programme EnergyPlus (Source :Energyplus)

- **Dymola** Dymola (DYnamic MOdeling Laboratory) est un environnement de simulation qui utilise le langage de programmation orienté objet Modelica en lui apportant un assembleur et un solveur d'équations très efficace. C'est un environnement basé sur les systèmes d'équations très utilisé dans un grand nombre de domaines scientifiques. La méthode d'assemblage des équations qu'il utilise et qui n'est pas complètement publiée le rend particulièrement performant par rapport

aux autres environnements Modelica. Dymola est particulièrement adapté à la simulation de systèmes complexes qui mettent en jeu des phénomènes ayant trait aux domaines scientifiques.<sup>56</sup>

## **III.2 Etude de cas :**

### **III.2.1 Présentation du cas d'étude : Centre de recherche de l'Université 08 Mai 1945 Guelma.**

Le centre de recherche de l'université de Guelma, est une structure universitaire constituée donnant un cadre de travail aux chercheurs, enseignants et doctorants. Il accueille 10 laboratoires qui constituent les structures essentielles de l'établissement d'enseignement supérieurs et de recherche à l'université de Guelma. Les laboratoires de recherche sont les unités de base pour développer des activités de recherche : ils regroupent des enseignants-chercheurs et de chercheurs ayant souhaité mettre en commun leurs compétences et moyens pour développer des recherches dans des domaines scientifiques majeurs.

#### **▪ Les 10 laboratoires qui constituent ce centre de recherche sont :**

- Laboratoire d'automatique et informatique de Guelma – **LAIG**
- Laboratoire de génie civil et d'hydraulique - **LGCH**
- Laboratoire d'analyse industrielle et de génie des matériaux - **LAIGM**
- Laboratoire de mécanique et de structures - **LMS**
- Laboratoire de génie électrique de Guelma - **LGEG**
- Laboratoire des Télécommunications -**LT**
- Problèmes Inverses : Modélisation, Information et Systèmes -PI : **MIS**
- Laboratoire des Silicates, Polymères et des Nano composites (**LSPN**)
- Laboratoire de contrôle avancé (**LABCAV**)
- Laboratoire de Mécanique Appliquée des Nouveaux Matériaux (**LMANM**)

#### **▪ Fiche technique du centre de recherche :**

**Situation :** Wilaya de Guelma, Université de 08 Mai 1945, la Faculté des sciences et technologies.

**Maitre d'ouvrage :** La wilaya de Guelma

**Maitre d'œuvre :** B.E.W.I.G, Bureau D'études De La Wilaya De Guelma, spa

---

<sup>56</sup> Madi Kaboré. Enjeux de la simulation pour l'étude des performances énergétiques des bâtiments en Afrique sub-saharienne. Génie civil. Université Grenoble Alpes, 2015. Français.

### III.2.2 Les conditions de simulation : (cas de l'étude)

#### III.2.2.1 Paramètres du bâtiment (cas de l'étude) :

- Plans généraux du centre de recherche :

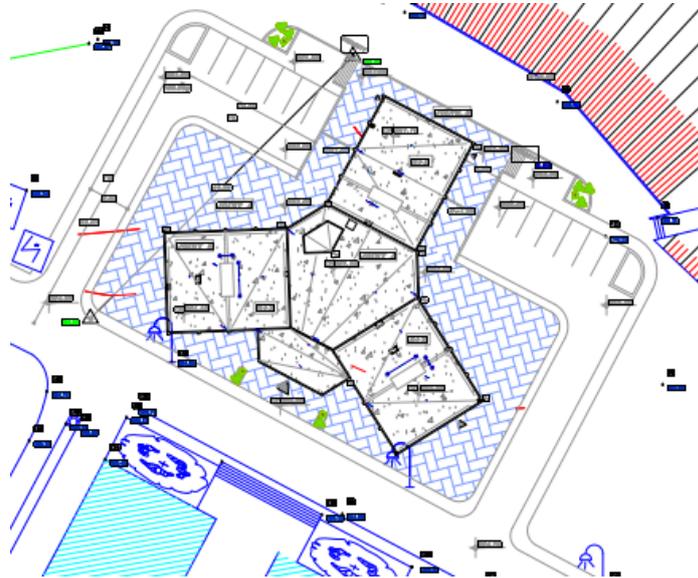


Figure 48: Plan de masse du centre (Source : Université de 08 Mai 1945 Guelma)

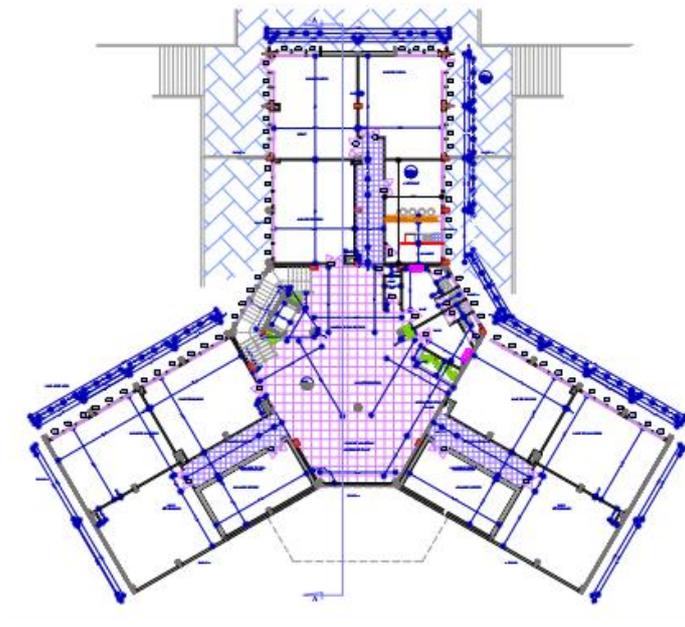


Figure 49 : Plan Sous-Sol du centre (Source : Université de 8 Mai 1945 Guelma)

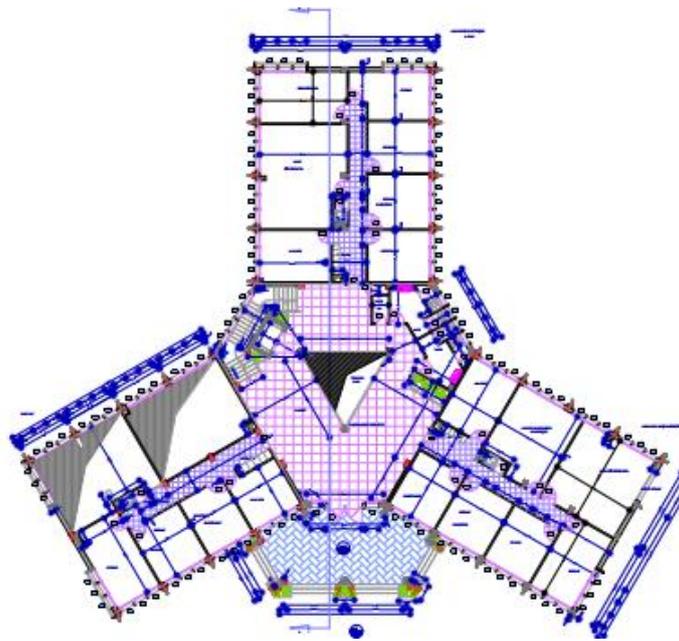


Figure 50 : Plan RDC du centre (Source : Université de 08 Mai 1945 Guelma)

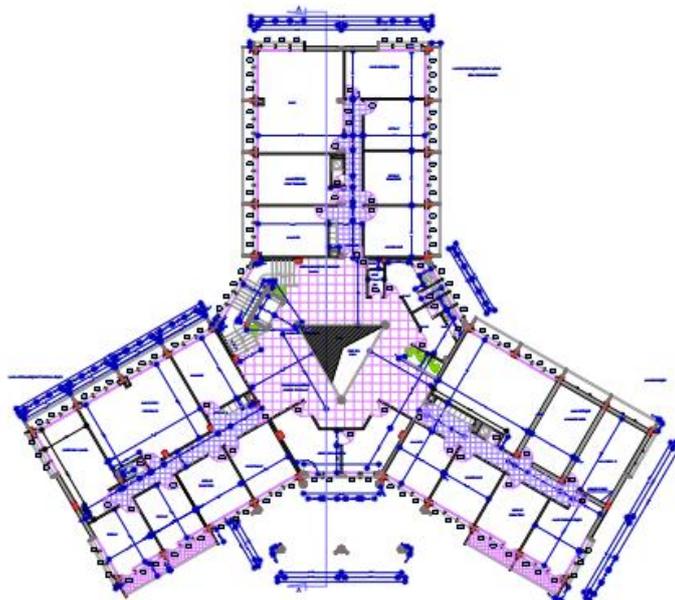


Figure 51: Plan du 1<sup>er</sup> Etage du centre (Source : Université de 08 Mai 1945 Guelma)

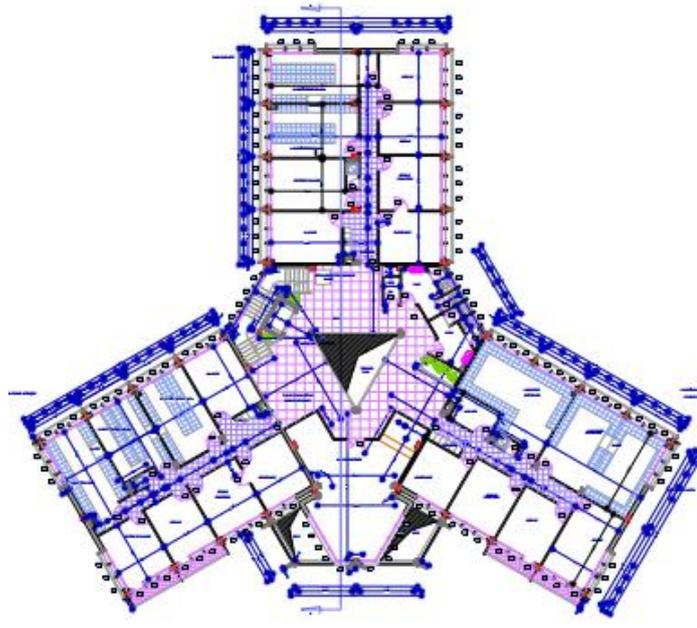


Figure 52 : Plan du 2<sup>ème</sup> Etage du centre (Source : Université de 08 Mai 1945 Guelma)

▪ **Dimensions et zonage du bâtiment :**

Le bâtiment est sous forme d'un 'Y', l'entrée du bâtiment est orientée vers le Sud-Ouest comme l'indique la figure 48. Les murs extérieurs non isolés sont en brique creuse d'une épaisseur de 15 cm avec un enduit extérieur en mortier de ciment et l'intérieur en plâtre ; alors que les séparations sont en brique creuse de 10 cm l'enduit est en plâtre sur les deux côtés. Le plancher bas est constitué d'une couche en pierre d'une épaisseur de 20 cm suivie de 10 cm de béton, couvert de carrelage (la sous chape est en mortier de ciment d'une épaisseur de 2 cm). La toiture est en béton-hourdi d'une épaisseur de 20 cm et une chape en mortier de ciment et un enduit intérieur en plâtre.

**III.2.2.2 Les conditions climatiques**

▪ **La wilaya de Guelma :**

Longitude	Latitude	Altitude	température	Humidité
7.47E	36.47N	283m	17,3° C	

Tableau 7 : Données géo-climatiques de la ville de Guelma (Source: Weather Tool )

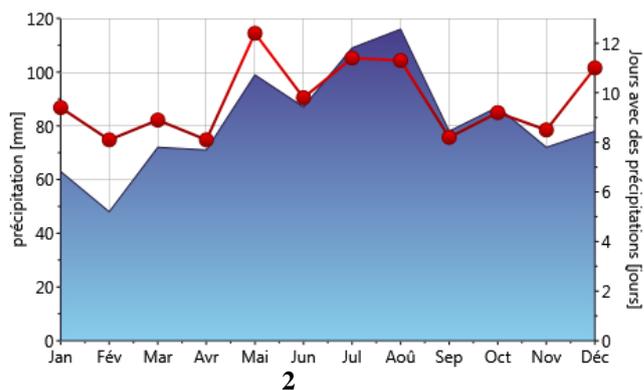
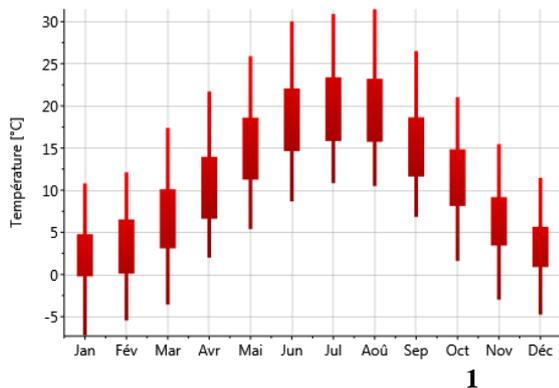


Figure 53 : Donnée climatiques de la wilaya de Guelma : 1/Températures 2/ Précipitations (Source : Meteonorm)

### III.2.3 Aspect énergétique : simulation et évaluation

#### III.2.3.1 Outils de simulation :

Il existe un nombre important de logiciels dédiés à la simulation énergétique. Les logiciels existants diffèrent entre eux par les algorithmes qu'ils utilisent, par leur interface utilisateur et finalement par leurs vocations et leurs domaines d'application. Le logiciel utilisé dans le cadre de cette présente étude est : **TRNSYS**

- **TRNSYS est :**
  - un programme réalisant des simulations dynamiques
  - un programme basé sur une approche modulaire
  - une méthode pour créer de nouveaux modèles en plus de ceux de la bibliothèque de modèles de systèmes thermiques et de composants auxiliaires (données météo, histogrammes, ...)
  - un solveur pour la résolution de systèmes d'équations
- **Développeurs :**
  - SOLAR ENERGY LABORATORY (Code source de TRNSYS, TRNSED)
  - TRANSOLAR (Type 56, PREBID = TRNBUILD),
  - CSTB (Interface graphique IISiBat) = Simulation Studio
- **TRNSYS prend en compte :**

Les variations horaires :

- Du taux d'occupation
- De la puissance de l'éclairage et des équipements divers
- Des consignes de températures et du fonctionnement du système chauffage et climatisation.
- Les effets d'inertie thermique et les effets de ventilation naturelle

- Cent zones thermiques au maximum et les échanges thermiques entre ces zones (par conduction, convection et rayonnement)
- Couplage avec systèmes : systèmes solaires, mur trombe, serre, production d'électricité...
- Sorties : + 80 sorties possibles (énergie sensible et latente, échanges radiatifs des fenêtres, stores...)

### III.2.3.2 Les caractéristiques de la pièce :

Dans notre cas, notre étude s'est effectuée sur une seule pièce (zone), située au 2eme étage dans le laboratoire de "Chimie Appliquée" (Salle d'expérience 02).

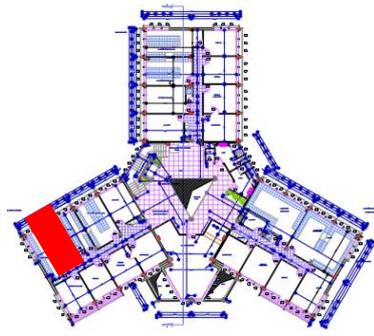


Figure 54 : Situation de la zone a étudiée

Le tableau présente les caractéristiques de la zone.

	<b>Hauteur</b>	<b>Largeur</b>	<b>Longueur</b>	<b>Surface</b>	<b>Volume</b>
<b>Zone</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>(m<sup>3</sup>)</b>
<b>D3 (Salle d'expérience 02)</b>	3.12	3.50	5.90	20.65	64.43

Tableau 8 : Zones et dimensions du cas de base

- **Les murs (de l'extérieur à l'intérieur) :**
  - Enduit de mortier de ciment de 5cm
  - Brique creuse 15cm.
  - Lamme d'air 5cm.
  - Brique creuse 10cm.
  - Enduit de plâtre 5cm.
- **Le plafond (de l'extérieur à l'intérieur) :**
  - Gravillons de 5cm
  - Natte de protection 2cm.

- Isolant polystyrène 5cm.
- Etanchéité 1 cm
- Béton de pente cellulaire 3cm
- Béton support 4cm
- Hourdis 16cm
- Enduit de plâtre 2cm
- **Le Sol (de l'intérieur à l'extérieur) :**
  - Enduit de plâtre 2cm.
  - Hourdis 16cm.
  - Béton 4 cm.
  - Mortier 3cm.
  - Carrelage granito 5cm.

Les caractéristiques thermiques des matériaux utilisés dans le cas de base sont représentées dans le tableau :

<b>Matériaux</b>	<b>Conductivité thermique (KJ/h m K)</b>	<b>Chaleur spécifique (KJ /kg K)</b>	<b>Densité (kg/m3)</b>
<b>Béton Hourdi</b>	4.801	0.65	1300
<b>Brique creuse (15cm)</b>	1.7	0.79	720
<b>Brique creuse (10cm)</b>	1.8	0.79	720
<b>Enduit plâtre</b>	1.26	1	1500
<b>Enduit extérieur</b>	4.15	1	1700
<b>Béton</b>	7.56	0.8	2400
<b>Carrelage</b>	6.14	0.7	2300
<b>Mortier</b>	4.15	0.84	2000

Tableau 9: Caractéristiques thermiques des matériaux (Source : Internet )

- Des fenêtres à simple vitrage qui ont un coefficient  $U = 5.7 W / (m^2. K)$  et un coefficient  $g = 0.8$ .

### III.2.3.3 Déroulement de la simulation :

- **Création de l'interface de simulation de notre zone :**

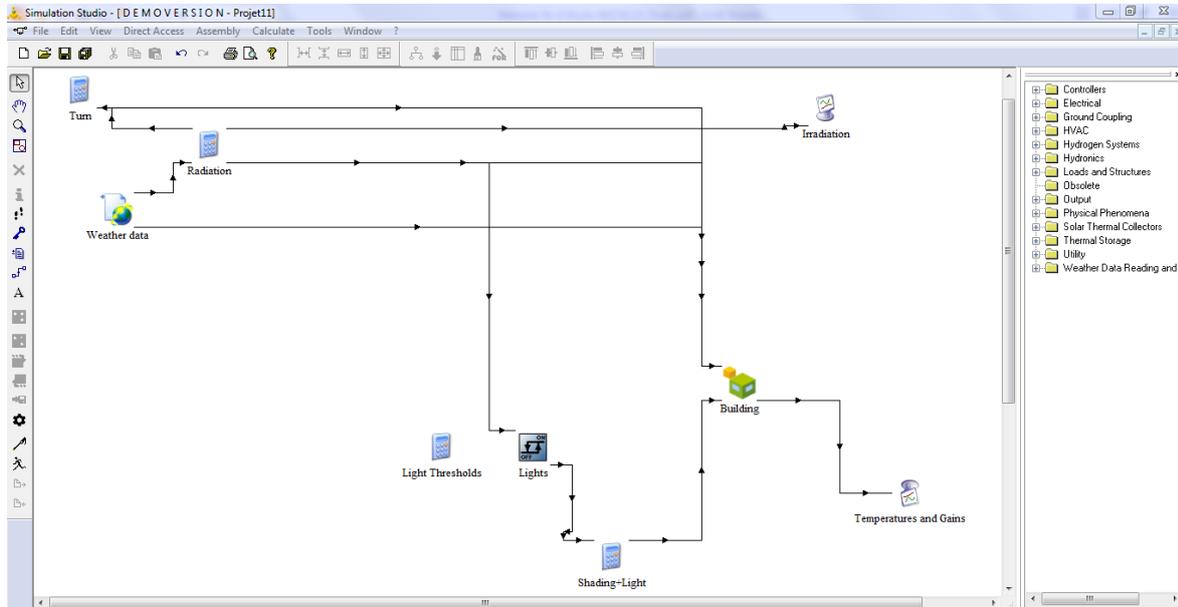


Figure 55 : Interface du logiciel de simulation ( Source : TRNSYS)

Cette étape consiste à paramétrer le logiciel TRNSYS avec les données caractéristiques du cas de base à l'aide du **TRNBUILD** ainsi que les données météorologiques de la ville de Guelma.

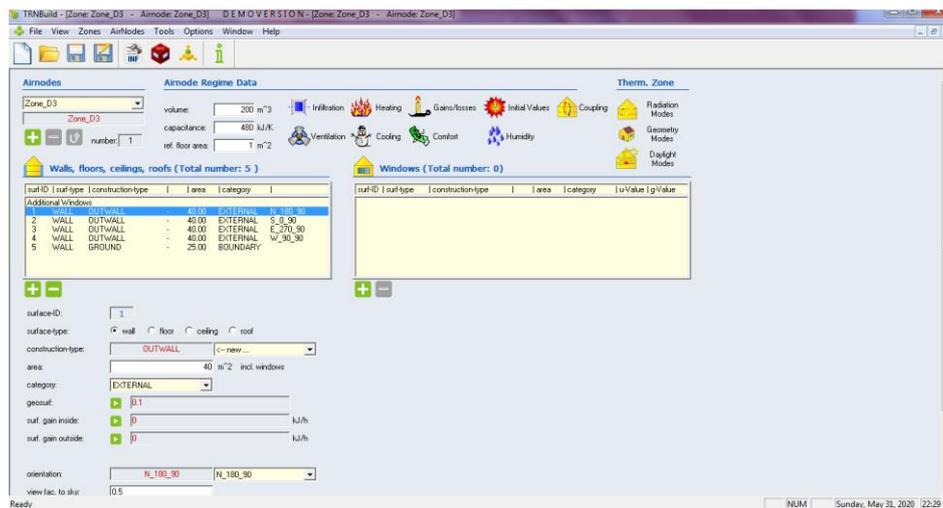


Figure 56 : Interface de TRNBUILD (Source : TRNSYS)

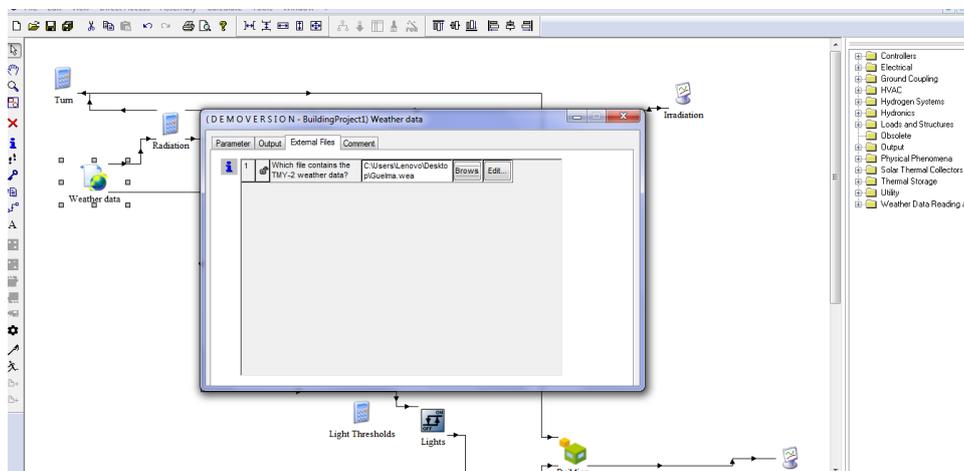


Figure 57 : Importation des données climatologique de Guelma "Weather Data File" (Source : TRNSYS)

- **Entrer des différents caractéristique des matériaux de construction utilisés :**

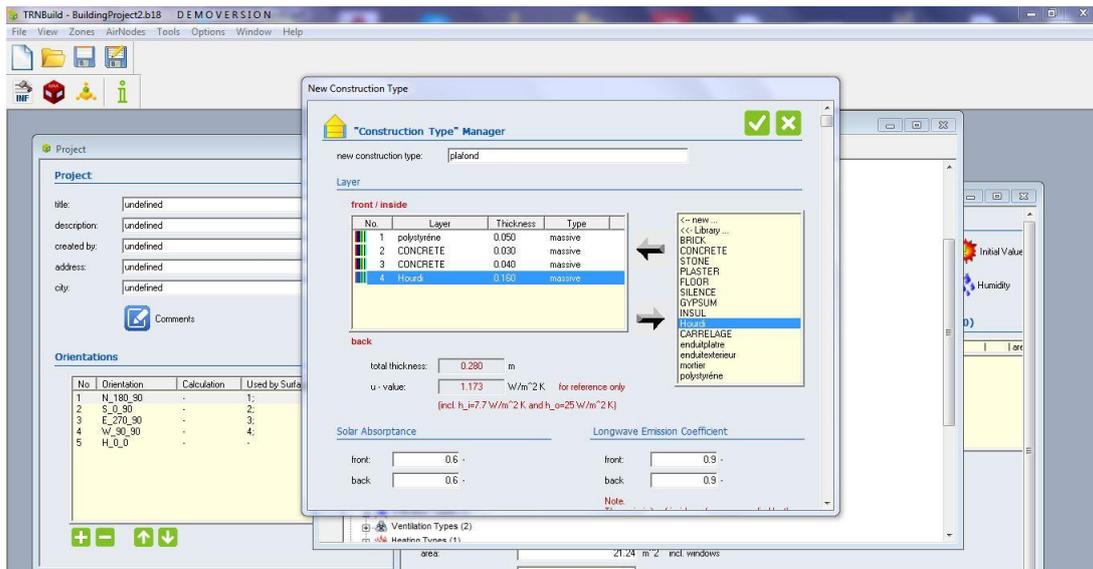


Figure 58: Interface de TRNBUILD (Source : TRNSYS)

- **Entrer le type de fenêtres utilisées :**

Les fenêtres utilisées sont des fenêtres à simple vitrage qui ont un coefficient  $U = 5.74 W / (m^2 \cdot K)$  et un coefficient  $g = 0.87$

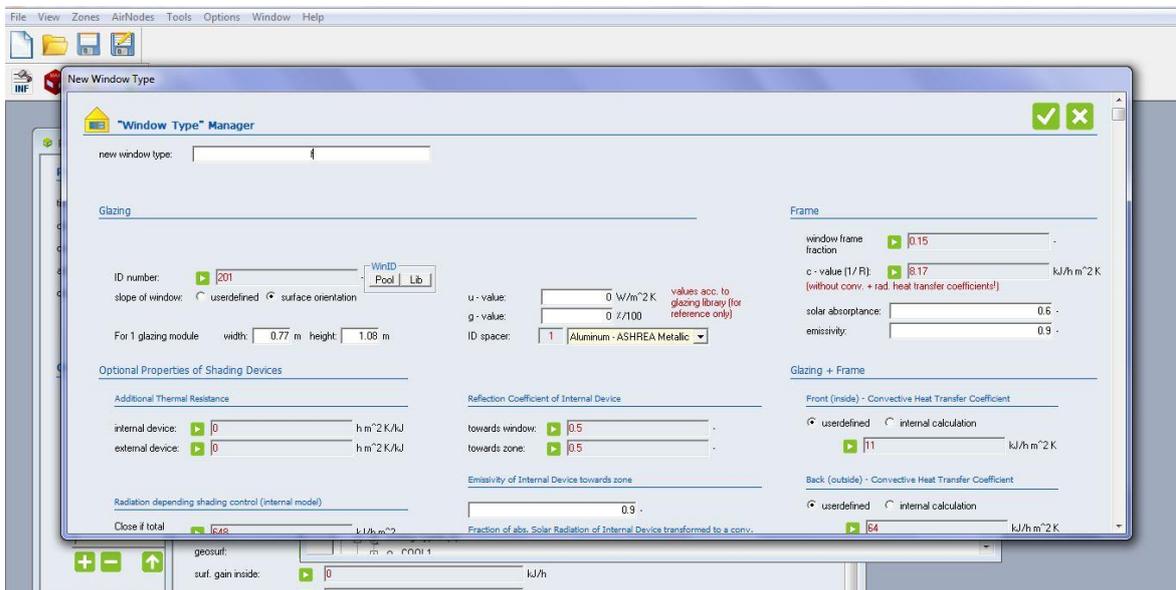


Figure 59 : Interface de TRNBUILD (Source : TRNSYS)



## Chapitre IV : Analyse et processus de conception

### Introduction :

Le thème est un élément fondamental pour le langage architectural, il n'est donc pas possible de commencer une conception architecturale sans avoir des idées et maximum d'informations sur le projet car cette approche représente une source d'inspiration créative de l'architecture. Ainsi notre recherche thématique a pour objectif d'élaborer une base de données afin de déterminer le principe, l'évolution et les besoins du thème ainsi que les activités qui s'y déroulent et les types des espaces qui s'y adaptent.

### IV.1 Analyse des exemples :

#### IV.1.1 Exemple 01 : Centre de recherche sur l'énergie solaire et l'hydrogène

##### IV.1.1.1 Description :

###### ▪ Présentation :

Le nouveau centre de recherche sur l'énergie solaire et l'hydrogène accueillera des chercheurs qui mènent des recherches sur les technologies durables et les formes d'énergie. Le bâtiment comprend des bureaux, des laboratoires, des salles de réunion et de conférence. Il est conçu comme une grille de petites unités pour répondre à l'exigence d'un lieu de travail très flexible qui sert de cadre dynamique aux activités de recherche et d'innovation en cours.



Figure 60 : siège de ZSW (Source : [www.zsw-bw.de](http://www.zsw-bw.de))

###### ▪ Situation :

Le nouveau centre de recherche sur l'énergie solaire et l'hydrogène est situé dans le parc technique de Stuttgart, Allemagne.



Figure 61 : Situation du ZSW (Source: Google earth,)

▪ **Environnement immédiat :**

Le centre est bordé sur le côté nord par un quartier résidentiel formé de plusieurs pavillons, sur le côté sud par une cimetière l'université de stuttgart vaihingen , sur le côté ce dernier est bordé par un chemin ferroviaire et sur le côté ouest par l'universite de



Stuttgart Vaihinge.

Figure 62:L'environnement immédiat du ZSW (Source : Google Earth, réadapter par l'auteur)

▪ **Accessibilité :**

Le terrain du ZSW se situe à l'extrémité sud-ouest du STEP Stuttgart Engineering Park. Le bâtiment est accessible directement depuis le rond-point – du point de vue du droit de construction une exception, qui témoigne d'une bonne coopération avec les autorités. Il se trouve au bord de la rue à travers cette dernière y se trouve deux accès.

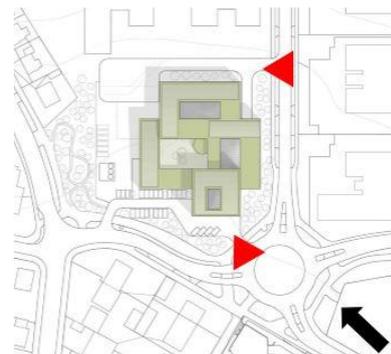


Figure 63 : Accessibilité du terrain (Source : ArchDaily.com Accès

**IV.1.1.2 Analyse fonctionnel :**

▪ **Les différentes zones composantes du projet :**

- Zone de recherche.
- Zone Administrative.
- Zone de formation.

▪ **Domaine de recherche :**

Domaine de recherche	Spécialité
<b>Carburants renouvelables</b>	Electrolyse Biomasse aux carburants

	Reformage et conditionnement du gaz
<b>Le photovoltaïque (PV)</b>	Stockage PV et consommation Qualité des modules et système PV Cellules solaires et modules à couche mince Cellules solaires flexibles et imprimées
<b>Analyse de systèmes</b>	Chaleur et efficacité Contrôle et évaluation Mobilité durable Prévision d'injection pour le soleil, le vent et l'eau
<b>Piles à combustible</b>	Système de réformateurs Technologie de pile Modélisation et simulation
<b>Piles</b>	Test de batterie Recherche de matériaux Ingénierie du système de batterie

▪ **Plans de différents niveaux :**

Figure 64: Plan Sous-sol

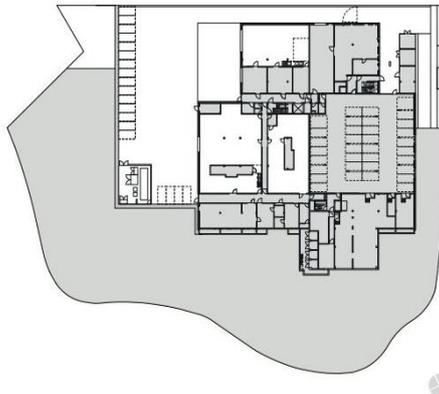


Figure 66 : Plan 1er Niveau

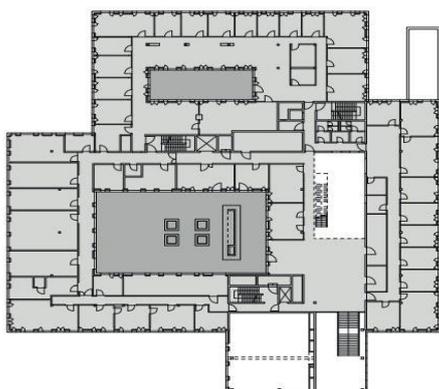


Figure 65 : Plan RDC

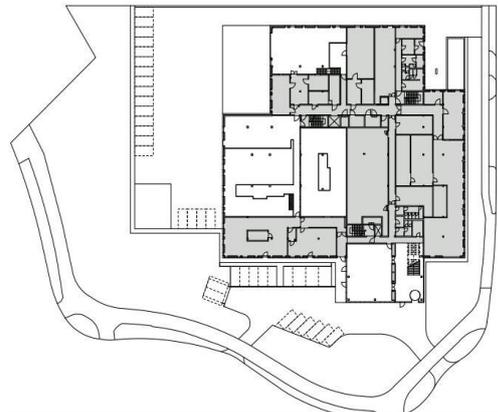
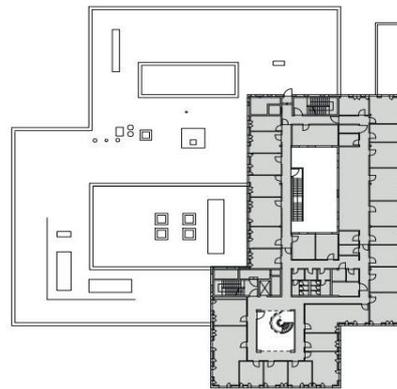


Figure 67 : Plan 2eme Niveau



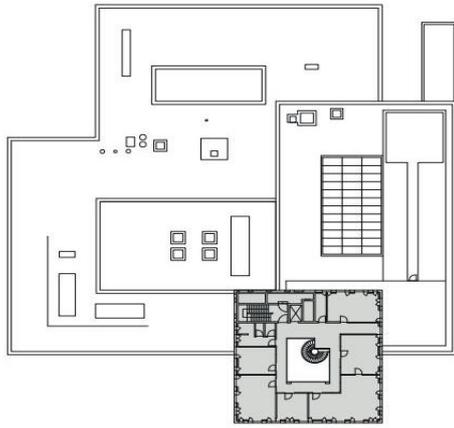


Figure 68 : Plan 3eme Niveau (Source : www.zsw-bw.de)

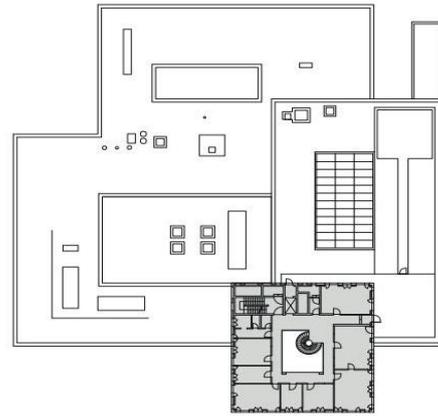


Figure 69 : Plan 4eme Niveau

- 25% du bâtiment sont des bureaux et des zones administratives.
- La majeure partie étant des usages de la recherche tels que des ateliers, des laboratoires, des technologies et des ateliers.

#### IV.1.1.3 Analyse Architecturale :

- **Analyse des façades :**

- La façade suit un schéma de couleurs noir en noir. Ceci est contrasté à l'intérieur par un jeu de couleurs blanc en blanc.
- Les niveaux inférieurs de la façade sont constitués de pièces préfabriquées en béton apparent de grand format de couleur noire avec des fenêtres individuelles.
- Une façade en aluminium anodisé noir est utilisée dans les niveaux supérieurs, dans lesquels les éléments photovoltaïques en couches minces ont été partiellement intégrés.
- La façade d'un immeuble est le visage de la ville, ici à la ZSW, l'impact externe est renforcé par le fait que le travail de recherche du client se reflète dans la façade frappante et est donc à la fois un point de repère et une référence.
- Une façade très innovante et moderne créant ainsi une surface vitrée optiquement homogène qui offre des possibilités de conception similaires aux façades en verre.

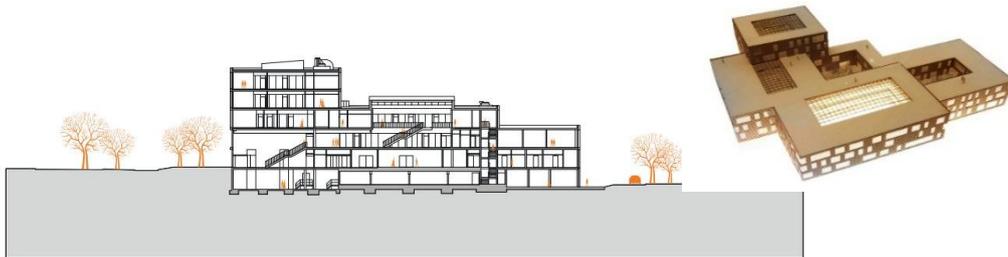


Figure 70 : Façade en aluminium anodisé noir. (Source : Archidaily.com)

- **Analyse volumétrique :**

- La diversification des volumes avec la conception rationnelle du bâtiment crée un contact visuel entre les atriums et les oasis de verdure, que les chercheurs peuvent utiliser pour des réunions de travail ou informelle.
- Il est conçu comme une grille de petites unités pour répondre à l'exigence d'un lieu de travail très flexible qui sert de cadre dynamique aux activités de recherche et d'innovation en cours.

Figure 71 : Coupe verticale du centre de recherche (Source : Archdaily.com)



#### IV.1.1.4 Les éléments de l'écologie utilisées :

- **ZSW mène ses propres recherches sur la façade :**
  - Les architectes ont développé un bâtiment qui répondait à la fois aux exigences fonctionnelles et de conception et aux défis posés par les tâches de recherche spéciales sur la façade.
  - Façades solaires Bien que les coûts du photovoltaïque intégré soient encore plus élevés que ceux des modules de toiture. une façade photovoltaïque à couche mince à base de cuivre.
  - Façade remplacent pratiquement la façade normale de type rideau (en verre), mais assurent également la production d'énergie électrique.
  - Les modules PV sont intégrés dans le revêtement en aluminium anodisé, d'une surface d'environ 170 m<sup>2</sup> et d'une puissance nominale d'environ 27 kW
  - L'architecte a planifié le bâtiment de l'institut de telle sorte que la moitié des besoins en énergie thermique puisse être couverte par ses propres sources d'énergie. Les énergies renouvelables sont utilisées dans l'approvisionnement en électricité, en chauffage et en climatisation.
- **Structure de façade modulaire et flexible :**

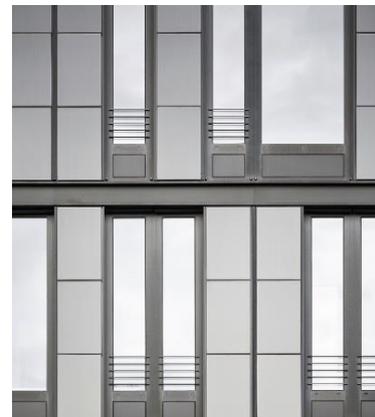


Figure 72 : Façade photovoltaïque a couche mince à base de cuivre (Source : [www.zsw-bw.de](http://www.zsw-bw.de))

- La construction modulaire de la façade permet d'échanger des modules photovoltaïques individuels.
- Il est possible d'échanger les éléments de façade opaques avec les éléments PV correspondants en utilisant la même sous-structure.
- La couleur typique des modules PV est le noir afin d'obtenir un gain électrique maximal.
- **Valoriser les apports lumineux :**



Figure 73 : de façade modulaire (Source : Internet)

Chaque structure individuelle du complexe additif global est définie par un atrium interne autour duquel les zones fonctionnelles sont disposées. Cette cour intérieure fournit les zones fonctionnelles à la lumière du jour et permet de varier les relations visuelles entre les différents domaines spécialisés.<sup>57</sup>



Figure 74: Traitement de l'espace intérieur du ZSW. (Source : <https://www.zsw-bw.de/>)

## IV.1.2 Exemple II : Laboratoire national de l'énergie renouvelable

### IV.1.2.1 Description :

- **Présentation :**

Il Crée un nouveau lieu de travail pour les scientifiques et les ingénieurs qui collaborent au développement et à la fourniture de technologies liées aux énergies renouvelables et héberge le centre de données le plus puissant et le plus éco énergétique au monde dédié exclusivement à la recherche sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique. Situé à Golden, Colorado, États-Unis

<sup>57</sup> Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW).Center for Solar Energy and Hydrogen Research

▪ **Installation du laboratoire :**

Les grandes entités composantes de laboratoire national de l'énergie renouvelables sont :

- a. Centre de recherche en science et technologie.
- b. Installation d'intégration de système énergétique et solaire.
- c. Bureaux des ressources humaines.
- d. Centre de recherche sur l'énergie solaire.
- e. Centre de formation.
- f. Centre de recherche.
- g. Cafeteria.
- h. Installation d'essai et d'intégration de véhicules.

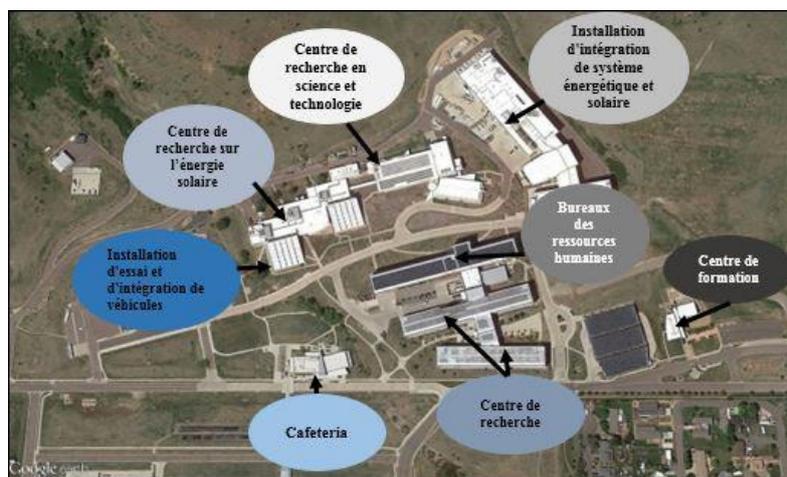


Figure 75 : Installation du laboratoire internationale de l'énergie renouvelable (Source : Google Earth)

**a. L'unité d'installation d'intégration de système énergétique (Solaire et carburant) :**

**a.1. Plan conceptuel du site :**



Figure 76 : Plan d'implantation de l'unité, Installation d'intégration de système énergétique

**a.2. Environnement immédiat** Le projet est inséré dans un site isolé de la ville, bordé par un terrain de baseball sur le côté Sud, par une zone commercial sur l'est, par un quartier de maisons individuelles rurales, des parcs forestiers et sur le côté Nord le terrain il semble vide.



Figure 77 : Environnement immédiat du Laboratoire (Source : Google Earth réadapté par l'auteur)

**a.4. Accessibilité :**

Le bâtiment ISESC est situé à la partie nord du site. Le laboratoire se trouve au bord de la voie principale à travers ce dernier y se trouve plusieurs branchement (Rues secondaires) qui constitue les différents accès pour les différents bâtiments.

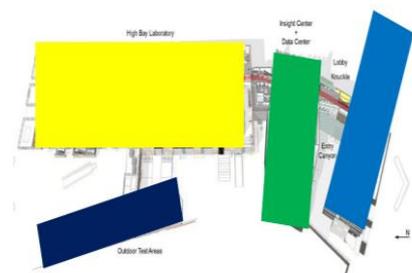


La voie principale ———— Accès secondaires - - - - -  
 Limitation du projet ———— La voie secondaire .....

**a.5. Les différentes zones composantes de l'entité (ISESC) :**

Le bâtiment de l'installation d'intégration de système énergétique (Solaire et carburant) se compose de 04 grandes zones :

- Zone administrative.
- Zone d'informatique et salle de conférence.
- Zone pour les essais extérieurs.
- Zone de recherche.



- **Analyse fonctionnel :**

- **Niveau RDC :**

Le niveau du rez de chaussé comprend 03 systèmes de recherche, Système électrique, système thermique et système de carburant.

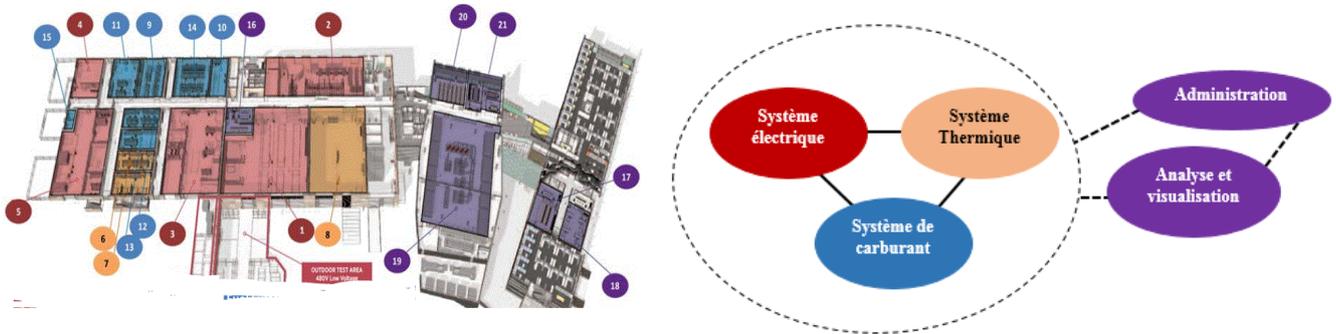


Figure 78 : Plan et Organigramme fonctionnelle du Niv RDC (Source : US department of energy )

- **Programmation :**

Laboratoires de systèmes électriques	Laboratoires de systèmes Thermiques
1. Intégration de systèmes d'alimentation	6. Processus de stockage thermique et composants
2. Puissance intelligente	7. Matériaux de stockage thermique
3. Stockage d'énergie	8. Caractérisation optique
4. Caractérisation électrique	
5. Intégration de systèmes énergétiques	
Laboratoires de systèmes de carburant	Analyse de données et visualisation
9. Fabrication de systèmes énergétiques	16. Salle de contrôle
10. Fabrication	17. Visualisation de l'intégration énergétique
11. Caractérisation des matériaux	18. Centre de données sécurisé
12. Caractérisation électrochimique	19. Centre de calcul haute performance
13. Capteur de systèmes énergétiques	20. Centre de visualisation
14. Développement de la pile à combustible	21. Centre de collaboration

Tableau 10 : Programme du Niv RDC (Source : Auteur )

- **1<sup>er</sup> Niveau :**

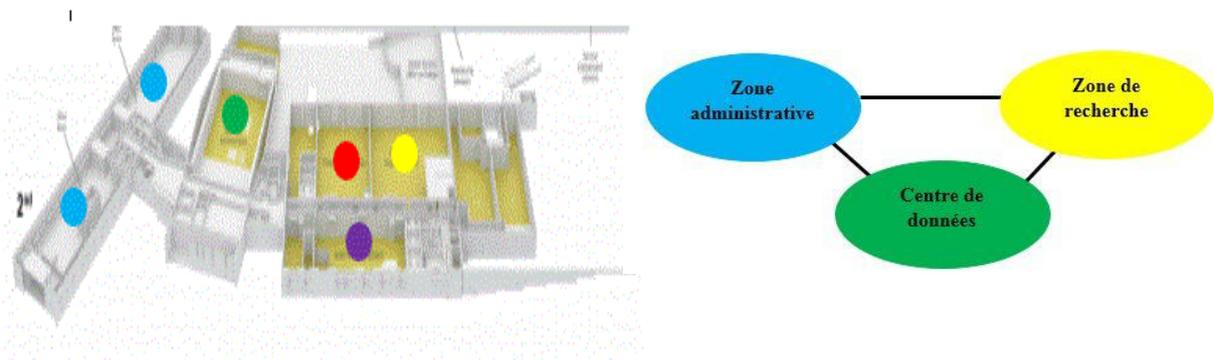


Figure 79 : Plan et organigramme fonctionnel du 1er Niv ( Source : Us Department Of Energy)

○ **Programmation :**

	<b>Zone administrative</b>
	<b>Centre des données</b>
	<b>Laboratoire de caractérisation</b>
	<b>Laboratoire d'intégration e systèmes d'alimentation</b>
	<b>Laboratoire de performance du système</b>
	<b>Laboratoire de caractérisation des matériaux</b>

Tableau 11 : Programme du 1er Etage (Source :Auteur)

▪ **2<sup>ème</sup> Niveau :**

La répartition des espaces se fait selon 03 grandes zones : Zone administrative, zone de recherche et zone de données et c'est le même cas pour les différents étages.

La zone de recherche englobe différents laboratoires pour différentes recherches dont ou on trouve :

1. Laboratoire de stockage de l'énergie
2. Laboratoire de caractérisation électrique.
3. Laboratoire de fabrication de systèmes énergétique.
4. Laboratoire de développement et d'essai de piles à combustible.
5. Laboratoire de développement de capteurs.
6. Laboratoire d'intégration des systèmes hydrogène.



Figure 80 : Plan et organigramme fonctionnel du 2e Niv (Source : Us Department Of Energy)

▪ **Programmation :**

	<b>Zone Administrative</b>
	<b>Centre des données</b>
	<b>Laboratoire de stockage de l'énergie</b>
	<b>Laboratoire e caractérisation électrique</b>
	<b>Laboratoire d'intégration des systèmes hydrogène</b>
	<b>Salle de contrôle</b>
	<b>Centre de visualisation</b>
	<b>Laboratoire de fabrication de systèmes énergétiques</b>
	<b>Laboratoire de développement et d'essai de piles à combustible</b>
	<b>Laboratoire de stockage thermique</b>
	<b>Laboratoire de développement de capteurs</b>
	<b>Processus et composants de systèmes thermiques</b>
	<b>Caractérisation électrochimique</b>
	<b>Laboratoire de fabrication</b>

**IV.1.2.2 Analyse Architecturale :**

▪ **Analyse des façades :**

- La diversité et la créativité en harmonie avec le site d'implantation.
- L'utilisation du verre installé sur des cellules solaire, le bois et la pierre.
- Façades homogènes, avec des ouvertures vitrées assurent le confort visuel, thermique et acoustique et le contact avec l'extérieur.
- La présence des balcons encastrés au niveau de la partie postérieure de l'immeuble avec vitrage électro chromique thermo chromique, vitrage, ombragé.
- Les ouvertures des façades sont dotées d'un système d'étagères à lumière en tôle d'aluminium laquée, Ces dernières en renvoyant la lumière au plafond protègent contre les surchauffes et améliorent la répartition de la lumière du jour dans les espaces de bureaux.



**IV.1.2.3 Elements de l'architecture bioclimatique du bâtiment :**

- **Les dispositifs d'éclairage naturel et de réflexion de la lumière :**

### 1. Persiennes légères et surplombs d'ombrage :

- Étagère lumineuse reflète la lumière et nuance la fenêtre non ouvrante.
- Persiennes légères qui détournent la lumière directe au plafond.
- Des fenêtres automatiques et manuelles qui favorisent la ventilation croisée.



Figure 81 : Façade avec étagère lumineuse (Source : ArchDaily.com)

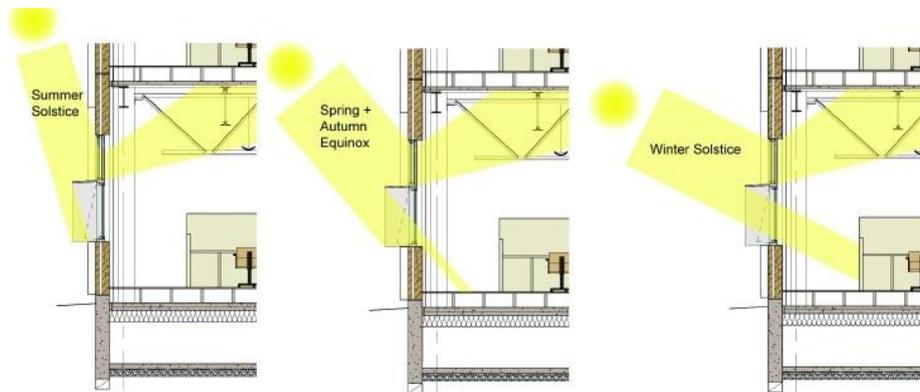


Figure 82 : Schéma explicatif montrant la pénétration de la lumière naturelle pendant la journée (Source : ArchDaily.com)

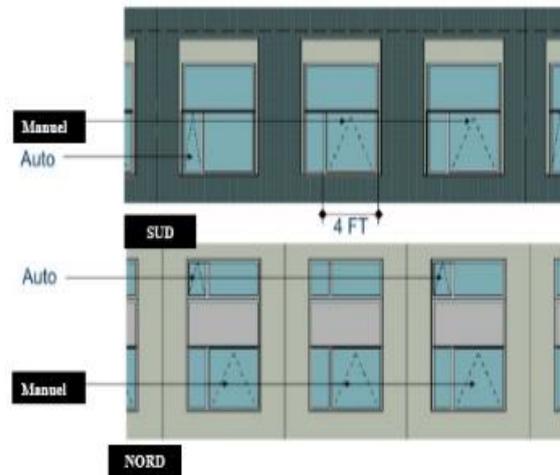
### 2. Fenêtres à triple vitrage avec individu Surplombs :

- Le choix des tailles de fenêtre et des combinaisons de vitres permet d'optimiser l'éclairage naturel tout en réduisant l'éblouissement ainsi que les pertes et gains de chaleur indésirables.
- Toutes les fenêtres sur les côtés nord et sud du bâtiment sont à triple vitrage.
- Les châssis de fenêtres à rupture thermique augmentent l'efficacité énergétique des unités.
- Les élévations Est et Ouest présentent des vitrages thermo chromiques et électrochromes.



### 3. Contrôle automatique des fenêtres :

- Une interface basée sur un poste de travail notifie les occupants lorsque les conditions sont optimales pour la ventilation naturelle et les fenêtres peuvent être ouvertes.
- Les fenêtres nord supérieures sont contrôlées et exploitées automatiquement. Sont principalement pour prendre en charge le pré-refroidissement nocturne.



#### 4. Chauffage et refroidissement radiant :

Les bureaux sont chauffés et refroidies par un radiateur plafond, en utilisant de l'eau chauffée à l'énergie renouvelable.

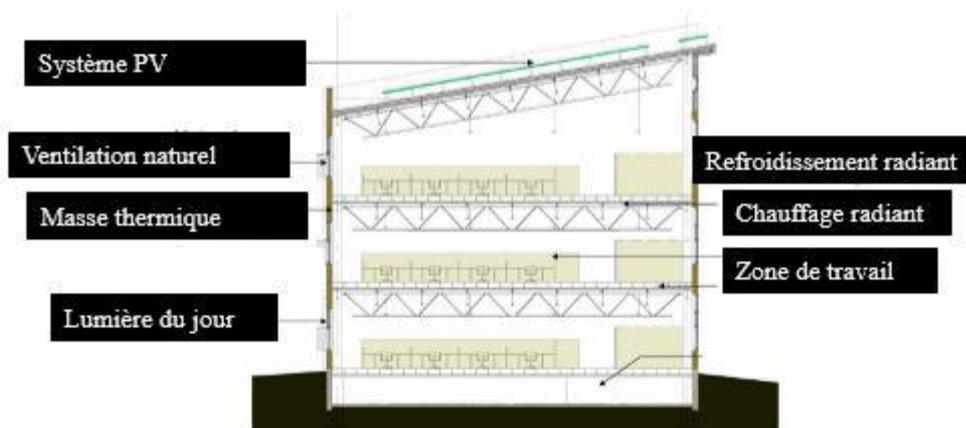


Figure 83 : Coupe verticale du bâtiment administratif (Source : ArchDaily.com)

#### ▪ Synthèse :

Ce projet présente beaucoup d'avantages en termes de conception et éléments d'écologies utilisés, comme il présente quelques inconvénients montré comme suit :

Avantages	Inconvénients
1. Les laboratoires sont conçus avec des spécifications internationales 2. L'emplacement du projet est loin des zones résidentielles 3. La simplicité de la masse et les façades et leur modernité.	1. La conception de chaque bâtiment est différente des autres bâtiments, de sorte qu'il n'a pas de cohérence entre les unités 2. Les espaces verts ne sont pas planifiés

<p>4. Tous les espaces de recherche sont rattachés à leurs propres bureaux de supervision</p> <p>5. L'application des systèmes et des conceptions moderne et sophistiqués qui participent à la HPE et la durabilité du bâtiment</p>	
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Figure 84 : Avantages et inconvénients de l'exemple 02 (Source : Auteur)

### IV.1.3 Exemple 03 : Institut national de l'énergie solaire « INES »

#### IV.1.3.1 Description :

##### ▪ Présentation :

L'INES est aujourd'hui le centre de référence en France, et l'un des premiers en Europe, dédié à la recherche, à l'innovation ainsi qu'à la formation sur l'énergie solaire et le bâtiment. L'INES a construit son premier bâtiment en 2005. Il atteint aujourd'hui une dimension européenne et regroupe 350 personnes sur un site de 22 000 m<sup>2</sup>. Situé en France ; département de la Savoie, la commune du Bourget-du-Lac, Savoie



Figure 85 : Installation de l'institut INES (Source : Internet)

Techno lac

##### ▪ Implantation du campus INES :

1. ■ Hélios : Siège administratif, formation et évaluation, solaire organique et bâtiment.
2. ■ Démonstrateurs expérimentaux : Energétique du bâtiment.
3. ■ Lynx 4 : Modules photovoltaïques
4. ■ Lynx 2 : Stockage de l'énergie
5. ■ Lynx 3 : Stockage et systèmes électriques
6. ■ Puma 2 et 3 : Cellules solaires et solaire thermique
7. ■ Alouette 3 : Matériau silicium
8. ■ Gazelle : Matériau silicium
9. ■ Puma 1 : Matériau silicium

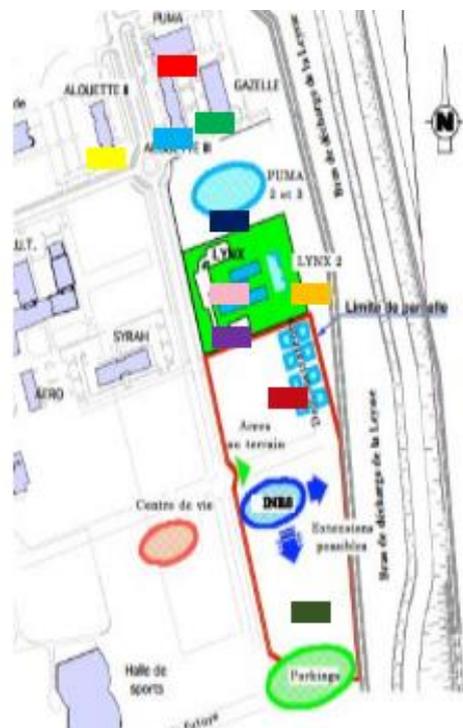


Figure 86 : Plan de masse d'INES (Source : Internet)

- **Les différentes zones composantes du Campus :**

- Recherche Développement Innovation industrielle.
- Démonstration.
- Formation, sensibilisation et centre de ressource.

- **Environnement immédiat :**

Le terrain est situé dans le parc « Savoie Technolac » sur le territoire de la commune du Bourget-du-Lac. Ce dernier rassemble 230 entreprises, 1 000 chercheurs et 5 000 étudiants. Bordé à :

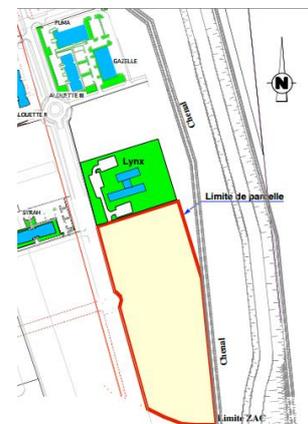
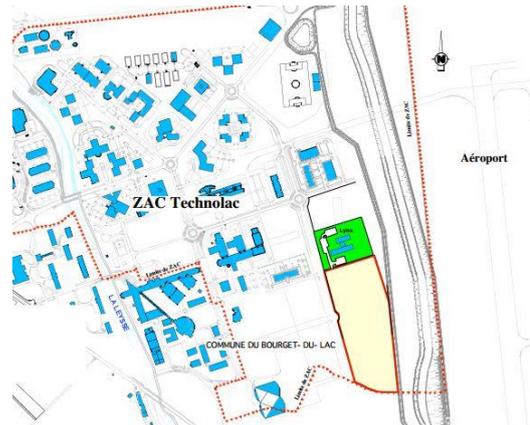
- L'est par l'aéroport Chambéry Savoie Mont Blanc. L'ouest par INSEEC U. Campus Chambéry

Figure 87 : Environnement immédiat d'INES

- Le nord par Schneider Electric Industries
- Le sud par Certisolis, Laboratoire d'essais et certification photovoltaïque

- **La parcelle :**

La parcelle de forme proche du rectangle, a pour dimensions environ 335 x 130 m pour une surface d'environ 39 580 m<sup>2</sup>. Le Terrain est pratiquement horizontal. Le niveau naturel du terrain est au environ de 235 m.



#### IV.1.3.2 Analyse fonctionnel :

- **Schéma fonctionnel de l'institut :**

La réalisation est présentée autour de trois composantes mais le concept privilégiera la vision et l'intégration du tout plutôt que les juxtapositions des trois axes. L'harmonie entre lieux de vie et lieux techniques et a limitation des contraintes de déplacement.

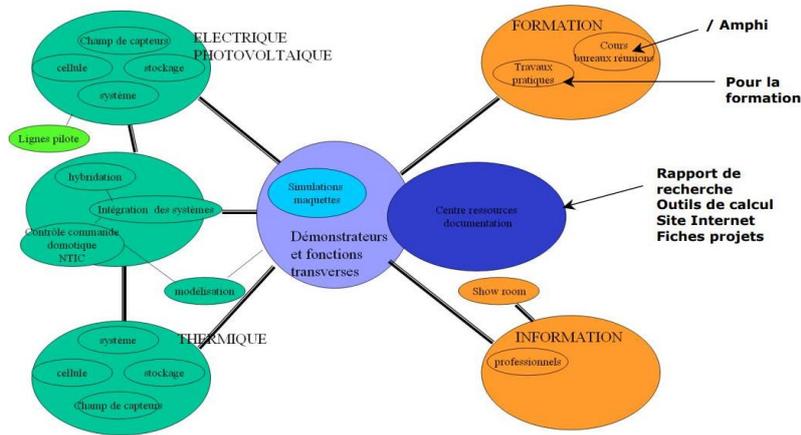


Figure 88 : Schéma fonctionnel d'INES (Source :)

▪ **Programme et schéma de principe de chaque entité :**

**1. Direction et formation :**

- **Programme surfacique :**

Espace	Effectif	Surface	T
Directeur	1	18	18
Directeur adjoint	1	15	15
Administration INES	2	12	24
Administration INES	2	18	36
Responsable formation	1	15	15
Adjoint formation	1	12	12
Bureaux individuels	3	12	36
Bureaux 3 personnes	3	24	72
Salle de cours informatiques 20p	1	50	50
Salle de cours 50 places	1	80	80
Salle de stockage	1	20	20
Documentation	1	80	80
Reprographie commune	1	20	20
Archives spécifiques	1	10	10

**2. Cellules Photovoltaïques LMOPS ET LCS :**

**Programme surfacique :**

Espace	Nombre	Surface	Totale
Secrétariat / local archives	1	20	20
Bibliothèque	1	20	20
Bureau direction et responsable	2	15	30
Bureaux 02 personnes	12	18	216
Bureaux 03 personnes	6	24	144
Laboratoire caractérisation I	1	50	50
Laboratoire optique/laser	1	45	45

Laboratoire RMN	1	40	40
Laboratoire pour DDL (laser)	1	15	15
Laboratoire perméation	1	20	20
Laboratoire caractérisation 2	1	50	50
Laboratoire caractérisation 3	1	60	60
Laboratoire techno cellules	2	100	200
Laboratoire inactinique	1	30	30
Laboratoire chimie solvants	1	50	50
Laboratoire chimique acides	1	30	30
Laboratoire de synthèse	5	40	200
Laboratoire préparation membrane/échantillons	1	15	15
Laboratoire microonde, chromato flash	1	15	15
Laboratoire hydrogénation	1	15	15
Local stockage de matériel	1	10	10
Local stockage de matériel	1	10	10
<b>Surface Total</b>			<b>1325</b>

- **Schéma de principe :**

- 1) Les deux laboratoires techno-cellule sont communicants.
- 2) Le laboratoire inactinique sera en relation avec l'un des laboratoires techno cellule, ainsi qu'un laboratoire de caractérisation.
- 3) Les laboratoires de chimie (acides et solvants) seront regroupés et proches d'un laboratoire de caractérisation.
- 4) Les locaux stockages de matériel et produits chimiques sont proches d'un laboratoire de synthèse.
- 5) Les bureaux sont regroupés loin de la surface de recherche.

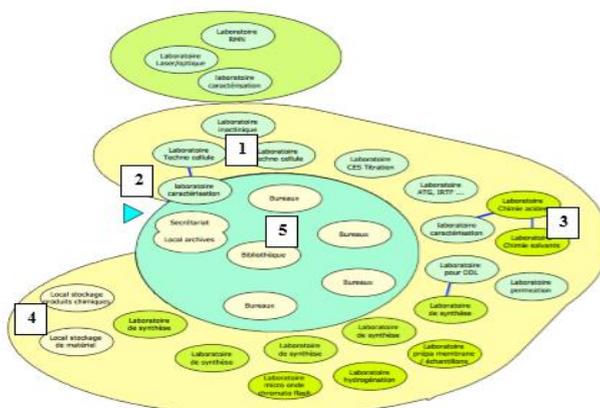


Figure 89: Schéma de principe de la Cellules Photovoltaïques LMOPS ET LCS (Source : Archdaily.com)

**3. Système thermique :**

### Programme surfacique :

Espace	Effectif	Surface	T
Plateau technique	1	310	310
Bureaux 4 personnes	4	32	128
Salle ordinateurs 20 places	1	50	50
Bureaux doubles	14	18	252
Bureau responsable	1	15	15
Secrétariat	1	12	12
Local techniciens 2 personnes	1	18	18
Salle manipulations	4	40	160
Salle stagiaires 4 personnes	1	32	32
Impressions et archives	1	12	12
Salle de réunions 15 personnes	1	25	25
Salle de réunions 20 personnes	1	35	35
<b>Surface Totale</b>			<b>1049</b>

#### - Schéma de principe :

- 1) La salle ordinateurs sera située en rez-de-chaussée et aisément accessible depuis l'ensemble Direction Formation de l'INES.
- 2) En étage, regroupés dans un même ensemble, on trouve le reste des locaux du Laboratoires. Une circulation aisée doit être prévue entre ces locaux et ceux du Rez-de-chaussée. L'accès au Laboratoire se fait en passant devant le secrétariat qui peut remplir la fonction d'accueil et de filtre des visiteurs.

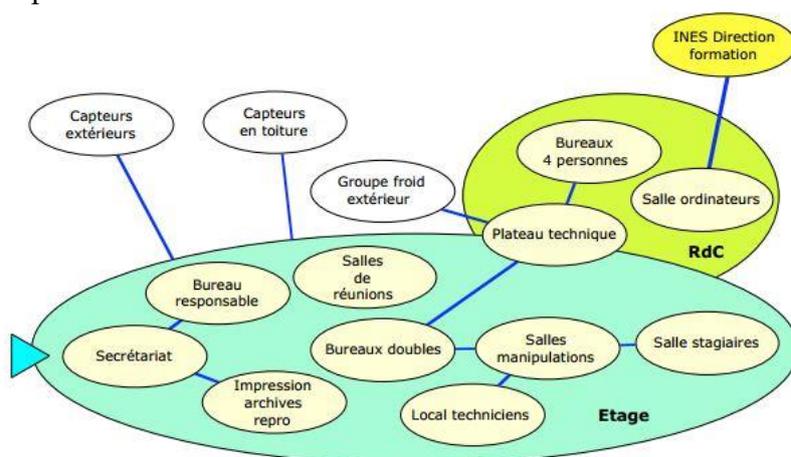


Figure 90: Schéma de principe de la Cellules système thermique (Source : Archdaily.com)

- **Système électrique :**

- **Programme surfacique :**

Espace	Effectif	Surface	T
Bureaux doubles	8	18	144
Labo caractérisation stockage	1	40	440
Laboratoire mesures PV	1	40	40
<b>Total systèmes électriques</b>			<b>224</b>

- **Analyse architecturale :**

- **Traitement des façades :**

Ces quatre façades homogènes, ont toutefois été pensées individuellement pour répondre à leur propre problématique d'orientation



Figure 91: Département de formation et administration de INES (Source e : ArchDaily.com)

- Inclinée à 30° sur l'horizontal avec une grande aile qui porte des capteurs thermiques vers le sud .

- Des verrières de l'atrium qui s'ouvrent vers le nord sous l'inclinaison qui se trouve dans la toiture.

- Elle s'ouvre à la brise du nord pour prendre toute sa capacité à rafraîchir son atrium en même temps qu'il s'en protège.



- Pour rendre noble une façade qui n'est pas directement exposée au soleil les architectes ont su faire preuve d'audace en proposant de réaliser un cadran solaire par réflexion, deux



Figure 92: Façade NORD d'INES (Source : Archidaily.com)

miroirs placés sur des mats vont réfléchir la lumière du soleil sur une grand-voile de béton courbe.

- Une façade mobile composée de grandes lames de brises soleil sérigraphies est orientée automatiquement en fonction du soleil.
- Sur la façade Est le bâtiment est doté d'une étagère à lumière.



Figure 93: Façade OUEST d'INES (Source : Archidaily.com)

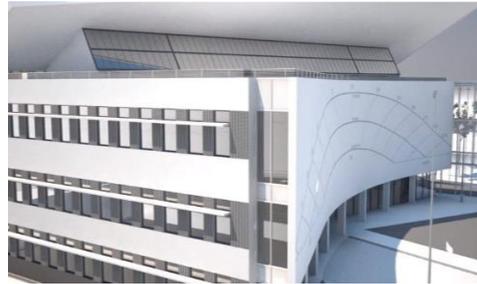


Figure 94: Figure 89 : Façade EST d'INES (Source : Archidaily.com)

#### IV.1.3.3 Elements de l'architecture bioclimatique du bâtiment :

- **Optimisation des apports gratuits, internes et externes :**
  - Ces apports sont optimisés grâce à la différenciation des façades.
  - La conception des baies vitrées et leur protection solaire basée sur une optimisation multicritères
  - Des protections solaires limitent le recours à des dispositifs de rafraîchissement ou climatisation actifs.
  - L'atrium central, véritable poumon du bâtiment, au climat tempéré et contrôlé, permet d'optimiser l'éclairage naturel, de réduire les déperditions et de favoriser la ventilation naturelle des locaux.
- **Limitation des besoins de chaleur et de froid :**

La compacité du bâtiment limite les surfaces déprédatives en offrant le meilleur rapport entre celles-ci et les volumes chauffés : un rectangle de 50x65 m, rendu possible grâce à la présence d'un atrium central.

#### IV.1.3.4 Synthèses :

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
1. Un projet très innovant en question de HPE et production énergétique 2. L'emplacement du projet est loin des zones résidentielles. 3. La simplicité de la masse et les façades et leur modernité. 4. La hiérarchisation des espaces selon leurs fonctions. 5. L'application des systèmes et des conceptions moderne et développé qui participe à la performance du bâtiment.	1. La conception de chaque bâtiment est indépendante des autres bâtiments, de sorte qu'il n'a pas de cohérence entre les unités. 2. Les espaces sont éloignée l'un de l'autre ce qui rends le déplacement un peu difficile.

Figure 95 : Avantages et inconvénients de l'exemple 03 (Source : Auteur)

▪ **Les notes appris à partir de cette analyse :**

- La nécessité de l'application des principes de durabilité et de l'utilisation d'énergies alternatives pour créer un environnement convivial.
- Assurer la fourniture de toutes les activités complémentaires du centre.
- Concevoir des laboratoires avec de bonnes spécifications qui comprennent toutes les conditions de service, sécurité et sécurité préventive.
- L'emplacement du projet doit être dans une zone avec des bâtiments similaires à l'activité de notre projet.

▪ **Tableau comparatif :**

<b>Entité</b>	<b>Exemple 01</b>	<b>Exemple 02</b>	<b>Exemple 03</b>
<b>Recherche</b>	✓	✓	✓
<b>Formation</b>	✓	✓	✓
<b>Bâtiment performant (Ecologique)</b>	✓	✓	✓
<b>Production</b>	✓	✓	✓
<b>Expérimentation et démonstration</b>	✓	✓	✓
<b>Détente</b>	✓	✓	✓

#### **IV.1.4 Définition du centre de recherche :**

##### **Définition du centre :**

Un centre est un lieu privilégié de développement de la recherche jouissant d'une certaine stabilité. Son rôle consiste pour l'essentiel à consolider des ressources humaines autour d'une thématique bien définie, généralement multidisciplinaire, et à coordonner les activités de plusieurs chercheurs ou équipes de chercheurs.

##### **Définition de la recherche scientifique :**

La recherche scientifique désigne en premier lieu l'ensemble des actions entreprises en vue de produire et de développer les connaissances scientifiques. « La recherche est un effort pour trouver quelque chose ou un effort de l'esprit vers la connaissance (Le grain, M., 1994, p. 945). La recherche scientifique est « un processus d'investigation systématique qui est destiné à récolter ,analyser, interpréter et utiliser les données pour comprendre ,décrire , prédire et contrôler les phénomènes naturels ou pour libérer les individus de certains contexte

» <sup>58</sup>

##### **a. Typologie du domaine de la recherche :**

- Recherche fondamentale : Qui s'applique à tous les domaines des sciences exactes tels que : mathématique, physiques ; chimie, etc. Ainsi que les sciences sociales et humaines
- Recherche appliquée : Qui s'applique à un domaine bien spécifique et qui est dirigée vers un but ou un objectif pratique tel que le centre national d'étude des télécommunications
- Recherche de développement : qui consiste en l'application de ces connaissances pour la fabrication de nouveaux matériaux, produits ou dispositifs.

##### **b. Classification des établissements de la recherche :**

---

<sup>58</sup> D.M. Mertens Le grain, M., 1994, p. 945

<b>Laboratoire de recherche</b>	<b>Unité de recherche</b>	<b>Centre de recherche</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>est la structure de base pour conduire et réaliser des activités de recherche scientifique et de développement technologique, dans le cadre des orientations générales définies par le conseil supérieur de la recherche scientifique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>est une structure constituée par un groupe de chercheurs collaborant à la conduite de travaux de recherche sur une thématique particulière. une unité de recherche doit comprendre au minimum 6 personnes .Il contient plus de 3 laboratoires.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>est un organisme public de recherche fondamentale (Etablissement public à caractère scientifique et technologique, placé sous la tutelle du Ministre chargé de la Recherche). Il englobe plusieurs unité de recherche</li> </ul>

#### **IV.1.4.1 Centre de recherche et développement des énergies renouvelable en Algérie :**

Le Centre de Développement des Énergies Renouvelables (CDER) est un Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique (EPST) placé sous la tutelle du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. Le CDER a été créé suite à la restructuration du Haut-Commissariat à la Recherche par décret n°88-60 du 22 mars 1988, modifié et complété par le décret n°03-456 du 01 décembre 2003 et régi par le décret exécutif n°11-396 du 24 novembre 2011 fixant le statut-type de l'EPST. Le CDER est doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière<sup>59</sup>.

##### **a. Les unités de CDER :**

Le CDER s'étend sur 04 wilayas avec 03 unités de recherches localisées à Ghardaïa (Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables - URAER), à Adrar (Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien - URERMS) et à Tipaza (Unité de Développement des Equipements Solaires - UDES) et de 05 divisions de recherche localisées au sein du siège (Centre).

##### **b. Les missions de CDER :**

Conformément à ses missions statutaires, le CDER s'attèle à développer des connaissances scientifiques et des outils d'aide à la décision permettant de promouvoir le développement des énergies renouvelables à même de préserver les ressources fossiles, de diversifier les sources d'énergies et de protéger l'environnement, et ce en adéquation avec la stratégie du développement durable adoptée dans notre pays. Il est chargé d'élaborer et de mettre en

<sup>59</sup> Performance de la Recherche et de l'Innovation au CDER 2015 PDF

œuvre les programmes de recherche et de développement, scientifiques et technologiques, des systèmes énergétiques exploitant l'énergie solaire, éolienne, géothermique et l'énergie de la biomasse.<sup>60</sup> .

**c. Divisions de recherche :**

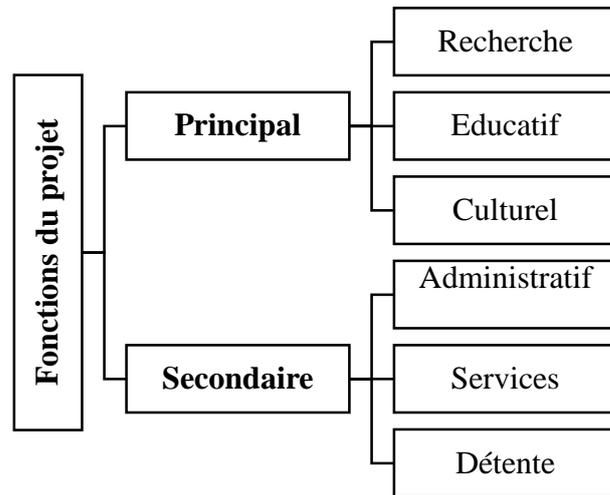
- Division Energie Eolienne (EOL.CDER)
- Division Solaire Thermique et Géothermie (TH. CDER)
- Division Bioénergie et Environnement (BIO.CDER)
- Division Hydrogène Energies Renouvelables (H2. CDER)
- Division Energie Solaire Photovoltaïque (PV. CDER)
- Division Equipements en Energies Renouvelable (EER.UDES. CDER)
- Division Froid et Traitement des Eaux par EnR (FTEER.UDES. CDER)
- Division Mini Centrales Solaires (MCS.URAER. CDER)
- Division Application des Energies Renouvelables dans les Milieux Arides et Semi-arides (AERMASA.URAER. CDER)
- Division Conversion Photovoltaïque (CPV.URERMS. CDER)

**IV.1.5 Programmation spatiale et fonctionnelle :**

**IV.1.5.1 Les utilisateurs du centre :**

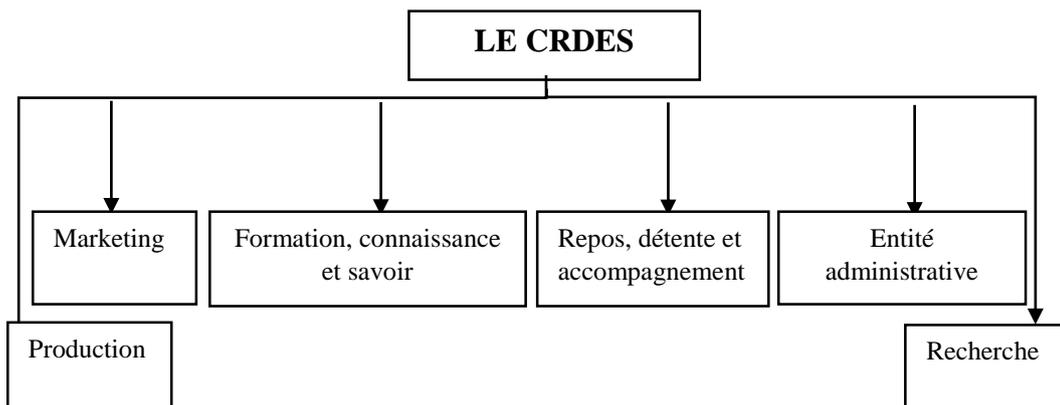
<b>Chercheur</b>	<b>Techniciens et ingénieurs</b>
1. Chercheurs en énergies solaire 2. Chercheurs en énergies solaire Thermique 3. Chercheurs en énergies solaire PV	1. Ingénieurs et Tech en énergie solaire 2. Ingénieurs et Tech en PV3. 3. Ingénieurs et Tech en ES Thermique 4. Des enseignants
<b>Etudiants</b>	<b>Publics</b>
1. Etudiants en énergies. 2. Publics des conférences et formations.	1. Visiteurs des expositions 2. Visiteurs de centre de recherche 3. Des sociétés d'investissement associées
<b>Structure administrative</b>	<b>Fonctionnaires</b>
1. Directeur général 2. Directeur du marketing	1. H/F de ménage 2. Agents d'entretien

<sup>60</sup> Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Direction Générale de la Recherche Scientifique PPT



3. Directeur de relations extérieures	3. Agents de sécurité
4. Responsable des projets	4. Des jardiniers
5. Les employés	

**IV.1.5.2 La structure du centre de recherche :**



**IV.1.5.3 Fonctions du projet :**

#### IV.1.5.4 Programme retenu :

D'après l'analyse des exemples avec leur programme et le programme officiel, on conclut avec le programme retenu ci-après.

<b>Fonction principal</b>	<b>Espace</b>	<b>Effectif</b>	<b>Surface</b>	<b>T</b>
<b>Accueil et réception</b>	1. Hall d'accueil	02	200	400
	2. Espace d'accueil et d'information	02	25	50
	3. Sécurité et contrôle	02	30	60
<b>Entité administrative</b>	1. Bureau directeur général	01	35	35
	2. Bureau de responsable des départements	02	30	60
	3. Secrétariat		25	
	4. Employés	/	20	/
	5. Salle des réunions	06	40	240
	6. Bureau de scolarité	04	25	100
	7. Bureau DRH	01	35	35
	8. Bureau Comptabilité	01	25	25
	9. Service de marketing	01	25	25
	10. Bureau d'informatique	04	25	100
	11. Attente		25	25
<b>Entité repos, détente et accompagnement</b>	1. Lounge	02	120	240
	2. Cafétéria et restauration	02	200	400
	3. Jardin public	01	120	120
	4. Jardin privé	02	120	240
	5. Salle de prière	04	50	200
<b>Entité marketing</b>	1. Exposition	01	150	150
	2. Bureau de coordination	01	30	30
	3. Sensibilisation et information	01	20	20
	4. Bureau de presse	01	25	25

<b>Production</b>	1. Champ de panneau solaire	01	300	300	
	2. Terrasse d'expérimentation	/	/	/	
<b>Entité étude et formation</b>	1. Salle de classe	06	60	360	
	2. Salle de conférence	04	80	320	
	3. Salle de projection	03	10	360	
	4. Salle des enseignants	02	40	80	
	5. Bibliothèque	01	200	200	
	6. Pole d'actualité	02	40	80	
	<b>Service de gestion de l'entité :</b>				
	• Bureau scolarité				
	• Bureau responsable du service	03	20	60	
	• Secrétariat	01	25	25	
• Bureau d'enseignant	01 06	15 15	15 90		
<b>Stockage</b>	- Stockage solaire	01	60	60	
	- Stockage matière première	04	30	120	
	- Batterie solaire	01	100	100	
	- Stockage matière dangereuse	02	40	80	

Entité de recherche	<b>Energie solaire Photovoltaïques :</b>			
	1. Laboratoire	10	130	1300
2. Atelier	02	120	240	
3. Bureau de chercheurs	04	20	80	
4. Bureau d'ingénieurs	04	20	80	
5. Bureau de superviseur	10	25	250	
6. Salle d'informatique	02	20	40	
7. Secrétariat	01	100	100	
8. Bureau chef de département	01	30	30	
9. Magasinier	01	25	25	
10. Salle d'expérimentation	01	120	120	
	<b>Energie solaire Thermique</b>			
1. Laboratoire	10	130	1300	
2. Ateliers	02	120	240	
3. Bureau de chercheurs	04	20	80	
4. Bureau d'ingénieurs	04	20	80	
5. Bureau de superviseur	10	25	250	
6. Salle d'informatique	02	20	40	
7. Secrétariat	01	100	15	
8. Bureau chef de département	01	30	30	
9. Magasinier	01	25	25	
10. Salle d'expérimentation	01	120	120	

#### IV.2 Analyse de site :

Cette partie vient, en premier lieu, pour présenter ou se situe notre terrain d'intervention afin d'avoir un aperçu sur : sa situation géographique, son climat et ses reliefs...etc. ce qui va nous aider à comprendre les principaux opportunités et contraintes du terrain d'intervention et nous aider à la conception.

#### IV.2.1 Présentation de la ville de Guelma :

##### ▪ Situation géographique :

La Wilaya de Guelma se situe au Nord-est du pays et constitue, du point de vue géographique, un point de rencontre, voire un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba et Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum El Bouaghi et Tébessa). Elle occupe une position médiane entre le Nord du pays, les Hauts plateaux et le Sud.



Figure 96 : La carte de la Wilaya de Guelma (Source : Andi)

#### IV.2.2 La wilaya dans quelques chiffres :

##### ▪ Structure de la Population :

La population totale de la wilaya est estimée à 506.007 habitants, soit une densité de 135 habitants par Km<sup>2</sup>.

##### ▪ Le relief :

La géographie de la Wilaya se caractérise par un relief diversifié dont on retient essentiellement une importante couverture forestière et le passage de la Seybouse qui constitue le principal cours d'eau.



Figure 97: Vue sur le relief de la Wilaya (Source : Internet)

Ce relief se décompose comme suit :

##### ▪ Montagnes : 37,82 % dont les principales sont :

- 1 – Mahouna (Ben Djerrah) : 1.411 M d'Altitude
- 2 – Houara (Ain Ben Beidha) : 1.292 M d'Altitude
- 3 – Taya (Bouhamdane) : 1.208 M d'Altitude
- 4 – D'bagh (Hammam Debagh) : 1.060 M d'Altitude

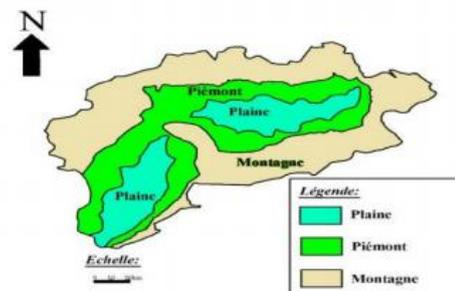


Figure 98 : Géomorphologie de la wilaya de Guelma (Source : Mémoire de fin d'étude de KHITER Fares, Université de Guelma)

##### ▪ Plaines et Plateaux : 27,22 %

- **Collines et Piémonts** : 26,29 %
- **Autres** : 8,67 %

▪ **Le climat :**

Le territoire de la Wilaya se caractérise par un climat subhumide au centre et au Nord et semi-aride vers le Sud. Ce climat est doux et pluvieux en hiver et chaud en été. La température qui varie de 4° C en hiver à 35.4°C en été, est en moyenne de 17,3° C.<sup>61</sup>

▪ **La température :**

Le facteur de la température de l'air a une grande influence sur le bilan hydrique du fait qu'il conditionne l'évaporation et l'évapotranspiration réel.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
<b>Températures moyennes en (°C)</b>	9,47	10,41	13,06	16,55	21,54	25,37	29,71	29,35	24,71	20,24	14,11	10,13

Tableau 12 : Les températures moyennes mensuelles à la station de Guelma (1992/2017) (Source : Mémoire de fin d'étude de KHITER Fares, Université de Guelma)

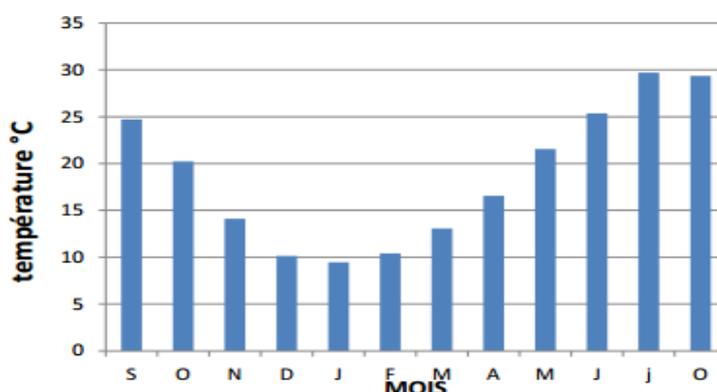


Figure 99: Un diagramme représentant les températures moyennes mensuelle de Guelma en (°C) (Source : Auteur)

---

<sup>61</sup>Agence Nationale de Développement de l'Investissement

- **Les précipitations :**

La précipitation est la totalité de la lame d'eau quantifiée par la pluviométrie, elle est d'origines divers : pluie, neige, etc...

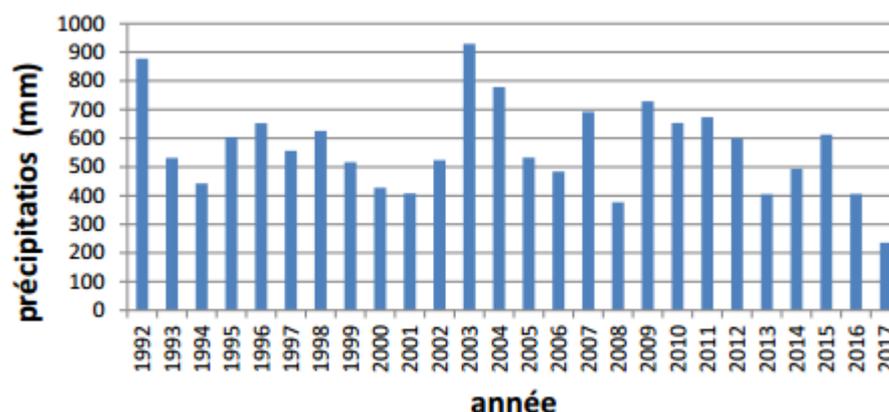


Figure 100: Un diagramme représentant les précipitations annuelles en mm de la ville de Guelma. (Source : Auteur)

- **Les vents :**

Les vents prédominants sont d'une vitesse moyenne qui varie de 1.46 à 2m/s, ils sont de diverses directions. Ceux de nord-ouest, ils atteignent leur maximum au mois de décembre et leur minimum au mois de juillet, à 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.

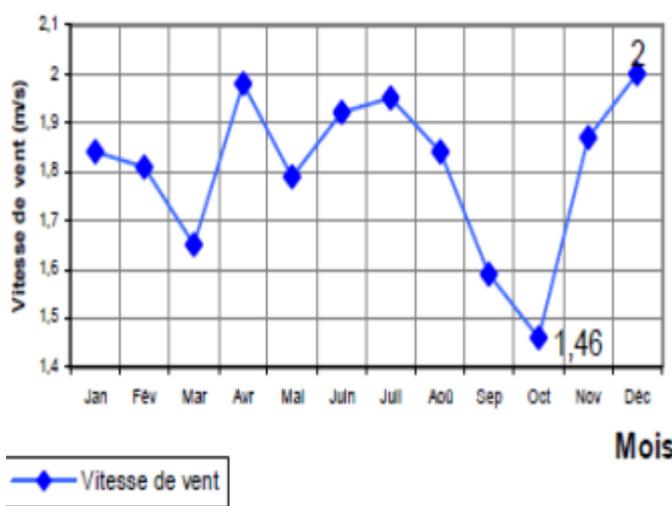


Figure 101 : Diagramme des vents (Source : Mémoire de fin d'étude, Riffi Lamis. Université de Guelma)

- **Les opportunités d'investissements de la wilaya :**

La vocation agro pastorale de cette wilaya est fortement marquée de par les atouts dont elle dispose. Plusieurs créneaux s'offrent aux investisseurs pour intensifier cette vocation première et créer de la valeur ajoutée par intégration verticale des activités.

- **Secteur de l'Agriculture :**

**S.A.T** : 264.618 **ha**, soit 71,77 % de la superficie totale de Wilaya.

**S.A.U** : 187.338 **ha**, soit 50,81 % de la superficie totale de Wilaya.

**Superficie Irriguée** : 11.841 ha, soit **6.32** % de la S.A.U.

Cependant, il est attendu que cette superficie évoluera à la hausse grâce à la mise en service totale du périmètre d'irrigation et aux autres projets de mise en valeur en irrigué, pour atteindre, à long terme, 26000 ha, soit 13,88 % de la S.A.U.

▪ **Secteur du Tourisme :**

La Wilaya de Guelma recèle d'importantes potentialités touristiques :

**Thermes** : De nombreux sites notamment ceux de Hammam Debagh et de Hammam Ouled Ali.

**Sites et monuments naturels et historiques :**

- Grande cascade de Hammam Debagh.
- Sites forestiers : forêts de Mahouna et Béni Salah.
- Lac souterrain (Bir Osman) à Ain Hessainia.
- Théâtre Romain et musée antique à Guelma.
- Nécropole Musulmane de Roknia.



Figure 102: Sites et monuments naturels et historique de la ville de Guelma (Source : Internet)

**IV.2.3 Motivation de choix du terrain :**

- Pas loin du centre-ville une distance de 2Km ainsi que la présence des points de repères comme un point positif qui facilitent l'accès au site.
- Emplacement stratégique en termes d'exposition au soleil et aux vents.
- L'absence des mitoyens nous offre la possibilité d'ouvrir dans les différents cotés.
- Situé près du pôle universitaire, ce qui le rend plus pratique et accessible.



## IV.2.3.2 Analyse de terrain :

### IV.2.3.2.1 Présentation et délimitation du terrain :

Le Terrain choisi est situé à la partie ouest de la wilaya de Guelma. Et au Nord de l'université 08 Mai 1945.

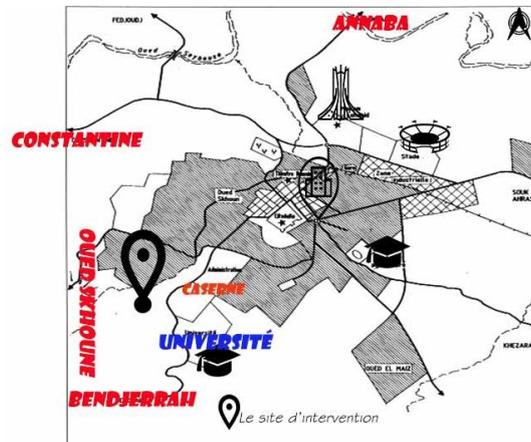


Figure 106 : Situation du terrain par rapport au centre-ville de la wilaya de Guelma (Source : Auteur)

Notre site est limité comme suite :

- **NORD** : Zone résidentiel d'habitats individuels et la galère d'oued s'khouné.
- **SUD** : Direction d'emplois, Cité universitaire Saleh Yahia et l'Université de 08 Mai 1945.
- **EST** : Ecole militaire, Zone résidentiel d'habitations individuels.
- **OUEST** : Zone résidentiel.

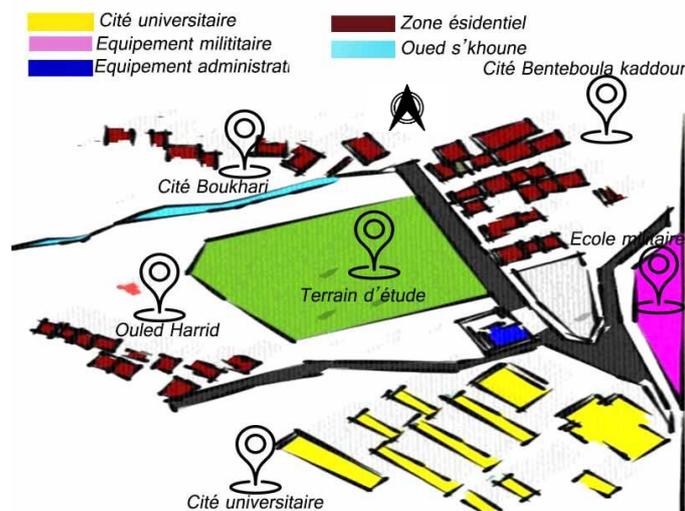


Figure 107 : Limitation du terrain d'étude (Source : Auteur)

#### IV.2.3.2.2 Analyse du milieu physique :

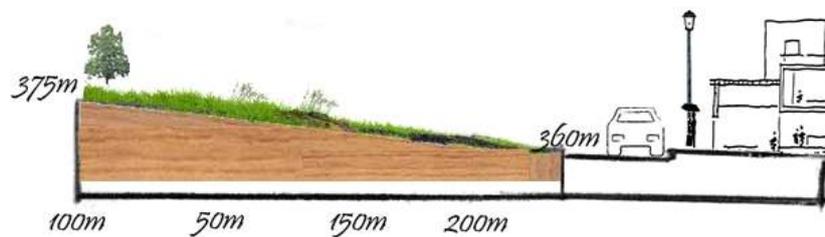
- **Morphologie du terrain :**

Forme : Régulière, sous forme d'un rectangle.

Surface totale : 2.4 Hectares

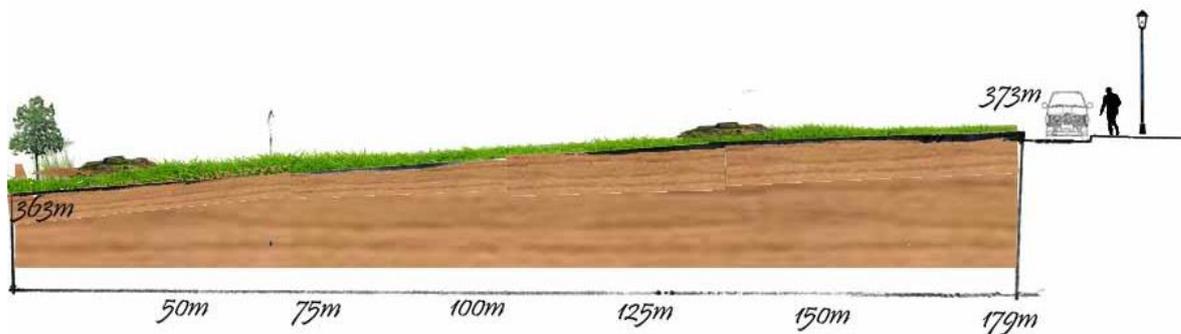
- **Topographie :**

Le terrain présente un relief apparent, avec des pentes moyennes, avec un pourcentage varie entre 5 et 6%. C'est ce que le fait s'inscrire dans une pente assis importante d'une direction du Sud vers le Nord et Est vers l'Ouest, Ce qui le rend favorable à toute construction, sans nécessité des terrassements de grand masse.



*Coupe longitudinale*

Figure 108 : Coupe longitudinale direction Est-Ouest (Source : Auteur)



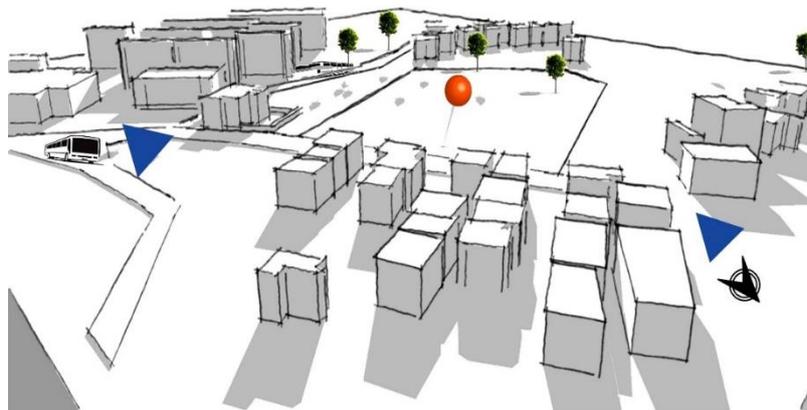
*Coupe transversale*

Figure 109 : Coupe transversale direction Nord-Sud (Source : Auteur)

#### IV.2.3.2.3 Analyse technique :

- **Circulation et accessibilité :**

Notre terrain il est mal accessible, On trouve uniquement deux accès qui donnent vers la même voie, ce qui lui rend mauvais en termes d'accessibilité.



Le site d'étude  
 Les accès

Figure 110 : Accessibilités vers le terrain d'étude (Source : Auteur)

▪ **La trame viaire :**

La trame viaire est composé de deux types de voies, classé selon : La largeur, La fréquentation et le flux

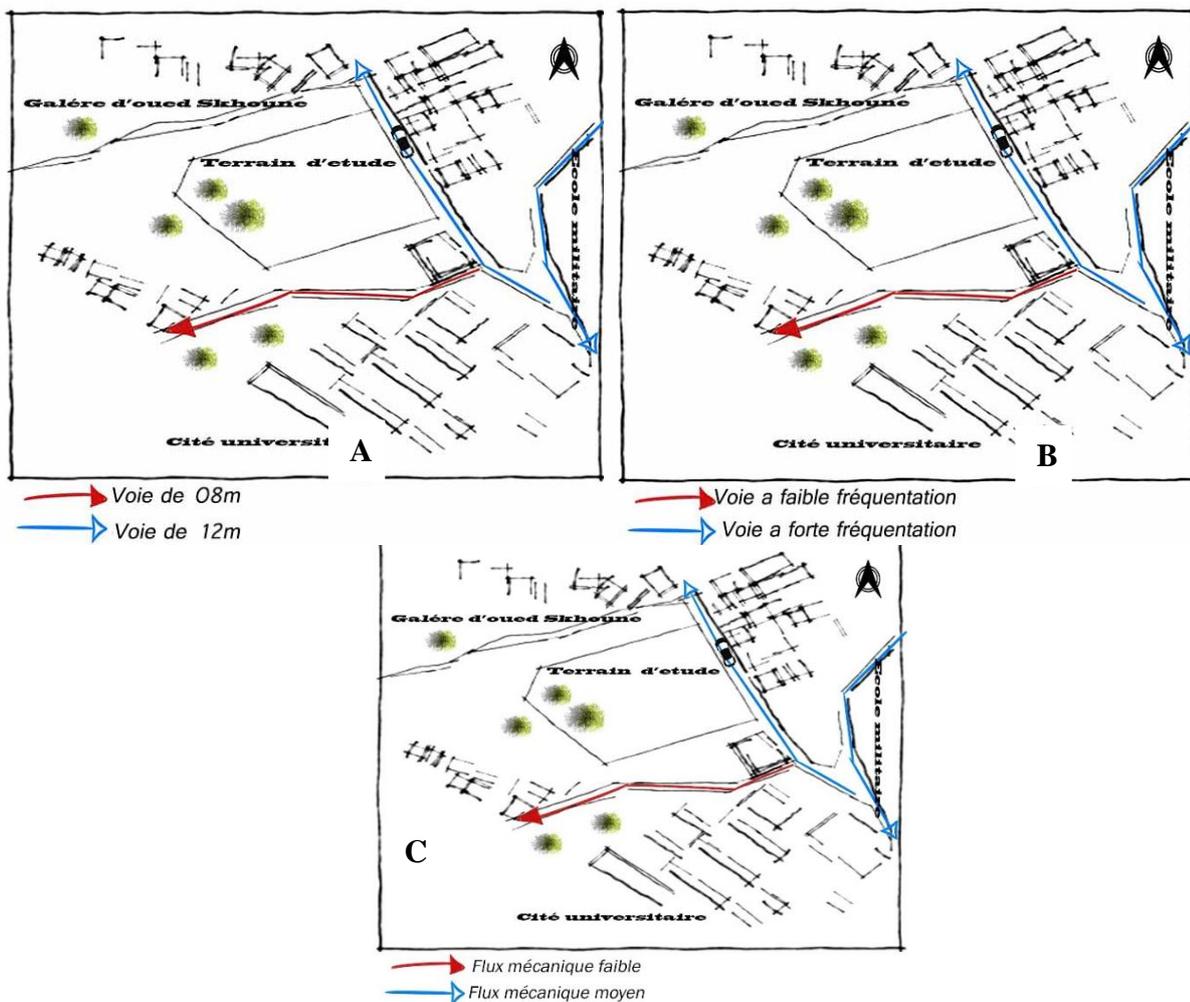


Figure 111 : Classification des voies de circulation selon : A/ La largeur B/ La fréquentation C/ Le flux. (Source : Auteur)

#### IV.2.3.2.4 Analyse climatique du terrain :

##### ▪ Ensoleillement :

Les résultats montre que le terrain est ensoleillée durant toute l'année et vu l'absence des obstacles matériels et naturels dans le site, on peut conclure que le terrain est bien exposé aux rayonnements solaires, pour favoriser les apports solaires passifs.



Figure 112 : Calcul de la position du soleil dans le ciel dans les mois de décembre, juin et mars (Source : SunEarthTools.com)

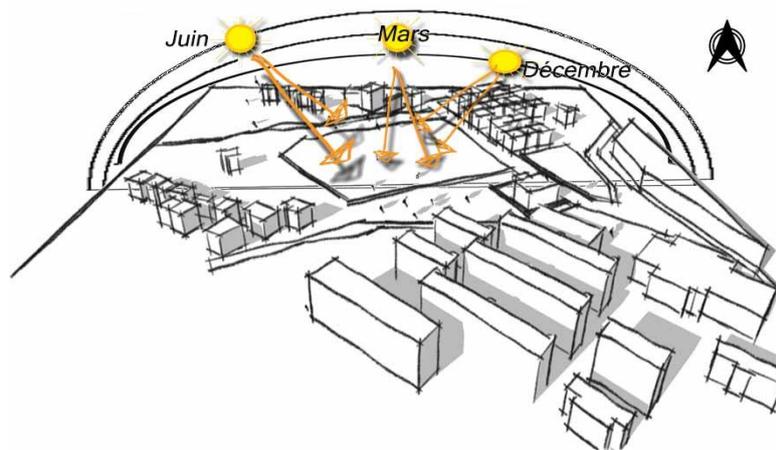


Figure 113: Schéma démonstratif montrant la position du soleil dans les mois de décembre, mars et juin (Source : Auteur)

##### ▪ Ventilation :

Selon l'étude des vents de la région de Guelma, on remarque qu'il y a deux types des vents principaux dans deux saisons défèrent :

- Le premier d'été qui vienne du côté Sud-Est et qui se caractérise par une température élevé.
- Le deuxième c'est qui vienne du côté Nord-Ouest, Nord, ces vents sont les plus fréquente se caractérise par une température moins chaude, Rafraichissants et humides, Ces aires froides se minimisent en arrivants à chaque obstacle.

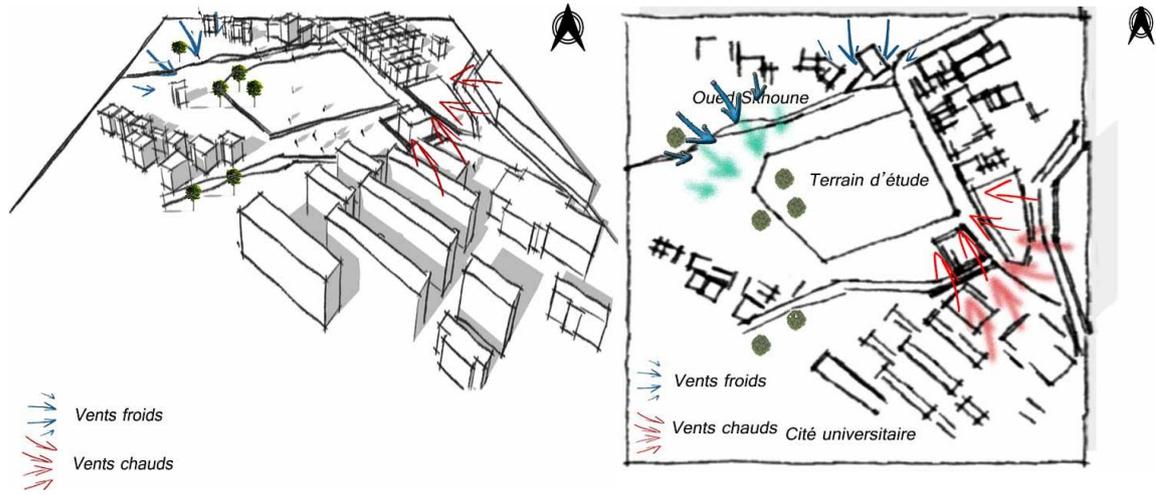


Figure 114 : Direction des vents dominants. (Source : Auteur)

## **Conclusion générale :**

Le secteur du bâtiment est l'un des secteurs les plus dynamiques dans les pays émergents, résultat d'un rythme élevé de croissance de la population et d'urbanisation. L'Algérie ne fait pas exception, dont la croissance de sa population est spectaculaire. La surconsommation d'énergie constitue une réalité dans le bâtiment du fait de son impact sur l'environnement de cela le secteur du bâtiment se positionne comme un acteur majeur pour répondre aux défis de l'efficacité énergétique et pour permettre d'amoindrir les dérèglements des équilibres climatiques dus à l'usage dispendieux des énergies fossiles responsable des émissions de Gaz à effets de serre.

La maîtrise de l'énergie est un enjeu majeur du développement économique qui va de pair avec le développement durable. Construire des bâtiments plus économes en énergie, sans réduire leurs performances et sans induire d'impact négatif sur l'environnement, est devenu un enjeu clé de la politique énergétique algérienne. Ce dernier a orienté les architectes à réfléchir autrement. Il s'avère donc nécessaire d'améliorer l'efficacité énergétique de ce secteur et réduire son impact environnemental.

Le « bâtiments à basse consommation » est un concept de bâtiment performant. Il peut constituer l'une des réponses possibles aux défis énergétiques et environnementaux d'aujourd'hui. En Algérie ce secteur est encore peu mis en œuvre et difficilement accessible. Il s'agit donc d'un nouveau-né qui fasse ses premiers pas. La réalisation de bâtiments à faible consommation d'énergie est un processus complexe qui nécessite le développement d'outils performants d'assistance à leur conception, leur construction et leur maintenance. Pour réussir un bâtiment BBC, plusieurs solutions et paramètres peuvent être mis en œuvre de manière complémentaire qui agissent sur le comportement thermique du bâtiment dont la forme, l'orientation, ses éléments constructifs et les aménagements intérieurs ainsi que le recours à l'intégration au bâtiment des sources d'énergies renouvelables qui permettent d'acquérir une certaine autonomie énergétique et de réaliser des économies à moyen et long terme.

## **Bibliographie :**

- Agence Nationale de Développement de l'Investissement. (2019, 11 05). Récupéré sur Agence Nationale de Développement de l'Investissement: <http://andi.dz/index.php/fr/>
- (Mohammed, M. (2011). Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance. Chlef.
- ( 01-02 2002). « Etude pour une Prospective Energétique Concernant la France » . Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières.
- (2019, 10 10). Récupéré sur Www.aprue.dz.
- (2019, 10 09). Récupéré sur Aps: [www.aps.dz](http://www.aps.dz)
- Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie. (2019, 10 10). Récupéré sur Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie: <http://www.aprue.dz>
- AITF/EDF. (s.d.). BATIMENT BASSE CONSOMMATION.
- Alain Liébard, A. D. (2005). Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable. France: Observ'ER.
- Algérie energie solaire et hydrogène. (2008).
- Algérie presse service. (2019, 10 09). Récupéré sur Algérie presse service: <http://www.aps.dz>
- Barde, J. P. (Décembre 1992). Economie et politique de l'environnement.
- Benalouache, N. (2017, Juin 30). L'énergie solaire pour la production d'électricité au Maghreb. transition énergétique et jeux d'échelles. Sfax, Sfax, Tunisie.
- Bibliothèque virtuelle L'effet de serre. (2019, 12 28). Récupéré sur Bibliothèque virtuelle L'effet de serre: <http://www.alloprof.qc.ca/BV/pages/s1353.aspx>
- Bontemps, S. (2015). Validation expérimentale de modèles : application aux bâtiments basse consommation. Bordeaux.
- BUSBY.Peter. (2001). Sustainable design fundamentals for building,. Canada: Beauregard Printers.
- Chlela, F. (2008). Développement d'une méthodologie de conception de bâtiments à basse consommation. La Rochelle.
- Claude-Alain., R. (2000). THERMIQUE DU BÂTIMENT, TOUT LE CONFORT AVEC PEU D'ÉNERGIE.

- consommation mondiale d'énergie. (2019, 12 26). Récupéré sur consommation mondiale d'énergie: <https://www.planetoscope.com/Source-d-energie/229-consommation-mondiale-d-energie-en-tep-.html>,
- DPE – Qu'est-ce qu'un Diagnostic de Performance Énergétique ? (2019, 24 12). Récupéré sur DPE – Qu'est-ce qu'un Diagnostic de Performance Énergétique ? : <https://www.geoplac.com/lexique-cee/dpe/>
- Fermaux, O. (1994). Industrie et environnement, les données du contentieux. Paris.
- François de Jouvenel, F. (s.d.). LA PROSPECTIVE DES TERRITOIRES:LA CONSTRUCTION DE SCENARIOS,ET QUELQUES AUTRES METHODES. Comité Interministériel des Villes.
- GAGNON, S. (2012). ÉNERGIE SOLAIRE ET ARCHITECTURE Les outils numériques et leur utilisation par les architectes pour la conception solaire. QUÉBEC: . ÉCOLE D'ARCHITECTURE DE L'UNIVERSITÉ LAVAL FACULTÉ D'AMÉNAGEMENT, D'ARCHITECTURE ET DES ARTS VISUELS.
- Guermazi Wassim. (2016). Cours de pollution et nuisance. Gabes: Faculté des sciences de Gabes, université de Gabes.
- Hannachi-Belkadi, N. K. (2008). Développement d'une méthodologie d'assistance au commissionnement. Paris: Université Paris-Est.
- Jean-David.Delord. (s.d.). Guide de la ventilation mécanique - Jean-David.Delord.
- Kaboré., M. (2015). Enjeux de la simulation pour l'étude des performances énergétiques des bâtiments en Afrique sub-saharienne. Grenoble Alpe.
- L'efficacité énergétique dans le bâtiment. (s.d.). Récupéré sur L'efficacité énergétique dans le bâtiment: CDER.DZ
- l'évolution de la réglementation thermique. (2020, 02 02). Récupéré sur l'évolution de la réglementation thermique: <https://www.harmonie.fr/1974-2020-evolution-reglementation-thermique>
- La pollution des écosystèmes aquatiques. (2019, 12 18). Récupéré sur La pollution des écosystèmes aquatiques: <Http://geseaumar.e-monsite.com/>
- Lascoume, P. (2012). Action publique et environnementale.
- Maes., P. (s.d.). Labels d'efficacité énergétique .HQE, BBC-EFFINERGIE, MAISON PASSIVE. QUALITEL.
- Maison passive. (2019, 12 27). Récupéré sur Maison passive: <https://www.passivhaus-vauban.de/passivhaus.fr.html>
- MAZARI(Mohammed). (2012). tude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère Public. Tizi Ouzou.

- MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE. (2019, 12 02). Récupéré sur MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE: <https://www.energy.gov.dz/>
- Ngo, C. (s.d.). L'énergie ressources, technologies et environnement. Paris: DUNOD.
- Ouhab-Alathamneh, N. (2019, 12 10). L'économie algérienne : histoire d'un avenir hypothéqué . Récupéré sur L'économie algérienne : histoire d'un avenir hypothéqué : <https://www.connaissancedesenergies.org/tribune-actualite-energies/leconomie-algerienne-histoire-dun-avenir-hypothequé-par-le-petrole>
- Paul Robert, A. R.-D. (2007). Le Robert. France: Le Robert.
- Production de l'électricité. (2017). Le Matin.
- Réussir un projet de Bâtiment Basse Consommation. (2005). effinergie.
- Saïfi, N. (2016). Contribution à la conception des bâtiments à faible consommation d'énergie dans les zones arides. Ouargla: Université de Ouargla.
- Saïfi, N. (s.d.). Contribution à la conception des bâtiments à faible consommation d'énergie dans les zones aride. Ouargla.
- Sami, F. (2008). Performance énergétique en Algérie.
- Samir, S. (2013). contribution méthodologique a la conception des logements à haute performance énergétique(HPE) en Algérie,. Alger.
- The Design-Build Process for the Research Support Facility,. (s.d.). Récupéré sur US Department of Energy.: <https://www.energy.gov/>
- William, M. S. (2000). he HOK Guidebook to Sustainable design. New York: John Wiley & Sons.