

République algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Université de Blida I  
Institut d'architecture et d'urbanisme  
Département d'architecture

## **Mémoire de master en architecture**

Option : Architecture et technologies

### **L'impact de la composition des façades sur la demande énergétique.**

Le cas des décrochements de la façade sur la demande énergétique.

Réalisé par :

**Mr BOUMAHRA Mohamed Mehdi**

Sous l'encadrement de :  
**Dr BOUKARTA Soufiane**

Jury :

Dr BEHIRI Abdelkader  
M.Djaballah Ahmed Chakib

Année universitaire : 2021/2022

## **Remercîment**

*Tout d'abord, nous remercions DIEU Allah le Tout Puissant, de nous avoir donné la volonté et le courage et la patience afin d'arriver à la finalité de ce modeste travail. Je remercie en premier lieu mon encadreur Mr BOUKARTA Soufiane, pour son aide précieuse et ses orientations éclairées, je le remercie pour le temps qu'il m'a consacré, son suivi, pour la qualité de ses remarques, critiques et suggestions scientifiques et méthodologiques, je lui témoigne d'une profonde gratitude pour la confiance qu'il m'a accordé. Je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance à ma famille qui m'a beaucoup encouragé en toutes circonstances et qui m'ont appris la persévérance ce qui m'a permis de mener à bien ce mémoire. Merci à toute ma famille à mes amis proches et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.*

*Je remercie la société CEEG du groupe SONELGAZ qui m'emploie actuellement, mes responsables hiérarchiques, Mme LAZOUNI, mes collègues, et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail*

## Résumé

Le présent travail a pour objet de déterminer l'impact de la composition des façades dans la demande énergétique d'un bâtiment, visant à évaluer les éléments de la façade ayant l'impact sur la demande énergétique notamment pour le cas des décrochements.

Un des aspects de notre étude est basé sur la recherche de l'impact des décrochements dans la consommation de l'énergie du bâtiment. Afin d'estimer les économies d'énergie réalisables sur un bâtiment ainsi que l'impact sur son environnement, une étude paramétrique des décrochements de façade a été effectuée par des simulations du bâtiment sous différentes conceptions. Les méthodes et expériences établies dans cette étude nous permettent d'envisager le développement du traitement des façades et de la caractérisation de leurs performances globales. Ce qui nous a mené à enquêter sur les décrochements pour déterminer si c'est un élément impactant significativement la demande énergétique ou pas. Pour rendre le bâtiment plus économe en énergie tout en assurant le confort thermique des usagers, faut-il rénover l'existant et développer des normes et des législations plus strictes en termes de conception des façades afin d'optimiser la consommation d'énergie pour les bâtiments neufs.

Mots clés :

Façade, Décrochements ; Impact ; Consommation ; Optimisation; simulation thermique dynamique.

## **Abstract**

The purpose of this work is to determine the impact of the composition of the facades in the energy demand of a building, aiming to evaluate the elements of the facade having impact on the energy demand especially for the case of the stalls.

One of the aspects of our study is based on the research of the impact of stalls in the energy consumption of the building. In order to estimate the achievable energy savings on a building as well as the impact on its environment, a parametric study of facade setbacks has been carried out by simulating the building under different designs. The methods and experiences established in this study allow us to consider the development of the treatment of facades and the characterization of their overall performance.

This has led us to investigate the stalls to determine if it is a key element in the fight against energy abuse and of course against global warming. To make the building more energy efficient while ensuring thermal comfort for users, is it necessary to renovate the existing and develop stricter standards and legislation in terms of design of facades to optimize energy consumption for new buildings.

Key words:

Recess façade; energy Consumption; Optimization; Comfort, thermal simulation.

## ملخص

يهدف هذا العمل الحالي إلى تحديد تأثير تكوين الواجهات في الطلب على الطاقة للمبنى، بهدف تقييم عناصر الواجهة التي لها تأثير على الطلب على الطاقة خاصة في حالة لتجاويف الواجهة. يعتمد أحد جوانب دراستنا على البحث في تأثير الانتكاسات في استهلاك الطاقة للمبنى. من أجل تقدير وفورات الطاقة التي يمكن تحقيقها في المبنى بالإضافة إلى التأثير على بيئته، تم إجراء دراسة حدودية لتجاويف الواجهة من خلال محاكاة المبنى تحت تصميمات مختلفة. تتيح لنا الأساليب والخبرات التي تم إنشاؤها في هذه الدراسة النظر في تطوير معالجة الواجهات وتوصيف أدائها العام.

قادنا هذا إلى التحقيق في النكسات لتحديد ما إذا كانت عنصرًا أساسيًا في مكافحة الاستهلاك المفرط للطاقة وبالطبع ضد الاحتباس الحراري. لجعل المبنى أكثر كفاءة في استخدام الطاقة مع ضمان الراحة الحرارية للمستخدمين، في حالة تجديد المبنى الحالي ووضع معايير وتشريعات أكثر صرامة من حيث تصميم الواجهة من أجل تحسين استهلاك الطاقة للمباني الجديدة.

## الكلمات الدالة:

مفارز واجهة، استهلاك الطاقة؛ تحسين؛ الراحة والمحاكاة الحرارية.

# Sommaire

## CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

<b>1.1. L'Introduction</b> .....	9
1.1.1. Consommation de l'énergie dans le secteur du bâtiment En Algérie.....	9
<b>1.2. La Problématique</b> .....	10
<b>1.3. L'Hypothèse</b> .....	11
<b>1.4. L'Objectif</b> .....	11
<b>1.5. La Structure du travail</b> .....	12
<b>1.5.A. La Méthodologie</b> .....	12

## CHAPITRE II : ETAT DE L'ART :

<b>2.1. Le Bilan énergétique du bâtiment</b> .....	15
<b>2.2. Les Paramètres influents sur la demande énergétique</b> .....	16
<b>2.2.1. Les Paramètres à l'échelle urbaine</b> .....	16
A. Les phénomènes d'évapotranspiration.....	16
B. Les phénomènes de rétention de chaleur par le tissu.....	17
C. Les phénomènes liés à la chaleur anthropique.....	17
D. Les phénomènes liés à la dynamique des masses d'air.....	17
<b>2.2.2. Les paramètres liés à l'environnement</b> .....	18
A. La température de l'air .....	18
B. L'ensoleillement .....	18
C. Le vent .....	19
D. L'humidité .....	19
<b>2.2.3. Les Paramètres liés à l'occupant</b> .....	19
A. Le métabolisme .....	19
B. L'habillement .....	20
C. La température ressentie .....	21
<b>2.2.4. Les Paramètres liés aux systèmes HVAC</b> .....	21
<b>2.2.5. Les paramètres liés au bâtiment</b> .....	22
A. L'Implantation et l'orientation .....	22
B. Les Matériaux .....	22
C. La Forme et la Compacité .....	24
D. Le Vitrage et la Surface vitrée.....	25
E. Les Dispositifs et les Eléments de composition .....	26
<b>2.2.6 Les façades performantes et Les Concepts innovants</b> .....	28
A. La Façade double peau et la façade ventilée .....	28
B. La Façade végétale .....	28
C. La Façade productrice d'énergie .....	29
D. Le concept Core-Skin-Shell.....	29
E. La Façade intelligente.....	30

F. La Répartition des espaces .....	31
G. Les Décrochements.....	32
<b>2.2.8 Conclusion du chapitre .....</b>	<b>32</b>
<b>CHAPITRE III : CAS D'ETUDE :</b>	
<b>3.1. La caractérisation de l'étage climatique et notification des dispositifs passifs.....</b>	<b>35</b>
<b>3.2. Présentation du logiciel DESIGN BUILDER.....</b>	<b>36</b>
A. L'Ergonomie du logiciel .....	38
B. Le Rendu .....	38
C. La Simulation énergétique.....	39
D. La Simulation de circulation d'air couplée à la Simulation thermique.....	39
E. La simulation d'éclairage naturel .....	40
<b>3.3. Protocole de simulation.....</b>	<b>42</b>
<b>3.3.1. L'étendue de l'étude.....</b>	<b>44</b>
<b>3.3.2. Les indicateurs étudiés.....</b>	<b>45</b>
<b>3.4. Résultats de simulation.....</b>	<b>45</b>
<b>3.5. Analyse des résultats de simulation .....</b>	<b>46</b>
<b>3.6. Synthèse .....</b>	<b>51</b>
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>52</b>
<b>RESSOURCES BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>53</b>
<b>5.1. Les Références bibliographiques .....</b>	<b>53</b>
<b>5.2. Le tableau des figures .....</b>	<b>54</b>
<b>5.3. Le tableau des abréviations .....</b>	<b>55</b>

# **CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE**



## 1.1. Introduction

### 1.1.1. Consommation de l'énergie dans le secteur du bâtiment En Algérie.

Le parc immobilier du logement qui dépasse actuellement huit (8) millions de logements est obsolète en terme d'efficacité énergétique, d'où l'urgence d'agir sur le secteur du bâtiment pour modérer cette consommation effrénée de l'énergie.

*"C'est un secteur non productif mais énergivore, puisqu'il consomme 41% de l'énergie finale, devançant le secteur agricole qui absorbe 33 % de l'énergie ainsi que le secteur industriel et celui des transports avec des taux respectifs de 19% et 7%" (APRUE: 2019)*

Plusieurs facteurs qui accélèrent la demande en énergie dans ce secteur notamment le parc immobilier toujours en constante augmentation, les services (hôtelleries, hôpitaux...), la croissance démographique.

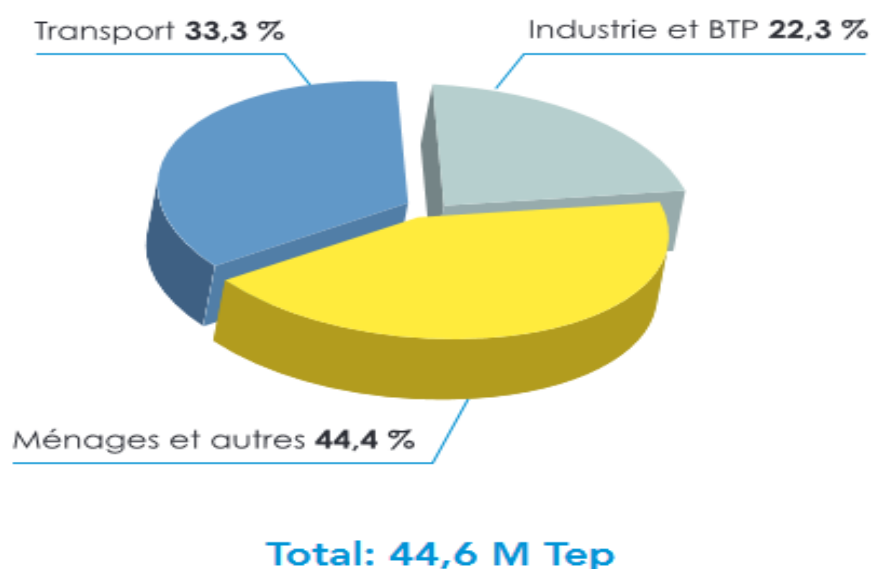


Figure 1 : bilan énergétique national (APRUE 2019)

"L'objectif c'est de réduire la consommation résidentielle et tertiaire de 10 à 15 % d'ici l'horizon 2030", ajoutant que la politique nationale de l'efficacité énergétique mise sur les nouveaux

logements à travers l'introduction de certaines normes dont l'isolation thermique des bâtiments et le double vitrage afin d'éviter la déperdition énergétique.

Unité : K Tep	2016	2017	Evolution	
			Quantité	(%)
<b>Industrie et BTP, dont :</b>	<b>9 242</b>	<b>9 943</b>	<b>701</b>	<b>7,6</b>
▶ Matériaux de construction	4 065	4 370	305	7,5
▶ ISMME	524	765	241	45,9
▶ BTP	470	441	-29	-6,2
▶ Industries Manufacturières :	1 070	1 134	64	6,0
(Dont : Agroalimentaires)	953	1 011	58	6,0
▶ Chimie	327	338	11	3,4
▶ Autres industries	2 786	2 895	109	3,9
<b>Transport, dont :</b>	<b>15 057</b>	<b>14 895</b>	<b>-162</b>	<b>-1,1</b>
▶ Routier	14 293	14 138	-155	-1,1
▶ Aérien	482	496	14	2,9
<b>Ménages et autres, dont :</b>	<b>18 584</b>	<b>19 808</b>	<b>1 224</b>	<b>6,6</b>
▶ Résidentiel	14 196	15 003	808	5,7
▶ Agriculture	416	440	24	5,7
<b>Total</b>	<b>42 883</b>	<b>44 646</b>	<b>1 763</b>	<b>4,1</b>

Tableau 01 : évolution de la demande énergétique par secteur. APRUE (2019).

La présente recherche s'inscrit dans une démarche qui se base sur l'optimisation énergétique par le biais des décrochements de la façade d'une manière passive afin d'améliorer les ambiances thermiques et réduire les besoins énergétiques des bâtiments à vocation résidentielle situés dans un climat humide.

## 1.2. Problématique

Etant donné que la façade est l'élément le plus influant sur les interactions et échanges avec le milieu extérieur dans un bâtiment, le concepteur doit déceler l'impact de ces décisions conceptuelles sur la consommation énergétique du bâtiment.

Paradoxalement, la façade est un milieu d'apport et de perte thermique elle a été le sujet de nombreuses recherches pour la maîtrise des paramètres à optimiser afin d'assurer le confort thermique et l'efficacité énergétique des bâtiments dans le climat méditerranéen .

De nos jours la conception des logements est quasiment synonymes d'une introduction sine qua non des décrochements en façade qui se présente comme aux yeux des architectes comme un élément de composition des façades, et la question interrogeant la portée énergétique de ces dites décrochement n'a jamais été évalué en Algérie, c'est pourquoi nous portons notre attention à cet élément en posant le questionnement suivant.

**Comment évaluer l'impact des décrochements souvent utilisés comme élément de composition en façade sur la demande énergétique des logements ?**

### **1.3. Hypothèse**

C'est sur la base de ce raisonnement problématique que nous avons procédé à la formulation de notre hypothèse :

Le décrochement de la façade est un paramètre très important qui détermine les surfaces d'échange entre l'intérieur et l'extérieur ce qui influe sur la performance énergétique de la construction.

**Nous pensons qu'à travers l'évaluation du bilan énergétique des bâtiments que l'on pourra identifier l'impact des décrochements de la façade sur la demande en énergie du bâtiment.**

### **1.4. Objectif**

Notre travail porte sur les bâtiments résidentiels dans le climat humide en explorant le comportement thermique des façades et la recherche d'optimisation d'une façade performante en terme de confort thermique et efficacité énergétique à travers la stratégie passive du jeu des décrochements de la façade

Cette recherche s'inscrit dans une optique globale visant à :

- Déterminer l'impact des décrochements de la façade sur l'efficacité énergétique du bâtiment.
- Optimiser l'efficacité énergétique des logements de manière passive à travers les décrochements.

- Développement d'une façade performante qui puisse répondre de façon optimale aux exigences d'un bâtiment aux alentours de la ville d'Alger tout en assurant une ambiance thermique agréable et une basse consommation énergétique.

### **1.5. Structure du mémoire**

Afin de répondre aux objectifs, le mémoire est structuré en trois chapitres, voir figure ci-dessous :

#### **1- Le chapitre introductif :**

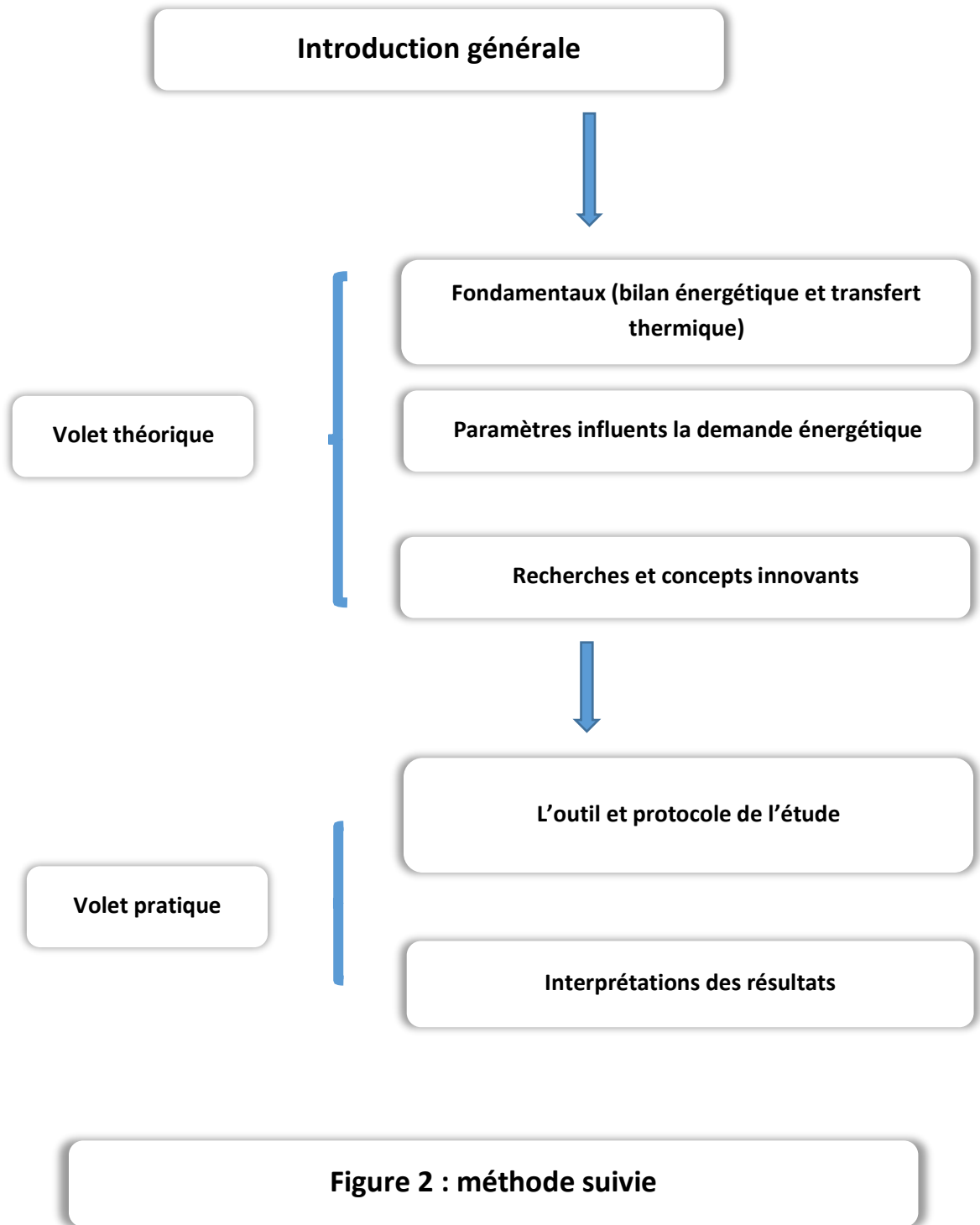
Comporte la problématique, les hypothèses et les objectifs.

**2- Chapitre 2 : Un état de l'art :** Consiste en la compréhension des différents concepts et notions clé liés à notre recherche, il découle d'une recherche bibliographique et documentaire ayant pour objectifs de cerner et de comprendre tous les éléments théoriques de base en rapport avec le sujet de recherche. Il sera objet d'aborder la conception de façade et l'impact sur le comportement thermique du bâtiment.

**3- Chapitre 3 : le cas d'étude :** En s'appuyant sur l'ensemble des informations collectées, nous consacrons la troisième partie à une enquête et à évaluer expérimentalement l'efficacité énergétique d'un bâtiment par rapport au paramètre de décrochements. La dernière étape du travail comprend aussi l'analyse et l'interprétation des résultats des mesures.

#### **a. Méthodologie**

Notre recherche est constituée d'une partie introductive pour la sensibilisation sur la consommation énergétique dans le secteur du bâtiment et nous permet d'exposer la problématique, les hypothèses et les objectifs. Une partie théorique basée sur une étude bibliographique afin de cerner l'état de l'art de la thématique étudiée. Différents documents (livres, thèses, articles, etc.) ont été exploités. Une partie pratique relative à l'étude et l'optimisation énergétique à travers la composition et notamment les décrochements de la façade, fondée sur une étude expérimentale à travers les simulations thermiques dynamiques par le logiciel DesignBuilder.



## **CHAPITRE II: ETAT DE L'ART**

## 2.1. Introduction : de l'importance du bilan énergétique

Le calcul du bilan énergétique constitue une phase importante dans toute phase du diagnostic énergétique d'un bâtiment. Il se constitue à travers la connaissance de tous les apports thermiques que connaît un bâtiment, à savoir, les apports et les déperditions. Cette connaissance d'apprécier le comportement thermique du bâtiment tout en ayant l'opportunité de l'améliorer à travers une intervention étudiée. La formule ci-dessous résumé le bilan énergétique d'un bâtiment donné.

$$D_p + D_r - A_i - A_s = B$$

**D<sub>p</sub>** : Déperditions des parois.

**D<sub>r</sub>** : Déperditions par le renouvellement d'air.

**A<sub>i</sub>** : Apport interne.

**A<sub>s</sub>** : Apport solaire.

**B** : besoin en énergie.

Pour assurer la fiabilité d'un bilan énergétique des bâtiments existants, il est nécessaire d'établir un audit énergétique afin de déterminer l'écart entre la consommation réelle d'énergie et la consommation relative aux puissances énergétiques des systèmes installés. L'évaluation énergétique passe nécessairement par l'étude du comportement thermique des éléments composants le bâtiment tel que les murs, fenêtre, toiture et les jonctions. Cette première appréciation permettrait de déterminer les stratégies appropriées pour corriger le comportement thermique du bâtiment et dimensionner les système de chauffage, climatisation et de ventilation (CVC).

Le bilan énergétique permet aussi de quantifier les émissions des gaz à effet de serre et le potentiel de réduction post-optimisation de la demande énergétique du bâtiment. Aussi et surtout, cette étude permet de rattraper l'écart en terme de confort hygrothermique que l'occupant aurait pu expérimenter dans l'espace en question.

Pour être en mesure d'apprécier le bilan énergétique ainsi obtenu, il existe l'indice de performance énergétique (IPE) exprimé en KWH/m<sup>2</sup>.an. Cet indice n'est pas utilisé en Algérie pour classer les bâtiments mais cela n'empêche pas son utilisation pour être en mesure de voir

où se trouver le bâtiment en question dans une des classifications énergétiques existante de par le monde. D'une façon générale, les différents modes d'étiquetage vise à réduire la consommation d'énergie vers des valeurs basses, telle que 50 KWh/m<sup>2</sup>.an ou 80 pour la classe B. Cette classification est aussi inhérente à la vocation du bâtiment, de type résidentiel, bureau ou autre. Cette classification donne aussi droit au label, et permet d'identifier aussi les passoires thermiques, c'est à dire les bâtiments à forte consommation énergétique de classe F ou G et dont l'IPE dépasse les 350KWH/m<sup>2</sup>.an.

Dans ce qui suit, nous présenterons les éléments influant la demande énergétique dans le bâtiment.

## **2.2. Les paramètres influant la demande énergétique**

### **2.2.1. Les paramètres microclimatiques**

A cette échelle d'intervention la composition urbaine joue un rôle important dans la modification des conditions climatiques pour en faire avec un microclimat particulier. Nous citerons dans un premier temps, les éléments clés influant la formation, transformation du microclimat urbain et qui sont responsable aussi de l'intensité de l'îlot de chaleur urbain.

#### **A- Le phénomènes d'évapotranspiration :**

La trame verte caractérisé par la densité végétale dans l'espace urbain joue un rôle prépondérant dans la formation du phénomène de l'évapotranspiration et constitue du fait une première entrée de régulation microclimatique. En effet, la végétation permet de rafraichir l'air et de réguler la température aussi. Dans cette même lignée, la nature des matériaux de construction surtout ceux couvrant le sol joue un rôle important dans le cycle de l'eau. Un sol totalement perméable permet alors à l'eau de suivre son cycle normal alors qu'un sol imperméable stoppe le cycle de l'eau et réduise le rafraichissement urbain. Ainsi, la trame bleu et verte joue le rôle de régulateur du microclimat urbain et permettent d'adoucir les conditions climatiques et procurer plus d'heure de confort hygrothermique aux occupant de l'espace urbain.



## **B- Le phénomènes de rétention de chaleur par le tissu :**

La composition urbaine caractérisée par une juxtaposition de rue et type canyons urbain conditionne le phénomène de piégeage de la chaleur par le tissu résultant. Ainsi, plusieurs études existent dans la littérature scientifique et dont l'objectif est de comprendre le comportement thermique des rues à fort prospect en vue de limiter le phénomène de piégeage de la chaleur, voir l'étude de Kitous (2013) qui s'est penché sur l'étude du vieux tissu de la ville de Ghardaïa, ou Bourbia.F (2004) qui a mis en exergue que peut jouer l'orientation et le prospect sur le confort thermique dans les espaces urbains. Aussi, les matériaux de construction et selon leur inertie thermique permettent de retenir la chaleur pendant les heures de la journée et la dégager le soir. Enfin, cette même composition urbaine régule l'écoulement du vent qui peut être de type rasant, à interférence de sillage ou à rugosité isolée selon la profondeur du prospect (Bozzonet: 2005). Il en ressort de plusieurs études que l'écoulement oblique du vent permet une meilleure ventilation des rues, même les plus profonde (*idem*).

## **C- La chaleur anthropique :**

L'activité de l'homme pour la mobilité, le chauffage et climatisation voir sa seule présence dans l'espace urbain génère une chaleur anthropique relativement importante et pouvant impacter la température de l'air comme sa qualité dans le milieu urbain. Selon Taha (1997) la chaleur anthropique peut générer une augmentation de 2 à 3 °C dans les centres urbains. pour réduire la chaleur anthropique, il faudra viser des bâtiment à forte efficacité énergétique, une meilleure mixité fonctionnelle favorisant les déplacements en chaîne et réduire l'usage de la voiture particulière au profit du transport en commun (Écohabitation, 2014)

## **D- les phénomènes liés à la dynamique des masses d'air**

Le déplacement des masses d'air constitue aussi un important paramètre à prendre en considération car il définit aussi les conditions microclimatiques et impacte du fait la demande énergétique. Le régime d'air est conditionné principalement par une différence de pression en se déplaçant d'un lieu à pression positive vers un espace à pression négative, et quand la vitesse du vent est faible, inférieur à 3 km/h, la variation de température prend le contrôle de l'écoulement des vents et favorise la formation de ce que l'on appelle un dôme urbain. Ce phénomène accentue la formation de l'îlot de chaleur urbain et augmente sensiblement la

température (Bozonnet : 2005, **IMHOFF et al 2010**), voir figure ci-dessous. Parmi les paramètres contrôlant l'écoulement du vent, on note le sky view factor ou le taux d'ouverture au ciel, le prospect et la densité bâtie (Oke: 1988)

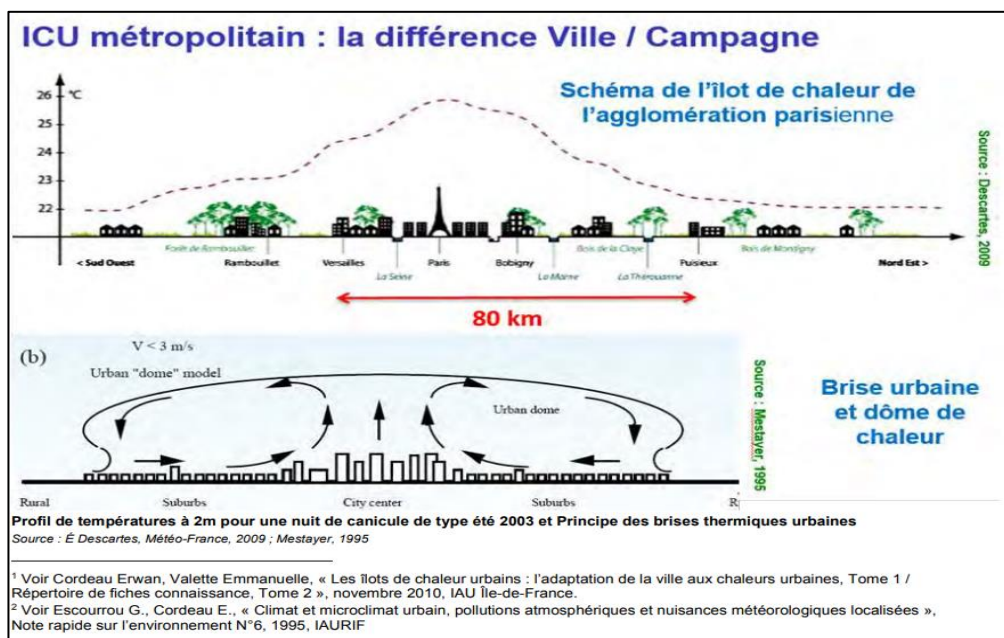


Figure 3 : Ilot de chaleur urbain et dôme urbain (Bozzonet: 2005).

## 2.2.2. Les paramètres liés à l'environnement

### A- La température de l'air

La température de l'air est le premier paramètre impactant le confort hygrothermique. D'après le DTR C3-2, la température du confort dans les villes algériennes du nord se trouve limitée entre 20 et 27°C et pour les villes de l'étage climatique aride, la température du confort varie et peut atteindre les 33°C. La température de l'air ambiant est conjugué avec d'autres paramètres, tel que le niveau de sédentarité, le type de l'espace ou même l'habillement (Barkouk et Mazouz: 2017).

### B- L'ensoleillement

Il est bien connu que le rayonnement solaire est d'une nécessité patente de part son comportement bactéricide et porteur de chaleur. Une bonne orientation devrait garantir un meilleur accès du rayonnement solaire et un meilleur confort pendant les heures de l'hivers. En été, il serait préférable de savoir juguler l'ensoleillement et réduire son accès que pour des

heures bien limitée au gré d'un meilleur confort. L'ensoleillement d'un espace en un point géographique donné dépend principalement de la latitude du lieu, de la qualité de l'air et la circulation du vent, de la nébulosité ainsi que de la saisonnalité du temps (Givoni et al: 1978).

### **C- Le vent**

La ventilation est d'une nécessité importante garantissant le minimum de renouvellement d'air par espace. La configuration de l'espace en question conditionne la ventilation et le taux de renouvellement de l'air doit satisfaire un volume minimal en m<sup>3</sup> par personne et par heure (voir le DTR sur la ventilation) et la vitesse de l'air à l'intérieur d'un bâtiment doit en préférence être inférieur à 0.5 m/s (Benhalilou et Abdou: 2017). Le renouvellement de l'air doit être organisé selon les conditions du confort hygrothermique, à savoir, la vitesse du vent, le taux de renouvellement de l'air et le taux de l'humidité (*Idem*).

### **D- L'humidité**

L'humidité relative exprime la concentration de la vapeur d'eau dans l'air. Il est recommandé qu'elle soit comprise entre 30 et 70 %. Il s'agit d'un facteur déterminant dans l'équation du confort hygrothermique, l'humidité relative et la température de l'air constitue les deux essentielles composantes du confort. Certains outils psychométriques nous permettent d'identifier certaines stratégies permettant d'adoucir le climat en ramenant la température de l'air et le taux d'humidité dans l'intervalle du confort acceptable. L'humidité de l'air permet de rafraichir l'air mais elle affecte en contrepartie la capacité de l'évaporation de la sueur au niveau de la surface de la peau ce qui engendre ce ressenti de lourdeur chez l'homme occupant un espace à fort taux d'humidité (De Herde: 2005).

## **2.2.3. Les paramètres liés à l'occupant**

### **A- Le métabolisme**

Le métabolisme humain est géré par sa capacité homéostatique lui permettant de maintenir la température du corps à 37°C±0.5°. La chaleur supplémentaire sera transmise à l'environnement immédiat et participera dans le bilan énergétique de l'espace occupé. Cette transmission thermique se fait par thermogénèse et est intimement liée à l'activité de l'homme et

varie de 70 à 900 W selon la nature physique, le genre et l'âge de l'occupant en question. Voir figure ci-dessous.

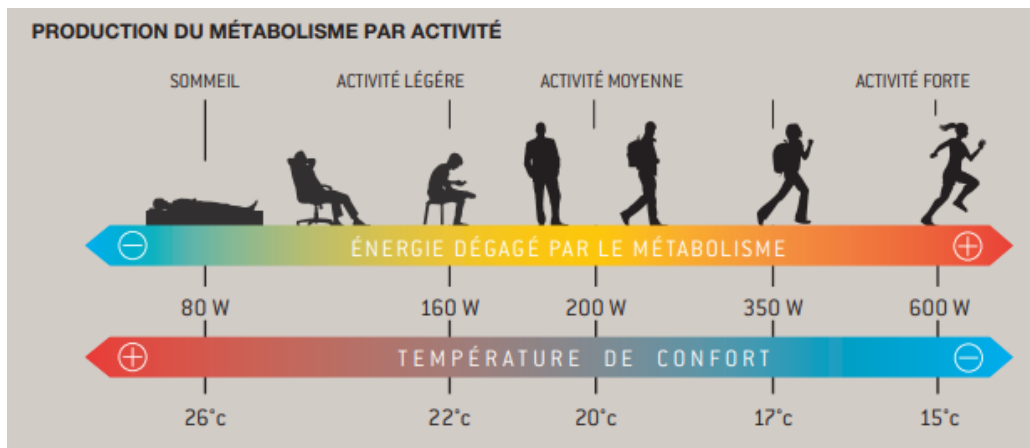


Figure 4 : la puissance thermique générée par l'activité du métabolisme.

Il faut dire alors que son l'homme, le bâtiment ne consommera pas d'énergie (THELLIER: 2012). L'environnement joue un rôle essentiel dans l'accentuation ou la diminution de la thermolyse, c'est à dire le transfert de la chaleur de l'homme vers son environnement. L'humidité relative, la température des surfaces ambiante, la température de l'air sont des facteurs clé dans la définition de ces échanges.

### B- L'habillement

Aussi, l'habillement est inhérent à ces même conditions ambiante de température et d'humidité et l'homme de part son habillement s'ajoutera une couche de résistance thermique appelé Clo dont la valeur est relativement égale à  $0.155^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$  (Mazari, 2012, Lavoye et al., 2015), voir figure ci-dessous.

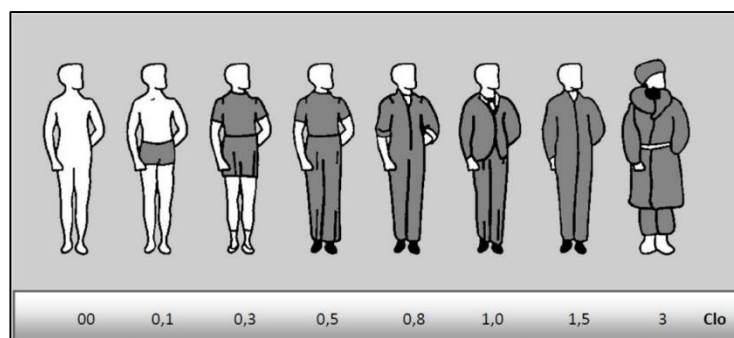


Figure 5 : les valeurs de l'isolement vestimentaire en fonction des tenues vestimentaires.

### C- La température ressentie

La température ressentie ou la température opérative constitue un élément important du confort hygrothermique de l'espace. Il est admis qu'un espace ombragé et ventilé à une vitesse de 1m/s et selon le taux hygrométrique, la température ressentie serait inférieure de 2 à 4°C, voir figure ci-dessous. On admet grossièrement la formule ci-dessous.

$$T_{\text{ressenti}} = T_{\text{ambiante}} - 4^{\circ}\text{C}$$

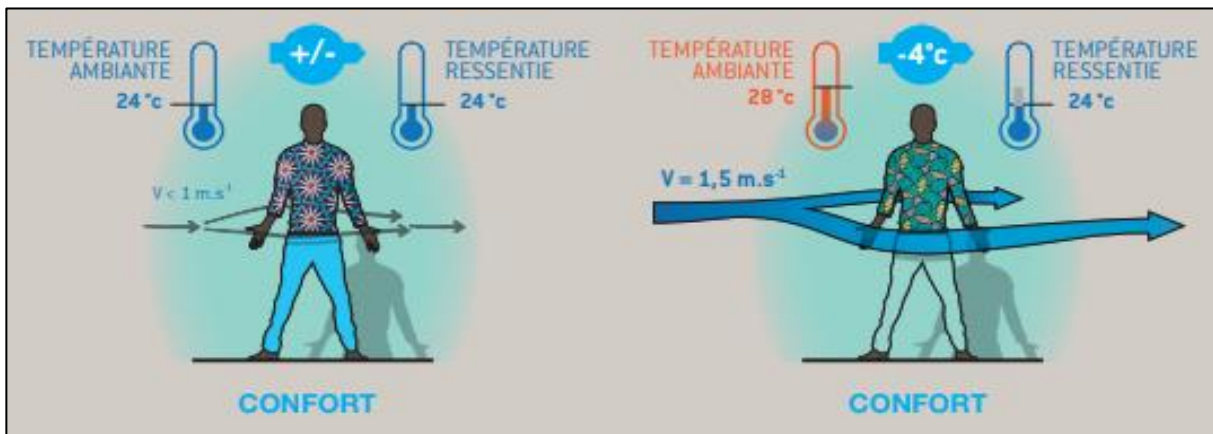


Figure 6 : Influence de la vitesse du vent sur la température ressentie

Pour apprécier la qualité de la ventilation d'un espace donné, on peut calculer le coefficient de ventilation qui est le ratio entre la vitesse moyenne de l'air intérieur celle de l'extérieur et à une hauteur fonctionnelle de 1.5M, on admet qu'une valeur proche de 1 impliquerait que le bâtiment capte efficacement l'air extérieur (Batia: 2016).

#### 2.2.4. Les paramètres liés aux systèmes

Les systèmes de chauffage, climatisation et la ventilation CVC, constitue un important élément dans l'équation de la consommation de l'énergie, chaque système a ses points forts et faibles et une demande énergétique estimée à plus de 35% de la consommation finale. Le dimensionnement en joue un rôle tout aussi important. Le présent mémoire n'accoste cette question qu'à titre indicatif car le rôle premier de l'architecte est le devoir de la forme.

## 2.2.5. Les paramètres liés au bâtiment.

### A- Implantation et l'orientation

L'implantation du bâtiment fige en bonne partie les chances d'avoir une bonne orientation et un bon ensoleillement. C'est pourquoi il faudra penser à bien orienter le bâtiment en question pour assurer un meilleur ensoleillement dès la phase esquisse du projet. Pour ce faire, il sera judicieux de prendre en considération, l'environnement en terme de relief, d'obstacle, de végétation afin d'associer chaque espace-fonction à l'orientation lui permettant de satisfaire sa fonction de base (Brunet et al: 2009), voir figure ci-dessous.

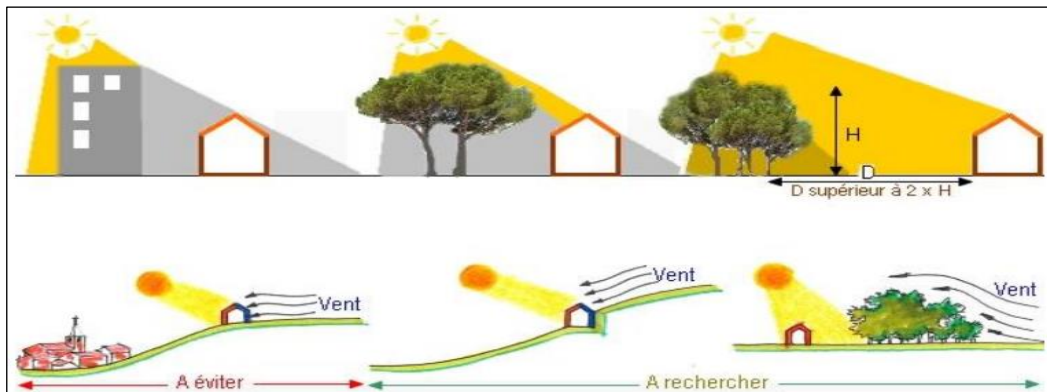


Figure 7 : L'impact du site et l'environnement immédiat sur le bâtiment (Miquey,2010)

### B- Matériaux :

Les matériaux de l'enveloppe du bâtiment jouent le rôle le plus important dans la définition des conditions optimale de la qualité de l'isolation thermique et donc du confort hygrothermique. Les matériaux de construction sont caractérisés par plusieurs propriétés thermiques, on en cite quelques une ci-dessous.

#### - *Inertie thermique :*

L'inertie thermique est la capacité d'un matériau à stocker de la chaleur et de la restituer en créant un déphasage entre l'intérieur et l'extérieur de l'espace en question ce qui permet de réduire la température du pic et améliorer la qualité du confort thermique surtout dans les villes à forte amplitude thermique. L'inertie thermique pourrait être obtenue en optimisant l'une des propriétés suivantes :

- La diffusivité thermique caractérise la vitesse de déplacement de la chaleur à travers le matériau en  $m^2/h$ . Une faible diffusivité est synonyme d'une forte inertie thermique.
- L'effusivité thermique exprime la capacité d'un matériau à absorber la chaleur instantanée. Elle est exprimée en  $W/°C m^2$ , et une forte diffusivité serait garant d'une forte inertie thermique.

On peut noter qu'un matériau ne peut avoir ces deux propriétés, c'est pourquoi, dans certaine situation, on est amené à composer une enveloppe de plusieurs couches.

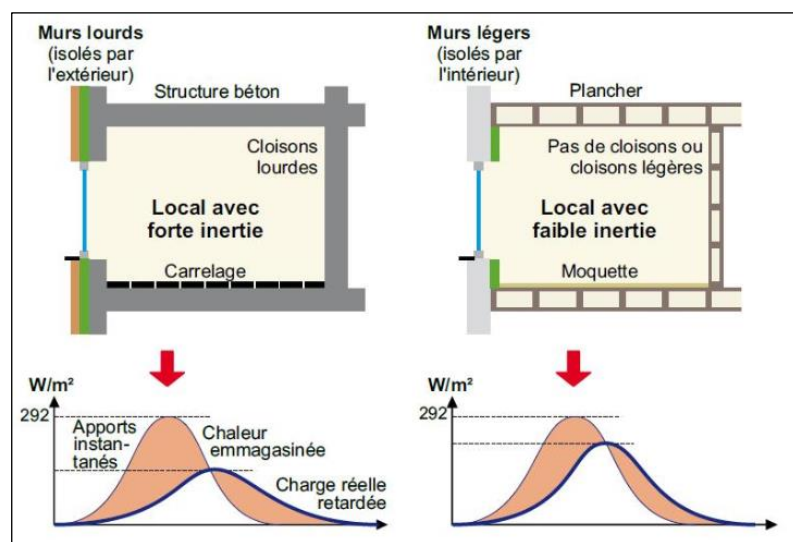


Figure 8 : comparaison entre l'enveloppe à forte inertie et l'enveloppe à faible inertie.

### - **L'Isolation thermique :**

L'isolation thermique est la capacité de stopper l'échange thermique entre l'ambiance intérieur de celle extérieure. Elle est préconisée pour les climat froids. La résistance thermique exprimée en  $m^2.K/W$  nous permet d'apprécier la qualité de l'isolation thermique d'une enveloppe plus elle est forte, plus elle permet une meilleure isolation. Selon le guide développé par la GIZ et l'APRUE, il est recommandé d'avoir une résistance thermique de l'enveloppe comprise entre 2 et 4  $m^2.K/W$ . La conductivité thermique qui est une valeur donnée par le constructeur permet d'apprécier de prime à bord la capacité d'isolation thermique d'un matériau donné, notée  $\lambda$  et exprimée en  $W/m.K$ . Dès que la valeur  $\lambda$  est inférieure à 0.06  $W/m.K$  on reconnait que le matériaux en question est isolant. L'air constitue l'isolant le plus répandu de part son coût gratuit. D'autres isolants existent tel que l'argon, le polystyrène, le

polyuréthane, la laine de verre, de roche, etc. Chaque matériau est censé répondre à un besoin en terme d'isolation thermique et dans des conditions climatiques bien spécifiques.

Le rôle de l'isolation thermique est aussi l'élimination des ponts thermiques potentiels et qui se créent assez souvent dans les différentes situations de jonction, plancher-mur, fenêtre-mur, etc. Chaque pays propose des valeurs de déperdition à ne pas dépasser pour que le bâtiment puisse être reconnu comme bien isolé, voire, avoir un label ou une certification. Le plus courant est d'admettre un maximum d'échanger de 0.6 W/m<sup>2</sup>.K pour le cas des liaisons linéaires. Pour vérifier ces valeurs, des tests sont appliqués in-situ en faisant subir à l'espace en question des situations de dépression et/ou de surpression pour être en mesure de vérifier les déperditions et les localiser, voire, les supprimer. Cette orientation n'est pas encore de mise en Algérie. Un bâtiment développant des moisissures est assez souvent lié à une forte isolation thermique, créant un effet de thermos et le phénomène de condensation, ce qui augmente l'humidité dans l'espace en question avec concentration des sels à l'intérieur des espaces ce qui peut engendrer l'apparition des moisissures. Pour lutter contre ce phénomène, une bonne ventilation, de type VMC, pourrait bien résoudre le problème de condensation.

- ***Propriétés surfaciques :***

La capacité d'un matériaux à absorber le rayonnement solaire ou le diffuser est trait de son albédo, plus sa couleur tend vers le clair, plus le matériau absorbe relativement 15% dy rayonnement solaire et plus le matériaux est sombre plus il absorbe le rayonnement solaire, de 40 à 90% (Givoni: 1987).

**C. La Forme et la Compacité**

La forme du bâtiment peut être révélatrice de son comportement thermique. En s'appuyant sur des facteurs simples à calculer, on peut prédire si le bâtiment pourrait bien générer plus de demande énergétique ou bien moins. Le coefficient de compacité correspond à la valeur des déperditions thermiques entre le bâtiment et son environnement. Une faible valeur serait synonyme de déperdition moindre et inversement, car la compacité permet de réduire les surface déperditives, et permet aussi de réduire le coût de l'isolation en seconde position. Il faudra néanmoins reconnaître que la compacité verra sa valeur se restreindre à la réduction de la surface à isoler thermiquement car un bâtiment bien isolé permettra à son tour de limiter les



dépense thermiques. L'exemple présenté ci-dessous résume le rôle de la compacité du bâtiment pour la même surface habitable. L'option A est la meilleure configuration en termes de compacité et permet de réduire les échanges thermiques de 12.5 et 25% respectivement par rapport à l'option B et C. Voir figure ci-dessous.

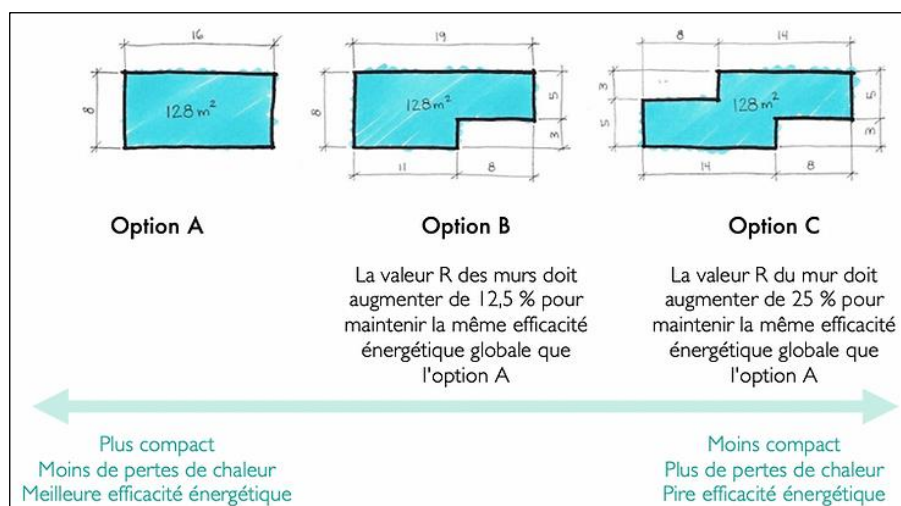


Figure 9 : l'impact de la forme sur l'efficacité énergétique. (BOURSAS et MAHRI: 2017).

#### D. Le Vitrage et la Surface vitrée

Les ouvertures constituent aussi un élément important dans la détermination du bilan énergétique du bâtiment. Une fenêtre est définie par trois valeurs thermiques, son coefficient de transmission U, son coefficient de transmission lumineuse et de son coefficient de transmission solaire. Selon l'étage climatique dans lequel se trouve le bâtiment en question, il sera question d'effectuer un choix selon l'orientation climatique identifiée. Si la tendance climatique favorise les stratégies d'hivers, il sera question de réduire la valeur U, d'augmenter les apports solaires et maintenir un niveau acceptable de la transmission lumineuse. Et dans le cas contraire, les fenêtres doivent être associées à des dispositifs d'ombrage leur permettant de juguler le rayonnement solaire. Ces recommandations sont à appliquer en accordant une attention particulière à l'orientation des fenêtres (Zerkaoui; 2017).

Il est à noter aussi que selon la performance thermique des fenêtres, on distingue trois types de fenêtre, le simple vitrage dont la valeur U est souvent supérieure à 5, le double vitrage dont la valeur U est comprise entre 3 et 1.5 alors que la technologie du triple vitrage pourrait avoir jusqu'à 0.6 comme valeur U ce qui permet de bien préserver l'environnement intérieur des

aléas extérieurs. Cependant, il faudra bien associer les fenêtres performance, l'enveloppe bien isolée avec une bonne ventilation, qu'elle soit naturelle ou mécaniquement contrôlée car le risque de surchauffe en été est très fréquent et l'apparition des moisissures l'est aussi en hiver.

### E. Les Dispositifs passifs et Eléments de composition

#### - **Protection solaire :**

La protection solaire est un dispositif permettant de réduire le rayonnement solaire pour atténuer les risques de surchauffe dans l'espace en question. Ceci permettrait de réduire la demande énergétique et assurer un meilleur confort d'été (ESSO: 2018). La protection solaire pourrait être conçue soit en intégrant le dispositif d'ombrage directement dans le vitrage et on l'appelle vitrage à contrôle solaire, soit on utilise les brise soleil selon l'orientation de l'espace à protéger, Est-Ouest ou bien l'orientation Sud.

#### - **Le vitrage à contrôle solaire**

Cette technologie a pour objectif de maximiser la lumière du jour tout en contrôlant le rayonnement solaire. Pour ce faire, on ajoute un film fin pulvérisé sur la face de la couche intérieure du double vitrage en vue de réfléchir jusqu'à 80% le rayonnement solaire incident. Aussi, il existe un autre dispositif qui permet en plus de la protection solaire de chauffer l'eau via un serpentin traversant la fenêtre du haut en bas (ESSO: 2018).

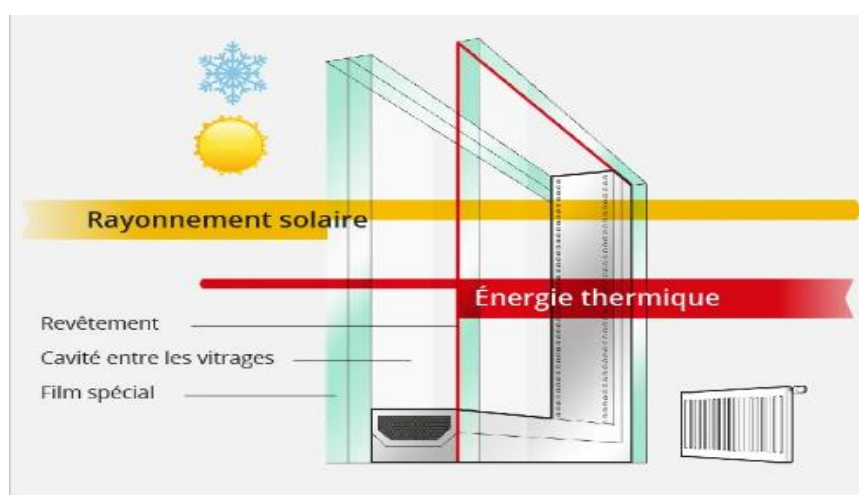


Figure 10 : le Vitrage à contrôle solaire. Esso: 2018.

### ***Les lames brise-soleil horizontales :***

Ce dispositif est particulièrement spécifique aux espaces dont l'orientation est faite vers le sud pour stopper le rayonnement solaire à partir d'une heure spécifique et choisie par l'architecte à l'œuvre. L'horizontalité des lames permet d'arrêter l'arrivée du rayonnement solaire lorsque le soleil est haut pendant les heures de l'été alors qu'en hiver, le soleil étant bas au zénith permet de profiter du rayonnement solaire. Ce dispositif est aussi utilisé comme un élément de composition de la façade et donc de son aspect esthétique.



Figure 11 : La protection solaire extérieure par lames brise-soleil-horizontaux. Esso: 2018

### ***Les lames brise-soleil verticales :***

Les lames de brise soleil-verticales protègent le bâtiment du rayonnement solaire dans les deux moments de la journée, matinée et après-midi, c'est à dire pour les orientations Est et Ouest. Ce dispositif permet une protection progressive contre le rayonnement solaire du matin et ceux de l'ouest quand le soleil devient bas.



Figure 12 : la protection solaire extérieure par des lames brise-soleil verticaux. Esso: 2018.

## 2.2.6 Les façades performantes et Les Concepts innovants

### A. La Façade double peau et la façade ventilée :

La façade double peau permet de séparer l'ambiance intérieure de l'extérieur tout en assurant un aspect esthétique intéressant. Son rôle serait d'assurer un passage d'air entre la peau extérieure et l'enveloppe du bâtiment considéré, et assurer une protection solaire de cette même peau intérieure ce qui permet entre autre d'optimiser la ventilation diurne et nocturne. Cette technologie dite aussi "*free cooling*" permet de limiter le coût de la climatisation et améliore le confort d'été. Aussi, la façade double peau, permet de réduire la pollution sonore et peut aussi faire l'objet d'un support de production des énergies renouvelable à travers l'introduction des PVs.

### B. La Façade végétale

Cette technique vient à son tour combiner plusieurs rôle, un aspect esthétique, un autre lié à l'augmentation de la résistance thermique des murs extérieurs et la réduction des effets néfaste de l'îlot de chaleur urbain en optimisant le phénomène de l'évapotranspiration et ça permet aussi de réduire le taux de pollution en ville (BANTING et al: 2005). Le plus gros souci qui se pose avec les murs végétaux se rapport au fait que l'entretien est important et de l'autre côté, il faudra considérer la végétation comme un écosystème pouvant abriter des espèces d'insecte pouvant nuire au confort des habitants.



Figure 13 : Façade végétale isolante de 625 m<sup>2</sup>, école Bernard Buffet, Paris 17ème

### C. Façade productrice d'énergie :

Les énergies renouvelables constituent un axe important dans la réalisation des objectifs de la cop 21 ou l'accord de paris pour revenir à une température de 1.5 degré par rapport à la période préindustrielle. Pour ce faire, les façades équipe de panneaux photovoltaïques se posent comme une alternative intéressante permettant de produire l'énergie et atteindre des degrés de confort tout en réduisant la demande énergétique. La difficulté rencontrée actuellement serait de disposer d'une configuration tridimensionnelle de la ville pour être en mesure d'apprécier l'accessibilité solaire et positionner les PVs de la sorte à maximiser le rendement énergétique des façades.



Figure 14 : Façade productrice d'énergie dans un bâtiment résidentiel.

### D. Le concept Core-Skin-Shell

Le concept *Core-Skin-Shell* vient comme synthèse de réflexion poussant les architectes à penser le bâtiment non seulement comme un volume à considération esthétique et fonctionnelle mais plutôt comme un échangeur hygrothermique permettant d'assurer le confort nécessaire à ses occupants. Pour ce faire, la partie *core*, désignant le cœur de l'espace considéré et qui tend avec la disposition volumétrique conçu par l'architecte de réguler l'espace hygrothermique d'une façon pensée et réfléchi. La deuxième partie du concept s'articule

autour de skin, ou la peau, voire l'enveloppe du bâtiment, qui sert à assurer un décalage hygrothermique entre l'ambiance intérieure et l'environnement extérieure par la mise en place d'une isolation appropriée et parfois une inertie thermique dans le cas des climats à forte amplitude thermique. Et enfin, la partie, *shell* qui désigne la protection du système bâti de tout ce qui pourrait nuire à son bon fonctionnement, tel que un rayonnement solaire incident, de raffale de vent, voire des catastrophes naturelles (ARANTES et al: 2014).

### **E. La Façade intelligente**

Pour un meilleure fonctionnement et rendement des façades, certains architectes pensent à rendre intelligent tout le système en réglant la façade de la sorte qu'elle réponde aux conditions de l'environnement extérieure par des action cibles gérées par des seuils de sensibilité automatisés ce qui permettra de gagner en temps, en précision, en confort et même en consommation d'énergie. La protection solaire comme la production des énergie renouvelable seront davantage optimale, les échanges thermiques seront orientés vers un meilleur confort (COMPAGNO: 2005). Ce type de façade constitue un tournant remarquable dans la conception des projets d'architecture et le système devient de plus en plus complexe et pluridisciplinaire.



Figure 15 : exemple de dispositifs rabattables de façade intelligente

## F. L'agencement des espaces :

L'agencement des espaces intérieurs constitue un aspect tout aussi important dans la réduction de la demande énergétique. Une bonne orientation aussi des espaces permet d'avoir un confort hygrothermique meilleur. Au sud par exemple, les espace du jour nécessitante de la lumière comme de la chaleur y auront un meilleur confort (chambre, séjour). Alors que pour la façade Nord, tous les espaces tampons y seront orientés, tel que les accès, mécanique ou piéton, les garages, etc. L'est et l'ouest sont des espaces pouvant contenir des espace dits de nuit, tel que les chambre et même le séjour à condition de prévoir la protection solaire idoine surtout pour la façade ouest (ZEKRAOUI: 2017)



Figure 16 : Exemple sur la répartition des espaces pour une meilleure Performance énergétique.

## G. les Décrochements

Le décrochement en façade est très récurrent dans la pratique architecturale, certains architectes l'utilisent pour des raisons esthétiques alors que d'autre l'utiliser sous la contrainte de répondre aux exigences surfaciques imposés par les cahiers des charges. En Algérie, et particulièrement, les projet d'habitat collectif sont souvent sujet à ce type de pratique, le décrochement est posé comme une condition sine qua non par tous les architectes. Ceci, constitue une observation générale via laquelle nous est venu l'idée de teste la véracité thermique des décrochements sur la demande énergétique, seront-ils bénéfiques, mauvais ou sans effet sur la demande énergétique ? pour répondre à ce questionnement, le chapitre 3 comprendra un cas d'étude voué à la vérification de ce questionnement.

### 2.3. Conclusion du chapitre :

Dans le présent chapitre nous avons passé en revue les différentes stratégies pouvant réduire la demande énergétique dans le bâtiment en suivant une logique scalaire régressive en commençant par l'urbain et en terminant par les façades. Et cette même revue qui ne se voudrait pas être exhaustive, nous avons remarqué que le décrochement n'y figure pas comme une stratégie étudiée permettant aux architectes professionnels de profiter des résultats des études pour optimiser l'usage des décrochements à des fins réduisant la demande énergétique des bâtiments. Le tableau ci-dessous est présente en résumé à quelques études faites sur les registres impactant la demande énergétique.

Tableau 2 : synthèse de quelques recherches portant sur l'effet de quelques paramètres sur la demande énergétique. Source (Confort thermique dans des logements modifiés en Algérie, BENREBIHA Imène: 2017).

Paramètres	Chercheurs	Conclusions
L'ensoleillement	OKEIL (2004)	Les résultats ont affirmé que la forme RSB permet d'atteindre des potentiels élevés d'utilisation en énergie solaire passive. Elle combine entre les avantages fonctionnels, spatiaux, sociaux et visuels de la forme de bloc et les avantages d'efficacité énergétique de la forme linéaire. Elle permet aussi d'atténuer les effets d'ilot de chaleur en augmentant le flux d'air et favorisant les toits verts.
	Andersen, Et Sattrup, (2011)	Sur un horizon libre on peut concevoir un bâtiment qui ne consomme qu'environ 50kwh/m2/an. Dans un environnement plus dense la consommation d'énergie peut atteindre les 70kWh/m2/an.



La végétation	Liébard et Deherde 2005	Une différence de température moyenne de 3,5 °C est observable entre un centre-ville peu végétalisé et des quartiers longeant une bande de végétation d'une profondeur de 50 à 100 mètres.
	Lachance et al. 2006	Une zone végétalisée présentait une température de surface plus fraîche de 6 °C
	Akbari et al, 2001	Après avoir évalué pendant quelques mois la température de surface maximale des murs et des toits ombragés par les arbres sur deux bâtiments situés en Californie. La température de surface maximale mesurée est entre 11 à 25 °C
	Watkins et al., 2007	Si tous les murs ont une bonne capacité réfléchissante, la température de la gorge pourrait être diminuée de 3 à 4 °C au point le plus chaud de la journée.
La compacité	Serge Salat, Loeiz Bourdic et Françoise Labbe 2013,p206	Une forme urbaine compacte a besoin, sous l'effet des seuls facteurs de forme, de 66 % de l'énergie d'une forme non compacte
	Serge Salat, Loeiz Bourdic 2014	Plus ce ratio est important moins sont les besoins en chauffage. Par exemple des maisons isolées de compacité de 3.1 a une charge de chauffage de 75wh/m <sup>2</sup> an; des duplex superposés en r+3 de compacité 1.25 consomme une énergie équivalente à 32wh/m <sup>2</sup> an pour le chauffage.
Caractéristiques des matériaux	Fabio MUNARETTO 2014	l'inertie thermique a une importante influence en terme de performance énergétique, de confort thermique et de performance environnementale.
Composition de la façade	Khadraoui M.Amine 2019	Composition de la de la façade influe sur l'efficacité énergétique et le confort du bâtiment.
Surface vitrée	LAKHDARI Khaoula 2021	le ratio d'ouverture des murs de façade Impacte sur la performance lumineuse, thermique et énergétique d'un bâtiment

## **CHAPITRE III : LE CAS D'ETUDE**

### 3.1. La caractérisation de l'étage climatique et notification des dispositifs passifs :

Le potentiel bioclimatique est estimé sur la base de l'analyse du logiciel *Climate Consultant* qui est un logiciel didactique gratuit développé par le groupe d'étude de conception énergétique de l'université de la Californie. La lecture du diagramme psychrométrique montre comment améliorer le confort en proposant 15 stratégies passive suivant le code ASHRAE 55-2010 utilisé comme modèle de confort thermique et qui suppose que les occupants adaptent leurs vêtements aux conditions thermique (1,0 à 1,3 met). Les orientations sont données sous forme de pourcentage d'impact potentiel sur le confort hygrothermique et aussi en termes de nombre d'heures de confort thermique gagnées pour chaque stratégie de conception proposée. Voir figure ci-dessous.

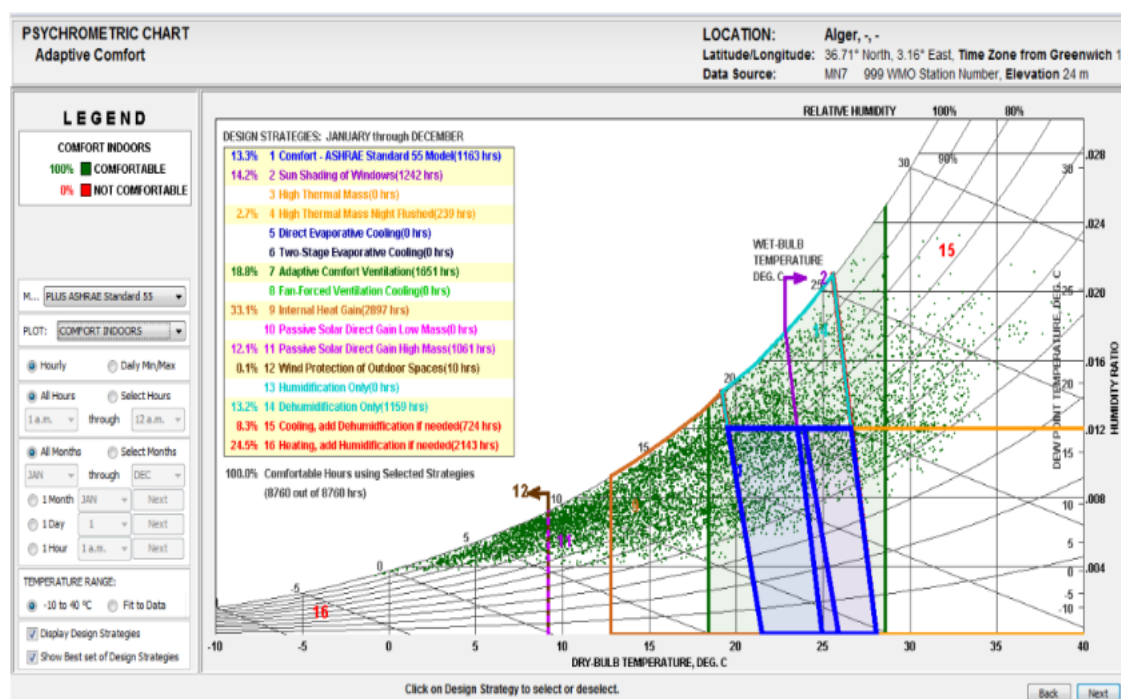


Figure 17 : le diagramme psychrométrique, ville Alger.

Le diagramme psychrométrique indique que le climat d'Alger est de 13,3% par année thermiquement confortable. Avec 33,1% (2897 heures), les gains de chaleur interne représentent le facteur le plus important réduisant la demande de chauffage, et les gains solaires passifs et la masse thermique pourraient améliorer encore le confort jusqu'à 12,1% (1061 heures) et 2,7% (239 heures) respectivement. Alors que la stratégie de l'ombrage et la

ventilation adaptative contribuent jusqu'à 14,2 % (1242 h) et 18,8% (1651 h) respectivement. Aussi, la déshumidification est nécessaire et pourrait améliorer le confort thermique jusqu'à 13,2% (1159 h). A travers la conception passive dont les stratégies citées ci-dessus le confort hygrothermique peut être amélioré jusqu'à 53,9% par an. Alors que la climatisation le chauffage conventionnel sont à prévoir pour améliorer encore le confort de 8,3 % (724 h) et 24,5 % (2143 h) respectivement.

### **3.2. Présentation du logiciel DESIGN BUILDER.**

DesignBuilder est une interface graphique reposant sur le moteur de calcul EnergyPlus. Il offre de nombreuses fonctionnalités non disponibles simultanément dans les logiciels existants :

- Calcul des déperditions/gains thermiques de l'enveloppe en hiver/été.
- Dimensionnement du chauffage.
- Dimensionnement du rafraîchissement par ventilation naturelle et/ou climatisation.
- Simulation dynamique (STD) restituant des données de confort, de bilan thermique, ventilation, etc.
- Construction en 3D réaliste avec vue des ombres portées (maquette BIM).
- Modeleur du bâtiment incluant des assistants de création de fenêtre, composition de la construction, détection automatique du type de paroi qui vous évitent de nombreuses saisies ou dessin.
- Gestion de l'occupation, de la ventilation mécanique, des ouvertures de fenêtre, de l'occultation des baies, des apports internes ... par planning paramétrable selon le type de jour, les mois, les heures (ou infra horaire).
- Economie d'énergie : free-cooling, récupérateur d'énergie sur air extrait, ventilation nocturne, gradation de l'éclairage selon la luminosité, régulation des températures d'air soufflé selon la demande, volume d'air variable ... déjà disponible en quelques clics.
- Plusieurs centaines de matériaux et exemples sont livrés en français avec le Pack Français.
- Carte d'éclairement naturel en FLJ et Autonomie lumineuse.
- Calculs LEED concernant ASHRAE 90.1 et EAp2.

- Calcul en coût global à l'aide de fonction puissante d'estimation des coûts de construction, d'énergie, de cycle de vie basé sur la maquette BIM.
- Module d'optimisation vous permettant de déterminer les paramètres du bâtiment offrant le meilleur compromis coût, confort, GES.
- RT2012.

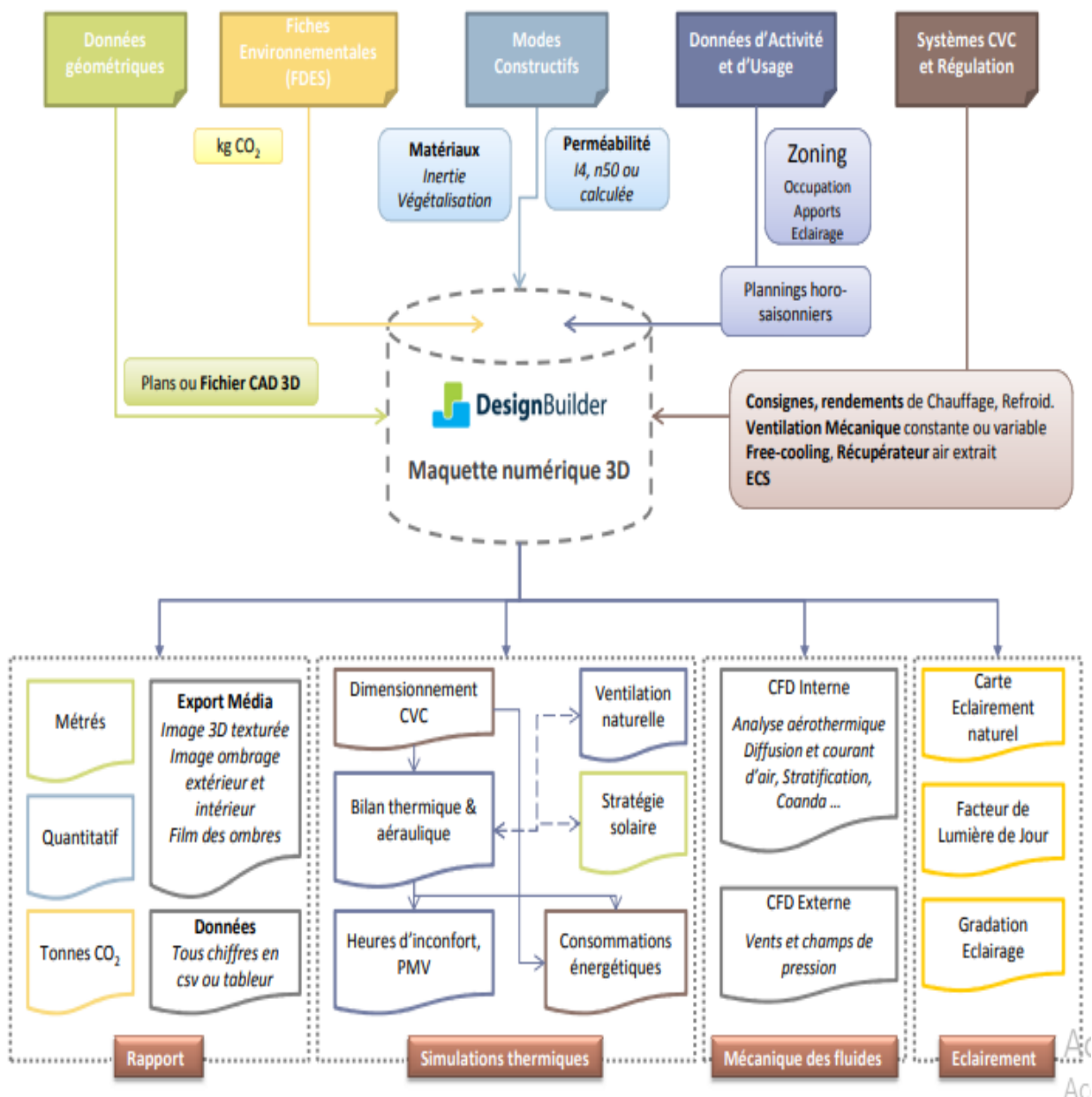


Figure 18 : organigramme des fonctions Design Builder

## A - l'Ergonomie du logiciel

A l'aide d'une interface 3D autorisant la manipulation, duplication, extrusion, coupe des volumes du bâtiment à la souris. L'organisation hiérarchique Bâtiment – Bloc, Zone, Surface autorise la configuration des données (construction, fenêtres, chauffage, etc.) au niveau général ou détaillé selon le principe d'héritage.

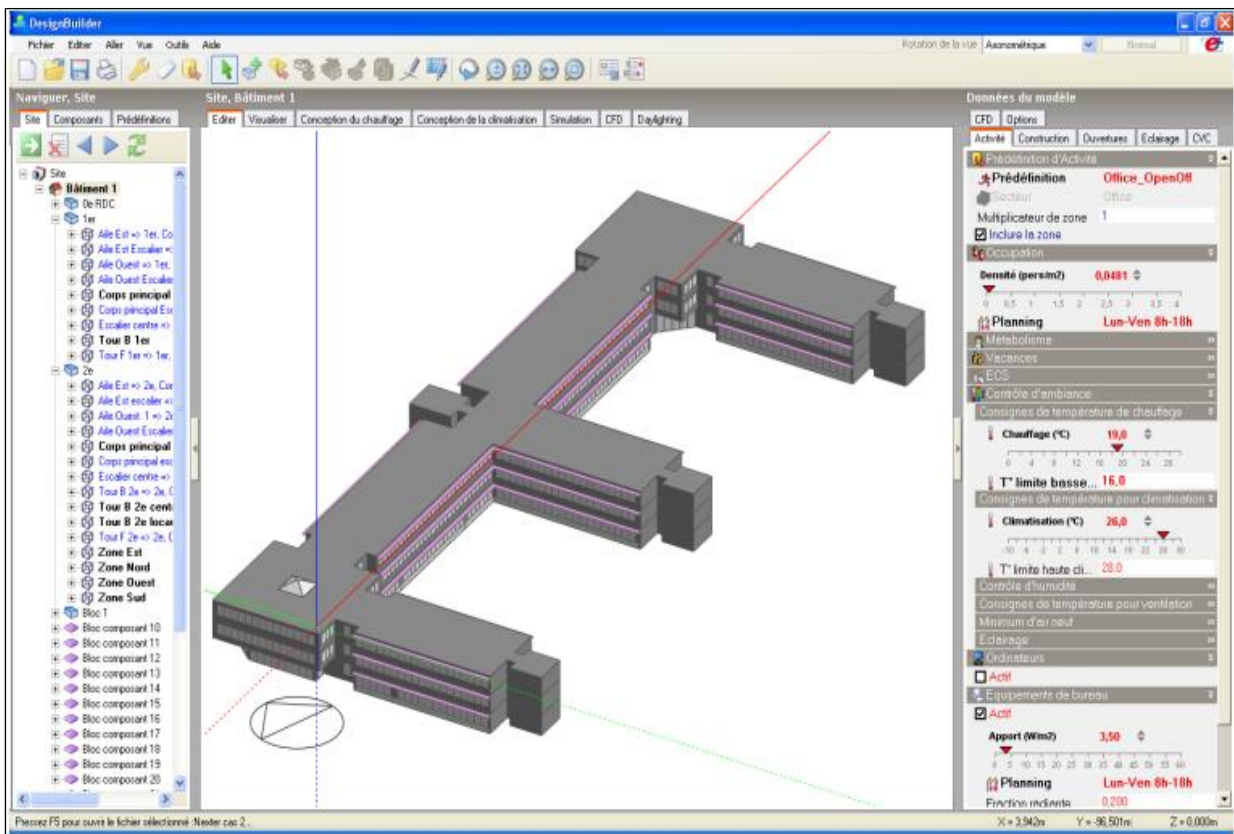


Figure 19 : l'ergonomie de Design Builder

## B - Le Rendu

Le bâtiment est immédiatement visualisable, à n'importe quel stade du projet. Il est possible de visiter le bâtiment à l'intérieur comme depuis l'extérieur, voir les ombres solaires à n'importe quelle date et heure (les vitrages sont transparents).

## C - La Simulation énergétique

Une Simulation énergétique basée sur le moteur EnergyPlus Certifié ASHRAE, Plus de 4400 sites météo sont disponibles dans le monde. Calculs à pas horaire ou moindre, système CVC, occupation, apports thermiques pilotés par planning, modélisation des flux d'air par ouvertures externes et internes, définition des consignes de confort thermique ...

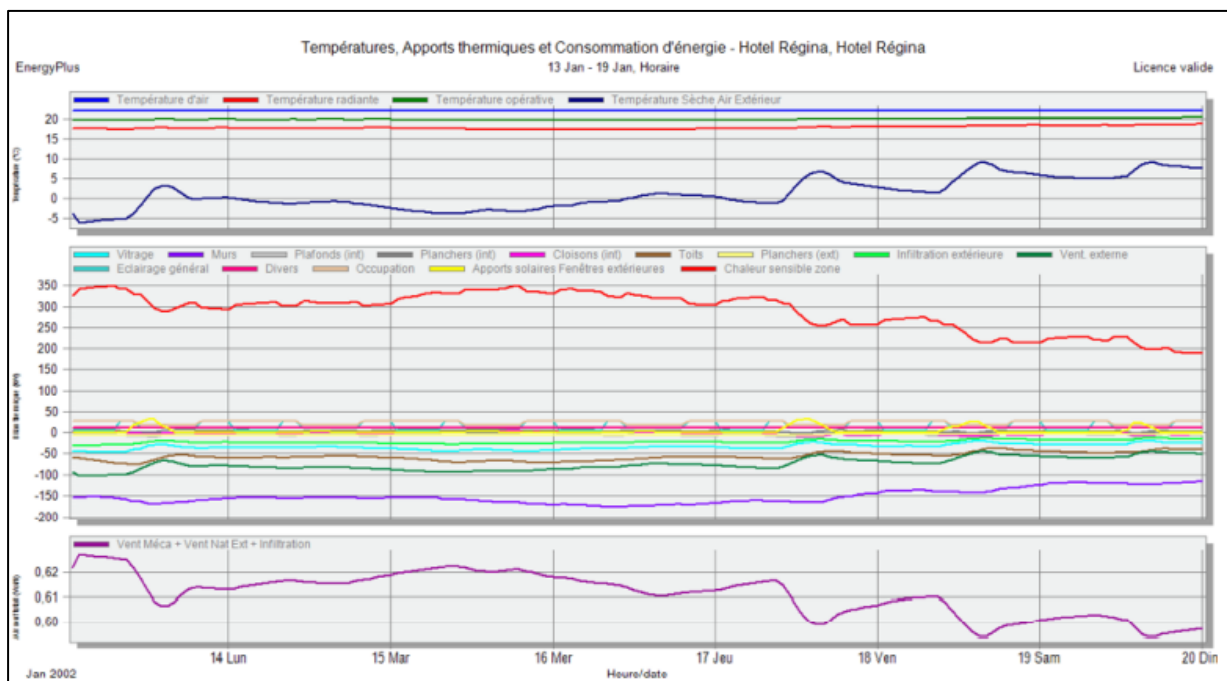


Figure 20 : la simulation énergétique Design Builder

## D - La Simulation de circulation d'air est couplée à la Simulation thermique

La Simulation de circulation d'air permet de calculer les flux d'air et la répartition des températures dans un local ou autour de bâtiments. Design Builder automatise les tâches techniques d'initialisation CFD afin que vous puissiez vous concentrer sur l'étude des phénomènes. Il est possible aussi de saisir des objets (dessin libre), du soufflage, de l'extraction, des radiateurs, des panneaux rayonnants, etc...

La Simulation de circulation d'air est particulièrement utile pour les études de confort, l'optimisation de la distribution d'air, les problématiques de stratification de volume de grande hauteur.

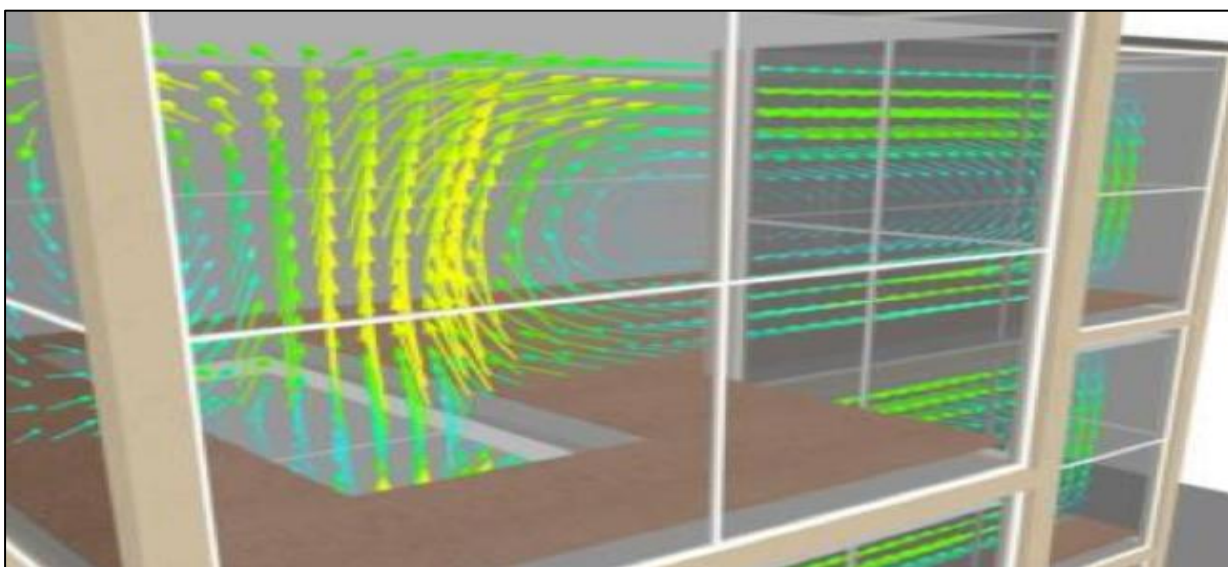


Figure 21: - La Simulation de circulation d'air Design Builder

### **E - La simulation d'éclairage naturel**

La création d'une carte d'éclairage de vos zones, le calcul des FLJ ne vous coutent plus grâce au module Eclairage de Design Builder. Un simple clic sur la ou les zones vous donnent accès à des calculs fins réalisés par le moteur Radiance. Plusieurs types de ciel normalisés sont disponibles, le maillage est paramétrable.

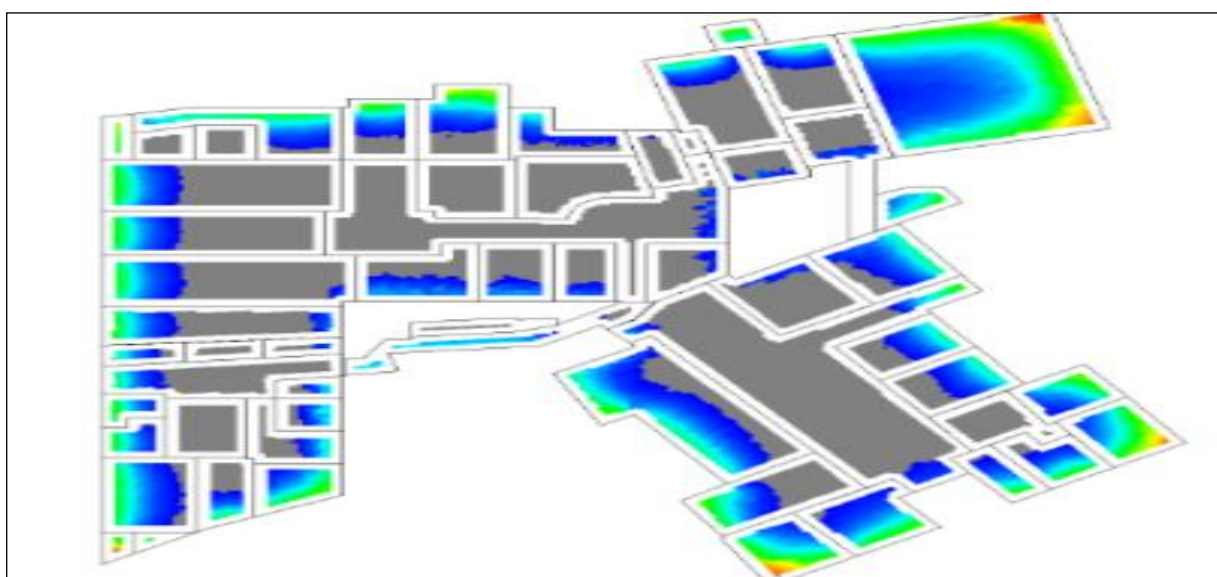


Figure 22 : La simulation d'éclairage naturel Design Builder



### *Visualisation 3D :*

- Vue sans effort d'images au rendu réaliste avec les ombres portées dans un écran hautement interactif.
- Explorer le modèle rendu en utilisant le mode Visite ou les commandes de contrôle de la vue.
- Analyse des ombres portées pour n'importe quelle heure de la journée et n'importe quel jour de l'année.
- Créer des vidéos montrant le trajet solaire et les ombres sur n'importe quel jour de l'année.

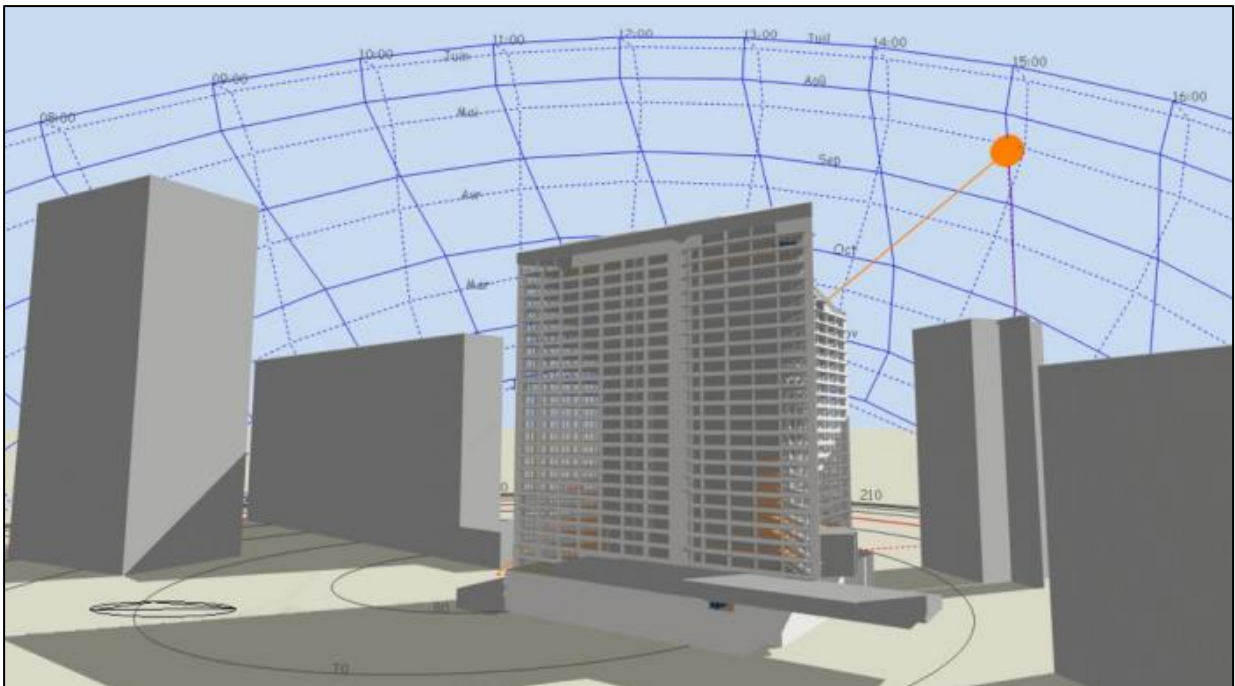


Figure 23 : Visualisation 3D Design Builder

### *Fonctions d'EnergyPlus:*

- EnergyPlus est étroitement intégré dans ce module proposant des simulations thermiques dynamiques avancées à des pas de calculs inférieurs à l'heure.
- Fournit des données de performance environnementale tel que consommation d'énergie, émissions carbone, confort des pièces pour des intervalles de temps annuel, mensuel, quotidien, horaire et infra-horaire.
- Rapporte les apports solaires sur les surfaces, les températures de surface et les échanges radiant.

- Donne accès à une vaste série de résultats pour le bâtiment et ses systèmes.
- Donne accès à la performance passive, l'inertie la répartition des températures.
- Exporte les températures de surface et les débits d'air comme des conditions aux limites pour des analyses CFD détaillées.
- Dimensionne les systèmes de chauffage et de refroidissement.

*Fonctions du module Coût :*

- Coûts de construction fondés sur les mètres des surfaces du modèle et des taux sur les coûts des composants, s'utilise tant en esquisse pour le budget initial que pour des analyses de cycle de vie et des études d'optimisation.
- L'analyse tarifaire permet de saisir tout type de tarif énergétique dans les simulations EnergyPlus.
- L'analyse de cycle de vie fournit des données les coûts à long terme (coût global) du bâtiment pour sa construction, sons exploitation et sa maintenance.

**3.3. Le Protocole de simulation**

Notre protocole de simulation a pour objectif d'étudier les variations de la demande énergétique par rapport à la variation de la longueur du décrochement à travers l'étude des modèles types suivants :

- 1) Cas sans décrochements.
- 2) Cas avec décrochements (1m).
- 3) Cas avec décrochements (3m).

Les échantillons choisis sont un assemblage de deux trames de (6x4.5) m<sup>2</sup>, chaque trame est vitrée d'une surface 12.5% de la surface de la trame, les murs extérieurs sont en double parois avec lame d'air..., toutes les caractéristiques sont identiques pour les trois cas.

Notre approche consiste à fixer tous les autres paramètres appart les décrochements pour avoir une meilleure lecture et une interprétation des résultats la plus précise par la suite.

## 1) Cas de référence (CAS-R) :

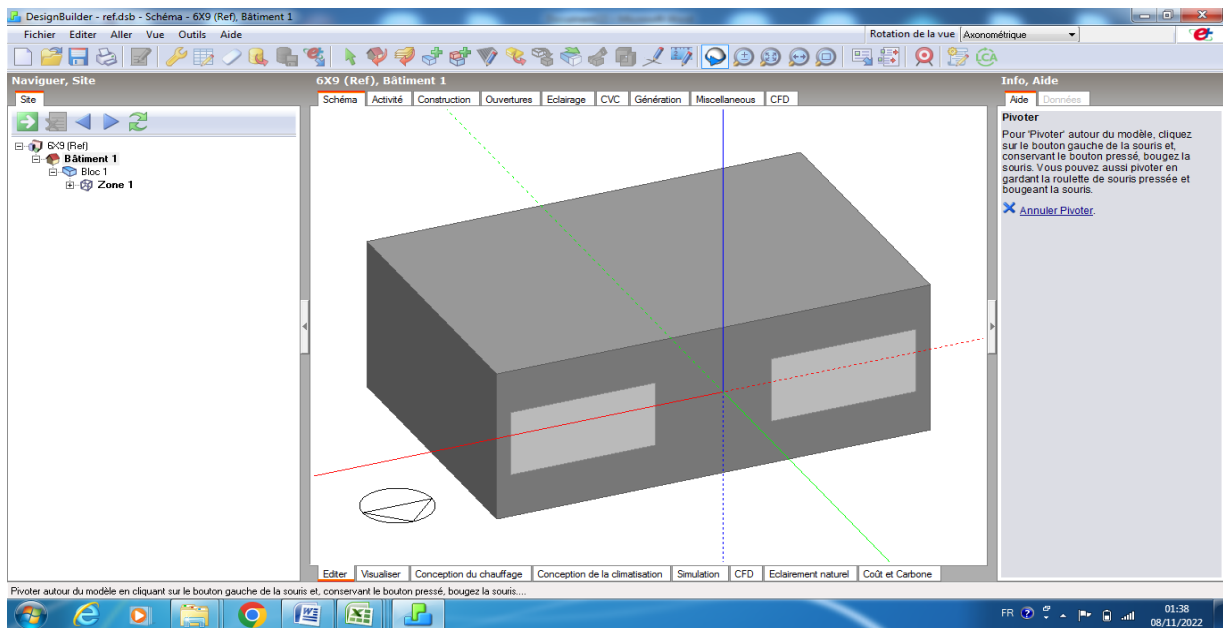


Figure 24 : Cas de référence (CAS-R)

## 2) Cas de 1m de décrochement (CAS-1m) :

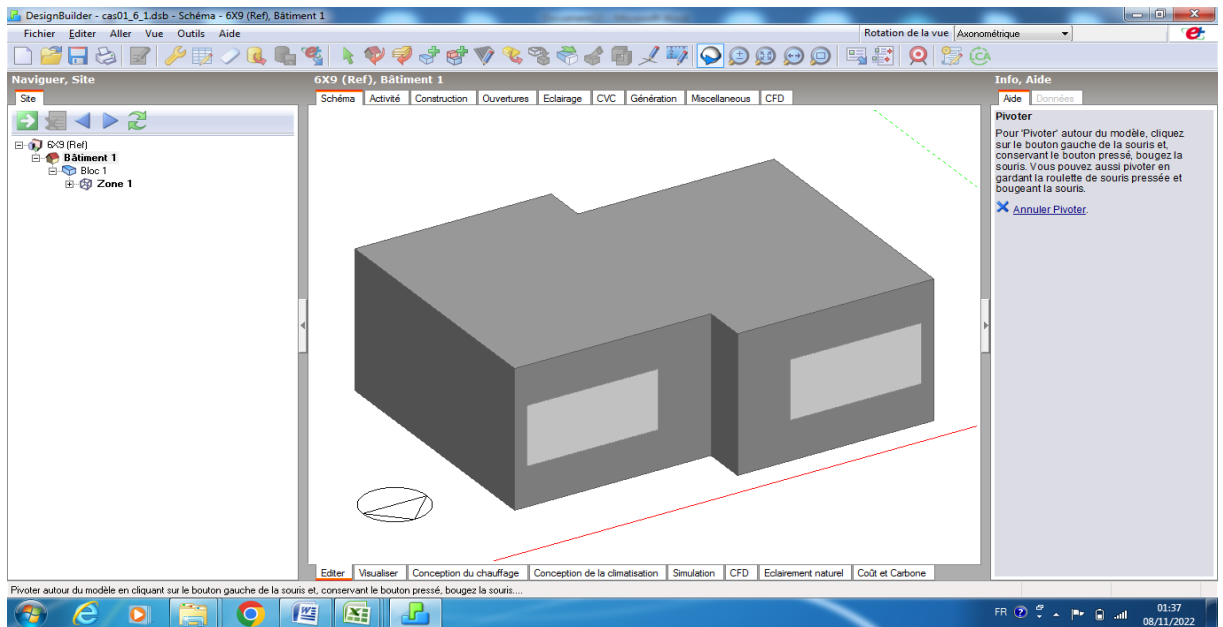


Figure 25 : Cas de 1m de décrochement (CAS-1m)

### 1) Cas de 3m de décrochement (CAS-3m) :

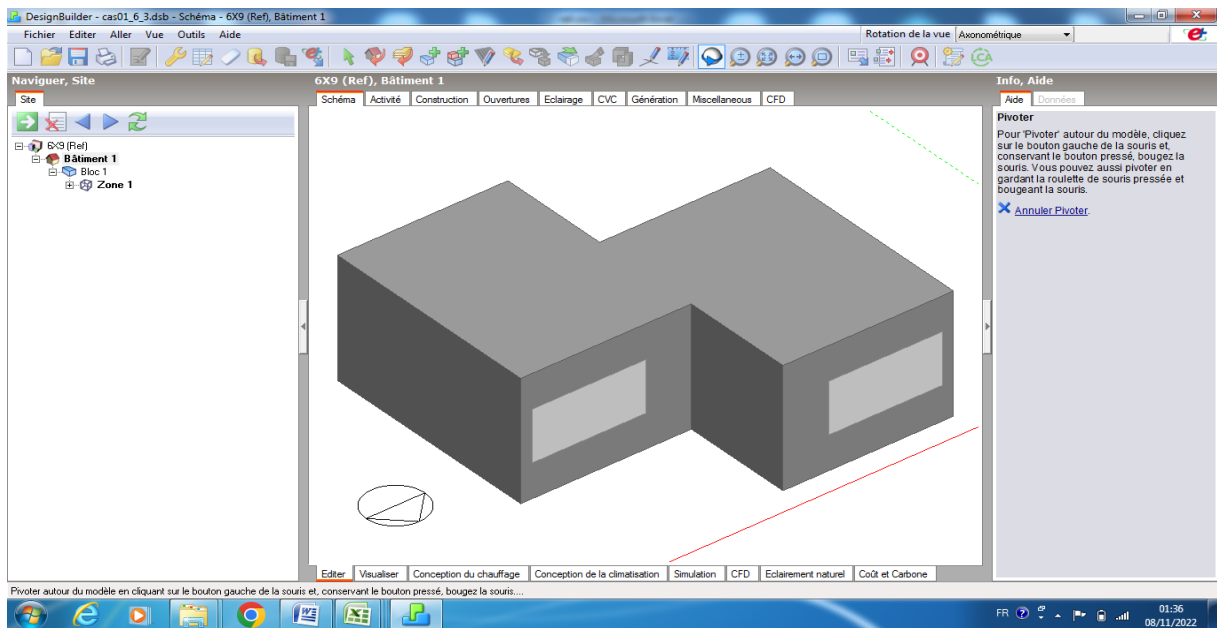


Figure 26 : Cas de 3m de décrochement (CAS-3m)

### 3.3.1. Étendue de l'étude

Notre étude vise à déterminer l'impact des décrochements sur la demande énergétique en fonction de l'orientation des cas choisis à des angles variables (**balayage de 360° avec un intervalle de 90°**), tel que formulé ci-dessous dans le tableau de la nomenclature des cas étudiés :

Décrochements	Cas R	Cas 1m	Cas 3m
Angle 0°	Cas R-0°	Cas 1m-0°	Cas 3m-0°
Angle 90°	Cas R-90°	Cas 1m-90°	Cas 3m-90°
Angle 180°	Cas R-180°	Cas 1m-180°	Cas 3m-180°
Angle 270°	Cas R-270°	Cas 1m-270°	Cas 3m-270°

Tableau 03 : tableau de la nomenclature des cas étudiés

### 3.3.2. Les secteurs de consommation étudiés

Dans la présente étude, nous nous sommes intéressés à étudier le comportement du modèle générique choisi en fonction de sa demande énergétique pour le chauffage et la climatisation car il s'agit des deux paramètres les plus influencés par le bâtiment et ils représentent à eux seul plus de 70% de la demande énergétique d'un bâtiment.

### 3.4. Résultats de simulation

Les tableaux ci-dessous résument les résultats obtenus.

	Cas étudiés	Refroidissement (Electricité) (kWh)	Chauffage (Gaz) (kWh)	Total (kWh)	Moyenne (Orientations du CAS-TYPE)
Cas de référence	Cas R-0°	52,88	3390,50	3443,37	2724,96
	Cas R-90°	124,01	2764,06	2888,08	
	Cas R-180°	105,66	1553,32	1658,98	
	Cas R-270°	168,39	2741,05	2909,44	
Cas 1m de décrochement	Cas 1m-0°	78,35	4502,86	4581,21	3967,90
	Cas 1m-90°	136,72	3998,77	4135,49	
	Cas 1m-180°	123,00	2873,52	2996,52	
	Cas 1m-270°	189,67	3968,73	4158,40	
Cas 3m de décrochement	Cas 3m-0°	82,91	4724,47	4807,37	4193,61
	Cas 3m-90°	138,83	4166,73	4305,57	
	Cas 3m-180°	128,12	3127,56	3255,68	
	Cas 3m-270°	189,17	4216,68	4405,85	

Tableau 04 : Tableau des Résultats de simulation par rapport aux besoins de chauffage et climatisation, valeurs en (kWh), tri par ordre de cas.

	Cas étudiés	Refroidissement (Electricité) (KWh/m <sup>2</sup> an)	Chauffage (Gaz) (KWh/m <sup>2</sup> an)	Total (KWh/m <sup>2</sup> an)	Moyenne (Orientations du CAS-TYPE)
Cas de référence	Cas R-0°	0,98	62,79	63,77	50,46
	Cas R-90°	2,30	51,19	53,48	
	Cas R-180°	1,96	28,77	30,72	
	Cas R-270°	3,12	50,76	53,88	
Cas 1m de décrochement	Cas 1m-0°	1,45	83,39	84,84	73,47
	Cas 1m-90°	2,53	74,05	76,58	
	Cas 1m-180°	2,28	53,21	55,49	
	Cas 1m-270°	3,51	73,49	77,01	
Cas 3m de décrochement	Cas 3m-0°	1,54	87,49	89,03	77,65
	Cas 3m-90°	2,57	77,16	79,73	
	Cas 3m-180°	2,37	57,92	60,29	
	Cas 3m-270°	3,50	78,09	81,59	

Tableau 05 : Tableau des Résultats de simulation par rapport aux besoins de chauffage et climatisation, valeurs en (KWh/m<sup>2</sup>an), tri par ordre de cas.

### 3.5. Analyse des résultats de simulation

Nos simulations nous ont démontrés à travers les deux tableaux ci-dessus que la demande énergétique varie en fonction du décrochement mais aussi que cette variation est de plus en plus considérable en fonction de l'orientation.

Ce qui nous a poussé à effectuer un tri de résultats non pas par ordre de Cas-type mais par ordre d'orientation afin de nous permettre de mieux comprendre le phénomène.

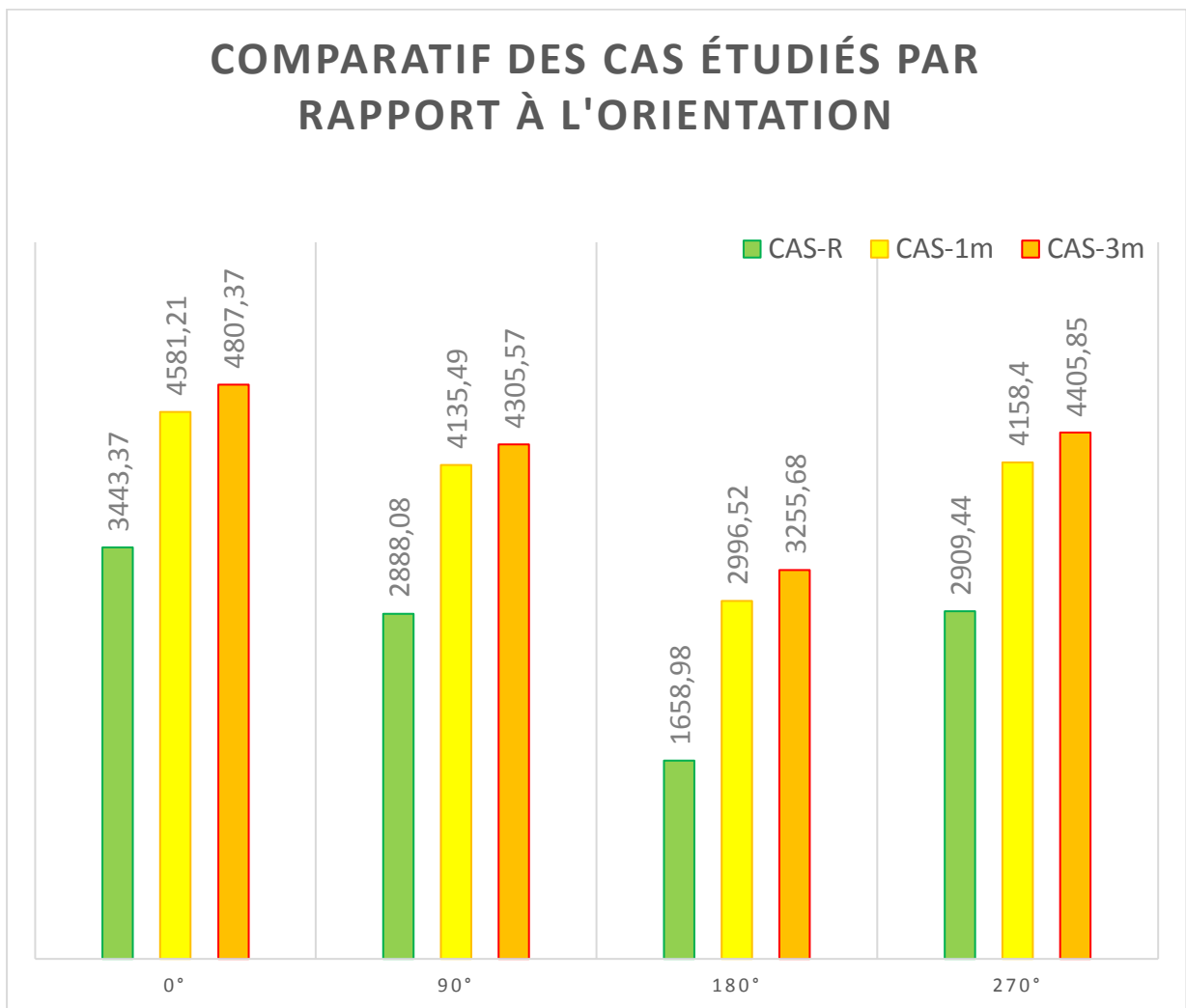


Figure 27 : Graphique comparatif des cas étudiés par rapport aux orientations

Les résultats de la comparaison entre les trois Cas-type par rapport aux orientations étudiées démontrent plus clairement ce qui suit :

- Les décrochements ont un impact sur la demande énergétique.
- De plus en plus la longueur du décrochement est importante, l'impact des décrochements sur la demande énergétique est important.

Cependant, la problématique qui se pose c'est bien la variation de l'amplitude de cet impact par rapport aux orientations, Ce qui nous a mené à quantifier l'impact des décrochements pour chaque orientation étudiée, voir tableau ci-dessous :

Cas de référence	Orientation	Clim(KWh)	Chauffage (Gaz) (kWh)	Total (KWh)	Amplitude de l'impact (%)
Cas-R	0°	52,88	3390,50	3443,37	Réf
Cas-1m	0°	78,35	4502,86	4581,21	33,04%
Cas-3m	0°	82,91	4724,47	4807,37	39,61%
Cas-R	90°	124,01	2764,06	2888,08	Réf
Cas-1m	90°	136,72	3998,77	4135,49	43,19%
Cas-3m	90°	138,83	4166,73	4305,57	49,08%
Cas-R	180°	105,66	1553,32	1658,98	Réf
Cas-1m	180°	123,00	2873,52	2996,52	80,62%
Cas-3m	180°	128,12	3127,56	3255,68	96,25%
Cas-R	270°	168,39	2741,05	2909,44	Réf
Cas-1m	270°	189,67	3968,73	4158,40	42,93%
Cas-3m	270°	189,17	4216,68	4405,85	51,43%

Tableau 06 : Tableau des Résultats de simulation par rapport aux besoins de chauffage et climatisation, valeurs en (kWh), tri par ordre d'orientation, impact en %.

A ce niveau d'avancement afin de nous focaliser sur l'impact des décrochements il est important de comparer les cas étudiés avec leurs duplique symétrique (effet miroir) afin de fixer le paramètre en comparant les résultats déjà atteints qui favorise les apports matinaux à leurs miroirs qui favorise les apports d'après-midi.



Décrochements	Cas R Miroir	Cas 1m Miroir	Cas 3m Miroir
Angle 0°	Cas R-0°- M	Cas 1m-0°-M	Cas 3m-0°-M
Angle 90°	Cas R-90°-M	Cas 1m-90°-M	Cas 3m-90°-M
Angle 180°	Cas R-180°-M	Cas 1m-180°-M	Cas 3m-180°-M
Angle 270°	Cas R-270°-M	Cas 1m-270°-M	Cas 3m-270°-M

Tableau 07 : tableau de la nomenclature des cas favorisant les apports d'après-midi (miroir).

Ci-dessous les résultats de la comparaison des résultats par rapport aux cas miroir :

Cas	Orientation (kWh)	Clim	Chauffage (Gaz) (kWh)	Total (kWh)	Dif (%)	Dif (%) entre Cas et Cas miroir
Cas R	0°	52,88	3390,50	3443,37	Réf	
Cas 1m	0°	78,35	4502,86	4581,21	33,04%	0.12%
Cas 1m-M	0°	78,81	4507,00	4585,82	33,18%	
Cas 3m	0°	82,91	4724,47	4807,37	39,61%	17.23%
Cas 3m-M	0°	100,84	5299,78	5400,63	56,84%	
Cas R	90°	124,01	2764,06	2888,08	Réf	
Cas 1m	90°	136,72	3998,77	4135,49	43,19%	0.8%
Cas 1m-M	90°	137,89	4020,69	4158,57	43,99%	
Cas 3m	90°	138,83	4166,73	4305,57	49,08%	23.29%
Cas 3m-M	90°	168,85	4809,46	4978,31	72,37%	
Cas R	180°	105,66	1553,32	1658,98	Réf	
Cas 1m	180°	123,00	2873,52	2996,52	80,62%	1.00%
Cas 1m-M	180°	124,24	2855,58	2979,82	79,62%	
Cas 3m	180°	128,12	3127,56	3255,68	96,25%	

Cas 3m-M	180°	154,17	3542,23	3696,40	122,81%	26.56%
Cas R	270°	168,39	2741,05	2909,44	Réf	
Cas 1m	270°	189,67	3968,73	4158,40	42,93%	0.37%
Cas 1m-M	270°	192,90	3954,87	4147,77	42,56%	
Cas 3m	270°	189,17	4216,68	4405,85	51,43%	15.52%
Cas 3m-M	270°	200,80	4656,57	4857,37	66,95%	

Tableau 08 : Tableau de comparaison des Résultats de simulation par rapport aux besoins de chauffage et climatisation, valeurs en (kWh), tri par ordre d'orientation, impact en %.

Les résultats de comparaison des deux groupe (CAS et CAS-MIROIR) indiquent ce qui suit :

1-Cas de décrochement (1m) :

Les résultats des deux groupes sont relativement similaires et la différence est < 1%.

Orientation	Nord 0°	Est 90°	Sud 180°	ouest270°
Groupe le plus performant	Groupe CAS	Groupe CAS	Groupe CAS-Miroir	Groupe CAS-Miroir
Différence (%)	0.12%	0.8%	1.0%	0.37%

2- Cas de décrochement (3m) :

Les résultats du groupe CAS sont plus performants que le groupe CAS-MIROIR quel que soit l'orientation

La différence entre les deux groupes varie par rapport à l'orientation

Orientation	Nord 0°	Est 90°	Sud 180°	ouest 270°
Groupe le plus performant	Groupe CAS	Groupe CAS	Groupe CAS	Groupe CAS
Différence (%)	17.23%	23.29%	26.56%	15.52%

### 3.6. Synthèse

Nous avons pu démontrer que l'impact des décrochements sur la demande énergétique est de plus en plus important en allant du nord 0° au sud 180° d'où l'amplitude varie respectivement jusqu'à 40% de la référence au nord, et jusqu'à 95% de la référence au sud.

Ce phénomène ne pourra être expliqué que par le facteur de la compacité (plus le bâtiment est compact plus il a une meilleure performance énergétique) voir chapitre 2.2.5.

C. Forme et compacité, page 38.

Dans les décrochements profonds (3m) la configuration du décrochement, (CAS ou CAS-MIROIR) impacte considérablement sur la demande énergétique, l'amplitude de cet impact varie de 15 à 26 %, elle est de plus en plus importante en allant du nord-ouest (270°-0°) au sud-est (90°-180°). De ce qui précède nous allons synthétiser deux phénomènes distincts :

#### **Premier phénomène :**

Quel que soit la longueur du décrochement, il a un impact sur la demande énergétique, cet impact est variable selon l'orientation beaucoup plus que par la longueur du décrochement, l'amplitude de cet impact augmente en allant du nord au sud.

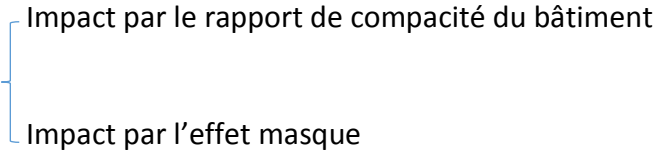
**Cause :** Ce phénomène est expliqué par **le rapport de compacité**, plus le bâtiment est compact plus il a une meilleure performance énergétique.

#### **Deuxième phénomène :**

Le choix de la configuration des décrochements, (configuration CAS ou configuration CAS-MIROIR) n'a pas vraiment d'impact aux décrochements à faible longueur (1m), mais dans le cas des décrochements relativement plus longs (3m), le choix de la configuration a un impact considérable sur la demande énergétique, l'impact du choix de la configuration est variable selon l'orientation, l'impact est de plus en plus important en allant du nord-ouest (270°-0°) au sud-est (90°-180°).

**Cause :** Ce phénomène est expliqué par **les effets de masques**.

Le meilleur cas c'est le CAS de référence (sans décrochements), Dans le cas des décrochements c'est plutôt complexe, plusieurs paramètres peuvent amplifier l'impact engendré de ce décrochement, on peut enfin conclure en mettant en exergue l'importance du décrochement et celle de l'orientation comme suit :

- 1) La longueur du décrochement : 
  - Impact par le rapport de compacité du bâtiment
  - Impact par l'effet masque
- 2) L'orientation du décrochement : impact sur l'apport énergétique solaire

## CONCLUSION GENERALE

A partir des résultats de notre étude nous pouvons affirmer que lors de la conception des nouveaux bâtiments ou la rénovation des anciens, l'Architecte ne doit pas négliger particulièrement l'impact des décrochements sur la demande énergétique notamment dans les orientations sud d'où l'enjeu d'une telle décision peut engendrer une augmentation excessive et importante pouvant atteindre les 40% seulement pour 1m de décrochement et pour l'orientation sud.

Comme tout architecte, nous sommes du même avis que l'architecture doit rester libre et ouvert à la créativité et qu'on ne doit à aucun cas limiter l'expression des idées à travers les façades, mais en contrepartie notre étude nous a éclaircis sur l'impact des décrochements sur la demande énergétique, ce qui nous laisse penser que plutôt qu'à travers l'utilisation raisonnable et modérer des décrochements que nous participons considérablement à la préservation de l'environnement et au développement durable tout en continuant d'exprimer nos concepts et philosophies architecturales.

Il est important aussi d'attirer l'attention sur tous les paramètres influant la demande énergétique du bâtiment et que de nos jours la maîtrise de ces paramètres grâce à l'outil de simulation dynamique nous permet de mesurer plus facilement l'impact de nos décisions conceptuelles avant de les mettre en œuvre, ce qui donne à l'architecture un rôle au premier rang dans le domaine de lutte contre l'émission des GES et pour une meilleure performance énergétique des bâtiments.

## LES SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES

### 5.1. Les Références bibliographiques

ARANTES, Laëtitia, BUCCHIANERI, Xavier, QUENARD, Daniel, et al. *Étude énergétique d'une conception rationalisée de la façade : le concept Core-Skin-Shell*. IBPSA, Université d'Artois, Arras-FR, 2014.

BANTING, Doug, DOSHI, Hitesh, LI, James, et al. *Report on the environmental benefits and costs of green roof technology for the city of Toronto*. City of Toronto and Ontario Centres of Excellence—Earth and Environmental Technologies, 2005.

BATIER, Cécile. *Confort thermique et énergie dans l'habitat social en milieu méditerranéen : d'un modèle comportemental de l'occupant vers des stratégies architecturales*. 2016. (Thèse de doctorat. Université Montpellier)

BERKOUK, D. et MAZOUZ, S. *Étude expérimentale de l'impact de la température ambiante de l'air sur le niveau du confort thermique des occupants*. Courrier du Savoir, 2017.

BENHALILOU, Karima et ABDOU, Saliha. *Impact de la végétation grimpante sur le confort hygrothermique estival du bâtiment. Cas du climat semi-aride*. 2017.

BOURSAS, Abderrahmane et MAHRI, Zinelabidine. *Etude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment d'habitation à l'aide d'un logiciel de simulation*. 2017.

BRUNET-MAHEU, Jean-Marc, FERNANDES, Julio C., DE LACERDA, Clemente AV, et al. *Pluronic F-127 as a cell carrier for bone tissue engineering*. *Journal of biomaterials applications*, 2009, vol. 24.

COMPAGNO, Andrea. *Intelligente Glasfassaden/Intelligent Glass Façades : Material, Anwendung, Gestaltung/Material, Practice, Design*. Birkhäuser, 2002.

DE HERDE, André et LIÉBARD, Alain. *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*. 2005.

DJAMEL, ZEKRAOUI. *L'impact de l'ouverture de la façade sur la consommation de l'énergie dans les bâtiments à usage de bureau sous un climat chaud et sec*. 2017. Thèse de doctorat.

Écohabitation, 2014 : *Mesures de lutte contre les îlots de chaleur urbains : mise à jour 2021 par l'Institut national de santé publique du Québec* 2014.

ESSO, *la protection solaire pour des bâtiments durables et a basse consommation* fevrier 2018 Edition 2)

GIVONI, Baruch et IZARD, Jean-Louis. *L'homme, l'architecture et le climat*. Paris : Editions du moniteur, 1978.

GIVONI, Baruch. *The effect of heat capacity in direct-gain buildings*. *Passive Sol. J.:(United States)*, 1987.

IMHOFF, Marc L., ZHANG, Ping, WOLFE, Robert E., et al. *Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA*. *Remote sensing of environment*, 2010.

TAHA, Haider, *Climats urbains et îlots de chaleur : albédo, évapotranspiration et chaleur anthropique*. *Énergie et bâtiments*, 1997.

THELLIER, Françoise. *Sans occupant, les bâtiments ne consomment pas d'énergie !* .2012.

## LE TABLEAU DES FIGURES

### Liste des tableaux

**Tableau 01** : évolution de la demande énergétique par secteur. APRUE (2019).

**Tableau 02** : Synthèse de quelques recherches portant sur l'effet de quelques paramètres sur la demande énergétique. Source (Confort thermique dans des logements modifiés en Algérie, BENREBIHA Imène: 2017).

**Tableau 03** : tableau de la nomenclature des cas étudiés.

**Tableau 04** : Tableau des Résultats de simulation par rapport aux besoins de chauffage et climatisation, valeurs en (kWh), tri par ordre de cas.

**Tableau 05** : Tableau des Résultats de simulation par rapport aux besoins de chauffage et climatisation, valeurs en (KWh/m<sup>2</sup>an), tri par ordre de cas.

**Tableau 06** : Tableau des Résultats de simulation par rapport aux besoins de chauffage et climatisation, valeurs en (kWh), tri par ordre d'orientation, impact en %.

**Tableau 07** : tableau de la nomenclature des cas favorisant les apports d'après-midi (miroir).

**Tableau 08** : Tableau de comparaison des Résultats de simulation par rapport aux besoins de chauffage et climatisation, valeurs en (kWh), tri par ordre d'orientation, impact en %.

### Liste des figures

**Figure 01** : Bilan énergétique national (APRUE 2019)

**Figure 02** : Méthode suivie

**Figure 03** : Ilot de chaleur urbain et dôme urbain (Bozzonet: 2005).

**Figure 04** : La puissance thermique générée par l'activité du métabolisme.

**Figure 05** : Les valeurs de l'isolement vestimentaire en fonction des tenues vestimentaires.

**Figure 06** : Influence de la vitesse du vent sur la température ressentie

**Figure 07** : L'impact du site et l'environnement immédiat sur le bâtiment (Miquey,2010)

**Figure 08** : Comparaison entre l'enveloppe à forte inertie et l'enveloppe à faible inertie.

**Figure 09** : L'impact de la forme sur l'efficacité énergétique. (BOURSAS et MAHRI: 2017).

**Figure 10** : Le Vitrage à contrôle solaire. Esso: 2018.

**Figure 11** : La protection solaire extérieure par lames brise-soleil-horizontaux. Esso: 2018

**Figure 12** : La protection solaire extérieure par des lames brise-soleil verticaux. Esso: 2018.

**Figure 13** : Façade végétale isolante de 625 m<sup>2</sup>, école Bernard Buffet, Paris 17ème

**Figure 14** : Façade productrice d'énergie dans un bâtiment résidentiel.

**Figure 15** : Exemple de dispositifs rabattables de façade intelligente

**Figure 16** : Exemple sur la répartition des espaces pour une meilleure performance énergétique.

**Figure 17** : Le diagramme psychométrique, ville Alger.

**Figure 18** : Organigramme des fonctions Design Builder

**Figure 19** : L'ergonomie de Design Builder

**Figure 20** : La simulation énergétique Design Builder

**Figure 21** : La Simulation de circulation d'air Design Builder

**Figure 22** : La simulation d'éclairage naturel Design Builder

**Figure 23** : Visualisation 3D Design Builder

**Figure 24** : Cas de référence (CAS-R)

**Figure 25** : Cas de 1m de décrochement (CAS-1m)

**Figure 26** : Cas de 3m de décrochement (CAS-3m)

**Figure 27** : Graphique comparatif des cas étudiés par rapport aux orientations

## LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviations, acronymes

**Ai** : Apport interne.

**APRUE** : Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie.

**As** : Apport solaire.

**ASHRAE** : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

**Bch** : Besoin en chauffage.

**C.V.C** : Climatisation, ventilation et chauffage.

**CF** : Coefficient de Forme.

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

**DPE** : Diagnostic de performance énergétique.

**Dp** : Déperditions des parois.

**Dr** : Déperditions par le renouvellement d'air.

**DTR** : Document technique réglementaire.

**IPE** : L'indice de performance énergétique.

**GES** : Gaz à Effet de Serre.

**GIZ** : Société allemande pour la coopération internationale.

**KWh** : Kilo Watt Heure.

**PAC** : Pompe A Chaleur.

**SP** : Surface des parois.

**PVs** : Panneaux photovoltaïques.

**SHAB** : Surface habitable.

**Tair** : Température

**T ressenti** : La température ressentie.

**Tsurf** : Températures des surfaces.

**Vair** : Vitesse de l'air.