

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة غرداية



حاضنة الأعمال لجامعة غرداية

كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم الآلية و الكهروميكانيك

مذكرة تخرج لنيل شهادة تخرج في مؤسسة ناشئة في إطار القرار الوزاري 1275  
شهادة تخرج – مؤسسة ناشئة / براءة اختراع

Taux et possibilités d'intégration de  
l'énergie photovoltaïque:

Application à deux maisons individuelles à  
faible et à forte performance énergétique

Présenté par :

MORCELI ABDELKADER

ANES TEMMAR

Encadreur :

Dr. BELGHERRAS SIFIA

Co-encadreur :

Dr. BEKKOUCHE SIDI  
MOHAMMED EL AMINE

الموسم الجامعي: 2023/ 2022 م

Adjectif	Niveau	Nom et Prénom
Président	MCB	Dr. CHWYA FAYCEL
Examineur	MCA	Dr. KHATTARA ABDELOUAHAB

## إهداء

الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنصل لولا فضل ربنا علينا الحمد لله و الشكر لله

وبعد

اهدي هذا العمل اليكم جميعا و اتقدم اليكم بالشكر و الامتنان

أرغب في التعبير عن امتناني العميق وشكري الصادق لعائلتي الرائعة ووالدي الذين كانوا دعماً لا يضاهاى طوال رحلتي الأكاديمية. شكراً لكم على إيمانكم بي وتحفيزكم المستمر

أشكر جامعتي العظيمة على الفرصة التي قدمتها لي للتعلم والتطور. كما أتقدم بالشكر للأساتذة الرائعين الذين شاركوا معرفتهم وخبراتهم معي

للمشرفين الذين اشرفو علينا إشرافاً دقيقاً وكان بالنسبه لنا دعماً فعّالاً، أتقدم بالامتنان الكبير. كان لديكم دور كبير في نجاح رحلتي

يضاً، أتوجه بخالص الشكر للأساتذة الرائعين الذين ناقشوني في هذه المذكرة. تفانيهم وتوجيهاتهم القيمة التي كانت لا غنى عنها في تطوير هذا العمل. شكراً لكم على الوقت والجهد الذي قدمتموه في قراءة وتقييم الأفكار والأبحاث. بفضل توجيهاتكم البناءة، تمكنت المذكرة من الوصول إلى مستوى أعلى من الجودة

أهدي شكري لوزارة التعليم على توفير البيئة المثلى للتعلم والتي بفضلها اجتزنا كل التحديات

في ختام مشواري الأكاديمي، أعبر عن امتناني الكبير وشكري العميق لكل من ساهم في نجاحي. لقد كانت رحلة رائعة، وأنا ممتن لكل لحظة منها

أخص بالذكر المشرفين الذين قدموا إرشاداتهم وتوجيهاتهم بحكمة، والذين ساهموا في صقل هذا العمل ليصبح نموذجاً متقناً للبحث العلمي

أخيراً، أعرب عن امتناني لكل من شارك في قراءة المذكرة النهائية وساهم في تحسينها. كلمات الشكر لا تكفي للتعبير عن امتناني لكم جميعاً

# Table des Matières

Table des matières.....	1
Nomenclature.....	4
Table des figures.....	6
Liste des tableaux.....	8
Introduction générale.....	10

## Chapitre 1

### Critères d'Évaluation et Notions Générales sur l'Efficacité Énergétique des Bâtiments

1.1. Introduction.....	13
1.2. Définition de l'efficacité énergétique.....	13
1.3. Avantages de l'efficacité énergétique.....	13
1.4. Types de bâtiments en termes d'efficacité énergétique.....	14
1.4.1. L'écoconstruction.....	14
1.4.2. L'architecture bioclimatique.....	15
1.4.3. Les maisons à basse consommation BBC.....	15
1.4.4. Les maisons passives.....	16
1.4.5. Les maisons à énergie positive.....	16
1.4.6. Les maisons autonomes ou maisons à zéro-énergie.....	16
1.5. Les normes de performance énergétique.....	17
1.6. Le confort.....	18
1.7. La conception bioclimatique des bâtiments.....	18
1.8. Isolation thermique.....	20
1.8.1. Thermique des bâtiments.....	20
1.8.2. L'isolation comme solution d'urgence face à la crise.....	20
1.8.3. Comparaison entre une construction bien isolée et une autre non isolée...	21
1.8.4. Conception du système d'isolation par l'intérieur.....	23
1.9. Les étapes d'amélioration de l'efficacité énergétique.....	25
1.10. Conclusion.....	26

**Chapitre 2**  
**Méthode d'Évaluation de l'Efficacité Énergétique**  
**Application à deux Types de Maison**

2.1. Introduction.....	28
2.2. Bilan énergétique global de l'habitat.....	28
2.2.1. Consommation énergétique liée à l'enveloppe.....	29
2.2.2. Consommation énergétique liée au chauffage d'eau.....	32
2.2.3. Apport de chaleur interne dû aux occupants.....	33
2.2.4. Apports de chaleur dûs à l'éclairage et aux équipements électroménagers.	34
2.2.5. Consommation d'énergie due à l'éclairage et aux équipements électriques	35
2.2.6. Orientation et apports solaires passifs.....	35
2.3. Le climat à Ghardaïa.....	37
2.4. Nombre de degrés jour (site de Ghardaïa) .....	39
2.5. Fiche technique détaillée de l'habitat.....	40
2.6. Bilan des besoins énergétiques et les démarches à entreprendre pour l'améliorer	44
2.7. Conclusion.....	48

**Chapitre 3**  
**Photovoltaïque Intégré au Bâtiment**  
**Évaluation des Coûts d'un Système Photovoltaïque Autonome**

3.1. Introduction.....	51
3.2. Types d'intégration.....	51
3.2.1. Intégration de type " brise-soleil ".....	51
3.2.2. Intégration de type " véranda ".....	51
3.2.3 Intégration en " façade ".....	52
3.2.4. Intégration en " toiture ".....	53
3.2.5. Intégration en " double peau ".....	53
3.2.6 Intégration en " allège de balcon vitré & allège de vitrage ".....	54
3.2.7. Intégration de type cheminée.....	54
3.3. Système photovoltaïque .....	56
3.3.1. Supports et assemblage des modules photovoltaïques .....	56
3.3.2. L'ensemble des liaisons électriques entre les modules .....	58

3.3.3. Position et orientation du champ PV .....	58
3.3.4. Le système de régulation .....	59
3.3.5. Le système de conversion.....	61
3.3.6. Le système du stockage.....	61
3.3.7. Système de câblage et raccordement.....	63
3.3.8. Avantage et inconvénients du système PV.....	64
3.4. Méthode de dimensionnement.....	64
3.5. Évaluation des coûts en fonction de la charge.....	68
3.6. Conclusion.....	84
Références.....	86

## Nomenclature

$Con_{Tot}$	Consommation énergétique totale (kWh)
$Con_{Env}$	Consommation énergétique liée à l'enveloppe (kWh)
$Ap_{Occup}$	Apport de chaleur interne dû aux occupants (kWh)
$Ap_{Elec}$	Apports de chaleur dûs à l'éclairage et aux équipements électroménagers (kWh)
$Con_{ECS}$	Consommation énergétique liée au chauffage d'eau (kWh)
$Con_{Elc}$	Consommation d'énergie due à l'éclairage et aux équipements électriques (kWh)
$Ap_{Sol}$	Apports solaires passifs (kWh)
$Dép_{Env}$	Dépense thermiques totales (W/K)
$Dj$	Nombre de degrés-jours
$A_{Parois-i}$	La surface des parois $i$ ( $m^2$ )
$b_{Parois-i}$	Le coefficient de réduction des dépenses thermiques des parois
$R_{Paroi-i}$	La résistance thermique de la couche $i$ de la paroi ( $m^2 K/W$ )
$e_{Paroi-i}$	L'épaisseur de la couche du matériau (m)
$\lambda_{Paroi-i}$	La conductivité thermique du matériau (W/m K)
$U_{vitrage-nu}$	Le coefficient de transmission thermique des vitrages nus ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )
$R_{Voilages}$	La résistance thermique additionnelle des voilages ( $m^2 \text{ } ^\circ C/W$ )
$R_{Rideaux}$	La résistance thermique additionnelle des rideaux ( $m^2 \text{ } ^\circ C/W$ )
$Dép_{Ventilation}$	Les dépenses liées au système de ventilation (W/K)
$Débit_{\acute{e}q}$	Le débit équivalent de l'air entrant ( $m^3/h$ )
$Débit_{Fen\_H}$	Le débit d'air d'aération naturelle, considéré comme système de ventilation d'hygiène ( $m^3/h$ )
$Débit_{Fen\_S}$	Le débit additionnel, l'ouverture des fenêtres vient en complément ( $m^3/h$ )
$Débit_{Comb}$	Le débit additionnel des appareils à combustion dans les pièces chauffées ( $m^3/h$ )

Débit <sub>V<sub>mc</sub></sub>	Le débit d'air extrait par la ventilation mécanique (m <sup>3</sup> /h)
Débit <sub>q<sub>Vperm</sub></sub>	Le débit de fuite de l'enveloppe (m <sup>3</sup> /h)
Débit <sub>C<sub>on</sub>dext</sub>	Le débit d'air extrait par les conduits à tirage naturel (m <sup>3</sup> /h)
p	La densité volumique de l'eau (kg/litre)
V <sub>ECS</sub>	Le volume d'eau souhaité par l'utilisateur (litre)
T <sub>ECS</sub>	La température de l'eau chaude d'utilisation (°C)
T <sub>EF</sub>	La température moyenne de l'eau froide à l'entrée du système de chauffage (°C)
C <sub>p</sub>	La chaleur irradiée par chaque occupant (W/occupant)
Dur <sub>Près / Jour</sub>	La durée de présence de chaque occupant par jour (heure)
Nb <sub>Jour</sub>	Le nombre de jours à chauffer/climatiser (jours par mois)
Dur <sub>Fonctionnement</sub>	La durée du fonctionnement de l'équipement (heure par jour)
P <sub>Irradiée</sub>	La puissance irradiée par l'équipement (W)
P <sub>éq</sub>	La puissance de l'équipement électrique (W)
Dur <sub>Util</sub>	Le nombre d'heures d'utilisation (h)
Nb <sub>Jour-Util</sub>	Le nombre de jours d'utilisation
n	Le nombre de surface de captation
I <sub>j</sub>	Le rayonnement solaire incident sur une surface unitaire d'orientation j (W/m <sup>2</sup> )
A <sub>nj</sub>	La surface réceptrice équivalente ayant une orientation j
A	La surface d'ouverture (m <sup>2</sup> )
S	Le facteur solaire des fenêtres.
I <sub>s,er</sub>	Le rayonnement solaire total reçu par la surface ouvrante avec un ombrage permanent (W/m <sup>2</sup> )
F <sub>h</sub>	Le facteur de correction pour l'horizon

## Table des figures

- Figure 1.1 :** Orientation du bâtiment et disposition des différentes pièces
- Figure 1.2 :** Répartition des déperditions thermiques dues à l'enveloppe
- Figure 1.3 :** A gauche (isolation intérieure) : de nombreux ponts thermiques sont inévitables à chaque étage, A droite (isolation extérieure) : l'isolation entoure complètement la structure
- Figure 1.4 :** Les leviers de l'efficacité énergétique
- Figure 2.1 :** Éclairement solaire horizontal correspondant au site de Ghardaïa
- Figure 2.2 :** Températures ambiantes correspondantes au site de Ghardaïa
- Figure 2.3 :** Plan descriptif du logement
- Figure 2.4 :** Consommation annuelle des équipements électriques selon l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie)
- Figure 2.5 :** Indication de la classe énergétique de l'habitat
- Figure 3.1 :** Intégration de type "brise-soleil"
- Figure 3.2 :** Intégration de type " véranda "
- Figure 3.3 :** Intégration en " façade "
- Figure 3.4 :** Intégration en " toiture"
- Figure 3.5 :** Intégration en double peau
- Figure 3.6 :** Intégration en allège de balcon vitré
- Figure 3.7 :** Intégration en allège de vitrage, après rénovation de façade
- Figure 3.8 :** Intégration de type cheminée
- Figure 3.9 :** Montage des supports de modules PV
- Figure 3.10 :** Connectivité entre les modules
- Figure 3.11 :** Modèles de régulateur
- Figure 3.12 :** Modèles d'onduleur
- Figure 3.13 :** Modèles de batteries solaires



**Figure 3.14 :** Schéma de raccordement des batteries

**Figure 3.15 :** Schéma de principe du système photovoltaïque autonome avec stockage

**Figure 3.16 :** Coût total estimé de l'installation photovoltaïque en fonction de la charge électrique d'alimentation, a : en tenant les valeurs des montants inférieurs, b : en tenant les valeurs des montants supérieurs

**Figure 3.17 :** Taux d'économie énergétique dû à l'intégration du système énergétique, courbes noir : maison énergivore, courbes rouge : maison économe

# **Introduction Générale**

## Introduction Générale

La réduction de la consommation d'énergie est devenue une urgence, tant pour des raisons écologiques que pour des raisons économiques. D'ici 2050, la population mondiale devrait atteindre entre 8 et 10 milliards de personnes, toutes ayant besoin d'énergie pour se chauffer, se déplacer, etc. Cette croissance démographique entraînera une augmentation significative de la demande énergétique. Cependant, l'augmentation des ressources énergétiques disponibles est incertaine, avec une diminution des découvertes de nouveaux gisements. Sur la base de la consommation de 2002, les réserves de pétrole et de gaz ne dureraient que 50 ans supplémentaires. Si nous continuons sur la voie actuelle, une crise énergétique est donc hautement probable.

Dans ce contexte, le choix de solutions adaptées dépend de plusieurs facteurs, tels que le contexte climatique, les performances énergétiques visées, les exigences en termes de confort thermique, acoustique, visuel et de qualité de l'air, ainsi que les contraintes techniques, économiques, architecturales et environnementales.

Lors du processus de conception de deux maisons individuelles à faible et à haute performance énergétique, il est souvent nécessaire de réaliser une étude paramétrique afin d'identifier les solutions optimales permettant d'atteindre les objectifs de performance énergétique et de confort thermique dans un contexte climatique spécifique.

L'objectif de cette recherche est donc de développer des solutions de conception innovantes pour ces deux maisons individuelles, en mettant l'accent sur l'efficacité énergétique et la réduction de la consommation d'énergie. Cela implique d'analyser les différentes options disponibles en termes de conception de l'enveloppe du bâtiment, des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation, ainsi que des sources d'énergie renouvelable. Parmi ces sources, l'énergie solaire photovoltaïque qui joue un rôle essentiel.

Le dimensionnement d'un système photovoltaïque consiste à déterminer la taille et la capacité du système nécessaire pour répondre aux besoins énergétiques d'une maison individuelle. Il prend en compte des facteurs tels que l'ensoleillement local, la consommation d'énergie prévue, l'orientation et l'inclinaison des panneaux solaires, ainsi

que l'espace disponible pour leur installation. Ce type de système présente plusieurs avantages dans le secteur de l'habitat, notamment :

- Énergie renouvelable et propre : L'énergie solaire est une source d'énergie renouvelable, ce qui signifie qu'elle est inépuisable à l'échelle humaine et ne produit pas de gaz à effet de serre ou de pollution lors de sa production.
- Réduction des coûts énergétiques : En utilisant l'énergie solaire pour générer de l'électricité, les occupants de la maison peuvent réduire leur dépendance aux fournisseurs d'énergie traditionnels, ce qui se traduit par des économies sur les factures d'électricité à long terme.
- Indépendance énergétique : L'installation d'un système PV permet aux propriétaires de devenir plus autonomes sur le plan énergétique en produisant leur propre électricité, ce qui réduit leur vulnérabilité aux fluctuations des prix de l'énergie.
- Durabilité environnementale : En optant pour l'énergie solaire, on contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, à la préservation des ressources naturelles et à la protection de l'environnement.

En explorant et en comparant différentes approches de conception pour deux maisons individuelles à faible et à haute performance énergétique, cette recherche vise à mettre en évidence les avantages, les limites et les résultats obtenus. L'accent sera également mis sur les critères d'efficacité énergétique, en mettant en évidence le rôle crucial de l'énergie solaire photovoltaïque dans la création de maisons écologiquement durables et économes en énergie.

L'objectif général du premier chapitre est d'exposer des pistes qui favorisent la promotion de l'efficacité énergétique dans les bâtiments. Le second est consacré à une étude comparative entre deux types de maison résidentielle de différentes classes énergétiques. La finalité des travaux dans le troisième chapitre est d'éprouver l'influence des composants solaires sur le bilan énergétique global des bâtisses. Les propositions vont être développées selon deux étapes : l'identification de la charge prévue et l'analyse des différentes configurations des systèmes photovoltaïques. Nous terminerons notre mémoire par une conclusion générale qui synthétise les principaux résultats obtenus.

# **Chapitre 1**

## **Critères d'Évaluation et Notions Générales sur l'Efficacité Énergétique des Bâtiments**

# Chapitre 1

## Critères d'évaluation et notions générales sur l'efficacité énergétique des bâtiments

### 1.1. Introduction

L'efficacité énergétique d'une construction mesure la relation entre la production d'une performance ou d'un service et la dépense énergétique nécessaire pour le produire. C'est à dire, elle se définit comme étant le rapport entre l'énergie consommée et l'énergie délivrée par le bâtiment. Les bâtiments représentent aujourd'hui une part très importante de la consommation d'énergie. Le prix de plus en plus croissant de l'énergie, la conscience environnementale et la compétition des produits et services exigent une utilisation rationnelle de l'énergie. L'efficacité énergétique est le moyen le plus rapide, le plus propre et le plus rentable pour diminuer la consommation d'énergie et respecter les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

L'objectif général de ce premier chapitre est de donner des pistes qui favorisent la promotion de l'efficacité énergétique dans les bâtiments. Les concepts proposés permettent une réduction intéressante de la consommation d'énergie et une diminuer concrète des émissions de gaz à effet de serre. En minimisant la consommation des bâtiments, ils pourront, à terme, devenir moins énergivores et moins polluants.

### 1.2. Définition de l'efficacité énergétique

L'efficacité énergétique désigne une utilisation améliorée de l'énergie disponible. Cela se traduit par l'obtention d'un rendement énergétique plus élevé tout en utilisant une faible quantité de ressources pour fournir le même service. Cela permet de réduire l'empreinte écologique, notamment en réduisant les émissions de gaz à effet de serre [1].

### 1.3. Avantages de l'efficacité énergétique

L'efficacité énergétique peut reposer des méthodes telles que l'optimisation de l'architecture du bâtiment, l'installation d'un système de chauffage plus performant, ou encore le recours aux énergies renouvelables. L'amélioration de l'efficacité énergétique est l'un des moyens les plus

fructueux et les moins coûteux. Ils permettront de relever les défis des prix élevés de l'énergie, de la sécurité et de l'indépendance énergétiques, de la pollution atmosphérique et du changement climatique mondial [1].

Les nombreux avantages de l'efficacité énergétique comprennent les volets suivants :

- Environnemental : une efficacité accrue peut réduire les émissions de gaz à effet de serre et autres polluants, ainsi que la consommation d'eau.
- Économique : l'amélioration de l'efficacité énergétique coûte généralement moins cher que d'investir dans la nouvelle génération des bâtiments. L'efficacité énergétique peut également stimuler l'économie locale.
- Avantage aux systèmes de services publics : une fois intégrée aux plans de ressources énergétiques, l'efficacité énergétique peut offrir des avantages à long terme en réduisant la charge de base et la demande de pointe, ainsi que la nécessité de disposer d'actifs de production et de transport supplémentaires.
- Gestion des risques : l'efficacité énergétique diversifie également les portefeuilles de ressources des services publics et peut constituer une couverture contre les incertitudes liées aux fluctuations des prix du carburant et à d'autres facteurs de risque.

## **1.4. Types de bâtiments en termes d'efficacité énergétique**

### **1.4.1. L'écoconstruction**

Le terme d'écoconstruction, qui combine les mots "écologie" et "construction", est apparu dans les années 1960 pour désigner des bâtiments qui minimisent leurs besoins énergétiques et leur impact sur le site et l'environnement. Ces bâtiments sont intégrés de manière respectueuse dans leur environnement et utilisent des ressources naturelles et locales. Ils font appel à des matériaux abondants, renouvelables et non polluants tels que la pierre, la terre, le bois, la paille, le chanvre, etc. L'écoconstruction s'inspire de l'architecture vernaculaire et de ses principes de bon sens, de durabilité et d'économie des ressources, tout en intégrant des avancées techniques pour exploiter les énergies renouvelables telles que le solaire passif, l'électricité solaire, l'éolien, la géothermie, le puits canadien, etc. [1] L'écoconstruction se base donc sur les grands principes du développement durable en assurant le confort et la santé aux occupants et en s'intégrant de la façon la plus naturelle possible à l'environnement, sans perturbation du milieu.

### **1.4.2. L'architecture bioclimatique**

Le style bioclimatique est un courant de l'architecture contemporaine. Il utilise le climat et les caractéristiques naturelles du site pour concevoir un bâtiment confortable, écologique et économique en tenant en considération le processus du chauffage, le système d'éclairage et la climatisation.

Une maison bioclimatique vise, par sa conception architecturale, à optimiser les ressources naturelles du milieu de manière passive. Cela permet de limiter l'utilisation d'équipements techniques actifs consommateurs d'énergie primaire, tels que les systèmes de chauffage et les installations de conversion de l'énergie solaire en électricité. Les options architecturales varient en fonction du climat, de la latitude, des compétences locales, des besoins et parfois des cultures. Dans les climats continentaux de l'hémisphère nord, cela se traduit généralement par une orientation des fenêtres vers le sud afin de bénéficier des apports solaires directs pour le chauffage passif en hiver, avec des protections solaires complémentaires en été. Un bâtiment compact permet de réduire les surfaces exposées aux façades et les pertes de chaleur causées par les vents dominants. Les espaces de service sont généralement situés au nord pour servir de tampons thermiques. L'aspect "bio" de l'architecture bioclimatique concerne également la prise en compte de critères environnementaux dans le choix des méthodes de construction et des matériaux utilisés [1].

### **1.4.3. Les maisons à basse consommation BBC**

Une maison à basse consommation d'énergie est une maison dont les choix de construction (orientation du bâtiment, matériaux et types d'énergies utilisés) permettent de limiter la consommation énergétique.

Le concept de bâtiment à basse consommation met l'accent sur les économies d'énergie et les performances thermiques. L'amélioration de l'enveloppe du bâtiment pour limiter les déperditions thermiques est l'aspect le plus important. Cela est désormais référencé par un label "BBC-Effinergie" qui atteste d'une consommation maximale de 50 kWh/m<sup>2</sup>/an d'énergie primaire. Ce label comprend également un contrôle de l'étanchéité à l'air, qui doit être inférieur à 0.6 m<sup>3</sup> par heure et par mètre carré. Selon l'association Effinergie, ces objectifs peuvent être atteints facilement et à des coûts raisonnables grâce aux techniques et aux matériaux actuellement disponibles et éprouvés [1].



#### **1.4.4. Les maisons passives**

Le concept de "Passiv-Haus" a été développé en Allemagne. Tout comme le label BBC en France, il concerne des maisons à très faible consommation d'énergie. Les performances définies par le Passiv-Haus de Darmstadt sont une consommation maximale de 15 kWh/m<sup>2</sup>/an pour le chauffage, une consommation d'énergie primaire inférieure à 120 kWh/m<sup>2</sup>/an et une excellente étanchéité à l'air. Ces résultats sont rendus possibles grâce à une isolation renforcée et à l'utilisation d'un chauffage passif. Cependant, la norme Passiv-Haus et le label suisse Minergie-P (qui est sensiblement équivalent) insistent tous deux sur une isolation renforcée. En France, ce label allemand est délivré par l'association "La Maison Passive France". Cependant, cette approche présente des coûts élevés en raison de l'utilisation d'une isolation plus épaisse, de vitrages très performants et d'équipements techniques. De plus, il est nécessaire de prévoir un système de chauffage d'appoint pour compenser les périodes de manque d'ensoleillement [1].

#### **1.4.5. Les maisons à énergie positive**

Il s'agit d'une maison dont la production d'énergie est supérieure à celle qui est consommée. Ce système requiert la mise en place de certaines technologies et relève également du facteur humain.

Ces maisons produisent donc plus d'énergie qu'elles n'en consomment grâce à des équipements de production thermique (chauffes eaux solaires) et d'électricité (panneaux solaires, éoliennes...etc.).

Le principe couramment utilisé consiste à revendre l'électricité produite à un prix avantageux à la société de production, ce qui évite les problèmes de stockage et permet d'acheter de l'électricité du réseau en cas de besoin. Ce type de logement ne doit pas être confondu avec une maison passive, qui ne produit généralement pas d'énergie [1].

#### **1.4.6. Les maisons autonomes ou maisons à zéro-énergie**

Le principe des maisons autonomes est de produire directement l'énergie nécessaire pour le chauffage et l'éclairage, sans dépendre d'un fournisseur extérieur, et de gérer l'approvisionnement en eau (récupération des eaux pluviales, des cours d'eau, etc.) ainsi que le traitement de l'eau (par exemple, le lagunage, où l'eau est filtrée par les racines des plantes). Cette approche implique une réduction des besoins énergétiques et l'utilisation d'équipements à faible consommation d'énergie. Elle nécessite un changement de comportement par rapport aux habitudes actuelles [1].

## 1.5. Les normes de performance énergétique

Les normes de performance énergétique sont un moyen commun d'évaluer les performances énergétiques des bâtiments. Ces normes sont établies par les gouvernements ou les organismes de réglementation et fixent certains critères spécifiques pour la consommation d'énergie des bâtiments. Il est possible d'énumérer quelques normes comme suit :

- NF EN 15217 (mars 2008) : Performance énergétique des bâtiments - Méthodes d'expression de la performance énergétique et de certification énergétique des bâtiments [2]
- NF EN 832 (août 1999) : Performance thermique des bâtiments - Calcul des besoins d'énergie pour le chauffage - Bâtiments résidentiels [3-4]
- NF EN ISO 10077-1 (décembre 2000) : Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures - Calcul du coefficient de transmission thermique - Partie 1 : méthode simplifiée [2, 4]
- NF EN ISO 10077-2 (juin 2004) : Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures - Calcul du coefficient de transmission thermique - Partie 2 : méthode numérique pour les profilés de menuiserie [2, 4]
- NF EN ISO 12569 (mai 2003) : Isolation thermique dans les bâtiments - Détermination du renouvellement d'air dans les bâtiments - Méthode de dilution de gaz traceurs [2, 3]
- NF EN 13363-1+A1 (décembre 2007) : Dispositifs de protection solaire combinés à des vitrages - Calcul du facteur de transmission solaire et lumineuse - Partie 1 : méthode simplifiée [2, 3]
- NF EN 13363-2 (novembre 2005) : Dispositifs de protection solaire combinés à des vitrages - Calcul du facteur de transmission solaire et lumineuse - Partie 2 : méthode de calcul détaillée [2, 4-6]
- NF EN ISO 13370 (avril 2008) : Performance thermique des bâtiments - Transfert de chaleur par le sol - Méthodes de calcul [2, 7]
- NF EN ISO 13786 (juillet 2008) : Performance thermique des composants de bâtiment - Caractéristiques thermiques dynamiques - Méthodes de calcul [2, 8, 9]
- NF EN ISO 13788 (décembre 2001) : Performance hygrothermique des composants et parois de bâtiments - Température superficielle intérieure permettant d'éviter l'humidité superficielle critique et la condensation dans la masse [2, 3, 10, 11]

- EN ISO 13789 (avril 2008) : Performance thermique des bâtiments - Coefficient de transfert thermique par transmission et par renouvellement d'air - Méthode de calcul [2, 8, 12]
- NF EN ISO 13790 (novembre 2004) : Performance thermique des bâtiments - Calcul des besoins d'énergie pour le chauffage des locaux [2, 6].

## **1.6. Le confort**

C'est est une sensation de bien-être qui a une triple origine (physique, fonctionnelle et psychique), désigne de manière générale les situations où les gestes et les positions du corps humain sont ressentis comme agréable quand le corps humain n'a pas d'effort à faire pour se sentir bien. Il peut être défini comme la sensation de bien-être dans un espace intérieur. Il est lié à la température (19 à 20 °C), à l'hygrométrie (comprise en 40 et 70%) et aux mouvements d'air (<0.2 m/s) [13].

## **1.7. La conception bioclimatique des bâtiments**

La conception bioclimatique des bâtiments permet de réaliser des constructions intégrées à leur environnement et optimales pour les besoins énergétiques. Aussi elle a pour objectif de réduire les besoins énergétiques des bâtiments et d'obtenir des conditions de vie adéquates et confortables (température, taux d'humidité, luminosité...etc.) de manière la plus naturelle possible grâce à une conception intelligente des bâtiments [14-16].

L'architecture bioclimatique n'est pas chose nouvelle, nos ancêtres suivaient déjà la plupart de ses principes. Malheureusement, ce type de construction a été oublié pendant quelques temps et est remis au goût du jour récemment en y incluant des progrès de la technique. Quelques principes qui guident la conception des maisons bioclimatiques :

### **L'implantation et l'intégration au relief**

Les façades vitrées sont à placer vers le sud et le bâtiment sera abrité par un talus ou un écran de végétation afin d'optimiser l'ensoleillement et de minimiser les pertes dues aux vents froids [16].

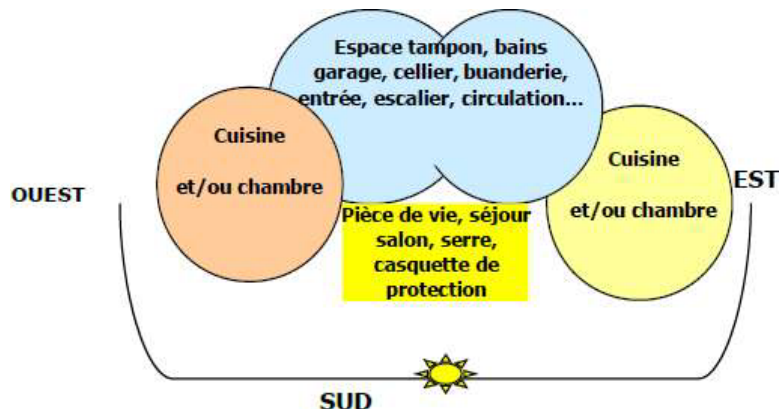
### **Le volume de la maison**

Une forme compacte est à préférer pour éviter les déperditions thermiques (en été comme en hiver). Afin d'augmenter le confort thermique, des matériaux tels que la dalle massive, l'argile, ...seront utilisées pour leurs propriétés d'inertie thermique et ainsi créer des

accumulations de chaleur ou de fraîcheur [16].

### La disposition des pièces de vie

Au Sud, la maison peut accueillir une serre non chauffée. C'est un espace tampon, capteur de calories et de lumière habité temporairement. Au côté Nord, on place les pièces nécessitant peu de chauffage (garage, cellier...) pour jouer le rôle de "zone tampon" entre l'extérieur et l'habitation. C'est le principe de la "double enveloppe" (**figure 1.1**).



**Figure 1.1** : Orientation du bâtiment et disposition des différentes pièces [15]

### Des parois performantes

Ces dernières permettent des gains en chaleur passive et en lumière naturelle [15].

### L'inertie thermique

L'utilisation des matériaux lourds à l'intérieur ayant la capacité de stocker les calories (exemple: un sol en pierre sombre isolé dans une serre bien exposée), permettant un déphasage jour/nuit [15]

### L'isolation

Isolation performante et de préférence posée par l'extérieur pour réduire les ponts thermiques [15].

### Le vitrage

À placer de préférence au sud pour profiter des apports caloriques du soleil et de la lumière [15].

### Les matériaux

L'utilisation de matériaux "bio", respirant et hygroscopiques permet une régulation naturelle de l'humidité ambiante [15].

## **Les murs**

Les murs exposés au soleil doivent être plutôt sombres (les couleurs sombres accumulent le rayonnement solaire tandis que les couleurs claires le réfléchissent), l'entrée principale doit être protégée par un sas pour limiter l'entrée/sortie de l'air chaud ou froid [15].

## **1.8. Isolation thermique**

### **1.8.1. Thermique des bâtiments**

L'ensemble des parties d'un bâtiment est soumis aux transferts thermiques "échanges de chaleur" entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur. La connaissance et la maîtrise de ces transferts permettent une gestion de la facture énergétique du bâtiment. La diminution de ces échanges thermiques permet de maintenir une température tempérée à l'intérieur du bâtiment en y apportant le moins d'énergie possible. Elle permet également d'orienter la conception du bâtiment dans un cadre réglementaire tout en visant un compromis entre coût énergétique et confort.

Un matériau isolant thermique est un matériau à basse conductivité thermique apparente. Avec une épaisseur relativement faible, il présente une résistance thermique suffisante pour les besoins envisagés. C'est donc un matériau qui transmet mal la chaleur, que ce soit par conduction, convection ou rayonnement [17]

- Pour éliminer la conduction, il faut éliminer la matière. Le vide ne conduit pas la chaleur.
- Pour éliminer la convection, il faut immobiliser ou supprimer les fluides. Il n'y a pas de convection possible ni dans le vide, ni dans un fluide immobilisé.
- Pour éliminer le rayonnement, il faut des écrans opaques au rayonnement, ou des surfaces non émissives (donc réfléchissantes) au rayonnement thermique.
- Pour éliminer l'évaporation - condensation, il faut utiliser des matériaux secs.

### **1.8.2. L'isolation comme solution d'urgence face à la crise**

En hiver, l'enveloppe du bâtiment doit limiter les déperditions de chaleur, pour trois raisons importantes :

- Éviter que la température intérieure des parois extérieures soit trop basse, ce qui crée un inconfort
- Éviter les moisissures et la condensation, qui créent un climat intérieur malsain ;
- Limiter la consommation d'énergie pour le chauffage, aussi bien pour des raisons économiques que pour protéger l'environnement.

- En été, l'enveloppe doit aider à maintenir une température agréable dans le volume habité en évitant que la chaleur de l'air extérieur et des surfaces extérieures chauffées au soleil se propagent à l'intérieur.

L'isolation thermique réduit ces échanges de chaleur, donc contribue à améliorer le confort, à réduire les risques de dégâts dans les bâtiments, et à réduire la consommation d'énergie tant pour le chauffage que pour un éventuel refroidissement. C'est l'utilisation systématique, dans l'enveloppe du bâtiment, de composants qui laissent difficilement passer la chaleur.

### **1.8.3. Comparaison entre une construction bien isolée et une autre non isolée**

- Construction non isolée

En hiver, les déperditions sont maximales au niveau de l'ensemble des parois opaques et vitrées et des liaisons structurelles. La ventilation naturelle n'est pas contrôlée et augmente les déperditions.

En été, le soleil surchauffe l'ambiance intérieure.

- Construction bien isolée

En hiver comme en été, les transferts de chaleur sont réduits sur l'ensemble des parois. La ventilation mécanique contrôlée, optimise le renouvellement d'air pour le moins de déperditions possibles. Selon l'orientation, la taille des baies, le mode de vie des occupants, et les apports gratuits d'énergie peuvent représenter jusqu'à 20 % des besoins. Ils réduisent d'autant les besoins d'énergie [18].

La **figure 1.2** donne une idée sur la répartition des déperditions thermiques pour les deux cas.

- Comparaison entre l'isolation extérieure et l'isolation intérieure

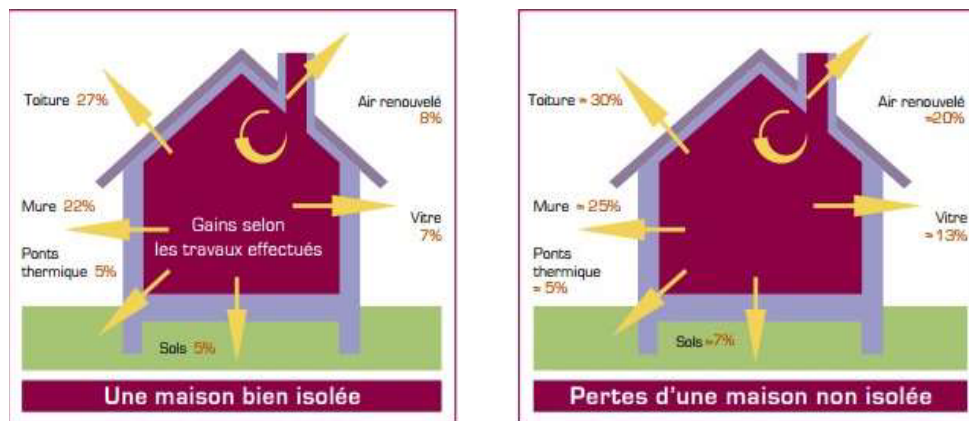
L'isolation extérieure consiste à installer l'isolant sur la surface extérieure du mur. C'est souvent la solution la plus coûteuse mais aussi la plus performante. Elle constitue la meilleure isolation pour le confort d'été et d'hiver, car elle permet de conserver l'inertie thermique forte des murs intérieurs et supprime les ponts thermiques. Elle favorise l'atténuation des pertes de chaleur par pont thermique. Ces conditions entraînent donc une meilleure performance thermique par rapport à l'isolation intérieure.

L'isolation thermique par l'intérieur consiste à intégrer un matériau isolant sur la face intérieure des murs, des sols et des sous-pentes d'un bâtiment. Elle peut être utilisée en construction neuve comme en rénovation et elle présente de nombreux avantages :

- Isolation plus efficace du froid que de la chaleur
- Engendre des économies d'énergie intéressante
- Offre un rapport qualité-prix raisonnable
- Améliore sensiblement l'isolation acoustique

Les éventuelles difficultés rencontrées simposent parfois en rénovation :

- Elle restreint l'espace habitable.
- Replanification pour la réadaptation du plan électrique (déplacements des prises et d'interrupteurs)
- En raison de l'épaisseur ajoutée à tous types d'encadrements, elle peut entrainer une diminution de la luminosité et peut présenter une gêne à l'ouverture complète des portes et fenêtres



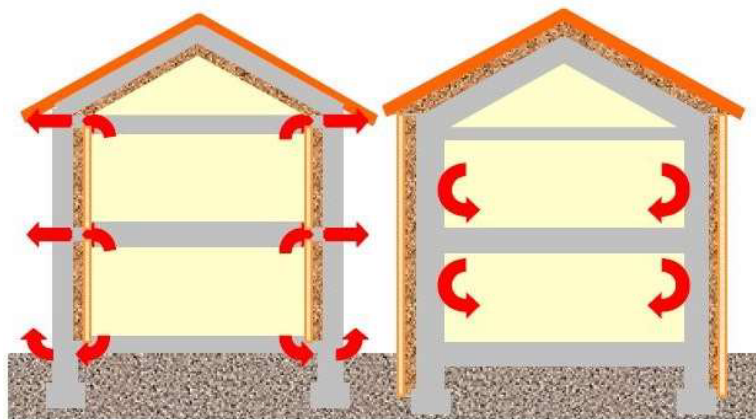
**Figure 1.2** : Répartition des déperditions thermiques dues à l'enveloppe [19].

Le tableau 1.1 dresse une comparaison générale en indiquant clairement les avantages et les inconvénients appropriée à chaque méthode.

Conformément à la figure 1.3, les murs seront plus hermétiques et protégés des flux extérieurs chauds et froids en adoptant une isolation par l'extérieur. Les ponts thermiques sront quasiment tous supprimés.

**Tableau 1.1** : Comparaison entre l'isolation intérieure et extérieure [19].

Critère	Isolation par l'intérieur	Isolation par l'extérieur
Inertie	L'inertie du mur n'est pas utilisée	Le confort intérieur est amélioré par la capacité d'accumulation de la chaleur des murs
Ponts thermiques	Ne sont pas traités où difficilement traitable	Les ponts thermiques sont pratiquement inexistants
Protection contre les écarts de température	Le mur est à l'abri de toutes variations extérieures	La paroi est protégée des écarts de température trop importants
Mise en œuvre	Facile mais nécessite beaucoup d'attention pour le traitement des ponts thermiques	Nécessite une main d'œuvre spécialisée avec un apprentissage préalable
<b>Durabilité</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Bonne</b>



**Figure 1.3** : A gauche (isolation intérieure) : de nombreux ponts thermiques sont inévitables à chaque étage, A droite (isolation extérieure) : l'isolation entoure complètement la structure [19]

#### 1.8.4. Conception du système d'isolation par l'intérieur

##### - Chauffage

La qualité d'une installation de chauffage est définie par la qualité du système de production de chaleur, de la distribution, du système d'émission ou des corps de chauffe, et de la régulation. Chacun de ces aspects devra être analysé pour vérifier qu'il convient à la nouvelle situation, après



la réalisation du système d'isolation par l'intérieur. Une installation performante, bien entretenue et bien régulée permettra des économies d'énergie importantes.

#### - Ventilation

La ventilation est une nécessité absolue dans nos logements très isolés et bien chauffés, pour notre bien-être, notre santé et celle de notre habitation. Elle évacue en effet les nombreux polluants qui peuvent s'accumuler et dont certains, comme le monoxyde de carbone, sont extrêmement dangereux. Elle contrôle l'excès d'humidité, responsable de l'apparition de moisissures et de dégradations du bâti. Elle fournit l'oxygène nécessaire à notre vie et au bon fonctionnement des appareils de chauffage à combustion.

L'optimisation du système de ventilation est nécessaire lorsque l'isolation est renforcée. La ventilation peut être naturelle ou assistée mécaniquement. Ainsi, il est incontournable de maîtriser le renouvellement de l'air par un bon équipement de ventilation pour le confort des habitants et une bonne conservation du bâti.

#### - Matériaux d'isolation et de construction

Les matériaux utilisés communément dans l'isolation des maisons peuvent être classés selon leur nature:

Les isolants synthétiques qui sont produits par l'industrie du pétrole, le plus souvent à partir d'un ou plusieurs dérivés du processus de raffinage : polystyrène expansé ou extrudé, polyuréthane...

Les isolants d'origine minérale sont issus de matières premières minérales (silice, argile, roches volcaniques...) : laines de roche et de verre, verre cellulaire, perlite, vermiculite, argile expansé...

Les isolants d'origine végétale sont les plus couramment employés en construction écologique : laine et fibre de bois, laine de chanvre, le coton, le lin, l'ouate de cellulose, liège, bottes de paille...

Les isolants d'origine animale : laine de mouton, plumes de canard...

#### - Isolation et l'inertie thermique

L'isolation d'un bâtiment doit être envisagée via :

Son coefficient d'isolation ;

Son déphasage thermique ; c'est-à-dire la capacité des matériaux composant l'enveloppe de l'habitation à ralentir les changements de température (l'inertie thermique utile, par exemple,

pour stocker des calories solaires le jour et les redistribuer lentement la nuit).

L'inertie thermique est la capacité d'un bâtiment à absorber puis, à restituer la chaleur de manière diffuse. Plus l'inertie est importante (plus les matériaux utilisés lors de la construction sont lourds, plus l'inertie est importante), plus le matériau stockera d'énergie. Dans les combles où la couverture freine peu le transfert de chaleur, l'inertie des matériaux isolants est très importante.

- Les caractéristiques thermiques d'un isolant performant

Les performances d'un isolant thermique sont déterminées par un certain nombre de coefficients qu'il est intéressant de comparer lors du choix d'un matériau.

La conductivité thermique : représente sa capacité à véhiculer un flux de chaleur, traversant un matériau d'un mètre d'épaisseur pour une différence de température de 1 degré entre les deux faces. Elle s'exprime en  $W/m^{\circ}C$ . Cette valeur permet de quantifier le pouvoir isolant de chaque matériau. Plus elle est faible, plus le matériau sera isolant.

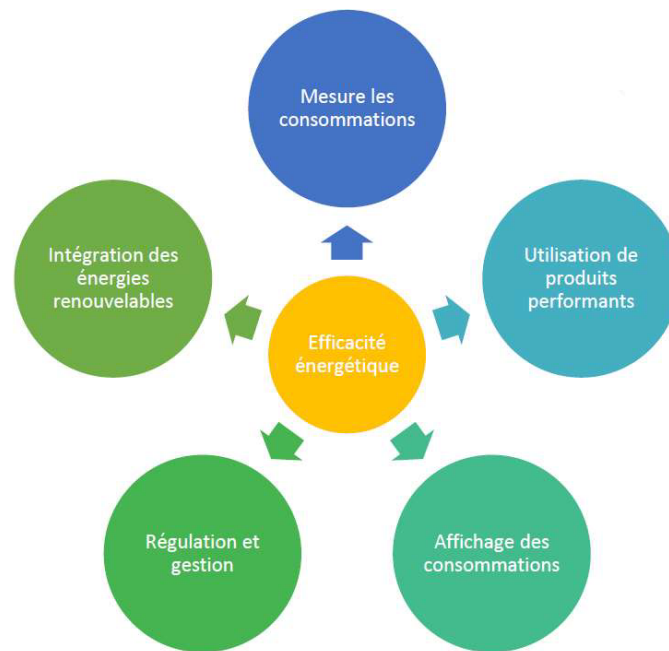
La résistance thermique: un autre indicateur est la mesure la plus significative pour représenter la performance d'une isolation. La résistance thermique noté R, elle exprime la capacité d'un matériau à résister au froid et à la chaleur, c'est à dire sa capacité à s'opposer au transfert de chaleur. Plus l'indice R est élevé plus le matériau est isolant, moins la maison perd de chaleur et donc plus il y a économie d'énergie. L'indice R s'obtient par le rapport de l'épaisseur en mètre sur la conductivité thermique du matériau. On peut alors facilement calculer la résistance thermique par la relation  $R = e/\lambda$ , avec e : l'épaisseur en m et  $\lambda$  : la conductivité en  $W/m^{\circ}C$ .

## **1.9. Les étapes d'amélioration de l'efficacité énergétique**

Il est à rappeler que l'objectif de l'efficacité énergétique est de "faire mieux avec moins". Pour ce faire, l'efficacité énergétique peut reposer des méthodes telles que l'optimisation de l'architecture du bâtiment, l'installation d'un système de chauffage plus performant, ou encore le recours aux énergies renouvelables.

Pour améliorer l'efficacité énergétique, il est indispensable de réaliser un audit énergétique au sein de l'habitat. Ça commence d'abord par la réduction des dépenses tout en adhérant à un mode de vie rationnel et plus écologique. Les démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique d'un bâtiment favorisent alors des gains énergétiques en agissant sur les différents paramètres humains et matériels. Les actions à mener indiquées par le schéma descriptif de la figure 1.4

montrent qu'ils sont fortement opportuns de contribuer à la création d'un avenir plus durable et d'un environnement plus sain [19].



**Figure 1.4** : Les leviers de l'efficacité énergétique

## 1.10. Conclusion

L'efficacité énergétique et la conception bioclimatique des bâtiments sont des stratégies indispensables pour atteindre nos objectifs de réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre.

En adoptant ces pratiques, nous pouvons créer des bâtiments plus durables, plus confortables et plus respectueux de l'environnement, contribuant ainsi à un avenir plus prometteur pour les générations futures.

## **Chapitre 2**

# **Méthode d'Évaluation de l'Efficacité Énergétique Application à deux Types de Maison**

## **Chapitre 2**

### **Méthode d'évaluation de l'efficacité énergétique**

#### **Application à deux types de maison**

##### **2.1. Introduction**

L'évaluation précise de l'efficacité énergétique d'un cadre bâti exige systématiquement l'application des techniques fiables permettant d'évaluer la classe énergétique et la performance énergétique de la construction. L'objectif visé et prioritaire est de réduire la consommation d'énergie issue d'un comportement éco-citoyen tout en maintenant un confort satisfaisant. Nous terminerons notre chapitre par une étude comparative entre deux types de maison résidentielle.

##### **2.2. Bilan énergétique global de l'habitat**

Le bilan énergétique de l'habitat assure une évaluation, un contrôle et un diagnostic global qui, par la suite, déterminent les travaux à entreprendre pour améliorer l'efficacité énergétique de n'importe quelle maison. Ce bilan doit prendre en compte :

- La spécificité du bâti (matériaux utilisés, niveau d'isolation thermique, les murs, le sol, les ouvertures...)
- L'aération et les systèmes de ventilation
- Le chauffage et la production de l'eau sanitaire
- Les équipements électroménagers et le système d'éclairage
- Les concepts énergétiques passifs et actifs

Le calcul des besoins énergétiques se base donc sur les équations suivantes [20-22] :

##### **Chauffage**

$$\text{Con}_{\text{Tot}} = \text{Con}_{\text{Env}} - (\text{Ap}_{\text{Occup}} + \text{Ap}_{\text{Elec}}) + \text{Con}_{\text{ECS}} + \text{Con}_{\text{Elc}} - \text{Ap}_{\text{Sol}} \quad (1)$$

##### **Climatisation**

$$\text{Con}_{\text{Tot}} = \text{Con}_{\text{Env}} + (\text{Ap}_{\text{Occup}} + \text{Ap}_{\text{Elec}}) + \text{Con}_{\text{ECS}} + \text{Con}_{\text{Elc}} + \text{Ap}_{\text{Sol}} \quad (2)$$

## Intersaisons : Chauffage / Climatisation

$$\text{Con}_{\text{Tot}} = | \text{Con}_{\text{Env}} - ( \text{Ap}_{\text{Occup}} + \text{Ap}_{\text{Elec}} ) | + \text{Con}_{\text{ECS}} + \text{Con}_{\text{Elc}} \mp \text{Ap}_{\text{Sol}} \quad (3)$$

### 2.2.1. Consommation énergétique liée à l'enveloppe

L'enveloppe qui sépare l'intérieur de l'extérieur est composée des murs, du plancher, du toit, des fenêtres et des portes. Le niveau et la qualité de l'isolation thermique sont liés directement à la consommation énergétique engendrée par le conditionnement d'air (chauffage et climatisation) et la ventilation. Sa valeur est exprimée par la formule suivante [23-27] :

$$\text{Con}_{\text{Env}} = 24 \text{ Dép}_{\text{Env}} \text{ Dj} \quad (4)$$

$\text{Dép}_{\text{Env}}$  : Déperditions thermiques totales, en W/K.

Dj : Nombre de degrés-jours.

La formule générale qui identifie les déperditions thermiques est donnée par l'expression suivante [23-27] :

$$\text{Dép}_{\text{Env}} = \text{Dép}_{\text{Murs}} + \text{T}_{\text{Toit}} + \text{Dép}_{\text{Portes}} + \text{Dép}_{\text{Plancher}} + \text{Dép}_{\text{Fenêtres}} + \text{Dép}_{\text{Ventilation}} \quad (5)$$

$$\text{Dép}_{\text{Env}} = \text{Dép}_{\text{Parois}} + \text{Dép}_{\text{Ventilation}} \quad (6)$$

$$\text{Dép}_{\text{Parois}} = \sum_{i=1}^{i=n} b_{\text{Parois}-i} A_{\text{Parois}-i} U_{\text{Parois}-i} \quad (7)$$

$A_{\text{Parois}-i}$  : La surface des parois  $i$  ( $\text{m}^2$ ).

$b_{\text{Parois}-i}$  : Le coefficient de réduction des déperditions thermiques des parois.

Si la paroi est en contact avec l'extérieur,  $b = 1$ .

Si elle est enterrée ou sur un vide sanitaire,  $b = 0.8$ .

Pour les locaux adjacents autres que d'habitation,  $b = 0.2$ .

La méthode de calcul du coefficient de transmission thermique ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$ ) consiste à décomposer la paroi en éléments :

$$\frac{1}{U_{\text{Paroi-i}}} = \sum R_{\text{Paroi-i}} + \frac{1}{h_{\text{Paroi-i-intérieure}}} + \frac{1}{h_{\text{Paroi-i-exterieure}}} \quad (8)$$

$\sum R_{\text{paroi}}$  (m<sup>2</sup> K/W) représente la somme des résistances thermiques des différentes couches intérieures de matériaux constituant la paroi.

La résistance thermique d'une couche homogène est donnée par :

$$R_{\text{Paroi-i}} = \frac{e_{\text{Paroi-i}}}{\lambda_{\text{Paroi-i}}} \quad (9)$$

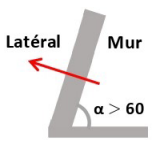
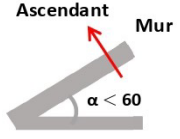
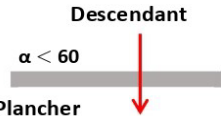
$R_{\text{Paroi-i}}$  (m<sup>2</sup> K/W) représente la résistance thermique de la couche i de la paroi,

$e_{\text{Par}}$  (m) représente l'épaisseur de la couche du matériau,

$\lambda_{\text{Par}}$  (W/m K) représente la conductivité thermique du matériau.

La somme  $\frac{1}{h_{\text{Paroi-i-intérieure}}} + \frac{1}{h_{\text{Paroi-i-exterieure}}}$  (m<sup>2</sup> K/W) représente la somme des coefficients d'échange superficiel (tableau 2.1).

**Tableau 2.1** : Résistances thermiques d'échanges superficiels [28]

$\frac{1}{h}$ W/m <sup>2</sup> K	Paroi en contact avec :			Paroi en contact avec :		
	$\frac{1}{h_{\text{Paroi-i-intérieure}}}$	$\frac{1}{h_{\text{Paroi-i-exterieure}}}$	Somme	$\frac{1}{h_{\text{Paroi-i-intérieure}}}$	$\frac{1}{h_{\text{Paroi-i-exterieure}}}$	Somme
 <p>Latéral Mur <math>\alpha &gt; 60</math></p>	0.11	0.06	0.17	0.11	0.11	0.22
 <p>Ascendant Mur <math>\alpha &lt; 60</math></p>	0.09	0.05	0.14	0.09	0.09	0.18
 <p>Descendant <math>\alpha &lt; 60</math> Plancher</p>	0.17	0.05	0.22	0.17	0.17	0.34

La méthode d'estimation de ce coefficient pour une porte est la même à celle d'un mur opaque. Il est possible de s'inspirer directement du tableau 2.2 ci-dessous.

**Tableau 2.2** : Résistances thermiques d'échanges superficiels [28]

		En contact avec l'extérieur	En contact avec un local non chauffé
<b>Porte en bois</b>	Porte opaque	3.5	2
	Porte avec vitrage, surface vitrée inférieure à 30%	4.0	2.4
	Porte avec vitrage, surface vitrée de 30% à 60%	4.5	2.7
<b>Porte en métal</b>	Porte opaque	5.8	4.5
	Porte avec vitrage simple	5.8	4.5

Le coefficient de transmission thermique des parois vitrées de l'ensemble fenêtre-occultation a été calculé en retenant une lame d'air immobile entre la fenêtre et l'occultation. Les coefficients  $U_{\text{vitrage-nu}}$  ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) des vitrages nus sont donnés par le tableau 2.3 suivant :

**Tableau 2.3** : Coefficients  $U_{\text{vitrage-nu}}$  ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) des vitrages nus [9]

Type de vitrage	Épaisseur de la lame d'air	Nature de la menuiserie	Paroi verticale	Paroi horizontale
<b>Simple vitrage</b>		Bois	5.0	5.5
		Métal	5.8	6.5
<b>Double vitrage</b>	5 à 7mm	Bois	3.3	3.5
		Métal	4.0	4.3
	8 à 9mm	Bois	3.1	3.3
		Métal	3.9	4.2
	10 à 11mm	Bois	3.0	3.2
		Métal	3.8	4.1
	12 à 13mm	Bois	2.9	3.1
		Métal	3.7	4.0
<b>Double fenêtre</b>	Plus de 30mm	Bois	2.6	2.7
		Métal	3.0	3.2



$$U_{\text{Vitrage}} = \frac{1}{\frac{1}{U_{\text{Vitrage-nu}}} + R_{\text{Voilages}} + R_{\text{Rideaux}} + R_{\text{Occultations}}} \quad (10)$$

$R_{\text{Voilages}}$  : La résistance thermique additionnelle des voilages, elle est fixée à 0.025 m<sup>2</sup> °C/W,

$R_{\text{Rideaux}}$  : La résistance thermique additionnelle des rideaux, la valeur retenue est de 0.030 m<sup>2</sup> °C/W,

$R_{\text{Occultations}}$  : La résistance thermique additionnelle des occultations, elle est retenue à 0.17 m<sup>2</sup> °C/W si elles existent.

Les déperditions (W/K) liées au système de ventilation est donnée par l'équation suivante [20-27] :

$$\text{Dép}_{\text{Ventilation}} = 0.34 \text{ Débit}_{\text{éq}} \quad (11)$$

$\text{Débit}_{\text{éq}}$  : Le débit équivalent de l'air entrant (m<sup>3</sup>/h),

0.34 : La capacité thermique volumique de l'air (Wh/m<sup>3</sup> K).

$$\text{Dép}_{\text{Ventilation}} = \text{Débit}_{\text{Fen}_H} + \text{Débit}_{\text{Fen}_S} + \text{Débit}_{\text{Comb}} + \text{Débit}_{\text{Vmc}} + \text{Débit}_{\text{Per}} + \text{Débit}_{\text{Condext}} \quad (12)$$

$\text{Débit}_{\text{Fen}_H}$  : Le débit d'air d'aération naturelle, considéré comme système de ventilation d'hygiène,

$\text{Débit}_{\text{Fen}_S}$  : Le débit additionnel, l'ouverture des fenêtres vient en complément,

$\text{Débit}_{\text{Comb}}$  : Le débit additionnel des appareils à combustion dans les pièces chauffées,

$\text{Débit}_{\text{Vmc}}$  : Le débit d'air extrait par la ventilation mécanique,

$\text{Débit}_{\text{Vperm}}$  : Le débit de fuite de l'enveloppe,

$\text{Débit}_{\text{Condext}}$  : Le débit d'air extrait par les conduits à tirage naturel.

### 2.2.2. Consommation énergétique liée au chauffage d'eau

L'approvisionnement de la consommation énergétique due au chauffage d'eau est délicat car il est compliqué de juger le comportement des usagers. Généralement, il est estimé qu'un

occupant consomme près de 50 litres d'eau chaude par jour. Le calcul des besoins énergétiques en eau chaude sanitaire s'établit par kWh/an qui, en fait, représentent l'énergie calorifique consommée permettant de garantir une quantité suffisante d'eau chaude sanitaire aux utilisateurs. Si ce volume produit est radicalement différent les jours de la semaine et le Week-end, une moyenne journalière peut être retenue [20, 22, 24, 27].

$$\text{Con}_{\text{ECS}} = p \cdot 1.1628 \cdot V_{\text{ECS}} (T_{\text{ECS}} - T_{\text{EF}}) \quad (13)$$

$$V_{\text{ECS}} = 50 \cdot \text{Nombre d'occupants} \quad (14)$$

$\text{Con}_{\text{ECS}}$  : Les besoins énergétiques journaliers requis pour le volume d'eau à produire et souhaité par l'utilisateur, en Wh,

$p$  : La densité volumique de l'eau, sa valeur retenue est de 1 kg/litre,

$V_{\text{ECS}}$  : Le volume d'eau (par litres) souhaité par l'utilisateur,

$T_{\text{ECS}}$  : La température de l'eau chaude d'utilisation, par °C,

$T_{\text{EF}}$  : La température moyenne de l'eau froide à l'entrée du système de chauffage, par °C.

### 2.2.3. Apport de chaleur interne dû aux occupants

Le corps humain produit de la chaleur issue des différents efforts. La diffusion de cette chaleur est élevée en intensifiant l'activité humaine. Des valeurs par défaut peuvent être retenues conformément au tableau 2.4 ci-dessous :

**Tableau 2.4** : Estimation de la chaleur irradiée par le corps humain [20, 21]

Niveau d'activité	Apports internes par chaleur sensible et latente par personne
Activité statique assise (lire, écrire, voir la télévision...)	120 W
Travaux simples assis ou debout (travaux de laboratoire, machine à écrire...)	150 W
Activités corporelles légères	190 W
Activités corporelles moyennes à difficiles	Plus de 200 W

Cette quantité énergétique est calculée conformément à la forme suivante [20] :

$$Ap_{Occup} = C_p \text{ Nombre d'occupants } Dur_{Près / Jour} Nb_{Jour} \quad (15)$$

$C_p$  : La chaleur irradiée par chaque occupant (W/occupant),

$Dur_{Près / Jour}$  : La durée de présence de chaque occupant par jour (heure),

$Nb_{Jour}$  : Le nombre de jours à chauffer/climatiser (jours par mois).

#### 2.2.4. Apports de chaleur dûs à l'éclairage et aux équipements électroménagers

En ce qui concerne les apports des équipements électriques, nous ne pouvons pas trouver une règle de calcul exhaustive et générale. Des valeurs par défaut peuvent être retenues conformément à la littérature [20-22].

$$Ap_{Elec} = P_{Irradiée} Dur_{Fonctionnement} Nb_{Jour} \quad (16)$$

$Dur_{Fonctionnement}$  : La durée du fonctionnement de l'équipement (heure par jour)

$P_{Irradiée}$  : La puissance irradiée par l'équipement (W).

La quantité totale de la chaleur libérée par l'équipement est déterminée par l'utilisation / l'allumage de celui-ci. Par ailleurs, nous avons sélectionné une méthode qui consiste à estimer le gain de chaleur lié à l'éclairage par mètre carré dans un bâtiment résidentiel. Le tableau 2.5 ci-dessous donne les valeurs permises des gains de chaleur par mètre carré liés à l'éclairage selon la norme ASHRAE 90.1-2007 pour une gamme de types d'espace.

**Tableau 2.5** : Densités maximales de puissance d'éclairage pour la méthode pièce par pièce, en W/m<sup>2</sup> [29]

Éclairage	Salle à manger familiale	Préparation des repas	Toilettes	Dressing / vestiaire / salle d'essayage...	Couloir / transition
Gains maximums de chaleur	23	13	10	6	5

Faisant suite à cette norme, il est possible de dresser un tableau qui résume les valeurs équivalentes des apports internes journaliers dus à l'éclairage, aux électroménagers, et aux meubles correspondant à notre cas.

### 2.2.5. Consommation d'énergie due à l'éclairage et aux équipements électriques

Pour estimer la consommation énergétique journalière d'un équipement (kWh), trois paramètres devront être pris en considération [20-24, 30] :

- La puissance de l'équipement électrique (W),
- La durée pendant laquelle l'équipement électrique marche (h), et
- Le nombre de jours pendant lesquels l'équipement électrique fonctionne.

$$\text{Con}_{\text{Elec}} = P_{\text{éq}} \text{ Dur}_{\text{Util}} \text{ Nb}_{\text{Jour-Util}} 10^{-3} \quad (17)$$

$P_{\text{éq}}$  : La puissance de l'équipement électrique (W),

$\text{Dur}_{\text{Util}}$  : Le nombre d'heures d'utilisation (h),

$\text{Nb}_{\text{Jour-Util}}$  : Le nombre de jours d'utilisation.

### 2.2.6. Orientation et apports solaires passifs

L'angle que font les rayons du Soleil avec une surface détermine la densité énergétique que reçoit cette surface. Une surface perpendiculaire à ces rayons intercepte la densité maximale d'énergie. Si on incline la surface à partir de cette position perpendiculaire, son éclairage diminue. A cet effet, la maison doit pouvoir profiter en hiver d'un apport solaire optimum et l'été d'une possibilité de rafraîchissement. Ces enjeux sont avant tout liés à la région dans laquelle. La densité du flux solaire dépend fortement de l'orientation du mur façade.

- Les surfaces horizontales et Sud peuvent généralement recevoir le rayonnement solaire pendant toute la journée.
- La surface verticale orientée à l'Est recevra le rayonnement solaire direct au lever du soleil.
- Au contraire, une surface plane orientée vers l'Ouest ne recevra le rayonnement solaire direct qu'après le passage du soleil à son zénith.

- Contrairement à la saison estivale, qui se caractérise par un soleil trop haut dans le ciel, dans la période entre Octobre et Février, le soleil est à une altitude beaucoup plus basse, ce qui signifie que le plus grand rayonnement total sera reçu par la façade Sud.
- Entre Mars et Septembre, la surface horizontale recevra le plus de rayonnement lors d'une journée ensoleillée.

L'énergie incidente sur l'ensemble de l'enveloppe et le gain solaire passif entrant vont être aussi pris en considération conformément aux orientations retenues. Les apports solaires représentent l'énergie provenant directement du soleil via le vitrage, par transmission surfacique des parois chaudes en contact avec l'extérieur. Ils sont calculés comme suit [31-32] :

$$Ap_{Occup} = \sum_j I_j \sum_n A_{nj} \quad (18)$$

Les deux sommes sont effectuées sur toutes les orientations  $j$ ,

$n$  : indique le nombre de surface de captation,

$I_j$  : Le rayonnement solaire incident sur une surface unitaire d'orientation  $j$  ( $W/m^2$ ).

$A_{nj}$  : La surface réceptrice équivalente ayant une orientation  $j$ , qui permet de déterminer la capacité du bâtiment à capter les apports solaires [31-32].

$$A_{nj} = A F_s S \quad (19)$$

$A$  : La surface d'ouverture ( $m^2$ ).

$S$  : Le facteur solaire des fenêtres. Une partie des rayons solaires sera réfléchié et une autre sera absorbée lors de leurs passages à travers le vitrage. La partie restante "appelée facteur solaire", qui peut être exprimée en pourcentage, sera diffusée à l'intérieur. Le facteur solaire est généralement compris entre 0.63 et 0.75 pour une fenêtre à double vitrage et entre 0.59 et 0.61 pour une fenêtre à triple vitrage. Pour les doubles vitrages peu émissifs, des valeurs comprises entre 0.63 et 0.67 peuvent être retenues. Pour un double vitrage clair à incidence normale, la valeur correspondante peut atteindre 0.75. On peut prévoir que le vitrage simple ayant un facteur solaire de 0.86 – 0.87 sera le moins efficace pour réduire les problèmes de surchauffes [28].

$F_s$  : Le facteur de correction d'ombrage, compris entre 0 et 1, représente toute réduction du rayonnement solaire incident entraînant un ombrage permanent de la surface considérée dû

- À l'ombrage dû à un autre bâtiment,
- À l'ombrage dû à la topographie (collines, arbres, etc.),
- Aux surplombs,
- À l'ombrage issu par autres éléments du même bâtiment,
- À la position de la fenêtre par rapport à la surface extérieure du mur extérieur.

$$F_s = \frac{I_{s,er}}{I_s} = F_h F_0 F_f \quad (20)$$

$I_{s,er}$  : Le rayonnement solaire total reçu par la surface ouvrante avec un ombrage permanent ( $W/m^2$ ),

$I_s$  : Le rayonnement solaire total qui aurait été reçu sans ombre ( $W/m^2$ ),

$F_h$  : Le facteur de correction pour l'horizon,

Les effets de l'ombrage de l'horizon (terrain, arbres et autres bâtiments) dépendent de la hauteur à l'horizon, de la latitude, de l'orientation, du climat local et de la saison de chauffage.

### 2.3. Le climat à Ghardaïa

La région de Ghardaïa est une région située dans le Sahara septentrional caractérisé par un climat chaud et sec en été et froid en hiver. L'altitude de Ghardaïa est de 503m au-dessus du niveau de la mer, sa Latitude : 32°29'27'' Nord, et sa Longitude : 3°40'24'' Est. Les informations (base de données) qui y figurent révèlent une période qui s'étend du 01 Janvier 2004 au 31 Décembre 2015. Elles correspondent à une année typique formée de 12 mois typiques (tableau 2.6). Les chiffres indiquent que le climat est désertique avec des hivers doux et très froids la nuit et des étés très chauds et ensoleillés (figures 2.1 et 2.2). L'état du ciel est clair au cours d'une bonne partie de l'année (figure 2.1), mais les vents sont parfois fréquents. Le 20 Décembre 2004, l'air était très humide et parfois saturé (l'humidité relative = 100%) en vapeur d'eau. Ce phénomène est classiquement lié et causé principalement par le risque des nuages, la pluie, le brouillard, la rosée ou le givre.

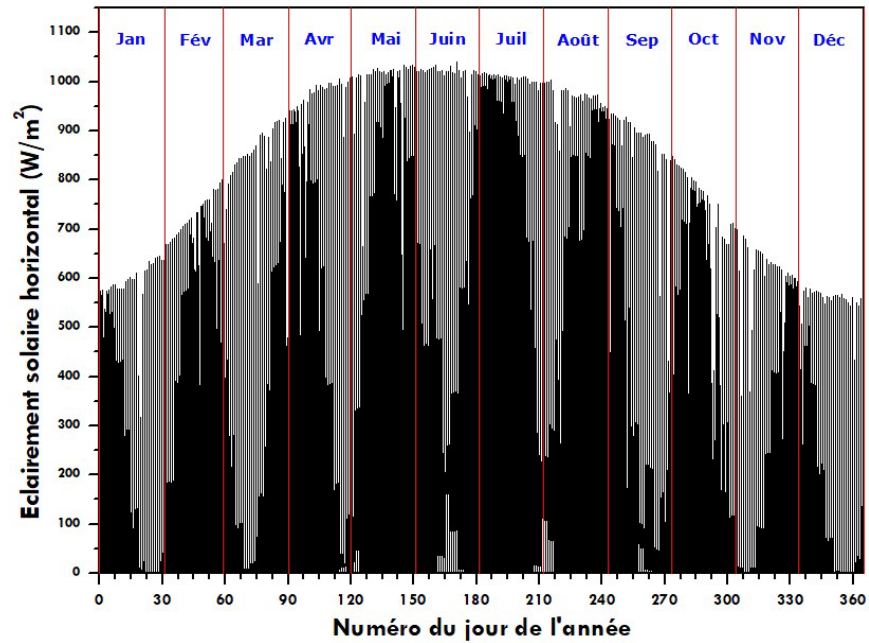
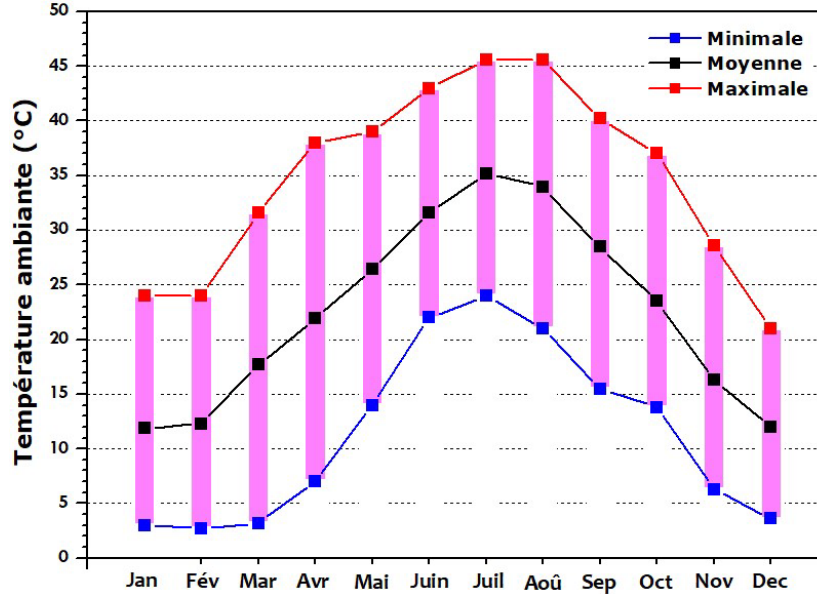


Figure 2.1 : Éclairement solaire horizontal correspondant au site de Ghardaïa

Tableau 2.6 : Valeurs des irradiances solaires horizontales correspondantes au site de Ghardaïa

Mois	Moyenne mensuelle de l'irradiation globale journalière (kWh/m <sup>2</sup> )	Jour type du mois	Taux de clarté x 100 (%)
Janvier	3.3938	05	84.76
Février	4.4587	08	88.81
Mars	5.4712	15	83.64
Avril	6.7837	19	87.25
Mai	7.3356	20	88.08
Juin	7.8755	07	93.45
Juillet	7.7935	21	95.95
Août	7.1240	25	96.88
Septembre	5.8233	16	87.80
Octobre	4.6171	30	93.64
Novembre	3.5753	26	86.72
Décembre	3.1020	28	79.47



**Figure 2.2 :** Températures ambiantes correspondantes au site de Ghardaïa

La durée du jour à Ghardaïa varie considérablement au cours de l'année. Le jour le plus court est le 21 Décembre avec une durée d'insolation d'environ 10 heures et 1 minute, par ailleurs, le jour le plus long est celui du 21 Juin avec une durée d'environ 14 heures et 06 minutes. A Ghardaïa, l'indice de clarté a sensiblement varié selon les mois. Le mois le plus clair de l'année où le ciel est généralement dégagé est celui d'Août. La période la plus claire de l'année dure presque trois mois et commence généralement au début du mois de Juin. Le mois le plus nuageux de l'année durant lequel le ciel est généralement couvert ou nuageux environ 79.47% du temps est celui d'Octobre. Le taux de clarté annuel est très élevé, estimé à 88.87%.

#### **2.4. Nombre de degrés jour (site de Ghardaïa)**

Le nombre de degrés-jours est obtenu en multipliant le nombre de jours chauffés par la différence entre la température du confort intérieur et la température extérieure moyenne. Durant une période de climatisation, ce nombre est obtenu en multipliant le nombre de jours à climatiser par la différence entre la température extérieure moyenne et la température intérieure souhaitée du local considéré [33].



### Période froide

$$DJ_{\text{Chauffage}} = \text{Nombre de jours chauffés} \left( T_{\text{Confort}} - T_{\text{Extérieure}} \right) \quad (21)$$

### Période chaude

$$DJ_{\text{Climatisation}} = \text{Nombre de jours climatisés} \left( T_{\text{Extérieure}} - T_{\text{Confort}} \right) \quad (22)$$

Le tableau 2.7 donne en chiffres le nombre de jours à chauffer, confortables et à climatiser durant toute l'année. Il est à rappeler que la température du confort retenue est comprise entre 21 et 26 °C.

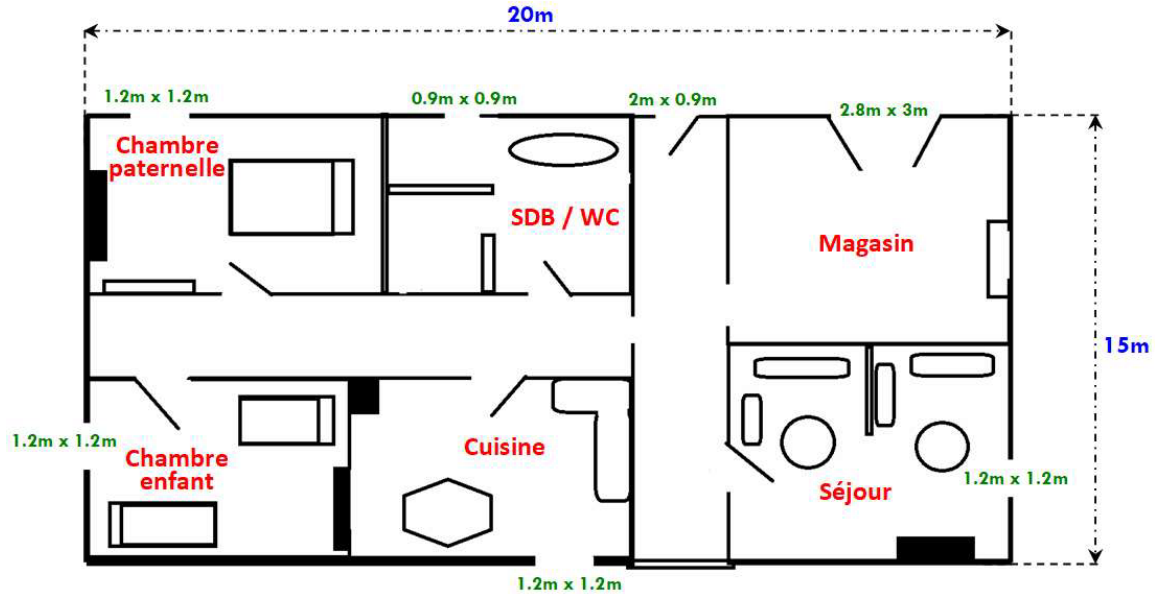
**Tableau 2.7 :** Nombre de degrés jours et nombre de jours et d'heures à chauffer, confortables et à climatiser

Mois	Température ambiante extérieure (°C)			Nombre de jours et d'heures			Nombre de degrés jour de	
	Valeur minimale	Valeur moyenne	Valeur maximale	froids	confortables	chauds	chauffage	refroidissement
Janvier	3.0000	11.8372	24.0000	30j 08h	16h	/	284.6042	/
Février	2.7000	12.3067	24.0000	27j 09h	15h	/	244.0917	/
Mars	3.2000	17.6681	31.6000	21j 14h	7j 12h	1j 22h	132.0875	5.2708
Avril	7.0000	21.9301	38.0000	13j 3h	9j 5h	7j 16h	61.8708	29.0750
Mai	14.0000	26.4286	39.0000	6j 1h	9j 14h	15j 9h	16.8958	81.6667
Juin	22.0000	31.6424	43.0000	/	5j 3h	24j 21h	/	177.7208
Juillet	24.0000	35.1915	45.6000	/	1j 1h	29j 23h	/	285.5500
Août	21.0000	33.9554	45.6000	/	1j 10h	29j 14h	/	248.1375
Septembre	15.5000	28.4801	40.2000	2j 9h	8j 8h	19j 7h	4.6750	110.2167
Octobre	13.8000	23.6137	37.0000	9j 17h	12j 21h	8j 10h	25.3833	29.7917
Novembre	6.3000	16.2846	28.6000	24j 16h	5j 2h	6h	150.1542	0.4833
Décembre	3.6000	11.9934	21.0000	30j 23h	1h	/	279.2042	/
Année	2.7000	22.6110	45.6000	166j 4h	61j 12h	137j 8h	1198.9667	967.9125

## 2.5. Fiche technique détaillée de l'habitat

Le plan de la figure 2.3 indique que le logement à étudier couvre une surface de 300 m<sup>2</sup> (15 m x 20 m) et une hauteur de 3.5 m. Il abrite un séjour, une chambre parentale, une chambre d'enfant, une cuisine, une salle de bain/WC et un magasin. La surface des fenêtres est équivalente à 1.44 m<sup>2</sup> (1.2 m x 1.2 m), une autre petite fenêtre correspond à une superficie de 0.81 m<sup>2</sup> (0.9 m x 0.9 m). La porte d'entrée est d'une superficie de 1.8 m<sup>2</sup> (0.9

m x 2 m). La surface du garage situé à l'Est est égale à 8.4 m<sup>2</sup> (3 m x 2.8 m). Les caractéristiques thermo-physiques des matériaux de construction du cadre bâti et le mode d'occupation sont données par le tableau 2.8 ci-dessous.

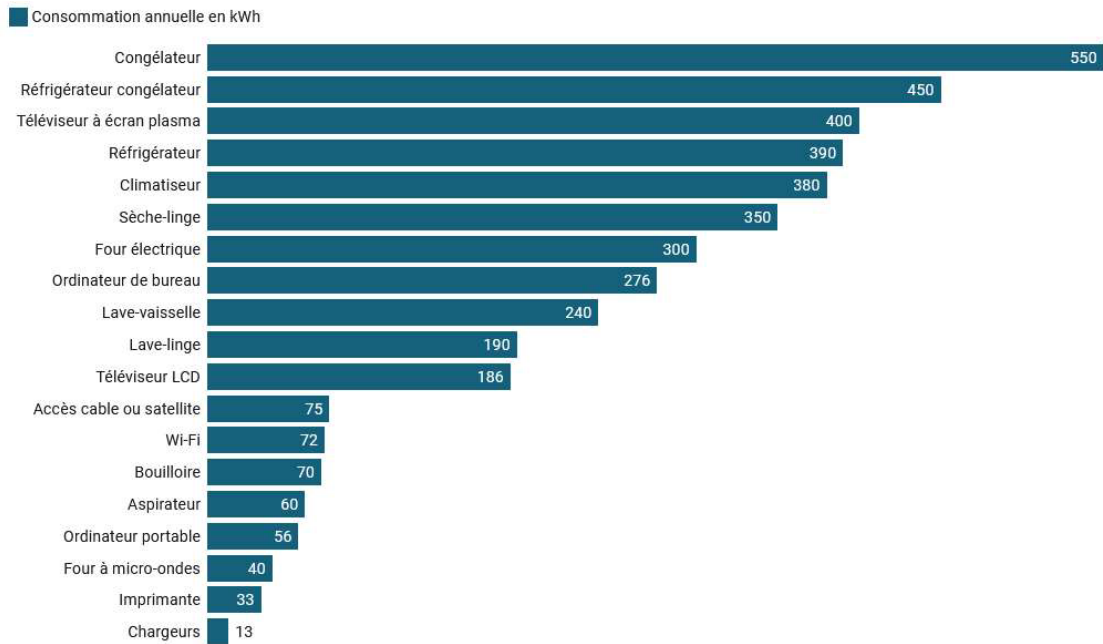


**Figure 2.3** : Plan descriptif du logement

**Tableau 2.8** : Propriétés thermiques et d'occupation de l'habitat

U	Murs extérieurs	1.71
	Toit	3.06
	Sol	1.14
W/(m <sup>2</sup> °C)	Ponts thermiques	1.07
	Fenêtre en bois avec un simple vitrage	5.00
	Porte opaque en métal	5.80
Débit d'hygiène (perméabilité)		60.5 m <sup>3</sup> /h
Coefficient de déperdition par renouvellement d'air (ventilation naturelle)		40 m <sup>3</sup> /h
Nombre de personnes occupant la construction		4 occupants
Besoin moyen en eau chaude par personne		50 litres à 50°C par jour
Température du confort		Entre 21 °C et 26 °C

Selon l'Agence Française de l'Environnement et de Maîtrise de l'Énergie "ADEME", la consommation moyenne annuelle des appareils électriques peut être représentée conformément au diagramme suivant (figure 2.4).



**Figure 2.4 :** Consommation annuelle des équipements électriques selon l'ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) [34]

Le tableau 2.9 ci-dessous donne un état récapitulatif des consommations électriques journalières des électroménagers et du système d'éclairage correspondant à cette habitation. Les apports internes sont majoritairement liés aux occupants qui varient en fonction de l'activité humaine (la chaleur moyenne dégagée est estimée à 125 W par occupant), d'équipements par et sans usage et de l'éclairage (tableau 2.10).

**Tableau 2.9 : Consommation électrique des électroménagers et du système d'éclairage en fonction de la fréquence d'utilisation**

Équipements électriques	Puissance (W)		Durée moyenne d'utilisation par jour	Consommation moyenne par jour (Wh)	
	Valeurs / Intervalle de fonctionnement	Valeurs retenues pour les calculs			
2 TV Plasma	En marche En veille	146 3.91	/ /	6 h 18 h	1752 70.43
Ordinateur à écran plat	en service en veille	30 à 60 1 à 5	60 5	5 h 2 h	300 10
Réfrigérateur combiné (250 litres) avec une classe énergétique A+, sa consommation annuelle est de 281 kWh		/	/	/	769.90
13 Lampes LED pour l'éclairage	4 : Séjour 1 : Chambre 1 1 : Chambre 2 3 : Couloire 1 : Cuisine 2 : WC 1 : Magasin	14	/	7 h 4 h 3 h 1 h 2 h 1 h 1 h	392 56 42 42 28 28 14
Chargeur de GSM		5	5	3 h	15
Fer à repasser électrique		750 à 1100	800	10 min	133.33
Aspirateur		650 à 800	750	12 min	150
Machine à laver		2500 à 3000	2800	45 min	2100
<b>Total par jour (Wh)</b>					<b>5902.7</b>

**Tableau 2.10 : Apports de chaleur internes par éclairage et équipements**

Équipements	Puissance de diffusion de la chaleur				Énergie
	En veille		En marche		
2 TV PLASMA	Puissance 20W	Durée d'utilisation 18h	Puissance 50 W	Durée d'utilisation 6h	1320 Wh
Réfrigérateur (250 litres)	23W				552 Wh
Eclairage 13 Lampes LED	Durée d'utilisation				
	4: Séjour 1: Chambre 1 1: Chambre 2 3: Couloire 1: Cuisine 2: WC 1: Magasin	7 h 4 h 3 h 1 h 2 h 1 h 1 h	47W		2209 Wh
Ordinateur à écran plat	En veille		En marche		
	Puissance 23W	Durée d'utilisation 2h	Puissance 100W	Durée d'utilisation 5h	546 Wh
Divers					578 Wh
<b>Total par jour</b>					<b>5205 Wh</b>

## 2.6. Bilan des besoins énergétiques et les démarches à entreprendre pour l'améliorer

Les besoins estimés dans cette étude seront séparés en 4 catégories : besoins de chauffage et de froid conformément aux températures de consigne (confort souhaité), les besoins d'eau chaude sanitaire qui ne dépend que de l'occupation et la typologie du logement et les besoins d'électricité définis comme étant l'ensemble des postes consommant de l'électricité (éclairage, appareils électroménagers, équipements multimédia...). Les résultats sont assemblés dans le tableau 2.11 suivant. Les gains solaires directs ne sont pas pris en considération. Les quantités énergétiques calculées sont utilisées pour assurer un confort permanent (durant toute l'année) dans toutes les zones de l'habitat.

**Tableau 2.11:** Estimation des besoins énergétiques annuels et mensuels, cas d'une maison plein pied

Mois	T <sub>EF</sub>	Con <sub>Env</sub>	Con <sub>ECS</sub>	Q <sub>cons_Elc</sub>	Con <sub>Tot</sub>
<b>Janvier</b>	04.00	14 533.28	331.63	182.98	11 093.52
<b>Février</b>	05.50	12 458.49	289.77	165.28	12 529.35
<b>Mars</b>	07.50	6 957.77	306.40	182.98	7 021.81
<b>Avril</b>	10.50	4 577.58	275.58	177.08	5 441.87
<b>Mai</b>	14.00	4 974.46	259.54	182.98	5 842.32
<b>Juin</b>	16.00	9 138.18	237.21	177.08	9 964.09
<b>Juillet</b>	18.00	14 896.59	230.70	182.98	15 735.61
<b>Août</b>	18.00	12 877.73	230.70	182.98	13 716.76
<b>Septembre</b>	16.50	5 839.00	233.72	177.08	6 661.42
<b>Octobre</b>	13.50	2 778.66	263.14	182.98	3 650.13
<b>Novembre</b>	09.00	7 648.18	286.05	177.08	7 699.69
<b>Décembre</b>	05.00	14 255.28	324.42	182.98	14 337.35
<b>Annuel</b>		110 935.21	3 268.86	2 154.49	<b>117 222.96</b>

Les besoins énergétiques indiquent que cet habitat est énergivore à forte consommation, la valeur de la consommation énergétique est estimée à 117 222.96 kWh/an, équivalente à

390.74 kWh/m<sup>2</sup> par an. Dans ces circonstances, une intégration efficace de vraies solutions de conception bioclimatique s'impose.

Les données rapportées au tableau montrent que le chauffage est nécessaire du mois de Novembre au mois de Mars. Les mois d'Octobre à Avril correspondent à des périodes de transition (intersaison). Le processus du refroidissement se déclenche à compter du mois de Mai. Entre autre, l'enveloppe est le principal élément responsable de la consommation très élevée. Selon les valeurs affichées, cette dernière présente 94.64% des besoins totaux. Les besoins de refroidissement sont importants, ils proviennent en majorité des températures ambiantes élevées et des gains internes. Les besoins de refroidissement sont alors calculés de façon à ce que le point de consigne soit de 26 °C. Un degré en moins sur la consigne fait augmenter la consommation et engendre une sur-consommation du refroidissement.

L'énergie à utiliser pour le chauffage d'eau sanitaire varie entre 230.70 kWh (Juillet et Août) et 331.63 kWh (Janvier), représente globalement 2.79% de la demande énergétique annuelle. La charge électrique présente 1.84% des besoins énergétiques totaux, elle concerne l'éclairage et l'alimentation d'équipements électroménagers. Cette consommation a tendance à augmenter en raison de l'accroissement du nombre d'équipements ménagers. Les énergies renouvelables seront dans ce cas sollicitées dans un second temps pour surmonter le problème puis améliorer l'efficacité énergétique et satisfaire les besoins énergétiques qui ne peuvent pas être évités. Ce constat préliminaire permet d'identifier les optimisations possibles et d'établir un plan d'actions précis et adapté à cette pénible situation. Moins nos besoins seront grands, plus il sera facile de les couvrir par les sources d'énergies renouvelables. La solution passe donc d'abord par la réduction des besoins énergétiques et l'amélioration de l'efficacité énergétique. Les démarches à entreprendre seront donc classées comme suit :

#### **- Isolation thermique par l'extérieur**

Dite "ITE", où le matériau isolant est intégré à l'extérieur du logement. Cette technique permet une élimination des ponts thermiques et une réduction des déperditions thermiques

dues à l'enveloppe toute entière, ce qui entraîne directement une réduction des factures d'énergie.

- **Changement des fenêtres extérieures et des portes d'entrée**

L'installation des fenêtres et des portes plus performantes peut conduire et apporter plusieurs avantages : amélioration du confort et réduction des factures d'énergie.

- **Favoriser la compacité et la mitoyenneté**

L'objectif principal est de limiter les surfaces déperditives. En limitant les parois en contact avec l'extérieur il est possible de diminuer les pertes (en hiver) ou les apports de chaleur (en été) non désirés. Pour un même volume d'occupation, une même surface et avec les mêmes matériaux, une maison plus compacte consomme moins d'énergie.

- **Le chauffage passif en utilisant le gain solaire**

Il fait référence à l'augmentation de la température qui se produit lorsque l'énergie du soleil passe à travers les fenêtres ou les portes. L'utilisation des vitrages à gain solaire élevé favorise fortement l'entrée de la chaleur du soleil à l'intérieur de l'habitat.

- **L'utilisation des chauffe-eaux solaires**

Ses avantages consistent à produire de l'eau chaude sanitaire par énergie solaire, ce qui entraîne d'importantes économies d'énergie. Ils sont en plus écologiques et n'ont pas d'impact négatif sur l'environnement. Il a été supposé que 80% des besoins annuels en eau chaude sanitaire ont été assurés en utilisant ce système de chauffage.

Les nouvelles spécificités, les caractéristiques thermo-physiques de la nouvelle configuration du cadre bâti et le mode d'occupation sont données conformément au tableau 2.12. Le tableau 2.13 donne une nouvelle estimation des besoins énergétiques annuels et mensuels, cas d'une habitation plus économes. Les besoins énergétiques indiquent que cet habitat est basse consommation énergétique, le chiffre est estimé à 18263.46 kWh/an, équivalent à 60.88 kWh/m<sup>2</sup> par an.

**Tableau 2.12 : Nouvelles spécificités et propriétés thermiques et d'occupation de l'habitat**

	Murs extérieurs	0.31
	Toit	0.51
U	Sol	0.31
W/(m <sup>2</sup> °C)	Ponts thermiques	Éliminés
	Fenêtre en bois avec un double vitrage	2.55
	Porte opaque en bois	3.50
	Irradiations solaires incidentes sur un plan vertical orienté au Sud	Janvier 4.88 Février 4.97 Mars 4.09 Novembre 4.70 Décembre 4.76
	Débit d'hygiène (perméabilité)	60.5 m <sup>3</sup> /h
	Coefficient de déperdition par renouvellement d'air (ventilation naturelle)	40 m <sup>3</sup> /h
	Nombre de personnes occupant la construction	4 occupants
	Besoin moyen en eau chaude par personne Installation d'un système solaire de chauffage d'eau	10 litres à 50 °C par jour
	Température du confort	Entre 21 °C et 26 °C

Selon les résultats, l'enveloppe présente presque 82.17% des besoins totaux. L'énergie à utiliser pour le chauffage d'eau sanitaire est très faible, varie entre 46.14 kWh (Juillet et Août) et 66.33 kWh (Janvier), représente totalement 3.58% de la demande énergétique annuelle. La charge électrique présente 11.80% des besoins énergétiques totaux, elle concerne l'éclairage et l'alimentation d'équipements électroménagers. Cette consommation a tendance à augmenter en raison de l'accroissement du nombre d'équipements ménagers. Le photovoltaïque est particulièrement bien adapté à l'intégration dans la plupart des bâtiments. Un système connecté à un réseau produit sa propre électricité et achemine son excédent d'énergie vers le réseau, auprès duquel il s'approvisionne au besoin.



**Tableau 2.13:** Estimation des besoins énergétiques annuels et mensuels, intégration des concepts énergétiques

Mois	T <sub>EF</sub>	Con <sub>Env</sub>	Con <sub>ECS</sub>	Q <sub>cons_Elc</sub>	Con <sub>Tot</sub>
<b>Janvier</b>	04.00	1923.06	66.33	182.98	1657.63
<b>Février</b>	05.50	1645.01	57.95	165.28	1401.18
<b>Mars</b>	07.50	883.71	61.28	182.98	6276.34
<b>Avril</b>	10.50	560.45	55.12	177.08	1204.26
<b>Mai</b>	14.00	620.26	51.91	182.98	1280.49
<b>Juin</b>	16.00	1273.11	47.44	177.08	1909.26
<b>Juillet</b>	18.00	2244.34	46.14	182.98	2898.81
<b>Août</b>	18.00	1887.78	46.14	182.98	2542.23
<b>Septembre</b>	16.50	759.89	46.74	177.08	1395.34
<b>Octobre</b>	13.50	341.54	52.63	182.98	1002.50
<b>Novembre</b>	09.00	983.78	57.21	177.08	7231.29
<b>Décembre</b>	05.00	1884.98	64.88	182.98	1620.30
<b>Annuel</b>		15 007.91	653.7726	2 154.49	<b>18 263.46</b>

Faisant suite à ces résultats, il est possible d'attribuer l'étiquette-énergie définie comme étant une fiche qui résume les performances énergétiques des deux maisons. Sa finalité est de nous orienter vers certaines informations relatives aux performances énergétiques. Elle permet aussi à un propriétaire de connaître la consommation en énergie du logement. En se basant sur la classification donnée par le diagramme de la figure 2.5, il est possible d'attribuer un label énergétique du type F pour la première maison et l'étiquette énergétique de type B pour la seconde.

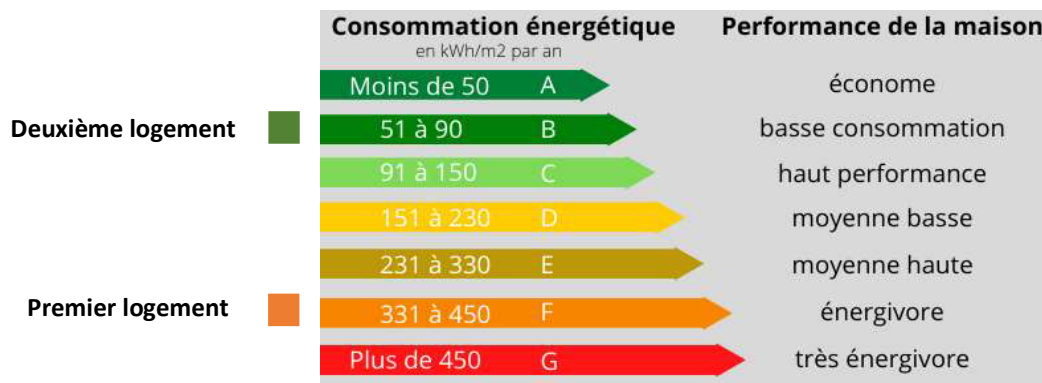
## 2.7. Conclusion

La différence entre une "maison basse consommation" et une "maison énergivore" réside dans la quantité d'énergie qu'elles consomment. Une maison économique est conçue pour une utilisation économe en énergie, ce qui se traduit par une consommation d'énergie

relativement faible. En revanche, une maison énergivore consomme une quantité élevée d'énergie en raison de divers facteurs de gaspillage et d'inefficacité énergétique.

Cependant, passer à l'énergie solaire photovoltaïque offre la possibilité de bénéficier de plus d'énergie. Sera-t-il est alors rentable d'investir dans des panneaux solaires pour produire de l'électricité et assurer une charge électrique bien déterminée ? Il nous semble en premier lieu qu'en opérant une bonne installation, tout en répondant à certains critères (inclinaison, orientation, choix compatible des composants, etc.), on peut alimenter une charge journalière de 5 902.7 Wh. Cette démarche engendre une diminution de 11.80%. Les besoins utiles s'arrêtent donc à 16 108.97 kWh par an, équivalent à 53.70 kWh/m<sup>2</sup> par an.

Conformément au diagramme de consommation (le label énergétique ci-dessous), la majoration de la charge électrique à dimensionner favorise l'attribution de l'étiquette B à ce logement.



**Figure 2.5 :** Indication de la classe énergétique de l'habitat

# **Chapitre 3**

## **Photovoltaïque Intégré au Bâtiment**

### **Évaluation des Coûts d'un Système Photovoltaïque Autonome**

## Chapitre 3

### Photovoltaïque intégré au bâtiment

&

### Évaluation des coûts d'un système photovoltaïque autonome

#### 3.1. Introduction

L'inspiration qu'a connu la filière du photovoltaïque intégré au bâtiment a permis l'émergence de nouveaux types d'intégrations architecturales de capteur PV [35]. La théorie développée dans ce mémoire a pour objectif de proposer des modèles de systèmes solaires photovoltaïques intégrés au bâtiment. L'objectif est d'éprouver l'influence des composants solaires sur le bilan énergétique global de l'habitat déjà proposé. Pour atteindre cet objectif, les propositions ont été développées à partir de deux étapes de travail : l'identification de la charge prévue et l'analyse des différentes configurations de ces systèmes.

#### 3.2. Types d'intégration

L'intérêt de l'intégration des systèmes photovoltaïques au bâtiment est de pouvoir associer au système solaire une autre fonction que la simple production d'électricité. Les exemples ci-dessous donnent un panorama des intégrations qui paraissent être les plus exploitables à grande échelle.

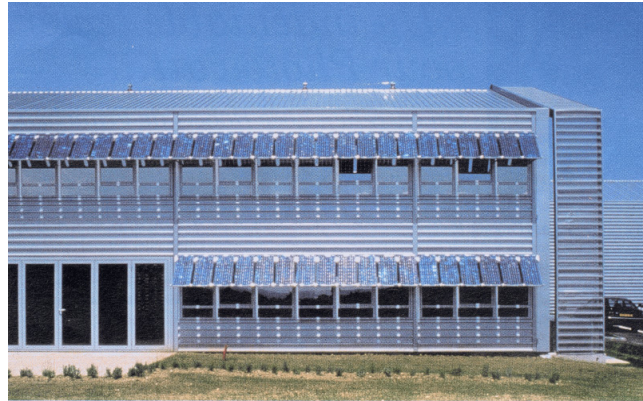
##### 3.2.1. Intégration de type " brise-soleil "

Le premier exemple d'application décrit en image le rôle de masque intégré que peuvent jouer les modules PV (figure 3.1). Ce dispositif permet de minimiser les surchauffes estivales, tout en laissant passer les rayons du soleil d'hiver. Il s'agit d'une intégration de type "brise-soleil".

##### 3.2.2. Intégration de type " véranda "

La figure 3.2 donne l'exemple d'un atrium constitué d'un ensemble de panneaux PV semi-transparents. Le fait d'utiliser les panneaux PV comme matériau de construction permet de faire baisser leur coût initial. La zone de bâtiment ainsi formée identifie un aspect

architectural bien défini et permet donc de faire réduire à la fois les gains solaires l'été et les besoins de chauffage l'hiver grâce à la fonction de zone tampon qu'elle peut jouer. Ce type d'intégration peut être désigné par le terme "véranda".



**Figure 3.1** : Intégration de type "brise-soleil" [35]



**Figure 3.2** : Intégration de type " véranda " [35]

### 3.2.3. Intégration en " façade "

La figure 3.3 représente un capteur bi-énergie (capteur PV/ capteur thermique à air) réalisé dans le cadre d'un projet européen 'PV-VENT' [36]. La fonction d'un tel composant solaire est, en plus de produire de l'électricité, de préchauffer l'air neuf du bâtiment. Il est fortement possible de profiter de la synergie entre les deux capteurs : car le rendement électrique de capteurs PV étant d'environ 10%, il existe un potentiel énorme de chaleur à récupérer (ou à évacuer). Une ventilation (qu'elle soit naturelle ou forcée) du capteur PV permet à celui-ci d'améliorer sa productivité électrique (dans le cas de capteur PV à base de Si

cristallin) car le rendement photovoltaïque est plus élevé à température de fonctionnement plus basse.



**Figure 3.3** : Intégration en " façade "

### 3.2.4. Intégration en " toiture "

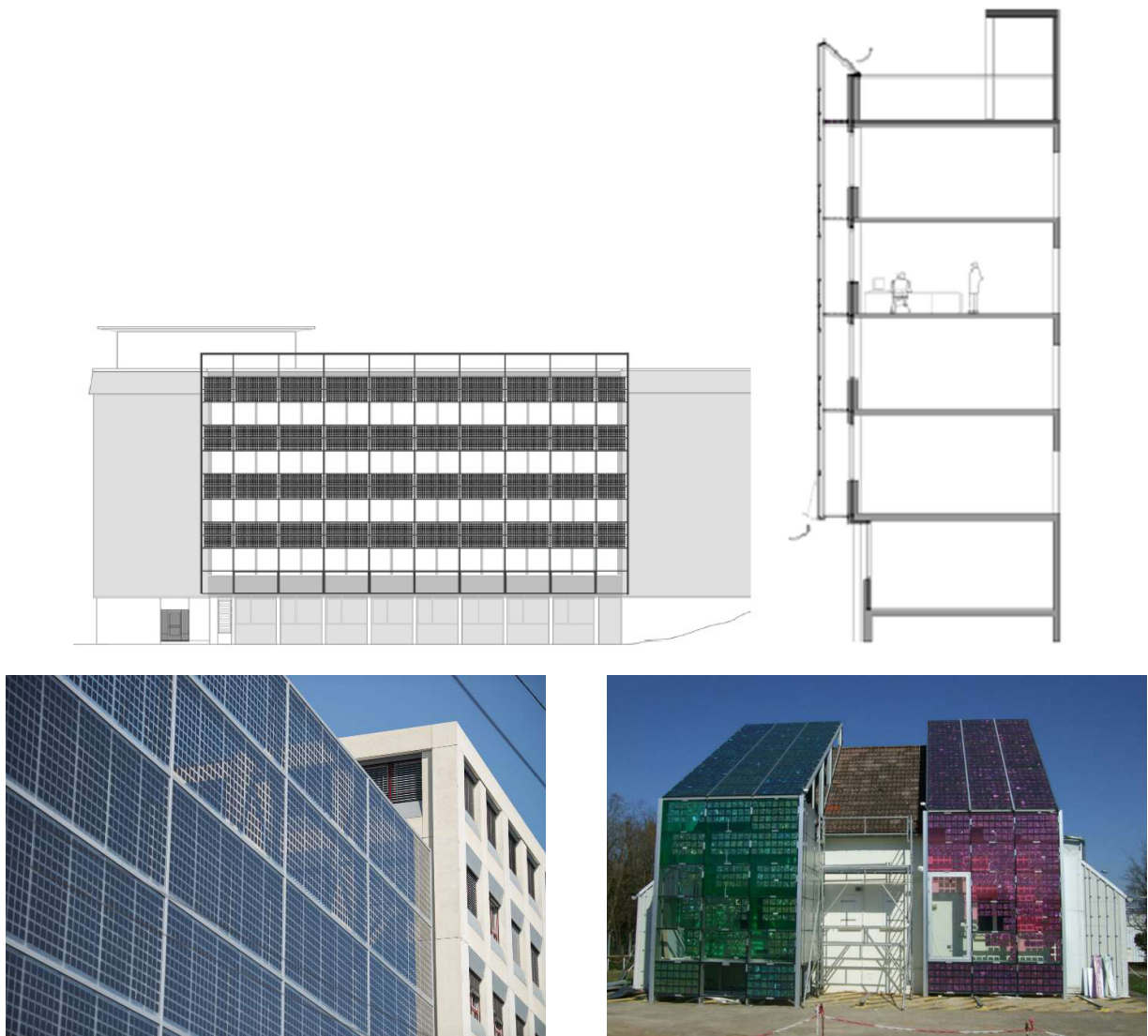
Dans le cas d'une intégration en toiture, la lame d'air située entre le capteur PV et le toit du bâtiment permet d'associer un capteur à air au capteur PV. La figure 3.4 représente le même type d'intégration que le précédent, mais en toiture.



**Figure 3.4** : Intégration en " toiture "

### 3.2.5. Intégration en " double peau "

Des capteurs peuvent être aussi utilisés pour améliorer le confort des occupants, en jouant sur la transmission de la lumière naturelle. La figure 3.5 nous montre un modèle de façade PV semi-transparente réel [37]. Ce composant solaire peut jouer le rôle de "rideau solaire", faire diminuer les besoins de chauffage l'hiver, et aussi aider à ventiler le bâtiment l'été.



**Figure 3.5 :** Intégration en double peau

### **3.2.6. Intégration en " allège de balcon vitré & allège de vitrage "**

Les figures 3.6 et 3.7 sont des exemples de rénovation de bâtiment avec intégration de capteurs PV dans des allèges de balcon vitrés [38-39], ou de vitrage après rénovation de façade.

### **3.2.7. Intégration de type cheminée**

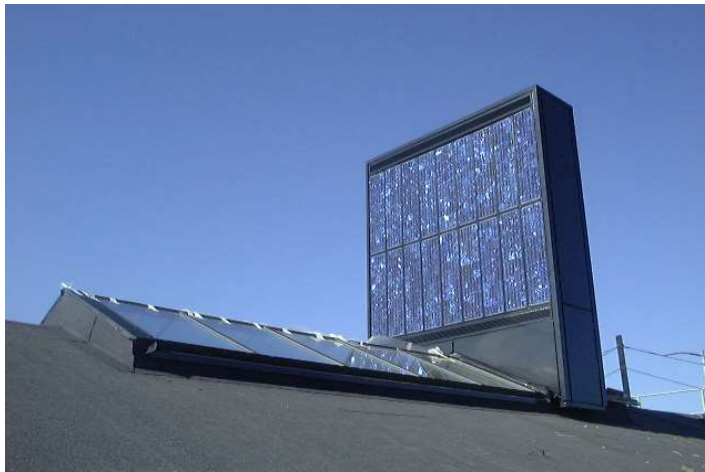
Une illustration générale de l'intégration photovoltaïque de type cheminée est donnée par la figure 3.8. Le capteur PV a pour fonctions à la fois de contribuer aux mouvements d'air (effet cheminée) et de fournir directement en électricité le circuit de ventilation. Si le système de ventilation est déjà performant, le capteur PV est capable de fournir de 30 à 40 % des besoins en électricité de ce système.



**Figure 3.6 :** Intégration en allège de balcon vitré



**Figure 3.7 :** Intégration en allège de vitrage, après rénovation de façade



**Figure 3.8 :** Intégration de type cheminée



### 3.3. Système photovoltaïque

Il existe deux types d'installations PV qui s'appuient sur un générateur photovoltaïque qui convertit l'irradiation solaire incidente en puissance électrique :

- Système photovoltaïque connecté au réseau
- Système photovoltaïque autonome (isolé)

Ce chapitre traite un système photovoltaïque autonome intégré à notre habitation proposée en incluant leur composants (module, batteries, régulateurs de charge, onduleurs) et le câblage.

Les systèmes autonomes, également connus sous le nom de "stand-alone", ne dépendent pas du réseau électrique public. Ils utilisent l'énergie solaire, qui est stockée temporairement dans des batteries. Lorsqu'une demande d'électricité se présente, elle peut être utilisée directement avec des appareils fonctionnant en courant continu, ou convertie en courant alternatif à l'aide d'un onduleur pour alimenter des appareils fonctionnant en courant alternatif tels que les réfrigérateurs, les téléviseurs, les pompes, etc.

En Algérie, ces installations en site isolé sont principalement utilisées pour les chalets de montagne ou les maisons difficilement accessibles. Elles permettent également de fournir de l'électricité aux maisons situées dans des régions éloignées, sans accès à un réseau électrique. Dans les pays en développement, ces installations sont souvent le seul moyen d'alimenter en électricité les villages isolés. La demande est considérable, car il y a encore environ deux milliards de personnes dans le monde qui n'ont pas accès à l'électricité et qui sont éloignées de tout réseau électrique public.

En général les installations photovoltaïques comprennent cinq éléments essentiels : générateur, onduleur, régulateur, batterie et stockage.

#### 3.3.1. Supports et assemblage des modules photovoltaïques

Les panneaux solaires dans le champ photoélectrique sont du même type, de même taille et ont les mêmes propriétés électriques, la même direction et le même angle d'inclinaison (figure 3.9). Tout cela augmente l'efficacité et la qualité du champ PV [40].

Les modules photovoltaïques sont fixés sur un support, généralement en métal, qui est communément réalisé en aluminium ou en acier galvanisé. Ce choix de matériau est motivé par plusieurs contraintes, notamment :

- Résistance mécanique : Le support doit être capable de résister aux forces exercées par le

vent et de maintenir les modules en place de manière sécurisée.

- Tenue à la corrosion : Étant donné que les installations solaires sont exposées aux intempéries et à des conditions environnementales variables, il est essentiel que le matériau du support résiste à la corrosion pour assurer la durabilité de l'installation.
- Conductivité thermique : Le support en métal doit être capable de dissiper la chaleur générée par les modules photovoltaïques afin d'éviter une surchauffe qui pourrait affecter leur rendement.
- Facilité d'assemblage : Le matériau choisi doit permettre une installation facile et efficace des modules, en offrant des options de fixation solides et fiables.
- Poids : Le poids du support joue un rôle important, car il doit être suffisamment léger pour faciliter le transport, l'installation et la manipulation des modules, tout en étant assez robuste pour résister aux charges et aux conditions extérieures.



**Figure 3.9** : Montage des supports de modules PV

Ainsi, l'utilisation de l'aluminium ou de l'acier galvanisé comme matériau de support pour les modules photovoltaïques répond à ces différentes contraintes et offre une solution durable et efficace pour les installations solaires. De nombreux types de châssis existent et sont fonction

du nombre de modules et de leur taille, du support d'implantation (dalle, mur, toit, ...), de leur hauteur, et de leur inclinaison. Leur hauteur doit être telle que les modules solaires soient hors de portée d'éléments indésirables (flore, faune ...). Leur inclinaison est généralement fixe et déterminée par le dimensionnement.

### 3.3.2. L'ensemble des liaisons électriques entre les modules

Lors de la liaison entre deux modules en série, nous utilisons un connecteur simple ou un connecteur multi branches pour la liaison des panneaux (figure 3.10).

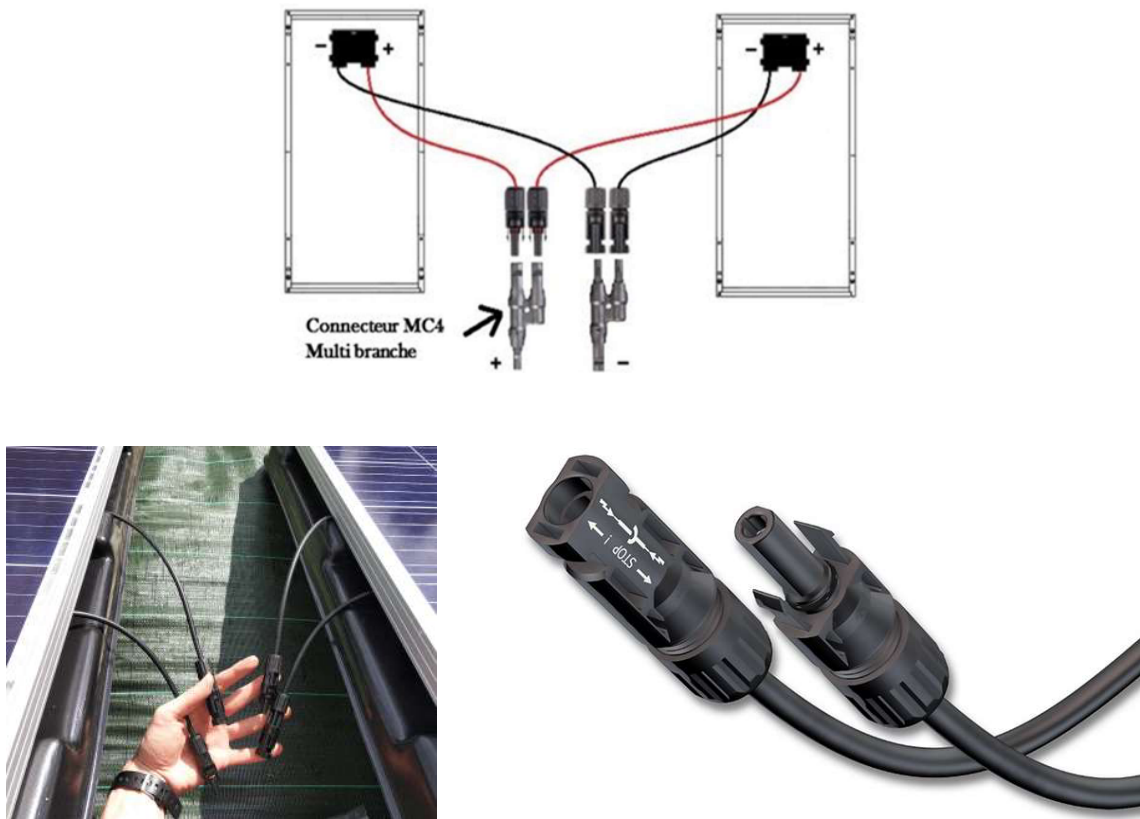


Figure 3.10 : Connectivité entre les modules

### 3.3.3. Position et orientation du champ PV

La direction optimale pour le panneau solaire est en fait le sud, donc le soleil sera à sa hauteur (la position la plus élevée dans le ciel) au milieu de la journée en raison de la rotation de la Terre et de la façon dont nous tournons autour du soleil. Dans cet exemple projeté par le tableau 3.1, l'angle  $30^\circ$  représente la latitude du lieu.

**Tableau 3.1** : La production électrique annuelle du champs PV par rapport à la direction optimale (angle orientée au sud et incliné à l'attitude de lieu), exprimée en % [41]

INCLINAISON \ ORIENTATION	0°	30°	60°	90°
EST	93%	90%	78%	55%
SUD - EST	93%	96%	88%	66%
SUD	93%	100%	91%	68%
SUD - OUEST	93%	96%	88%	66%
OUEST	93%	90%	78%	55%

Une exposition sud-est ou sud-ouest est aussi très bonne et l'installation de panneaux orientés plein est ou plein ouest peut également s'avérer rentable. La seule orientation à proscrire est au nord, car ces panneaux seraient très rarement exposés à la lumière directe.

### 3.3.4. Le système de régulation

Le régulateur de charge principalement sert avant tout à contrôler l'état de la batterie. Il existe plusieurs valeurs limites correspondant chacune à un type de protection différent : surcharge, décharge profonde, température de fonctionnement, court-circuit, etc. Les nouvelles générations de régulateurs, quant à eux, sont de plus en plus perfectionnées et proposent des fonctionnalités plus nombreuses et de plus en plus évoluées [42].

Il existe de nombreux régulateurs de charge disponible sur le marché qui ont des caractéristiques différentes [43] :

- L'affichage de l'état de charge de la batterie : certains régulateurs ne fournissent pas cette information ; d'autres la fournissent sous forme de LED, d'autres sur un écran digital.
- La compensation thermique : elle permet d'affiner les seuils de travail du régulateur de charge et améliore la durée de vie de la batterie.
- Les seuils de coupures ajustables : sur certains régulateurs, les seuils de coupure sont réglables soit par des petits interrupteurs (dip-switch), soit par des potentiomètres, soit par un réglage avec l'afficheur LCD ou à l'aide d'une commande à distance.
- Data logging : certains régulateurs de charge enregistrent les données du système. Ces

données sont ensuite lisibles sur le régulateur ou sur ordinateur ; cela permet de visualiser une erreur ou alarme sur le système solaire.

Principe de fonctionnement de régulateur :

Le champ solaire est connecté à l'entrée du régulateur et la batterie à sa sortie. Lorsque la tension batterie est inférieure à la tension de régulation, le régulateur fait fonctionner le générateur photovoltaïque à puissance maximale  $P_{mpp}$  et transfère cette puissance à la sortie. Le régulateur MPPT (figure 3.11) suit en permanence la tension maximale de puissance  $V_{mp}$  des modules photovoltaïques. Il balaye une plage de tensions en entrée pour déterminer où se situe la puissance maximale délivrée par les modules. Le régulateur MPPT prélève ensuite cette puissance à la tension  $V_{mp}$  et la convertit vers une tension plus basse pour la charger dans les batteries. Cette conversion vers une tension plus basse a pour effet d'augmenter le courant de charge.

En utilisant le principe de conservation de la puissance, la puissance en entrée est égale à la puissance en sortie. Cela signifie que si la tension est réduite, le courant doit nécessairement augmenter pour maintenir le même niveau de puissance. L'objectif principal du régulateur MPPT est donc de maximiser l'efficacité de la conversion d'énergie solaire en ajustant la tension et le courant de manière à obtenir la puissance maximale possible des modules photovoltaïques, tout en respectant les caractéristiques et les limites des batteries. Cela permet d'optimiser le rendement global du système en assurant que l'énergie solaire captée est utilisée de manière optimale pour charger les batteries [43]. Une fois la tension de la batterie arrive à sa tension maximale, le système switché vers une commande à tension constante, et à un courant de charge décroissant jusqu'à arriver à la pleine charge



Figure 3.11 : Modèles de régulateur

### 3.3.5. Le système de conversion

L'onduleur est un dispositif permettant de transformer en alternatif une énergie électrique de type continue. Un onduleur est dit autonome s'il assure de lui-même sa fréquence et sa forme d'onde (figure 3.12).



Figure 3.12 : Modèles de régulateur

Les onduleurs intègrent de base plusieurs sécurités :

- Protection contre la surcharge
- Protection contre le court-circuit
- Protection en température
- Protection contre une tension trop élevée ou trop faible (paramétrable le plus souvent)

L'onduleur doit tolérer une large plage de tension en entrée (-10% à +30%) à cause des variations de tension nominale de la batterie selon les différentes conditions de fonctionnement.

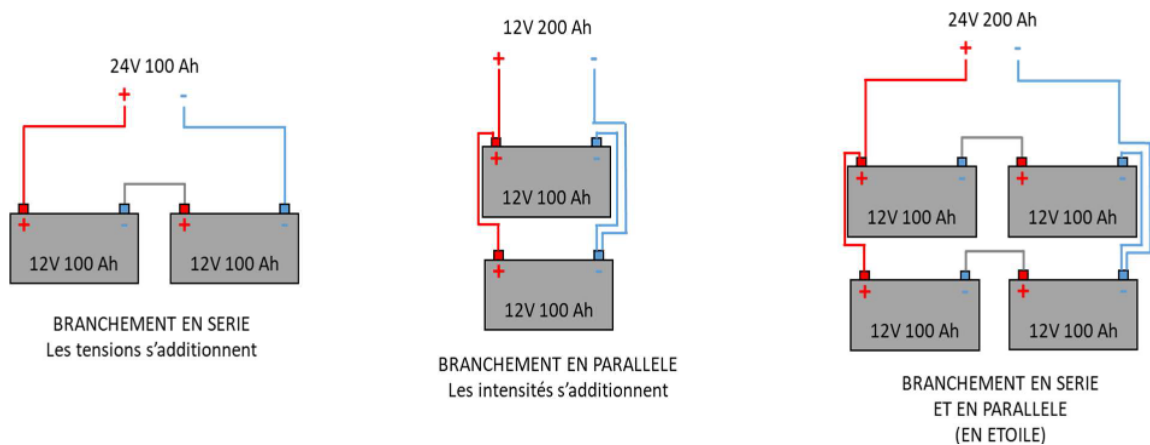
### 3.3.6. Le système du stockage

Les cumulateurs électrochimiques (Batteries) sont des générateurs "réversibles" c'est-à-dire pouvant stocker de l'énergie électrique sous forme chimique puis la restituer à tout moment sur demande grâce à la réversibilité de la transformation (figure 3.13). Contrairement aux photopiles, où il n'y a qu'un transport d'électron ne donnant lieu à aucune "usure", dans les accumulateurs électrochimiques, il y a transfert de matière de l'électrolyte vers les électrodes et par conséquent une "usure" incontournable qui limite leur durée de vie.



**Figure 3.13** : Modèles de batteries solaires

La capacité des batteries est une quantité d'électricité, exprimée en Ah pour un régime donné (figure 3.14). Elle correspond au total des Ah disponibles lorsque la batterie est déchargée à un certain régime (ou à un certain courant) à partir de 100% d'état de charge jusqu'à la tension limite de fin de décharge. Généralement, la capacité est calculée en multipliant le courant de décharge par le temps de décharge. Elle dépend de la température ainsi que du régime et elle est maximale quand la batterie est neuve. Les fabricants de batteries fournissent souvent la capacité nominale qui est obtenue à un courant de décharge nominal, respectant les limites de tensions spécifiées et dans des conditions de température données [44-45]. La connexion et le schéma de raccordement des batteries sont donnés par la figure 3.14.



**Figure 3.14** : Schéma de raccordement des batteries

Il est risqué de brancher une batterie solaire directement sur un panneau solaire, car vous risquez d'endommager la batterie. En installant un régulateur entre le panneau et la batterie, celle-ci est protégée entre autre contre la surcharge.

### **3.3.7. Système de câblage et raccordement**

#### **- Les câbles**

D'une manière générale, les câbles recommandés côté CC sont en cuivre souple (multibrin). Le cuivre présente le meilleur rapport prix/conductivité, et la caractéristique multibrin permet d'assurer des connexions de qualité optimale, donc de minimiser les pertes d'énergie par chute de tension.

#### **- Les boîtes de raccordements**

Les boîtes de jonction sont situées le plus près possible du champ solaire, permettent un parallélisme avec les chaînes photoélectriques et ont la capacité de casser et de couper (intersection) en plus de la protection contre les surtensions (inhibiteur de surintensité). Facultativement, la boîte de jonction peut contenir des fusibles sur chaque chaîne de module PV.

#### **- Les parafoudres**

Dans une installation photovoltaïque, les parafoudres ont pour rôle de protéger les modules photovoltaïques et les onduleurs contre les risques de surtensions induites dans le circuit de la partie continue.

#### **- Les sectionneurs**

Le sectionneur est un appareil électromécanique permettant de séparer, de façon mécanique, un circuit électrique et son alimentation, tout en assurant physiquement une distance de sectionnement satisfaisante électriquement. L'objectif peut être d'assurer la sécurité des personnes travaillant sur la partie isolée du réseau électrique ou bien d'éliminer une partie du réseau en dysfonctionnement pour pouvoir en utiliser les autres parties.

Le sectionneur, à la différence du disjoncteur ou de l'interrupteur, n'a pas de pouvoir de coupure, ni de fermeture. Il est impératif d'arrêter l'équipement aval pour éviter une ouverture en charge. Dans le cas contraire de graves brûlures pourraient être provoquées, liées à un arc électrique provoqué par l'ouverture.



- Les fusibles

En situation de fonctionnement normal, le fusible doit assurer le rôle de conduction. Lors de l'apparition d'un défaut électrique (courant anormalement élevé par rapport au courant nominal de conduction), le fusible assure alors le rôle de coupure : le fusible, se présente sous la forme d'un ruban ou d'un fil métallique, fond puis se vaporise en raison de l'apport d'énergie par le défaut électrique qu'il doit interrompre.

- Les disjoncteurs

Dans une installation électrique, des courants anormalement élevés peuvent apparaître. Afin de s'en prémunir, il est préférable de mettre en place un dispositif permettant de couper l'installation dans le cas échéant. C'est le rôle des disjoncteurs. L'apparition d'un courant anormalement élevé peut-être de deux types : surcharge et court-circuit.

### 3.3.8. Avantage et inconvénients du système PV

Les principaux avantages des panneaux solaires photovoltaïques sont résumés selon le tableau 3.2 ci-dessous. Ils utilisent une source d'énergie alternative, renouvelable et gratuite et ont une durabilité de plus de 25 ans, tandis que leurs inconvénients sont leurs coûts initiaux élevés et une production d'énergie inférieure à celle des centrales thermoélectriques.

**Tableau 3.2 : Avantage et inconvénients d'un système PV**

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Technologie sûre et sans risque</li> <li>- Énergie propre, non- polluante</li> <li>- Pas de combustion</li> <li>- Des systèmes fiables et stables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le rendement des cellules PV reste assez faible</li> <li>- Le coût d'investissement est relativement élevé</li> <li>- Il n'y a aucune production d'électricité le soir et la nuit</li> </ul>

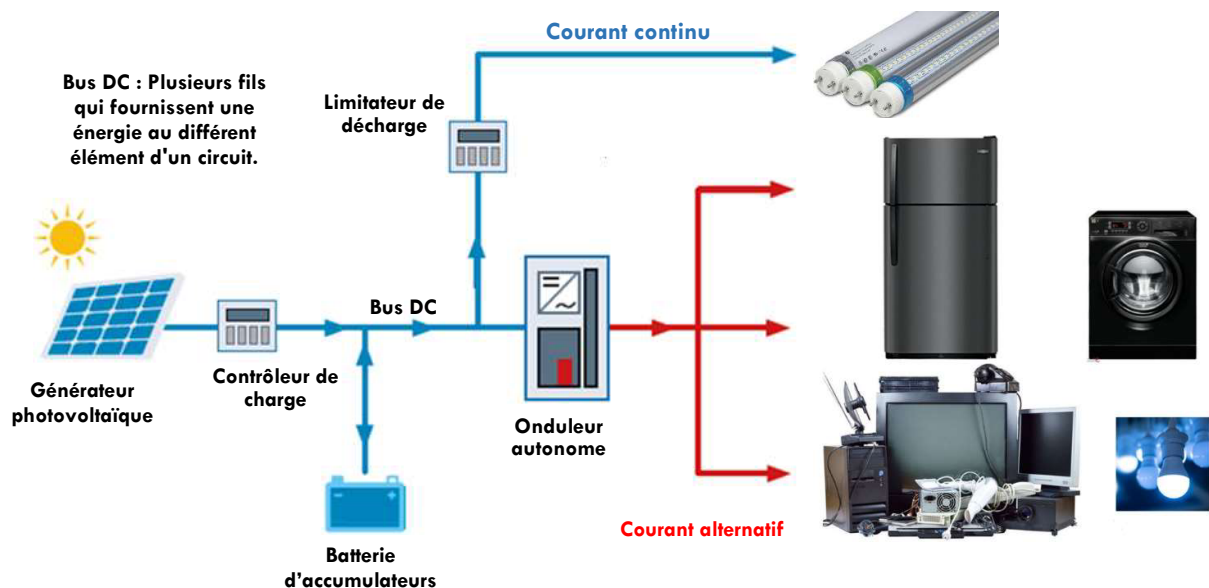
### 3.4. Méthode de dimensionnement

On croit souvent que les panneaux photovoltaïques atteignent leur rendement maximum en été, et ne produisent quasiment pas d'énergie l'hiver. Mais ce n'est pas le cas ! Les heures d'ensoleillement ne sont en effet pas le seul paramètre qui fait fluctuer le rendement au fil des

saisons. Les paramètres principaux météorologiques qui influencent le rendement photovoltaïque sont comme suit :

- Le nombre d'heures d'ensoleillement
- La température : la forte chaleur ambiante fait surchauffer les composants électriques de l'installation, qui devient alors moins performante. Dès que la température passe au-delà de 25 °C, le rendement des panneaux diminue d'environ 0.4 % par degré supplémentaire.
- La nébulosité : lorsque la couverture nuageuse est épaisse, les panneaux solaires auront du mal à capter l'énergie.

Un système photovoltaïque autonome avec batterie d'accumulateurs est un système de production d'énergie électrique indépendant non relié à un réseau public de distribution d'électricité. Il comprend les composants de base indiqués dans le schéma de la figure 3.15.



**Figure 3.15** : Schéma de principe du système photovoltaïque autonome avec stockage

Le dimensionnement du système tout entier s'articule sur la détermination de la puissance, l'énergie consommée, l'énergie produite par les panneaux en ajoutant 30% de l'énergie à consommer, la tension du travail, le nombre de batteries dont on va avoir besoin avec leurs capacités et les références du régulateur et de l'onduleur.

Conformément au tableau 2.9, la consommation journalière dont on a besoin est égale à  $P = 5902.7 \text{ Wh}$ .

Le choix de la tension du travail dépend de la puissance instantanée. La tension de 12V est recommandée avec des puissances de jusqu'à 1000W. Pour des puissances entre 1000W et 2000W, la tension de travail recommandée est de 24V. Au-delà de 2000W, la tension de travail recommandée est de 48V.

Pour notre cas, la mise en marche (au même temps) de l'ensemble d'équipements y compris le système d'éclairage entraîne une puissance record équivalente à une valeur franchise de 5.434 kW. La puissance instantanée est bien souvent supérieure à 2000W, la tension du travail recommandée est donc 48V.

Selon d'autres sources, les tensions de travail recommandées sont 12V, 24V et 48V pour des puissances crêtes équivalentes à respectivement 500Wc, entre 500Wc et 2kWc, et supérieure à 2kWc.

Ce que vient ensuite à l'esprit c'est de déterminer avec quels types de batteries à utiliser pour pouvoir stocker l'énergie, la restituer et l'exploiter. La capacité des batteries (Ah) se définit par l'équation suivante :

$$C_{\text{Batteries}} = \frac{N E_{\text{Produite}}}{D_{\text{Décharge}} U} \quad (23)$$

$E_{\text{Produite}}$  : l'énergie produite par le système photovoltaïque qui est considérée comme étant la somme de l'énergie consommée et 30% de cette énergie. La valeur obtenue égale à 7673.51 Wh.

$N$  : l'autonomie de fonctionnement des batteries, dépend de la région et de l'ensoleillement disponible (en jours). Pour notre cas, la valeur retenue est de 3 jours.

$D$  : le taux de décharge, on pourra le prendre 0.7 pour les batteries solaires.

$U$  : la tension du travail (V).

La capacité du banc de batteries est équivalente à 685.13 Ah.

En fonction des batteries disponibles en marché, on peut sortir le nombre de batteries et leurs enchaînements. Pour notre cas, il a été opté pour des batteries de 12V et 150Ah.

Le nombre de séries de batteries, c'est-à-dire, le nombre de rangées en parallèle, est donc défini par le rapport entre la capacité du stockage des batteries et la capacité du stockage d'une seule batterie.

Le nombre de batteries en série dans une seule rangée est par définition le rapport entre la tension globale du système et la tension d'une seule batterie. Il est à noter que la capacité du stockage des batteries ne s'ajoute pas si ces derniers sont en série.

Pour cet exemple, le nombre total de batteries est de 28. Il faut mettre 4 batteries en série dans chaque rangée à fin d'avoir 48V.

L'étape suivante consiste à déterminer la puissance crête équivalente de l'installation photovoltaïque toute entière.

$$P_{\text{crête}} = \frac{E_{\text{Produite}}}{I_r} \quad (24)$$

$I_r$  : le coefficient d'irradiation solaire, la valeur retenue par nous même pour le site de Ghardaïa est de 4.8 kWh/m<sup>2</sup>.

La puissance crête équivalente de l'installation photovoltaïque toute entière par calcul correspond à la valeur de 1598.65Wc.

Le choix a été opté pour des panneaux monocristallins d'une puissance de 215Wc et d'une tension nominale de 24V.

Le nombre de panneaux en série dans une seule rangée est par définition le rapport entre la tension globale du système et la tension d'un seul panneau. Le nombre de panneaux en série à installer dans une seule rangée est donc 2.

Le nombre de panneaux à installer sera calculé en utilisant l'équation suivante :

$$N_{\text{Panneaux}} = \frac{P_{\text{crête}}}{P_{\text{crête panneau}}} \quad (25)$$

Le nombre de panneaux à installer par calcul correspond à la valeur de 7.43, le nombre de panneaux réel à installer sera un multiplicateur de 2. Le chiffre sera arrondi à 8.

La puissance crête du générateur photovoltaïque convient à la valeur exacte de 1720Wc.

Le générateur photovoltaïque sera composé de 4 rangées en parallèle constituées chacune de 2 panneaux en série.

Conformément à la configuration des batteries, on devra choisir donc un ou des régulateurs de 48V qui vont avoir au moins la puissance crête du système PV. Le MPPT possède un très bon rendement de conversion de 98%, fournissant un très bon rendement à votre installation.

On peut raccorder un régulateur de charge à chaque rangée de 4 batteries d'une puissance équivalente qui se détermine par le rapport entre la puissance crête totale du système PV et le nombre de rangées de 4 batteries. Si on divise 1720Wc par 7, on obtient 245.71Wc.

Le courant de charge minimale du régulateur pour une rangée est par définition le rapport de la puissance minimale de ce régulateur de charge pour la rangée et la tension de travail. Si on divise 245.71Wc par 48V, on obtient presque 5.12A. Donc, si nous connectons en série un régulateur à chaque rangée de batteries (4 batteries en série), il devra être à un courant supérieur à 5.12A.

Mais si on utilise un seul régulateur pour tous le système, il faudra multiplier la puissance minimale d'un régulateur de charge pour une rangée par le nombre de rangers de batteries en parallèle à installer pour obtenir la puissance minimale du régulateur de charge du système tout entier. Elle est simplement équivalente à la puissance crête du générateur photovoltaïque (1720Wc).

Le courant de charge minimale pour le système tout entier est obtenu soit en multipliant le courant de charge minimale pour une rangée par le nombre de rangées de batteries en série à installer ou en divisant la puissance crête réelle de l'installation photovoltaïque par la tension du travail. Si nous connectons un régulateur de charge au banc de batteries, il devra être à un courant supérieur à 35.83A.

Le choix de l'onduleur se base d'abord sur la puissance minimale définie par la puissance produite et ensuite la puissance de démarrage du système qui est généralement 3 à 4 fois la puissance de fonctionnement instantanée. La fiche technique de l'onduleur doit inclure la puissance minimale et de démarrage. Selon les standards, on peut trouver des onduleurs de 10kW, 12kW... Selon la littérature, la puissance de l'onduleur doit être comprise entre 80% et 100% de la puissance crête des panneaux. En conséquence, la puissance de l'onduleur devra être comprise entre 1376 et 2064 W.

### **3.5. Évaluation des coûts en fonction de la charge**

Les critères qui influent sur le coût du système photovoltaïque et leur rentabilité sont nombreux. Ils dépendent généralement de l'énergie requise (à consommer), la technologie, la marque sélectionnée, les spécificités techniques et la durée de vie des composants solaires, le mode de pose des panneaux solaires et la complexité du raccordement, le coût de l'électricité

conventionnelle, la main d'œuvre et l'accompagnement, la maintenance, le suivie et la mise en place de mesures de prévention et de protection.

Notre démarche dans cette partie s'articule sur une méthode de sélection basée, à la fois, sur le coût des composants et ses caractéristiques techniques. L'objectif est d'optimiser le coût total de l'installation suite à un recensement récent réalisé au profit des principaux composants. Nous nous sommes inspirés d'une liste de coût converti en dinar algérien des panneaux solaires monocristallin relatifs à des températures de fonctionnement comprises entre -40 et 85°C, des régulateurs solaires MPPT, des batteries solaires et des onduleurs solaires. Nous retenons la configuration qui maximise les mesures de performance et correspond au meilleur prix. L'estimation la plus économe sera considérée. Les tableaux 3.3-12 donnent des estimations financières relatives au système photovoltaïque en fonction de la charge choisie par le propriétaire.

**Tableau 3.3 : Coûts du système PV ayant une charge journalière de 2.5 kWh**

<b>Batteries solaires</b>									
Capacité du banc de batteries	Marque	Tension nominale & Capacité	Nombre de batteries		Coût				
			Nombre de rangées de batteries en parallèle	Nombre de batteries montées en série par rangée					
290.17 Ah	Plomb Carbone - UNIBAT 150.12 GEL	12V 150Ah	2	4	651 520.00 Dinars				
<b>Générateur solaire photovoltaïque</b>									
Marque du panneau PV	Puissance Nominale PMPP & Tension nominale	Courant à Puissance maximale IMPP	Puissance crête de l'installation PV	Nombre de rangées de panneaux en parallèle	Nombre de panneaux montés en série par rangée	Coût			
Mono series 4b VICTRON	360Wc 24V	9.38A	720Wc	1	2	114 572.80 Dinars			
<b>Régulateur de charge solaire MPPT</b>									
Si chaque rangée de batteries est branchée à un régulateur			Si le banc de batteries est branché à un seul régulateur		Marque retenue	Coût			
Nombre de rangées de batteries	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur					
2	360W	7.5A	720W	15A	MPPT BlueSolar VICTRON 100/20 (100V)	23 339.20 Dinars			
<b>Onduleur</b>									
Puissance	Marques	Puissance de crête	Puissance P et protection des batteries recommandée				Tension et Fréquence de sortie	Plage de tension d'alimentation	Coût
			P continue à 25/40 °C	P de sortie à 25°C	40°C	65°C			
576W - 864W	Phoenix Inverter 48/1200 230V VE.Direct SCHUKO Victron (48V / 1200VA)	2200 W	1000/850W	/	/	/	210V à 245V 50Hz ou 60 Hz	36.8 V à 62 V	85 518.40 Dinars
<b>Coût de la structure porteuse de l'installation photovoltaïque</b> 20% par rapport au coût total du générateur								22 914.56 Dinars	
<b>Prix d'accessoires, de la main d'œuvre et divers</b> 10% par rapport aux coûts de composants solaires								87 495.04 Dinars	
<b>Coût total de l'installation photovoltaïque</b>								<b>985 360.00 Dinars</b>	

**Tableau 3.4 : Coûts du système PV ayant une charge journalière de 3 kWh**

<b>Batteries solaires</b>									
Capacité du banc de batteries	Marque	Tension nominale & Capacité	Nombre de batteries		Coût				
			Nombre de rangées de batteries en parallèle	Nombre de batteries montées en série par rangée					
348.21 Ah	Batterie VICTRON étanche Gel 1.08kWh	12V 90Ah	4	4	746 828.80 Dinars				
<b>Générateur solaire photovoltaïque</b>									
Marque du panneau PV	Puissance Nominale PMPP & Tension nominale	Courant à Puissance maximale IMPP	Puissance crête de l'installation PV	Nombre de panneaux PV		Coût			
				Nombre de rangées de panneaux en parallèle	Nombre de panneaux montés en série par rangée				
VICTRON 115W	115Wc 12V	6.04A	920Wc	2	4	160 844.80 Dinars			
UNISUN 200.24 M	200Wc 24V	5.62A	800Wc	2	2	156 800.00 Dinars			
<b>Régulateur de charge solaire MPPT</b>									
Si chaque rangée de batteries est branchée à un régulateur			Si le banc de batteries est branché à un seul régulateur			Coût			
Nombre de rangées de batteries	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur	Marque retenue				
4	230W	4.79A	920W	19.17A	MPPT BlueSolar VICTRON 100/20 (100V)	23 339.20 Dinars			
	200W	4.17A	800W	16.67A					
<b>Onduleur</b>									
Puissance	Marques	Puissance de crête	Puissance P et protection des batteries recommandée			Tension et Fréquence de sortie	Plage de tension d'alimentation	Coût	
			P continue à 25/40 °C	P de sortie à 25°C	P de sortie à 40°C				P de sortie à 65°C
640W - 960W	Phoenix Inverter 48/1200 230V VE.Direct SCHUKO Victron (48V / 1200VA)	2200 W	1000/850W	/	/	/	210V à 245V 50Hz ou 60 Hz	36.8 V à 62 V	85 518.40 Dinars
<b>Coût de la structure porteuse de l'installation photovoltaïque</b>								32 168.96 Dinars	
20% par rapport au coût total du générateur								31 360.00 Dinars	
<b>Prix d'accessoires, de la main d'œuvre et divers</b>								101 653.12 Dinars	
10% par rapport aux coûts de composants solaires								101 248.64 Dinars	
<b>Coût total de l'installation photovoltaïque</b>								<b>1 150 353.28 Dinars</b>	
<b>Coût total de l'installation photovoltaïque</b>								<b>1 145 095.04 Dinars</b>	



**Tableau 3.5 : Coûts du système PV ayant une charge journalière de 3.5 kWh**

<b>Batteries solaires</b>									
Capacité du banc de batteries	Marque	Tension nominale & Capacité	Nombre de batteries		Coût				
			Nombre de rangées de batteries en parallèle	Nombre de batteries montées en série par rangée					
406.25 Ah	Batterie VICTRON étanche Gel 2.64kWh	12V 220Ah	2	4	856 486.40 Dinars				
<b>Générateur solaire photovoltaïque</b>									
Marque du panneau PV	Puissance Nominale PMPP & Tension nominale	Courant à Puissance maximale IMPP	Puissance crête de l'installation PV	Nombre de rangées de panneaux en parallèle	Nombre de panneaux montés en série par rangée	Coût			
VICTRON 140W	140Wc 12V	7.22 A	1120 Wc	2	4	199 744.00 Dinars			
<b>Régulateur de charge solaire MPPT</b>									
Nombre de rangées de batteries	Si chaque rangée de batteries est branchée à un régulateur		Si le banc de batteries est branché à un seul régulateur		Marque retenue	Coût			
	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur					
2	560W	11.67A	1120W	23.33A	VICTRON BlueSolar MPPT 150/35 (150V)	53 857.60 Dinars			
<b>Onduleur</b>									
Puissance	Marques	Puissance de crête	Puissance P et protection des batteries recommandée				Tension et Fréquence de sortie	Plage de tension d'alimentation	Coût
			P continue à 25/40 °C	P de sortie à 25°C	P de sortie à 40°C	P de sortie à 65°C			
896W	Phoenix Inverter 48/1600 230V Smart Victron (48V / 1600VA)	3000VA	/	1600VA 1300W	1200W 800W	/	37.2 - 68 V	134 971.20 Dinars Peut présenter des problèmes dus aux surchauffes	
1344W	Phoenix Inverter 48/3000 230V Smart Victron (48V / 3000VA)	6000VA	/	3000VA 2400W	2200W 1700W	210-245V	37.2 - 68 V	184 584.00 Dinars	
<b>Coût de la structure porteuse de l'installation photovoltaïque</b>							39 948.80 Dinars		
20% par rapport au coût total du générateur									
<b>Prix d'accessoires, de la main d'œuvre et divers</b>							124 505.92 Dinars		
10% par rapport aux coûts de composants solaires							129 467.20 Dinars		
<b>Coût total de l'installation photovoltaïque</b>							<b>1 409 513.92 Dinars</b>		
							<b>1 414 475.20 Dinars</b>		

**Tableau 3.6 : Coûts du système PV ayant une charge journalière de 4 kWh**

<b>Batteries solaires</b>								
Capacité du banc de batteries	Marque	Tension nominale & Capacité	Nombre de batteries		Coût			
			Nombre de rangées de batteries en parallèle	Nombre de batteries montées en série par rangée				
464.28 Ah	Batterie VICTRON étanche Gel 1.98kWh	12V 165Ah	3	4	1 049 721.60 Dinars			
<b>Générateur solaire photovoltaïque</b>								
Marque du panneau PV	Puissance Nominale PMPP & Tension nominale	Courant à Puissance maximale IMPP	Puissance crête de l'installation PV	Nombre de panneaux PV		Coût		
VICTRON 140W	140Wc 12V	7.22 A	1120 Wc	Nombre de rangées de panneaux en parallèle: 2	Nombre de panneaux montés en série par rangée: 4	199 744.00 Dinars		
<b>Régulateur de charge solaire MPPT</b>								
Si chaque rangée de batteries est branchée à un régulateur			Si le banc de batteries est branché à un seul régulateur			Coût		
Nombre de rangées de batteries	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur	Marque retenue			
3	373.33W	7.78A	1120W	23.33A	VICTRON BlueSolar MPPT 150/35 (150V)	53 857.60 Dinars		
<b>Onduleur</b>								
Puissance	Marques	Puissance de crête	Puissance P et protection des batteries recommandée			Tension et Fréquence de sortie	Plage de tension d'alimentation	Coût
			P continue à 25/40 °C	P de sortie à 25°C	40°C			
896W	Phoenix Inverter 48/1600 230V Smart Victron (48V / 1600VA)	3000VA	/	1600VA 1300W	1200W 800W	/	37.2 - 68 V	134 971.20 Dinars Peut présenter des problèmes dus aux surchauffes
1344W	Phoenix Inverter 48/3000 230V Smart Victron (48V / 3000VA)	6000VA	/	3000VA 2400W	2200W 1700W	210-245V 50Hz ou 60Hz	37.2 - 68 V	184 584.00 Dinars
<b>Coût de la structure porteuse de l'installation photovoltaïque</b>							39 948.80 Dinars	
20% par rapport au coût total du générateur								
<b>Prix d'accessoires, de la main d'œuvre et divers</b>							143 829.44 Dinars	
10% par rapport aux coûts de composants solaires							148 790.72 Dinars	
							<b>1 622 072.64 Dinars</b>	
<b>Coût total de l'installation photovoltaïque</b>							<b>1 676 646.72 Dinars</b>	

**Tableau 3.7 : Coûts du système PV ayant une charge journalière de 4.5 kWh**

<b>Batteries solaires</b>									
Capacité du banc de batteries	Marque	Tension nominale & Capacité	Nombre de batteries		Coût				
			Nombre de rangées de batteries en parallèle	Nombre de batteries montées en série par rangée					
522.32 Ah	Batterie VICTRON étanche Gel 1.56kWh	12V 130Ah	4	4	1 086 284.80 Dinars				
<b>Générateur solaire photovoltaïque</b>									
Marque du panneau PV	Puissance Nominale PMPP & Tension nominale	Courant à Puissance maximale IMPP	Puissance crête de l'installation PV	Nombre de panneaux PV		Coût			
				Nombre de rangées de panneaux en parallèle	Nombre de panneaux montés en série par rangée				
Mono series 4b VICTRON	360Wc 24V	9.38 A	1440 Wc	2	2	229 145.60 Dinars			
<b>Régulateur de charge solaire MPPT</b>									
Si chaque rangée de batteries est branchée à un régulateur			Si le banc de batteries est branché à un seul régulateur		Marque retenue	Coût			
Nombre de rangées de batteries	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur					
4	360W	7.5A	1440W	30A	VICTRON BlueSolar MPPT 150/35 (150V)	53 857.60 Dinars			
<b>Onduleur</b>									
Puissance	Marques	Puissance de crête	Puissance P et protection des batteries recommandée			Tension et Fréquence de sortie	Plage de tension d'alimentation	Coût	
			P continue à 25/40 °C	P de sortie à 25°C	P de sortie à 40°C				
1152W	Phoenix Inverter 48/2000 230V Smart Victron (48V/2000VA)	4000VA	/	2000VA 1600W	1450 W	1000 W	210-245V 50Hz ou 60Hz	37.2 - 68 V	145 416.00 Dinars Peut présenter des problèmes dus aux surchauffes
1728W	Phoenix Inverter 48/3000 230V Smart Victron (48V / 3000VA)	6000VA	/	3000VA 2400W	2200W	1700W	210-245V 50Hz ou 60Hz	37.2 - 68 V	184 584.00 Dinars
<b>Coût de la structure porteuse de l'installation photovoltaïque</b>							45 829.12 Dinars		
<b>Prix d'accessoires, de la main d'œuvre et divers</b>							151 470.40 Dinars		
10% par rapport aux coûts de composants solaires							155 387.20 Dinars		
<b>Coût total de l'installation photovoltaïque</b>							<b>1 712 003.52 Dinars</b>		
							<b>1 755 088.32 Dinars</b>		

**Tableau 3.8 : Coûts du système PV ayant une charge journalière de 5 kWh**

<b>Batteries solaires</b>									
Capacité du banc de batteries	Marque	Tension nominale & Capacité	Nombre de batteries		Coût				
			Nombre de rangées de batteries en parallèle	Nombre de batteries montées en série par rangée					
580.35 Ah	Batterie VICTRON étanche Gel 2.64kWh	12V 220Ah	3	4	1 284 729.60 Dinars				
<b>Générateur solaire photovoltaïque</b>									
Marque du panneau PV	Puissance Nominale PMPP & Tension nominale	Courant à Puissance maximale IMPP	Puissance crête de l'installation PV	Nombre de panneaux PV		Coût			
				Nombre de rangées de panneaux en parallèle	Nombre de panneaux montés en série par rangée				
Mono series 4b VICTRON	360 Wc 24V	9.38 A	1440 Wc	2	2	229 145.60 Dinars			
<b>Régulateur de charge solaire MPPT</b>									
Si chaque rangée de batteries est branchée à un régulateur			Si le banc de batteries est branché à un seul régulateur			Coût			
Nombre de rangées de batteries	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur	Marque retenue				
2	480W	10A	1440W	30A	VICTRON BlueSolar MPPT 150/35 (150V)	53 857.60 Dinars			
<b>Onduleur</b>									
Puissance	Marques	Puissance de crête	Puissance P et protection des batteries recommandée			Tension et Fréquence de sortie	Plage de tension d'alimentation	Coût	
			P continue à 25/40 °C	P de sortie à 25°C	40°C				65°C
1152W	Phoenix Inverter 48/2000 230V Smart Victron (48V/2000VA)	4000VA	/	2000VA 1600W	1450 W	1000 W	210-245V 50Hz ou 60Hz	37.2 - 68 V	145 416.00 Dinars Peut présenter des problèmes dus aux surchauffes
1728W	Phoenix Inverter 48/3000 230V Smart Victron (48V / 3000VA)	6000VA	/	3000VA 2400W	2200W	1700W	210-245V 50Hz ou 60Hz	37.2 - 68 V	184 584.00 dinars
<b>Coût de la structure porteuse de l'installation photovoltaïque</b>							45 829.12 Dinars		
20% par rapport au coût total du générateur									
<b>Prix d'accessoires, de la main d'œuvre et divers</b>							171 314.88 Dinars		
10% par rapport aux coûts de composants solaires							175 231.68 Dinars		
<b>Coût total de l'installation photovoltaïque</b>							<b>1 930 292.80 Dinars</b>		
							<b>1 973 377.60 Dinars</b>		

**Tableau 3.9 : Coûts du système PV ayant une charge journalière de 5.5 kWh**

<b>Batteries solaires</b>									
Capacité du banc de batteries	Marque	Tension nominale & Capacité	Nombre de batteries		Coût				
			Nombre de rangées de batteries en parallèle	Nombre de batteries montées en série par rangée					
580.35 Ah	Batterie VICTRON étanche Gel 2.64kWh	12V 220Ah	3	4	1 284 729.60 Dinars				
<b>Générateur solaire photovoltaïque</b>									
Marque du panneau PV	Puissance Nominale PMPP & Tension nominale	Courant à Puissance maximale IMPP	Puissance crête de l'installation PV	Nombre de panneaux PV		Coût			
				Nombre de rangées de panneaux en parallèle	Nombre de panneaux montés en série par rangée				
VICTRON 140W	140Wc 12V	7.22 A	1680W	3	4	299 616.00 Dinars			
<b>Régulateur de charge solaire MPPT</b>									
Si chaque rangée de batteries est branchée à un régulateur			Si le banc de batteries est branché à un seul régulateur			Coût			
Nombre de rangées de batteries	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur	Marque retenue				
3	560W	11.67A	1680W	35A	VICTRON BlueSolar MPPT 150/35 (150V)	53 857.60 Dinars			
<b>Onduleur</b>									
Puissance	Marques	Puissance de crête	Puissance P et protection des batteries recommandée			Tension et Fréquence de sortie	Plage de tension d'alimentation	Coût	
			P continue à 25/40 °C	P de sortie à 25°C	40°C				65°C
1344W - 2016W	Phoenix Inverter 48/2000 230V Smart Victron (48V/2000VA)	4000VA	/	2000VA 1600W	1450 W	1000 W	210-245V 50Hz ou 60Hz	37.2 - 68 V	145 416.00 Dinars Peut présenter des problèmes dus aux surchauffes
	Phoenix Inverter 48/3000 230V Smart Victron (48V / 3000VA)	6000VA	/	3000VA 2400W	2200W	1700W	210-245V 50Hz ou 60Hz	37.2 - 68 V	184 584.00 dinars
<b>Coût de la structure porteuse de l'installation photovoltaïque</b> 20% par rapport au coût total du générateur							59 923.20 Dinars		
<b>Prix d'accessoires, de la main d'œuvre et divers</b> 10% par rapport aux coûts de composants solaires							178 361.92 Dinars		
							182 278.72 Dinars		
<b>Coût total de l'installation photovoltaïque</b>							<b>2 021 904.32 Dinars</b>		
							<b>2 064 989.12 Dinars</b>		

**Tableau 3.10 : Coûts du système PV ayant une charge journalière de 5.9027 kWh**

<b>Batteries solaires</b>									
Capacité du banc de batteries	Marque	Tension nominale & Capacité	Nombre de batteries		Coût				
			Nombre de rangées de batteries en parallèle	Nombre de batteries montées en série par rangée					
685.13Ah	Batterie VICTRON étanche Gel 1.08kWh	12V 90Ah	8	4	1 493 657.06 Dinars				
<b>Générateur solaire photovoltaïque</b>									
Marque du panneau PV	Puissance Nominale PMPP & Tension nominale	Courant à Puissance maximale IMPP	Puissance crête de l'installation PV	Nombre de panneaux PV		Coût			
				Nombre de rangées de panneaux en parallèle	Nombre de panneaux montés en série par rangée				
VICTRON 140W	140Wc 12V	7.22 A	1680W	3	4	299 616.00 Dinars			
<b>Régulateur de charge solaire MPPT</b>									
Si chaque rangée de batteries est branchée à un régulateur			Si le banc de batteries est branché à un seul régulateur			Coût			
Nombre de rangées de batteries	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur	Marque retenue				
8	210W	4.37A	1680W	35A	VICTRON BlueSolar MPPT 150/35 (150V)	53 857.60 Dinars			
<b>Onduleur</b>									
Puissance	Marques	Puissance de crête	Puissance P et protection des batteries recommandée			Tension et Fréquence de sortie	Plage de tension d'alimentation	Coût	
			P continue à 25/40 °C	P de sortie à 25°C	40°C				65°C
1344W	Phoenix Inverter 48/2000 230V Smart Victron (48V/2000VA)	4000VA	/	2000VA 1600W	1450 W	1000 W	210-245V 50Hz ou 60Hz	37.2 - 68 V	145 416.00 Dinars Peut présenter des problèmes dus aux surchauffes
2016W	Phoenix Inverter 48/3000 230V Smart Victron (48V / 3000VA)	6000VA	/	3000VA 2400W	2200W	1700W	210-245V 50Hz ou 60Hz	37.2 - 68 V	184 584.00 dinars
<b>Coût de la structure porteuse de l'installation photovoltaïque</b>						59 923.20	Dinars		
<b>Prix d'accessoires, de la main d'œuvre et divers</b>						199 254.67	Dinars		
10% par rapport aux coûts de composants solaires						203 171.47	Dinars		
<b>Coût total de l'installation photovoltaïque</b>						<b>2 251 724.53</b>	<b>Dinars</b>		
						<b>2 294 809.33</b>	<b>Dinars</b>		

**Tableau 3.11 : Coûts du système PV ayant une charge journalière de 6.5 kWh**

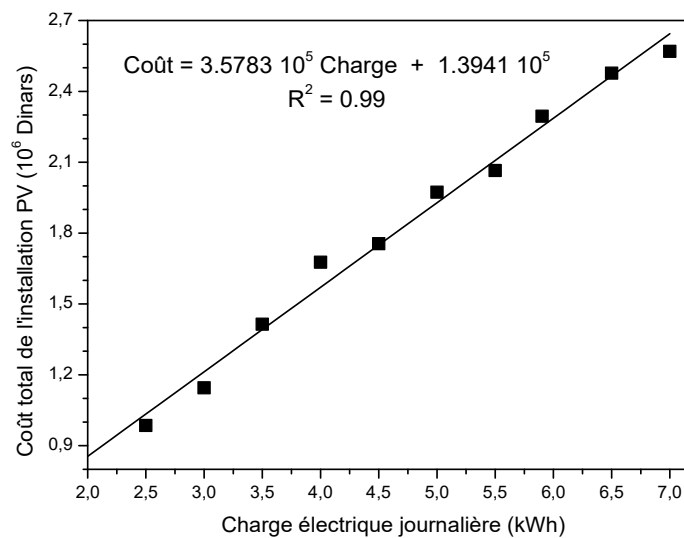
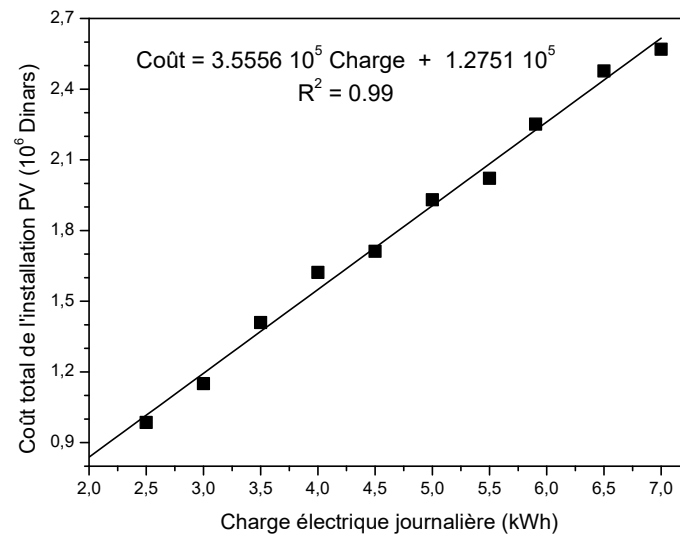
<b>Batteries solaires</b>								
Capacité du banc de batteries	Marque	Tension nominale & Capacité	Nombre de batteries		Coût			
			Nombre de rangées de batteries en parallèle	Nombre de batteries montées en série par rangée				
754.46Ah	Batterie VICTRON étanche Gel 1.32kWh	12V 110Ah	7	4	1 622 297.60 Dinars			
<b>Générateur solaire photovoltaïque</b>								
Marque du panneau PV	Puissance Nominale PMPP & Tension nominale	Courant à Puissance maximale IMPP	Puissance crête de l'installation PV	Nombre de panneaux PV		Coût		
				Nombre de rangées de panneaux en parallèle	Nombre de panneaux montés en série par rangée			
VICTRON 115W	115Wc 12V	6.04A	1840W	7	4	321 689.60 Dinars		
<b>Régulateur de charge solaire MPPT</b>								
Si chaque rangée de batteries est branchée à un régulateur			Si le banc de batteries est branché à un seul régulateur			Coût		
Nombre de rangées de batteries	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur	Marque retenue			
7	262.85W	5.48A	1840W	38.33A	VICTRON BlueSolar MPPT 150/45 (150V)	64 628.80 Dinars		
<b>Onduleur</b>								
Puissance	Marques	Puissance de crête	Puissance P et protection des batteries recommandée			Tension et Fréquence de sortie	Plage de tension d'alimentation	Coût
			P continue à 25/40 °C	P de sortie à 25°C	P de sortie à 40°C			
1472W - 2208W	Phoenix Inverter 48/3000 230V Smart Victron (48V / 3000VA)	6000VA	/	3000VA 2400W	2200W	1700W	210-245V 50Hz ou 60Hz	37.2 - 68 V 184 584.00 dinars
<b>Coût de la structure porteuse de l'installation photovoltaïque</b>							64 337.92 Dinars	
<b>Prix d'accessoires, de la main d'œuvre et divers</b>							219 320 Dinars	
<b>Coût total de l'installation photovoltaïque</b>							<b>2 476 857.92 Dinars</b>	

**Tableau 3.12 : Coûts du système PV ayant une charge journalière de 7 kWh**

<b>Batteries solaires</b>									
Capacité du banc de batteries	Marque	Tension nominale & Capacité	Nombre de batteries		Coût				
			Nombre de rangées de batteries en parallèle	Nombre de batteries montées en série par rangée					
754.46Ah	Batterie VICTRON étanche Gel 1.08kWh	12V 90Ah	9	4	1 680 364.00 Dinars				
<b>Générateur solaire photovoltaïque</b>									
Marque du panneau PV	Puissance Nominale PMPP & Tension nominale	Courant à Puissance maximale IMPP	Puissance crête de l'installation PV	Nombre de panneaux PV		Coût			
				Nombre de rangées de panneaux en parallèle	Nombre de panneaux montés en série par rangée				
Mono series 4b VICTRON	360Wc 24V	9.38A	2160W	3	2	343 718.40 Dinars			
<b>Régulateur de charge solaire MPPT</b>									
Si chaque rangée de batteries est branchée à un régulateur			Si le banc de batteries est branché à un seul régulateur			Coût			
Nombre de rangées de batteries	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur	Puissance minimale du régulateur	Courant de charge minimale du régulateur	Marque retenue				
9	240W	5A	2160W	45A	VICTRON BlueSolar MPPT 150/45 (150V)	64 628.80 Dinars			
<b>Onduleur</b>									
Puissance	Marques	Puissance de crête	Puissance P et protection des batteries recommandée				Tension et Fréquence de sortie	Plage de tension d'alimentation	Coût
			P continue à 25/40 °C	P de sortie à 25°C	P de sortie à 40°C	P de sortie à 65°C			
1728W - 2592W	Phoenix Inverter 48/3000 230V Smart Victron (48V / 3000VA)	6000VA	/	3000VA 2400W	2200W	1700W	210-245V 50Hz ou 60Hz	37.2 - 68 V	184 584.00 dinars
<b>Coût de la structure porteuse de l'installation photovoltaïque</b>								68 743.68 Dinars	
20% par rapport au coût total du générateur									
<b>Prix d'accessoires, de la main d'œuvre et divers</b>								227 329.52 Dinars	
10% par rapport aux coûts de composants solaires									
<b>Coût total de l'installation photovoltaïque</b>								<b>2 569 368.40 Dinars</b>	

La figure 3.16 donne une évaluation chiffrée des estimations financières relatives au système photovoltaïque en fonction de la charge électrique prévue.





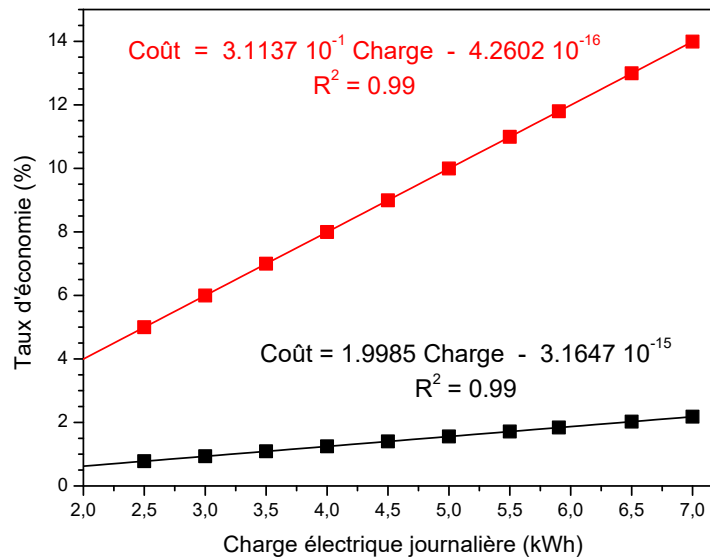
**Figure 3.16** : Coût total estimé de l'installation photovoltaïque en fonction de la charge électrique d'alimentation, a : en tenant les valeurs des montants inférieurs, b : en tenant les valeurs des montants supérieurs

Ce graphique peut être utilisé pour analyser l'efficacité du système solaire et estimer le coût de production de l'énergie. Il est évident à partir du graphique que l'augmentation de l'énergie produite par le système s'accompagne d'une augmentation des coûts. Il a été constaté donc que le coût total estimé de l'installation photovoltaïque tout entière est proportionnel par rapport à la charge électrique prévue par les usagers.

La méthode de la régression a montré que cette variation est linéaire sachant que le coefficient de régression est très proche de l'unité.

Il a été montré que l'ajout de 0.5 kWh engendre un investissement additionnel estimé à presque 18 million de centimes, exactement entre 177 780 dinars et 178 910 dinars.

Le graphique ci-dessous représente la relation entre l'énergie produite par un système photovoltaïque (PV) en kilowattheures (kWh) et son coût en dinars. Les données concernant l'énergie et les coûts sont représentées respectivement sur les axes horizontal et vertical. La figure 3.17 représente le taux d'économie énergétique dû à l'intégration du système photovoltaïque pour deux cas, cas d'un logement énergivore et économe.



**Figure 3.17 :** Taux d'économie énergétique dû à l'intégration du système énergétique, courbes noir : maison énergivore, courbes rouge : maison économe

En se basant sur la classification donnée par le diagramme de la figure 2.5, le label énergétique de la maison énergivore correspond au type F même en élevant la charge électrique journalière. Dans le cas d'une maison économe, il est possible d'attribuer l'étiquette énergétique du type A.

### 3.6. Conclusion

Les travaux menés ont montré qu'il existe une multitude de systèmes solaires avec des capteurs intégrés au bâtiment. Les types d'intégration de capteurs photovoltaïques au bâtiment sont : les types Façade, Toiture, Allège, Cheminée, Véranda et Brise soleil. L'enjeu en matière de recherche dans ce chapitre concerne les composants photovoltaïques. Il est préférable que

les panneaux photovoltaïques soient inclinés de manière à maximiser le rendement des modules photovoltaïques.

Plusieurs devis estimatifs ont été adressés en retenant la configuration qui maximise les mesures de performance et correspond au meilleur prix. L'estimation la plus économe sera considérée pour la suite des travaux.

Malgré les nombreux avantages, l'installation d'un système photovoltaïque semble coûteuse. L'alimentation d'une maison en électricité grâce à l'énergie solaire photovoltaïque est une bonne idée mais c'est surtout un investissement important qui peut faire peur. Le taux d'économie énergétique dû à l'intégration de ce type de système montre que ce concept est plus rentable dans un logement à faible consommation. Le coût total estimé de l'installation tout entière est linéairement croissant par rapport à la charge électrique retenue par les usagers. L'ajout de 0.5 kWh à la charge d'alimentation entraîne un investissement additionnel estimé à presque 18 million de centimes, exactement entre 177 780 dinars et 178 910 dinars.

# **Conclusion Générale**

## Conclusion Générale

L'efficacité énergétique et la conception bioclimatique des bâtiments sont des stratégies essentielles pour atteindre nos objectifs de réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre. En adoptant ces pratiques, nous pouvons créer des bâtiments plus durables, plus confortables et plus respectueux de l'environnement, contribuant ainsi à un avenir plus prometteur pour les générations futures.

Les travaux menés ont permis de souligner l'importance de ces stratégies dans la création de bâtiments durables, confortables et respectueux de l'environnement. En adoptant des pratiques il est fortement possible de contribuer à un avenir prometteur pour les générations futures en conservant nos ressources énergétiques.

Nous avons mis en évidence la différence entre une "maison économe en énergie" et une "maison énergivore". La différence réside dans la quantité d'énergie qu'elles consomment. Une maison basse consommation est conçue pour une utilisation économe en énergie, ce qui se traduit par une consommation d'énergie relativement faible. En revanche, une maison énergivore consomme une quantité élevée d'énergie en raison de divers facteurs de gaspillage et d'inefficacité énergétique. Cependant, passer à l'énergie solaire photovoltaïque offre la possibilité de bénéficier de plus d'énergie. Il est prouvé qu'il est rentable d'investir dans des panneaux solaires pour produire de l'électricité et assurer une charge électrique bien déterminée plus particulièrement dans des maisons à faible consommation. En opérant une bonne installation et en respectant certains critères tels que l'inclinaison, l'orientation et le choix des composants compatibles, il est possible de fournir une charge quotidienne de 5 902,7 Wh, ce qui entraîne une diminution de 11.80%. Ainsi, les besoins utiles se situent à 16 108.97 kWh par an, soit l'équivalent de 53.70 kWh/m<sup>2</sup> par an.

Une description détaillée de la chaîne de conversion photovoltaïque a été ensuite présentée. Nous avons décrit les systèmes photovoltaïques, leurs éléments et leurs types. L'adoption de l'efficacité énergétique, de la conception bioclimatique des bâtiments et de l'énergie solaire photovoltaïque offre des opportunités significatives pour créer un avenir durable et respectueux de l'environnement. Pour réduire le coût, il faudra instaurer des pratiques simples en appliquant des mesures pour optimiser l'investissement. Il est donc préférable d'utiliser la lumière naturelle à la place de l'éclairage artificiel (complément à la

lumière naturelle). Le taux d'économie énergétique dû à l'intégration de ce type de système montre que ce concept est plus rentable dans un logement à faible consommation. Le coût total estimé de l'installation tout entière est linéairement croissant par rapport à la charge électrique retenue par les usagers. L'ajout de 0.5 kWh à la charge d'alimentation entraîne un investissement additionnel estimé à presque 18 million de centimes, exactement entre 177 780 dinars et 178 910 dinars.

## Références bibliographiques

1. S. Rahmouni, Evaluation et amélioration énergétiques de bâtiments dans le cadre du programme national d'efficacité énergétique, Thèse de Doctorat Es Sciences en Hygiène & Sécurité Industrielle Option : Gestion des Risques, Année Universitaire : 2019-2020, Université Mostepha Ben Boulaid- Batna 2.
2. Roger Cadiergues MémoCad nB10.a, La performance énergétique. Site web : [https://media.xpair.com/auxidev/nB10a\\_Perfo.pdf](https://media.xpair.com/auxidev/nB10a_Perfo.pdf). Accessible Juin 2023
3. Roger Cadiergues MémoCad mA03.a, La performance énergétique. Site web : [https://conseils.xpair.com/auxidev/mB04a\\_Perfo.pdf](https://conseils.xpair.com/auxidev/mB04a_Perfo.pdf). Accessible Juin 2023
4. Roger Cadiergues MémoCad mB04.a, Les normes et avis techniques. Site web : [https://media.xpair.com/auxidev/mA03a\\_Norm.pdf](https://media.xpair.com/auxidev/mA03a_Norm.pdf). Accessible Juin 2023
5. Marque Acotherm, Référentiel, Révision mise en application le 1/1/2016. Site web: <https://evaluation.cstb.fr/doc/certification/reglement-acotherm.pdf>  
Accessible Juin 2023
6. Roger Cadiergues MémoCad nR02.a, Les normes, DTE, et avis techniques. Site web : <https://studylibfr.com/doc/7587193/les-lois-et-r%C3%A8glements-les-normes--dtu--et-avis> Accessible Juin 2023
7. CTB Cahiers techniques du bâtiment, Normalisation. Site web : <https://www.cahiers-techniques-batiment.fr/article/normalisation.24079>.  
Accessible Juin 2023
8. Roger Cadiergues MémoCad nR14.a, Performance et étiquettes énergétiques. Site web : [https://media.xpair.com/auxidev/nR14a\\_Etiq.pdf](https://media.xpair.com/auxidev/nR14a_Etiq.pdf). Accessible Juin 2023
9. NF EN 15026 Avril 2008 : Performance hygrothermique des composants et parois de bâtiments. Évaluation du transfert d'humidité par simulation numérique.
10. NF EN ISO 13788 Décembre 2001 : Performance hygrothermique des composants et parois de bâtiments. Température superficielle intérieure permettant d'éviter l'humidité superficielle critique et la condensation dans la masse.
11. NF EN ISO 10456 Juin 2008 : Matériaux et produits pour le bâtiment. Propriétés hygrothermiques.
12. B. Hebbal, Optimisation de la consommation énergétique d'un habitat saharien par des techniques passives, Doctorat 3<sup>ème</sup> cycle en Physique

Énergétique, Université de Kasdi Merbah d'Ouargla, Année Universitaire: 2021/2022

13. H. Raoui, A. Saidi, Amélioration de la performance énergétique d'une maison moderne dans la wilaya d'Oued Souf, Mémoire de Master Énergie Renouvelable et Habitat Bioclimatique, Université Saad Dahleb Blida 01, Année universitaire : 2019/2020.
14. Y. Derbal, N. Bessioud, Étude et évaluation du confort thermique au niveau des équipements touristiques, Mémoire de Fin d'Étude pour l'obtention du diplôme de Master II en Architecture Option "Architecture, Durabilité Architecturale", Université d'El-Oued, Année Universitaire 2017 – 2018.
15. S. Merghache, Au sujet de l'efficacité énergétique -vers des bâtiments moins énergivores, Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil option Génie Construction, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, Année universitaire 2016/ 2017.
16. Écoconso, Les maisons bioclimatiques fiche-conseil N° 156. Site web: [https://www.ecoconso.be/sites/default/files/articles/fc156\\_maison\\_bioclimatiques .pdf](https://www.ecoconso.be/sites/default/files/articles/fc156_maison_bioclimatiques.pdf)
17. Roulet Claude-Alain privatdocent Lausanne, Thermique du bâtiment, 29 Août 2000, Tout le confort avec peu d'énergie, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Institut de Technique du Bâtiment, Laboratoire d'Énergie Solaire et de Physique du Bâtiment
18. A. Behir, L'étude thermique d'un logement à haute performance énergétique (HPE), Mémoire de Projet de Fin d'Études pour l'obtention du Diplôme de Master en Installation Énergétique et Turbomachine, Université de Blida 1, Année universitaire 2018 / 2019.
19. M. A. Djerroufi, Management de l'efficacité énergétique dans le bâtiment, Mémoire pour l'obtention du Diplôme de Master en Génie Civil option Civil Engineering Management, Université Abou-Bekr Belkaid – Tlemcen, Année universitaire 2013 / 2014.
20. A. Bensaha, Exploitation d'énergies renouvelables pour la conception d'un habitat durable dans un site isolé en zone semi-aride : Cas de l'Algérie. Thèse de doctorat en Électronique, année universitaire 2020 / 2021, Département de l'Électronique, Université Amar Telidji de Laghouat.
21. H. Kadraoui, Diagnostic et solutions adaptées pour l'amélioration de l'efficacité énergétique d'une construction multizone énergivore. Doctorat en sciences spécialité : Énergies Renouvelables, année universitaire 2018 / 2019, Département de Physique, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen.



22. S. Belgherras, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, N. Benamrane, Prospective analysis of the energy efficiency in a farm studio under Saharan weather conditions, *Energy and Buildings*, 145 (2017) 342–353, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.030>.
23. H. Kadraoui, S.M.A. Bekkouche, A. Chikhaoui, Analysis of energy consumption for Algerian building in extreme North-African climates, *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management* 19, 2019, 45–58. <http://dx.doi.org/10.5278/ijsepm.2019.19.5>.
24. S. Bendara, S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, S. Belaid, M. Hamdani, M.K. Cherier, A. Boutelhig, N. Benamrane, Energy efficiency and economic insulation thickness according to the compactness measure case of a studio apartment under Saharan weather conditions, *Journal of Solar Energy Engineering, Including Wind Energy and Building Energy Conservation* 141, 2019, 1-11. <https://doi.org/10.1115/1.4042455>.
25. H. Kadraoui, S.M.A. Bekkouche, Analysis of energy consumption for residential buildings under Mediterranean climate conditions, *Journal for Studies in Management and Planning*, 04(11), 2018, 20-34.
26. S.M.A. Bekkouche, N. Benamrane, M.K. Cherier, M. Hamdani, T. Benouaz, S. Belgherras, S. Bendara, H. Kadraoui, Application of some solar passive concepts to create more energy efficient studio apartment, in *International Renewable and Sustainable Energy Conference IRSEC 2017*, Date Added to IEEE Xplore: 01 October 2018, <https://doi.org/10.1109/IRSEC.2017.8477274>.
27. S.M.A. Bekkouche, T. Benouaz, M. Hamdani, M.K. Cherier, M.R. Yaiche, N. Benamrane, Diagnosis and comprehensive quantification of energy needs for existing residential buildings under Sahara weather conditions, *Advances in Building Energy Research*, 11(1) 2017, 37-51, <https://doi.org/10.1080/17512549.2015.1119059>.
28. Document Technique Réglementaire D.T.R. C 3-2, Réglementation thermique des bâtiments d’habitation Règles de calcul des déperditions calorifiques Fascicule 1, Décembre 1997, Ministre de l’Habitat
29. LUX cahier technique, Éclairage public LIEUX DE TRAVAIL STADES, Les normes européennes de l’éclairage, LUX n° 228 – Mai / Juin 2004
30. Aurélien Pennec, Consommation d’électricité, Mis à jour le 5 novembre 2021, <https://www.lesfurets.com/energie/guide/consommation-eclairage>. Accessible Juin 2023.

31. A. Bensaha, S.M.A. Bekkouche, F. Benkouider, M.R. Yaiche, N. Benamrane, A. Abdellaoui, Concepts du solaire passif : orientation des bords vitrés et gains solaires, *Revue des Sciences et Sciences de l'Ingénieur, Journal of Science and Engineering Sciences* 7(1), 2018, 01-07.
32. M.K. Cherier, T. Benouaz, S.M.A. Bekkouche, M. Hamdani, Some solar passive concepts in habitat through natural ventilation case study: dry climate in Algeria Ghardaïa, *Case Studies in Thermal Engineering* 12, 2018, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.02.002>.
33. R. Djeflal, L. Djemoui, H. Nacer, S.M.A. Bekkouche, Z. Younsi, Estimation of real seasons in a semi-arid region, Ghardaia, case study, *International Journal of Sustainable Development and Planning*, Vol. 16, No. 6, pp. 1005-1017, <https://doi.org/10.18280/ijstdp.160602>.
34. Agence de la transition écologique, <https://www.ademe.fr/> Accessible Juin 2023.
35. International Energy Agency, Photovoltaic Power Systems Programme, Task1 : Trends in photovoltaic application in selected IEA countries between 1992 and 2000' ; <http://www.iea-PVps.org/> Accessible Juin 2023.
36. P. V. Pedersen, Cost-effective building integrated PV-systems with combined electricity and heat production; Third ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, 2000.
37. Ø Aschehoug, A. G.Hestnes, B. Matusiak, BP AmocoSolar Skin – a Double façade with PV, Third ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, 2000.
38. O. B. Jorgensen, O. J. Hendriksen, Glazed balconies and sun spaces - Energy savers or energy wasters? Third ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, 2000.
39. O. B. Jorgensen, L. T. Nielsen: Monitored results from the yellow house, Third ISES-Europe Solar Congress, Copenhagen, 2000.
40. A. Ricaud, Systèmes photovoltaïques, Polytech' Savoie, École d'ingénieurs, 5<sup>ème</sup> année, Octobre 2011.
41. S. Zairi, S. Boubiada, Étude et dimensionnement d'une centrale photovoltaïque, Mémoire de Master, Sciences et Technologies Électrotechnique Énergies Renouvelables, Université Mohamed Khider de Biskra, Année universitaire : 2019 - 2020.
42. H. Assem, Le régulateur de charge et de contrôle dans un système photovoltaïque autonome, *Bulletin des Énergies Renouvelables Numéro 31*, Centre de Développement des Énergies Renouvelables, Juin. 2014

43. Écosolaire, Les régulateurs de charge solaire : fonctions, types de régulateur, caractéristiques et guide de choix  
<https://www.ecosolaire.com/2017/10/09/regulateur-solaire/>. Accessible Juin 2023
44. Y. Touzani, Commande aléatoire du convertisseur Buck-Boost triphasé à prélèvement sinusoïdal du courant, Thèse de Doctorat en Électronique et Systèmes, Université de Clermont-Ferrand, 2006
45. M. T. Boukadoum, A. Hamidat, N. Ourabia, Le Pompage Photovoltaïque, Rev. Energ. Ren. : Zones Arides (2002) 69-73

## Résumé

La réduction de la consommation d'énergie est devenue une urgence, tant pour des raisons écologiques que pour des raisons économiques. Après une étude d'efficacité énergétique menée sur deux maisons de même plan mais de différentes classes énergétiques, un dimensionnement d'un système photovoltaïque en fonction de la taille et la capacité du système nécessaire a été entrepris pour répondre aux besoins énergétiques prévus par l'utilisateur. Le taux d'économie énergétique dû à l'intégration de ce système a montré que ce concept est plus rentable dans un logement à faible consommation. Le coût total estimé de l'installation tout entière est linéairement croissant par rapport à la charge électrique retenue par les usagers. L'ajout de 0.5 kWh à la charge d'alimentation entraîne un investissement additionnel estimé à presque 18 million de centimes, exactement entre 177 780 dinars et 178 910 dinars.

## Abstract

Reducing energy consumption has become an emergency, both for ecological and economic reasons. After an energy efficiency study conducted on two houses of the same plan but of different energy classes, a photovoltaic system has been dimensioned according to the size and capacity of the system needed to meet the energy needs. The rate of energy saving due to the photovoltaic system has shown that this concept is more cost-effective in a low consumption housing. The estimated total cost of the entire photovoltaic installation is linearly increasing in relation to the electrical load retained by users. The addition of 0.5 kWh to the power load entails an additional investment estimated at almost 18 million cents, exactly between 177 780 dinars and 178 910 dinars.

## ملخص

أصبح تقليل استهلاك الطاقة حالة طارئة، لأسباب بيئية واقتصادية. بعد دراسة كفاءة الطاقة التي تم إجراؤها على منزلين من نفس المخطط الهندسي ولكن بفئات طاقة مختلفة، تم إجراء تحجيم للنظام الكهروضوئي وفقاً لحجم وقدرة النظام الضروري لتلبية الاحتياجات من الطاقة التي يتوقعها المستخدم. وقد أظهر معدل توفير الطاقة أن هذه التقنية أكثر فعالية من حيث التكلفة في المساكن ذات الاستهلاك المنخفض. التكلفة الإجمالية المقدره للتركيب بأكمله تتزايد خطياً مع تباين الحمل الكهربائي الذي يحتفظ به المستعملون وتؤدي إضافة 0.5 كيلوواط ساعي إلى استثمار إضافي يقدر بنحو 18 مليون سنتيم، بالضبط بين 177780 ديناراً و178910 ديناراً.