

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Saâd Dahleb, Blida-1



Faculté de Technologie
Département des Énergies Renouvelables

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Option **Energies Renouvelables et Habitat Bioclimatique**

Thème :

**Etude technico-économique d'un climatiseur solaire hybride
sous les conditions climatiques de l'Algérie.**

Préparé Par :

RAHMOUNI Brahim

BOURAHLA Wail

Soutenu devant le jury composé par :

Monsieur	DJ.SEMMAR	Professeur	USDB	Président
Monsieur	A.HAMID	Professeur	USDB	Examinateur
Monsieur	M.A.DJEBIRET	Maitre de recherche « B »	UDES	Encadreur
Madame	R.OUALI	Enseignante	USDB	Co. Encadreur

04 Septembre 2020

Remerciements

En tout premier lieu, on remercie le bon Dieu, tout puissant et miséricordieux de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Mr M.A.DJEBIRET**, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant toutes les phases de la préparation de ce mémoire.*

*Notre remerciement s'adresse aussi à **Mme R.OUALI BELLATRECHE** pour son aide et sa proposition de thèse sans oublier son mari **Mr OUALI** qui a été disponible et encourageant.*

*Nous sommes conscients de l'honneur que nous a fait **Mr Dj.SEMMAR** en étant président du jury et tous ces membres d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenus de près ou de loin à la réalisation de ce modeste mémoire.

Dédicaces

*Au nom du dieu le clément et le miséricordieux louange à **ALLAH** le tout puissant.*

Je dédie ce modeste travail en signe de respect, reconnaissance et de remerciements :

A ma mère qui m'a donnée le vrai Amour et le vrai soutien moral

A mon père pour ces sacrifices pendant mes années d'étude

A mon cher frère, la source de courage ; Et à ma sœur

*A toute ma famille, qui porte le nom **RAHMOUNI***

*A mon binôme **WAIL** pour sa patience et disponibilité.*

Et à mes chers amis.

Brahim RAHMOUNI

Dédicaces

Que ce travail témoigne de mes respects : A mon cher père « Allah Yarhemou » et à ma source de vie, ma mère que dieu protège et prolonge sa vie,

Grace à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux.

A toute ma famille, mes amis et mes collègues.

A tous les gens qui m'ont apporté du café pendant que je travaillais mon mémoire.

Wail BOURAHLA

Résumé

Le secteur de l'habitat résidentiel représente 43% de l'énergie totale consommée en Algérie. Il est de ce fait une des cibles prioritaires pour l'intégration des solutions visant à infléchir la courbe de consommation électrique nationale. La combinaison de l'énergie solaire avec un système de climatisation à compression mécanique de vapeur présente l'un des principaux avantages des systèmes de climatisation solaire hybride par rapport aux autres systèmes de climatisation classiques et même solaires. Ce mémoire a pour objectif une étude technico-économique comparative de deux climatiseurs, solaire hybride et conventionnel. Ces deux appareils présentent la même capacité frigorifique 3,5KW (12000 BTU), mais pas la même puissance électrique 0,8KW et 1,09KW respectivement. L'étude est faite pour trois régions différentes dans deux climats différents de l'Algérie, à savoir Bou-Ismaïl, Biskra et Tamanrasset. Le facteur le plus important à évaluer dans cette étude est le «taux d'amortissement», qui est défini comme le temps d'utilisation (en années) nécessaire pour rembourser l'extra coût d'investissement dans le système hybride par rapport au système conventionnel.

Mots clés :

Energie solaire, climatisation à compression mécanique de vapeur, climatisation solaire hybride, capacité frigorifique, consommation d'énergies électrique et taux d'amortissement.

Abstract

The residential housing sector represents 43% of the total energy consumed in Algeria. It is therefore one of the priority targets for the integration of solutions aimed at bending the national electricity consumption curve. Combining solar energy with a mechanical vapor compression air conditioning system has one of the hybrid solar air conditioning systems main advantages over other conventional air conditioning systems and even solar ones. The objective of this thesis is a technical-economic comparative study of two air conditioners, hybrid solar and conventional. These two devices have the same cooling capacity 3.5KW (12000 BTU), but not the same electric power, which about 0.8KW and 1.09KW respectively. The study is made for three different regions in two different Algeria climates, namely Bou-Ismaïl, Biskra and Tamanrasset. The most important factor to be evaluated in this study is the "payback period", which is defined as the number of years needed to repay the extra investment cost in hybrid system compared to the conventional one.

Key Words:

Solar energy, vapor-compression cooling system, hybrid solar air conditioning, cooling capacity, electrical power and payback period

ملخص

إن قطاع السكن يستهلك 43% من الطاقة الاجمالية في الجزائر ، مما يجعله واحد من الاولويات المستهدفة في الحلول المدمجة من اجل ثني منحى استهلاك الكهرباء الوطني ، ان دمج الطاقة الشمسية مع نظام تكييف هواء بإنزغاط البخار يعطينا نظام تكييف هواء هجين بالطاقة الشمسية والذي يتميز بافضلية على حساب كلا من انظمة التكييف الكلاسيكية و الشمسية.

ان الهدف من هذه المذكرة هو مقارنة تقنية اقتصادية لمكيف هواء شمسي هجين مع مكيف هواء عادي ، علما ان كلاهما يمتلك سعة 3.5 كيلوات (12000 وحدة حرارية بريطانية). لكن ليس نفس القوة الكهربائية وهي توالي 0.8 كيلوات و 1.09 كيلوات.

تم اجراء هاته الدراسة في ثلاث مناطق مختلفة من اقليمين مناخيين في الجزائر ، ويتمثلون في مدينة بوسماعيل بولاية تيبازة ، مدينة بسكرة ومدينة تامنراست .

ان اهم عامل مدروس في هذه المذكرة هو " زمن الاسترجاع" والذي يعرف كعدد السنوات المطلوبة من اجل استرجاع التكاليف الاضافية من استعمال النظام الهجين مقارنة بالنظام العادي .

الكلمات المفتاحية :

الطاقة الشمسية, انظمة التبريد الكلاسيكية, الضغط الميكانيكي للهواء انظمة التبريد الشمسية الهجينة, طاقة تبريد. القوة الكهربائية وزمن الإسترجاع.

Sommaire

Résumé	I
Sommaire	IV
List des figures.....	VIII
List des tableaux	X
Nomenclature	XII
Introduction Générale	1
CHAPITRE I : Revue Bibliographique Sur Le Gisement Solaire et les Zones Climatique en Algérie	4
1. Gisement Solaire	5
1.1. Mouvements de la Terre	5
1.2. Position du soleil par rapport à la terre	6
a) Coordonnées équatoriales	7
b) Coordonnées horizontales	7
1.3. Les temps	8
a) Temps universel	8
b) Temps solaire local	8
c) Equation du temps	8
d) Temps solaire vrai	9
1.4. Durée d'insolation et Irradiation	9
1.5. Fraction solaire et Albédo	9
1.6. Rayonnement global	10
1.7. Le masque solaire	10
2. Potentiel solaire et zones climatiques en Algérie	10
2.1. Profils types d'irradiations dans l'Algérie	12
2.2. Classification des zones climatiques de l'Algérie	16
• Zones et sous zone climatiques au Nord	16
• Zones climatique au Sud	16
2.3. Classification des zones climatiques de l'Algérie par le « CNERIB »	19
• Carte des sous zones climatiques d'hiver de l'Algérie	20
• Carte des zones climatiques d'été de l'Algérie	20

2.4. Zones climatiques considérées par le DTR	22
3. Conclusion	23
CHAPITRE II : Etat de L'art et Analyse de la Climatisation Solaire	24
1. Enjeux énergétiques et environnementaux	25
2. La climatisation dans le secteur du bâtiment	28
2.1. Confort thermique intérieur	28
2.2. Demande en climatisation des bâtiments	31
2.3. Principe de conservation de l'énergie	33
• Dispositif d'ombrage	33
• Les flux de chaleurs	34
• La ventilation nocturne	34
• Puits canadiens	35
2.4. Climatisation mécanique	35
3. La climatisation solaire	37
3.1. Systèmes de climatisation solaire	39
3.1.1. Processus électrique (modules photovoltaïques)	39
a) Système a compression de vapeur	39
b) Système Thermoélectrique (Effet Peltier)	40
c) Système à moteur Stirling	41
3.1.2. Processus thermique	42
a) Principe de climatisation solaire par sorption	43
• Systèmes fermés	43
• Système ouvert	47
3.2. Le coefficient de performance (COP)	50
3.3. Le coefficient de performance idéal (COP idéal)	51
4. Capteurs solaires	52
4.1. Capteurs solaires photovoltaïques	52
4.2. Capteurs solaires thermiques	52
4.2.1. Capteurs solaires à air	52
4.2.2. Capteurs plans vitrés et non vitrés	53
4.2.3. Capteurs sous vide	54
4.2.4. Capteurs à concentration	55
4.3. Rendement des capteurs stationnaires	56

4.4. Production d'énergie brute des capteurs	57
5. Conclusion	59
CHAPITRE III : Evaluation De L'efficacité Energétique Et de Durabilité De	60
La Maison Solaire.	
1. Description du système d'évaluation	61
2. Données générales du bâtiment de l'étude	62
2.1. Description du bâtiment	62
2.2. Structure et détails des composants de l'enveloppe	63
3. Ensemble des critères d'évaluation appliqués	65
3.1. Critère #01: Compacité du bâtiment	65
3.2. Critère # 2 : Apports à travers les parois vitrées	66
3.3. Critère #3 : Apports à travers les parois opaques	68
3.4. Critère #4 : Protection thermique en été	69
3.5. Critère #5 : Besoins en énergie en hiver	70
3.6. Critère#6 : Apports en énergie en été	74
3.7. Critère #7: Emission de CO2	78
3.8. Critère#8: Utilisation des énergies renouvelables	80
3.9. Critère#9 : Puissance électrique	82
3.10. Critère#10 : Économie	83
3.11. Critère#11 : Spécifications des éléments du bâtiment	85
3.12. Critère#12 : Spécifications des équipements techniques	85
3.13. Critère#13 : Le confort (température et lumière du jour)	87
3.14. Critère#14 : Innovation	92
4. Grille de notation détaillée	92
5. Discussions des résultats	96
6. Conclusion	98
7. Annexes	99
CHAPITRE IV : Etude Technico-Economique D'un Climatiseur Solaire	104
Hybride	
1. Climatiseur Solaire Hybride	106

1.1. Le sous système solaire	106
1.2. Performances des cycles thermodynamiques	107
1.3. Coefficients des performances (COP)	107
1.3.1. COP théoriques	107
1.3.2. COP réels	108
2. Étude comparative entre deux climatiseurs	108
2.1. Conditions climatiques de Bou-Ismaïl	108
2.2. Etude expérimentale	109
2.2.1. Climatiseur classique	109
a) Comportement thermique de la maison	110
b) Comportement énergétique	112
2.2.2. Climatiseur solaire hybride	112
a) Comportement thermique	112
b) Comportement énergétique	114
3. Etude économique et environnementale	115
3.1. Evaluation des performances.	115
3.2. Etude économique	118
3.2.1. Consommation électrique des deux climatiseurs	118
3.2.2. Taux d'amortissement	120
3.3. Etude environnementale	122
4. Conclusion	124
Conclusion général	125
Bibliographie	127

Liste des figures :

Chapitre I :

Figure 1.1.	Mouvements de la Terre autour du Soleil	6
Figure 1.2.	Coordonnées terrestres	7
Figure 1.3.	Coordonnées solaire selon le repère horizontal	8
Figure 1.4.	Rayonnement Global G	10
Figure 1.5.	Ensoleillement global annuel mondial KWh/m ² /an	11
Figure 1.6.	Ensoleillement global annuel dans l'Algérie KWh/m ² /an	12
Figure 1.7.	Profils moyennes de l'irradiation normale directe par heure	14
Figure 1.8.	Azimut et la hauteur de soleil	15
Figure 1.9.	Carte des zones climatiques de l'Algérie	17
Figure 1.10	Carte des zones climatique d'hiver de l'Algérie	21
Figure 1.11	Carte des zones climatique d'été de l'Algérie	21

Chapitre II :

Figure 2.1.	Evaluation sectorielle de la consommation énergétique en Algérie	25
Figure 2.2.	Consommation nationale par forme d'énergie	26
Figure 2.3.	Tendances des consommations d'énergie en Algérie	27
Figure 2.4.	Emissions par secteur en Millions de Teq CO ₂	27
Figure 2.5.	Confort intérieur d'un bâtiment peut être atteint en remplissant les 4 conditions	28
Figure 2.6.	Mécanismes de transfert de chaleur et les flux de chaleurs émis par l'humain	28
Figure 2.7.	Les 6 paramètres physiques qui définit le confort thermique	29
Figure 2.8.	Corrélation entre les valeurs de PMV et PPD	30
Figure 2.9.	Principe de conservation de l'énergie dans le bâtiment	33
Figure 2.10.	Profils de températures de la maison	34
Figure 2.11.	Système à évaporation à gauche, à droite la température de l'air en fonction du nombre d'heures de fonctionnement	35
Figure 2.12.	Schéma de fonctionnement d'un climatiseur	36
Figure 2.13.	Systèmes de climatisation mécaniques individuels	37
Figure 2.14.	Adéquation entre demande et ressource solaire	38
Figure 2.15.	Schéma des différentes technologies de production de froid à partir de l'énergie solaire	39
Figure 2.16.	Schéma d'une machine à compression de vapeur alimenté par un module photovoltaïque.	40
Figure 2.17.	Schéma de principe d'un climatiseur thermoélectrique (peltier).	41
Figure 2.18.	Schéma de principe d'un climatiseur STIRLING	42
Figure 2.19.	Schéma général d'un système de production de froid solaire thermique	43
Figure 2.20.	Schéma d'un groupe à absorption	44
Figure 2.21.	Ordre de grandeur de puissance des machines à absorption	45
Figure 2.22.	Schéma d'un groupe à adsorption	46
Figure 2.23.	Ordre de grandeur de puissance des machines à adsorption. Ces produits sont disponibles sur le marché, que ce soit en petites séries ou sur demande	47
Figure 2.24.	(a) Schéma de système à dessiccation solide avec capteurs solaires (DEC solide), (b) Coupe longitudinale d'une machine frigorifique a roue dessinatrice	49
Figure 2.25.	Schéma Général d'un système de refroidissement à dessiccation liquide	50
Figure 2.26.	Représentent les coefficients de performance COP pour différentes machines à sorption ainsi que la courbe maximum pour un processus idéal	51
Figure 2.27.	Schéma de principe d'une photopile	52
Figure 2.28.	Schéma de principe d'un capteur à air fixé à un mur (mur Trombe)	53
Figure 2.29.	Schéma de principe d'un capteur plan vitré	54

Figure 2.30.	Schéma de principe d'un capteur sous vide	55
Figure 2.31.	Exemples de capteurs à concentration et à système de suivi du soleil à un axe (tracking)	56
Figure 2.32.	Courbes de rendement des capteurs stationnaires	56
Figure 2.33.	Exemples d'installations de capteurs stationnaires utilisés pour la climatisation solaire	57
Figure 2.34.	Production d'énergie brute des capteurs solaires en fonction de leur température de sortie	58
Figure 2.35.	Définitions des surfaces de référence (à multiplier par la longueur du capteur bien entendu)	58

Chapitre III :

Figure 3.1.	Plan 3D de la maison solaire UDES	62
Figure 3.2.	Plan de la maison solaire UDES	63
Figure 3.3.	Profil de température de l'intérieur vers l'extérieur	88
Figure 3.4.	Profil de température de l'intérieur vers l'extérieur des murs	89

Chapitre IV :

Figure 4.1.	Le climatiseur solaire hybride	106
Figure 4.2.	Schéma explicatif du climatiseur solaire hybride.....	106
Figure 4.3.	A gauche Diagramme entropique. A droite d'enthalpie du climatiseur hybride en gris.....	107
Figure 4.4.	Profils de température ambiante	109
Figure 4.5.	Profils de température des deux pièces durant 24 heures	110
Figure 4.6.	Profils des températures dans la maison durant le jour	111
Figure 4.7.	Profils des températures dans la maison durant nuit.	111
Figure 4.8.	Evaluation de la consommation électrique du climatiseur classique. ...	112
Figure 4.9.	Profils de températures dans la maison durant les 24 heures.....	113
Figure 4.10.	Profils de températures de la maison durant le jour /climatiseur hybride.....	113
Figure 4.11.	Profils de températures dans la maison durant la nuit	114
Figure 4.12.	Evaluation de la consommation électrique du climatiseur hybride.	115
Figure 4.13.	Profils des températures pour la région de Bou-Ismaïl.....	116
Figure 4.14.	Profils des températures pour la région de Biskra.....	116
Figure 4.15.	Profils des températures pour la région de Tamanrasset	116
Figure 4.16.	Comparaison entre les besoins de climatisation et la consommation électrique maximale pour les deux climatiseurs -Bou-Ismaïl.....	117
Figure 4.17.	Comparaison entre les besoins de climatisation et la consommation électrique maximale pour les deux climatiseurs -Biskra.	118
Figure 4.18.	Comparaison entre les besoins de climatisation et la consommation électrique maximale pour les deux climatiseurs-Tamanrasset.	118
Figure 4.19.	Le temps d'amortissement pour les l'extra frais de climatiseur pour chaque région.	121
Figure 4.20.	Conservation de dioxyde de Carbone par le climatiseur hybride pour chaque région.	123

Liste des tableaux :**Chapitre I :**

Tableau 1.1.	Site de Bou Ismail (Tipaza)	13
Tableau 1.2.	Site de Biskra	13
Tableau 1.3.	Site de Tamanrasset	13
Tableau 1.4.	Données pour l'hiver	18
Tableau 1.5.	Données pour l'été	19
Tableau 1.6.	Zones climatiques d'hiver en Algérie (Janvier)	22
Tableau 1.7.	Zones climatiques d'été en Algérie (Juillet)	22

Chapitre II:

Tableau 2.1.	Echelle de quantification du confort thermique.....	29
Tableau 2.2.	Besoins spécifiques en climatisation et en énergie pour des bâtiments tertiaires et commerciaux	32
Tableau 2.3.	Avantages et inconvénients potentiels.....	37
Tableau 2.4.	Caractéristiques des machines frigorifiques photovoltaïques.....	40
Tableau 2.5.	Caractéristiques d'une machine frigorifique à Effet Peltier.....	41
Tableau 2.6	Caractéristiques d'une machine frigorifique à moteur STIRLING.....	42

Chapitre III:

Tableau 3.1.	Eléments d'enveloppe de la maison	62
Tableau 3.2.	Caractéristiques du bâtiment	64
Tableau 3.3.	Caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment	64
Tableau 3.4.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur C (critère #1)	66
Tableau 3.5.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère #2)	67
Tableau 3.6.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur II (critère #2)	67
Tableau 3.7.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère #3)	68
Tableau 3.8.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère #3)	69
Tableau 3.9.	Evaluation du critère#4	70
Tableau 3.10.	Evaluation du critère#5	71
Tableau 3.11.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère#5)	71
Tableau 3.12.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur II (critère#5)	72
Tableau 3.13.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur III (critère#5)	72
Tableau 3.14.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur IV (critère#5)	74
Tableau 3.15.	Evaluation du critère#6	74
Tableau 3.16.	Apports à travers les parties opaques (critère #6)	75
Tableau 3.17.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère #6)	75
Tableau 3.18.	Apports à travers les parois vitrées (critère #6)	76
Tableau 3.19.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur II (critère #6)	76
Tableau 3.20.	Apports à travers les parois opaques et vitrées (critère #6)	77
Tableau 3.21.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur III (critère #6)	78
Tableau 3.22.	Evaluation de l'indicateur I (critère#7)	79
Tableau 3.23.	Evaluation du critère#7	79
Tableau 3.24.	Pourcentage en énergie utilisée selon le combustible utilisé	79
Tableau 3.25.	Mass CO2 (Kg CO2/an)	79
Tableau 3.26.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère#7)	80
Tableau 3.27.	Evaluation de l'indicateur I (critère#8)	80
Tableau 3.28.	Evaluation du critère#8	80

Tableau 3.29.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur (critère#8)	81
Tableau 3.30.	Evaluation de l'indicateur (critère#9)	82
Tableau 3.31.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère#9)	82
Tableau 3.32.	Evaluation de l'indicateur I (Critère#10)	83
Tableau 3.33.	Evaluation du critère#10	84
Tableau 3.34.	Pourcentage en énergie utilisée selon le combustible (critère#10)	84
Tableau 3.35.	Evaluation du cout (DZD/an) (critère#10)	85
Tableau 3.36.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère#10)	85
Tableau 3.37.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère#12)	86
Tableau 3.38.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur II (critère#12)	86
Tableau 3.39.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur III (critère#12)	87
Tableau 3.40.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur IV (critère#12)	87
Tableau 3.41.	Evaluation du critère de confort (critère#13)	87
Tableau 3.42.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère#13)	88
Tableau 3.43.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur II (critère#13)	89
Tableau 3.44.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur III (critère#13)	90
Tableau 3.45.	Détails de calcul des CLP des pièces de la maison	91
Tableau 3.46.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur IV (critère#13)	91
Tableau 3.47.	CLP des pièces de la maison	91
Tableau 3.48.	Echelle de l'évaluation de l'indicateur (critère#14)	92
Tableau 3.49.	Grille de notation détaillée	93

Chapitre IV:

Tableau 4.1.	Coefficients de performances théoriques de chaque climatiseur	108
Tableau 4.2.	Evolutions des temperature et de la consommation électrique climatiseur conventionnel	109
Tableau 4.3.	Evolution des températures et de la consommation durant les 24h	112
Tableau 4.4.	Calculs économiques pour les deux climatiseurs dans les trois régions.....	119
Tableau 4.5.	Estimation de la consommation électrique mensuelle pour chaque climatiseur	120

Annexes :

Annexe 1.	Caractéristiques techniques des fenêtres	99
Annexe 2.	Caractéristiques techniques des fenêtres	99
Annexe 3.	Caractères techniques des murs (critère #3)	100
Annexe 4.	Caractères techniques toiture (critère #3)	100
Annexe 5.	Facteur solaire des vitrages spéciaux en simple épaisseur [DTR 3-2]	100
Annexe 6.	Caractères techniques de vitrage nord	100
Annexe 7.	Synthèse des échanges thermiques en hiver	101
Annexe 8.	Renouveau et infiltration d'air en hiver (critère#5)	101
Annexe 9.	Puissance de chauffage (critère#5)	101
Annexe 10.	Synthèse des échanges thermiques en été (critère #6)	101
Annexe 11.	Données techniques des portes (critère #6)	101
Annexe 12.	Apports à travers les parois vitrées (critère #6)	102
Annexe 13.	Synthèse des échanges thermiques en été (critère #6)	102
Annexe 14.	Renouveau et infiltration d'air en été (critère #6)	102
Annexe 15.	Puissance de climatisation (critère #6)	102
Annexe 16.	Récapitulatifs de données des appareils électriques (critère #9)	102
Annexe 17.	description des types d'énergie a consommé (critère #10)	103

Nomenclatures

Chapitre I

φ	Latitude	Degré °
λ	Longitude	Degré °
L	L'altitude	Degré °
δ	Angle d'inclinaison	Degré °
ω	Angle horaire	Heures
h	Angle de la hauteur solaire	Degré °
A	Azimut	Degré °
TU	Temps universel	Heures
TSL	Temps solaire local	Heures
Et	Equation de temps	Heures
TSV	Temps solaire vrai	Heures
Σ	Fraction d'insolation	Sans
S	la durée d'insolation mesurée	Heures
S₀	la durée maximale d'insolation	Heures
I	Rayonnement solaire direct	Wh/m ²
D	Rayonnement solaire diffuse	Wh/m ²
	L'albédo	Wh/m ²
G	Rayonnement solaire global	Wh/m ²
T_{moy}	Température moyenne	°C
T max moy	Température moyenne maximale	°C
T min moy	Température moyenne minimale	°C
T max abs	Température absolue maximale	°C
T min abs	Température absolue minimale	°C
T esb	Température extérieur sèche de base	°C
T eff max	Température effectif moyenne maximale	°C
moy		
vent	La vitesse du vent dominante	m/s
T	Température	°C

Chapitre II

TEP	Tonne équivalent pétrole	TEP
PMV	Le vote moyen prévisible	-3 à +3
PPD	Le pourcentage prévisible d'insatisfaits	%
t	Transmittance solaire	
g	transmittance total	
Sf	facteur d'ombre des objets faisant de l'ombre	
COP el	Coefficient de performance électrique	Sans
W/l	puissance consommé pour produire 1 watt de froid	W
T_M	Température eau glacée	°C
T_f	Température extérieure	°C
Q h	Source de Chaleur	KW
Q m	Chaleur rejeté	KW
W	Travail	Kj/kg
Q_{froid}	Source froide	KW
Q_{chaud}	Source chaude	KW
COP_{réel}	Coefficient de performance réel	Sans

COP_{idéal}	Coefficient de performance idéal	Sans
EPQ	Le coefficient de qualité de processus	Sans
Chapitre III		
Q	débit d'air réglementaire	m ³ /h
V_h	Volume habitable	m ³
A	Surface des parois	m ²
K hiver/été	Coefficient de transmission thermique des parois	W/m ² . °C
λ	Conductibilité thermique du matériau	W/m.°C
R	Résistance thermique des parois	m ² . °C/W
FS	Facteur solaire de la vitre	Sans
C	Compacité thermique du bâtiment	m ⁻¹
AVT	Apports dus au gradient de température	W
AVT_{réf}	Apports de référence dus au gradient de température.	W
AVE	Apports dus à l'ensoleillement	W
AVE_{réf}	Apports de référence dus à l'ensoleillement	W
APO_{mur}	Apports de chaleur à travers les murs	W
Aréf, PV	Apports de chaleur à travers les murs de référence	W
CLP	Check List point	Sans
TBV	Taux de baies vitrés	%
FS	Facteur solaire des vitres	sans
FSombrage1	Facteur solaire des vitres ombré	sans
DJ_{hiver}	Degré de jour unifié pour l'hiver	°C.Jour
T_{seuil}	Température de seuil pour déterminer le DJ hiver	°C
T_{moyen}	Température moyenne pour déterminer le DJ hiver	°C
DT	Déperditions thermique par transmission	W/°C
DR	Déperditions thermiques par renouvellement d'air	W/°C
D_{réf}	Déperditions par transmission de référence	W/°C
Q	Puissance de chauffage fournie par une chaufferie	W
Q_{réf}	Puissance de chauffage fournie par une chaufferie de référence	W
T_{be}	Température sèche extérieur de base	°C
Cr	Ratio estimé de pertes calorifique dues aux réseaux de tuyauterie éventuel	Sans
Cin	Coefficient de surpuissance	Sans
E_{Ch}	Besoins en énergie en hiver	kWh/a
E_{Ch} réf	Besoins en énergie en hiver de référence	kWh/a
AV	Apports thermiques à travers les parois Vitrées	W

$A_{\text{réf PVI}}$	Apports thermiques à travers les parois Vitrées de référence	W
APO	Apports thermiques à travers les parois opaques	W
$A_{\text{réf, PV}}$	Apports thermiques de références pour les parois verticales	W
$A_{\text{réf PH}}$	Apports thermiques de références pour les parois horizontales	W
A_{air}	Apports thermiques dus à l'introduction d'air	W
A_{interne}	Apports thermiques dus aux charges internes	W
DJ _{chaleur}	Degré de jour unifié en été	°C.Jour
E_{clim}	Besoins en énergie pour le refroidissement en été	kWh/a
DJ _{chaleur} réf	Degré de jour unifié en été de référence	°C.Jour
$A_{\text{réf total}}$	Apports thermiques total	W
$A_{\text{réf total}}$	Apports thermiques total de référence	W
E clim réf	Besoins en énergie pour le refroidissement en été de référence	kWh/a
$F_{\text{ref, hiver}}$	Facteur de référence des émissions de CO ₂ en hiver	g/kWh
$F_{\text{ref, été}}$	Facteur de référence des émissions de CO ₂ en été	g/kWh
M_{co2}	Masse de CO ₂ émis	Kg CO ₂ /an
M réf co2	Masse de CO ₂ de référence	Kg CO ₂ /an
R	Ratio des puissances	%
Pdép	Puissance des déperditions en hiver	W
Ydép	Puissance de chauffage assurée par le réseau électrique	%
Papp	Puissance d'apports en été	W
Yapp	Puissance de refroidissement assurée par le réseau électrique	%
Pécl	Puissance de l'éclairage artificiel	W
Yécl	Puissance de l'éclairage artificiel assurée par le réseau électrique	%
P_{ecs}	Puissances des équipements des d'eau chaude sanitaire	W
Ppv	la puissance photovoltaïque crête.	W crête
P autres	autre puissance (éolienne, biomasse, ...).	W
Tex	Température extérieure	°C
Tin	Température intérieure	°C
η	Rendement de chauffe-eau solaire	Sans
S	Surface utile de chauffe-eau solaire	m ²
Φ	Le flux lumineux de base pris égal à 1000	W/m ²
C	Coût des besoins énergétiques annuels pour le chauffage et du refroidissement	DZD/a
$C_{\text{réf}}$	Coût des besoins énergétiques annuels de référence	DZD/a
Ei	Besoin énergétique annuel, pour le chauffage ou le refroidissement, couvert par la source d'énergie « i ».	kWh/an

I_i	Coût correspondant au kWh du combustible ou électrique ayant Servi à la production de l'énergie E _i	DZD/kWh
I_{réf hiver}	Coût du kWh produit par le gaz naturel qui est pris comme Combustible de référence en hiver	DZD/kWh
COP_{moy}	Moyenne calculée des COP des différents appareils de Refroidissement	Sans
COPI	Coefficient de performance de l'équipement	Sans
P_i	Puissance thermique d'équipement	W
TS_i	Température de surface des parois	C°
U_g	Facteur de transmission des vitrages	W/°C m ²
τ	Facteur de transmission corrigé du vitrage sale	W/°C m ²
S_f	Surface de la fenêtre	m ²
N pondéré	Note du critère d'évaluation pondéré	Sans
N total	Note total pondéré d'évaluation de la maison	Sans
Chapitre IV		
COP réel	Coefficient de performance du la machine réel	Sans
H1, H2....	Enthalpie pour chaque point du cycle thermodynamique	KWh
E	Energie électrique affiché par le compteur	KWh
ΔE	Energie électrique consommé pour une durée de fonctionnement définit	KWh
T_{m1}	Température moyenne à l'intérieur du séjour	°C
T_{m2}	Température moyenne à l'intérieur de la chambre	°C
E el	Energie électrique consommé un climatiseur pendant un jour	KWh/jour
PBP	« <i>Pay back period</i> » taux d'amortissement du climatiseur	Années
P el	Consommation du compresseur pendant 1 heure de travail	W
C_{max}	Consommation électrique maximale pour chaque climatiseur	KWh
N_j	Nombre de jour de fonctionnement du climatiseur	jours
C hybride	Cout global du climatiseur hybride	DZD
C classique	Couts global du climatiseur classique	DZD
E s	Quantité d'énergie conservée par l'utilisation du climatiseur hybride	KWh/an
C elec	Le prix unitaire d'un 01 KWh d'électricité en Algérie=4.17	DZD/KWh
C	le facteur d'émissions pour l'Algérie C=0.68	kg CO ₂ /kWh.
M_{CO2}	Masse de CO2 réduite	KgCO ₂ /an

Introduction

Générale

Introduction général

De nos jours, Il apparaît de plus en plus évident que l'avenir énergétique du monde doit impérativement s'inscrire en rupture nette avec les orientations et les modes de production et de consommation énergétiques du passé. Cet impératif découle autant de la nécessité de parvenir à une forme de sécurité énergétique que de l'urgence qu'il y a à maîtriser les pollutions locales dues à l'utilisation de divers combustibles mais aussi, bien entendu, le problème grandissant des changements climatiques, qui exigent que l'on réduise les émissions de gaz à effet de serre (GES) et tout particulièrement de dioxyde de carbone.

Aujourd'hui, Il est universellement admis que l'adoption de nouvelles technologies utilisant les énergies renouvelable c'est un recours bien plus important à des techniques conventionnelles. Ces technologies offrent des perspectives très prometteuses en matière de réduction de ces émissions.

Selon l'agence nationale pour la promotion et rationalisation de la consommation d'énergie (APRUE), le secteur du bâtiment est le plus énergivore en Algérie, où il représente environ 43% de la consommation d'énergie final. Une grande partie de cette même énergie est mené par l'introduction des machines de refroidissement classique en été qui consomment des grandes quantités d'énergie électrique.

En été l'utilisation intensifs des climatiseurs cause des pics de consommation dans le réseau électrique ce qui engendre des ruptures de tension assez répétitifs. La demande de climatisation souvent coïncide avec un potentiel d'énergie solaire maximal ce qui favorise l'adoption des nouvelles technologies dans la production de froid basé sur l'altérative solaire sous le nom de « la climatisation solaire ».

La climatisation solaire est une technologie purement écologique, dont le principe est d'utiliser l'énergie solaire afin de rafraichir un local de manière totalement naturelle. Les systèmes de climatisation utilisant les énergies renouvelables notamment l'énergie solaire ont connu un développement important. Cette croissance est due, en grande partie, à la succession des périodes de canicule ainsi qu'à la forte demande de rafraichissement en été notamment dans les lieux de travail et de plus en plus dans les secteurs résidentiels et tertiaires.

Notre projet de fin d'étude porte sur « une étude technico-économique d'un climatiseur solaire hybride sous les conditions climatique de l'Algérie ». A cet effet, le mémoire est structuré comme suit :

Chapitre I : Une revue bibliographique sur le gisement solaire et les zones climatique de l'Algérie est faite pour définir les conditions météorologiques des trois régions (Bou-Ismaïl, Biskra et Tamanrasset) choisis pour la réalisation du quatrième chapitre.

Chapitre II : Comporte une analyse générale de la climatisation dans le secteur du bâtiment et une présentation de la variété des technologies applicables à la climatisation solaire ainsi qu'un état de l'Art des capteurs solaire thermiques/photovoltaïques utilisés dans ces applications.

Chapitre III : Concerne l'évaluation énergétique et de durabilité de la maison solaire construite au sein de l'unité de développement des équipements solaires (UDES) à Bou-Ismaïl, équipée de deux climatiseurs (classique et solaire hybride).

Chapitre IV: Consacré à une étude technico-économique d'un climatiseur solaire hybride sous les conditions climatique des trois régions précédemment citées, l'objectif de cette étude est d'évalué les performances techniques et économiques ainsi qu'environnementales de ce climatiseur comparé à un climatiseur conventionnelle d'une même capacité frigorifique.

Enfin, on terminera notre mémoire par une conclusion générale et des perspectives.

CHAPITRE I :

Revue bibliographique sur le gisement solaire et les zones climatiques en Algérie

CHAPITRE I : Revue Bibliographique Sur Le Gisement Solaire et les Zones Climatique en Algérie

1. Gisement Solaire

L'Algérie, vue sa situation géographique favorise le développement et l'épanouissement de l'utilisation de l'énergie solaire. En effet, vu l'importance de l'intensité du rayonnement reçu ainsi que la durée de l'ensoleillement qui dépasse les dix heures par jour pendant plusieurs mois, notre pays peut couvrir certains de ses besoins en énergie solaire, ces avantages pourraient être profitables dans les régions les plus reculées surtout dans les applications de la climatisation où la consommation de l'énergie électrique est très importante. Par conséquent dans ce qui suit de ce chapitre, on présente une introduction aux notions du gisement solaire en tenant compte ces deux aspects géométriques et énergétiques, le potentiel gigantesque que l'Algérie possède en énergie solaire, ainsi qu'une analyse générale des zones climatiques, afin de donner des profils types pour mettre en lumière cette richesse abordable.

1.1. Mouvements de la Terre

La trajectoire de la Terre autour du Soleil est une ellipse dont le Soleil est l'un des foyers (**Figure.1.1**). Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique, et son excentricité est faible ce qui fait que la distance Terre/Soleil ne varie que de $\pm 1,7\%$ par rapport à la distance moyenne qui est de 149 675.106 km. La Terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Ce dernier, passant par le centre de la Terre est perpendiculaire à un plan appelé l'équateur, or il n'est pas perpendiculaire à l'écliptique. L'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé inclinaison qui vaut $23^{\circ}27'$ [1].

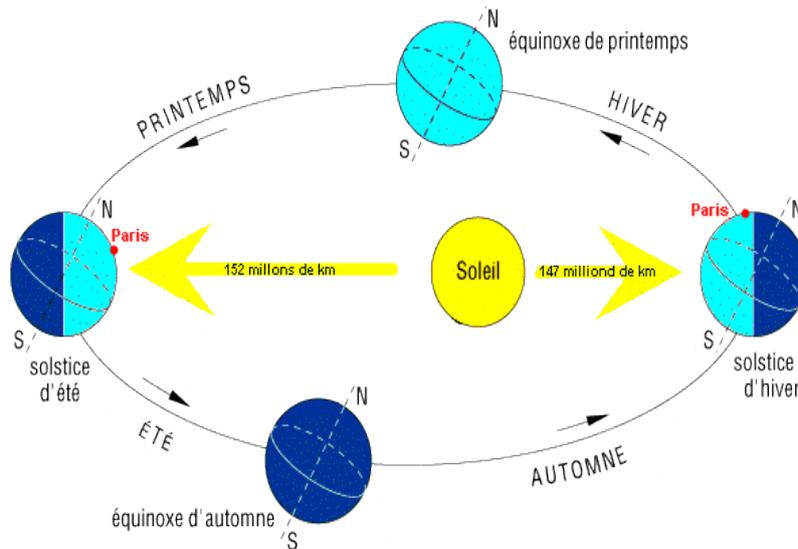


Figure 1.1 : Mouvements de la Terre autour du Soleil [2]

1.2. Position du soleil par rapport à la terre

Il est possible de déterminer la position du soleil dans la voûte céleste en fonction du temps et de la position de l'observateur sur terre. Dans ce contexte, le repérage d'un site donné sur la surface terrestre est défini par ces coordonnées géographiques [3] (**Figure 1. 2**) :

- **Latitude φ** : est l'angle du plan de l'équateur avec la verticale du lieu, positivement vers le pôle Nord, et négativement vers le pôle Sud.
- **Longitude λ** : est l'angle formé par la méridienne origine avec le méridien du lieu. La méridienne origine est le méridien passant par l'observatoire de Greenwich. λ est comptée positivement vers l'Est en grades, degrés ou en heures.
- **L'altitude** : est l'élévation verticale, hauteur (d'un point) par rapport au niveau moyen de la mer.

La trajectoire apparente du soleil dans la voûte céleste est repérée à tout instant de la journée par deux systèmes de coordonnées *équatoriales* et *horizontales*.

a) **Coordonnées équatoriales** : Les coordonnées équatoriales sont indépendantes de la position de l'observateur sur la terre, mais elles sont liées à l'heure de l'observation. La position du soleil est exprimée par deux angles qui sont :

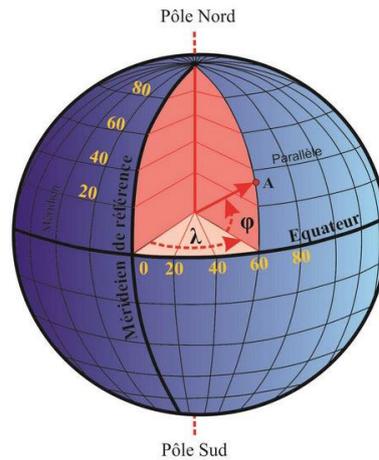


Figure 1.2. Coordonnées terrestres [4]

- **Angle de déclinaison δ** : elle correspond à l'angle que forme la direction Terre-Soleil par rapport au plan de l'équateur terrestre (Equation.1). La déclinaison atteint un maximum au solstice d'été vers le 21 juin et un minimum au solstice d'hiver vers le 21 décembre. Cooper (1969) [5]

$$\delta = 23.45 * \sin\left(\frac{360 * (J + 284)}{365}\right) \quad (1)$$

- **Angle horaire ω (ah)**: deuxième coordonnée équatoriale du Soleil, défini comme l'angle entre la position actuelle du plan méridien local et la position de ce même méridien à midi vrai. Il est compté positif vers l'Est (**Equation.2**)

$$\omega = 15(TSV - 12) \quad (2)$$

TSV : Heure solaire vraie diffère de l'heure donnée par nos montres.

b) Coordonnées horizontales

En coordonnées horizontales (Figure 1.3) le soleil est repéré par les grandeurs suivantes:

- **Angle de la hauteur solaire h** : la hauteur angulaire du soleil sur l'horizon est déterminée selon la formule générale de l'orientation des rayons solaire directs par rapport à une surface quelconque (**Equation.3**). Il est appelé aussi angle zénithal (ZSA) et souvent noté θ .

$$\sin h = (\sin \delta * \sin \lambda) + (\cos \delta * \cos \lambda * \cos \omega) \quad (3)$$

• **Azimet α :** Il est défini comme l'angle entre le méridien local et la projection au sol de la droite issue du point d'observation passant par le centre du Soleil et il est compté positivement vers l'Est (**Equation.4**).

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta * \sin \omega}{\cos h} \quad (4)$$

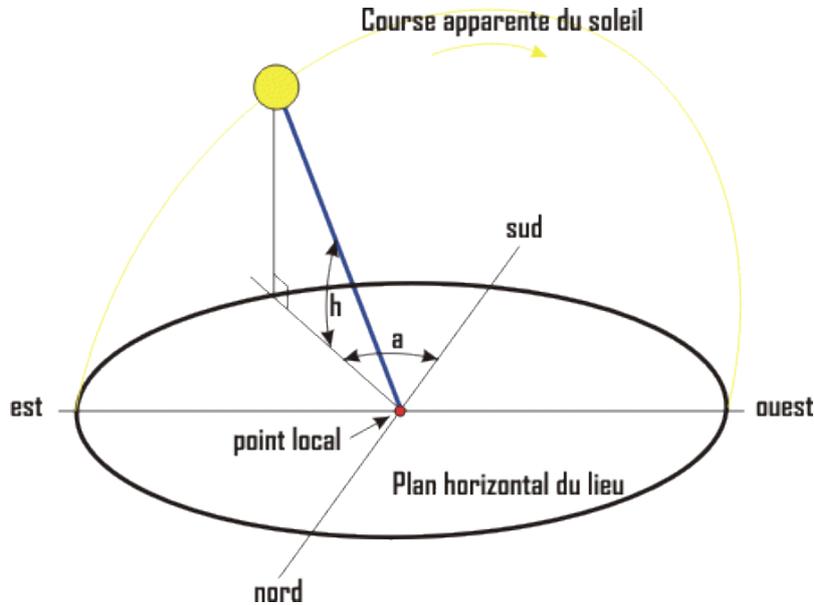


Figure 1.3. Coordonnées solaire selon le repère horizontal [6].

1.3. Les temps

a) **Temps universel :** le temps universel (TU) est défini par l'heure de passage du soleil à la méridienne origine [7].

b) **Temps solaire local :** la différence entre temps solaire local et temps universel est appelée correction de longitude. (**Equation.5**) [7].

$$TSL = TU + \frac{\lambda}{15} \quad (5)$$

c) **Equation du temps :**

L'expérience montre que les passages du soleil dans le plan méridien d'un lieu donné ne se succèdent pas avec exactement 24h d'intervalle, et le midi vrai peut atteindre une avance de 16mn ou un retard de 14mn par rapport à 12h. Selon la saison de l'année, cet écart **Et** entre temps solaire local (TSL) et temps solaire vrai (TSV) est désigné sous le terme d'équation du temps (**Equation.6**) [7].

$$E_t = (0.000075 + A - B - C) * (229.18) \quad (6)$$

Avec :

$$A=0.001868 \cos(\mathbf{D}), B=0.032077 \sin (0.014615.\mathbf{D}*\cos 2\mathbf{D}) \text{ et } C=0.04089*\sin (2\mathbf{D})$$

Telle que \mathbf{D} égale à [8] :

$$D = \frac{2\pi(j - 81)}{365} \quad (7)$$

d) Temps solaire vrai : c'est le temps solaire local corrigé de l'équation du temps (**Equation.8**), c'est une donnée astronomique universelle liée à l'excentricité de l'orbite de la terre autour du soleil [7] :

$$TSV= TSL + Et \quad (8)$$

1.4. Durée d'insolation et Irradiation

Les durées d'insolation sont mesurées avec des héliographes (boule de verre concentrant le rayonnement direct sur un ruban de papier sensible) dont le seuil est de 120 W/m². Il ne faut pas confondre la durée d'insolation et le nombre d'heures équivalent plein soleil, qui représente la dérivée de l'irradiation globale annuelle mesurée dans le plan horizontal. Les résultats de mesures d'éclairement intégrées dans le temps sont en général présentés sous forme de tableaux mensuels de relevés journaliers exprimés en kWh/m² [9].

1.5. Fraction solaire et Albédo

C'est le paramètre représentatif des conditions de nébulosité du ciel. La nébulosité est le rapport entre la surface du ciel couverte par les nuages et la surface totale du ciel au-dessus du territoire correspondant. Cette notion n'étant que descriptive, on la relie à la fraction d'insolation qui est une grandeur mesurable dès qu'on connaît les durées d'insolation enregistrées par l'héliographe et qui s'en déduit par le rapport $\sigma = S/S_0$ avec S est la durée d'insolation mesurée et S_0 représente la durée maximale d'insolation. Cependant, l'albédo est la fraction d'un rayonnement incident diffusée ou réfléchi par un obstacle. Par définition, le corps noir possède un albédo nul. Il faudra tenir compte de l'albédo du sol pour le dimensionnement d'installations solaires installées sur une surface enneigée (refuges de montagne), sur l'eau (bouées de navigation), et dans les zones désertiques, ou même sur les toitures des immeubles [9].

1.6. Rayonnement global

Le rayonnement solaire arrivant au sol a plusieurs composantes à traiter différemment (**Figure 1.4**), composante directe I, composante diffuse D et l'albédo, le tout formant le rayonnement global G [9].

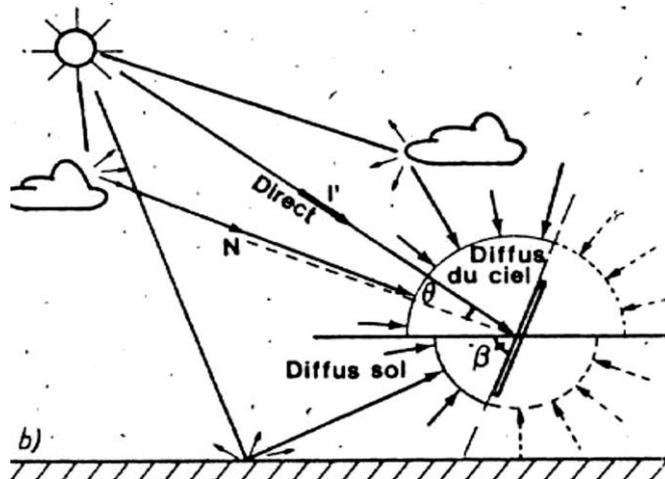


Figure 1.4. Rayonnement Global G [9].

1.7. Le masque solaire

Avant toute installation d'un champ de capteurs solaires, il est impératif d'effectuer un relevé des masques solaires éventuels (immeuble voisin, arbre, etc.). En effet, nombreux sont ceux qui se sont fait piéger par une sous-évaluation des obstacles. Il ne faut pas oublier que, durant l'hiver, le soleil est 45° plus bas que durant l'été. Ils s'aperçoivent trop tard (l'hiver suivant) qu'une partie de la journée le champ de capteurs est à l'ombre [10].

2. Potentiel solaire et zones climatiques en Algérie

L'énergie solaire est inégalement répartie à la surface de la Terre et sujette à des variations saisonnières. Près de l'équateur, l'ensoleillement annuel peut atteindre $2.300 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ soit deux fois l'ensoleillement moyen en Europe ($1.100 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$) (**Figure 1.5**).

Chapitre I : Revue bibliographique sur le gisement solaire et les zones climatiques en Algérie

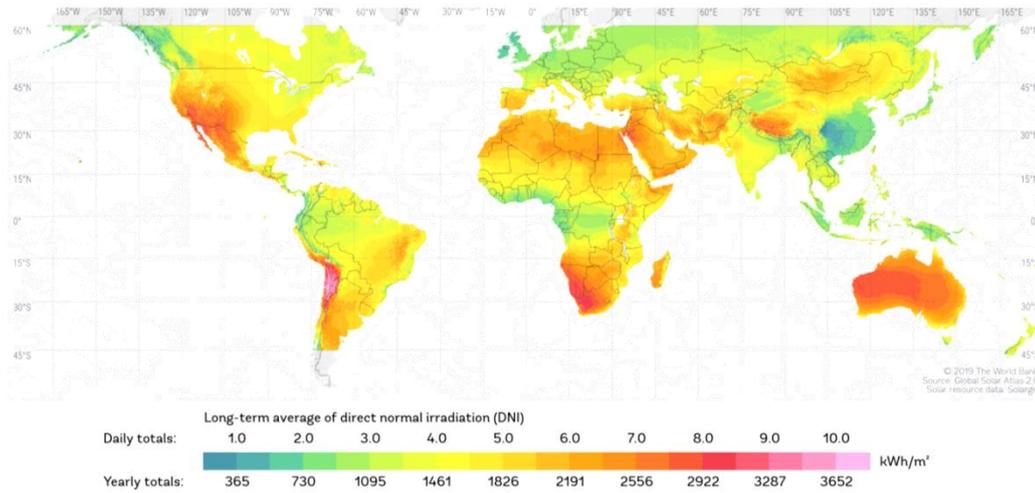


Figure 1.5. Ensoleillement global annuel mondial KWh/m²/an [11].

L'énergie solaire disponible diffère d'une zone géographique à l'autre au cours de l'année. Dans les zones désertiques proches de l'équateur, les valeurs d'irradiation annuelle peuvent atteindre les 2 200 kWh/m² par an. Le potentiel de l'énergie solaire est une source d'énergie renouvelable prometteuse.

La température à la surface de la terre dépend directement de l'angle avec lequel les rayons du soleil pénètrent dans l'atmosphère. Lorsque cet angle d'incidence est faible, c'est-à-dire lorsque les rayons rasant le sol, l'énergie solaire se disperse. Par contre, la chaleur est maximale lorsque les rayons atteignent le sol avec un angle de 90°.

On peut profiter de sa chaleur et de sa lumière pour récupérer des calories et produire de l'électricité tout en émettant moins de pollution comparativement aux sources fossiles.

Par rapport aux autres sources renouvelables, le solaire offre un avantage particulier : il est exploitable sur l'ensemble de la surface du globe. Cependant, l'équipement de production doit être installé à proximité du lieu de consommation afin de minimiser les pertes. Ajoutons qu'il est totalement modulable : la taille des installations peut être facilement ajustée selon les besoins ou les moyens.

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie dispose d'un des plus grands gisements solaires au monde, la durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara) en moyenne 9 à 11 heures par jour avec un très peu de nuages (**Figure 1.6**). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale

de 1 m^2 est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de $1700 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ au Nord et $2263 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ au sud du pays.

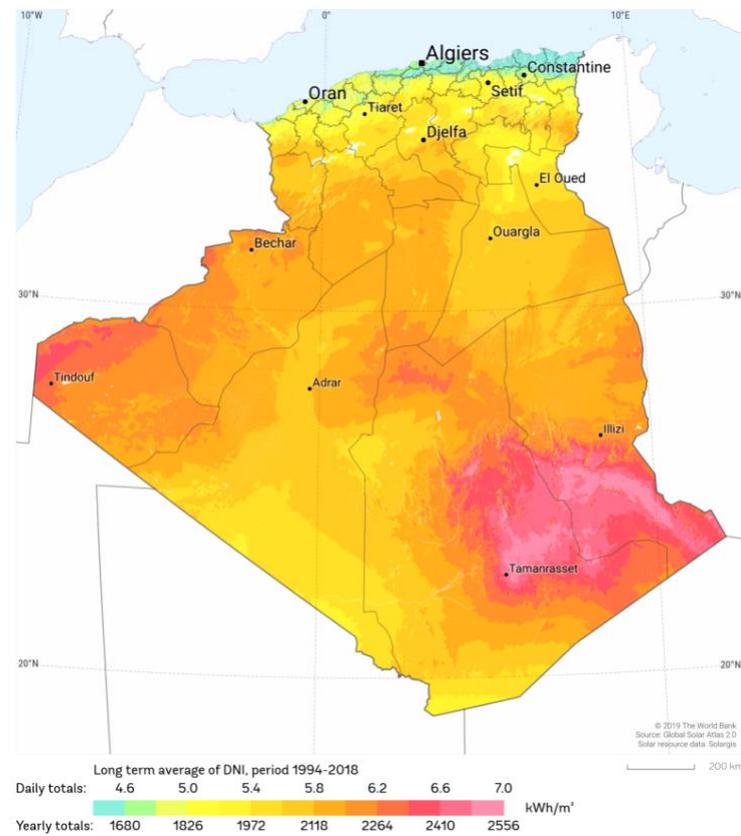


Figure 1.6. Ensoleillement global annuel dans l'Algérie $\text{KWh/m}^2/\text{an}$ [11].

2.1. Profils types d'irradiations dans l'Algérie

En considération de la vaste extension géographique de l'Algérie, nous notons sur la carte (**Figure 1.6**) que la distribution du rayonnement solaire dépend davantage de la longitude et de l'altitude que celle des zones climatiques, nous marquons également que le rayonnement solaire des régions étroites du nord est presque identique, à cet effet il sera plus efficace si nous prenons des exemples d'emplacements des différentes longitudes. Une étude comparative entre trois différents sites est effectuée. Les caractéristiques des sites choisis sont représentées dans les **tableaux 1.1, 1.2 et 1.3**. Les spécificités d'irradiation des trois sites sont représentées dans les **Figures 1.7 et 1.8**.

Tableau 1.1. Site de Bou Ismail (Tipaza) [11].

Latitude et longitude	36°37'59" / 02°41'50"	
Altitude	152 m	
Zone climatique (DTR)	Zone A	
irradiation normale directe	1670	kWh /m ² .an
Irradiation globale pour une surface horizontale	1725	kWh /m ² .an
Irradiation horizontale diffuse	695	kWh /m ² .an
Inclinaison optimale	32°	
Irradiation à l'inclinaison optimale	1960	kWh /m ² .an

• **Région Nord du Sahara : site de Biskra**

Tableau 1.2. Site de Biskra [11].

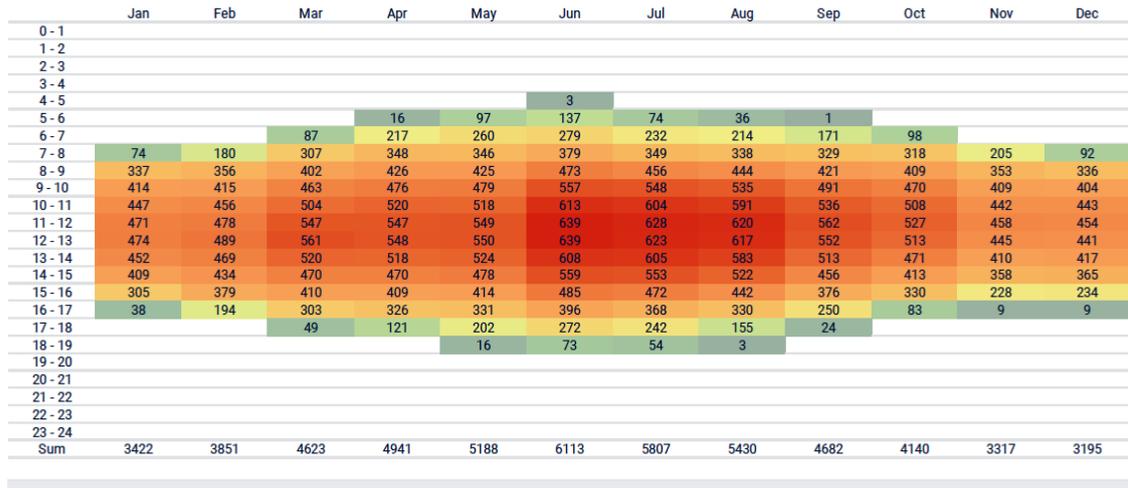
Latitude et longitude	34°50'43"/ 05°42'56"	
Altitude	106 m	
Zone climatique (DTR)	Zone D	
irradiation normale directe	1921	kWh /m ² .an
Irradiation globale pour une surface horizontale	1914	kWh /m ² .an
Irradiation horizontale diffuse	735	kWh /m ² .an
l'inclinaison optimale	34°	
Irradiation à l'inclinaison optimale	2216	kWh /m ² .an

• **Région sud du Sahara : site de Tamanrasset**

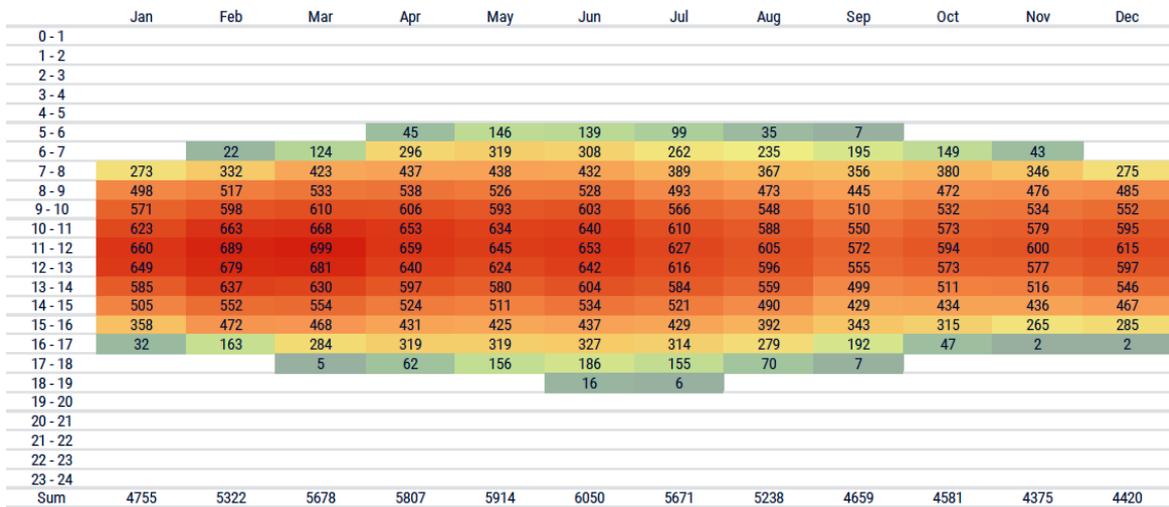
Tableau 01.3. Site de Tamenrasset [11].

Latitude et longitude	21°27'11"/04°55'19"	
Altitude	665 m	
Zone climatique (DTR)	Zone D	
irradiation normale directe	2183	kWh /m ² .an
Irradiation globale pour une surface horizontale	2333	kWh /m ² .an
Irradiation horizontale diffuse	842	kWh /m ² .an
l'inclinaison optimale	26°	
Irradiation à l'inclinaison optimale	2526	kWh /m ² .an

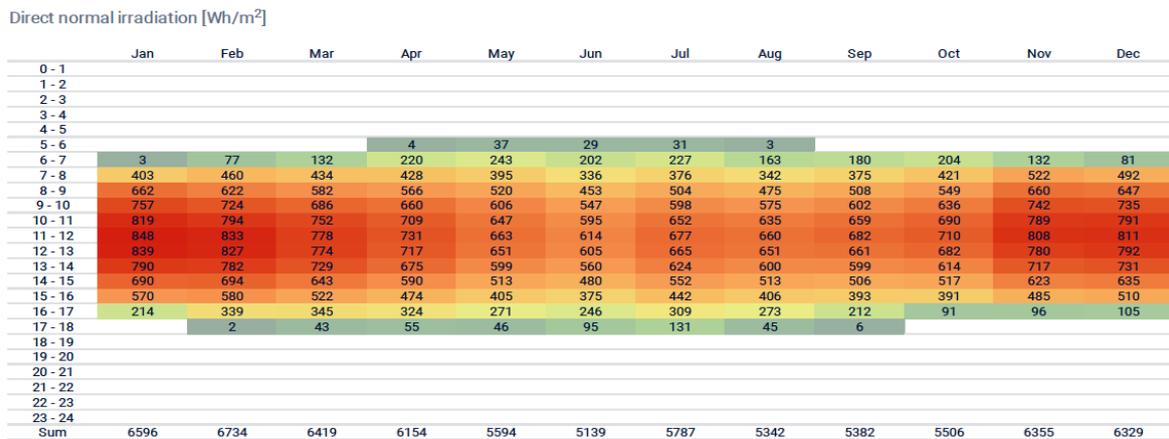
Chapitre I : Revue bibliographique sur le gisement solaire et les zones climatiques en Algérie



(a) Site de Bou-Ismaïl

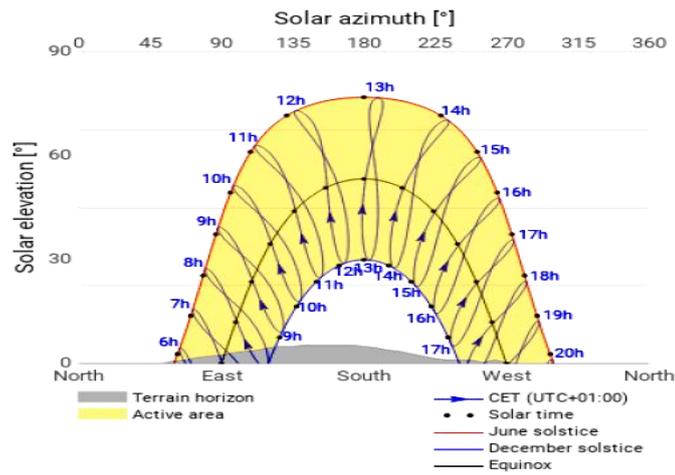


(b) Site de Biskra

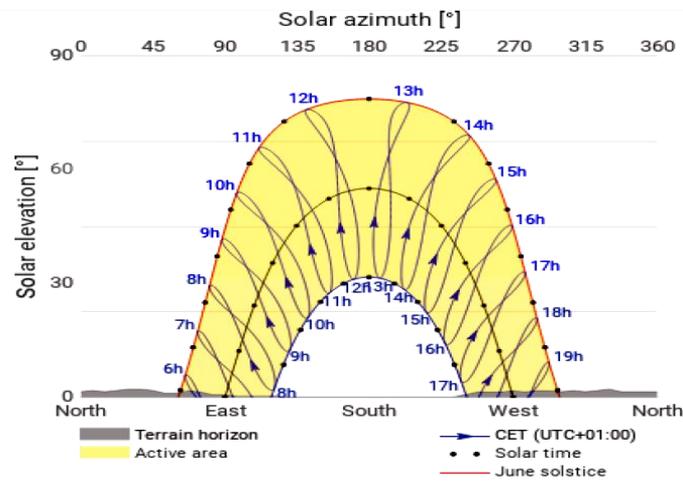


(c) Site de Tamanrasset

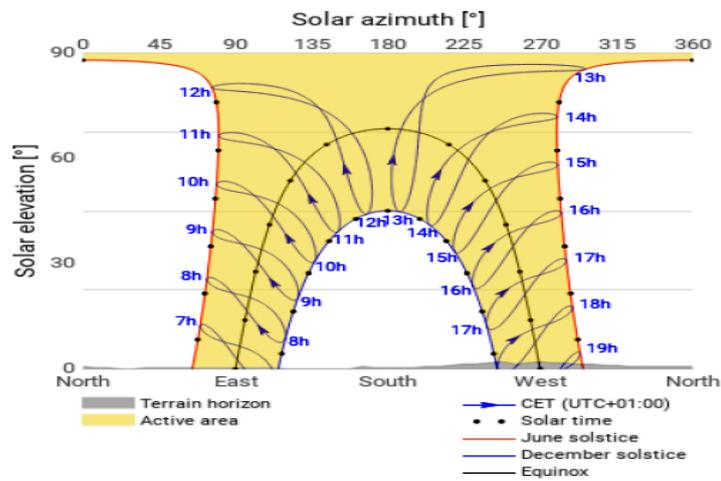
Figure 0.7. Profils moyennes de l'irradiation normale directe par heure [11].



(a) Site de Bou Ismail



(b) Site de Biskra



(c) Site de Tamenghasset

Figure 1.8. Azimut et la hauteur de soleil [11].

2.2. Classification des zones climatiques de l'Algérie

L'Algérie est classifiée en 04 zones climatiques, une sous zone au Nord et trois zones climatiques au Sud. Pour chaque zone, on distingue les sites d'altitude inférieure à 500 m, comprise entre 500 et 1000 m et supérieure à 1000 m (**Figure 1.9**) [12].

- **Zones et sous zone climatiques au Nord**

Zone A: Elle comprend le littoral et une partie du versant Nord des chaînes côtières (climat méditerranéen maritime).

Zone B: Elle comprend la plaine et les vallées comprises entre les chaînes côtières et l'Atlas Tellien (climat méditerranéen continental).

Zone B ' : une sous-zone de la zone B. Elle comprend la vallée de Chlef, comprise entre la chaîne de l'Ouarsenis et les montagnes du Dahra et des Braz.

Zone C: Elle comprend les hauts plateaux entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien, avec des altitudes supérieures à 500 m (climat méditerranéen de montagne) [12].

- **Zones climatiques au Sud**

Zone D1 : Elle comprend le Sahara au-delà de l'Atlas Saharien jusqu'à la latitude 31°.

Zone D2 : Elle comprend le Sahara au-delà de la latitude 31° jusqu'à la latitude 26°.

Zone D3 : Elle comprend le Sahara au-delà de la latitude 26° jusqu'aux frontières Sud [12].

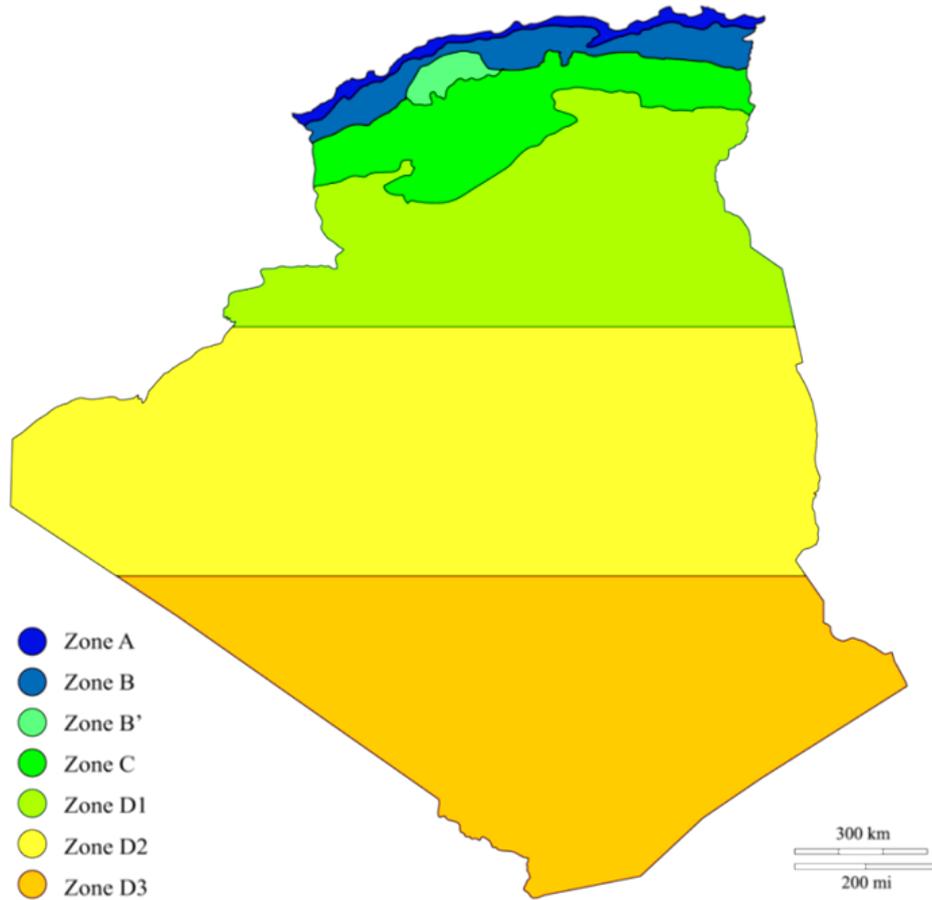


Figure 1.9. Carte des zones climatiques de l'Algérie [12].

Les caractéristiques climatiques moyennes relatives aux différentes zones pour les deux saisons hiver et été sont présentées respectivement dans **le Tableau 1.4** et **1.5**.

Tableau 1.4. Données pour l'hiver [13]

Zones Climatiques	Caractéristiques climatiques du mois le plus froid (Janvier)							
	T _{moy}	T _{max moy}	T _{min moy}	T _{max abs}	T _{min abs}	Ecart diurne	Variabilité	T _{Ext de base}
Zone A								
< 500m	12	9	15	5	20	6	4	6
500m-1000m	8	4	12	0	17	8	4	1
>1000m	5.5	2	9	-2	14	7	4	-1
Zone B								
< 500m	10	5	15	1	20	10	4	2
500m-1000m	8	4	12	0	17	8	4	1
>1000m	5.5	2	9	-2	14	7	4	-1
Zone B-bis								
< 500m	9	3	15	-1	20	12	4	0
Zone C								
500m-1000m	7.5	2	13	-3	19	11	5	-2
>1000m	5	0	10	-5	16	10	5	-4
Zone D1								
< 500m	14	7	20.5	1	31	13.5	10.5	2.5
500m-1000m	11.5	5	17	-1	27.5	12	10.5	0
Zone D2								
< 500m	16.5	8.5	24.5	3	31	16	6.5	4
500m-1000m	14	6.5	21	1	27.5	14.5	6.5	2
Zone D3								
< 500m	19	12	26.5	6.5	32.5	14.5	6	7
500m-1000m	16.5	10	23	4.5	29	13	6	5
>1000m	14.5	8.5	20.5	3	26.5	12	6	4

Tableau 1.5. Données pour l'été [13].

Zone Climatiques	Caractéristiques climatiques du mois le plus chaud (Juillet)								
	T _{moy}	T _{max moy}	T _{min moy}	T _{max abs}	T _{min abs}	Ecart diurne	Variabilité	T _{effect max moy}	T _{ext sèche de base}
Zone A									
< 500m	25.5	30	21	18	37	9	7	26	34
500m-1000m	25	30	20	15	37	10	7	25.5	33.5
>1000m	22.5	27	18	12	34	9	7	24	30.5
Zone B									
< 500m	26.5	34	19	15	41.5	15	7.5	27.5	38
500m-1000m	26.5	34	10	15	40	15	6	27	37
>1000m	25	32	18	12	38	14	6	26	35
Zone B'									
< 500m	29	38	20	15	44.5	18	6.5	29	41
Zone C									
500m-1000m	27	37	17	13	42	20	5	27.5	39.5
>1000m									
Zone D1									
< 500m	29.5	35.5	20	11	45	15.5	9.5	29	40.5
500m-1000m	27	32	18	9	41.5	14	9.5	27	36
Zone D2									
< 500m	31	39	23	18	44	16	5	28	41.5
500m-1000m	28	34.5	19.5	14.5	39.5	20	5	26	37
Zone D3									
< 500m	33.5	41	26	22	45	15	4	28.5	43
500m-1000m	31	36.5	22.5	18.5	40.5	14	4	26.5	38.5
>1000m	28	35	21.5	17.5	37	13.5	2	26	36

2.3. Classification des zones climatiques de l'Algérie par le « CNERIB »

Une autre classification (**Figure 1.14** et **1.15**) plus récente a été élaboré par le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment CNERIB. Cette classification a

donné des zones d'été (5 zones: **E-1, E-2, E-3, E-4, E-5**) et des zones d'hiver (3 zones: **H-1, H-2, H-3**, avec des sous-zones)

- **Carte des sous zones climatiques d'hiver de l'Algérie**

Lorsqu'on fait intervenir dans chaque zone l'influence de l'altitude, on obtient les sous zones suivantes : La zone H-1a caractérisée par des hivers doux avec amplitudes faibles et la zone H-1b a des hivers plus froids et plus longs. La zone H-2a est caractérisée par des hivers froids et un écart de température diurne important. La zone H-2b a des hivers encore plus froids que la zone H-2a. La zone H-3a est remarquable par des hivers très froids la nuit par rapport au jour. Les écarts de température entre le jour et la nuit sont importants. La zone H-3b a des hivers moins froids que la zone H-3a avec écarts de température diurne. La zone H-3c a des hivers très froids analogues à la zone H-3a mais qui persiste même durant la journée [12] (**Figure 1.10**)

Zone H-1 (Littoral) :

H-1a : Littoral-mer (altitude <500m)

H-1b : Arrière littoral-montagne (altitude >500m)

Zone H-2 (Hauts-plateaux) :

H-2a : Atlas tellien-montagne (1000m<altitude<1500m)

H-2b : Atlas saharien-montagne (altitude>1500m)

Zone H3 (Sahara) :

H-3a: Présaharien (500m<altitude<1000m)

H-3b: Saharan (200m<altitude<500m)

H-3c: Hoggar (altitude>500m)

- **Carte des zones climatiques d'été de l'Algérie**

L'amplitude thermique est importante pour les zones E-3, E-4 et E-5. La **Figure.11** schématise les zones climatiques d'été de l'Algérie.

Zone E-1 (Littoral) : cette zone a des étés chauds et humides. L'écart de température diurne est faible.

Zone E-2 (Hauts-plateaux / Montagnes) : elle a des étés plus chauds et moins humides avec des écarts diurne important.

Chapitre I : Revue bibliographique sur le gisement solaire et les zones climatiques en Algérie

Zone E-3 (Pré saharien / Tassili et Hoggar) : elle a des étés très chauds et secs mais moins pénibles qu'en zone E-4.

Zone E-4 (Sahara) : avec des étés secs mais plus chauds et plus secs qu'en zone E-3.

Zone E-5 (Tanegouft) : caractérisée par des étés chauds et secs et extrêmement pénible par rapport à E-3 et E-4. C'est la zone la plus chaude de l'Algérie [14].

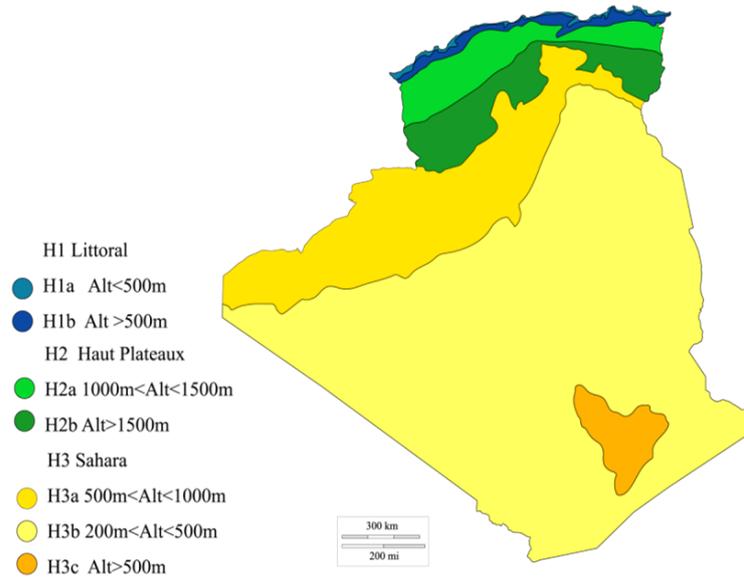


Figure 1.10. Carte des zones climatique d'hiver de l'Algérie [12].

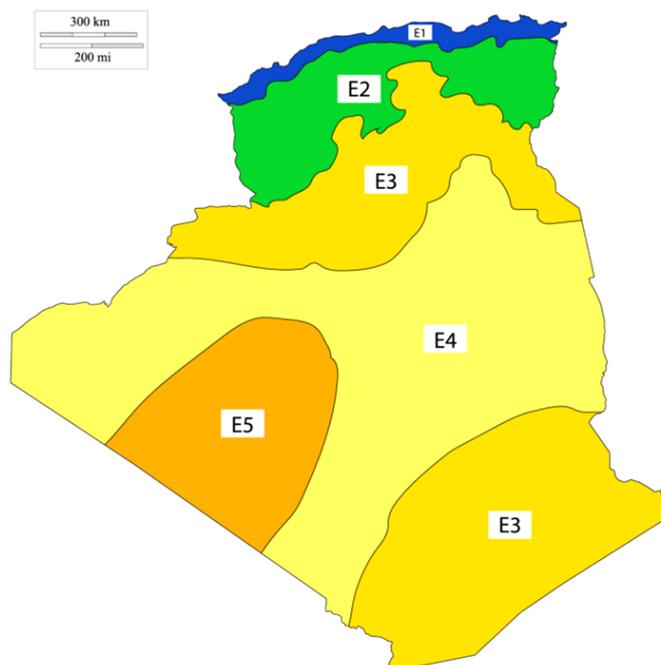


Figure 1.11. Carte des zones climatique d'été de l'Algérie [12].

Chapitre I : Revue bibliographique sur le gisement solaire et les zones climatiques en Algérie

Les données de la température, l'humidité et la vitesse du vent ainsi que l'irradiation solaire globale pour les différentes zones climatiques des deux saisons hiver et été, et particulièrement le mois du Janvier et Juillet est présentées respectivement dans le **Tableau 1.6** et **1.7**

Tableau 1.6. Zones climatiques d'hiver en Algérie (Janvier) [15].

Zone	Température (°C)			Humidité (%)			Irradiation G (Wh/m ²)				Vent (m/s)
	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Vertical :S-SE/SO-E/O			Horizontal	Moyenne
H-1a	10.5	5.4	16.5	77.1	51.2	93.5	3602	2798	1545	2196	SO/3.4
H-1b	-	5.4	14.4	-	-	-	-	-	-	-	-
H-2a	4.9	1.7	10.4	75.4	47.0	96.6	4966	3844	2114	2976	N/3
H-2b	4.6	-0.8	9.3	73.5	49.1	92.0	4444	3472	1976	2800	NO/3.2
H-3a	9.8	3.6	16.6	45.8	26.3	66.5	589	4589	2604	3716	N/2.5
H-3b	12.1	3.5	21.2	48.0	25.0	72.9	391	5131	3138	4340	NE/5.7
H-3c	12.6	5.3	20.5	27.3	13.9	45.5	334	6342	5207	3461	NE/2.4

Tableau 1.7. zones climatiques d'été en Algérie (Juillet) [15].

Zone	Température (°C)			Humidité (%)			Irradiation G (Wh/m ²)				Vent (m/s)
	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Vertical :S-SE/SO-E/O			Horizontal	Moyenne
E-1	24.2	18.4	30.6	68.7	40.8	91.2	2312	3362	3857	6936	NE/3.4
E-2	24.9	14.7	34.5	54.4	27.0	83.8	2548	3773	4408	7494	N/2.6
E-3	32.5	24.5	40.4	-	16.9	55.8	2634	3723	4296	6924	E/4.8
E-4	33.4	24.3	42.0	24.1	10.8	42.5	2072	3523	4439	7516	NO/4.5
E-5	36.5	26.8	44.9	12.7	9.1	20.5	2374	3953	4940	8108	E/5.8

2.4. Zones climatiques considérées par le DTR

Le document technique réglementaire DTR définit les zones climatiques comme suit [16]:

Zone A : comprend le rivage de la mer et parfois le versant Nord des chaînes côtières.

Zone B : comprend la plaine derrière le rivage de la mer et les vallées entre les chaînes côtières et l'atlas tellien ; au sein de cette zone, on distingue une sous-zone B' qui comprend la vallée de Chlef.

Zone C : comprend les Hauts-plateaux compris entre l'atlas tellien et l'atlas saharien.

Zone D : comprend le Sahara, au sein de laquelle on distingue une sous-zone D'

3. Conclusion

En résumé, plus de pays s'efforcent d'exploiter les énergies renouvelables que jamais. La pollution, les dépenses plus élevées et les ressources limitées sont les principaux obstacles à l'utilisation généralisée des combustibles fossiles. Par conséquent, les sources d'énergie renouvelables, telles que l'énergie solaire, ont été d'un intérêt considérable en raison de leurs avantages prometteurs.

Ce chapitre résume le gisement solaire de l'Algérie et le compare avec le monde. En suite une étude de gisement solaire détaillée pour certains cite choisis de notre pays, afin de conclure avec une présentation des données climatiques de l'Algérie qui ont été collectées par des chercheurs au fil des années.

CHAPITRE II :

Etat de l'art et analyse de la climatisation solaire

CHAPITRE II : Etat de L'art et Analyse de la Climatisation Solaire

1. Enjeux énergétiques et environnementaux

Dans ces dernières années. L'homme passe plus de 80% de son temps à la maison ou dans un local de travail, cela exige des conditions de confort dans le bâtiment, et donc une consommation de l'énergie primaire plus importante. Dans les pays chaud comme l'Algérie une partie importante de la consommation de l'énergie électrique est mené par la climatisation. Ceci est induit par l'utilisation intensive des climatiseurs dans la période estivale. Evidemment, le secteur de bâtiment est très énergivore en Algérie, car sa consommation représente plus de 43% de la consommation totale annuelle d'énergie final et qui atteint 18 millions de Tep. En outre 43% (figure 2.1) de la consommation annuel d'électricité est mené par le secteur résidentiel où 5% est due fait de l'utilisation des machines de production de froid particulièrement les climatiseurs [17].

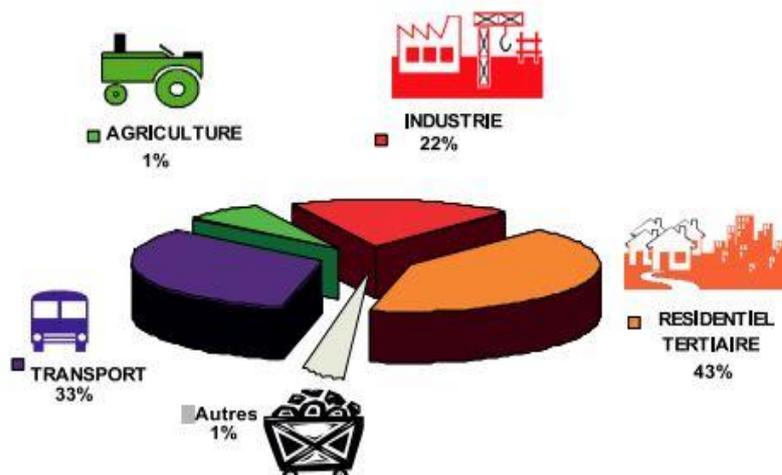


Figure 2.1. Evaluation sectorielle de la consommation énergétique en Algérie [17].

En ce qui concerne, le secteur tertiaire sa consommation énergétique a atteint 2 millions de TEP en 2012. Cette consommation se répartit entre le commerces (30%) ; l'administration centrale (24%); le tourisme (3%) ; la santé (12%) ; l'éducation (8%); l'éclairage public (6%) et autres (18%) [17].

L'étude de la répartition de la consommation du tertiaire par type d'énergie montre que l'électricité est prédominante. Cela s'explique par l'introduction massive des équipements de chauffage et de climatisation et la généralisation de l'utilisation des matériels bureautiques et informatiques. Une forte demande d'électricité est à prévoir en raison des

perspectives de développement de ce secteur [17]. Les actions de maîtrise de l'énergie proposées pour ce secteur portent notamment sur l'introduction de l'isolation thermique des bâtiments ce qui permettrait de réduire d'environ 40% la consommation d'énergie liée au chauffage et à la climatisation des logements.



Figure 2.2. Consommation nationale par forme d'énergie [18].

Chaque année, la consommation électrique mondiale s'accroît et devant cette flambée mondiale du nombre de climatiseurs, les spécialistes craignent une surconsommation excessive d'électricité et une augmentation des impacts négatifs sur l'environnement.

En Algérie, chaque été il faut faire face à des pics de consommation d'électricité. L'analyse de l'évolution des consommations a montré (figure 2.3) qu'entre 2000 et 2012, la consommation énergétique finale nationale a enregistré un taux de croissance annuel moyen de l'ordre de 6.5 %. Alors que le secteur résidentiel-tertiaire a enregistré un taux de 7.4 %. Ce dernier est appelé à augmenter rapidement au regard des programmes de développement du parc immobilier à l'échéance 2014 conformément aux directives présidentielles (figure 2.2) [17]. Une étude menée par le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) montre que le bilan énergétique d'un logement en Algérie (non climatisé) est important et peut atteindre près de 630 MJ/m². Cette valeur est à comparer à la valeur de 400 MJ/m² qui correspond à une construction européenne bien isolée.

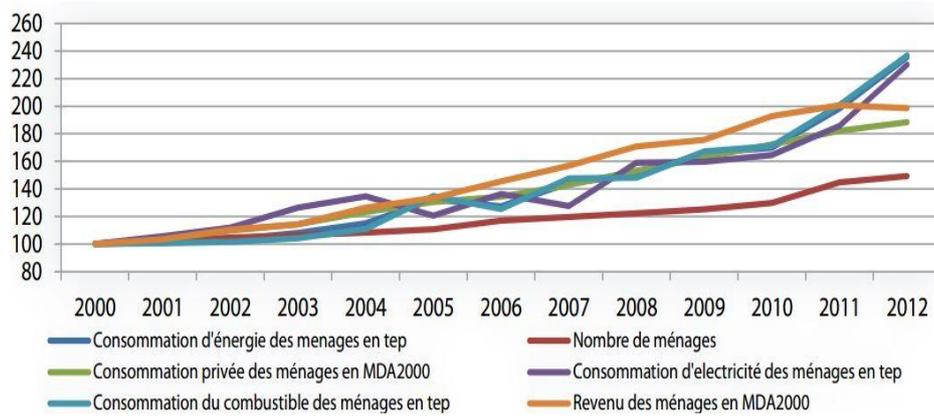


Figure 2.3. Tendances des consommations d'énergie en Algérie [17].

D'autre part, selon le rapport de l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) dans le bilan des émissions de dioxyde de carbone par secteur, le bâtiment est classé deuxième (30%) après le transport (50%) et avant l'industrie (12%) soit une émission de 25.3 MTeq CO₂ (Tonnes Equivalent de CO₂) (figure 2.4) [17].

Cela est induit principalement à des augmentations excessives des moyens de transport en Algérie et l'utilisation massive des machines de production de froid particulièrement les climatiseurs. Ces machines utilisent de l'électricité qui dans de nombreux pays est produite par des sources émettant des grandes quantités de gaz à effet de serre.

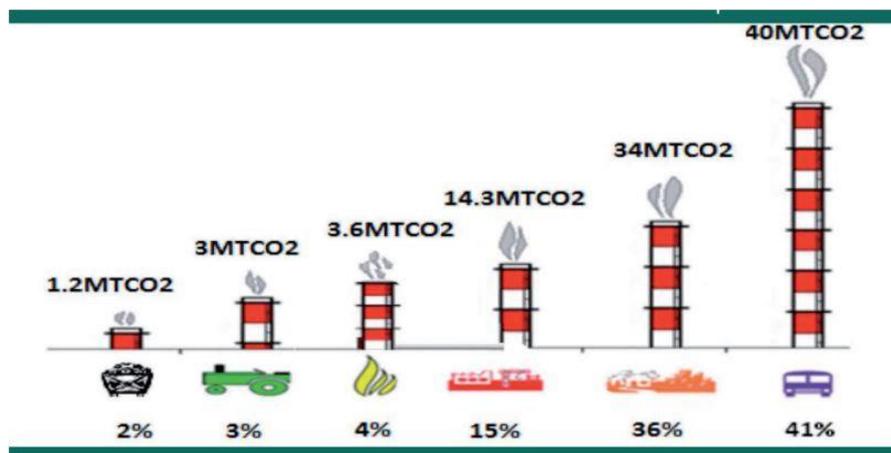


Figure 2.4. Emissions par secteur en Millions de Teq CO₂ [17].

2. La climatisation dans le secteur du bâtiment

Le but de tout architecte et ingénieur du bâtiment et entre autres d'assurer un environnement le plus agréable possible pour ses habitants. Ici, le challenge est d'obtenir le

meilleur confort possible avec une consommation d'énergie et un impact sur l'environnement les plus faibles. D'un point de vue technique, le confort intérieur est défini par quatre paramètres, la température intérieure, la qualité de l'air, l'isolation phonique et l'éclairage. Le point le plus gourmand en énergie est celui de la température de confort intérieur (**figure 2.5**).

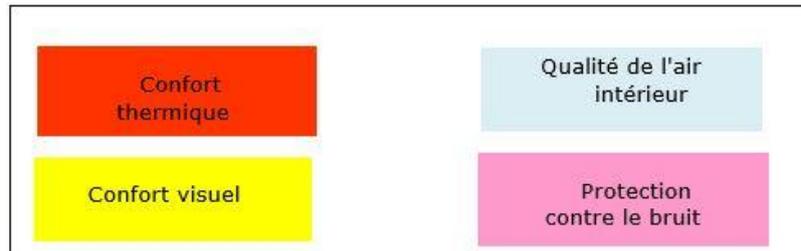


Figure 2.5. Confort intérieur d'un bâtiment peut être atteint en remplissant les 4 conditions.

2.1. Confort thermique intérieur

Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique qui l'entoure. Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par échange thermique entre le corps humain et son environnement [19]. En effet, la chaleur dégagée par le métabolisme, plus ou moins grande selon l'activité est éliminée directement ou au travers des habits, par convection et conduction vers l'air ambiant, par rayonnement vers les surfaces voisines et par évapotranspiration dans l'air (**figure 2.6**).

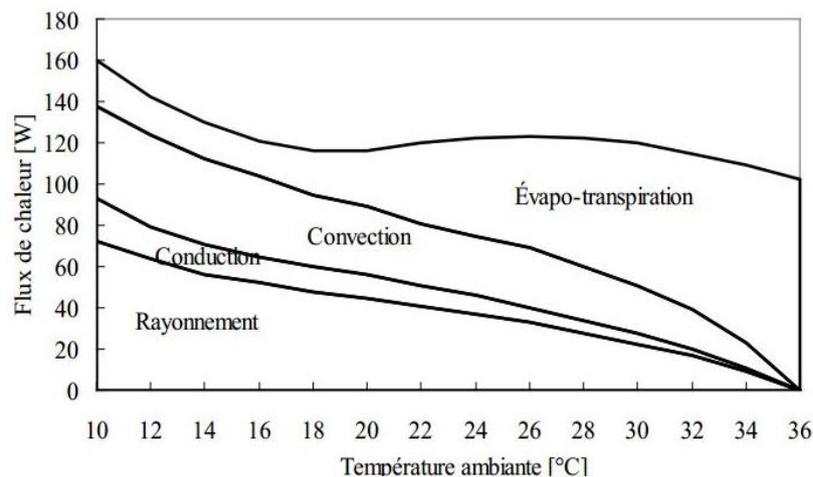


Figure 2.6. Mécanismes de transfert de chaleur et les flux de chaleurs émis par l'humain [20].

On notera que, dans la zone confortable, les échanges par rayonnement, convection - conduction et évapotranspiration se répartissent en trois parts approximativement égales. Ainsi, contrairement à ce qui est généralement admis, il est erroné de vouloir satisfaire les

critères de confort par une simple régulation de la température de l'air intérieur de l'habitation [4]. Il est usuel de quantifier la sensation de confort thermique en utilisant l'échelle présentée dans le **tableau 2.1** [19].

Tableau 2.1. Echelle de quantification du confort thermique.

-3	Très froid	Insatisfait parce que très froid
-2	Froid	
-1	Frais	Satisfait
0	confortable	
1	tiède	
2	Chaud	Insatisfait parce que très chaud
3	Très chaud	

Le confort thermique des occupants dépend de six (6) paramètres physiques (**figure 2.7**) et qui sont : le métabolisme, l'habillement, la température de l'air intérieur T_i , température moyenne de rayonnement T_r , les mouvements et l'humidité de l'air [19].

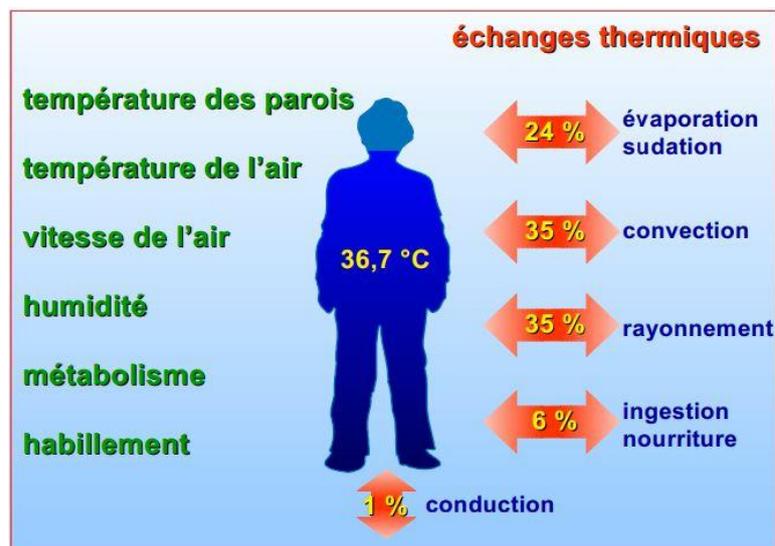


Figure 2.7. Les 6 paramètres physiques qui définissent le confort thermique [19].

Une méthode de quantification du confort thermique intérieur, consiste à compter le pourcentage de personnes insatisfaites des conditions de confort. Ce pourcentage est directement lié au vote moyen d'une population donnée. Aussi, il y'a deux paramètres permettant de mesurer le confort thermique et qui sont :

- **Le vote moyen prévisible PMV** (Predicted Mean Vote) est l'appréciation moyenne d'une population dans un environnement donné, sur l'échelle de -3 à + 3. Le confort optimal correspond à un PMV nul.

- **Le pourcentage prévisible d'insatisfaits PPD** (Predicted Percentage of Dissatisfied) qui exprime la part des sujets insatisfaits dans une condition donnée. La figure 2.8 montre la relation entre le PPD et le PMV, qui peut être calculée par la relation empirique suivante :

$$\text{PPD} = 1 - 0,95 \exp(-0,03353 \text{ PMV}^4 - 0,2179 \text{ PMV}^2) \quad (2.1)$$

A cause des différences physiologiques, il s'avère impossible de satisfaire tout le monde en réunissant des conditions "idéales". Par contre, il est possible de créer un environnement dans lequel le pourcentage de personnes satisfaites est maximum.

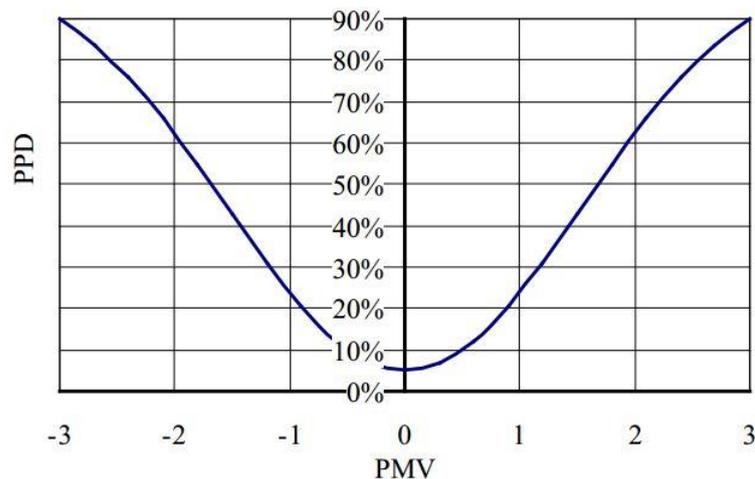


Figure 2.8. Corrélation entre les valeurs de PMV et PPD [20].

La demande concernant la température intérieure est définie par beaucoup de règles nationales et internationales. La législation EN 15251 définit trois niveaux de demande de confort : classe A (demande stricte), classe B (demande normale) et classe C (demande modérée). Pour la classe A, le PMV doit être ± 0.2 (correspond à $\text{PPD} < 6\%$), pour la classe B ± 0.5 ($\text{PPD} < 10\%$) et pour la classe C ± 0.7 ($\text{PPD} < 15\%$). Le standard EN ISO 7730 définit un niveau comme acceptable si 80% ou plus des habitants sont satisfaits dans cet environnement [21].

2.2. Demande en climatisation des bâtiments

La charge et la demande d'énergie peuvent être calculées en utilisant différentes approches. En ingénierie, les procédures de calcul ASHRAE sont souvent utilisées. Au-delà de la méthode, la première étape dans un projet de climatisation d'un bâtiment est la détermination de la charge thermique de celui-ci. Cette charge est divisée entre la chaleur sensible et latente. La chaleur sensible est issue de :

- La radiation solaire et les transferts de chaleur par les parois vitrés ;
- Les transferts transitoires au travers de l'enveloppe opaque du bâtiment ;
- La production de chaleur interne (personnes, éclairages, appareils,...) ;
- Les transferts de chaleur entre l'environnement et le bâtiment par les infiltrations d'air et la ventilation ;

Les gains thermiques à travers les fenêtres et les murs transparents peuvent être caractérisés par un certain nombre de paramètres optiques :

- transmittance de la radiation solaire t
- transmittance total g
- facteur d'ombre des objets faisant de l'ombre S_f

Les gains de chaleur à travers l'enveloppe opaque du bâtiment dépendent de la radiation solaire absorbée (orientation des murs et couleur des surfaces). La conductivité thermique des matériaux l'accumulation de chaleur des murs. Les gains peuvent être calculés heure par heure en régime permanent en remplaçant la différence de température de l'air par une différence de référence. Les enveloppes modernes ont des transferts faibles, leurs flux sont généralement peu importants.

Les gains de chaleur interne sont souvent la raison majeure des surchauffes. Le corps humain lui-même émet un flux de chaleur entre 100 W et 250 W dans le cas de forte activité. Les grands nombres d'appareils caractéristiques des bâtiments commerciaux contribuent aussi à la charge interne. Une bonne utilisation de la lumière du jour ainsi que de lampes efficaces et de LED peut réduire la charge de manière significative.

Les bâtiments modernes sont suffisamment compacts pour empêcher l'infiltration de l'air ambiant. Cependant, ils doivent être bien ventilés pour assurer la qualité de l'air intérieur.

La ventilation mécanique doit être régulée en fonction de la demande pour diminuer la charge grâce à l'air apporté.

La charge latente est généralement générée dans le bâtiment par différentes sources de vapeur d'eau. Cependant, dans les régions humides l'air extérieur doit être déshumidifié avant d'être soufflé dans les pièces. Un corps humain émet jusqu'à 50 g de vapeur d'eau par heure et une plante jusqu'à 20 g par jour.

La charge frigorifique est le flux de chaleur (quantité d'énergie retirée) nécessaire pour atteindre le niveau de confort requis, spécialement par rapport à la température et à l'humidité. L'accumulation de chaleur dans la structure du bâtiment provoque des déphasages dans la charge et des variations au court du temps. La charge frigorifique est calculée pour une journée très chaude d'un climat particulier et la charge journalière maximum est prise comme charge frigorifique nécessaire du bâtiment.

En tant qu'exemple de simulation numérique, les besoins annuels en climatisation et énergie (électrique) pour des bâtiments commerciaux sont présentés dans le **tableau 2.2**. Tous les bâtiments sont considérés en climat continental [21]. L'énergie utile est liée à la quantité de chaleur extraite du bâtiment, la demande d'énergie finale est liée à la consommation des climatiseurs à compression mécanique.

Tableau 2.2. Besoins spécifiques en climatisation et en énergie pour des bâtiments tertiaires et commerciaux [21].

		Charge en climatisation (W/m ³)	Charge en climatisation (W/m ²)	Demande d'énergie utile (chaleur) (kWh/m ²)	Demande d'énergie finale (électricité) (kWh/m ²)
Bureaux 1		7.7	21	8	3.4
Bureaux 2		31	84	51	18.7

Centre commercial		21.6	76	58	19.2
-------------------	---	------	----	----	------

2.3. Principe de conservation de l'énergie

La demande d'énergie pour la climatisation peut être réduite en considérant cinq principes présentés en **figure 2.9** [22].

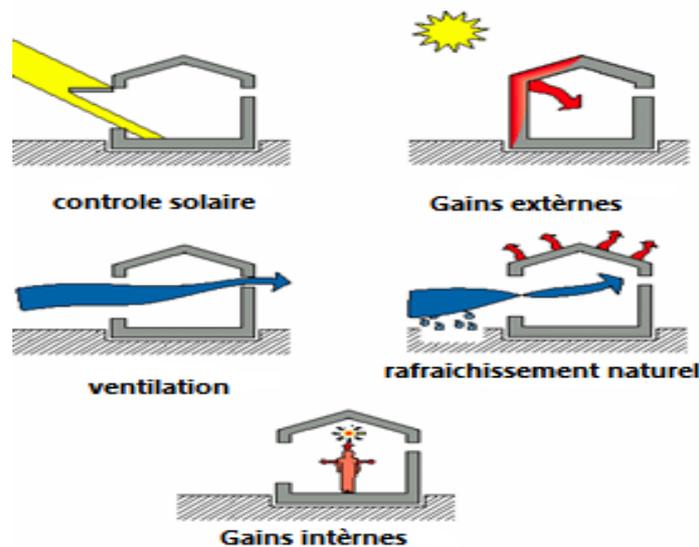


Figure 2.9. Principe de conservation de l'énergie dans le bâtiment [22].

- **Dispositif d'ombrage**

Les dispositifs d'ombrages doivent être externes, très réfléchissants contre la radiation solaire et installés de manière à ne pas gêner la convection sur le bâtiment ni l'utilisation de la lumière naturelle à l'intérieur. La **figure 2.10** donne les profils de températures d'un bâtiment sans dispositifs d'ombrage ni climatisation (en gris) et avec dispositifs d'ombrage réglables tout au long de la journée pour optimiser le facteur d'ombre S_f , permettant la convection sur les 2 faces des brises soleil et l'utilisation de la lumière naturelle pour l'éclairage intérieur (en orange) [21].

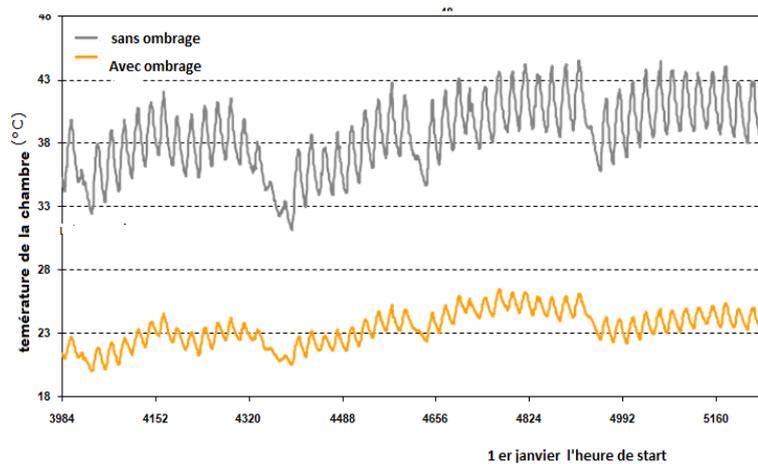


Figure 2.10. Profils de températures de la maison [21].

- **Les flux de chaleurs**

Les flux de chaleur à travers l'enveloppe opaque du bâtiment peuvent être réduits par des surfaces de couleurs claires et une isolation de haute qualité thermique associée à une grande masse thermique pour la construction. Une réduction significative des températures et un déphasage de plusieurs heures peuvent être obtenus. L'architecture moderne demande souvent des surfaces de couleur foncée, des peintures sélectives peuvent permettre de réduire la charge au travers de ces surfaces foncées. Ces peintures ont la même capacité réfléchissante que les couleurs ordinaires pour la lumière mais sont bien plus performantes pour les infrarouges. Grâce à ce système, les surfaces foncées perdent environ 20 °C lors du zénith solaire (à midi) [22]. Les toits et les murs végétalisés sont encore plus efficaces. L'évapotranspiration de l'herbe et des plantes divise la charge thermique par 5 à 10 en comparaison à un toit noire [21].

- **La ventilation nocturne**

La ventilation nocturne peut permettre de réduire la charge de manière significative, mais uniquement si elle est massive avec un renouvellement minimal de 4 à 5 fois le volume intérieur par heure. De plus, la ventilation peut être associée aux méthodes de Rafraîchissement naturel comme l'évaporation d'eau (**figure 2.11**). L'évaporation est très efficace dans les environnements secs et chauds. Elle permet une diminution de la consommation électrique et une amélioration nette du COPel. Les systèmes uniquement basés sur ce phénomène atteignent un COPel de 50 ou plus (**figure 2.11**) [23].

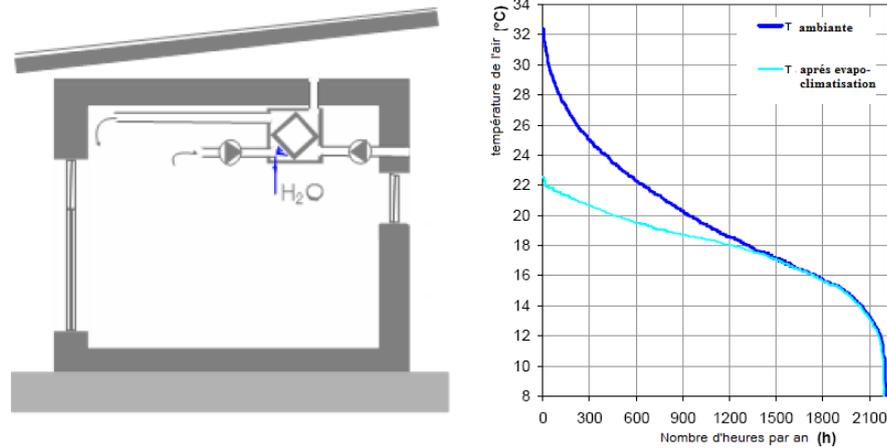


Figure 2.11. Système à évaporation à gauche, à droite la température de l'air en fonction du nombre d'heures de fonctionnement [23].

- **Puits canadiens**

Des échangeurs dans le sol de type « puits provençal » peuvent être couplés au système de ventilation, pour un pré-refroidissement de l'air entrant en journée. Ils sont utilisés dans les petits bâtiments. Ces échangeurs doivent être étudiés sérieusement pour assurer un bon COPel. La ventilation mécanique peut être améliorée avec un stockage de froid [24].

2.4. Climatisation mécanique

La climatisation regroupe l'ensemble des techniques visant à créer et à maintenir des conditions déterminées de température et d'humidité relative, et éventuellement de pureté de l'air en toute indépendance du climat et ces fluctuations [21].

Le climatiseur individuel permet, dans certains cas, d'atteindre un certain confort thermique souvent apprécié comme objet de valorisation sociale, son installation s'affirme depuis le début des années 80. De côté fonctionnement, les climatiseurs consomment de l'électricité. Le principe de la pompe à chaleur (**figure 2.12**) permet que la quantité d'énergie calorifique transférée soit significativement plus importante que la quantité d'énergie électrique consommée. Le rapport entre la chaleur extraite du bâtiment Q_c et l'énergie électrique consommée W est appelé coefficient de performance (COPel). Les unités modernes de climatisation ont un COPel entre 3 et 5.

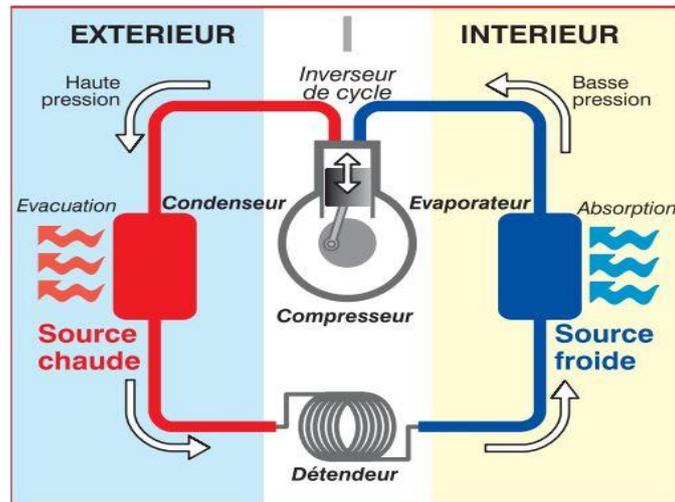


Figure 2.12. Schéma de fonctionnement d'un climatiseur [19].

En cas d'inconfort, la climatisation peut être complémentaire à la ventilation naturelle certains système évaporent le liquide dans le local, d'autres soufflent de l'air dans des gaines ou envoient de l'eau dans un réseau de tubes. Le système de la climatisation doit être pris en compte dès la conception du bâtiment. Il est préférable de prévoir des espaces de petites dimensions afin d'obtenir un système plus efficace et de pouvoir utiliser l'installation de manière intermittente et donc moins énergivore. La **figure 2.13** illustre les grandes classes de climatiseurs à compression mécanique existant :

- **Les climatiseurs monoblocs** ont pour principal avantage d'être faciles à installer. Ils sont généralement équipés de ventilateurs à plusieurs vitesses. Ils peuvent permettre le chauffage et le refroidissement.
- **Les climatiseurs de fenêtre « Window system »** peuvent être à condensation d'air ou d'eau, ils s'installent en traversant de parois ou de fenêtre, l'ensemble du système frigorifique est contenu dans une même enveloppe. Peu esthétiques il induit beaucoup de bruit et nécessite un coût d'exploitation important.
- **Les climatiseurs bi-bloc et multi-blocs** sont une version améliorée du « Window system ». Le circuit frigorifique est scindé en deux parties, permettant de placer les parties bruyantes à l'extérieur du bâtiment. Le multi-bloc a une unité de réfrigération extérieure et plusieurs unités intérieures de soufflage d'air frais. Sa durée de vie est de 10 à 18 ans. L'unité de soufflage intérieur peut être mobile ou fixe.

Aucun de ces trois systèmes n'autorise un contrôle fiable de l'humidité relative intérieur. Ils sont à proscrire en climat humide, ou le niveau de confort est souvent lié au niveau d'humidité.

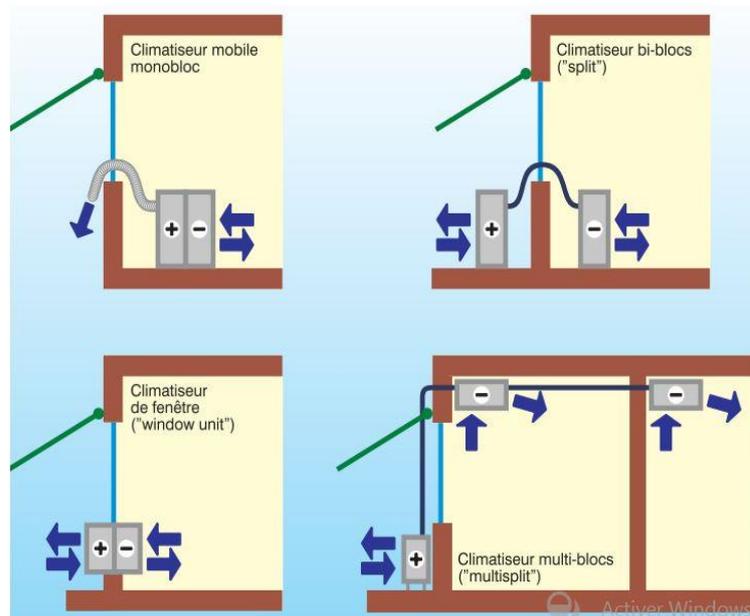


Figure 2.13. Systèmes de climatisation mécaniques individuels [19].

Malgré le fait que toutes les techniques présentées précédemment soient efficaces et consomment peu d'énergie, elles ne peuvent pas garantir seules la couverture de la demande toute l'année. Dans ce cas, un autre système efficace de refroidissement est nécessaire.

3. La climatisation solaire

L'expression « climatisation solaire » désigne l'ensemble des moyens de climatiser en utilisant comme ressource énergétique primaire la chaleur communiquée par les rayonnements du soleil. Ce mode de climatisation qui peut se substituer à l'utilisation de ressources fossiles présente comme principal intérêt de pouvoir fournir le plus de froid quand il fait le plus chaud, ce qui correspond généralement aux périodes où le soleil est le plus disponible. Lorsque, malgré une utilisation optimale des techniques passives, un système de climatisation s'avère nécessaire, le rafraîchissement solaire peut être une solution intéressante.

En effet, durant l'été, la demande électrique croît fortement du fait d'un usage intensif des systèmes de climatisation, d'où des pics de consommation à l'origine de la plupart des

problèmes d'approvisionnement. La pénurie est encore plus grande les années "sèches", les centrales hydroélectriques étant incapables de couvrir une partie de ces pics.

Dans ce contexte, l'utilisation de l'énergie solaire pour le rafraîchissement est un concept séduisant, puisque les besoins en froid coïncident la plupart du temps avec la disponibilité du rayonnement solaire.

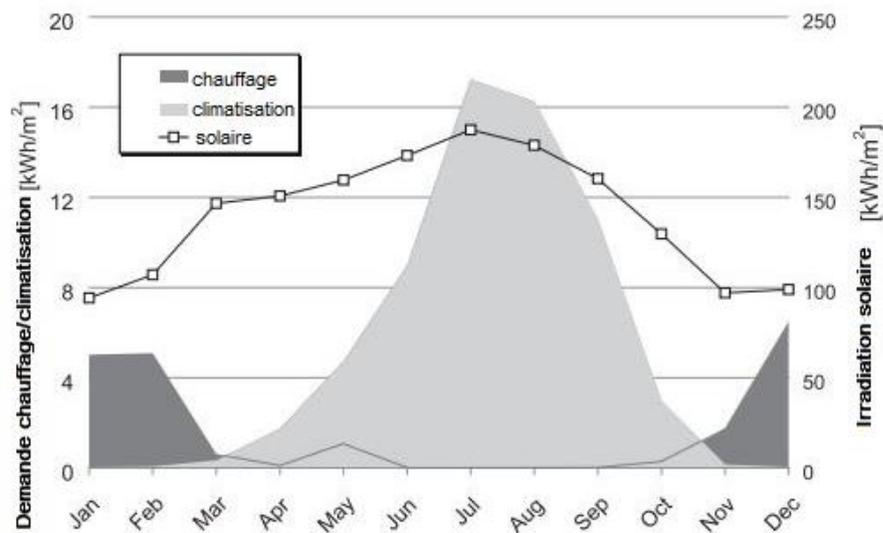


Figure 2.14. Adéquation entre demande et ressource solaire [25].

Tableau 2.3. Avantages et inconvénients potentiels.

Avantages	Inconvénients
<p>-Le fonctionnement n'exige que des échanges de chaleur solaire à température modérée. Il peut-être intermittent ce qui convient également à l'énergie solaire.</p> <p>-les machines comportent peu de pièces mécaniques en mouvement d'où un fonctionnement silencieux, une grande longévité, un entretien limité et une faible consommation énergétique des auxiliaires.</p> <p>-Absence de CFC ou HCFC nuisibles à la couche d'ozone et puissants gaz à effet de serre.</p>	<p>-Le rendement énergétique (COP) se situe entre 0,5 et 0,8. Il est donc beaucoup moins performant que celui des machines frigorifiques classiques à compression (COP > 2,5) mais le soleil est une énergie renouvelable.</p> <p>-Les besoins en surface de captation nécessite de disposer d'une grande surface pour implanter les panneaux solaires.</p> <p>-Il existe une température de seuil minimum de la source chaude à partir de laquelle la machine peut fonctionner. ce seuil se situe entre 70 et 95°.</p>

3.1. Systèmes de climatisation solaire

L'énergie solaire peut être converti en électricité à l'aide des modules photovoltaïques pour maintenir les machines à compression de vapeur ou en chaleur par des capteurs thermiques pour alimenter les machines a sorption et a dessiccation.

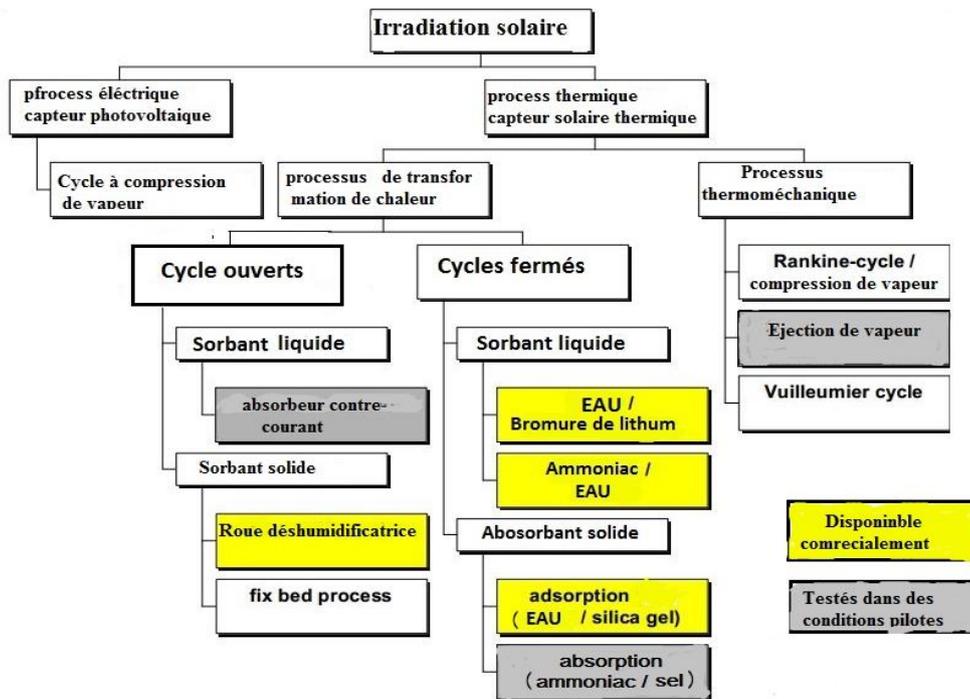


Figure 2.15. Schéma des différentes technologies de production de froid solaire [26].

En effet, il existe deux grands processus : un processus thermique et une autre électrique photovoltaïque, dans cette partie nous allons présenter les technologies applicables aux climatisations solaires.

3.1.1. Processus électrique (modules photovoltaïques)

Le principe de climatisation solaire par un processus électrique, est basé essentiellement sur la génération de l'électricité par les panneaux photovoltaïques qui alimentent les machines a compression de vapeur, l'élément de Peltier ou bien un moteur dite STIRLING. Dans ce qui suit les trois systèmes de production de froid solaire électrique.

a) Système a compression de vapeur

Les cellules photovoltaïques qui compose les panneaux transforment une partie des rayonnements solaire en énergie électrique (courant continu) qui pourra être converti en alternative grâce a des onduleurs, cette énergie vas alimenter un compresseur mécanique

pour comprimé un fluide frigorigène dans un cycle inverse de la pompe à chaleur (**figure 2.16**). La production du froid se fait grâce à la chaleur extraite par l'évaporateur d'un milieu précis. Le **tableau 2.4** présente les caractéristiques des machines frigorifiques photovoltaïques.

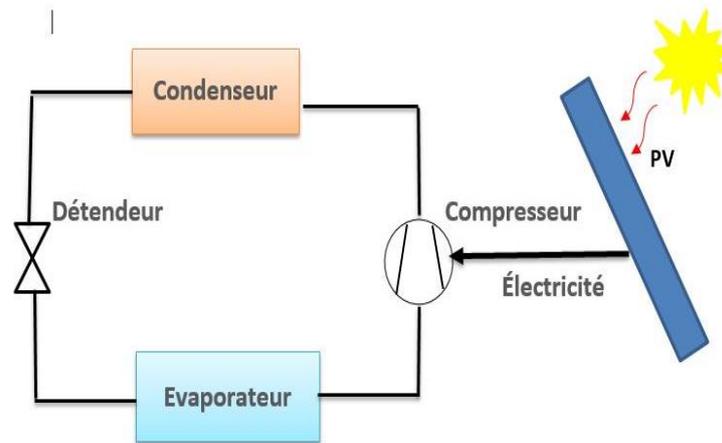


Figure 2.16. Schéma d'une machine à compression de vapeur alimenté par un module photovoltaïque.

Tableau 2.4. Caractéristiques des machines frigorifiques photovoltaïques.

Puissance (W)/1 W froid	COP	Fluides de travaux	Applications	Avantages	Inconvénients
12-50	3-5	R 134a	Réfrigération	-COP élevé.	-Coûts d'installation très élevé.
		R 290		-Longue durée d'expérience et disponible dans le marché.	-requit des batteries pour le stockage d'énergie.
		ECT		-Ajustable d'un petit à un grand système.	

b) Système Thermoélectrique (Effet Peltier)

L'effet Peltier, appelé aussi effet thermoélectrique, est un phénomène physique de déplacement de la chaleur en présence d'un courant électrique parcourant deux matériaux conducteurs de natures différentes en contact. Ce phénomène ne permet pas d'avoir une forte puissance froide développée et n'est donc pas envisageable, la

figure 2.17 ci-dessous représente le schéma d'un tel système. Le **tableau 2.5** présente les caractéristiques d'une machine frigorifique à Effet Peltier.

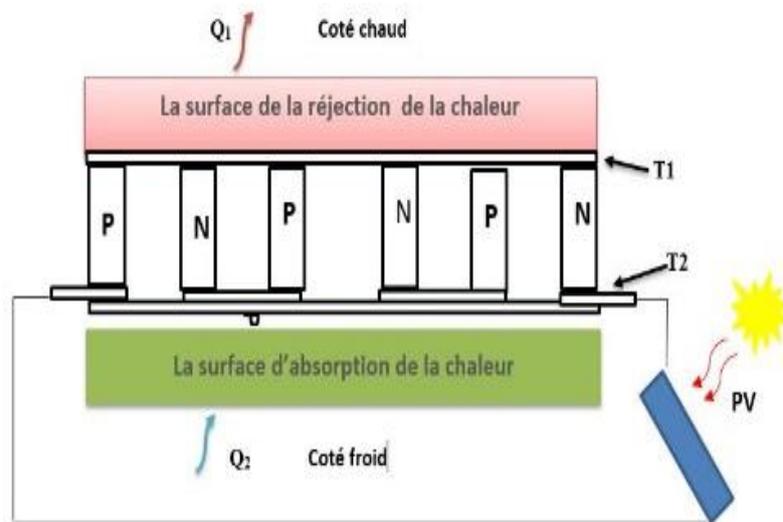


Figure 2.17. Schéma de principe d'un climatiseur thermoélectrique (Peltier).

Tableau 2.5. Caractéristiques d'une machine frigorifique à Effet Peltier.

Puissance (W)/1 w froid	COP	Fluides de travaux	Applications	Avantages	Inconvénients
Quelques Watts	0.5	-	Réfrigération	-Absence du fluide de travail et pas de parties mouvantes. -silencieux. -petite dimension et poids léger.	-COP faible. -difficultés d'atteindre des bases températures. -problème de réponse en absence d'électricité.

c) Système à moteur Stirling

Le moteur Stirling est un moteur réversible c'est-à-dire qu'on peut le faire tourner à l'inverse. Dans ce cas il faut lui fournir une énergie mécanique, l'intérêt d'un tel fonctionnement est qu'on retire des calories à la source froide pour les transférer à la source chaude, c'est le principe du réfrigérateur ou une pompe à chaleur, dans l'industrie cryogénique cette propriété est depuis longtemps exploitée pour produire du froid extrême. Cependant l'énergie mécanique peut être fourni à partir la transformation de l'énergie électrique produite par des modules photovoltaïques.

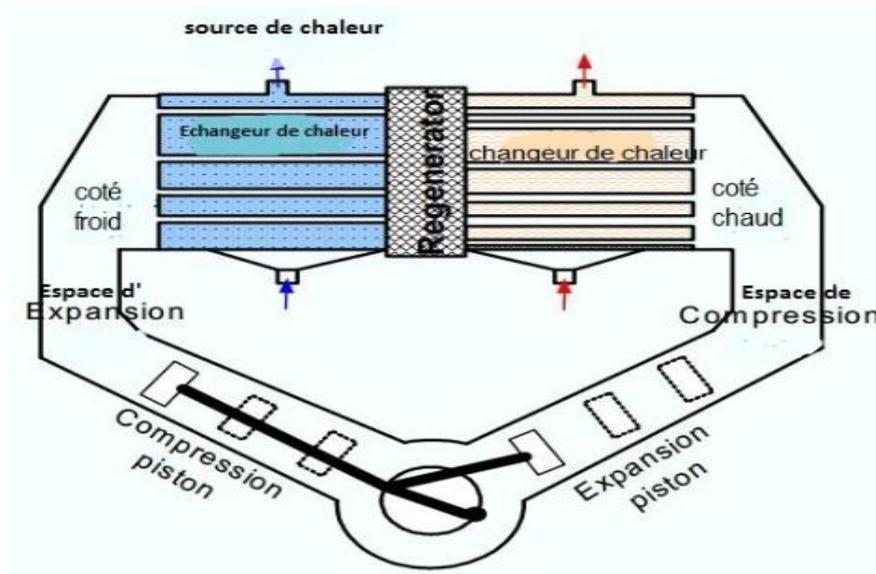


Figure 2.18. Schéma de principe d'un climatiseur STIRLING [21].

Tableau 2.6. Caractéristiques d'une machine frigorifique à moteur STIRLING.

Puissance (W)	COP	Fluides de travaux	Applications	Avantages	Inconvénients
3-17	03	He H ₂ , air	Réfrigération	-COP élevé pour des grandes différences de températures. -Peut être utilisé pour les applications cryogénique il est mécaniquement simple. -Fluide de travail ecofriendly	-Couts de production très élevé. -Design compliqué.

3.1.2. Processus thermique

Le principe de climatisation par un processus thermique est bas essentiellement sur l'exploitation de la chaleur produite par les capteurs solaire thermique (capteur plan, sous vide ou a concentration), pour alimenter les systèmes de production de froid thermique. Le schéma présenté dans la **figure 2.19** illustre le fonctionnement des processus thermique pour la climatisation solaire.

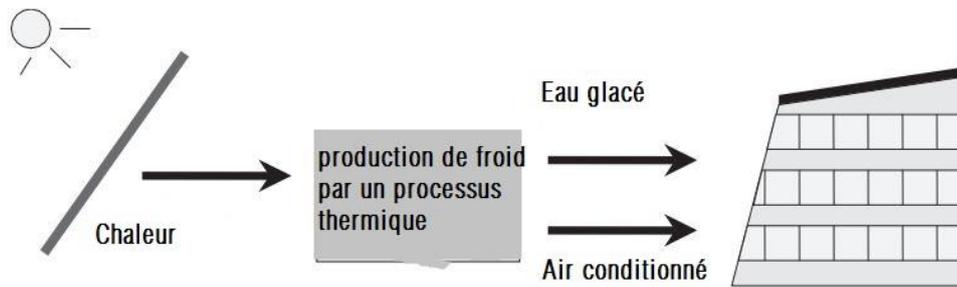


Figure 2.19. Schéma général d'un système de production de froid solaire thermique [25].

a) Principe de climatisation solaire par sorption

Les climatiseurs conventionnels utilisent un compresseur pour comprimer le réfrigérant gazeux. Les procédés par sorption fonctionnent de manière similaire. Cependant, à la place de compresser mécaniquement un gaz, ce qui consomme de l'électricité, seules des pompes sont utilisées pour véhiculer un mélange liquide de deux fluides – le réfrigérant et une substance qui absorbe le réfrigérant : l'absorbant, c'est le cas de l'absorption. En pratique, on utilise l'eau (réfrigérant) et le bromure de lithium (**absorbant**) ou bien, l'ammoniac (réfrigérant) et l'eau (**absorbant**). La consommation électrique des pompes est négligeable comparée à celle des compresseurs. Une autre source d'énergie est nécessaire, elle est fournie sous forme de chaleur par les capteurs solaire dans notre cas. L'adsorption fonctionne avec un réfrigérant adsorbé à l'état solide par des matériaux comme le **Slica gel** ou des formes de zéolithes. Les procédés par ab- ou adsorption fournissant de l'eau à des températures entre 7 et 10°C, tous les systèmes de climatisation conventionnels peuvent leur être associés.

- **Systemes fermés**

- ✓ **Groupes à absorption**

La technologie dominante parmi les groupes à eau glacée alimentés en chaleur est l'absorption. Le processus physique de base consiste au moins en deux composants chimiques, l'un d'eux servant de réfrigérant et l'autre de sorbant. Les principaux composants d'un groupe à absorption sont représentés dans la **figure 2.20**.

La majorité des groupes à absorption utilisent l'eau comme réfrigérant et le bromure de lithium comme sorbant. Les puissances standards de climatisation se situent dans une gamme allant de quelques kW jusqu'à quelques centaines de kW.

Généralement, ces groupes sont alimentés avec de la chaleur fatale, des réseaux de chaleur ou de la cogénération. Les niveaux de température requis au niveau de la source de chaleur se situent généralement au-dessus de 85°C et les valeurs moyennes de COP se situent entre 0,6 et 0,8. Jusqu'à récemment, la machine de plus petite puissance disponible sur le marché était un produit japonais avec une puissance nominale de 35 kW.

Récemment, la situation s'est améliorée grâce à un certain nombre de groupes de petite et moyenne puissances qui sont entrés sur le marché. En général, ils sont prévus pour fonctionner avec des températures de source chaude assez basses (70-75°C), ce qui leur permet d'être associés à des capteurs solaires plans. Actuellement, le groupe de plus petite capacité disponible produit 4.5 kW froid. Des exemples de groupes de petite et moyenne puissance sont donnés par la figure 2.36. En plus des fluides traditionnellement utilisés : H₂O/LiBr, les couples H₂O/LiCl et NH₃/H₂O sont aussi présents. L'application de ce dernier avec l'ammoniac en tant que réfrigérant est relativement récente pour de la climatisation de bâtiments. Cette technologie était principalement utilisée pour le froid industriel en dessous de 0°C et pour des grandes puissances. Cette technologie présente un avantage lorsque des grandes différences de températures sont demandées entre la température eau glacée et la température extérieure ($T_M - T_f$). C'est par exemple le cas dans des régions où l'eau manque et donc où l'on utilise des aéro-refroidisseurs secs (drycoolers) avec une température ambiante élevée.

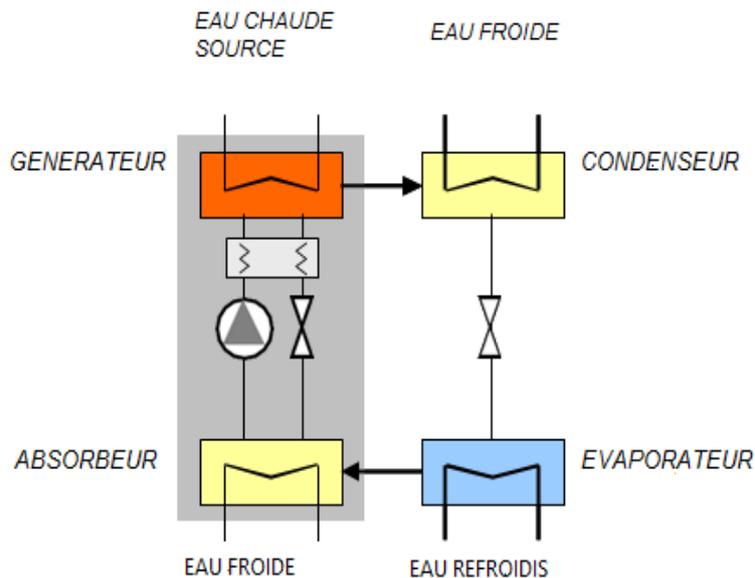


Figure 2.20. Schéma d'un groupe à absorption [23].

Comparé à un groupe conventionnel électrique à compression, la compression mécanique est remplacée par une “compression thermique” au moyen d'un absorbeur et d'un générateur. La production de froid est basée sur l'évaporation du réfrigérant (par exemple, l'eau) dans l'évaporateur à faible pression absolue.

En raison des propriétés de changement de phase, de grandes quantités d'énergie peuvent être transférées. Le réfrigérant vaporisé est absorbé dans l'absorbeur provoquant ainsi la dilution de la solution **sorbant/réfrigérant**. Un refroidissement est nécessaire afin de faire fonctionner le processus d'absorption. La solution est continuellement pompée vers le générateur ; où la régénération de la solution est effectuée grâce à la chaleur motrice (par exemple de l'eau chaude solaire). Le réfrigérant en quittant le générateur par ce processus condense grâce à l'application d'un refroidissement dans le condenseur et circule au moyen d'une vanne de détente vers l'évaporateur.

La **figure 2.21** indique les groupes à absorption disponibles actuellement sur le marché, classés par capacité frigorifique. Cette figure n'est pas exhaustive.

Les machines à double effet avec deux générateurs nécessitent des températures d'alimentation plus élevées ($> 140^{\circ}\text{C}$), mais possèdent des valeurs de COP supérieures, de l'ordre de 1.0 à 1.2. Le groupe de ce type de puissance minimal possède une puissance nominale de l'ordre de 170 kW. Du fait des températures de fonctionnement élevées, cette technologie requiert des systèmes de captation solaire à concentration. C'est une option intéressante pour des climats présentant un important gisement d'ensoleillement direct (sans nuages).

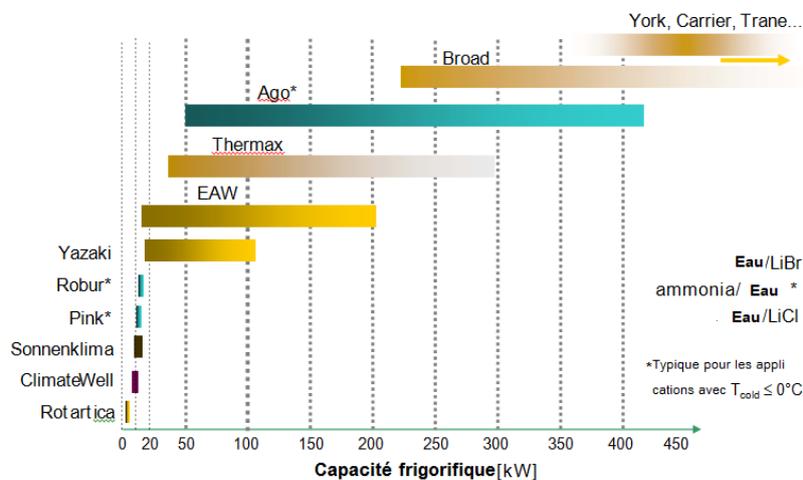


Figure 2.21. Ordre de grandeur de puissance des machines à absorption [21].

✓ Groupes à Adsorption

En plus des procédés utilisant un sorbant liquide, il existe des machines utilisant des matériaux à sorption solides. Ces matériaux adsorbent le réfrigérant, et le désorbent (relèguent) sous la pression de la chaleur. Un fonctionnement quasi-continu impose au minimum deux compartiments de matériaux à sorption. La **figure 2.22** montre les composants d'un groupe à adsorption. Les systèmes disponibles sur le marché utilisent l'eau comme réfrigérant et le silica-gel comme sorbant. La R&D et quelques premières applications sur des systèmes utilisant la zéolithe en sorption est en cours.

Actuellement, seuls quelques fabricants japonais, chinois et allemands proposent des groupes à adsorption. Une compagnie allemande est sur le marché depuis 2007 avec des machines de puissances 5.5 kW et a augmenté sa capacité à 7.5 kW et 15 kW (modèles 2008). Les valeurs moyennes nominales du COP pour des machines à adsorption vont de 0.5 à 0.6. Les avantages résident dans la température de source chaude relativement basse (à partir de 60°C), l'absence d'une pompe à solution, et un fonctionnement très silencieux.

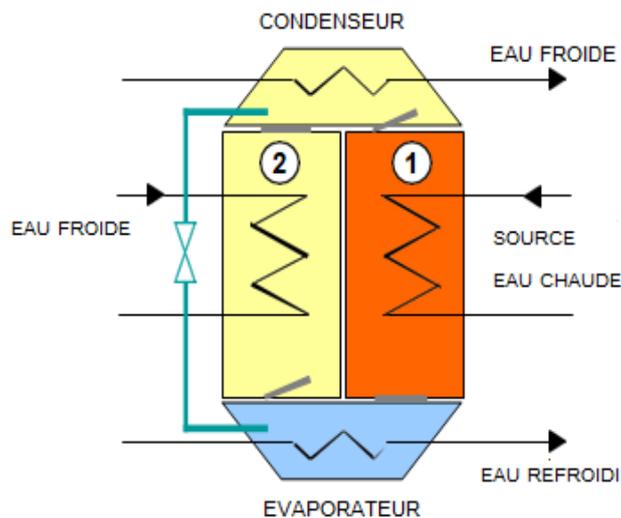


Figure 2.22. Schéma d'un groupe à adsorption [23].

Il consiste simplement en 2 compartiments à sorbant 1 et 2, d'un évaporateur et d'un condenseur; Pendant que le sorbant dans le premier compartiment est désorbé (extraction de l'eau adsorbée) utilisant l'eau chaude de la source de chaleur externe, par exemple des capteurs solaires, le sorbant dans le second compartiment adsorbe le réfrigérant sous forme de vapeur venant de l'évaporateur ; ce compartiment doit être refroidi afin d'augmenter l'efficacité du processus. Le réfrigérant, condensé dans le condenseur refroidi et transféré vers l'évaporateur est vaporisé là sous faible pression. C'est ici que le froid utile est

produit. Périodiquement, les compartiments sorbant sont permutés dans leurs fonctions de l'adsorption à la désorption. Ceci est accompli usuellement grâce à un jeu de vannes de régulation externes mais dans la machine. **La figure 2.23** indique les groupes à adsorption disponibles actuellement sur le marché, classés par capacité frigorifique. Cette figure n'est pas exhaustive.

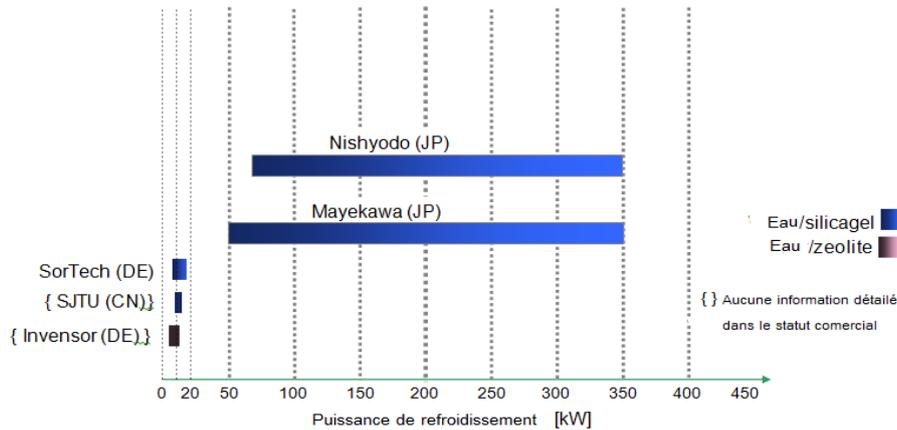


Figure 2.23. Ordre de grandeur de puissance des machines à adsorption [21].

- **Système ouvert**

Les groupes à eau glacée fournissent de l'eau qui peut être utilisée dans tous les équipements de climatisation, alors que les cycles ouverts de refroidissement fournissent directement de l'air conditionné. Tous les types de procédés thermiques de refroidissement ouverts sont basés sur la combinaison de l'évaporation et de la déshumidification par dessiccation, c'est à dire les matériaux hygroscopiques. Ici aussi, des solutions solides ou liquides peuvent être utilisées. Le cycle le plus utilisé aujourd'hui utilise des roues à dessiccation en rotation, avec du silica-gel ou du chlorure de lithium en tant que sorbant.

- ✓ **Système de refroidissement à dessiccation solide**

Le cycle standard qui utilise une roue à dessiccation est illustré en figure 2.24. L'application de ce cycle est limitée aux climats tempérés, car le potentiel de déshumidification n'est pas suffisant pour permettre le refroidissement par évaporation avec de l'air très humide. Pour des climats méditerranéens, d'autres configurations de procédés à dessiccation doivent être utilisées. Les processus successifs dans les courants d'air sont les suivants :

- 1→2** déshumidification par sorption de l'air neuf ; le processus est principalement adiabatique et l'air est chauffé par la chaleur d'adsorption produite dans la matrice de la roue à sorption.
- 2→3** pré-refroidissement de l'air neuf à contre-courant de l'air extrait du bâtiment (par échange sensible).
- 3→4** refroidissement par évaporation de l'air neuf vers le niveau d'humidité désiré grâce à un dispositif d'humidification.
- 4→5** l'échangeur de chaleur est utilisé seulement durant la saison de chauffage pour préchauffer l'air neuf.
- 5→6** petite augmentation de température en raison du ventilateur.
- 6→7** la température et l'humidité de l'air neuf sont augmentées à cause de la charge du bâtiment.
- 7→8** l'air extrait du bâtiment est refroidi grâce à l'évaporation proche de la saturation.
- 8→9** l'air extrait est préchauffé à contre-courant avec l'air neuf au moyen d'un échangeur de chaleur air/air, par exemple une roue de récupération de chaleur
- 9→10** la chaleur de régénération est fournie par exemple par un champ de capteurs solaires thermiques.
- 10→11** l'eau emprise dans les pores du matériel dessiccateur de la roue de déshumidification est desorbé grâce à l'air chaud.
- 11→12** l'air extrait est rejeté dans l'environnement au moyen d'un ventilateur d'extraction.

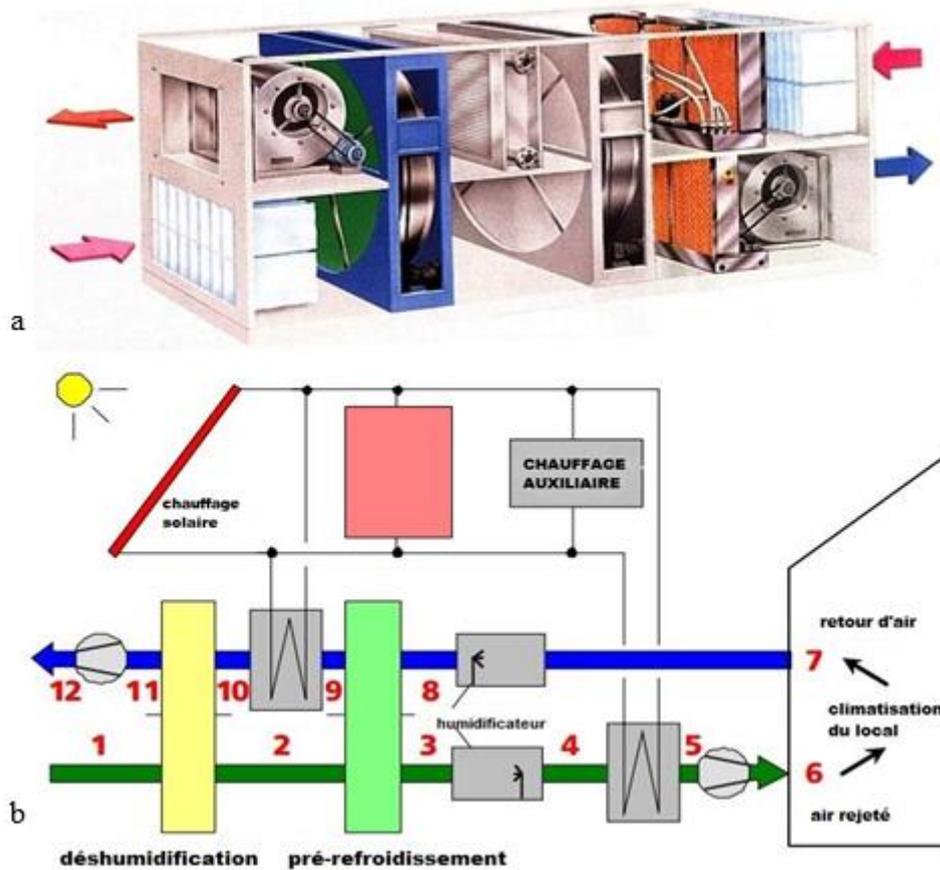


Figure 2.24. (a) Schéma de système à dessiccation solide avec capteurs solaires (DEC solide),
(b) Coupe longitudinale d'une machine frigorifique à roue dessinatrice [26].

✓ Système de refroidissement à dessiccation liquide

L'air distribué est déshumidifié dans une zone d'aspersion spéciale de l'absorbeur, où une solution de sels concentrée adsorbe l'humidité de l'air. L'efficacité du processus est augmentée par le rejet de la chaleur de sorption. Un refroidissement supplémentaire par évaporation peut être appliqué à l'air distribué si nécessaire. Dans le régénérateur, la chaleur qui peut être fournie par des capteurs solaires est utilisée pour rejeter l'eau adsorbée précédemment. Les solutions concentrées ou diluées (avec la vapeur d'eau) peuvent être stockées pour permettre de découpler dans le temps le rafraîchissement et la régénération du matériau [21].

Les systèmes utilisant une solution liquide en tant que sorbant ont certains avantages tels qu'un plus fort potentiel de déshumidification pour la même température de source chaude et un meilleur stockage d'énergie par des solutions hygroscopiques concentrées. Ces systèmes commencent à être disponibles sur le marché. Quelques projets de démonstration ont été menés pour tester l'application de cette technologie à la climatisation solaire. Un

schéma de principe pour un système de refroidissement à dessiccation liquide pourrait être tel que le présente la **figure 2.25**.

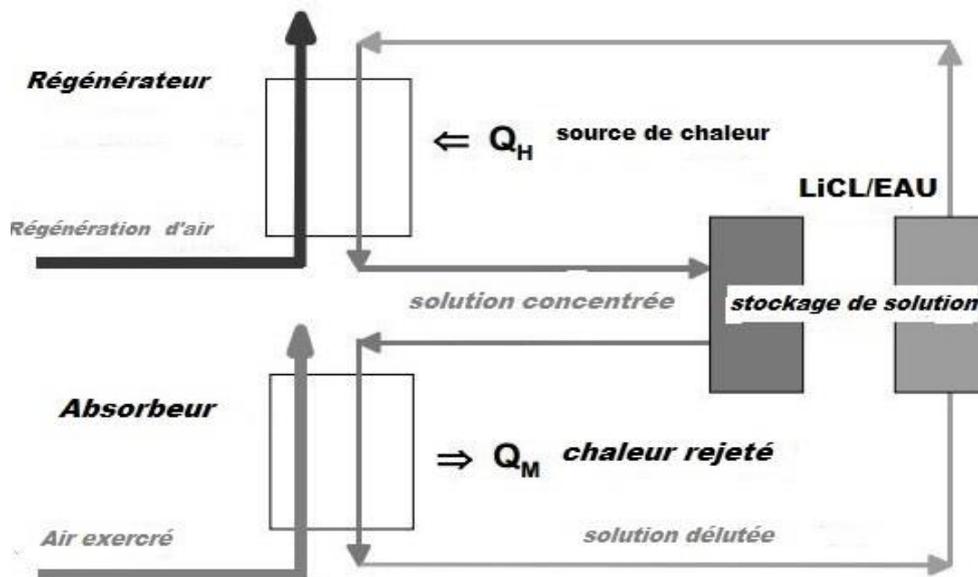


Figure 2.25. Schéma Général d'un système de refroidissement à dessiccation liquide [26].

L'installation climatise 310 m² de bureaux. Le débit d'air est de 1500 m³/h. Le système a été développé et installé par la compagnie allemande Menerga. Le système de ventilation est sur la gauche de la photo, les stockages de solution sont sur la droite. Le ballon à droite en arrière-plan fait partie du circuit primaire solaire qui fournit la chaleur de régénération, ce circuit consiste en 17 m² de capteurs plans [26].

3.2. Le coefficient de performance (COP)

Un bon indice pour quantifier la qualité thermique du procédé de climatisation solaire est le coefficient de performance (COP) défini comme :

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{froid}}}{Q_{\text{chaud}}} \quad (2.2)$$

Le COP est la capacité frigorifique dépendent fortement des niveaux de température T_c , T_f et T_M . Dans un cycle ouvert de type dessiccation, les performances sont plus difficiles à évaluer car elles dépendent du fonctionnement du système. Il est intéressant ici de définir les performances en mode 'dessiccation' seulement, car dans ce mode, une source de chaleur est nécessaire.

Les performances sont calculées à partir de l'enthalpie entre l'air ambiant et l'air traité, en relation avec la quantité de chaleur consommée. L'expérience montre que pour de tels systèmes, il est possible d'atteindre des performances comparables à un système à eau glacée simple effet [25].

3.3. Le coefficient de performance idéal (COP idéal)

Pour les systèmes à eau glacée, les performances maximum (COP idéal) en fonction des niveaux de température peuvent être calculées comme suit :

$$\text{COP} = T_f / T_c \times (T_c - T_m) / (T_m - T_f) \quad (2.3)$$

Comme le montre la **figure 2.26**, les performances idéales sont bien au-dessus de celles obtenues par les appareils à eau glacée disponibles sur le marché. Le COP se situe généralement entre 0.5 et 0.8 pour des machines à simple effet (absorption ou adsorption), et peut aller jusqu'à 1.4 en cas de procédés à double effet.

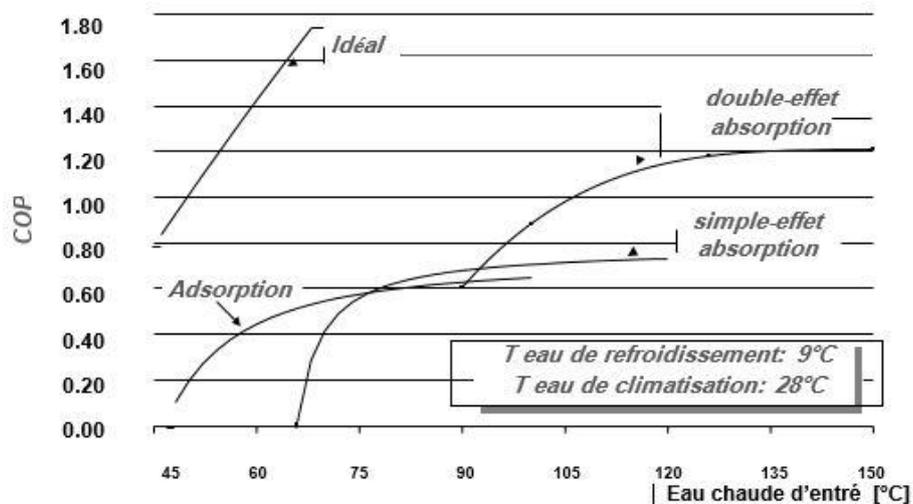


Figure 2.26. Représentent les coefficients de performance COP pour différentes machines à sorption ainsi que la courbe maximum pour un processus idéal [25].

- **Le coefficient de qualité de processus**

La différence entre les performances idéales et réelles peut être quantifiée par le coefficient de qualité du processus ξ_{PQ} calculé comme suit :

$$\xi_{PQ} = \text{COP}_{\text{réel}} / \text{COP}_{\text{idéal}} \quad (2.4)$$

4. Capteurs solaires

Il existe deux grandes catégories de capteurs solaires trouvant leur application dans les systèmes de rafraîchissement solaire : les capteurs photovoltaïques et les capteurs solaires thermiques.

4.1. Capteurs solaires photovoltaïques

Les capteurs solaires (ou cellules) photovoltaïques (PV) sont capables de convertir directement le rayonnement solaire en énergie électrique. Les particules de lumière viennent heurter les électrons du matériau semi-conducteur de la photopile et lui transmettent leur énergie (**figure 2.27**). Le matériau semi-conducteur généralement utilisé est le silicium traité qui assure la fonction d'une diode et donc oriente la circulation de tous les électrons dans le même sens faisant apparaître une tension à ses bornes en présence de lumière.

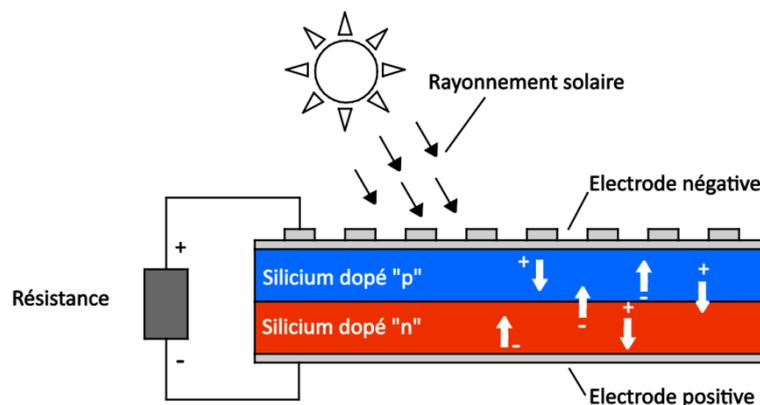


Figure 2.27. Schéma de principe d'une photopile [27].

Ces capteurs solaires PV peuvent être couplés à des systèmes de production de froid utilisant l'énergie électrique comme les systèmes à compression mécanique de vapeur.

4.2. Capteurs solaires thermiques

Les capteurs solaires thermiques transforment le rayonnement solaire incident en énergie calorifique par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau, air...). Il faut distinguer quatre catégories : les capteurs à air, plan, sous vide et à concentration.

4.2.1. Capteurs solaires à air

Ces capteurs sont constitués généralement d'un caisson isolé recouvert d'une vitre. L'air froid s'engouffrant dans la partie basse du capteur est réchauffé pour aller directement dans

la pièce à chauffer. Ils peuvent aussi être fixés sur un des murs extérieurs du bâtiment à traiter (**figure 2.28**).

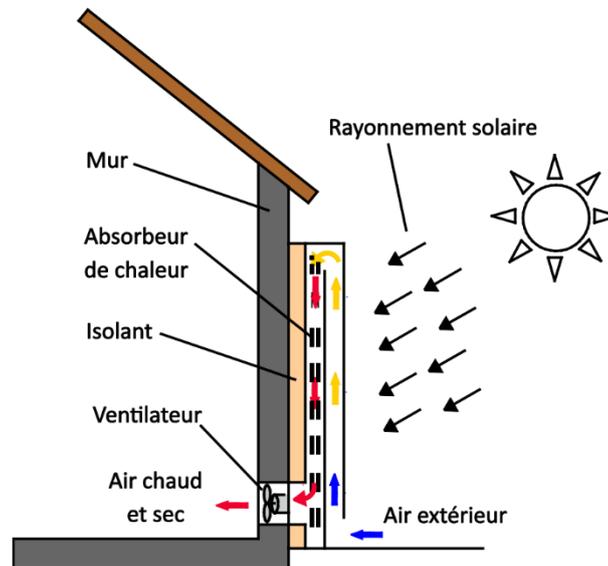


Figure 2.28. Schéma de principe d'un capteur à air fixé à un mur (mur Trombe) [27].

Dans certains cas, ces systèmes permettent également une modification de l'humidité de l'air à l'intérieur d'un bâtiment en fonction des sollicitations extérieures. L'application la plus répandue concerne le séchage thermique de produits agro-alimentaires (herbes, fruits...). En rafraîchissement solaire, ils sont principalement associés aux systèmes à dessiccation.

4.2.2. Capteurs plans vitrés et non vitrés

Il faut distinguer les capteurs plans vitrés et non vitrés. Les capteurs plans non vitrés sont constitués de tubes généralement en plastique noir résistant aux ultraviolets dans lesquels circule de l'eau. Ils trouvent leur application à basse température (30 °C) pour chauffer l'eau des piscines.

Le capteur plan vitré est le plus répandu. Il est utilisé pour des applications nécessitant des températures moyennes allant de 30 °C pour les capteurs à simple vitrage à 90 °C pour les capteurs plans à double vitrage. La figure 2.29 présente le schéma de principe d'un capteur plan vitré. L'absorbeur va capter l'énergie solaire et la transmettre au fluide caloporteur par l'intermédiaire des tubes fixés sur sa face inférieure. Le capteur est isolé à l'arrière et sur les côtés pour limiter ses pertes thermiques. Le verre est un matériau quasi-opaque à l'infrarouge et transparent au rayonnement solaire. Ainsi, tout flux solaire traversant le vitrage se retrouve piégé, l'absorbeur émettant dans l'infrarouge. Notons que le vitrage est

fixé hermétiquement d'une part pour limiter la circulation d'air entre l'absorbeur et sa face inférieure mais aussi pour éviter tout dépôt d'impureté sur l'absorbeur ou tout problème d'humidité à l'intérieur du capteur.

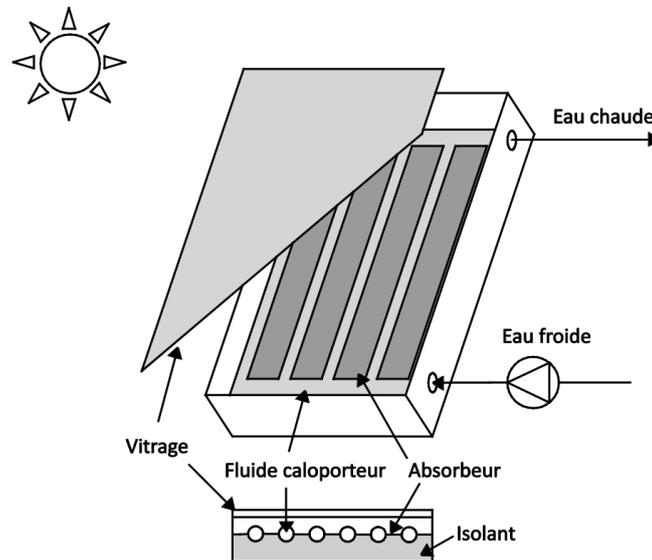


Figure 2.29. Schéma de principe d'un capteur plan vitré [27].

L'application la plus répandue concerne la production d'eau chaude sanitaire, mais cette technologie peut aussi être utilisée pour chauffer des bâtiments. En rafraîchissement solaire, ces capteurs sont associés à la fois aux cycles fermés à sorption et aux cycles ouverts à dessiccation.

4.2.3. Capteurs sous vide

On distingue les capteurs sous vide à caloduc et à circulation directe. Les tubes sous vide à caloduc utilisent un mécanisme d'évaporation et de condensation du fluide pour l'échange de chaleur. Le fluide caloporteur chargé de récupérer la chaleur ne circule pas directement dans les tubes. Il est chauffé par un fluide secondaire qui s'évapore sous l'influence du rayonnement solaire, et se condense au contact de l'échangeur de chaleur.

Notons que le principal inconvénient de cette technologie est qu'elle repose sur une parfaite étanchéité à l'intérieur de l'enceinte ce qui justifie son surcoût du mètre carré par rapport à un capteur plan. Cette technologie est utilisée pour des gammes de température élevée allant de 100 à 150 °C (**figure 2.30**). En rafraîchissement solaire, on trouve ce type de capteur associé aux cycles ouverts et fermés, mais aussi en fonctionnement mixe avec l'ajout en parallèle ou série de capteurs plans [28].

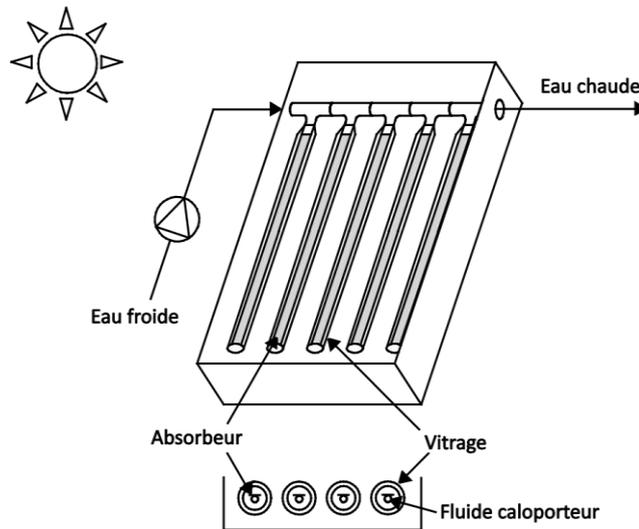


Figure 2.30. Schéma de principe d'un capteur sous vide [27] .

4.2.4. Capteurs à concentration

Les capteurs à concentration sont également intéressants pour la climatisation solaire même s'ils sont plus onéreux et plus difficiles à maîtriser techniquement. En principe, ils peuvent être utilisés :

- pour fournir la chaleur (eau chaude ou vapeur) à haute température $>150^{\circ}\text{C}$ pour les groupes à sorption double effet. Avec un fort COP thermique > 1.0 , envisageable dans cette application, la quantité de chaleur peut être réduite et donc le circuit de refroidissement peut aussi être dimensionné plus petit.
- pour fournir la chaleur aux groupes à eau glacée, lorsqu'il faut surpasser un grand écart de température entre la température d'eau glacée et celle de refroidissement (ex : demande de température basse et refroidissement par drycoolers). Typiquement les capteurs à concentration sont associés aux machines à absorption ammoniac/eau.
- pour de nouveaux concepts en vue de climatisations qui utiliseront des machines à éjection (encore au stade de la recherche).

L'utilisation de capteurs à concentration et système de suivi est généralement plus appropriée aux sites qui possèdent une fraction importante d'ensoleillement direct. Cependant, une analyse détaillée est nécessaire pour déterminer le rendement d'un tel système. La **figure 2.31** montre deux exemples de capteurs à concentration. Pour des capteurs qui fonctionnent à température moyenne, des résultats d'études de marché sont disponibles à [29].



Figure 2.31. Exemples de capteurs à concentration et à système de suivi du soleil à un axe (tracking) [25].

4.3. Rendement des capteurs stationnaires

Calculés à partir de la surface utile. Les courbes de rendements sont tracées pour une température ambiante de 25 °C et un niveau d'ensoleillement de 800W/m². La figure inclut assez grossièrement les zones de fonctionnement des différentes technologies de climatisation. Le graphique ne montrant que les conditions stationnaires et seulement des exemples de courbes de rendement, il n'est pas suffisant pour sélectionner un type de capteur pour une technologie donnée. Bien que les courbes de rendement puissent être théoriquement tracées pour des températures plus hautes, elles ont été volontairement coupées à T > 120 °C, car il y a peu d'expériences réalisées à ces hautes températures. Pour des plus hautes températures, le rendement d'un capteur à système de suivi du soleil (tracking) à un axe est donné en exemple [25].

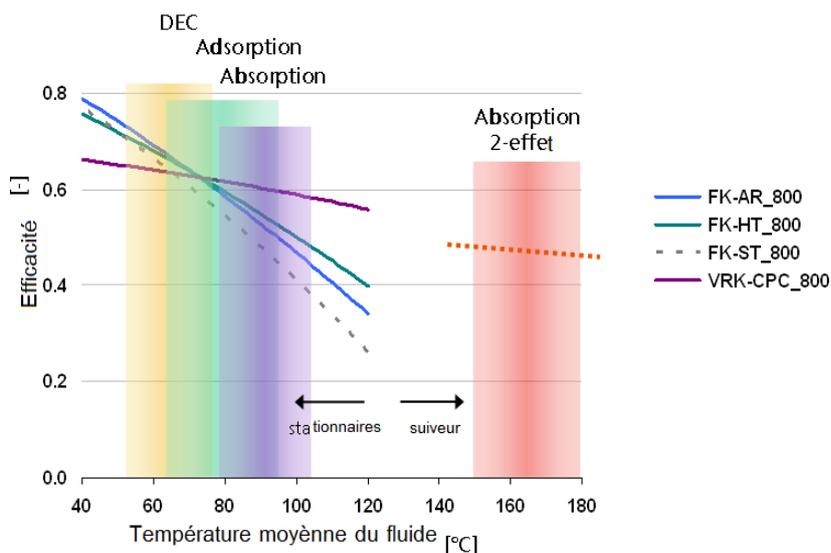


Figure 2.32. Courbes de rendement des capteurs stationnaires [25].

FK-ST : Capteur plan, produit standard.

FK-AR : Capteur plan, 1 vitrage, traitement anti-réflexion.

FK-HT : Capteur plan, 1 vitrage, couche anti-convection, isolation amélioré.

VRK-CPC : Capteur à tubes sous vide, écoulement direct, type Sydney avec concentrateurs externes (external CPC- réflecteur).

La figure ci-dessous présente des exemples de capteurs stationnaires utilisés pour la climatisation installés par le Bureau d'études techniques en énergie solaire [30] .

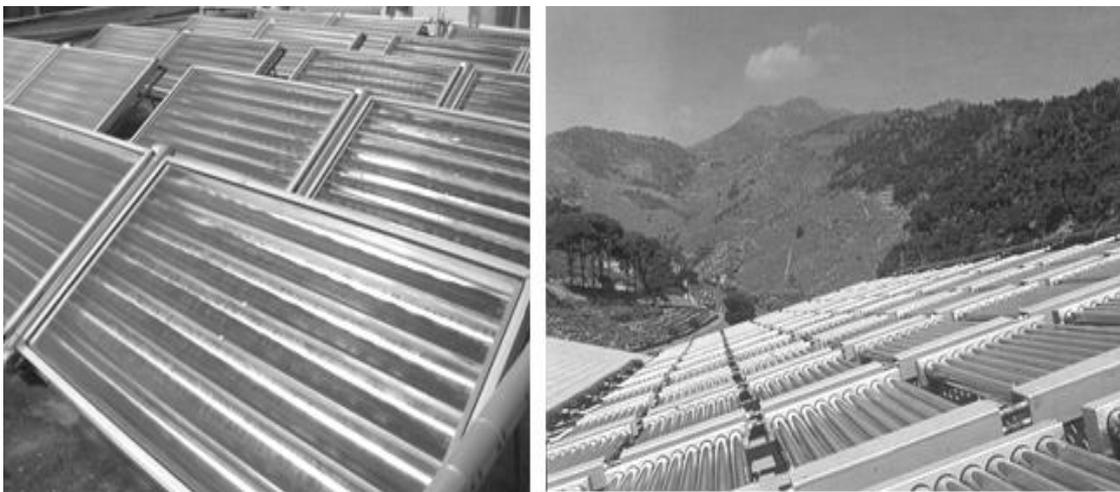


Figure 2.33. Exemples d'installations de capteurs stationnaires utilisés pour la climatisation solaire [30].

Gauche : capteur plan CPC, installé au « National Energy Research Centre INETI » à Lisbonne, au Portugal. Les capteurs fournissent la source chaude d'un système à dessiccation (DEC), situé dans un des bureaux de l'INETI [30].

Droite : capteurs à tubes sous vide sur le toit d'une cave à vin à Banyuls, en France. Ces capteurs fournissent de la chaleur à une machine à absorption de 52 kW froid.

4.4. Production d'énergie brute des capteurs

Il est important d'avoir une compréhension globale du sujet lorsque les courbes de rendements, les coûts au m² ou d'autres paramètres sont évoqués. En général, trois surfaces sont définies comme dans la **figure 2.34** : la surface hors tout (Gross area), la surface d'ouverture du capteur (aperture area) qui fait référence à la surface d'entrée du rayonnement et la surface utile ou d'absorbeur (absorber area). Pour les capteurs sous vide

en particulier, ces valeurs peuvent différer entre elles de plus de 25%. La surface utile doit être définie précisément, en particulier pour les capteurs à éléments paraboliques (la surface de l'absorbeur peut augmenter la surface hors tout).

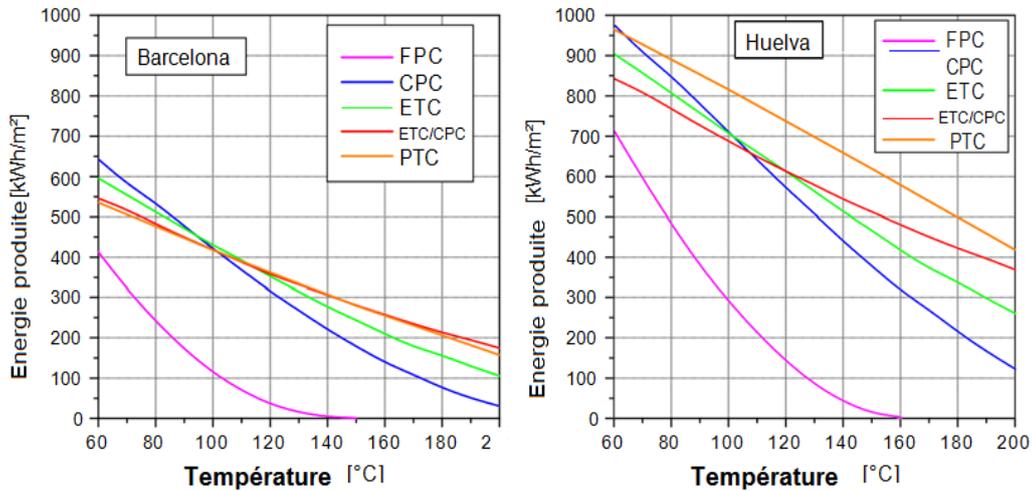


Figure 2.34. Production d'énergie brute des capteurs solaires en fonction de température de sortie [26].

FPC : Capteur plan standard.

CPC : Capteur plan avec des miroirs de concentration paraboliques.

ETC : Capteur à tubes sous vide.

ETC/CPC : Capteur à tube sous vide à miroirs de concentration parabolique.

PTC : Capteur parabolique à concentration.

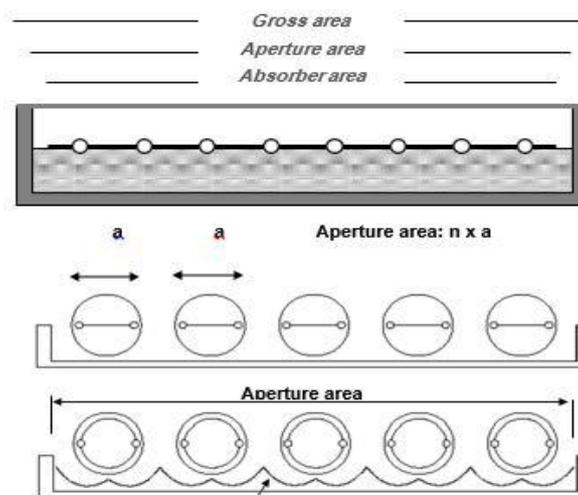


Figure 2.35. Définitions des surfaces de référence (à multiplier par la longueur du capteur bien entendu) [25].

5. Conclusion

Dans ce chapitre, on a résumé les enjeux énergétiques et environnementaux et en particulier la demande d'énergie pour la climatisation dans le bâtiment et sa Problématique environnementale. Afin de bien comprendre l'urgence de la mise en place d'une réelle politique d'économies d'énergie et de développement des énergies Renouvelables en Algérie. Par la suite, une présentation été faite sur les technologies souvent applicables à la climatisation solaire et les capteurs solaires exploités par ses processus.

Dans le prochain chapitre, on va le consacré à une étude d'évaluation énergétique et de durabilité d'une maison intelligente conçu au sein de siège de l'unité de développement des équipements solaires (UDES) à Bou-Ismaïl.

CHAPITRE III :
***Evaluation de l'efficacité
énergétique et de
durabilité de la maison
solaire***

CHAPITRE III : Evaluation de L'efficacité énergétique et de durabilité de la maison solaire.

L'évaluation énergétique et de durabilité d'un bâtiment est primordiale pour connaître avec précision les besoins d'énergie annuelles en terme de chauffage et climatisation, qu'il faudra assurer par des systèmes choisis selon ces deux procédés. La méthode utilisée pour évaluer la durabilité d'un bâtiment dans notre travail est développée par un groupe d'experts algériens dans l'efficacité énergétique en collaboration avec la société allemande GIZ, et pour être en accord avec la réglementation thermique algérienne actuelle on a utilisé dans nos calculs le logiciel **RETA**.

1. Description du système d'évaluation

Le système d'évaluation énergétique et durabilité a été développé par un groupe d'experts et spécialistes dans l'efficacité énergétique en collaboration avec la Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) par le biais du projet « Ressources naturelles, Changement climatique et énergie » 2014. Ce système est mis à la disposition des opérateurs du secteur de bâtiment des outils performants et adéquats pour la mise en œuvre des exigences de l'efficacité énergétique, la promotion des énergies renouvelables, la protection du climat et la préservation des ressources naturelles. Ce système se compose d'un ensemble de 14 critères répartis en 6 groupes. Chaque critère comporte un ou plusieurs indicateurs quantitatifs ou qualitatifs évaluant, à l'aide d'un système de notation, les caractéristiques architecturales et techniques de l'édifice examiné ainsi que les caractéristiques des équipements et des matériaux susceptibles d'être utilisés. Tous les critères sont en conformité avec les normes et les documents techniques réglementaires nationaux et internationaux en vigueur [31]. Il a été développé également des critères relatifs au confort thermique, à la protection de l'environnement et aux aspects économique et novateur.

Le système d'évaluation est défini par des tableaux dites « échelle d'évaluation », il contient le numéro, l'intervalle de l'indicateur et le Check List points (CLP) le nombre de points acquis pour chaque indicateur est sommé avec les autres indicateurs pour compléter la note finale du critère.

2. Données générales du bâtiment de l'étude

2.1. Description du bâtiment

L'habitation s'étend sur une surface de 57 m² dont 43m² habitable (chambre, salon, et cuisine) Les murs sont en panneau sandwich en polyuréthane (40mm), le revêtement extérieur est fait en bois (15mm) une lame d'air de (5mm) sépare les deux surfaces (bois/panneaux). Les fenêtres de l'habitation sont en PVC simple vitrage équipé des stores électrique (blanc) (**Figure 3.1**).



Figure 3.1. Plan 3D de la maison solaire UDES

La maison comporte aussi un comble, ainsi qu'un vide sanitaire. La toiture de la maison est en zinc avec un champ photovoltaïque qui occupe environ 75% de la surface exposé plain sud. L'enveloppe du bâtiment est constituée des éléments suivants (**Tableau 3.1**).

Tableau 3.1 : Eléments d'enveloppe de la maison

Façade	Eléments de façade	Surface (m ²)
nord	mur, fenêtres et porte	21,12
est	mur et fenêtres	13,11
sud	mur et fenêtres	21,12
ouest	mur et fenêtres	13,11
Toit	Panneau photovoltaïque	57.21
plancher bas+ seuil d'entrée	-	57.21

Le plan de la maison solaire de l'UDES est représenté (**Figure 3.2**)

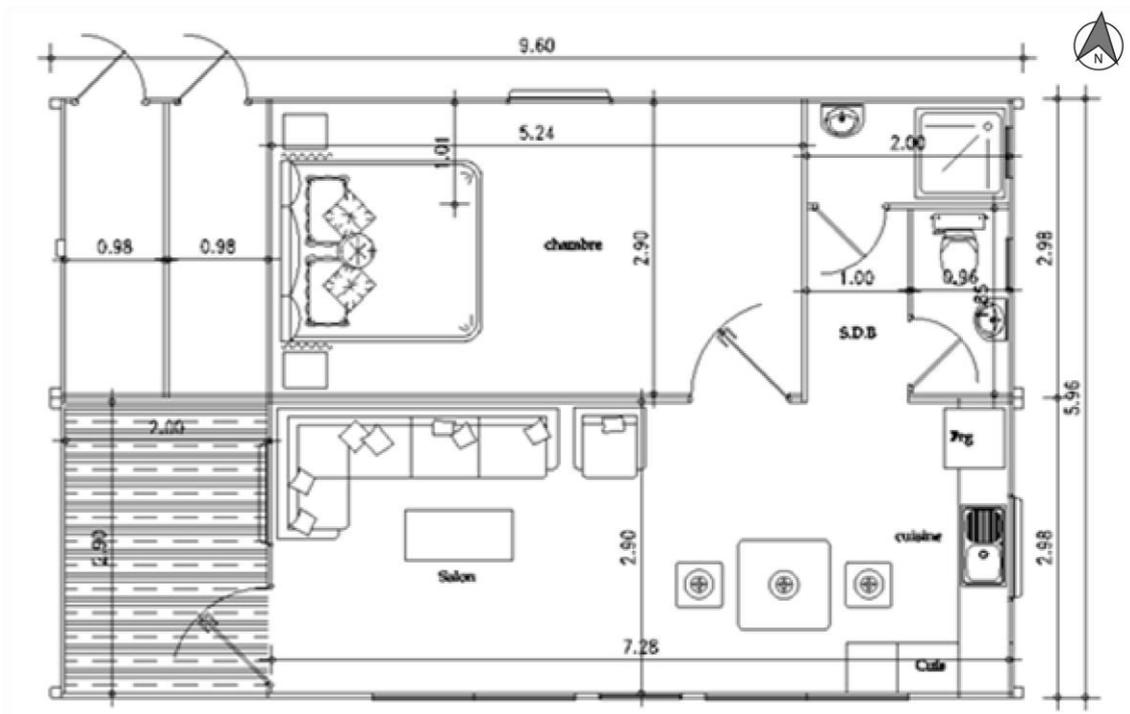


Figure 3.2 : Plan de la maison solaire UDES

2.2. Structure et détails des composants de l'enveloppe

Les calculs seront faits pour une seule variante de l'édifice avec un scénario d'occupation optimale de deux personnes, qui travail du 8h de matin au 16h tous les jours sauf le weekend. Le bâtiment sera considéré comme ayant une inertie de 80 kg/m². Pour le calcul des déperditions en hiver, on a tenu compte de la formule (**Equation.1**) du débit d'air réglementaire Q en fonction du volume habitable V_h et d'un taux de renouvellement d'air de 0,6 h⁻¹, dans notre cas d'étude Q= 56.8 m³/h.

$$Q = 0.6 * V_h \quad (1)$$

Dans le cas des calculs des apports en été, on a tenu compte de la méthode exposée dans le paragraphe 2 du chapitre 6 de la DTR/C 3-4 [32]. Le débit d'infiltration sera évalué pour chaque baies de l'édifice. Les données générales relatives au bâtiment et son utilisation sont résumés dans le (**Tableau 3.2**).

Tableau 3.2 : Caractéristiques du bâtiment

Distribution des pièces (m ²) [%]		Débit d'air d'infiltration [3]	
Salon et cuisine	21.7 (50.6 %)	Hauteur des fenêtres	1.5 m
Chambre	15.2 (35.4 %)	Surface des ouvertures	7.18 m ²
Salle de bain	6,0 (14.0 %)	Vent	Perpendiculaire aux murs
Surface totale	43 (100%)	Type de zone	bord de mer (rugosité I)

Par souci de simplicité : la hauteur moyenne est égale à 2.5 m. Les données de l'enveloppe de la maison sont résumées dans le **Tableau 3.3**. Par ailleurs, afin de simplifier et alléger les calculs, on négligera les éléments suivant :

- Déperditions en hiver : Néant
- Apports en été :
 - ✓ Apports par les parois vitrées intérieures.
 - ✓ Apports par les parois opaques intérieures en contact avec des locaux conditionnés.
 - ✓ Apports des machines entraînées par moteurs et les appareils électriques et les appareils à gaz.

Tableau 3.3 : Caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment [2/3]

Composant	Données		
toiture	Surfaces :	Composition de l'extérieur vers l'intérieur	
	A=51,2 m ²	Matériau	Conductivité
	A'= 43 m ²	Tôle shingle zinc	113W/m. °C
	K hiver = 0,613W/m ² . °C	Lame d'air	0.026
K été = 0,592W/m ² . °C	Polyuréthane	0.025	Epaisseur e (mm)
façade sud	A=21,12 m ²	Bois	0.23
	K hiver =0,595W/m ² . °C	Lame d'air	R=0.11
	K été = 0,606 W/m ² . °C	polyuréthane	0.025
	2fenêtres (2m×1m)		
façade est	A=13,11 m ²		
	1 fenêtre (1m×1m)		
	La même composition du mur de la façade sud		

façade ouest	A=13,11 m ² 1 fenêtre (1m×1m)	La même composition du mur de la façade sud		
façade nord	A=21,12 m ² 2 portes métaux (2m×1m) 1 fenêtre (1m×1m)	La même composition du mur de la façade sud		
Plancher bas	A=51.2 m ² (global) A'=43 m ² (habitable)	Composition de l'extérieur vers l'intérieur		
	K hiver = 0,32 W/m ² . °C K été =0,34 W/m ² . °C	Matériau	Conductivité	Epaisseur e
		bois	0.23W/m.°C	50 mm
		Couche de résine	-	-
Protection contre le soleil des fenêtres	Protection de type : verre à vitre : normal 2 à 3 mm : FS=1,0			
Eclairage artificiel	10 lampes néon P=10×15=150W Lampe LED P=2×5=10W Lampe sanitaire P=75 W Puissance d'éclairage totale P _{ecl} =235 W Chauffe-eau solaire P _{sol} =1120 W Panneaux PV (16 modules) Puissance crête = 800 Wc			

3. Ensemble des critères d'évaluation appliqués

3.1. Critère #01: Compacité du bâtiment

Les déperditions énergétiques dans le bâtiment dépendent de la géométrie de l'enveloppe. Les performances thermiques sont meilleures quand le rapport de la surface par le volume conditionné est faible [31].

Le facteur de compacité est évolué par le rapport entre la somme des surfaces des parois de l'enveloppe du bâtiment et son volume brute habitable, plus ce facteur est petit plus le bâtiment est compact donc une déperdition de chaleur par transmission moins importante. Les surfaces des parois opaque et non opaque sont données comme suit :

La surface de la toiture égale à celle de plancher bas $AT = AB = 51,42m^2$

Surface de la façade Nord: $Af-N = 9,6 \times 2,2m = 21,12m^2$

Surface de la façade Ouest 1: $Af-O1 = 2,2 \times 2,9m = 6,38m^2$

Surface de la façade Ouest 2: $Af-O2 = 2,2 \times 2,9m = 6,38m^2$

Surface de la façade Sud: $Af-S = 9,6 \times 2,2m - 4m^2 = 17,12m^2$

Surface de la façade East: $Af-E = 2,2 \times 5,96m = 13,11m^2$

$\Sigma A = (51,42 \times 2)m^2 + 21,12m^2 + (2 \times 6,38)m^2 + 17,12m^2 + 13,11m^2 = 166,95m^2$

Le volume brute habitable : $V = 95,44m^3$

Indicateur = $C = 166,95m^2 / 95,44m^3 = 01,74m^{-1}$

Tableau 3.4. Echelle de l'évaluation de l'indicateur C (critère #1)

Nombre	Indicateur	Check List points
1	Indicateur < 0,30	10
2	0,30 < Indicateur < 0,35	8
3	0,35 < Indicateur < 0,40	6
4	0,40 < Indicateur < 0,45	4
5	0,45 < Indicateur < 0,50	2
6	Indicateur > 0,50	0

3.2. Critère # 2 : Apports à travers les parois vitrées

Les apports énergétiques en été à travers les parois vitrées peuvent présenter une partie importante des sommes des apports d'un bâtiment. Ils peuvent être scindés en deux parties

- Les apports dus à la transmission thermique
- Les apports dus à l'ensoleillement

Ces apports dépendent des caractéristiques des fenêtres vitrée (vitrage, cadre, etc.) ainsi que des orientations et de la protection adoptée. Le deuxième critère comporte deux indicateurs :

Indicateur I : c'est le rapport entre les apports dus au gradient de température à travers les parois vitrées et les mêmes apports de référence (**Equation.2**)

$$\text{Indicateur I} = AVT / AVT_{\text{réf}} \quad (2)$$

Ou :

AVT [W] : apports dus au gradient de température.

AVTréf [W] : apports de référence dus au gradient de température.

Dans notre cas d'étude : AVT = 339.28W et AVT réf= 205,8 W

Indicateur I = $339.28 / 205,8 = 1,64$

Tableau 3.5. Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère #2)

Nr.	Indicateur	Check List points
1	Indicateur < 0,25	5
2	$0,25 < \text{Indicateur} < 0,45$	4
3	$0,45 < \text{Indicateur} < 0,65$	3
4	$0,65 < \text{Indicateur} < 0,85$	2
5	$0,85 < \text{Indicateur} < 1,05$	1
6	Indicateur > 1,05	0

Le nombre de points acquise pour cet indicateur est nul, cela signifie que le gradient de température entre l'extérieur et l'intérieur à travers les parois vitrés est très grand (simple vitrage 2 a 3mm). Les détails des calculs sont donnés par le (**annexe.1**).

Indicateur II : L'indicateur II est le rapport entre les apports dus à l'ensoleillement à travers les parois vitrées et les mêmes apports de référence (**Equation.3**).

$$\text{Indicateur II} = \text{AVE} / \text{AVE}_{\text{réf}} \quad (3)$$

AVE [W] : apports dus à l'ensoleillement

AVE réf [W] : apports de référence dus à l'ensoleillement

Dans notre cas d'étude AVE = 1036.28 W et AVE réf= 105,31 W

Indicateur II = $1036.28W / 105,31 W = 9.85$

Tableau 3.6. Echelle de l'évaluation de l'indicateur II (critère #2)

Nr.	Indicateur	Check List points
1	Indicateur $\leq 0,25$	5
2	$0,25 < \text{Indicateur} \leq 0,45$	4
3	$0,45 < \text{Indicateur} \leq 0,65$	3
4	$0,65 < \text{Indicateur} \leq 0,85$	2

5	$0,85 < \text{Indicateur} \leq 1,05$	1
6	Indicateur > 1,05	0

Le CLP obtenu pour cet indicateur est nul, égale à celui du premier indicateur, généralement les apports dus à l'ensoleillement sont les plus faibles, dans ce cas le type des vitrages a influencé sur son efficacité à la réflectivité des rayons de soleil, on note que le facteur de forme de vitrage utilisé est 1 (**F=1**). Ce type de vitrage transmette une grande partie des rayonnements solaire reçus sur sa surface ce qui induit a une élévation de température à l'intérieures de la maison c'est ce qu'on appelle « **l'effet de serre** ». Les détails des calculs sont donnés par le (**annexe 2**).

3.3. Critère #3 : Apports à travers les parois opaques

Le critère 3 comporte deux indicateurs

Indicateur I : c'est le rapport entre les apports de chaleur à travers les murs et les mêmes apports de référence (**Equation.4**).

$$\text{Indicateur I} = \text{APO}_{\text{mur}} / \text{A}_{\text{réf,PV}} \quad (4)$$

Ou :

APO mur [W] : Apports de chaleur à travers les murs.

Aréf, PV [W] : Apports de chaleur à travers les murs.

Dans le cas de notre bâtisse on a : $\text{APO}_{\text{mur}} = 353,51 \text{ W}$ et $\text{A}_{\text{réf,PV}} = 413,13 \text{ W}$

Indicateur I = $353,51 / 413,13 = \mathbf{0,85}$

Tableau.7 : Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère #3)

Nr.	Indicateur	Check List points
1	Indicateur $\leq 0,25$	5
2	$0,25 < \text{Indicateur} \leq 0,45$	4
3	$0,45 < \text{Indicateur} \leq 0,65$	3
4	$0,65 < \text{Indicateur} \leq 0,85$	2
5	$0,85 < \text{Indicateur} \leq 1,05$	1
6	Indicateur $> 1,05$	0

Le nombre de points acquis pour cet indicateur est deux (**02**), ceci signifie que les parois opaques extérieur plus particulièrement les murs, ne respecte pas les normes de l'isolation thermique, ou il présente une très grande déperdition de chaleur, sa résistance thermique est faible ($1,7752 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$), car les matériaux utilisées dans sa fabrication ont une grande conductivité thermique et une faille épaisseur.

Plus de détails des calculs sont donné par (**l'annexe 3**).

Indicateur II : C'est le rapport entre les apports à travers les toitures et les mêmes apports de référence (**Equation.5**). L'Indicateur II est égale **1,93**. Noice L'évaluation est donnée par le **tableau 3.10**.

$$\text{Indicateur II} = \text{APO}_{\text{toit}} / \text{A}_{\text{réf,PH}} \quad (5)$$

Dans le cas de notre maison : $\text{APO}_{\text{toit}} = 767,82 \text{ W}$ et $\text{A}_{\text{réf,PH}} = 689,32\text{W}$

Indicateur II= 1,11

Tableau 3.8. Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère #3)

Nr.	Indicateur	Check List points
1	Indicateur $\leq 0,25$	5
2	$0,25 < \text{Indicateur} \leq 0,45$	4
3	$0,45 < \text{Indicateur} \leq 0,65$	3
4	$0,65 < \text{Indicateur} \leq 0,85$	2
5	$0,85 < \text{Indicateur} \leq 1,05$	1
6	Indicateur $> 1,05$	0

Le CLP de cet indicateur est nul, donc la toiture de la maison a une faille résistance thermique, cela traduit par l'utilisation d'un matériau à forte conductivité thermique dans la construction à savoir la tôle de shingle (113W/m. °C). Les détails de calcul sont donnés par (**l'annexe 4**).

3.4. Critère #4 : Protection thermique en été

Le critère #4 comporte un seul indicateur appliqué aux différents murs extérieurs et toitures, La valeur note prise en compte sera la valeur minimale obtenue des différents éléments du bâtiment.

Cette évaluation fait l'objet de savoir la protection thermique en été appliqué dans cette construction, par le calcul des Taux des baies vitrées TBV [%], le Facteur solaire du

vitrage FS vitrage [-] ainsi que Les facteurs solaires des ombrage FS ombrage [-].
(Tableau 3.9).

Tableau 3.9. Evaluation du critère#4

Désignation & Orientation	Surfaces parties opaque (m ²)	Surfaces fenêtres (m ²)	Surfaces vitrées aux surfaces des fenêtres en (%)	F5 vitrage	F5 protection intérieure	F5 protection extérieure	F5 protection entre les vitres	F5 Totale	Facteur d'orientation s	Facteur totale \ facteur	CLP
Toit	51,4	0	0	0	0	0	0	0,000	0,7	0	-
Mur N	16,12	01	06,21	1	1	1	1	0,621	1,3	0,477	10
Mur E	11,61	1,5	12,91	1	1	1	1	1,291	01	1,291	00
Mur O	10,11	01	09,89	1	1	1	1	0,989	01	0,989	01
Mur S	17,12	04	23,36	1	1	1	1	2,336	1,15	2,031	01

le point de valeur minimale est 0 donc le CLP obtenu pour ce critère est 0.

Calcul automatique

Données

On détermine la surface des parois (murs extérieurs et toiture) et les fenêtres correspondantes selon les orientations. On calcule alors pour chaque orientation le pourcentage des fenêtres que l'on multiplie par les facteurs solaires du vitrage et des différentes protections. Selon le résultat, on affecte une notation qui varie de 0 à 10. Les calculs sont donnés par :

$$TBV = \frac{\text{Surfaces baies vitrés}}{\text{Surfaces baies vitrés} + \text{Surfaces baies opaques}} [\%] \quad (6)$$

$$FS \text{ total} = TBV * F_F * FS \text{ vitrages} * FSombrage1 * FSombrage2... [-] \quad (7)$$

Plus de détails sont données par les (annexes 5-6).

3.5. Critère #5 : Besoins en énergie en hiver

Le critère# 5 comporte quatre 4 indicateurs. Il est évalué par le tableau suivant :

Tableau 3.10. Evaluation du critère#5

Indicateur	Désignation	CLP	Note
Indicateur I : DT (W/°C)	Déperditions thermiques par transmission	2	2
Indicateur II : DR (W/°C)	Déperditions thermiques par renouvellement d'air	0	
Indicateur III : Q (W)	Puissance de chauffage fournie par une chaufferie	0	
Indicateur IV : ECh (kWh/a)	Les besoins en énergie de chauffage	0	

Indicateur I : Défini par le rapport entre les déperditions thermiques par transmission DT (w/°c) égale à 189,27 (W/°C) et les déperditions par transmission de référence DT réf égale à 266,83 (W/°C). Nous avons alors : Indicateur I= $189,27 / 266,83 = 0,71$ (**Tableau3.11**). On note, par ailleurs, que la température seuil T_{seuil} pour déterminer DJ hiver dans ce cas est de 18°C et $T_{moyen} = 5°C$, soit $DJ_{hiver} = 1131 °C.Jour$

Tableau 3.11. Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère#5)

Nr.	Indicateur	Check List points
1	Indicateur $\leq 0,30$	5
2	$0,30 < \text{Indicateur} \leq 0,50$	4
3	$0,50 < \text{Indicateur} \leq 0,70$	3
4	$0,70 < \text{Indicateur} \leq 1,05$	2
5	Indicateur $> 1,05$	1

Le CLP obtenu pour cet indicateur est deux (**02**), c'est-à-dire que les murs extérieurs de cette construction assurent 84% de l'isolation thermique par rapport aux mêmes de références.il reste a amélioré l'isolation pour obtenir une isolation de référence ainsi qu'une autre amélioration pour atteindre à la norme national qui est bien décrite dans les documents techniques règlementaires C 3-2/4. (**annexe.7**)

Indicateur II : Déperditions thermiques par renouvellement d'air $DR = 95,55 \text{ W}/^\circ\text{C}$ et les déperditions par transmission de référence $D_{\text{réf}} = 266,83 \text{ W}/^\circ\text{C}$, l'Indicateur II est égale au rapport de $DR/D_{\text{réf}} = 0,35$.

Tableau 3.12. Echelle de l'évaluation de l'indicateur II (critère#5)

Nr.	Indicateur	Check List points
1	Indicateur $\leq 0,15$	2
2	$0,15 < \text{Indicateur} \leq 0,28$	1
3	Indicateur $> 0,28$	0

Les détails des calculs sont représentés dans les **(annexe 8)**.

Indicateur III : Puissance de chauffage fournie par une chaufferie Q (W).

L'enceinte de la température de consigne pour le chauffage est fixé 21°C , et la température sèche de base extérieur T_{be} est 6°C . La valeur de référence de chauffage est :

$$Q_{\text{réf}} = 0,7 \times (21^\circ\text{C} - T_{be}) \times [(1,15 \times DT_{\text{réf}}) + (0,25 * 1,15 \times DT_{\text{réf}})] \text{ (W)} \quad \text{(8)}$$

$$Q_{\text{réf}} = 0,7 \times (21^\circ\text{C} - 6^\circ\text{C}) \times 383,56 \text{ W}/^\circ\text{C} = 4,027 \text{ kW}$$

D'autre part la valeur de la puissance de chauffage est : **(annexe.9)**

$$Q = (21^\circ\text{C} - T_{be}) \times [(1 + \text{Max}(Cr ; Cin)) \times DT + (1 + Cr) \times DR] \text{ (W)} \quad \text{(9)}$$

$$Q = 5,5 \text{ kW}$$

On a alors : Indicateur III = $5,5 / 4,027 = 1,36$

Tableau 3.13. Echelle de l'évaluation de l'indicateur III (critère#5)

Nr.	Indicateur	Check List points
1	Indicateur $\leq 0,15$	2
2	$0,50 < \text{Indicateur} \leq 1,00$	1
3	Indicateur $> 1,00$	0

Tant que la puissance de chauffage est liée directement aux déperditions thermiques total, il est logique d'estimé une puissance de chauffage nécessaire d'environ **5,5 KW** pour compenser les pertes en chaleur induites par l'enveloppe de bâtiment, et donc assurer un confort thermique stricte (21°C), cette puissance est très grande pour une maison d'une superficie habitable de 43 m^2 .

Indicateur IV : Les besoins en énergie en hiver E_{Ch} (kWh/a).

L'évaluation énergétique de n'importe quel Bâtiment est généralement définie comme la quantité d'énergie en (KWh/a) a consommé par une habitation pendant toute l'année, pour satisfaire les besoins de chauffage, plusieurs méthodes existent qui vise dans le même sens. Nous nous somme intéressé à la méthode algérienne décrite dans la réglementation thermique de bâtiment.

On va déterminer respectivement les besoins d'énergie en hiver E_{Ch} et la valeur de référence de ces mêmes besoins $E_{Ch\text{ réf}}$.

$$E_{Ch} = (DT + DR) \times DJ \text{ hiver} \times 24 \times 1 / 1000 \text{ (kWh/a)} \quad (10)$$

Ou :

DT (W/°C) sont les déperditions par transmission

DR (W/°C) sont les déperditions par renouvellement d'air

DJ hiver est le degré de jour unifie pour l'hiver a Bou-Ismaïl est 1006°C .jour ?

$$E_{Ch} = (189,27 + 95,55) \times 1006 \times 24 \times 1 / 1\ 000 \text{ (kWh/a)}$$

$$E_{Ch} = \mathbf{6876,7} \text{ (kWh/a)} \text{ soit : } \mathbf{187,8} \text{ (kWh/a.m}^2\text{)}$$

D'autre par les besoins de références sont donné comme suit :

$$E_{Ch\text{ réf}} = (DT_{\text{ réf}} + DR_{\text{ réf}}) \times DJ \text{ hiver (base } 15^\circ\text{C)} \times 24 \times 1 / 1\ 000 \text{ (kWh/a)} \quad (11)$$

$$E_{Ch\text{ réf}} = 0,03 \times DJ \text{ hiver, } 15^\circ\text{C} \times DT_{\text{ réf}} \text{ (kWh/a)}$$

$$E_{Ch\text{ réf}} = 0,03 \times 649 \times (266,83) \text{ (kWh/a)}$$

$$E_{Ch\text{ réf}} = \mathbf{5195} \text{ (kWh/a)} \text{ soit : } \mathbf{141,9} \text{ (kWh/a.m}^2\text{)}$$

Il vient alors que :

$$\mathbf{\text{Indicateur IV} = E_{Ch} / E_{Ch\text{ réf}}} \quad (12)$$

$$\mathbf{\text{Indicateur IV} = (8824, 5 \text{ kWh/a}) / (5195 \text{ kWh/a}) = \mathbf{1,32}}$$

Tableau 3.14. Echelle de l'évaluation de l'indicateur IV (critère#5)

Nr.	Indicateur	Check List points
1	Indicateur $\leq 0,15$	2
2	$0,50 < \text{Indicateur} \leq 1,00$	1
3	Indicateur $> 1,00$	0

Comme pour les puissances de chauffage, les besoins en énergie pour le chauffage et la valeur de références de ces même dépend fortement des déperditions thermiques total induites par l'enveloppe de bâtiment. Le résultat obtenu pour cet indicateur (CLP=0) signifie que la maison est très énergivore, il est donc préférable de revoir dans l'isolation et le choix de matériaux de construction utilisés.

3.6. Critère#6 : Apports en énergie en été

Le critère #6 comporte trois (03) indicateurs (**Tableau 3.15**).

Les apports énergétiques en été dépendent entre autres de l'enveloppe du bâtiment, des matériaux constituant les parois opaques, du taux et de la qualité des baies vitrées, ainsi que des orientations des différentes façades.

Ces apports sont en rapport direct avec la consommation en énergie du bâtiment en été.

Tableau 3.15. Evaluation du critère#6

Indicateur	Désignation	CLP	Note
Indicateur I : APO (W)	Apports thermiques à travers les parois opaques	0	0
Indicateur II : AV (W)	Apports thermiques à travers les parois Vitrées	0	
Indicateur III : E_{clim} (kWh/a)	Besoins en énergie pour le refroidissement en été	0	

Indicateur I : apports thermiques à travers les parois opaques

Les apports à travers les parois opaques sont constitués par les apports à travers les parois verticales et les apports à travers les parois horizontales. L'indicateur I du critère #6 est défini par (**Equation.13**):

- Parois verticales sont les murs extérieurs et les murs en contact avec les locaux non conditionnés (les murs en contact avec LNC)

- Parois horizontales représentent les toits, le plafond, le sous-sol (le plancher haut et bas)

Le tableau suivant résume les apports de chaleur et de références de ces mêmes apports :

Tableau 3.16. Apports à travers les parties opaques (critère #6)

Eléments	Apports (w)	Apports de références (w)
Murs extérieurs et les murs en contact avec LNC	353,52	413,13
Toit	767,82	689,44
Sols : plancher bas	0	0
Portes	259,4	21,00
Total	1380,75	1123,5

On remarque que les apports de chaleur introduites par le toit représente la grande partie des apports à travers les parois opaques, et que les apports de la part de sol est inférieur à celui de référence ce qu'est un point positive. Pour plus de détails voir **(annexes 10-11)**.

$$\text{Indicateur I} = \text{APO} / (\text{A}_{\text{réf PH}} + \text{A}_{\text{réf, PV}}) \quad (13)$$

$$\text{Indicateur I} = 1380,75 / 1123,5 = \mathbf{1,22}$$

Tableau 3.17. Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère #6)

Nr.	Indicateur	CLP
1	Indicateur $\leq 0,30$	4
2	$0,30 < \text{Indicateur} \leq 0,50$	3
3	$0,50 < \text{Indicateur} \leq 0,70$	2
4	$0,70 < \text{Indicateur} \leq 1,05$	1
5	Indicateur $> 1,05$	0

Le CLP pour cet indicateur est nul, ce qui veut dire que les apports de chaleur à travers les parois verticales sont très intensifs, ce sont des murs préfabriqués en panneaux sandwich, liégé et à une faible résistance thermique avec une mauvaise étanchéité à l'air, le facteur le plus important dans les nouvelles constructions est le niveau d'isolation thermique qu'est presque absent dans cet édifice.

Indicateur II : apports thermiques à travers les parois vitrées

Les apports de chaleur à travers les parois vitrés sont constitués par les apports dus la transmission thermique et dus à l'ensoleillement. L'indicateur II du critère #6 est défini par (**Equation.14**):

Les apports à travers s parois vitrées sont résumés par le tableau suivant :

Tableau 3.18. Apports à travers les parois vitrées (critère #6)

Eléments	Apports[w]	Apports de références[w]
Parois vitrées extérieures	1 078,45	279,95
Parois vitrées intérieurs	0	0
Total	1 078,45	279,95

L'indicateur II est donné par :

$$\text{Indicateur II} = AV / A_{\text{réf PVI}} \quad (14)$$

Donc :

$$\text{Indicateur II} = 1\,078,45W / 279,95W = 3,85$$

L'évaluation de l'indicateur II du critère#6 est donnée par le tableau ci-dessous

Tableau 3.19. Echelle de l'évaluation de l'indicateur II (critère #6)

Nr.	Indicateur II	Check List points
1	Indicateur $\leq 0,30$	4
2	$0,30 < \text{Indicateur} \leq 0,50$	3
3	$0,50 < \text{Indicateur} \leq 0,70$	2
4	$0,70 < \text{Indicateur} \leq 1,05$	1
5	Indicateur $> 1,05$	0

Le CLP obtenu pour cet indicateur est nul, ce qui va influencer directement sur l'indicateur suivant à savoir les besoins en énergies pour le refroidissement. Plus de détails des calculs dans les (**annexe 12-13**).

Indicateur III : besoins en énergie pour le refroidissement en été

Pour estimer les besoins en énergies pour le refroidissement en été (KWh/an), il suffit de calculé les apports thermique totales (à travers les parois opaques et vitrées) et les apports internes dus aux occupants et aux appareils électriques et mécaniques, pour les multipliés

par le degré de jour chaleur correspond au bâtiment et à la région d'étude. Les apports à travers les parois opaques et vitrées soit résumés par le (**tableau 3.20**).

Tableau 3.20. Apports à travers les parois opaques et vitrées (critère #6)

Eléments	Apports(w)	Apports de références(w)
Murs extérieurs et les murs en contact avec LNC	353,51	413,13
Toit	767,82	689,44
Sols : plancher bas	0	0
Parois vitrées extérieures	1 078,45	279,95
Parois vitrées intérieurs	0	0
Portes	259,42	21,00
Total	2459,2	1403,52

Les apports par introduction d'air égale à 597,85 W et les apports dus aux charges internes seront estimés à 595 W. La surface a conditionné est de 36,6 m². L'énergie nécessaire au refroidissement a pour expression (**Equation.15**). Le facteur de DJ_{chaleur} pour Bou-Ismaïl est de 91 jours correspondant à un bâtiment non isolé.

$$E_{\text{clim}} \text{ (kWh/a)} = (A_{\text{PO}} + A_{\text{V}} + A_{\text{air}} + A_{\text{interne}}) \times DJ_{\text{chaleur}} \times 0,024 \quad (15)$$

Il vient donc que :

$$E_{\text{clim}} \text{ (kWh/a)} = (2459,2 + 597,85 + 595) \times 91 \times 0,024 = 3652 \times 91 \times 0,024$$

$$E_{\text{clim}} = \mathbf{7976} \text{ (kWh/a)} \quad \text{Soit: } \mathbf{218} \text{ kWh/ (a.m}^2\text{)}$$

L'énergie de référence a pour expression :

$$E_{\text{clim réf}} = [A_{\text{réf total}} + 0,25 \times A_{\text{réf total}}] \times DJ_{\text{chaleur réf}} \times 0,024 \quad (16)$$

Ou :

$$A_{\text{réf total}} = A_{\text{réf PH}} + A_{\text{réf PV}} + A_{\text{réf PVI}}$$

Le facteur de J_{chaleur réf} pour Bou-Ismaïl, est de 95 jours On a alors :

$$E_{\text{clim réf}} = [(1403,52) + 0,25 (1403,52)] \times 95 \times 0,024$$

$$E_{\text{clim réf}} = \mathbf{4000} \text{ kWh/a} \quad \text{soit: } \mathbf{109,29} \text{ kWh/ (a.m}^2\text{)}$$

Indicateur III = 7976/4000

Indicateur III = 1,99

Tableau 3.21. Echelle de l'évaluation de l'indicateur III (critère #6)

Nr.	Indicateur III	CLP
1	Indicateur $\leq 0,30$	2
2	$0,30 < \text{Indicateur} \leq 0,70$	1
3	Indicateur $> 0,7$	0

Le CLP obtenu pour cet indicateur est nul, cela peut être justifié par les hauts besoins en climatisation qui arrive jusqu'au **7976** KWh/an, c'est un chiffre gigantesque pour une habitation de deux pièces, et pour comprendre bien la quantité d'énergie a consommé par le système de climatisation afin de satisfaire les besoins de confort, nous allons comparer le résultat obtenu pour 1 mètre carré de surface a climatisé par ces même dans les habitations a base consommation.

Pour notre cas **218** kWh/ (a.m²) est. Nécessaires afin de mesurer une température de 26°C à l'intérieur de la maison, d'autre part dans les maisons a base consommations énergétiques ce chiffre est diviser par trois.

On peut analyser sa par deux points, le premier est la relation avec l'espace a conditionnée ou dans cette habitation le climatiseur est placé dans la première zones contenant à la fois le salon et la cuisine, ces deux pièces généralement ne sont pas conditionnées par contre la chambre (pièce de vie) considéré comme une zone de confort nécessite un conditionnement, si on fait sa les besoins de climatisation seront diviser par 3.

Le deuxième point est l'isolation thermique du bâtiment qui influe majoritairement sur les besoins de chauffage en hiver et de refroidissement en été. Mieux le bâtiment est isolé moins ces besoins en énergie sont estimés.

Les détails de calculs sont donnés par les (**annexes14-15**).

3.7. Critère #7: Emission de CO2

Le critère 7 comporte un seul indicateur appliqué à la somme des émissions en CO₂ pendant l'été et l'hiver (**Tableau 3.22**).

Le secteur de bâtiment est responsable sur une grande partie des émissions des gaz à effet de serre (dioxyde de carbone CO₂), et cela peut être justifié par l'introduction massives des

machines électroménagères plus particulièrement les climatiseurs, qui émettent environ 1600 kg de CO₂ par an pour chaque climatiseur.

Tableau 3.22. Evaluation de l'indicateur I (critère#7)

Indicateur	Désignation	CLP	Note de critère
Indicateur I	Emission de CO ₂	2,5	2,5

Nous allons faire une évaluation des rejets de GES selon le combustible utilisé dans la période hivernale et estivale. Plus de détails sont donnés par les (tableaux 3. 23,24 et 25).

Tableau 3.23. Evaluation du critère#7

Besoins en énergie en hiver (kWh/a)	6876,7
Besoins en énergie en été (kWh/a)	07976
Besoins en énergie de référence en hiver (kWh/a)	5195
Besoins en énergie de référence en été (kWh/a)	4000
F _{ref, hiver} : Facteur de référence des émissions de CO ₂ en (hiver) (g/kWh)	202
F _{ref, été} : Facteur de référence des émissions de CO ₂ en (été) (g/kWh)	680

Tableau 3.24. Pourcentage en énergie utilisée selon le combustible utilisé

Combustible	Hiver (%)	Eté (%)
Fuel domestique	-	-
Fuel lourd	-	-
Gasoil	-	-
GPL	-	-
Gaz naturel	55	-
Electricité	45	78
ENR	-	22

Tableau 3.25. Mass CO₂ (Kg CO₂/an)

M réf co ₂ (Kg CO ₂ /an)	4288,43
M _{co₂} (Kg CO ₂ /an) en hiver	2868,27
M CO ₂ (Kg CO ₂ /an) en été	4230,47
M CO ₂ (Kg CO ₂ /an) global	7098,74

L'indicateur pour ce critère est comme suit :

$$\text{Indicateur I} = M \text{ CO}_2 / M \text{ réf CO}_2 \quad (17)$$

Indicateur I = 7098,74 /4288,43=1.65, Le CLP est 2. 5 et par suite, le point obtenu pour ce critère est 2,5 (Tableau 3.26).

Tableau 3.26. Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère#7)

Nr.	Indicateur	Check List points
1	Indicateur $\leq 0,50$	10
2	$0,50 < \text{Indicateur} \leq 1,00$	7,5
3	$1,00 < \text{Indicateur} \leq 1,50$	5
4	$1,50 < \text{Indicateur} \leq 2,00$	2,5
5	Indicateur $> 2,00$	0

Lorsque malgré, les combustibles utilisés dans le chauffage et la climatisation et l'intervention le facteur d'énergies renouvelables avec un pourcentage faible 10% en été, les émissions de CO2 sont diminuées d'une façon très prometteuse.

3.8. Critère#8: Utilisation des énergies renouvelables

Le critère 8 comporte un indicateur R [%]. L'indicateur est le rapport de la somme des puissances des énergies renouvelables à la somme des déperditions en hiver, apport en été et la puissance des équipements d'eau chaude sanitaire (**Tableau 3.27**).

Tableau 3.27. Evaluation de l'indicateur I (critère#8)

Indicateur	Désignation	CLP	Note
R [%]	Rapport de la somme des puissances des énergies renouvelables à la somme des déperditions en hiver, apport en été et la puissance des équipements d'eau chaude sanitaire.	8	8

Tableau 3.28. Evaluation du critère#8

Déperditions en hiver [w/c]	189,27
P _{dep.} Puissance en hiver [w]	5500
P _{app} : apports en été [w]	3652
P _{ecs} : Puissances des équipements ECS [w]	0
Tex [°C] 3	Tint [°C] 21

Chauffe-eau solaire	
Surface [m ²]	2
Rendement	0.56
Puissance [W]	1120
Panneaux photovoltaïques	
Puissance peak (crête) [Wc]	800

- **Calcul simplifié :**

$$R [\%] = [P_{sol} + P_{pv} + P_{autre}] / [P_{dep} + P_{app} + P_{ECS}] \quad (18)$$

Où :

P_{dep} [W] : la puissance en hiver.

Pecs [W] : la puissance des équipements d'eau chaude sanitaire.

Ppv [Wc] : la puissance photovoltaïque crête.

Pautre [W] : autre puissance (éolienne, biomasse, ...).

Psol [W] : la puissance du chauffe-eau solaire.

La puissance en hiver

$$P_{dep} = DT \times \Delta T$$

$$P_{dep} = 217,50 \times (21-3) = \mathbf{3915W}$$

La puissance du chauffe-eau solaire est calculée selon la formule :

$$\mathbf{P_{sol} = \eta \times S \times \Phi \quad [W] \quad (19)}$$

Où :

η [-] : le rendement du chauffe-eau solaire.

S [m²] : la surface utile du chauffe-eau solaire.

Φ [W/m²] : le flux lumineux de base pris égal à 1000 W/m².

$$P_{sol} = 0,56 \times 2 \times 1000 = \mathbf{1120W}$$

$$R [\%] = [1120 + 800 + 0] / [5500 + 3652 + 0] = 0,209$$

$$\mathbf{R [\%] = 20,9}$$

L'échelle d'évaluation (**Tableau 3.29**). Le CLP pour cet indicateur est **8** donc le point obtenu pour ce critère est **8**.

Tableau 3.29. Echelle de l'évaluation de l'indicateur (critère#8)

Nr.	Indicateur	Check List points
1	Indicateur $\geq 25\%$	10
2	20% \leq Indicateur $<$ 25%	8
3	15% \leq Indicateur $<$ 20%	6
4	10% \leq Indicateur $<$ 15%	4
5	05% \leq Indicateur $<$ 10%	2
6	Indicateur $<$ 05%	0

Un CLP de **8** pour le critère d'utilisation des énergies renouvelables (ENR) est vraiment raisonnable, car e effet la maison est dite (solaire), un ratio de 21,8% signifie que la maison utilisé presque 22% comme source d'énergies domestique des ENR avec une variété entre le photovoltaïque et le solaire thermique, mais il reste encore à revoir dans le chauffage et le rafraichissement solaire car ce sont les facteurs les plus gourmand en énergie.

3.9. Critère#9 : Puissance électrique

Le critère 9 comporte un seul indicateur appliqué à la partie de puissance électrique dans la production de la chaleur, du froid et de l'éclairage artificiel (**annexe16**). On comptabilise seulement la part de la puissance électrique assurée par le réseau public, on ne tiendra pas compte d'éventuelles sources électriques et notamment émanant des sources d'énergies renouvelables telles les modules photovoltaïques.

Tableau 3.30. Evaluation de l'indicateur (critère#9)

Indicateur	Désignation	CLP	Note de critère
Indicateur	Puissance électrique	0	0

Calcul simplifié :

P_{dép} [W] : Puissance des déperditions en hiver **5500W**

Y_{dép} [-] : Puissance de chauffage assurée par le réseau électrique **45%**

P_{app} [W] : Puissance des apports en été **3652 W**

Y_{app} [-] : Puissance de refroidissement assurée par le réseau électrique.**78%**

P_{écl.}[W] :Puissance de l'éclairage artificiel **235 W**

Y_{écl.}[-] : Puissance de l'éclairage artificiel assurée par le réseau électrique **0 %**

Par définition l'Indicateur I : taux de l'utilisation de la puissance électrique provenant du réseau (**Equation.20**).

$$\text{Indicateur I} = (P_{\text{dép}} \times Y_{\text{dép}} + P_{\text{app}} \times Y_{\text{app}} + P_{\text{écl}} \times Y_{\text{écl}}) / (P_{\text{dép}} + P_{\text{app}} + P_{\text{écl}}) \quad (20)$$

$$\text{Indicateur I} = (5500 \times 0,45 + 3652 \times 0,78 + 235 \times 0) / (5500 + 3652 + 235)$$

$$\text{Indicateur I} = \mathbf{0,56 \%}$$

Tableau 3.31. Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère#9)

Nr.	Indicateur	Check List points
1	Indicateur $I \leq 0,10$	10
2	$0,10 < \text{Indicateur } I \leq 0,20$	8
3	$0,20 < \text{Indicateur } I \leq 0,30$	6
4	$0,30 < \text{Indicateur } I \leq 0,40$	4
5	$0,40 < \text{Indicateur } I \leq 0,50$	2
6	Indicateur $I > 0,50$	0

3.10. Critère#10 : Économie

Le critère 10 comporte un seul indicateur, On évalue deux grandeurs C et $C_{\text{réf}}$ telle que, C le coût des besoins énergétiques annuels pour le chauffage et du refroidissement (DZD/a) et $C_{\text{réf}}$ coût des besoins énergétiques annuels de référence (DZD/a). (**annexe17**).

Tableau 3.32. Evaluation de l'indicateur I (Critère#10)

Indicateur	Désignation	CLP	Note de critère
C [DZD/an]	Le coût de la consommation en énergie annuelle.	0	0

- **Description de la méthode:**

Les grandeurs de comparaison sont évaluées comme suit :

$$C = \sum (E_i \times I_i) \quad (21)$$

$$C = 12521 \times 269075,75 \text{ [DZD/an]}$$

Où :

E_i [kWh/an] : Le besoin énergétique annuel, pour le chauffage ou le refroidissement, couvert par la source d'énergie « i ».

I_i [DZD/kWh] : Le coût correspondant au kWh du combustible ou électrique ayant

Servi à la production de l'énergie E_i

$$C_{\text{réf}} = (E_{\text{réf hiver}} \times I_{\text{réf hiver}}) + (E_{\text{réf été}} \times I_{\text{réf été}}) \quad (22)$$

Ou :

Chapitre III : Evaluation de l'efficacité énergétique et de durabilité de la maison solaire

$E_{\text{réf hiver}}$ [kWh/a] : besoin d'énergie de référence en hiver

$I_{\text{réf hiver}}$ [DZD/kWh] : Le coût du kWh produit par le gaz naturel qui est pris comme

Combustible de référence en hiver.

$I_{\text{réf hiver}} (I_{\text{gaz}}) = 0.30$ [DZD/kWh]

$E_{\text{réf été}}$ [kWh/a] : l'énergie de référence consommée en été

$I_{\text{réf été}}$ [DZD/kWh] est le coût du kWh d'origine électrique qui est pris comme combustible de référence en été.

$I_{\text{kWh élec}} = 4.17$ [DZD/kWh]

L'énergie verte (le kWh électrique produit par des sources d'énergies renouvelables) sera prise en compte, il lui sera attribué un coût forfaitaire de 75% du kWh en provenance du réseau, afin d'encourager son utilisation.

Tableau 3.33. Evaluation du critère#10

Besoins en énergie en hiver (kWh/a) :	6876,7
Besoins en énergie en été (kWh/a) :	7976
Energie verte produite en hiver (kWh/a) :	510.0
Energie verte produite en été (kWh/a) :	509.2
Besoins en énergie de référence en hiver (kWh/a) :	5195
Besoins en énergie de référence en été (kWh/a) :	4000
Prix du combustible de référence en hiver (DZD /KWh) :	0.30
Prix du combustible de référence en été (DZD /KWh) :	4.17

Tableau 3.34. Pourcentage en énergie utilisée selon le combustible (critère#10)

Combustible	Hiver		Eté	
	%	Coût (DZD)	%	Coût (DZD)
Fuel domestique	-	-	-	-
Fuel lourd	-	-	-	-
Gasoil	-	-	-	-
GPL	-	-	-	-
Gaz naturel	55	0,30	-	0,30
Electricité	40	4,17	78	4,17
Electricité verte	05	3,50	22	3,50

Tableau 3.35. Evaluation du cout (DZD/an) (critère#10)

Cout [DZD/an]	45892,6	CLP	0
Cout de référence [DZD/an]	18238,5		
Indicateur	2.61		

On définit l'indicateur I comme étant le rapport entre C et de C_{réf}

$$\text{Indicateur I} = C/C_{\text{réf}} \quad (23)$$

Indicateur I=45892,6/18238,5= **2,51**

Tableau 3.36. Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère#10)

Nr.	Indicateur I	Check List points
1	Indicateur I ≤ 0,50	10
2	0,50 < Indicateur I ≤ 1,00	7,5
3	1,00 < Indicateur I ≤ 1,50	5
4	1,50 < Indicateur I ≤ 2,00	2,5
5	Indicateur I > 2,00	0

3.11. Critère#11 : Spécifications des éléments du bâtiment

Le critère évolue un facteur s'appelle « Ilot » qui est défini comme un phénomène climatique « Ilot de chaleur urbain » constitue un enjeu en matière d'économie d'énergie et au changement climatique dans les prochaines années, selon l'échelle d'évaluation de ce critère la description du microclimat extérieur et les sources responsables sur ce phénomène exige une documentation très large sur les matériaux de toiture et de placage de l'immeuble ainsi que la construction des installations extérieures et de leurs caractéristiques avec quatre niveaux , par le souci de confinement, nous n'avons pas pu traiter ce critère, c'est-à-dire que la description n'est pas remplie donc le point obtenu pour ce critère est nul.

3.12. Critère#12 : Spécifications des équipements techniques

Pour évaluer les équipements techniques d'un point de vue efficacité énergétique, on examine les chaudières, les équipements produisant du froid, les canalisations et enfin le contrôle et la régulation. La classification des chaudières sera faite selon la technologie de la chaudière.

Les équipements produisant le froid seront évalués selon leurs COP et la présence des calorifugeages des canalisations sera vérifiée. Enfin, le type du contrôle ou de la régulation sera évalué.

Indicateur I : Technologie et rendement de chaudière utilisée. Les chaudières à condensation seront préférées aux chaudières classiques.(un choix personnelle)

Tableau 3.37. Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère#12)

Nr.	Indicateur I	Check List points
1	Chaudière à condensation	3
2	Chaudière classique avec : $\eta > 0,95$	2
3	Chaudière classique avec : $0,90 \leq \eta < 0,95$	1
4	Chaudière classique avec : $\eta < 0,90$	0

Indicateur II : COP_{moy} : la moyenne calculée des COP des différents appareils de Refroidissement. Le COP_{moy} est calculé selon la (**Equation.24**)

$$COP_{moy} = \Sigma (COP_i \times P_i) / \Sigma P_i \quad (24)$$

Où :

COP_i : Le coefficient de performance de l'équipement ayant une puissance thermique P_i

$$COP_{moy} = (3576 \times 3 + 245 \times 4) / 3821 = 3,06$$

$$Indicateur II = COP_{moy} / = COP_{réf} \quad (25)$$

On prend $COP_{réf} = 3.5$

$$Indicateur II = 0,87$$

Tableau 3.38. Echelle de l'évaluation de l'indicateur II (critère#12)

Nr.	Indicateur	Check List points
1	Indicateur II > 1,00	3
2	0,80 < Indicateur II ≤ 1,00	2
3	0,60 < Indicateur II ≤ 0,80	1
4	Indicateur II < 0,60	0

Indicateur III : La présence des calorifugeages des canalisations traversant les espaces non conditionnés. Cet indicateur sera vérifié si toutes les canalisations traversant les espaces non conditionnés sont calorifugées en fonction du diamètre et de la nature de la canalisation.

Tableau 3.39. Echelle de l'évaluation de l'indicateur III (critère#12)

Nr.	Indicateur	Check List points
1	Indicateur III vérifié	2
2	Indicateur III non vérifié	0

Indicateur IV : Le type du contrôle ou de la régulation des éléments de l'installation (Chaudière, CTA, radiateurs, convecteurs, climatiseurs, ventilo-convecteurs, etc.)

Deux situations seront prévues :

Indicateur IV (situation 1) : tous les équipements sont équipés d'une régulation Automatique (chaîne de régulation, vannes 3 voies, thermostats, etc.).

Indicateur IV (situation 2) : Il existe au moins un équipement non équipé de régulation

Tableau 3.40. Echelle de l'évaluation de l'indicateur IV (critère#12)

Nr.	Indicateur	CLP
1	Indicateur IV : situation 1	2
2	Indicateur IV : situation 2	0

3.13. Critère#13 : Le confort (température et lumière du jour)

Le confort présente une priorité primordiale pour toute architecte ou énergéticien de bâtiment, ou le rôle de la maison est d'assurer un strict minimum de confort plus particulièrement thermique et lumineux. Dans cette évaluation on va voir combien la maison est confortable. Le critère comporte 4 indicateurs sont évalués dans le (**tableau 41**)

Tableau 3.41. Evaluation du critère de confort (critère#13)

Indicateur	Désignation	CLP	Note de critère
Indicateur I (°C)	Différence de température entre la température intérieure et la température de surface du toit	2	2
Indicateur II (°C)	Différence de température entre la température intérieure et la température de surface du mur extérieur	2	
Indicateur III (°C)	Différence de température entre la température intérieure et la température de surface du vitrage.	0	
Indicateur IV	Surface minimale des vitrages	0	

Indicateur I : La différence de température entre la température intérieure et la température de surface du plafond.

$$\text{Indicateur I} = T_{si} - T_i \quad (26)$$

Ou :

Ti: la température intérieure [C°].

TSi: température de surface du plafond [C°].

Ti=21°C ; TSi=20,14 C° il vient alors que : Tsi- Ti= **1,14 °C**

Tableau 3.42. Echelle de l'évaluation de l'indicateur I (critère#13)

Nr.	Indicateur	CLP
1	Indicateur I < 2 °C	2
2	2 °C ≤ Indicateur I ≤ 3 °C	1
3	Indicateur I > 3 °C	0

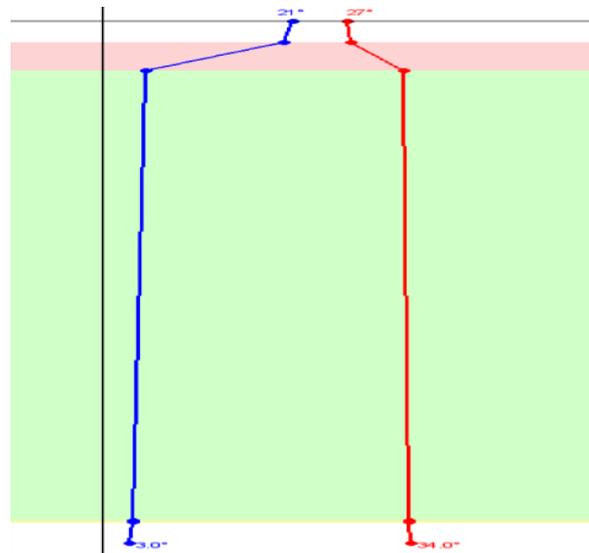


Figure 3.3. Profile de température de l'intérieur vers l'extérieur

La figure ci-dessus représente les profils de températures de l'intérieur de la maison vers l'extérieur pour la toiture, la ligne en bleu représente la température durant la période hivernal ou la température intérieur est fixé 21°C et la température extérieur de base est de 3°C .La deuxième ligne en rouge représente le profil de température en l'été ou la température à l'intérieur est fixé 27°C et la température extérieur de base est 34°C

Indicateur II : La différence de température entre la température intérieure et la température de surface du mur extérieur.

$$\text{Indicateur II} = T_{si} - T_i \quad (27)$$

Ti: la température intérieure (C°)

T_{si} : température de surface du mur extérieur (C°)

On a le résultat suivant : T_{si} - T_i = 21 - 19,98 = **1,02°C**

Tableau 3.43. Echelle de l'évaluation de l'indicateur II (critère#13)

Nr.	Indicateur	CLP
1	Indicateur II < 2 °C	2
2	2 °C ≤ Indicateur II ≤ 3 °C	1
3	Indicateur II > 3 °C	0

La figure ci-dessous représente les profils de températures de l'intérieur de la maison vers l'extérieur pour les murs extérieurs qui travers les couches composantes. (Même définition que le profil précédant) .

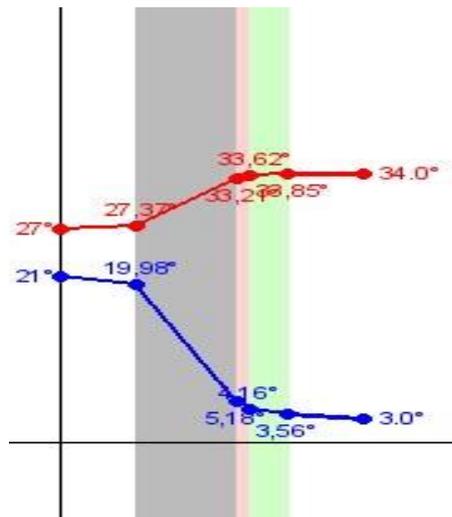


Figure 3.4. Profile de température de l'intérieur vers l'extérieur des murs

Indicateur III : La différence de température entre la température intérieure et la température de surface du vitrage.

$$\text{Indicateur III} = T_{si} - T_i \quad (28)$$

La différence T_{si} - T_i est calculée selon la formule

$$T_{si} - T_i = 0,125 \times U_g \times (T_i - T_e) \quad (29)$$

Où :

T_{si}: Température de surface du vitrage (C°)

T_i: Température intérieure(C°)

U_g: Facteur de transmission des vitrages (W/°C m²)

T_e: Température extérieure (C°)

Façade : Nord: T_{si} – T_i= 13,05°C

Façade: Sud T_{si} – T_i= 13,05°C

Façade : Ouest T_{si}– T_i= 12,45°C

Façade : EST T_{si} – T_i= 12,45°C

On tient compte de la valeur la plus contraignante, soit **13,05 °C**

Tableau 3.44. Echelle de l'évaluation de l'indicateur III (critère#13)

Nr.	Indicateur	Check List points
1	Indicateur III ≤ 4 °C	2
2	4 °C < Indicateur III ≤ 6 °C	1
3	Indicateur III > 6 °C	0

Indicateur IV: Indice de vitrage corrigé

$$I_c = 0,9 * I_v \times \ddagger \quad (30)$$

Avec :

I_v : surface de vitrage (S_v) /surface du local (S_B)

‡: facteur de transmission « corrigé » du vitrage sale

0,9 : degré d'encrassement.

S_v: surface du vitrage ; cette surface peut être approchée par l'expression suivante :

$$S_v = 0,7 \times S_f \quad (31)$$

S_f : surface de fenêtre

Les détails de calcul sont donnés par le tableau suivant :

Tableau 3.45. Détails de calcul des CLP des pièces de la maison

	Chambre	Cuisine salon	SDB
S_f	1	6	0,5
S_v	0,7	4,2	0,35
SB	15,19	21,11	3,87
I_v	0 ,046	0,20	0,09
τ	01	01	01
I_c	0,041	0,18	0,08
CLP	0	01	0

L'évaluation de cet indicateur est donnée par les deux tableaux suivants :

Tableau 3.46. Echelle de l'évaluation de l'indicateur IV (critère#13)

Nr	Indicateur	Check List points
1	$I_c \geq 0,30$	2
2	$0,18 \leq I_c < 0,30$	1
3	$I_c < 0,18$	0

Soit CLP = 0 (on prend le minimum des CLP)

Tableau 3.47. CLP des pièces de la maison

	Chambre	Cuisine + salon	SDB	Note de critère
CLP	0	1	0	0

L'indice de vitrage courage donne une définition sur la qualité de vitrage utilisé dans les baies vitrés ainsi que le rapport entre la surface des parois vitrées par rapports aux surfaces de la pièce considéré , dans notre cas plusieurs pièces contents des fenêtres , on a calculé cet indice pour chaque pièces et on a évalué leurs check List points (CLP) ou on a trouvé 0 et 1 et 0 pour la chambre , la cuisine salon et le SDB respectivement . Pour évaluer le CLP global de l'indicateur IV (critère#13 on prend le minimum des CLP des pièces (0)) dans ce cas est nul.

On peut dire que le choix des fenêtres et leurs type de vitrage ainsi que le pourcentage des baies vitrées n'été pas correctes, il faudrait avoir un avis de la part d'un spécialiste dans l'énergétique de bâtiment pour mieux concevoir ce type de chalets.

3.14. Critère#14 : Innovation

Le concepteur peut proposer des systèmes innovants afin d'améliorer l'efficacité énergétique à tous les niveaux : conception, calcul ou le système constructif

Niveau conceptuel :

Idée sur un procédé améliorant la performance énergétique du bâtiment

Niveau système constructif :

Innovation de matériaux, structure, procédé de mise en œuvre, etc.

Niveau calcul :

Proposition d'une méthode de calcul pour des procédés innovants ou pour la labellisation du projet

Tableau 3.48. Echelle de l'évaluation de l'indicateur (critère#14)

Nr.	Indicateur	CLP
1	Les trois niveaux : Conception, système constructif et calcul	10
2	Deux niveaux sur trois	6
3	Un sur trois	3
4	Sans	0

4. Grille de notation détaillée

Pour terminer l'évaluation énergétique et de durabilité de la maison solaire, on a résumé les check List points (CLP) des indicateurs et critères dans une grille détaillé, celle-ci contient aussi les notes maximales qui peut être atteinte pour chaque évaluation, et les notes des critères pondéré obtenus par un calcule automatique, pour finir avec la note totale des points pondéré .Les résultats finals de cette étude sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3.49. Grille de notation détaillée

Critère	Indicateur	Notation				
		Note critère	Note de l'indicateur	Note max	Pondération	Note critère pondérée
Critère # 1	Compacité du bâtiment	3		10	0,5	0,15
	Indicateur I : $C = A/V$		3	10		
C#2	Apports à travers les parois vitrées	0		10	1	0,0
	Indicateur I : AVT [W] ; Apports dus au gradient de température		0	5		
	Indicateur II : AVE [W] ; Apports dus à l'ensoleillement		0	5		
C#3	Apports à travers les parois opaques	2		10	0,5	0,1
	Indicateur I : APO mur [W] ; Apports à travers les murs		2	5		
	Indicateur II : APO toiture [W] ; Apports à travers les toitures		0	5		
C#4	Protection thermique en été	0		10	1	0
	Indicateur I : f (TBV ; FS total ; orientation)		0	10		
C#5	: Besoins d'énergie en hiver	2		10	1	0,2
	Indicateur I: DT [W/°C] ; Déperditions thermiques par transmission		2	4		
	Indicateur II: DR [W/°C] ; Déperditions thermiques par renouvellement d'air		0	2		
	Indicateur III: Q [W] ; Puissance de chauffage fournie par une chaufferie		0	2		
	Indicateur IV: E Ch [kWh/a] ; Besoins en énergie de chauffage		0	2		
C#6	: Apports d'énergie en été	0		10	1	0
	Indicateur I : APO [W] ; les apports thermiques à travers les parois.		0	4		
	Indicateur II : AV [W] ; Apports thermiques à travers les parois vitrées.		0	4		
	Indicateur III : E clim [kWh/a] ; Besoins en énergie pour le refroidissement en été.		0	2		

C#7	: Emission de CO ₂	2,5	10	1	0,25
	Indicateur I : MCO ₂ / M ref, CO ₂	2,5	10		
C#8	: Utilisation des énergies renouvelables	8	10	1	0,8
	Indicateur I : part des énergies renouvelables	8	10		
C#9	: Puissance électrique	0	10	1	0
	Indicateur I : taux de l'utilisation de la puissance électrique provenant du réseau	0	10		
C#10	: Économie (chauffage, climatisation)	0	10	1	0
	Indicateur I : rapport des coûts de consommation d'énergie C/ Cré	0	10		
C#11:	Spécifications des éléments du bâtiment	0	10	0,5	0
	Indicateur I : niveau de réduction du phénomène d'îlot de chaleur	0	10		
C#12	Spécifications des équipements techniques	2	10	0,7	0,14
	Indicateur I : Technologie et rendement des chaudières utilisées	0	3		
	Indicateur II : la moyenne pondérée des COP des différents appareils de refroidissement	2	3		
	Indicateur III : Calorifugeage des canalisations traversant les espaces non conditionnés.	0	2		
	Indicateur IV : Type du contrôle ou de la régulation des éléments de l'installation	0	2		
C#13:	Confort Température et lumière du jour	4	10	0,8	0,32
	Indicateur I : Différence entre la T° intérieure et la T° de surface du plafond	2	2		
	Indicateur II : Différence entre la T° intérieure et la T° de surface du mur extérieur.	2	2		
	Indicateur III : Différence entre la T° intérieure et la T° de surface du vitrage.	0	2		
	Indicateur IV : Surface minimal des vitrages	0	4		
C#14	: Innovation	3	10	1	0,3
	Indicateur : niveau d'innovation	3	10		
Total					22,6

Important :

L'indicateur I du critère 5 est considéré comme un indicateur majeur, toute note inférieure à 1 —

est éliminatoire.

L'indicateur I du critère 6 est considéré comme un indicateur majeur, toute note inférieure à 1 —

est éliminatoire.

Un total inférieur à 30 obtenu à l'ensemble des critères est éliminatoire

Pour l'évaluation finale de l'efficacité énergétique et de durabilité de la maison solaire, on a fait la somme des notes des critères pondérées, cette note est calculer selon la note obtenu pour chaque critère, par exemple :

- **Le critère d'innovation :**

La note du critère est : **3**

La note maximal est : **10** ou la note pondérée est donnée **0,5**

La note pondérée pour ce critère est donné par la formule suivante :

$$N_{pondéré} = \frac{Note\ de\ critere \times Note\ de\ pondération}{Note\ maximale} \quad (32)$$

$$N_{pondéré} = (3 \times 0,5) / 10 = \mathbf{0,15}$$

Pour la note globale des critères pondérés est donné par la formule suivant :

$$N_{total} = \sum_{k=1}^{14} \binom{14}{k} note\ de\ critere\ pondéré \quad (33)$$

$$N_{total} = \mathbf{22,6}$$

Le total des notes des critères pondéré est inférieur à la note éliminatoire de l'évaluation énergétique et durabilité **30 points**, donc cette construction ne vérifie pas le minimum des règles de construction des bâtiments éco-énergétiques en Algérie.

NB : la note maximale qu'on peut atteindre dans cette évaluation est **140**.

5. Discussions des résultats

Selon les résultats obtenus lors de cette analyse, il est clair que la conception architecturale de notre construction préfabriquée n'a pas pris en considération l'aspect thermique du bâtiment et cela peut être justifié par le point acquis par le groupe d'énergie (sans prendre en considération l'utilisation des énergies renouvelables) ou il ne représente que 13,24% de la note globale des critères pondérés soit trois [33] points, c'est-à-dire que les concepteurs de ce chalet n'ont pas justifié leurs choix constructifs par un avis énergétique (thermicien de bâtiment).

En revanche, concernant les autres groupes (l'environnement, l'économie, les équipements et le confort) qui sont proportionnels aux critères forment le groupe d'énergie et donc influence directe sur la consommation annuelle d'énergie pour le chauffage et la climatisation estimées 14852,7 kWh/an soit 405,8 kWh/an.m². Les besoins annuels en énergie de chauffage et de climatisation et ces mêmes de références sont donnés par (Figure 3.5).

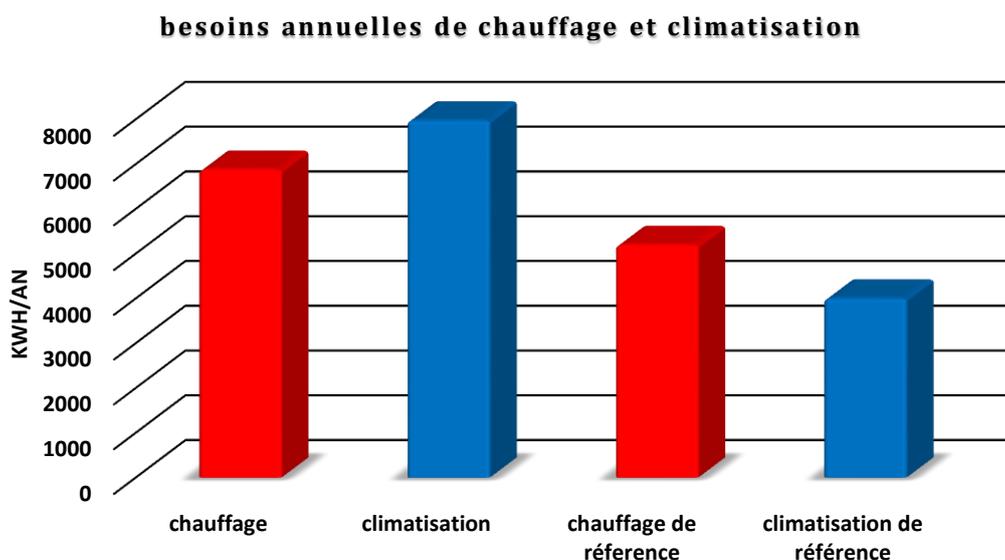


Figure 3.5. Besoins annuels en énergie (chauffage et climatisation) et ces mêmes de références.

La consommation la plus élevée et la plus préoccupante est celle de l'été, comptée par 7976 kWh/a ou la valeur de référence de cette même consommation est de 4000 kWh/a, par contre la consommation d'hiver ne dépasse pas les 6876,7 kWh/an ou sa même valeur de référence est 5195 kWh/an.

La mauvaise isolation des parois extérieures, les planchers et l'utilisation des matériaux de construction à faibles résistances thermiques et/ou à une grande conductivité (tôle de shingle, vitrage simple, porte métallique) ainsi qu'une distribution des pièces non argumentée énergétiquement, mènent à des choix d'équipements de chauffage et de climatisation (chaudière simple à rendement faible, climatiseur énergivore 12000 BTU) par conséquent, une utilisation intensive de ces équipements pour assurer le strict minimum de confort thermique durant toutes les périodes (hivernale et estivale) de l'année.

Le seul point positif dans cette construction est l'introduction des énergies renouvelables (panneaux photovoltaïques et chauffe-eau solaire et un deuxième climatiseur solaire hybride) qui représente environ **35%** de note pondérée globale dans cette évaluation, mais Malheureusement que ces procédés ne peuvent assurer qu'une petite part des besoins en énergie électriques et thermiques car cette habitation est très gourmande en énergie.

Il est donc obligatoire de revoir dans les cahiers de charges de la construction de ce type de chalets qui est généralement destinée aux employés dans les chantiers distribuer sur tout le territoire algérien plus particulièrement le grand sud, pour leur assurer un minimum de confort après une longue journée de travail dans des conditions climatiques rugueuses.

Afin **d'améliorer** l'efficacité énergétique de la maison solaire, on a proposé de faire modifier la composition des murs extérieurs et le type de vitrage utilisé dans les fenêtres exposées sud, East et ouest, on ajoutant un isolant en polystyrène expansé placé avant les places de polyuréthane ce qui va augmenter la résistance thermique de cette paroi de 1,77 à 5,71 m².°C/W ainsi que de faire intervenir une protection thermique des baies vitrées en été par l'introduction des volets intérieurs et extérieurs pour toutes les fenêtres sauf celles exposées nord, les volets extérieurs sont de type « store vénitien d'une teinte claire ». On se basant sur ces nouvelles données, on a refait tous les calculs qui se relient entre eux et afin d'évaluer énergétiquement la maison solaire.

Après l'amélioration, on a remarqué que les apports thermiques à travers les parois opaques et vitrés ont été diminués d'environ ce qui explique la chute progressive dans la puissance demandée pour la climatisation de 3,4W à 2,3W implique des besoins en énergie pour le refroidissement en été moins importants estimés 5449 kWh/an.

Par conséquent, le check List point obtenu par quelques critères a fait des progressions car ils sont liés aux apports thermiques travers les parois opaques et vitrées, en fin la note totale pondérée de cette deuxième évaluation (après amélioration) a été compté par **33,7 points**, ce qui veut dire que la maison a surmonté la note éliminatoire de **3,7 points** fixé (30 points). Maintenant, on peut dire que malgré de toutes les contraintes techniques de cette construction et ces données relatives à la conception architecturale, devient un peu plus raisonnable en terme énergétique.

6. Conclusion

L'utilisation du logiciel RETA pour le calcul thermique nous a aidé de simplifié les calculs, et de les accompagnés avec des calculs analytiques qui ont été faite à l'aide des deux documents techniques réglementaires à savoir DTR C3-4 [32] et DTR C3-2 [33], ainsi que d'identifié les points critiques (généralement les déperditions thermique en hiver et les apports en été).

Cette évaluation éco énergétique nous a permet de visualisé les besoins en énergie pour le chauffage et la climatisation estimés 6876 kWh/an et 7976 kWh/a respectivement, ainsi qu'une consommation électrique d'environ 48376 kWh par an ou 3 à 4% est assurée par les panneaux photovoltaïques placés sur la toiture.

Selon le nombre de points récoltés lors de cette analyse (22,6 points). La maison ne vérifie pas les normes et les règles d'une construction éco-énergétique en Algérie, ou la note minimal qu'il faudrait assurer est (30 points). On a vu qu'après l'amélioration de la résistance thermique des parois extérieurs (murs) et l'introduction d'une protection thermique en été, la maison a pu sortir de la zone éliminatoire en gagnant **11,1 points** de plus par rapport à la première évaluation.

En fin ; Il a été primordial de faire ces calculs afin d'évaluer l'efficacité énergétique et de durabilité de la maison, et par conséquent avoir une idée plus claire à-propos les besoins annuels de chauffage et de climatisation qui vont nous permettre de réaliser une étude technico-économique d'un climatiseur solaire hybride installé dans cette maison. Cette étude pourra être généralisée pour d'autres régions climatiques différentes sur le territoire algérien.

7. Annexes

7.1. Critère #2

Annexe 1 : Caractéristiques techniques des fenêtres

Emplacement Fenêtre	Nord	Est	Sud 1	Sud 2	Ouest	Total
Surface (m ²)	1.00	1.00	2.00	2.00	1.00	7.00
DT (W/C°)	6.96	6.96	13.92	13.92	6.96	48.72
DT réf (W/C°)	3.8	3.8	7.6	7.6	3.8	26.6
AVT (W)	48.47	48.47	96.94	96.94	48.47	339.28

Annexe 2: Caractéristiques techniques des fenêtres

Emplacement Fenêtre	Nord	Est	Sud 1	Sud 2	Ouest	Total
Surface (m ²)	1.00	1.00	2.00	2.00	1.00	7.00
DT (W/C°)	6.96	6.96	13.92	13.92	6.96	48.72
DTréf (W/C°)	3.8	3.8	7.6	7.6	3.8	26.6
AVT (W)	48.47	48.47	96.94	96.94	48.47	339.28
AVE (W)	44.49	248.64	247.26	247.26	248.64	1036.28

7.2. Critère# 3

Annexe 3: Caractères techniques des murs (critère #3)

Nom	Surface (m ²)	DT (W/°C)	DTréf (W/°C)	APO (W)	APOréf (W)
facade N1	12,10	7,46	14,52	48,52	67 ,66
Facade n2	3,00	1,80	3,60	10,58	14 ,40
Facade E1	7,45	4,60	8,94	32,47	52 ,66
Facade E2	6,45	3,98	7,74	28,11	45 ,59
Facade S	14,20	8,76	17,04	128,12	150,34
Facade O1	4,45	2,75	5,34	41,92	46 ,73

Facade O2	7,45	2,46	8,94	63,80	35 ,76
Total	55,10	31,81	66,12	353,51	413,13

Annexe 4 : Caractères techniques toiture (critère #3)

Nom	Surface (m ²)	DT (W/°C)	DTréf (W/°C)	APO (W)	APOréf (W)
Toiture	57,21	36,52	51,49	767,82	689,44
Total	57,21	36,52	51,49	767,82	689,44

7.3. Critère #4

Annexe 5 : Facteur solaire des vitrages spéciaux en simple épaisseur [DTR 3-2]

Type de vitrage	Epaisseur (mm)	FS
Verre à Vitre : Normal	2 à 3	1
Fort	4	0,98
Epais	5	0,96

Annexe 6 : Caractères techniques de vitrage nord

Orientation	Surface vitrée	Surface ensoleillée	Facteur solaire	AVE	AVE _{réf}
N	0.80 m ²	0.00 m ²	1.00	44.49 W	6.34 W

7.4. Critère #5

Annexe.7 : Synthèse des échanges thermiques en hiver

DT (W/°C)	Dréf (W/°C)	Vérification C-3.2	
189,27	266,83	0,71	Conforme

Annexe.8 : Renouveaulement et infiltration d'air en hiver (critère#5)

QS	QV	DR	QVinf
-----------	-----------	-----------	--------------

(m3/h)	(m3/h)	(W/°C)	(W/°C)
228,96	52,07	95,55	69 ,50 - Orientation : SO

Annexe.9 : Puissance de chauffage (critère#5)

Cin : Coefficient de surpuissance	Cr : Coefficient des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel	Puissance de chauffage
0,10	0,00	5 ,5 kW

7.5. Critère #6

Annexe.10 : Synthèse des échanges thermiques en été (critère #6)

APO non Aériennes	APO Aériennes	APO_{réf}	AV	AV_{réf}	Vérification C-3.4	
0.00W	2471.49 W	1761.28W	1078.45 W	279.95W	1.74	Non conforme

Annexe.11 : Données techniques des portes (critère #6)

Nom	Surface (m²)	DT (W/C°)	DT_{réf} (W/C°)	APO (W)	APO_{réf} (W)
Porte sdb	2.00	10,80	6.00	62.86	9.60 W
Porte Ouest	2.00	13.92	6.00	259.42	21.00

Annexe.12 : Apports à travers les parois vitrées (critère #6)

Eléments	Apports[w]	Apports de références[w]
Parois vitrées extérieures	1 078,45	279,95
Parois vitrées intérieurs	0	0
Total	1 078,45	279,95

Annexe.13 : Synthèse des échanges thermiques en été (critère #6)

APO non Aériennes (W)	APO Aériennes (W)	APO_{réf} (W)	AV (W)	AV_{réf} (W)	Vérification C-3.4
------------------------------	--------------------------	------------------------------	---------------	-----------------------------	---------------------------

Chapitre III : Evaluation de l'efficacité énergétique et de durabilité de la maison solaire

0.00	2471.49	1761.28	1078.45	279.95	1.74	Non conforme
------	---------	---------	---------	--------	------	---------------------

Annexe.14 : Renouveaulement et infiltration d'air en été (critère #6)

QVan	ARENs	AINFs	ARENI	AINFI	Renouvellement d'air total
52,07 m3/h	116,63 W	155,68 W	139,43 W	186,12 W	597,85 W

Annexe.15 : Puissance de climatisation (critère #6)

Nombre d'occupant	Puissance d'éclairage	Autre puissances	Puissance de Climatisation
2.00	95.00 W	500.00 W	3.4 kW

7.6. Critère #9 :**Annexe.16:** Récapitulatifs de données des appareils électriques (critère #9)

Appareil	Puissance[w]	Durée hiver [h]	Energie hiver [Wh/j]	Durée été [h]	Energie été [Wh/j]
Four	2000	0,2	400	0,1	200
Plaque chauffante	3600	3	10800	3	10800
Hotte	198	3	594	3	594
TV 43 pouces	25	2	50	3,5	87,5
Micro-ondes	2300	0,4	920	0,4	920
Lave vaisselles	1418	0,5	709	0,5	709
Climatiseur 12000 BTU	3576	0	0	7	25032
Machine à laver 6 kg	2250	0,2	450	0,3	675

Chapitre III : Evaluation de l'efficacité énergétique et de durabilité de la maison solaire

Réfrigérateur	245	-	245	-	255
Lampe néon(10)	150	6	9000	5	750
Lampe LED	10	5	50	4	40
Lampe sanitaire	75	1	75	1	75
Total	15847		23293		40137,5

$E_{\text{hiver}} = 23293 \times 181 = 4216 \text{ KWh}$

$E_{\text{été}} = 40137,5 \times 184 = 7385,3 \text{ KWh}$

7.7. Critere#10:

Annexe.17: description des types d'énergie a consommé (critère #10)

	Pourcentage %	Hiver	Total	Eté	année
Ec hiver (KWh)	69,04	12,521	14428,2	-	18134,2
E verteh (KWh/an)	10,62	510		-	
Eélc hiver(KWh)	20,34	4216		-	
Ec été (KWh)	83,8	-		45418	54192,1
Eélc été (KWh)	12,69	-		6876,9	
E verteé (KWh/an)	03,51	-		1897,2	
E total (KWh/an)					72326,3

CHAPITRE IV :

Etude technico-économique d'un climatiseur solaire hybride

CHAPITRE IV : Etude technico-économique d'un climatiseur solaire hybride.

A cause de leur impact environnemental et leur consommation d'énergie électrique, les machines à compression mécanique (expansion directe), sont les systèmes de climatisation les plus utilisés dans le secteur résidentiel et tertiaire. Cette large utilisation est du fait de leur faible prix comparé à d'autres systèmes solaires (machine à absorption, dessiccation et machine à éjection de vapeur).

Ce chapitre évalue les performances techniques ainsi que économiques d'un climatiseur solaire hybride sous différentes conditions climatiques en Algérie, relatif aux régions de Bou-Ismaïl, Biskra et Tamanrasset. Notre étude est répartie en trois parties, la première traite l'aspect frigorifique de la machine et ces performances d'un point de vue théorique, et la deuxième est consacrée à la comparaison sur le double plan thermo-énergétique et technico-économique entre climatiseur conventionnelle et le climatiseur solaire hybride de même capacité frigorifique (12000BTU). La troisième et dernière partie est une étude économique et environnementale du climatiseur hybride.

- **Objectifs**

L'objectif principal de cette étude est de déterminer les performances thermo-énergétiques d'un système de climatisation solaire hybride sous les différentes conditions climatiques de l'Algérie. Permettant ainsi d'évaluer la rationalisation énergétique de la partie climatisation apportée par l'intégration d'un climatiseur hybride solaire pour chaque région. Enfin, nous estimons le taux d'amortissement du climatiseur hybride.

- **Méthodologie**

L'évaluation sera faite sous les conditions climatiques de trois régions de l'Algérie, Bou-Ismaïl, Biskra et Tamanrasset, pour la période estivale avec des durées de fonctionnement journalière durant trois à cinq mois. Le climatiseur solaire hybride utilisé dans l'étude est disponible commercialement sous plusieurs noms et marques, nous n'avons apporté aucun changement sur le système. Les expériences ont été effectuées par l'équipe de recherche froid et climatisation par énergies renouvelables de l'unité de développement des équipements solaire UDES/EPST CDER (Tipaza). Nous avons exploité ces résultats expérimentaux pour développer notre étude vue la situation pandémique du Covid-19.

1. Climatiseur Solaire Hybride

Le climatiseur solaire hybride (**Figure 4.1**). Est basé sur la technique de compression de vapeur, il contient quatre éléments essentiels : le compresseur, le détendeur et les deux échangeurs de chaleur (évaporateur et condenseur). Le système est équipé d'un capteur solaire thermique à tube sous vide qui a pour rôle d'augmenter la température du fluide réfrigérant sortant du compresseur. Par conséquent, le compresseur consomme moins d'énergie pour maintenir le fluide à une température désiré, ce qui influe positivement sur le coefficient de performance de ce système. Le schéma explicatif du système de climatisation solaire hybride est représenté dans la (**Figure 4.2**).



Figure 4.1. Photo de climatiseur solaire hybride.

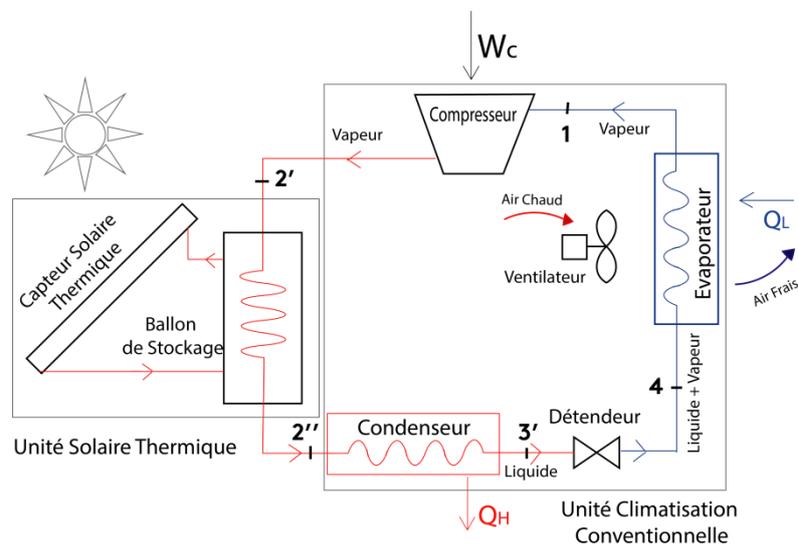


Figure 4.2. Schéma explicatif du climatiseur solaire hybride.

1.1. Le sous système solaire

Le système contient un sous système solaire afin d'élever la température et la pression du fluide frigorigène en plus du compresseur. Il est responsable de la génération d'une énergie thermique auxiliaire au fluide réfrigérant permettant d'optimiser le travail du compresseur.

Le système thermique auxiliaire est composé d'un capteur solaire avec tubes sous vide et d'une cuve de stockage d'eau chaude. La cuve de stockage contient un échangeur de chaleur dans le quel circule le fluide réfrigérant surchauffé par l'eau.

1.2. Performances et des cycles thermodynamiques

Les diagrammes énergétiques présentés ci-dessous montrent la différence entre le système conventionnelle et le système solaire hybride de climatisation. La (figures 4.3) montrent respectivement le diagramme entropiques (température) à gauche et enthalpique (pression) à droite des deux systèmes avec et sans appoint solaire thermique.

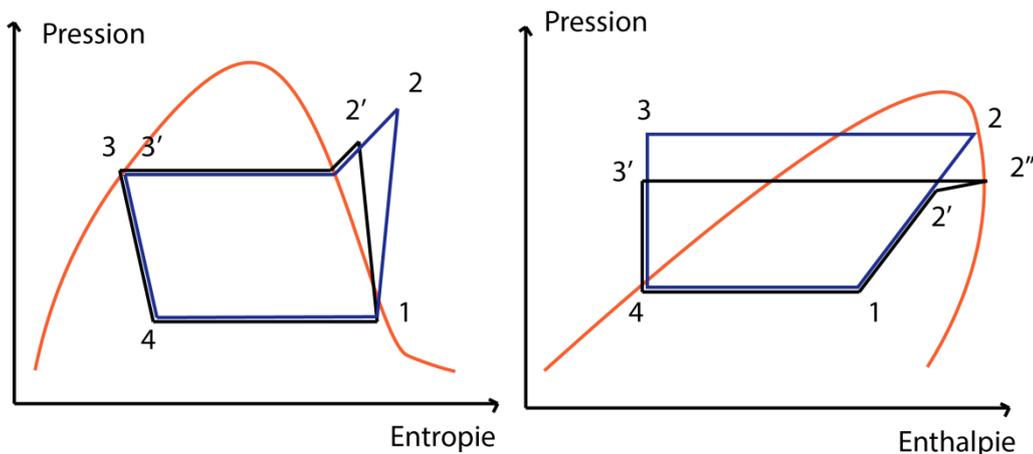


Figure 4.3. A gauche Diagramme entropique . A droite d'enthalpie . climatiseur hybride en gris, classique en bleu.

1.3. Coefficients des performances (COP)

1.3.1. COP théoriques

Les systèmes à compression de vapeur sont évalués par un coefficient de performances (COP) données par la formule suivant :

$$COP = \frac{Q_{froid}}{W_{comp}} \quad (1)$$

Telle que :

- Q_{froid} : Quantité de chaleur extraite par l'évaporateur.
- W_{comp} : travail du compresseur.

Selon les caractéristiques du constructeur des deux climatiseurs, les coefficients de performances théoriques est représenté (Tableau 4.1).

Tableau 4.1. Coefficients de performances théoriques de chaque climatiseur

	Conventionnel	Hybride
Evaporateur (KW)	3.5	3.5
Compresseur (KW)	1.09	0.85
COP	3.2	4.1

1.3.2. COP réels

Pour le calcul des coefficients de performances réels de chaque climatiseur il suffit de prendre les paramètres thermodynamiques (pressions et températures) de climatiseur pour chaque point du cycle durant son fonctionnement, les COP réels des deux climatiseurs sont donnés par les formules suivantes.

➤ Système classique

$$\text{COP}_{\text{réel}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2)$$

➤ Système hybride

$$\text{COP}_{\text{réel}} = \frac{h_1 - h_4}{h_{2'} - h_1} \quad (3)$$

2. Étude comparative entre deux climatiseurs

Les deux systèmes proposés dans notre étude sont installés au niveau de la maison solaire de l'Unité de Développement des Equipements Solaire (UDES/EPST CDER) de Bou-Ismaïl. Les conditions d'essai adoptées sont définies par une température de consigne du climatiseur de 25°C avec espace intérieur fermé. Nous avons exclu dans une première approche le facteur d'occupation humaine. Avec une durée de test d'une semaine pour chaque cas envisagé. Les résultats météorologiques sont récoltés à partir de la station météo de l'UDES.

2.1. Conditions climatiques de Bou-Ismaïl

Le climat de Bou-Ismaïl est un climat méditerranéen, chaud en été et froid-humide en hiver. La variation de la température ambiante durant la période d'étude expérimentale (du 08 jusqu'au 17 août 2017) est représentée par la **(Figure 4.4)**. La température minimale et maximale est respectivement égale à 25,4°C et 31,3 °C.

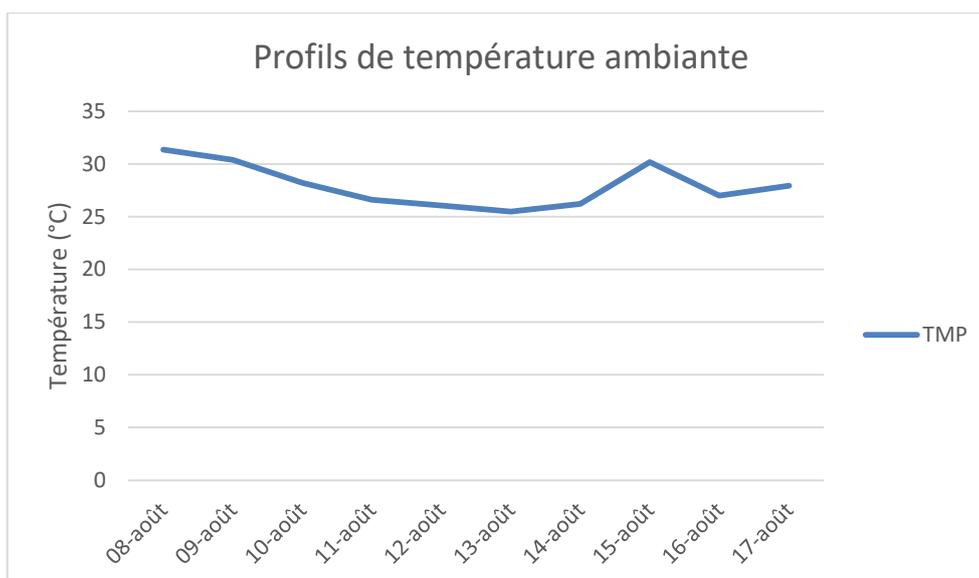


Figure 4.4. Profils de température ambiante

2.2. Etude expérimentale

Plusieurs scénarios ont été élaborés lors de notre étude expérimentale entreprise sur les deux climatiseurs. Nous nous sommes limités au cas avec fenêtres couvertes (sans effet de serre). Les performances de chaque climatiseur ont été évaluées durant les 24 heures.

2.2.1. Climatiseur classique

Les évolutions des températures de la maison T_{1m} pour la première pièce (salon cuisine) et T_{2m} pour la deuxième pièce (chambre), ainsi que la consommation d'énergie électrique du climatiseur conventionnel sont représentées (**Tableau 4.2**).

Tableau 4.2. Evolutions des températures et de la consommation électrique climatiseur conventionnel

Date	Temps	T_{1m} (°C)	T_{2m} (°C)	E (KWh)	ΔE (KWh)
08/08/17	10:37	23,7	31,5	107,38	0
08/08/17	10:52	25,3	27,8	107,58	0,2
08/08/17	15:44	27,3	28,3	113,26	5,88
08/08/17	15:54	26,7	28,0	113,46	6,08
08/08/17	17:58	24,6	26,3	115,80	8,42
08/08/17	18:00	24,6	26,3	115,90	8,52
09/08/17	07:51	24,8	25,2	120,70	13,32
09/08/17	10:37	24,4	25,1	123,38	16

a) Comportement thermique de la maison

Les températures initiales des deux pièces T_{m1} et T_{m2} sont respectivement $23,7^{\circ}\text{C}$ et $31,5^{\circ}\text{C}$. La température de convergence imposée par la température de consigne du climatiseur est de 25°C . Cette température est atteinte à la fin de l'expérience. L'évolution des températures des deux pièces de la maison solaire, pendant les 24 heures est représentée par la (**Figure 4.5**). Il est a rappelé que le climatiseur est installé au niveau de la première pièce (salon et cuisine) orienté plain sud.

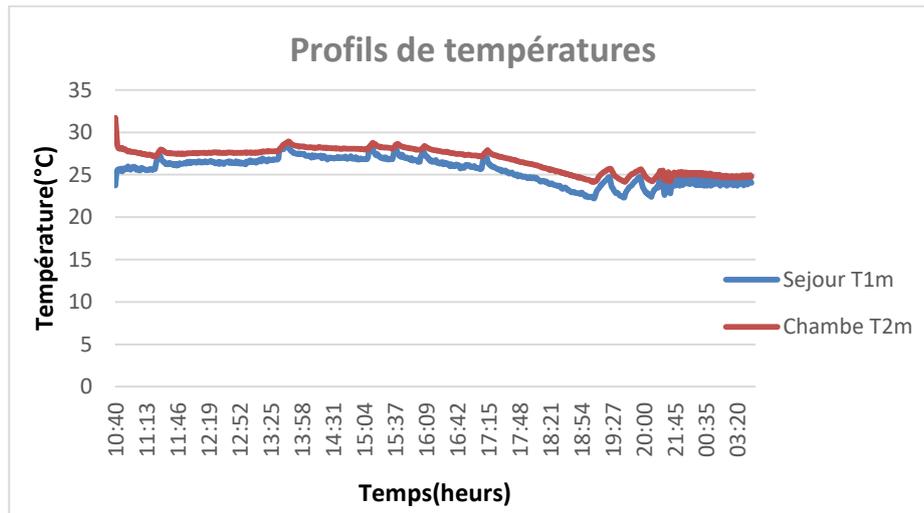


Figure 4.5. Profils de température des deux pièces durant 24 heures

La température moyenne dans la deuxième pièce est toujours supérieure à celle de la première, cela peut être justifié par l'orientation de la chambre qu'elle n'est pas exposée au soleil (Nord) et l'absence des ouvertures. Les températures moyennes journalières du salon-cuisine et la chambre sont respectivement, $27,1^{\circ}\text{C}$ et $25,1^{\circ}\text{C}$ et la température ambiante arrive jusqu'au $28,4^{\circ}\text{C}$. Nous remarquons que le climatiseur a trouvé des difficultés à assurer la température de consigne qu'est fixé 25°C , ceci est dû fait de la distribution inhomogène des pièces et des charges thermique très importantes. Sans oublier que la mise en marche du climatiseur s'est faite à partir des conditions initiales. Nous observons que l'appareil a effectué des cycles (ON/OFF) à partir de la fin de la journée 19h10 (**Figure 4.6**). L'évolution des températures de la maison durant le jour et la nuit est représenté (**Figure 4.7**). On observe que le climatiseur rentre en mode périodique.

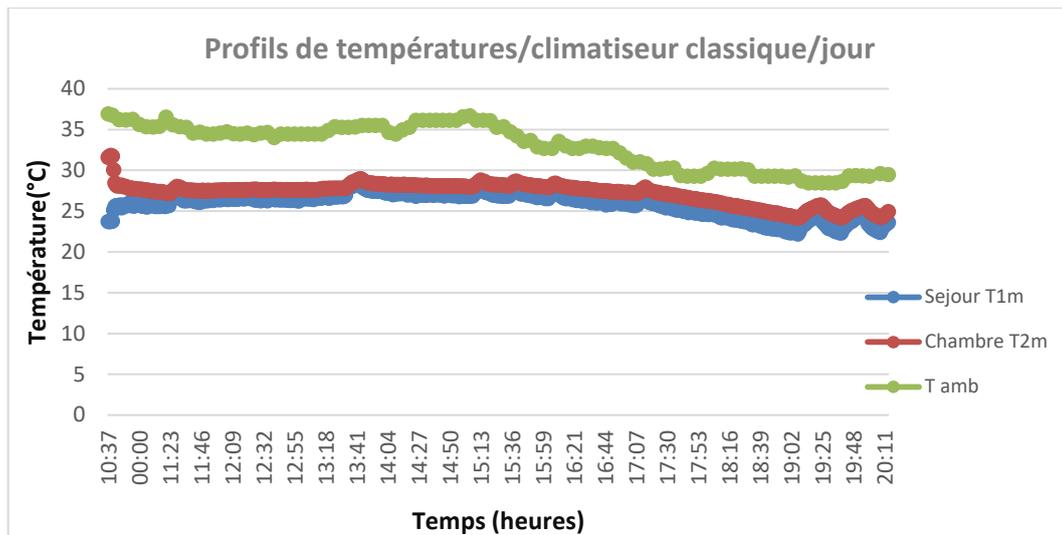


Figure 4.6. Profils des températures dans la maison durant le jour

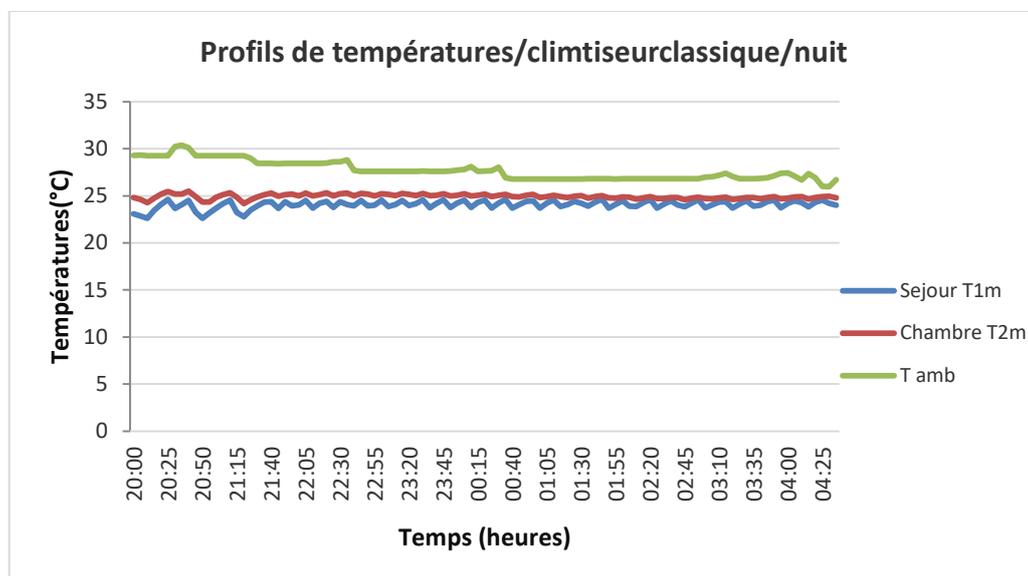


Figure 4.7. Profils des températures dans la maison durant nuit.

Les températures des deux pièces restent proches avec un écart de moins de 2°C. Cette stabilisation est expliquée principalement par l'absence de la charge thermique extérieure particulièrement les gains solaires (en absence des rayonnements soleil). Cependant, la température ambiante extérieure a diminué jusqu'à 26,7°C pour converger vers la température de consigne de 25°C, cela va permettre au climatiseur de maintenir la température de consigne, sans une grande consommation d'énergie électrique de la part du compresseur.

b) Comportement énergétique

La consommation journalière du climatiseur est de 16 KWh. Ce dernier a consommé 09KWh d'énergie électrique durant les premières 8 heures de son fonctionnement. Cela est contre une consommation électrique de 07 KWh à partir de la fin de journée (**Figure 4.8**).

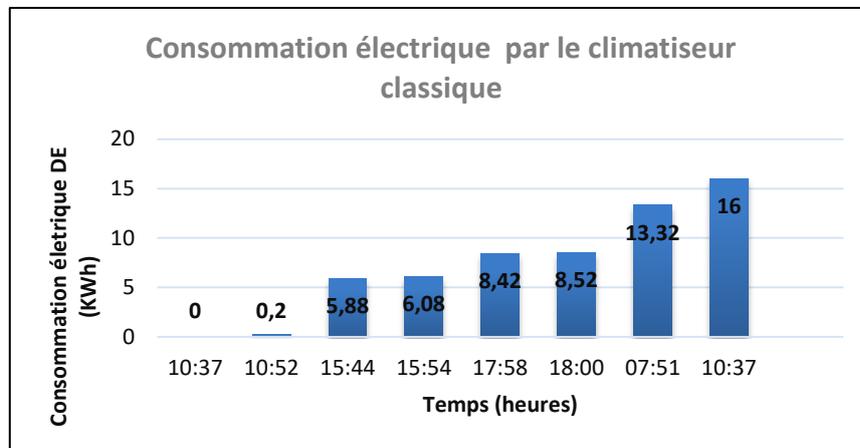


Figure 4.8. Evolution de la consommation électrique du climatiseur classique.

2.2.2. Climatiseur solaire hybride

L'évolution des températures de la maison T_{1m} pour la première pièce (salon cuisine) et T_{2m} pour la deuxième pièce (chambre) et de la consommation d'énergie électrique durant les 24 heures relative au climatiseur solaire hybride sont donnés par le (**Tableau 4.3**).

Tableau 4.3. Evolution des températures et de la consommation durant les 24 heures.

Date	Temps	T_{1m} (°C)	T_{2m} (°C)	E (KWh)	DE (KWh)
16/08/2017	14:28	23,2	23,9	168.54	0
16/08/2017	17:05	23.0	24.2	171.29	2,75
17/08/2017	09:37	23.8	25,0	174.92	6,38
17/08/2017	14:15	24,5	25,2	179.33	10,79
17/08/2017	14:26	24,5	25,4	179.53	11

a) Comportement thermique

Le comportement thermique de la maison durant le fonctionnement du climatiseur solaire est différent de celui du climatiseur classique, où on observe une variation significative dans la courbe représentatif des températures de la pièce 1, elle varie entre 22°C et 24,5°C sous l'enceinte de la température de consigne (**Figure 4.9**).

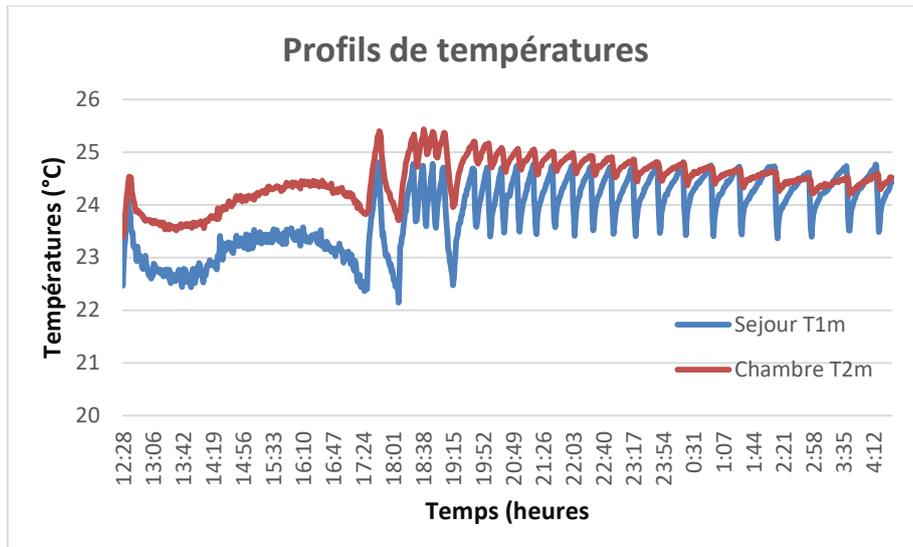


Figure 4.9 . Profils des températures dans la maison durant les 24 heures.

Un gradient d'environ 1°C séparât les deux pièces de la maison salon-cuisine et la chambre respectivement de 23,35°C et 24,3°C. La température ambiante moyenne relevée est égale à 28°C. Les climatiseurs ont la même capacité frigorifique de 12000 BTU (3500W), nous observons que le climatiseur solaire hybride a assuré des températures de l'air intérieur moins de 2 à 3°C. Il est important de noter la différence des températures ambiantes entre les deux campagnes de mesure. T_{amb} influe directement sur les performances du climatiseur (Figure 4.10).

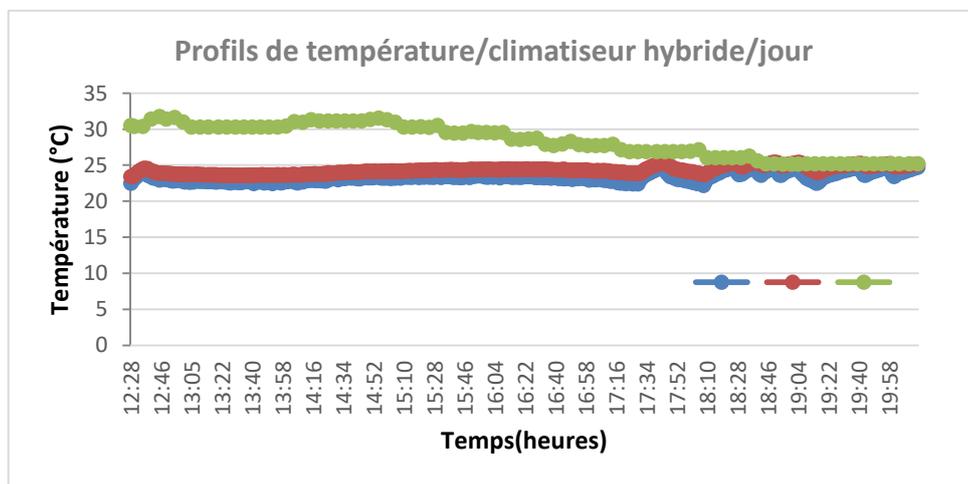


Figure 4.10. Profils de températures de la maison durant le jour /climatiseur hybride.

Ceci peut être justifié par deux phénomènes, le premier dépend de l'irradiation solaire reçue sur les surfaces de l'édifice qui a influencé d'une part sur les gains sensibles à travers les parois extérieures (opaques et vitrés). D'autre part, sur le rendement de sous-système solaire, donc sur les performances du climatiseur solaire. Les variations des températures des deux pièces de la maison et de l'ambiante pendant la nuit est représenté (Figure 4.11).

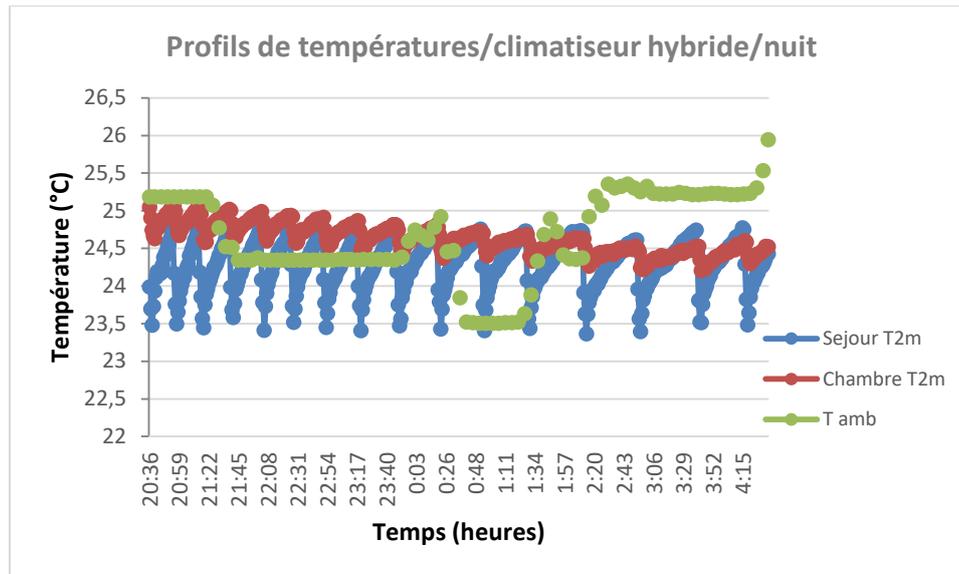


Figure 4.11. Profils des températures dans la maison durant la nuit

La température de la deuxième pièce reste presque constante, elle varie entre 24,8°C et 25°C, contrairement à celle de la première pièce (salon cuisine) qui varie périodiquement. On a remarqué que la variation de la température ambiante est totalement différente de celle de l'expérience du climatiseur classique, où elle reste toujours supérieure à la température intérieure de la maison.

b) Comportement énergétique

Le climatiseur solaire hybride a montré une relative rationalisation de la consommation d'énergie électrique, avec la même capacité frigorifique que celui de conventionnelle 3500W. Mais pour un cycle de travail d'environ de 24 heure de fonctionnement sous des conditions opératives normales, le climatiseur ne consomme que 11KWh d'énergie électrique. L'évaluation de la consommation d'énergie électrique par ce climatiseur est représentée dans la (Figure 4.12).

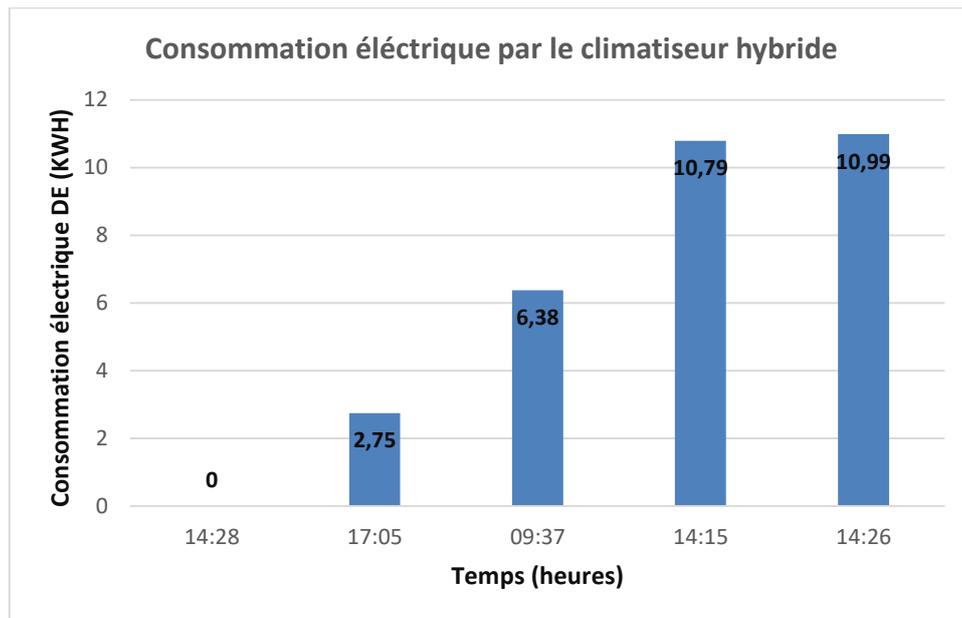


Figure 4.12. Evolutions de la consommation électrique du climatiseur hybride.

3. Eude économique et environnementale

3.1. Evaluation des performances

Notre objectif est d'estimer le taux de conservation d'énergie par le climatiseur solaire hybride comparais au climatiseur conventionnelle. Dans ce contexte, nous avons utilisé un logiciel spécialisé dans la modélisation et la simulation thermique des bâtiments le « Pleiades+ comfits ».

La simulation a été effectué pour trois villes dans deux zones climatiques différentes (Bou-Ismaïl, Biskra et Tamanrasset) incluses dans les zones (E1, E3, E3) respectivement. Nous avons paramétré la simulation pour une période estivale de trois mois dans la région de Bou-Ismaïl et de cinq mois pour les deux autres régions. Cette étude numérique nous a permet de visualiser les variations des températures moyennes mensuelles à l'intérieur du chalet sans et avec climatisation pour les deux pièces, ainsi que la température ambiante pour les trois régions choisis. (Figures 4.13, 14 et 15).

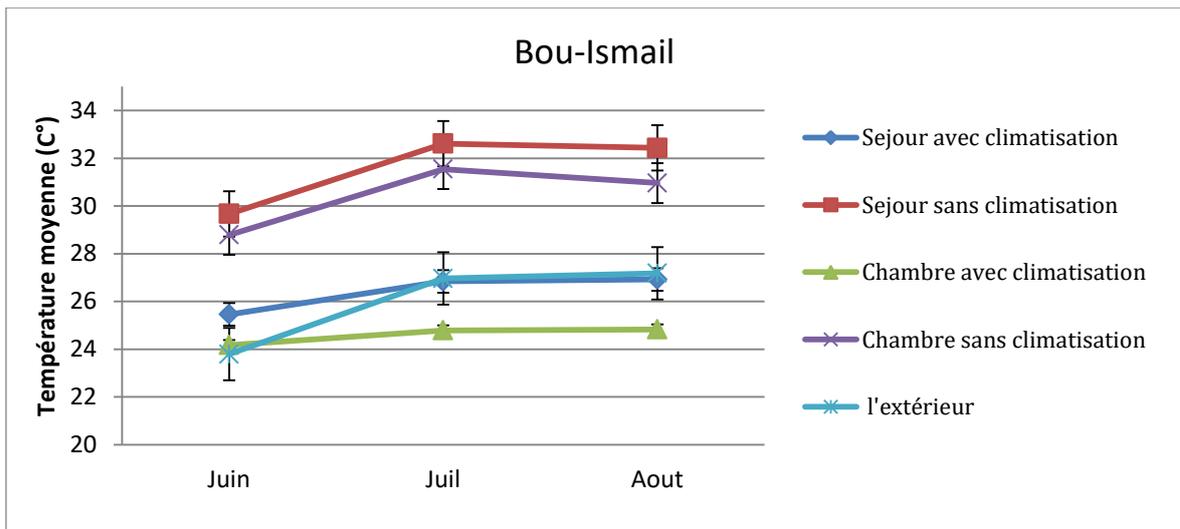


Figure 4.13 . Profils des températures pour la région de Bou-Ismaïl.

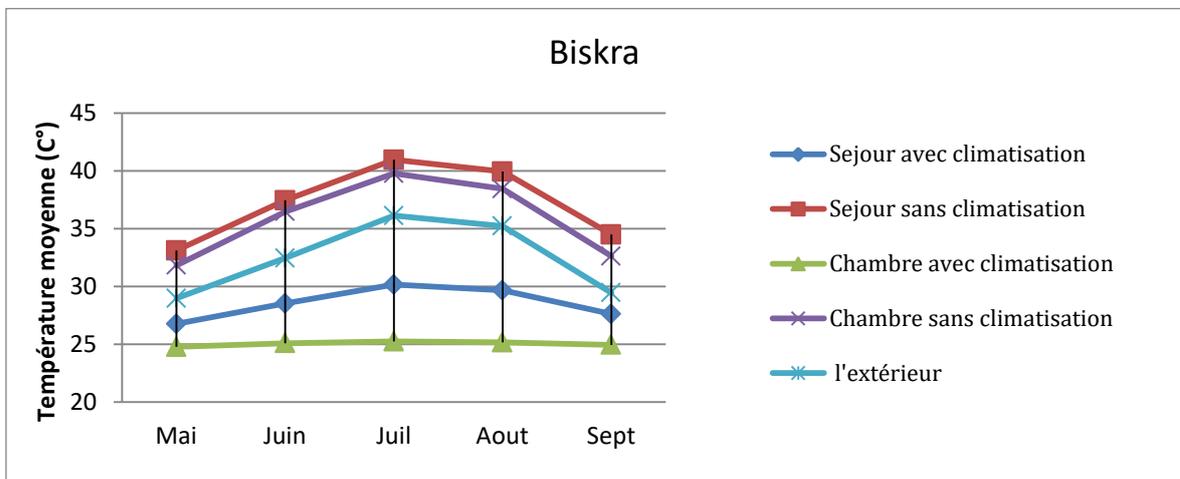


Figure 4.14. Profils des températures pour la région de Biskra.

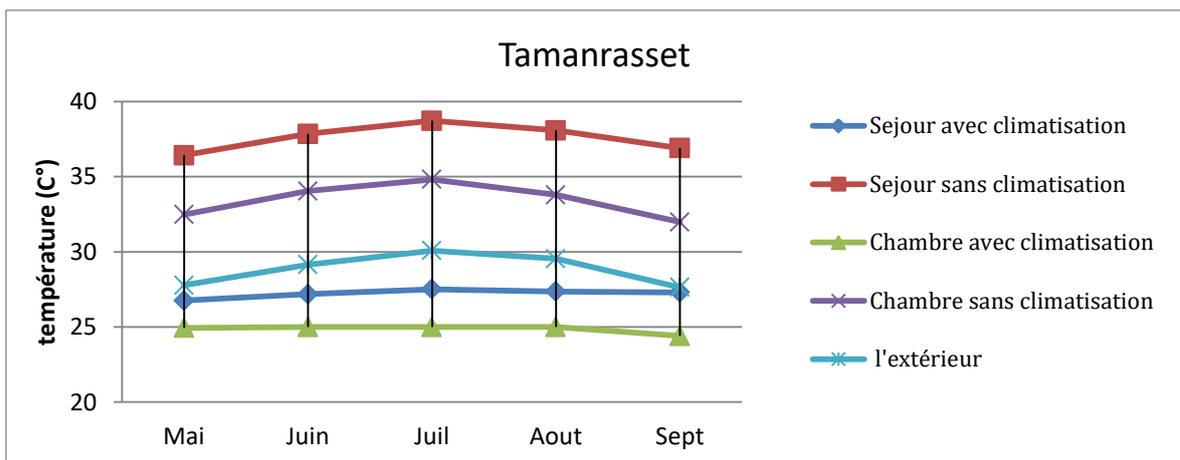


Figure 4.15. Profils des températures pour la région de Tamanrasset

Comme le séjour est orienté plein Sud, la température à l'intérieur de cette pièce sans climatisation est supérieure à celle de l'extérieur à cause du phénomène d'effet de serre. Cependant, la température de la chambre est inférieure au séjour du fait que cette dernière

est exposée vers le Nord ou le rayonnement solaire est moins important. Après la fixation du climatiseur à une température de 25°C, on remarque que la température dans le séjour décroît mais elle n'arrive pas à la température voulue à cause des gains intensifs reçus par cette pièce. Par contre, dans la chambre la température est relativement constante durant toute la saison.

La comparaison mensuelles entre la quantité d'énergie électrique consommée pour la partie climatisation avec la consommation électrique maximale des deux climatiseurs conventionnelle et solaire hybride, est représentée (**Figure 4.16, 17 et 18**) pour les trois régions. Les besoins en climatisation pour la région de Biskra hors saison (Mai et Septembre) est relativement proche à celles produite. Par contre, elle est nettement supérieure en haut saison pour les trois régions et particulièrement la région de Tamanrasset. Le climatiseur solaire hybride offre une consommation d'énergie inférieure comparais au climatiseur conventionnelle pour les trois régions.

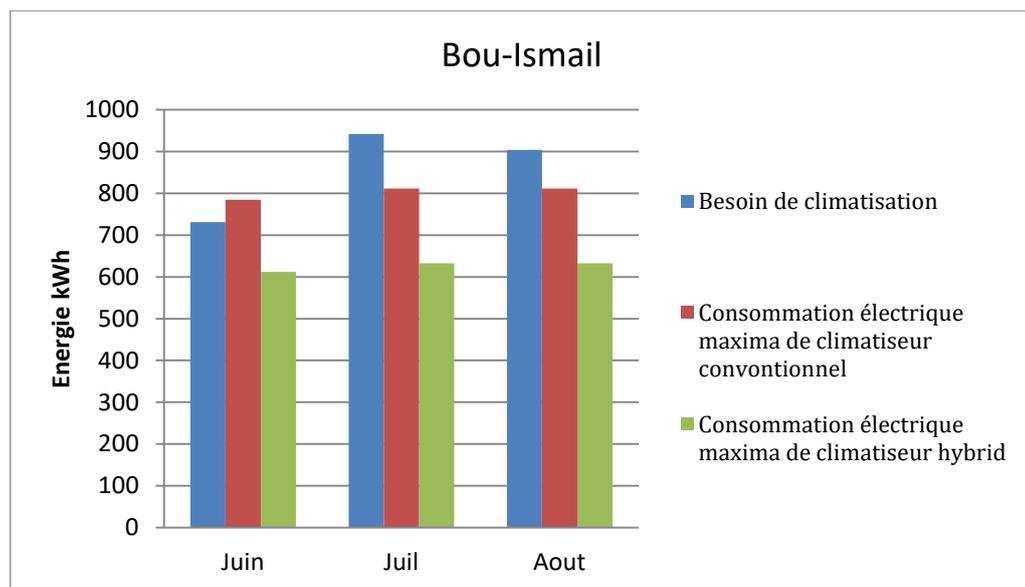


Figure 4.16 . Comparaison entre les besoins de climatisation et la consommation électrique maximale pour les deux climatiseurs -Bou-Ismaïl.

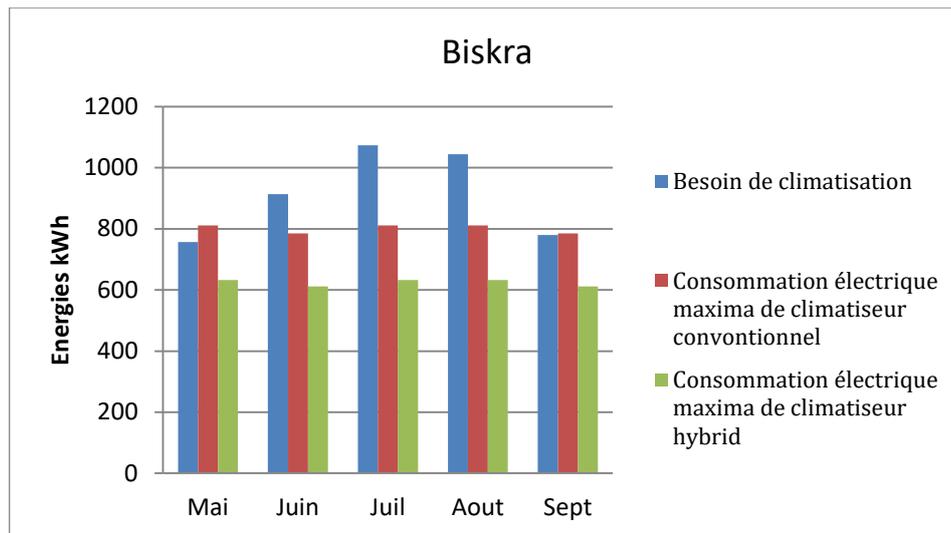


Figure 4.17. Comparaison entre les besoins de climatisation et la consommation électrique maximale pour les deux climatiseurs -Biskra.

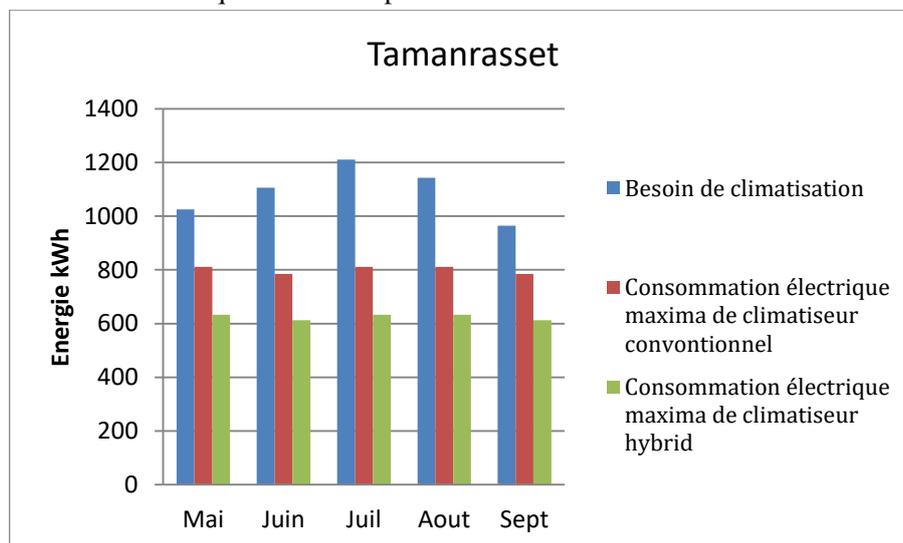


Figure 4.18. Comparaison entre les besoins de climatisation et la consommation électrique maximale pour les deux climatiseurs-Tamanrasset.

3.2. Etude économique

L'étude économique du climatiseur solaire hybride prévoit le calcul de la quantité d'énergie électrique conservée par ce système par rapport au système classique, ainsi que le gain financier correspondant à l'utilisation de ce type de climatiseur. Enfin, estimer le temps nécessaire pour amortir la différence d'investissement dans le deuxième climatiseur. Ces calculs ont été faits analytiquement en se basant sur les données de constructeur et les résultats obtenus lors de l'étude expérimentale et numérique sur les deux climatiseurs.

L'étude est faite pour les trois régions (Bou-Ismaïl, Biskra et Tamanrasset) et a pour but de comparer le « *Pay Back Period* » dans un climat différent et de choisir la région qui

favorise ce type de climatiseur en terme économique. Le tableau suivant résume les résultats obtenus.

Tableau 4.4. Calculs économiques pour les deux climatiseurs dans les trois régions.

Tamanrasset			Biskra			Bou-Ismaïl			Régions	
Différence	Hybride	Classique	Différence	Hybride	Classique	Différence	Hybride	Classique	Climatiseurs	
5.77	20.39	26.16	5.38	20.39	25.77	5.18	20.39	25.57	E el (kWh/Jour)	
179	632	811	125	632	757				Mai	
173	612	785	173	612	785	119	612	731	Jun	
179	632	811	179	632	811	179	632	811	Juillet	
179	632	811	179	632	811	179	632	811	Aout	
173	612	785	168	612	780				Septembre	
883	3120	4003	824	3120	3944	477	1876	2353	Cmax Total	
	153			153			92		Fonction d'été (jour)	
	4.17			4.17			4.17		C elec (DZD/kWh)	
24.06	85.02	109.1	23.68	85.02	107.49	10.241	85.03	106.65	Tarif jour (DZD/Jour)	
3690	13008	16692	3436	13010	16446	1990	7822	9812	Tarif total (DZD/an)	
10280	64280	54000	10280	64280	54000	10280	64280	54000	Coût de climatiseur (DZD)	
	0.358			0.33			0.19		Taux (1/an)	
	2.78			3			5.16		PBP (années)	

3.2.1. Consommation électrique des deux climatiseurs

On a fait des estimations approximatives des consommations énergétiques des deux climatiseurs, un exemple de calcul qui concerne la région de Bou-Ismaïl est donnée par la suite. La consommation maximale pour chaque climatiseur est donnée par l'équation (4).

$$C_{\max} = P_{\text{elc}} * 24 * N_j \quad (4)$$

Telle que :

P_{elc} : Consommation du compresseur pendant 1 heure de travail (KW)

N_j : Nombre de jour de fonctionnement du climatiseur (jours)

En comparant le besoin de climatisation pour chaque mois avec la consommation maximale estimée, si cette dernière est supérieure donc la consommation égale au besoins, si non si elle est inférieure, elle est égale à la consommation maximale.

Si : besoin < C_{max} → consommation = besoin

Si non : besoin > C_{max} → consommation = C_{max}

Tableau 4.5. Estimation de la consommation électrique mensuelle pour chaque climatiseur

Mois	besoin	C _{max} hybride	C _{max} classique	E hybride	E classique
Juin	600	612 = 0.85x24x30	785 = 1.06 x 24 x30	600	600
Juillet	700	632 = 0.85x24x31	811=1.06 x 24 x31	632	700
Aout	850	632	811	632	811

3.2.2. Taux d'amortissement

Le taux d'amortissement d'un appareil (en année) présente le nombre d'années nécessaires pour rembourser les investissements supplémentaires d'un système contre un autre, dans notre cas, c'est le rapport de la différence entre le prix du climatiseur solaire hybride et le climatiseur classique et la somme d'argent conservée par l'utilisation du système hybride équation (5).

$$P_{BP} = \frac{C_{\text{hyb}} - C_{\text{cla}}}{E_s \times C_{\text{elec}}} \quad (5)$$

Où:

PBP: Pay back period (taux d'amortissement) [ans]

C hybride : Le coût du climatiseur hybride dans le marché algérien [DZD]

C classique : Le coût du climatiseur classique [DZD]

E_s : La quantité d'énergie conservée par l'utilisation du système hybride. [KWh/ans].

C_{elec} : Le prix unitaire d'un 01 KWh d'électricité en Algérie [DZD/KWh]

- **Bou-Ismaïl:**

$P_{BP} = 10280 / 1990 = 5.16$ ans

- **Biskra:**

$P_{BP} = 10280 / 3436 = 2.99$ ans

- **Tamanrasset:**

$P_{BP} = 10280 / 3690 = 2.78$ ans

La figure ci-dessous montre les différents temps d'amortissement pour les trois régions d'étude.

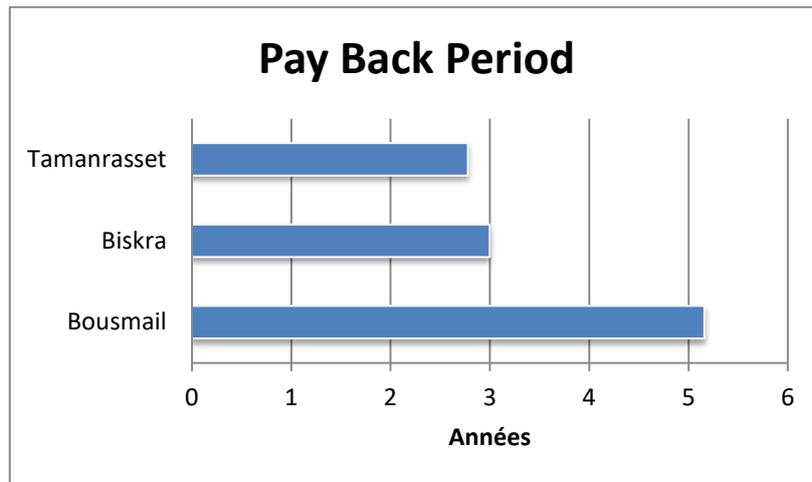


Figure 4.19. Graph comparatif du temps d'amortissement de climatiseur Dans les trois régions.

Nous remarquons que le temps d'amortissement dans les deux régions sahariennes est presque le même, cela peut être expliqué par la nature du climat pour ces deux régions et les températures ambiantes moyennes mensuelles, ainsi que par les durées de fonctionnement des climatiseurs dans ces régions. En revanche, à Bou-Ismaïl (région méditerranéenne) le climat en période estivale est moins chaud, il y'a des journées où la température ambiante était inférieure à celle de la maison sans climatisation, cela a influencé directement sur le PBP qui est d'environ 05 années comparant à sa durée de vie qu'est environ de 10 ans. L'utilisation de ces systèmes de climatisation dans les régions de la zone E1 n'est pas très efficace.

Cependant, dans la zone E3, son utilisation est très prometteuse et efficace. Dans ce cas on peut favoriser l'introduction des climatiseurs solaires hybrides dans ces régions à condition d'intégrer les principes de conditionnement d'air passifs dans les conceptions des bâtiments afin de minimiser les besoins en climatisation et rendre ces systèmes très efficaces et durables.

3.3. Etude environnementale

L'étude environnementale fait partie intégrante de notre étude, car selon l'agence nationale pour la promotion et la rationalisation d'utilisation d'énergie (APRUE) le secteur de bâtiment est classé deuxième après l'industrie dans les émissions des gaz à effet de serre [34].

Les climatiseurs classiques à compression mécanique de vapeur gourmandes en énergie puisent leur énergie produite dans les stations de productions électriques classiques à base du gaz naturel et son transport cause des rejets très nocifs. Les climatiseurs hybride interviennent par la diminution des consommations en terme d'énergie et donc des rejets de gaz à effets de serre moins importantes.

Les gaz à effet de serre se différencient, nous nous sommes intéressés aux plus dangereux parmi ces gaz, le dioxyde de carbone. Il est le premier responsable sur la destruction de stratosphère d'ozone et sur l'effet de serre.

Pour estimer la quantité de dioxyde de carbone CO₂ réduite par le gain en énergie apporté par l'utilisation de ce climatiseur solaire, on multiplie la quantité d'énergie conservée par le climatiseur par le facteur d'émission de CO₂ (**équation 6**). Les résultats obtenus sont regroupés (**Figure 4.20**).

Calcul simplifié :

$$M_{CO_2} = C \times E_s \quad (6)$$

Ou :

M_{CO_2} : Masse de CO₂ réduite en Kg CO₂/ans

C : le facteur d'émissions pour l'Algérie C=0.68 kg CO₂/kWh.

E_s : la quantité d'énergie conservée par l'utilisation du système hybride. [KWh/ans].

Bou-Ismaïl

$$M_{CO_2} = 0,68 \times 477 = 324,36 \text{ KgCO}_2/\text{ans}$$

Biskra

$$M_{CO_2} = 0,68 \times 824 = 560,32 \text{ KgCO}_2/\text{ans}$$

Tamanrasset

$$M_{CO_2} = 0,68 \times 883 = 600,44 \text{ KgCO}_2/\text{ans}$$

Les quantités de dioxyde de carbone CO₂ réduites par le climatiseur solaire dans chaque région est proportionnelles à celles de l'énergie gagnées par le même appareil. Les systèmes à faible consommation d'énergie primaire (électricité dans ce cas) offrent une plus importante conservation en termes d'émissions de gaz à effet de serre.

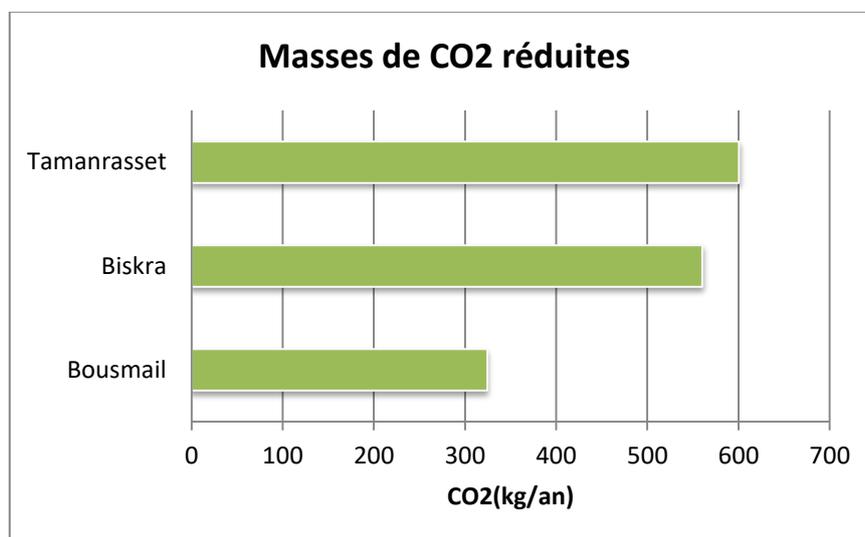


Figure 4.20. Graph comparatif des quantités de CO₂ réduites par le climatiseur dans les trois régions.

Pour une période de climatisation de 3 mois : juin, juillet et août à Bou-Ismaïl et de 5 mois à Biskra et Tamanrasset, la conservation d'énergie est estimée respectivement par 477KWh/an, 824KWh/an et 883KWh/an.

Le prix de climatiseur conventionnel d'une capacité frigorifique de 12000BTU (British Thermal Unit) est de 54000DZD et le prix du climatiseur solaire hybride de même puissance est de 64280 DZD, une différence de couts d'environ de 16% par rapport au climatiseur classique.

Le prix unitaire d'électricité en Algérie n'est pas uniforme : est de 1,19DZD/KWh pour les première 100KWh au-delà de cette consommation le prix sera facturé de 4,17DZD/KWh.

Le **Pay Back Period** (taux d'amortissement) est estimé de 5,16 et 2,99 et 2,78 années pour Bou-Ismaïl, Biskra et Tamanrasset respectivement .En se basant sur le facteur d'émission des gaz à effet de serre (C) pour la période estivale en Algérie de 0,68 KgCO₂/KWh, les quantités de CO₂ réduites par l'utilisation de ce climatiseur pendant la période estivale pour les trois régions étudiées est de 324,36 et 560,32 et 600,44KgCO₂/an.

4. Conclusion

La présente étude analyse la promotion et la rationalisation dans la consommation d'énergie électrique pour la climatisation d'une maison solaire décrite dans le troisième chapitre, on utilisant un climatiseur solaire hybride, ainsi que son amitié à l'environnement.

Les résultats montrent que le système solaire hybride a la capacité de conserver environ 20% à 22% de la consommation électrique par rapport au climatiseur classique, basé sur un fonctionnement de trois à cinq mois avec 24 heures de fonctionnement par jour selon la région climatique. L'hybridation du système de climatisation permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre plus particulièrement le CO₂ de 324 à 600 Kg par an.

Le taux d'amortissement de ce système est moyennement raisonnable comparé à une durée de vie de climatiseur de 20 ans. Les résultats de cette étude peuvent être applicables aux autres zones de l'Algérie, où la conservation d'énergie est plus prometteuse, à cause des durées de fonctionnement des climatiseurs pendant le jour et mensuellement, ainsi que le potentiel d'énergie solaire est plus important ce qui augmente les performances de ce type des systèmes.

Conclusion général

Ce travail de thèse présente une « étude technico-économique d'un climatiseur solaire hybride sous les conditions climatique de l'Algérie », le climatiseur est adapté à une maison solaire préfabriquée construite au sein de l'unité de développement des équipements solaires (UDES) à Bou-Ismaïl.

Le premier chapitre résume le gisement solaire de l'Algérie et le compare avec le monde par une étude détaillée pour certains cite choisis de notre pays, afin de conclure avec une présentation des données climatiques de l'Algérie qui ont été collectées par des chercheurs au fil des années.

Le deuxième chapitre est consacré à une analyse général de la climatisation dans le secteur du bâtiment, plus particulièrement la climatisation solaire et ces technologies, pour finir avec un état de l'art des capteurs solaires thermiques/photovoltaïques utilisés dans ces applications. Ce chapitre nous a aidés à élargir nos connaissances sur les techniques de climatisation solaire et afin de bien réaliser notre étude.

Dans la troisième partie de ce manuscrit, on a fait une évaluation énergétique de durabilité de la maison solaire d'UDES, qui nous a permet de voir sa conformité d'hiver et d'été selon les documents techniques réglementaires DTR C3-2/4, ainsi que savoir les besoins de chauffage et de climatisation et ces mêmes besoins de références qui atteint les 6876,7kWh et 7976 kWh par an respectivement. On a quantifié le nombre de points admis par cette construction (22,6) ou on pouvait dire que l'habitation est non conforme.

Finalement, une étude technico-économique du climatiseur hybride est faite sous deux différents climats dans trois régions (Bou-Ismaïl, Biskra et Tamanrasset), cette étude est faite sous forme d'une comparaison quantitative entre un climatiseur conventionnelle et le climatiseur étudié, le travail est devisé en trois sections, technique, économique et environnementale. Techniquement, les deux climatiseurs ont montrés de bonnes performances avec des petites perturbations dans le fonctionnement du climatiseur hybride dans l'absence de soleil, où ils ont assuré les températures de consigne fixées à 25°C dans la plupart des temps. Sur le plan économique, le climatiseur hybride est moins gourmand en énergie électrique où il a présenté un gain d'environ de 20 à 22% comparé au

climatiseur classique, ainsi qu'une réduction des rejets de dioxyde de carbone de 324 à 600kg CO₂ par an. Ces chiffres varient selon le site d'adoption. Le facteur le plus important à évaluer dans cette étude était le « taux d'amortissement » du climatiseur hybride par rapport au climatiseur classique, les résultats donnent un encouragement pour le recours l'investissement dans ce type des climatiseurs, où il est possible de rembourser la différence en coût global entre le système classique de climatisation, et l'alternative solaire dans **cinq (05)** années pour la régions de Bou-Ismaïl, par contre à Biskra et Tamanrasset, que l'on favorise mieux, q< le temps d'amortissement ne dépasse pas les **trois (03)** ans d'utilisation .

Par souci de déplacement dans la période de la réalisation de ce travail à cause de la situation pandémique en Algérie, nous n'avons pas pu faire nos propres expériences sur le climatiseur hybride, donc on a exploité les données d'expériences récolté par un groupe de recherche spécialistes dans la climatisation solaire au sein de l'unité de développement des équipements solaire (UDES) à Tipaza, par conséquent et comme perspectives nous recommandant de :

- Faire des tests expérimentaux sur le cycle thermodynamique du climatiseur hybride et évaluer ces performances réelles.
- Faire des bilans thermodynamiques des composants qui constitue l'appareil (compresseur, évaporateur, condenseur et détendeur).
- Faire un bilan énergétique de sous-système solaire thermique qui contient un capteur solaire à tube sous vide et une cuve de stockage pour savoir l'influence d'irradiation solaire sur les performances du climatiseur.
- Validation des résultats expérimentales par un model numérique sur TRNSYS Studio, qui vas permettre de faire une étude profonde.
- Revoir le système de régulation du climatiseur car celui-ci a fait des perturbations agressives durant son fonctionnement pendant la nuit.

Bibliographie :

Chapitre I :

- [1] : Hadj Abdelkader Meryem et n ZenineFadéla, « Modélisation des composants d'un système de rafraîchissement solaire à Absorption » , Page 48, Université AbouBekr Belkaid , Tlemcen, 2012-2013.
- [2] : jcboulay.free.fr/astro/sommaire/astronomie/univers/galaxie/etoile/systeme_solaire/terre2/coordonnees/page_coordonnees.html
- [3] : Vincent Bourdin, « (Calculs astronomiques simplifiés 2014) », Pages (2-7), Université Paris-Sud Orsa, 2014.
- [4] : www.bibliotheques-clermontmetropole.eu/cartographie/index.php?option=com_content&view=article&id=120&Itemid=120
- [5] : Abdelmajid Ben Hadj Salem, « (Eléments de Géodésie et de la Théorie des Moindres Carrés 2016)», Page 126, ingénieur général géographe, 2016.
- [6] : hbsoft.be/chauffage/solaire.html
- [7] : Alain Ricaud , « (Gisement solaire et transferts énergétiques 2011)» , Page (27-28), Université de CERGY-PONTOISE , janvier 2011.
- [8] : M.IQBAL, « (An introduction to solar radiation M. Iqbal 1983) », Page 19, Academic press, New York, 1983.
- [9] : Alain Ricaud, « (Les convertisseurs photovoltaïques Gisement solaire ,cellules, modules et champs de modules 2012)», Pages (7-13), Valbonne, Oct 2012.
- [10] : P.Amet, G.Gourdon, Y.Guern, R.Jules, E.Marguet et F.Mykieta, « (Installer un chauffage ou un chauffe-eau solaire 2008) »Page 23 , Groupe Eyrolles, Paris, 2008.
- [11] : Global solar atlas : données solaire 2020 accès libre sur le site web : <https://globalsolaratlas.info/>
- [12] : B. BELGAID, « Zones climatiques de l'Algérie », Page (1-4) Département d'architecture de Batna,
- [13] : Recommandations architecturales ', éditions ENAG, Alger (1993).
- [14] : M.Kezzar Med Akli , « Principes de conception climatique spécifique aux différentes zones climatique algériennes », département d'architecture de l'université de Bejaia, 2011-2012.
- [15] : Ministère de l'habitat, « Recommandations architecturales, ENAG/Editions. Alger 1993. (ENAG 1993)
- [16] : Ministère de l'habitat, « Réglementation thermique des bâtiments d'habitation », DTR C3-2, CNERIB, Alger , 10 Décembre 1997. (DTR 1997)

Webographie :

www.jcboulay.free.fr/

www.bibliotheques-clermontmetropole.eu

www.hbsoft.be/chauffage/solaire.html

www.globalsolaratlas.info

Chapitre I I:

- [17] : « Les rapports annuels de l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie » (APRUE) ; 2012, 2017
- [18] : Bilan énergétique national, ministère de l'énergie année 2017 .Edition 2018.
- [19] : Alain Liébard et André de Herde, « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique 'concevoir édifier et aménager avec le développement durable ' Edition 2005
- [20] : Claude-Alain Roulet et al « Cours d'énergétique du bâtiment Section de Génie Civil, 4ème/5ème année », université de LAUSANE, Edition 2014
- [21] : «Increasing the marker Implantation of solar air-conditioning systems for small and medium applications in residential and commercial buildings », Task 2.2: Best Practice Catalogue. /FR , Austria , 2008 .
- [22] : McQuiston, J. Parker, J. Spitler: "Heating, Ventilating, and Air Conditioning, Analysis and Design"; Jonn Wiley&Sons, Inc, 2005
- [23] : B. Vidrih, S. Medved: « The Connection between the Climate Change Model and a Buildings Thermal Response Model: A Case of Slovenia », Journal of Mechanical Engineering, vol. 52, no. 9/06, Ljubljana, 2006
- [24] : C. Arkar, S. Medved; "Free cooling of a building using PCM heat storage integrated into the ventilation system", Solar Energy, vol. 81, no 9, Elsevier Press, 2007
- [25] : Hans-Martin Henning (Ed.), «Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings – A Handbook for Planners ». Springer Wien/NewYork. 3rd revised edition 2013.
- [26] : Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE . Germany.
- [27] : Olivier Marc. «Étude expérimentale, modélisation et optimisation d'un procédé de rafraîchissement solaire à absorption couplé au bâtiment ». Autre [cond-mat.other]. Université de la Réunion 2010.
- [28] : Bureau d'études techniques en énergie solaire , France.
- [29] : Solar Heat for Industrial Processes of the IEA Solar Heating and Cooling Program and Task IV of the IEA Solar PACES Program, Austria, 2008
- [30] : Ahmed A.Pesaran Terry.R.penny, AL W Czanderna ; «Desiccant cooling state- of-art Assessment » , National Energy Research Centre (INETI) , October 1992

Webographie:

<https://www.ise.fraunhofer.de/en/renewable-energy-data.html>

<http://www.tecsol.fr/>.

<https://ecofriend.com/rotartica-s-solar-powered-air-conditioning.html>

<https://www.solarserver.de/>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700709000474>

<https://partnersinprojectgreen.com/news/green-purchasing-alliance-product-overview-climatewell-solar-cooling/>

Chapitre III:

- [31] : Dr Astrid Denker, Dr S.M.K El Hassar et Groupe d'experts spécialiste en efficacité énergétique et durabilité sous la direction de Dr - Ing. Saad Baradiy « Guide pour une construction éco-énergétique en Algérie » (APRUE) et (GIZ), Décembre 2014
- [32] : Ministère de l'habitat, « Réglementation thermique des bâtiments d'habitation », DTR C3-4, paragraphe 2 du chapitre 6 CNERIB, Alger, 10 Décembre 1997. (DTR 1997)
- [33] : Ministère de l'habitat, « Réglementation thermique des bâtiments d'habitation », DTR C3-2, tableau 7.4, CNERIB, Alger, 10 Décembre 1997. (DTR 1997)

Chapitre IV:

- [34] : « Les rapports annuels de l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie » (APRUE) ; 2012, 2017