

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب

Université -Ain-Temouchent- Belhadj Bouchaib

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département Génie Mécanique



Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master en :

Domaine : SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Thème

## Evaluation des performances énergétiques D'un habitat dans la zone méditerranéenne

**Présenté Par :**

1) KENT SAID

2) BEN ABDEL MOULA INES FATIMA ZAHRA

**Devant le jury composé de :**

Dr. BENZENINE Hamidou....

UAT.B.B (Ain-Temouchent)

Président

Dr. DORBANE Abdelhakim.....

UAT.B.B (Ain-Temouchent)

examinateur

Pr. BENSAAD BOURASSIA...

UAT.B.B (Ain-Temouchent)

Encadrante

Mr DJAOUAF Salaheddine .....

UAT.B.B (Ain-Temouchent)

.Co-encadrant

*Année universitaire 2021/2022*

وَقَدْ  
رَبِّ زَيْنِ عَالِمًا

## REMERCIEMENTS

*En Tout d'abord, nous remercions Dieu le Tout-Puissant de nous avoir donné la force, le courage, la confiance, la volonté et la patience pour faire ce travail. Nous exprimons également notre profonde gratitude à nos chers parents pour leurs encouragements, leur soutien et les sacrifices qu'ils ont endurés.*



*Nous remercions tout particulièrement notre Encadrante Pr BENSAAD BOURASSIA pour sa patience, ses observations, ses conseils, sa gentillesse, sa disponibilité et son accompagnement tout au long de la période de réalisation de notre mémoire. Nous remercions aussi vivement Monsieur DJAOUAF Salaheddine et notre collègue, BENEDDIF FATIMA ZOHRA pour l'attention qu'elle nous a portée en particulier et à notre sujet*

*Nous remercions également les membres du jury d'avoir accepté l'invitation à discuter nos travaux*

*Nous sommes très reconnaissants aux ingénieurs du laboratoire : M. Moussa boudjamaa Fathi, et M. Hadj Said Nasser Jamal El Din, pour leur accueil chaleureux. Sans oublier également de remercier tout particulièrement le personnel de l'école primaire Rezigui Boucif et les habitants du village pour leur aimable accueil.*

*Nous remercions également tous nos amis d'être restés à nos côtés tout au long de la période de travail*





## Dédicaces

Tout d'abord, je remercie Dieu Tout-Puissant de m'avoir donné le courage et la patience de faire ce travail malgré toutes les difficultés que j'ai rencontrées.

Je saisis cette belle opportunité de mon vivant pour dédier cet humble travail :

A mon cher père et ma chère mère ; leur amour, leurs conseils, leurs prières, leurs sacrifices et leur soutien C'était une motivation pour nous

A tous mes amis et les enseignants, qui m'ont soutenu et est resté à mes côtés

## **Résumé**

Notre objectif principal est de contribuer l'évaluation et l'amélioration de la performance énergétique du bâtiment. Cette étude s'intéresse aux aspects théoriques et pratiques des technologies et des matériaux du bâtiment, en plus d'exploiter les sources d'énergie propres disponibles.

Dans ce travail, et afin d'appliquer les connaissances acquises, nous avons fait une proposition de réhabilitation de l'existant pour répondre aux besoins actuels de l'école en proposant des changements réfléchis aux matériaux et méthodes de construction. Les résultats ont été obtenus grâce à logiciel TRNSYS .

Parallèlement nous avons opté pour une étude technico-économique de redimensionnement de de l'installations photovoltaïques pour produire l'énergie électrique nécessaire à l'alimentation de l'école primaire. Nos résultats conduisent au fait que l'installation de systèmes PV nécessite une étude minutieuse de la taille et de l'installation, qui ne se limite pas à la seule estimation, afin d'éviter les erreurs entraînant des pannes.

## **Abstract**

Our objective is to study the evaluation and improvement of the energy performance of the building. This study includes the theoretical and practical aspects of the building technologies and materials, in addition to exploiting the available clean energy sources.

In this work, and in order to apply the knowledge acquired, we have rehabilitated the existing installation to meet the current needs of the school by proposing thoughtful changes to materials and construction methods. The results were obtained using trnsys software .

At the same time for a technical and economic study of the maintenance of photovoltaic installations to produce the electrical energy necessary to supply a primary school. Our results lead to the fact that the installation of PV systems requires a careful study of the size and installation, which is not limited to the only estimate, in order to avoid errors leading to breakdowns.

In the end, we proposed a technology for heating water by exploiting the rays of the sun, while supporting our proposal with a study that we carried out

## التلخيص

هدفنا ا دراسة تقييم وتحسين أداء الطاقة للمبنى، وتشمل هذه الدراسة الجوانب النظرية والعملية لتقنيات ومواد البناء ، بالإضافة إلى استغلال مصادر الطاقة النظيفة المتاحة

في هذا العمل، ومن أجل تطبيق المعرفة المكتسبة، قمنا بإعادة تأهيل المنشأة الحالية لتلبية الاحتياجات الحالية للمدرسة من خلال اقتراح تغييرات مدروسة على المواد وطرق البناء، وتم الحصول على النتائج باستخدام برنامج trnsys.

في نفس الوقت دراسة فنية واقتصادية لصيانة المنشآت الكهروضوئية لإنتاج الطاقة الكهربائية اللازمة لتزويد مدرسة ابتدائية. أدت نتائجنا إلى حقيقة أن تركيب الأنظمة الكهروضوئية يتطلب دراسة دقيقة للحجم والتركيب ، والتي لا تقتصر على التقدير الوحيد ، وذلك لتجنب الأخطاء التي تؤدي إلى الأعطال.

في النهاية اقترحنا تقنية لتسخين المياه من خلال استغلال أشعة الشمس مع دعم اقتراحنا بدراسة قمنا به

# Tables des matières

<b>Introduction générale</b> .....	20
Chapitre I : le développement durables et l'efficacité énergétique dans bâtiment .....	22
Introduction : .....	22
<b>1. Généralités sur les énergies :</b> .....	22
<b>1.1. Définition de l'énergie :</b> .....	22
<b>1.2. Ressources énergétiques :</b> .....	23
<b>2. L'énergie et le bâtiment</b> .....	23
<b>2.1. Performance énergétique dans le bâtiment</b> .....	23
<b>2.1.1. Définition :</b> .....	23
<b>2.1.2. Classes de performance énergétique des bâtiments :</b> .....	25
<b>2.1.3. Diagnostic de Performance énergétique (DPE) :</b> .....	25
<b>2.2. Types des bâtiments maîtrisant la consommation énergétique :</b> .....	26
<b>2.2.1. Bâtiments à Haute Performance Entéritique (HPE) :</b> .....	26
<b>2.2.2. Bâtiments à basse consommation énergétique (BBC) :</b> .....	26
<b>2.2.3. Bâtiments à énergie Zéro :</b> .....	27
<b>2.2.4. Bâtiments à énergie Positive :</b> .....	27
<b>2.3. L'efficacité énergétique dans le bâtiment :</b> .....	27
<b>2.3.1. Définition :</b> .....	27
<b>2.3.2. Les avantages de l'efficacité énergétique :</b> .....	28
<b>2.3.3. Classification énergétique des bâtiments</b> .....	28
<b>2.4. La certification énergétique des bâtiments</b> .....	29
<b>3. Les principes du développement durable appliqués au bâtiment :</b> .....	30
<b>3.1. Le développement durable</b> .....	31
<b>3.1.1. Dimension économique</b> .....	32
<b>3.1.2. Dimension sociale</b> .....	32
<b>3.1.3. Dimension environnementale (Ecologique)</b> .....	33
<b>3.2. Performances environnementales :</b> .....	33
<b>3.3. Performances sociales :</b> .....	33
<b>3.4. Performances économiques :</b> .....	34
<b>3.5. Les enjeux énergétiques et développement durable :</b> .....	34
<b>3.5.1. Des enjeux environnementaux :</b> .....	34
<b>3.5.2. Des enjeux sociaux :</b> .....	34
<b>3.5.3. Des enjeux économiques :</b> .....	34
<b>Conclusion</b> .....	35

Chapitre II : l'énergie et le bâtiment .....	37
Introduction : .....	37
<b>1. Paramètres affectant la consommation énergétique :</b> .....	<b>38</b>
<b>1.1. L'enveloppe du bâtiment</b> .....	<b>38</b>
<b>1.1.1. L'enveloppe thermique d'une construction :</b> .....	<b>38</b>
<b>1.1.2. Les matériaux de construction :</b> .....	<b>38</b>
<b>1.2. Le vitrage et ses propriétés thermiques</b> .....	<b>39</b>
<b>1.3. L'inertie thermique :</b> .....	<b>40</b>
<b>1.4. Ventilation :</b> .....	<b>43</b>
<b>1.4.1. La ventilation mécanique contrôlée (artificielle) :</b> .....	<b>43</b>
<b>1.4.2. Ventilation naturelle</b> .....	<b>45</b>
<b>2. Consommation et Production d'énergie</b> .....	<b>47</b>
<b>2.1. La consommation énergétique :</b> .....	<b>47</b>
<b>2.2. La consommation énergétique au monde :</b> .....	<b>47</b>
<b>2.3. La consommation énergétique en Algérie :</b> .....	<b>48</b>
<b>2.4. La consommation énergétique par type d'énergie :</b> .....	<b>49</b>
<b>2.5. La consommation énergétique par secteur d'activité</b> .....	<b>50</b>
<b>3. Le stockage de la chaleur</b> .....	<b>51</b>
<b>4. L'isolation thermique :</b> .....	<b>51</b>
<b>4.1. Les principes de l'isolation thermique</b> .....	<b>51</b>
<b>4.1.1. Isolation intérieure</b> .....	<b>52</b>
<b>4.1.2. Isolation extérieure</b> .....	<b>52</b>
<b>4.1.3. Isolation répartie :</b> .....	<b>52</b>
<b>4.2. Les types d'isolant :</b> .....	<b>52</b>
<b>4.2.1. Les isolants synthétiques :</b> .....	<b>52</b>
<b>4.2.2. Les isolants en fibre de bois :</b> .....	<b>53</b>
<b>4.2.3. Les isolants d'origine animale :</b> .....	<b>54</b>
<b>4.2.4. Les isolantes nouvelles générations :</b> .....	<b>55</b>
<b>4.2.5. L'isolation répartie :</b> .....	<b>57</b>
<b>4.2.6. L'isolation du vitrage et de menuiserie extérieure :</b> .....	<b>60</b>
<b>5. Confort thermique</b> .....	<b>62</b>
<b>5.1. L'importance du confort thermique</b> .....	<b>62</b>
<b>5.2. Les paramètres du confort thermique :</b> .....	<b>63</b>
<b>5.2.1. La température de l'air (Ta) :</b> I .....	<b>63</b>
<b>5.2.2. La vitesse relative de l'air :</b> .....	<b>64</b>
<b>5.2.3. La température moyenne radiante (Tp) :</b> .....	<b>65</b>
<b>5.2.4. Le Degré hygrométrique de l'air :</b> .....	<b>65</b>



<b>6. Potentiel et gisement naturel pour couvrir les besoins d'un bâtiment .....</b>	<b>66</b>
<b>6.1. Le potentiel renouvelable.....</b>	<b>66</b>
<b>6.1. Potentiel d'énergies renouvelables de l'Algérie : .....</b>	<b>67</b>
<b>7. Produire du confort thermique naturellement : .....</b>	<b>72</b>
<b>7.1. Apports solaires :.....</b>	<b>72</b>
<b>7.2. Air en mouvement : .....</b>	<b>74</b>
<b>7.3. Vitesse de variation de la température .....</b>	<b>76</b>
<b>7.4. Influence des parois :.....</b>	<b>77</b>
<b>7.5.2. L'effusivité de la paroi .....</b>	<b>77</b>
<b>7.5.3. Température à la verticale : .....</b>	<b>78</b>
<b>7.5.4. Tirage thermique (convection) .....</b>	<b>78</b>
<b>7.5.5. Stratification (pas de convection).....</b>	<b>78</b>
<b>8. Les systèmes énergétiques solaires pour le bâtiment : .....</b>	<b>79</b>
<b>8.1. Systèmes photovoltaïques : .....</b>	<b>79</b>
<b>8.1.1. Les centrales à l'énergie solaire.....</b>	<b>80</b>
<b>8.1.2. Le fonctionnement des panneaux solaires .....</b>	<b>80</b>
<b>8.1.3. Les différentes installations photovoltaïques .....</b>	<b>81</b>
<b>8.2. Systèmes Thermiques :.....</b>	<b>82</b>
<b>8.2.1. Le solaire thermique actif.....</b>	<b>82</b>
<b>8.2.2. Les capteurs thermiques : .....</b>	<b>83</b>
<b>8.2.3. Fonctionnement des panneaux solaires thermique : .....</b>	<b>86</b>
<b>8.2.3. Avantages et inconvénients des capteurs solaires thermiques : .....</b>	<b>86</b>
<b>Conclusion : .....</b>	<b>87</b>
<b>Chapitre III : méthode de calcul .....</b>	<b>89</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>89</b>
<b>1. Estimation des besoins énergétique .....</b>	<b>89</b>
<b>1.1. Eclairage (confort visuel).....</b>	<b>89</b>
<b>1.1.1. Eclairage et la consommation.....</b>	<b>90</b>
<b>1.1.2. Les stratégies de la lumière naturelle : .....</b>	<b>91</b>
<b>1.2. Chauffage et refroidissement (Le confort thermique) : .....</b>	<b>92</b>
<b>1.2.1. Les normes de température pour l'enfant.....</b>	<b>93</b>
<b>1.2.2. Refroidissement .....</b>	<b>94</b>
<b>1.2.3. Chauffage .....</b>	<b>94</b>
<b>2. Etude d'une solution solaire photovoltaïque.....</b>	<b>95</b>
<b>2.1. La latitude, l'inclinaison et l'orientation optimales des capteurs photovoltaïques.....</b>	<b>96</b>
<b>2.2. Energie de Consommation.....</b>	<b>97</b>
<b>2.3. Dimensionnement du générateur photovoltaïque.....</b>	<b>98</b>

2.4.	Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser .....	100
2.5.	Dimensionnement du parc de batteries .....	101
2.6.	Dimensionnement du régulateur de charge .....	102
2.7.	Dimensionnement de l'onduleur .....	103
2.8.	Le dimensionnement des câbles électriques solaires .....	104
<b>Conclusion :</b> .....		105
Chapitre IV : .....		107
Introduction.....		107
<b>1.</b>	<b>Dimensionnement d'une mini station PV</b> .....	107
.1.1	Consommation d'énergie : .....	107
1.2.	Sources d'énergie utilisées : .....	108
1.3.	Présentation de l'installation photovoltaïque.....	109
1.3.1.	Les caractéristiques des panneaux solaires utilisés .....	109
1.3.2.	Les caractéristiques de l'onduleur utilisé : .....	110
1.4.	Déterminer l'angle d'inclinaison : .....	110
1.5.	Redimensionnement de la mini station PV .....	111
1.5.1.	Premier Cas : .....	111
1.5.2.	Deuxième cas: .....	114
<b>conclusion</b> .....		<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Chapitre V : <i>RésultatsDe Simulation</i> .....		120
<b>Introduction</b> .....		120
<b>1.</b>	<b>Le logiciel Trnsys</b> .....	120
.2.	<b>Objectifs</b> .....	120
<b>3.</b>	<b>Démarche de la Simulation</b> .....	120
1.1	Les propriétés thermo-physiques des matériaux .....	123
1.2	Conditions de temps (Heures d'activité ou temps de consommation) .....	125
1.3	Les conditions climatiques de la zone .....	126
.4	Les résultats obtenus .....	128
4.1.	Comparaison des températures les classes 1 & 2 .....	129
4.2.	L'effet de l'utilisation du chauffage et de la climatisation .....	130
.4.3	Calcul de la quantité d'énergie consommée .....	131
<b>5.</b>	<b>Conclusion</b> .....	133
<b>6.</b>	<b>perspective et propositions de fin d'étude</b> .....	134
<b>ANNEXE I</b> .....		135
.1	Les étapes de fabrication ce banc d'essai .....	135
<b>2.</b>	<b>Le boîtier :</b> .....	135
1.1.	L'isolation : .....	135

1.2. Une plaque absorbante : .....	136
1.3. L'échangeur : .....	137
1.4. Une couverture transparente : .....	137
3. Instrumentation : .....	138
3.1. Mesure de l'éclairement .....	138
3.2. Mesure des températures .....	138
4. Expérimentation .....	139
Première expérience (journée ensoleillée) .....	139
Deuxième expérience (journée nuageuse) .....	140
Conclusion .....	142
Références : .....	144

## Liste des figures

<i>Figure I-1 : les énergies renouvelables</i> .....	23
<i>Figure I-2: Sources de consommation énergétique à considérer dans le calcul de la performance énergétique d'un bâtiment selon la directive européenne</i> .....	24
<i>Figure I-3: Maison à basse énergie en Suisse</i> .....	26
<i>Figure I-4: Principaux besoins d'une maison à énergie positive</i> .....	27
<i>Figure I-5: Etiquette de performance énergétique</i> .....	29
<i>Figure I-6 : Pyramide de la performance environnementale dans le bâtiment</i> .....	29
<i>Figure I-7: Cycle de vie d'un bâtiment</i> .....	31
<i>Figure I-8: les 3 piliers du développement durable</i> .....	32
<i>Figure II-1 : La transmission lumineuse</i> .....	40
<i>Figure II-2 : Les types de l'inertie thermique</i> .....	41
<i>Figure II-3: les ponts thermiques</i> .....	42
<i>Figure II-4: les effets des ponts thermiques</i> .....	42
<i>Figure II-5 : VMC simple flux par extraction</i> .....	44
<i>Figure II-6 : VMC simple flux par insufflation</i> .....	44
<i>Figure II-7 : VMC double flux</i> .....	45
<i>Figure II-8 : le tirage thermique</i> .....	46
<i>Figure II-9: effet de vent</i> .....	47
<i>Figure II-10 : consommation de l'énergie primaire 2009 et évaluation de la consommation mondiale d'énergie</i> .....	48
<i>Figure II-11: les émissions du gaz à effet de serre par habitants et le GES selon le secteur d'activité</i> .....	48
<i>Figure II-12: Consommation finale par produits des différents secteurs</i> .....	49
<i>Figure II-13 : structure de la consommation finale par secteur d'activité</i> .....	50
<i>Figure II-14: l'isolation répartie</i> .....	52
<i>Figure II-15: le polystyrène expansé et le polystyrène extrudé</i> .....	52
<i>Figure II-16: les fibres de bois et les roseaux</i> .....	53
<i>Figure II-17: le torchis</i> .....	53
<i>Figure II-18: la laine de muoton, la plume de canard</i> .....	54
<i>Figure II-19: les aérogels</i> .....	54
<i>Figure II-20: les panneaux isolants sous vide</i> .....	55
<i>Figure II-21: le polyuréthane (PUR)</i> .....	55
<i>Figure II-22: la peinture isolante en extérieur</i> .....	56

<i>Figure II-23: la peinture isolante en intérieur</i> .....	56
<i>Figure II-24: Le béton cellulaire</i> .....	57
<i>Figure II-25: les blocs bi-matières</i> .....	57
<i>Figure II-26: les blocs mono-murs en pierre ponce</i> .....	57
<i>Figure II-27: les blocs mono murs en billes d'argile expansée</i> .....	58
<i>Figure II-28: les blocs monomurs en terre cuite</i> .....	59
<i>Figure II-29: Les blocs de coffrage isolant</i> .....	60
<i>Figure II-30: un comparatif thermique entre les types de vitrage</i> .....	60
<i>Figure II-31: la menuiserie en bois</i> .....	60
<i>Figure II-32: une menuiserie en acier</i> .....	61
<i>Figure II-33: une menuiserie en aluminium</i> .....	61
<i>Figure II-34: une menuiserie en pvc</i> .....	62
<i>Figure II-35: les facteurs influençant le confort thermique.et température de confort pour différentes vitesses relatives de l'air</i> .....	64
<i>Figure II-36: l'influence de la température des parois sur la sensation du confort thermique</i> .....	65
<i>Figure II-37: plage du confort pour une activité du bureau</i> .....	67
<i>Figure II-38: carte d'insolation solaire du monde</i> .....	68
<i>Figure II-39: carte l'irradiation globale annuelle moyenne</i> .....	69
<i>Figure II-40 : Carte du Vent Annuel Moyen à 50m (Période 2001-2010)</i> .....	70
<i>Figure II-41: localisation et température des ressources géothermique de l'Algérie</i> .....	72
<i>Figure II-42: l'angle d'incidence</i> .....	72
<i>Figure II-43: le facteur solaire,Sw</i> .....	73
<i>Figure II-44: température de l'air</i> .....	74
<i>Figure II-45: vitesse de l'air</i> .....	75
<i>Figure II-46: amplitude thermique</i> .....	75
<i>Figure II-47: vitesse de variation de la température</i> .....	76
<i>Figure II-48: température de la paroi</i> .....	76
<i>Figure II-49: l'effusivité de la paroi</i> .....	76
<i>Figure II-50: tirage thermique (convection)</i> .....	77
<i>Figure II-51: stratification (pas de convection)</i> .....	78
<i>Figure II-52 : Fonctionnement général d'une centrale solaire</i> .....	79

<i>Figure II-53: le fonctionnement des panneaux solaire</i> .....	80
<i>Figure II-54: Capteur solaire moquette</i> .....	82
<i>Figure II-55: Capteur solaire plan vitré</i> .....	83
<i>Figure II-56: Tube sous vide</i> .....	83
<i>Figure II-57: Capteur sous vide</i> .....	84
<i>Figure II-58: Capteur sous vide à caloduc</i> .....	84
<i>Figure II-59: Capteur à concentration</i> .....	85
<i>Figure II-60: Panneau solaire thermique</i> .....	85
<i>Figure III-1: l'éclairage d'une surface</i> .....	88
<i>Figure III-2: puit de lumière</i> .....	90
<i>Figure III-3: différents types d'ouverture</i> .....	91
<i>Figure III-4: Le confort thermique dépend de 6 critères</i> .....	92
<i>Figure III-5: schéma de principe de fonctionnement d'un climatiseur</i> .....	93
<i>Figure III-6: schéma de principe de fonctionnement d'une chaudière</i> .....	94
<i>Figure III-7: les angles pour un plan incliné : inclinaison <math>\beta</math></i> .....	95
<i>Figure III-8: le câble solaire</i> .....	103
<i>Figure IV-1 installation photovoltaïque de l'école REZIGUI Boucif</i> .....	107
<i>Figure IV-2 Capteur solaire thermique de l'école</i> .....	108
<i>Figure IV-3 : les caractéristiques des panneaux solaires utilisés</i> .....	109
<i>Figure IV-4 : la position des panneaux solaire dans cette école</i> .....	117
<i>Figure V-1 : le modèle géométrique des salles de classe</i> .....	120
<i>Figure V-2 : le modèle géométrique des classe pour les cas 3,4,5 et 6</i> .....	121
<i>Figure V-3 : le modèle géométrique de salles de classe</i> .....	121
<i>Figure V-4 Heures d'activité par jour</i> .....	124
<i>Figure V-5 : Heures d'activité par semaine</i> .....	125
<i>Figure V-6 : Horaire annuel</i> .....	125
<i>Figure V-7: Répartition de la température annuelle d'Oued El Hallouf Ain T'émouchent</i> .....	126
<i>Figure V-8 : Représentation du modèle par le studio TRNSYS</i> .....	127
<i>Figure V-9: Représentation du modèle par TRNBuild</i> .....	128
<i>Figure V-10: comparaison des températures des deux classes Avec : (a): L'automne, (b): L'hiver, (c): Le printemps et (d): Été</i> .....	129

<i>Figure V-11 : comparaison des températures de la classe 1 calculées avec et sans chauffage/climatisation Avec : (a): L'automne, (b): L'hiver, (c): Le printemps et (d): Été.....</i>	<i>130</i>
<i>Figure V-12 la quantité d'énergie consommée pendant un an(salle de classe 1).....</i>	<i>131</i>
<i>Figure V-13: la quantité d'énergie consommée pendant un an(salle de classe 2).....</i>	<i>133</i>
<i>Figure V-14 : Un capteur solaire plan.....</i>	<i>134</i>
<i>Figure V-15 : Le boîtier en bois.....</i>	<i>134</i>
<i>Figure V-16: l'emplacement de l'isolant.....</i>	<i>135</i>
<i>Figure V-17 : les plaques en aluminium.....</i>	<i>135</i>
<i>Figure V-18 : l'échangeur.....</i>	<i>136</i>
<i>Figure V-19 : couverture transparente.....</i>	<i>137</i>
<i>Figure V-20: Solari mètre.....</i>	<i>137</i>
<i>Figure V-21: thermocouple.....</i>	<i>138</i>
<i>Figure V-22: Courbe changement du flux soleil en fonction de temps.....</i>	<i>140</i>
<i>Figure V-23: Courbe changement de la température de l'eau chaude en fonction de temps.....</i>	<i>140</i>

## Liste des tableaux

<i>Tableau II-1: la température ambiante minimale par rapport au travail effectué.....</i>	<i>63</i>
<i>Tableau II-2: les valeurs de référence de la température ambiante. ....</i>	<i>63</i>
<i>Tableau II-3: Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques.....</i>	<i>67</i>
<i>Tableau III-1: quelque norme d'éclairément dans certain espace .....</i>	<i>89</i>
<i>Tableau III-2: type d'ampoule et sa consommation annuelle.....</i>	<i>89</i>
<i>Tableau III-3: Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux pour une utilisation annuelle..</i>	<i>96</i>
<i>Tableau III-4: Tension du champ en fonction de sa puissance crête.....</i>	<i>99</i>
<i>Tableau IV-1 : Le nombre, la puissance et Durée de fonctionnement des charges.....</i>	<i>107</i>
<i>Tableau IV-2 : La consommation de chaque system par jour.....</i>	<i>114</i>
<i>Tableau V-1: Dimensions des salles de classe.....</i>	<i>120</i>
<i>Tableau V-2 : Orientation et dimensions des fenêtres.....</i>	<i>122</i>
<i>Tableau V-3 : Données supplémentaires.....</i>	<i>122</i>
<i>Tableau V-4 : Propriétés thermo-physiques des matériaux de construction.....</i>	<i>123</i>
<i>Tableau V-5: Propriétés des alternatives de conception de vitrage.....</i>	<i>123</i>
<i>Tableau V-6: Les données opérationnelles.....</i>	<i>124</i>
<i>Tableau V-7 : Calendrier des entrées, sorties et vacances scolaires.....</i>	<i>125</i>
<i>Tableau V-8: Données météorologiques d'Oued El Hallouf Ain T'émouchent.....</i>	<i>126</i>
<i>Tableau V-9 : Température (Ambiante) Maximale et Minimale pour chaque plage de périodes.....</i>	<i>126</i>
<i>Tableau V-10: la quantité d'énergie consommée pendant un an(salle de classe 1).....</i>	<i>131</i>
<i>Tableau V-11: la quantité d'énergie consommée pendant un an (salle de classe 2).....</i>	<i>132</i>
<i>Tableau V-12: Les données de la Première expérience.....</i>	<i>139</i>
<i>Tableau V-13 : Les données de la Deuxième expérience.....</i>	<i>140</i>



## **Abbreviation:**

**PV:**Photovoltaïque

**WBCSD:** World Business Council for Sustainable Development (Conseil mondial des entreprises pour le développement durable)

**HPE :** haute performance énergétique

**HPE Enr :** Haute performance énergétique, énergies renouvelables

**THPE :** très haute performance énergétique

**THPE Enr :** très haute performance énergétique, énergies renouvelables

**BBC :** bâtiment basse consommation énergétique

**DPE :** Diagnostic de Performance énergétique

**QEB :** Qualité Environnementale d'un Bâtiment

**VMC :** ventilation mécanique contrôlée

**PSE :** polystyrène expansé

**XPS :** Polystyrène extrudé

**PUR :** Polyuréthanes

**GSA :** Grande Algérie Sahara

**CDER :** la Direction de l'Energie

**DMA :** déchets ménagers et assimilés

**TEP :** Tonne Equivalent Pétrole

**AC :** Courant alternatif

**DC :** Courant continu

## Nomenclature

$N_m$	Nombre de panneaux solaire nécessaires à l'installation	/
$N_s$	Le nombre de modules connectés en série	/
$V_{ch}$	Tension totale du champ	V
$V_n$	La tension délivrée par un seul panneau photovoltaïque	V
$N_p$	Le nombre de modules connectés en parallèles	/
$C_{ch}$	Capacité du champ de batterie	A <sub>h</sub>
U	Tension de la batterie	V
$C_{batterie}$	Capacité d'une batterie	V
$I_e$	Courant d'entrée	A
$I_s$	Courant de sortie	A
$P_i$	Puissance électrique d'un appareil	(w)
$T_i$	Durée d'utilisation de cet appareil	(h/j).
$E_{ep}$	L'énergie électrique journalière potentiellement	kWh/jour.
$E_i$	L'irradiation solaire journalière,	kWh/m <sup>2</sup> /jour,
$P_i$	Puissance électrique d'un appareil	(w)
K :	est le ratio de performance de l'installation photovoltaïque	
N :	nombre de jour d'autonomie	
D :	décharge maximale admissible (0,8 pour les batteries au plomb)	
V :	tension de champ photovoltaïque	(V)
R :	la résistance en	(Ω)
ρ :	La résistivité en	(Ω. m)
L :	la longueur du câble en	(m)
S :	la section du câble s en	(mm <sup>2</sup> )



**Introduction**

**Générale**

## **Introduction générale**

---

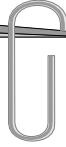
### **Introduction générale**

L'homme a, de tout temps, consommé de l'énergie, quelle qu'en soit sa nature. L'avènement de la révolution industrielle a permis des développements industriels et économiques fulgurants, mais très énergivores. Ces développements tous secteurs confondus, ont généré une multitude d'impacts négatifs sur la planète. Le réchauffement climatique et le retrait des glaciers en sont les deux images les plus révélatrices de cet état.

La consommation d'énergie du bâtiment a augmenté rapidement ces dernières années et c'est pour ça le secteur du bâtiment et de la construction c'est l'un des secteurs les plus concerné par les enjeux du développement durable. Le bâtiment représente environ 40% des émissions de CO2 des pays développés, 37% de la consommation d'énergie et de 40% des déchets produits.

Bâtiments zéro énergie, bâtiments à haute performance, bâtiments à basse consommation énergétique, bâtiments à énergie positive etc..., sont autant de labels apparus ces dernières années et dont l'objectif principal est la maîtrise de l'énergie. Le label Haute Performance Énergétique (HPE) a été mis en place afin de s'assurer que les constructions neuves, soient respectueuses de l'environnement.

Le but de ce travail est d'évaluer l'énergie dans une école primaire dans ain témouchent en Algérie et de réduire sa consommation d'énergie électrique avec des propositions des solutions pour améliorer les performances énergétiques dans cette école et passer à la production d'énergie propre grâce à l'exploitation des énergies renouvelables, Comme l'énergie solaire et les étapes d'installation de son système. nous avons accompagné notre travail avec logiciel Transys pour tester les solutions proposées sur cette école .



**Chapitre I :**

***Le développement durables  
et l'efficacité énergétique  
dans bâtiment***

# **Chapitre I : le développement durables et l'efficacité énergétique dans bâtiment**

## **Introduction :**

« L'efficacité énergétique est rapidement devenue l'un des enjeux importants de notre époque et les bâtiments en sont l'une des composantes clés. Björn Stigson, président du WBCSD (World Business Council for Sustainable Development,), souligne : Ils consomment plus d'énergie que tout autre secteur et contribuent ainsi largement au changement climatique ». "Sans action immédiate, des milliers de nouveaux bâtiments seront construits sans égard à l'efficacité énergétique, et des millions de bâtiments existants qui utilisent plus d'énergie que nécessaire continueront d'exister." Futur. Année 2050.

Dans le cadre énergétique actuel, avec épuisement des ressources fossiles et réchauffement climatique, de nouvelles performances sont requises pour les bâtiments. C'est la performance énergétique et environnementale. L'efficacité énergétique concerne la consommation d'énergie d'un bâtiment pour assurer la sécurité et le confort de ses occupants. Ces consommations sont liées au chauffage, à la ventilation, à la production d'eau chaude sanitaire, à la ventilation, à l'éclairage, aux équipements électriques (réfrigérateur, ordinateur, etc.), mais aussi au gaz de climatisation, ces besoins sont susceptibles d'augmenter avec le réchauffement climatique à long terme. La conception du bâtiment et le choix des équipements dépendent du climat dans lequel le bâtiment fonctionne. Pour contribuer à l'efficacité énergétique des bâtiments, il est largement admis qu'il existe principalement trois leviers activables : les solutions passives (enveloppe, orientation...), les solutions actives et le comportement des occupants. Dans ce chapitre on va parler d'abord sur la performance énergétique dans le bâtiment et sa méthodes d'évaluation, les principes du développement durable appliqué au bâtiment et l'efficacité énergétique.

## **1. Généralités sur les énergies :**

### **1.1. Définition de l'énergie :**

Larousse définit l'énergie comme « Grandeur caractérisant un système physique, gardant la même valeur au cours de toutes les transformations internes du système (loi de conservation) et exprimant sa capacité à modifier l'état d'autres systèmes avec lesquels il entre

## Chapitre 1 : le développement durables et l'efficacité énergétique dans bâtiment

en interaction. » Dans le Système international d'unités, l'énergie s'exprime en Joule et dans la vie de tous les jours on utilise des kilowattheures (kWh).

### 1.2. Ressources énergétiques :

Toutes les sources d'énergie sont présentes sur terre sauf l'énergie qui vient du soleil. Elle est intemporelle et nécessaire à la vie [3]. Parmi ces énergies, on trouve :

- Les énergies fossiles : dans ce cas la source d'énergie n'est pas renouvelable et donc les réserves peuvent s'épuiser en cas d'extraction intensive (pétrole, charbon, gaz, naturel, Uranium) [4].
- Énergie de fission : on cite l'énergie nucléaire qui représente l'énergie qui lie les composants du noyau. Cette chaleur est utilisée pour produire de l'électricité.
- Énergie renouvelable : Elle se renouvelle suffisamment vite pour être considérée comme inépuisable. Les énergies renouvelables ne produisent généralement pas de gaz à effet de serre (solaire, éolien, biomasse, etc.) [4] on cite par exemple : l'énergie solaire, l'énergie éolienne, la biomasse, l'énergie hydraulique, la géothermie et l'énergie marine.

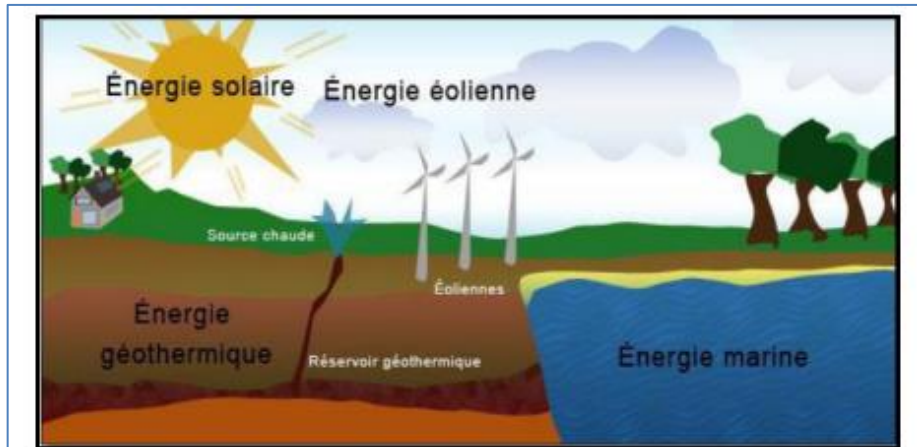


Figure I-1 : les énergies renouvelables [5]

## 2. L'énergie et le bâtiment

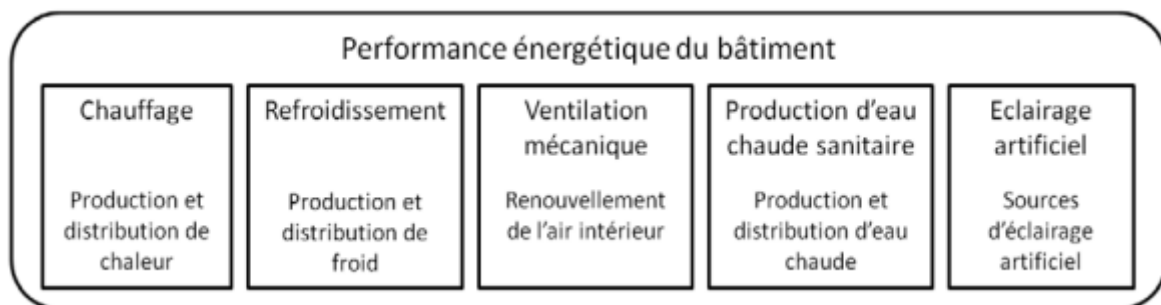
### 2.1. Performance énergétique dans le bâtiment

#### 2.1.1. Définition :

D'une manière générale, un bâtiment peut être défini comme un espace avec un toit et des murs dans lequel l'énergie est utilisée pour réguler le climat intérieur [Parlement européen, 2010].

## Chapitre 1 : le développement durables et l'efficacité énergétique dans bâtiment

Jusqu'en 2020, l'Union européenne définit la performance énergétique d'un bâtiment comme la quantité d'énergie nécessaire pour répondre aux besoins énergétiques associés à l'utilisation normale du bâtiment, y compris l'énergie utilisée par les systèmes d'ingénierie du bâtiment. Les systèmes techniques représentant les sources de consommation d'énergie considérées dans le cadre de la directive européenne sont identifiés dans la figure I-2. [8]



*Figure I-2: Sources de consommation énergétique à considérer dans le calcul de la performance énergétique d'un bâtiment selon la directive européenne 2010/31/UE. [8]*

Un bâtiment peut être défini d'un point de vue énergétique par les aspects ayant une influence déterminante sur sa consommation d'énergie qui décrivent sa performance énergétique. En particulier, quatre types d'aspects de la structure d'un bâtiment peuvent être identifiés :

1. la Géométrie : Les éléments géométriques et organisationnels du bâtiment, y compris les dimensions du bâtiment, sa relation avec l'environnement et la distribution des espaces intérieurs.
2. l'Enveloppe : elle comporte les facteurs impliqués dans les échanges externes, y compris les pertes de chaleur et les apports solaires. Les éléments du bâtiment concernés sont les murs et les baies vitrées de la façade, du toit et des étages inférieurs.
3. les Matériaux : ce sont les facteurs liés à l'inertie thermique des bâtiments. Les principaux éléments concernés sont les planchers intermédiaires et les cloisons longitudinales.
4. le Système : il comporte les éléments liés à l'équipement technique du bâtiment, y compris les systèmes de ventilation, d'éclairage, de chauffage, de refroidissement et de production d'eau chaude [8]. Afin de développer uniquement l'efficacité énergétique des bâtiments d'habitation, le chauffage est encore considéré comme l'échelle et est considéré comme incontournable dans la réglementation RT2012. L'illustration inverse montre la relation qui existe entre l'énergie utilisée et l'énergie incorporée dans un bâtiment. Les performances du



## Chapitre 1 : le développement durables et l'efficacité énergétique dans bâtiment

bâtiment étant de plus en plus maîtrisées, l'écart entre ces deux aspects se réduit progressivement, au point que l'énergie exprimée devient le levier d'action.

### 2.1.2. Classes de performance énergétique des bâtiments :

Les bâtiments sont classés en cinq catégories selon leur niveau de performances énergétiques :

- **Niveau n°01, HPE (haute performance énergétique) :** relatives aux bâtiments dont la consommation énergétique est au moins 10% inférieure à la norme.
- **Niveau n°02, HPE Enr. (Haute performance énergétique, énergies renouvelables) :** est affecté aux bâtiments HPE dont au moins 50 % de l'énergie utilisée pour le chauffage provient d'une installation biomasse ou d'un réseau de chaleur utilisant plus de 60% d'énergies renouvelables.
- **Niveau n°03, THPE (très haute performance énergétique) :** est affecté aux bâtiments dont la consommation d'énergie est au moins 20 % inférieure à la consommation de référence.
- **Niveau n°04, THPE Enr (très haute performance énergétique, énergies renouvelables) :** en visant une augmentation de 30 % de la consommation de référence, les bâtiments concernés doivent utiliser des énergies renouvelables, telles que la chaleur solaire ou photovoltaïque, la biomasse ou les pompes à chaleur.
- **Niveau n°05, BBC (bâtiment basse consommation énergétique) :** attribué à une consommation des logements neufs inférieure à 50 KWh/m<sup>2</sup>/an. Ce niveau est corrigé de deux coefficients pour la zone climatique et pour la hauteur de l'habitation. [10]

### 2.1.3. Diagnostic de Performance énergétique (DPE) :

Le Diagnostic de Performance Energétique donne une note colorée au logement : de A (vert : meilleure note) à G (rouge : plus mauvaise note). L'échelle permet de souligner l'énorme potentiel d'amélioration de l'environnement et ses gisements économes en énergie [4]." Issu de la directive européenne, le diagnostic de performance énergétique détermine la capacité à limiter la consommation d'énergie sans altérer le confort. [9]

Depuis 2006, un diagnostic est exigé lors de la vente de tout immeuble en France. En 2007, cette obligation a été étendue aux constructions neuves et aux immeubles locatifs. [11]

Le diagnostic de performance énergétique est un bon outil pour modifier et améliorer la performance intrinsèque des habitations. [9]. L'intérêt de ce diagnostic est de :

## Chapitre 1 : le développement durables et l'efficacité énergétique dans bâtiment

- Vérifier que le comportement de l'habitat est approprié ;
- Comparer la consommation réelle avec la consommation de référence ;
- Éduquer les vendeurs sur les économies d'énergie pour améliorer les performances du bâtiment.

### **2.2. Types des bâtiments maîtrisant la consommation énergétique :**

#### **2.2.1. Bâtiments à Haute Performance Entéritique (HPE) :**

La « Haute performance Energétique » est un ensemble de normes et d'exigences réglementaires qui se sont progressivement établies depuis 1978 auprès des différents acteurs du bâtiment,

L'environnement, les services publics de l'énergie, les maîtres d'ouvrage et organismes publics de certification. C'est une approche qualitative qui intègre toutes les activités liées à la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance d'un bâtiment (bâtiment résidentiel, public, tertiaire ou industriel). [12]

#### **2.2.2. Bâtiments à basse consommation énergétique (BBC) :**

“Low energy house”, ce terme est souvent utilisé pour désigner des bâtiments plus économes en énergie que les bâtiments standards [13]. Le label BBC met l'accent sur le besoin d'enceintes et d'isolation bien conçue pour réduire les besoins en chauffage.



*Figure I-3: Maison à basse énergie en Suisse. [14]*

## Chapitre 1 : le développement durables et l'efficacité énergétique dans bâtiment

Selon le label Effinergie, les bâtiments sont à basse consommation d'énergie lorsque la consommation d'énergie primaire est inférieure à 50 KWh/m<sup>2</sup>/an pour les catégories suivantes : chauffage, eau chaude sanitaire, ventilation, éclairage et refroidissement.

### 2.2.3. Bâtiments à énergie Zéro :

Le bâtiment zéro énergie associe des besoins énergétiques faibles à des moyens locaux de production d'énergie, sa production d'énergie équilibrant sa consommation. Ce bâtiment tire toute son énergie de l'énergie solaire et d'autres sources renouvelables et possède un niveau d'isolation supérieur à la moyenne. [13]

### 2.2.4. Bâtiments à énergie Positive :

Parfois appelé BEPOS, c'est un bâtiment qui génère plus d'énergie (électricité, chaleur) qu'il n'en consomme pour son fonctionnement, on peut aussi dire que c'est un bâtiment passif très performant doté des moyens de produire une énergie supérieure à ses besoins énergétiques.

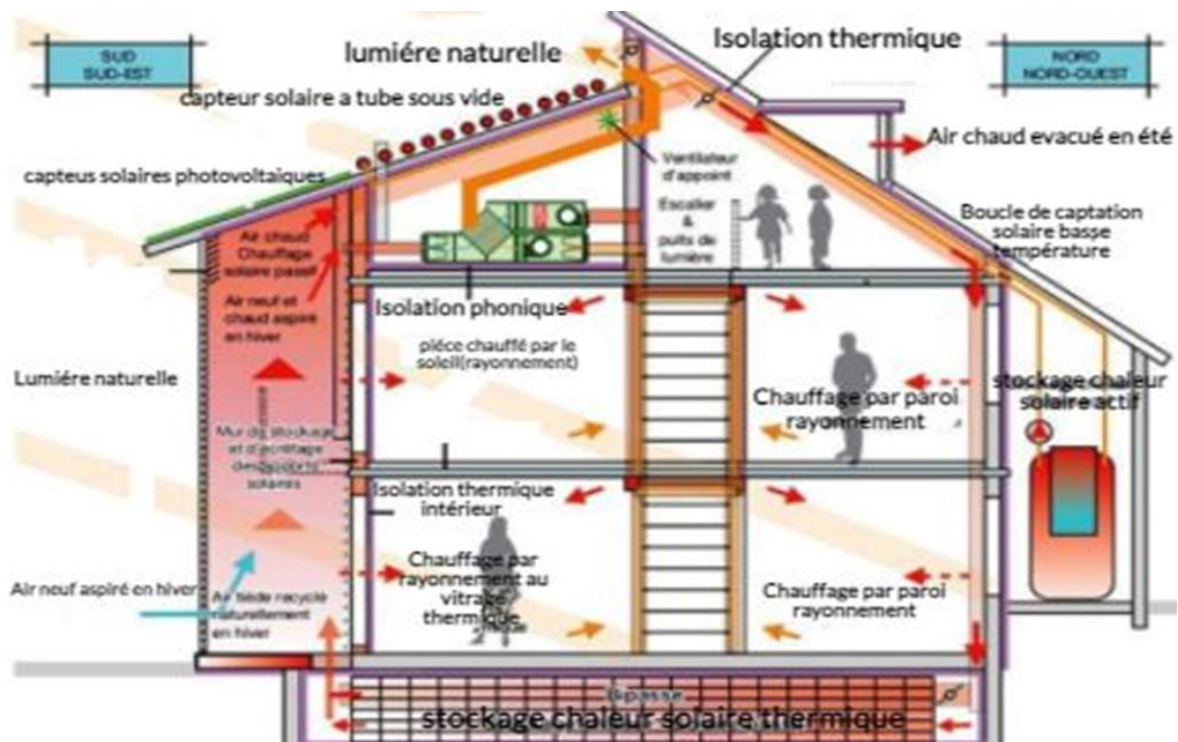


Figure I-4: Principaux besoins d'une maison à énergie positive. [15]

## 2.3. L'efficacité énergétique dans le bâtiment :

### 2.3.1. Définition :

L'efficacité énergétique consiste à réduire à la source la consommation d'énergie requise pour un même service sans réduire le niveau de bien-être ou la qualité de ce service dans le bâtiment, c'est-à-dire l'utilisation d'énergie optimale pour une qualité de vie constante [31]

## **Chapitre 1 : le développement durables et l'efficacité énergétique dans bâtiment**

---

Le concept capture l'architecture, le climat, l'enceinte et l'équipement dans le même processus [32]. L'objectif est donc d'intégrer des solutions qui permettent d'optimiser les consommations sans sacrifier le confort des occupants, ni sans compromettre la compétence technique des outils propres au fonctionnement des occupants du bâtiment. [7]

### **2.3.2. Les avantages de l'efficacité énergétique :**

Accroître l'efficacité énergétique est l'un des moyens les plus constructifs et les moins coûteux de relever les défis des prix élevés de l'énergie, de la sécurité et de l'indépendance énergétiques, de la pollution de l'air et du changement climatique mondial. Les nombreux avantages de l'efficacité énergétique comprennent :

- **Environnemental** : une efficacité accrue peut réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'autres polluants, ainsi que la consommation d'eau.
- **Économique** : l'amélioration de l'efficacité énergétique est généralement moins coûteuse que l'investissement dans une nouvelle génération de bâtiments. L'efficacité énergétique peut également stimuler les économies locales.
- **Avantages pour le système de distribution** : Lorsqu'elle est intégrée dans les plans de ressources énergétiques, l'efficacité énergétique peut offrir des avantages à long terme en réduisant la demande de base et de pointe, ainsi que la demande d'actifs de transport et d'énergie supplémentaires.
- **Gestion des risques** : Les économies d'énergie diversifient également le portefeuille de ressources des services publics et peuvent fournir une couverture contre les incertitudes liées aux fluctuations des prix du carburant et à d'autres facteurs de risque.

### **2.3.3. Classification énergétique des bâtiments**

La classification énergétique est établie selon le degré de consommation annuelle d'énergie par m<sup>2</sup> (en kWh/m<sup>2</sup>.an). Sept classes sont déterminées, comme pour l'électroménager, allons de la classe A à la classe G :

- **la classe A** : logement économe avec une consommation annuelle d'énergie primaire pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire.
- **la classe G** : la classe énergivore, avec une consommation égale ou supérieure à 450 kWh/m<sup>2</sup>.an. (De Haut, 2007).

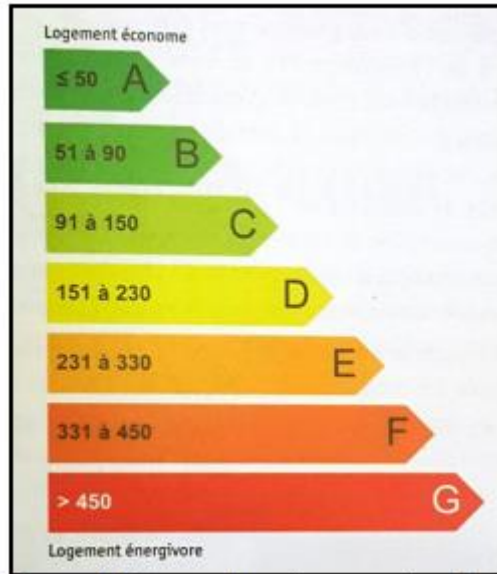
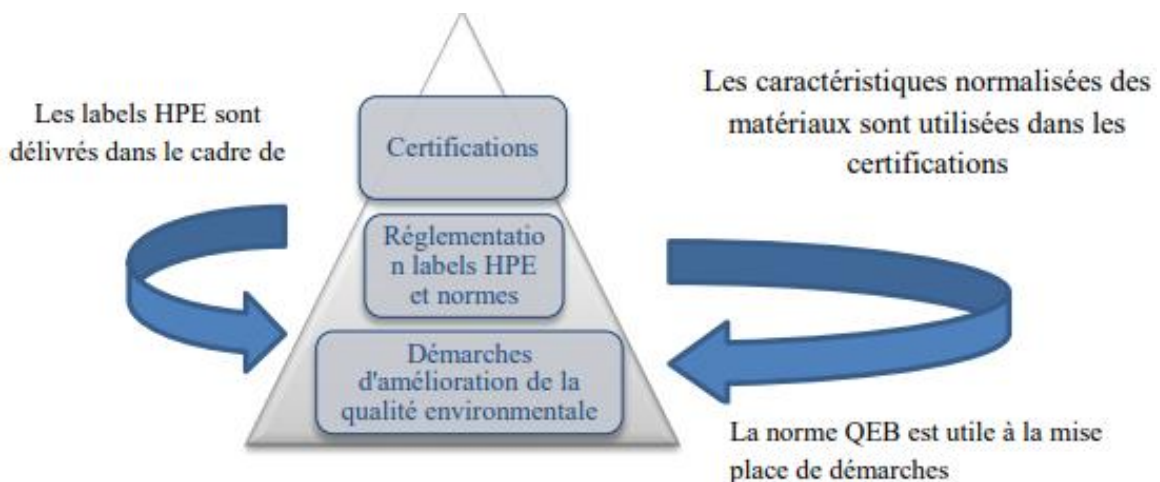


Figure I-5: Etiquette de performance énergétique. [33]

« Dans l'ancien, la quasi-totalité des constructions d'avant 1975 se répartissent entre tu notes D et G. De nombreux propriétaires sont surpris de recevoir des avis médiocres même s'ils pensent que leur maison est en bon état de fonctionnement. [4]

### 2.4. La certification énergétique des bâtiments

La certification environnementale constitue le troisième niveau de la pyramide de la qualité environnementale des bâtiments. Au premier niveau se trouvent les normes et les réglementations qui aident à former la base d'un cadre commun pour évaluer les approches et fixer des niveaux minimaux pour différentes qualités de produits et de travaux. L'efficacité énergétique est en avance, conclut le Grenelle de l'environnement. [19]



## **Chapitre 1 : le développement durables et l'efficacité énergétique dans bâtiment**

---

*Figure I-6 : Pyramide de la performance environnementale dans le bâtiment [18]*

Le terme « certification » est défini comme une procédure d'évaluation de la consommation énergétique d'un bâtiment. Elle représente une valeur du niveau d'efficacité énergétique d'un bâtiment. La directive européenne (N.93/76/CEE, 1993) stipule que la certification énergétique des bâtiments comprend une description des caractéristiques énergétiques et fournit aux utilisateurs des informations sur la performance énergétique des bâtiments. Lorsque cela est possible, la certification peut également inclure des solutions pour améliorer ces caractéristiques énergétiques [20]. La certification, telle que nous la définissons, est le terme le plus utilisé dans les méthodes existantes d'analyse de la performance énergétique (labels, indicateurs de performance, notations, audits énergétiques, quantité). Ci-dessous, nous décrivons les différences entre la certification et chacune des méthodes suivantes :

- **Le label** : permet d'afficher par revue les valeurs standards de performance énergétique du bâtiment.
- **Un indicateur de performance** : peut montrer la consommation d'énergie d'un bâtiment à l'échelle d'un processus de performance standardisé.
- **le classement ou 'ranking'** : l'analyse multicritère permet de vérifier que le bâtiment étudié est plus ou moins performant que la référence (classement comme valable).
- **l'audit énergétique** : peut analyser les faiblesses des bâtiments et des équipements pour faire des recommandations d'améliorations économiques et techniques. [21]

### **3. Les principes du développement durable appliqués au bâtiment :**

La Qualité Environnementale d'un Bâtiment (QEB) correspond aux caractéristiques, produits et services lui permettant de créer un environnement intérieur confortable et sain tout en satisfaisant les besoins de maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur. Tout comme une Analyse de Cycle de Vie d'un produit (figure I-7), il est important de prendre en compte tout au long du projet de construction l'ensemble du cycle de vie du bâtiment :



Figure I-7: Cycle de vie d'un bâtiment. [30]

L'objectif de développement durable dans le secteur bâtiments est de transformer un consommateur d'énergie en producteur d'énergie et de répondre ainsi à la production de richesse et cela selon les trois piliers de développement durable :

L'objectif de durabilité dans le secteur du bâtiment est de transformer un consommateur d'énergie en producteur d'énergie et ainsi satisfaire la production de richesse et cela sous les trois piliers de la durabilité :

### 3.1. Le développement durable

Le développement durable est une partie importante et intégrale de la vision et de la fonction de la société. Il est durable et de conservation à long terme pour apporter une activité économique efficace, le développement humain, la protection et les ressources naturelles. [25]

En 1987, ancien Premier ministre de Norvège et président de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement, Madame Gro H. Brundtland s'attacha à définir ce concept de Sustainable Development par « un développement qui répond au besoin du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs » [26].

Deux concepts sont inhérents à ce concept :

-Le concept des besoins fondamentaux des personnes les plus pauvres qui ont besoin de la plus haute priorité.

-L'idée des limites que l'état technique et l'organisation sociale imposent à la capacité de l'environnement à répondre aux besoins présents et futurs.

## Chapitre 1 : le développement durables et l'efficacité énergétique dans bâtiment

Construire durablement les territoires urbains est un argument nécessaire pour établir un cadre cohérent, lisible et logique de l'action publique locale. La recherche de compromis raisonnables entre des enjeux disparates est un élément fondamental de notre réflexion [27]. Le développement durable positionne, quel que soit le cas, global ou local, la ville ou le bâtiment à l'intersection des univers sociaux, environnementaux et économiques. (Figure I-8).

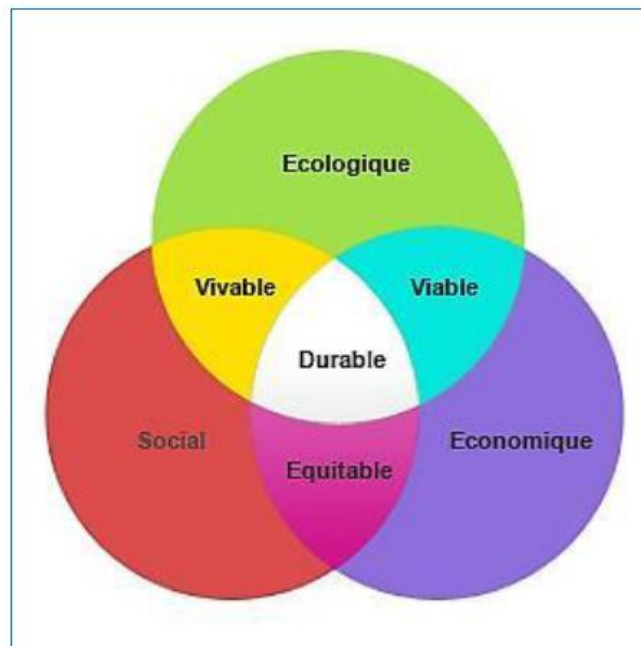


Figure I-8: les 3 piliers du développement durable [28]

### **3.1.1. Dimension économique**

Réfléchir à la recherche par le développement durable d'une cible de croissance et d'une efficacité économique. Cette approche doit aborder la nécessité de développer le développement social et de leur économie, en particulier dans le cas où les pays en développement souhaitent également atteindre un niveau de vie satisfaisant.

### **3.1.2. Dimension sociale**

Représente le fait que le développement durable doit commencer par les besoins humains et ainsi répondre à l'objectif de justice sociale. Remettre l'humain au centre de l'action vous permet de répondre à ce besoin. En rappelant les liens intergénérationnels et intergénérationnels, le rapport Brundtland place l'humain au centre des objectifs ; Des éléments de cette approche sont également liés à la santé, à l'hygiène et aux aspects culturels. Dans une perspective intergénérationnelle, le rapport définit également des objectifs temporels



## **Chapitre 1 : le développement durables et l'efficacité énergétique dans bâtiment**

---

### **3.1.3. Dimension environnementale (Ecologique)**

Cela signifie que l'action doit contribuer à préserver, améliorer et valoriser l'environnement nécessaire à la vie. L'action doit préserver les ressources à long terme et permettre la régénération plutôt que l'épuisement.

L'objectif comprend également l'atténuation des conséquences climatiques des actions humaines. Si un seul de ces trois cercles est ignoré, ou qu'un seul de ces trois carrefours est fragilisé, la viabilité du système peut être mise en place. Car l'homme est à la fois le garant de la durabilité et le coupable de l'insoutenabilité du développement [29].

Alors que l'amélioration de l'habitat se confronte de plus en plus aux menaces que notre mode de développement fait peser sur l'environnement fragile et les grands équilibres de la planète, le développement durable n'est plus un simple équilibre et devient un équilibre moyen. Qualifié d'art de vivre, il serait intéressant de se fondre dans les premiers cercles associés à l'univers culturel.

Par conséquent, l'objectif principal du développement durable est d'atteindre un équilibre entre les besoins de croissance économique, la nécessité d'accroître la protection des espaces naturels et la nécessité d'une coexistence harmonieuse des différentes communautés. et al, 2000]. Ce compromis nécessite une meilleure compréhension des enjeux, des modalités de mise en œuvre des politiques publiques et des incertitudes liées aux enjeux techniques.

## **3.2 Les principes du développement durable appliqués au bâtiment :**

### **3.2.1 Performances environnementales :**

- Impact limité tout au long du cycle de vie
- Économiser les ressources, y compris l'énergie
- Réduire les émissions de gaz à effet de serre
- Générer moins de déchets
- Limiter la pollution de l'eau, de l'air et du sol
- Maintenir la biodiversité
- Minimiser les nuisances...

### **3.2.2 Performances sociales :**

- Promouvoir le progrès social

## **Chapitre 1 : le développement durables et l'efficacité énergétique dans bâtiment**

---

- Garantir la qualité de l'air intérieur et de l'eau
- Assurer le confort thermique, visuel, olfactif et acoustique
- Optimiser l'accessibilité et l'adaptabilité des logements
- Augmenter la sécurité et prévenir les risques
- Réduire les nuisances de voisinage
- Assurer la traçabilité des matières premières
- Impliquer les utilisateurs dans les processus décisionnels...

### **3.2.3 Performances économiques :**

- Concevoir avec une approche d'économie globale
- Raisons des coûts globaux sur toute la durée de vie des bâtiments

### **3.3 Les enjeux énergétiques et développement durable :**

Bien sûr, le développement durable répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à y répondre. Ainsi, la valorisation énergétique joue un rôle important en tant que partie intégrante du développement durable, car elle comprend : un pôle social, un pôle économique et un pôle environnemental, d'où les enjeux Ses trois types :

#### **3.3.2 Des enjeux environnementaux :**

Compte tenu de la contribution importante du secteur résidentiel aux émissions de CO<sub>2</sub> et au réchauffement climatique, dommages causés à toutes les étapes de la transition énergétique, pollution de l'air, variabilité des risques climatiques, déforestation, pluies acides, production de déchets dangereux pour lesquels il n'existe pas de solution aujourd'hui [34]

#### **3.3.3 Des enjeux sociaux :**

L'environnement bâti est un support essentiel pour le bonheur et les relations sociales.

L'environnement intérieur a un effet direct sur la santé de ses occupants. Et comme les parcs tertiaires sont par définition destinés à des occupants en vue d'un travail administratif, le manque de confort à l'intérieur se répercutera directement sur la productivité des ouvriers ; En plus de maintenir ce niveau de confort optimal, il y a un coût énorme.

#### **3.3.4 Des enjeux économiques :**

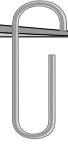
La perspective de démarrer un programme d'amélioration de l'efficacité énergétique d'une flotte existante entraînerait un investissement économique important en raison de la rareté et de l'augmentation du coût des ressources fossiles.

## **Chapitre 1 : le développement durables et l'efficacité énergétique dans bâtiment**

---

### **Conclusion**

Dans le cadre énergétique actuel, associé à l'épuisement de ressources fossiles et au réchauffement climatique, des nouvelles performances sont exigées pour les bâtiments. Il s'agit des performances énergétique et environnementale. La performance énergétique est liée à la consommation énergétique d'un bâtiment pour assurer la salubrité et le confort de ses occupants. Cette consommation concerne les postes de chauffage, de ventilation, de production d'eau chaude sanitaire, de ventilation, d'éclairage, des équipements électriques (réfrigérateur, ordinateur...), mais également de climatisation, dont les besoins risquent d'augmenter avec le réchauffement climatique à long terme. La conception des bâtiments et la sélection des équipements dépendent du climat dans lequel le bâtiment fonctionne.



**Chapitre II :**

***L'énergie et le bâtiment***

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

### Introduction :

Depuis la naissance de l'humanité, l'homme a toujours cherché à se protéger des aléas climatiques (été trop chaud, venteux, pluvieux, etc.) pour créer des conditions favorables à sa vie. En l'absence de sources d'énergie fossiles, il a été contraint de construire un cadre de vie confortable toute l'année. « Le climat joue toujours un rôle déterminant dans la forme de construction » [35]. C'est le cas des habitats indigènes qui peuvent être considérés comme une source d'inspiration pour les architectes modernes en termes de respect de l'environnement naturel et de confort apporté à leurs utilisateurs.

Dès le XIXe siècle, l'habitat se développe grâce au faible coût de l'énergie, à l'essor et au développement des machines thermiques, à l'émergence des procédés industriels de construction, à la recherche de la quantité et de l'esthétique. [36] La qualité, la durabilité et l'adaptation de l'habitat au milieu ne sont pas prises en compte. "La standardisation du processus de construction et la possibilité d'acheminer partout les produits ferroviaires ont conduit au déclin des modes de production locaux qui ont de longues traditions adaptées aux conditions climatiques de la région" [36].

En Algérie, les décideurs en sont venus à privilégier les aspects quantitatifs et la robustesse structurelle au détriment de la facilité d'utilisation, car ils doivent être construits rapidement, à moindre coût et dans un court laps de temps. Pendant 40 ans d'indépendance, le paysage urbain et l'architecture de la foule ont subi des changements catastrophiques. Les espaces de vie répétés créent le problème de ne pas tenir compte des facteurs physiques et climatiques dans la conception, ce qui entraîne une consommation d'énergie excessive.

Assurer le confort thermique des habitations tout au long de l'année en maintenant une température constante augmente la consommation d'énergie fossile dans le secteur de la construction, produit une part importante de gaz à effet de serre et est une source de chaleur naturelle sur terre. Par conséquent, la réduction de la consommation d'énergie d'un bâtiment en tenant compte du climat et de l'emplacement améliore également la qualité et l'efficacité énergétique de l'environnement intérieur.

Dans ce chapitre on va parler sur les paramètres de la consommation d'énergie.

## **Chapitre II : l'énergie et le bâtiment**

---

### **1. Paramètres affectant la consommation énergétique :**

Fournir un environnement intérieur confortable et sain est l'une des fonctions essentielles des systèmes énergétiques des bâtiments et représente environ un tiers de la consommation totale d'énergie des bâtiments. Les paramètres affectant la consommation énergétique sont :

#### **1.1. L'enveloppe du bâtiment**

Dans la conception bioclimatique, l'enveloppe d'un bâtiment représente un élément qui protège l'espace intérieur des effets néfastes de l'extérieur. Par sa forme, son épaisseur, sa nature et sa couleur, il contribue à la régulation du climat intérieur et à l'optimisation énergétique. Le développement historique de l'enveloppe est marqué par des caractéristiques, des proportions, une matérialité et une signification culturelle [37]. Le passage d'une enveloppe lourde qui caractérisait l'architecture traditionnelle à une enveloppe plus légère après la révolution industrielle a brutalement alourdi les factures énergétiques. Ce n'est qu'au XIXe siècle que le concept d'enveloppe a été introduit et développé dans la théorie architecturale [38]. Lorsque les enceintes thermiques ne répondent pas aux exigences de confort, l'utilisation d'isolants peut réduire les pertes de chaleur hivernales et améliorer efficacement les contributions au confort thermique. [39]

##### **1.1.1. L'enveloppe thermique d'une construction :**

"Il s'agit d'un type de peau qui sépare l'extérieur de l'intérieur d'un bâtiment" [38]. Les enveloppes représentent l'apparence d'une structure et sa communication avec son environnement. Il filtre et organise le son, la lumière et la couleur, le soleil et l'ombre, les vues et la chaleur et le froid. [38]. Pour les architectes, les enveloppes sont la surface de contact entre le bâtiment et la ville [40]. Tandis que pour l'occupant, les murs qui l'entourent sont un élément de confort thermique et visuel et forment un élément esthétique de son bâtiment [40]. Le rôle de l'enveloppe d'un bâtiment est d'assurer l'intimité des occupants en apportant une ambiance intérieure saine et confortable avec l'optimisation des consommations énergétiques. Une conception appropriée de l'enveloppe du bâtiment aide à assurer le confort tout au long de l'année en minimisant le besoin de grands systèmes de chauffage et de refroidissement.

##### **1.1.2. Les matériaux de construction :**

La connaissance du comportement thermique des matériaux de construction est fondamentale pour les architectes concepteurs. Le choix de la structure, l'épaisseur des murs et l'emplacement de la masse thermique représentent les incontournables d'une conception

## **Chapitre II : l'énergie et le bâtiment**

---

bioclimatique [40]. La sélection des matériaux de construction selon deux types de critères. Le premier est un critère objectif qui dépend des propriétés physiques ou chimiques, de la taille ou du coût. Bien que l'autre critère soit d'ordre personnel et subjectif par son aspect tactile et superficiel [37]. Les matériaux de construction doivent répondre aux exigences de sécurité incendie, de lutte contre l'incendie, d'isolation acoustique, de résistance à l'humidité, de résistance à la chaleur et au froid et antistatique. Cela peut affecter la santé, les besoins énergétiques et l'environnement.

### **1.2. Le vitrage et ses propriétés thermiques**

L'intégration d'une partie transparente dans l'enveloppe lors du processus de conception est essentielle pour assurer le confort visuel et thermique. Le vitrage laisse passer les rayons du soleil pour assurer un éblouissement naturel, un chauffage solaire passif et une exposition extérieure. Lorsque le soleil brille avec du verre, une partie des rayons du soleil traversera la partie transparente avec des rayons infrarouges courts. Celle-ci sera absorbée par le mur, où elle sera convertie en chaleur. Ce rayonnement est constitué d'ondes longues qui vont pénétrer dans la pièce et vont être piégées dans l'espace intérieur et vont le chauffer. Ainsi l'effet de serre est très utile dans le cas du chauffage solaire passif [37].

**Les propriétés spécifiques de vitrage sont :**

#### **1.2.1. Facteur solaire (g) :**

Le "facteur solaire" global de transfert d'énergie est le pourcentage d'énergie solaire entrante transmise à travers une cellule à l'intérieur d'une pièce. [43]

#### **1.2.2. Facteur lumineux ( $\tau$ ):**

C'est le pourcentage de lumière solaire qui passe à travers la fenêtre. Cela permet au verre d'être plus transparent si ce facteur est augmenté.

#### **1.2.3. Facteur thermique (U) :**

Ce coefficient de transfert thermique représente la quantité de chaleur transférée à travers un mètre carré de verre égale à un degré de différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. [43]. Plus ce coefficient est faible, plus l'isolation thermique du verre est élevée. Pour améliorer la transmission, une ou plusieurs des solutions suivantes sont requises : [36]

- En doublant ou triplant les verres.
- En augmentant les couches d'air séparant les plaques.
- En revêtant une face du verre intérieur d'un revêtement à faible émissivité.

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

- En remplaçant l'air entre les cellules par un gaz plus lourd comme l'argon ou le krypton.



Figure II-1 : La transmission lumineuse [35]

Ces facteurs vont changer selon la nature de vitrage :

- Le vitrage clair.
- Le vitrage absorbant.
- Le vitrage réfléchissant

### 1.3. L'inertie thermique :

Lorsque les rayons solaires frappent une paroi opaque de la construction, une partie d'énergie rayonnée est absorbée alors que l'autre est réfléchi. Selon les chercheurs dans le domaine de l'inertie thermique, c'est la capacité d'un matériau d'emmagasiner et de restituer de la chaleur ou de la fraîcheur. L'inertie thermique peut être l'équivalent du confort et d'économie en énergie lorsqu'elle est prise en considération lors de la conception comme elle peut être une cause d'inconfort et de gaspillage énergétique si elle est ignorée ou mal traitée. L'inertie thermique dépend de la constitution de l'enveloppe et du poids des planchers et des parois.



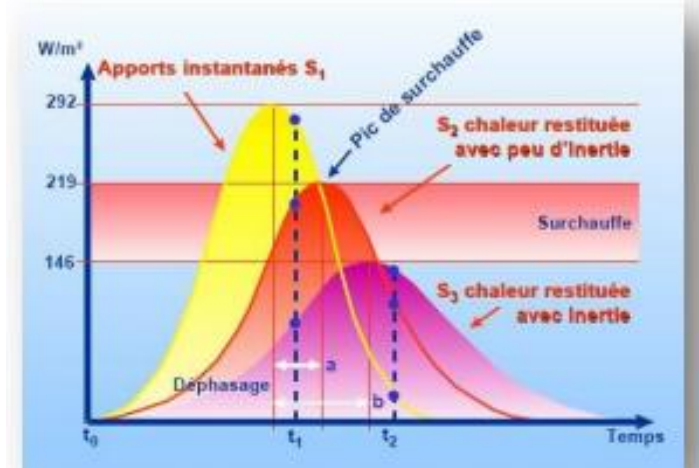


Figure II-2 : Les types de l'inertie thermique

### 1.3.1. L'inertie de transmission :

Elle décrit dans quelle mesure une paroi de l'enveloppe diminue l'amplitude d'une oscillation de la température extérieure et la retarde dans sa transmission vers l'intérieur. L'inertie de transmission augmente avec l'épaisseur et diminue avec la diffusivité de la paroi. [38]

### 1.3.2. L'inertie d'absorption :

Elle décrit comment la température de la face d'une paroi intérieure en contact avec l'air du local, réagit à une oscillation du flux de chaleur intérieur. L'inertie d'absorption augmente avec l'épaisseur et avec la diffusivité de la paroi. [38]

La différence entre l'inertie de transmission et celle d'absorption est importante car une grande partie des flux de chaleur affecte l'intérieur d'un bâtiment non pas par l'enveloppe opaque mais directement par les ouvertures ou les bouches de ventilation. [38]

### 1.3.3. Les défauts de l'enveloppe thermique

La composition de l'enveloppe thermique, de différents matériaux et assemblages qui séparent l'intérieur de l'extérieur, présente des risques de défauts de fabrication pouvant entraîner des pertes de chaleur. Il s'agit de déperditions thermiques liées à des défauts d'étanchéité ou de pont thermique. [36]. À ces points, la résistance à la chaleur est considérablement réduite. [36]

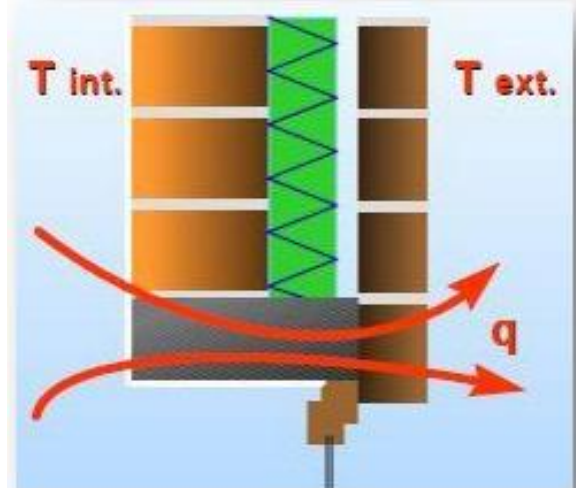


Figure II-3 : les ponts thermiques. [35]

Généralement, les ponts thermiques sont disposés au niveau des points où l'isolation est absente ou présente des faiblesses, Les jonctions entre les différents plans (mur/ plancher par exemple) et les changements des parois (opaque / vitré). [10]

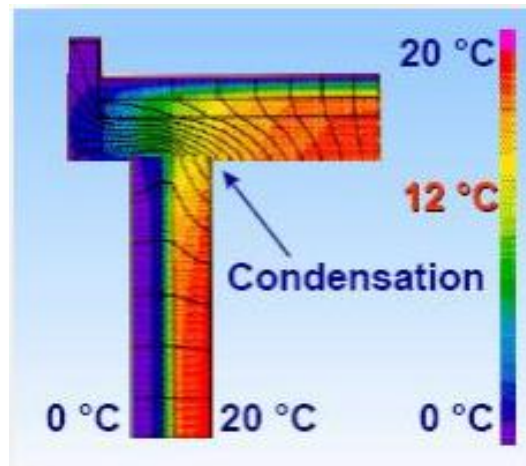


Figure II-4: les effets des ponts thermiques [35]

Il existe deux types de ponts thermiques, les ponts thermiques linéaires exprimés en  $w/m.k$  et les ponts thermiques ponctuels exprimés en  $w/k$ . [10]. Les effets des ponts thermiques se situent à plusieurs niveaux. Ils provoquent des pertes de chaleur et des fuites de chaleur, consommant ainsi une énergie excessive pour améliorer le confort thermique. Risque de condensation et de moisissure pouvant entraîner une contamination des espaces intérieurs et une détérioration prématurée des bâtiments [14]. L'augmentation de l'inconfort est due aux parois froides. [35].

Pour réduire l'effet des ponts thermiques, il est nécessaire de créer une barrière constituée d'un élément isolant de coupure au niveau du passage de la chaleur. Le problème est de réduire la

## **Chapitre II : l'énergie et le bâtiment**

---

section du pont thermique en augmentant sa course. [10]. La thermographie à infrarouge permet de visualiser les ponts thermiques en connaissant la température des parois. [35]

### **1.4. Ventilation :**

Les systèmes de ventilation des bâtiments, mécaniques ou naturels, peuvent remplir plusieurs rôles tels que garantir la qualité de l'air intérieur, améliorer le confort thermique en été et économiser l'énergie.

Selon une enquête ADEME, plus de 80% de la population vit actuellement en zone urbaine, passant jusqu'à 90% à l'intérieur [46]. Une mauvaise ventilation et donc une mauvaise qualité de l'air peut nuire à la santé des bâtiments et des résidents. Cela contribue au "syndrome des bâtiments malsains" apparu dans les années 1970[47].

Une bonne ventilation apporte de l'air frais tout en éliminant l'air vicié ainsi que les odeurs et les polluants provenant principalement de l'intérieur du bâtiment. Par conséquent, le renouvellement de l'air est essentiel pour maintenir le confort et l'hygiène des bâtiments.

Il existe deux méthodes de ventilation artificielle qui sont les plus utilisées et les plus énergivores et Le naturel mais plus complexe

#### **1.4.1. La ventilation mécanique contrôlée (artificielle) :**

Afin de répondre aux exigences des réglementations thermiques, plusieurs solutions de ventilation existent actuellement. Nous présentons ici les systèmes les plus répandus.

##### **1.4.1.1.VMC simple flux :**

La VMC simple flux est actuellement le système le plus répandu dans les maisons unifamiliales, équipant la majorité des maisons construites depuis 1982. Le principe de fonctionnement consiste à créer un flux d'air unique dans le bâtiment. L'air neuf entre dans les pièces sèches (salon, chambre, etc.) et l'air ancien sort par les pièces humides (salle de bain, cuisine, etc.). La nouvelle diffusion de l'air dans les morceaux secs est autorisée par des trous ouverts placés sur la circulation avant et de l'air est alors maintenu par des entrées sous la porte ou la passerelle ou la partition. La sortie de l'air de surf est généralement effectuée au niveau du toit avec un conduit. Deux systèmes peuvent être au niveau de la mécanisation : une personne fournit un vendeur au niveau d'escalier et d'autres au niveau de l'air nouvel air causé dans le bâtiment.

##### ***VMC simple flux par extraction :***

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

Systèmes opérant avec un ventilateur est responsable de l'extraction de l'air diabolique de différentes parties (Figure II-5). De nouveaux approvisionnements en air sont créés naturellement par des articles de voiture qui ne sont pas sur le panneau avant. Ce type d'installation est toujours le plus courant en raison de la simplicité et moins chère.

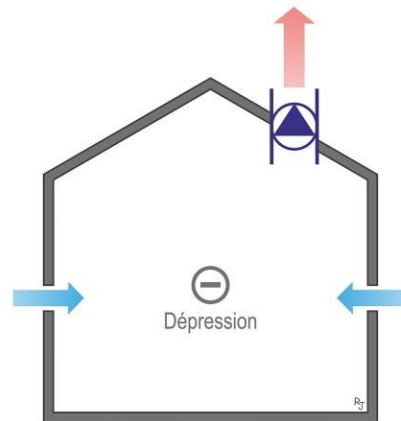


Figure II-5 : VMC simple flux par extraction [49]

### **VMC simple flux par insufflation :**

Le principe du système est le même, mais cette fois la prise d'air frais est activée mécaniquement (Figure II-6). L'évacuation de l'air vicié au moyen d'une sortie ou d'un obturateur de surpression se fait de manière naturelle. Par conséquent, il est impératif d'avoir un système de conduits pour amener de l'air frais dans les différentes pièces. Le système peut également être connecté à un dispositif de refroidissement passif tel qu'un puits canadien

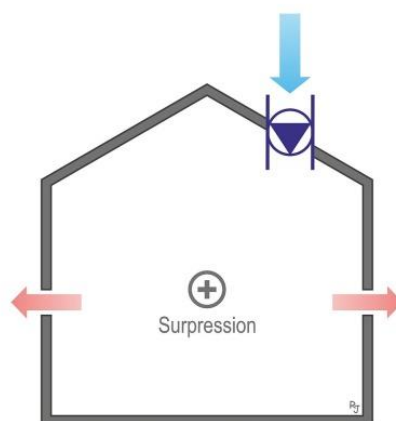


Figure II-6 : VMC simple flux par insufflation

### 1.4.1.2.VMC double flux

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

Le système est constitué de deux circuits aérauliques distincts et de deux ventilateurs, l'un pour insuffler de l'air frais dans le bâtiment et l'autre pour aspirer l'air vicié (figure II-7). La principale différence avec le système simple flux est la présence d'un récupérateur de chaleur. En hiver, cela permet d'utiliser la chaleur de l'air ancien du bâtiment pour préchauffer l'air neuf de l'extérieur. Ainsi, le principal intérêt d'une VMC double flux est de limiter les déperditions thermiques dues au système de ventilation. Bien qu'il soit plus cher à l'achat, par conséquent, ce système peut réduire la consommation de chaleur. En été, comme un simple système d'aération, il peut être associé à un dispositif de refroidissement passif. Il assure également une meilleure qualité de l'air intérieur en filtrant l'air entrant et permettant un meilleur confort thermique et acoustique en réduisant la sensation de vent froid que l'on peut ressentir avec une VMC simple flux, grâce à l'absence d'entrées d'air dans les pièces principales. Cependant, les risques sanitaires liés à cette installation sont plus importants, nécessitant un nettoyage plus soigneux des filtres, groupes et conduits [50]. Le risque principal est la pollution de l'air frais dans le réseau de gaines avant son rejet dans le bâtiment (COV, micro-organismes qui se développent en cas de condensation de la vapeur d'eau). La consommation d'électricité est également plus élevée, ce qui limite son intérêt aux climats doux avec des hivers doux où les économies sur les coûts de chauffage seront faibles.

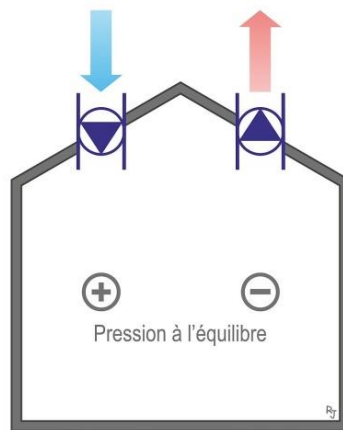


Figure II-7 : VMC double flux

### 1.4.2. Ventilation naturelle

La ventilation naturelle est la forme de ventilation la plus ancienne qui existe. Que ce soit par simple ouverture d'une fenêtre ou par des systèmes plus sophistiqués tels que "badgir" en Iran et "malquaf" en Egypte (pièges à vent), on le retrouve dans toutes les civilisations et à toutes les époques [51].

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

Outre le rafraîchissement de l'air, il s'agit d'améliorer le confort des occupants en créant des mouvements d'air dans le bâtiment et en le refroidissant la nuit grâce à des températures extérieures plus basses. Cependant, utilisée sans considération particulière, la ventilation naturelle ne peut répondre aux limitations actuelles en termes de contrôle des débits. Abandonnée depuis les années 1950 pour la ventilation mécanique et la climatisation, celle-ci tend à disparaître des modes de construction. Cependant, il s'inscrit parfaitement dans la problématique actuelle qui est de proposer des bâtiments de moins en moins énergivores et n'émettant pas de gaz à effet de serre. Utilisée dans de bonnes conditions, la ventilation naturelle peut être une alternative aux systèmes de ventilation mécanique et de refroidissement.

- **Le tirage thermique** : si l'air dans le conduit est plus chaud et plus léger que l'air extérieur, il s'échappera dans la partie supérieure et formera une dépression dans la partie inférieure, qui est proportionnelle à la hauteur du conduit et au degré de différence de chaleur entre l'intérieur et à l'extérieur

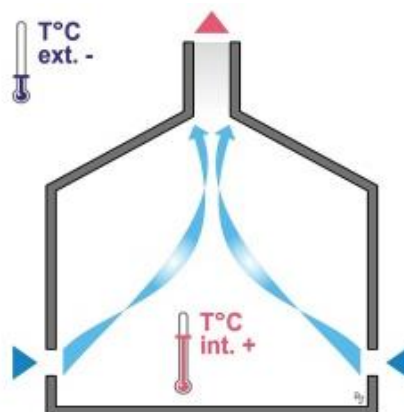


Figure II-8 : le tirage thermique

- **Effet du vent** : Lorsqu'il rencontre un bâtiment, il comprime l'air sur les murs qui lui font face et crée une pression sur les autres murs. Les entrées de toit et les conduits sont alors soumis à des pressions variables, maintenant l'air en mouvement dans le bâtiment ;

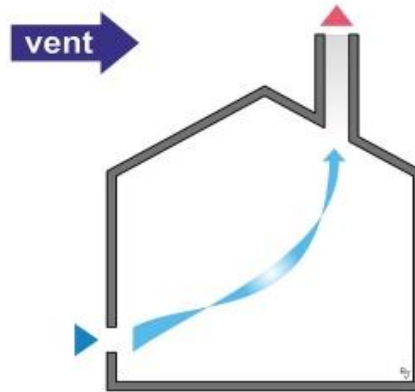


Figure II-9: effet de vent

### 2. Consommation et Production d'énergie

La construction rapide de logements sans tenir compte du climat spécifique de chaque région a créé un secteur énergivore avec une consommation énergétique de 39% supérieure à celle des autres secteurs actifs d'un autre en Algérie. [55]

Cette augmentation rapide de la consommation dans le secteur résidentiel et tertiaire, la raréfaction future attendue des ressources fossiles et le souci de développement durable en Algérie ont poussé les décideurs à considérer l'axe maîtrise de l'énergie comme une priorité.

Assurer performance énergétique est l'un des objectifs de la réglementation algérienne pour pallier le retard manifeste dans ce domaine. Des programmes nationaux sont en cours pour adopter des procédures de gestion de l'énergie.

#### 2.1. La consommation énergétique :

Partout dans le monde et depuis la préhistoire, l'énergie a montré un souci pour la vie humaine. C'est une énergie naturelle non fossile comme le soleil, le vent et l'énergie animale. Le début de la révolution industrielle a conduit à l'utilisation de combustibles fossiles tels que le charbon d'abord, puis le pétrole et le gaz naturel. L'amélioration du mode de vie actuel a entraîné une augmentation rapide de la consommation mondiale d'énergie.

#### 2.2. La consommation énergétique au monde :

Après l'avènement des combustibles fossiles au XXe siècle, la consommation d'énergie a été multipliée par presque vingt fois [56]. Selon l'EIA, la consommation a augmenté de 42 % de 1990 à 2008 et devrait atteindre 53 % entre 2008 et 2035[57]. La consommation énergétique mondiale actuelle est basée à 88 % sur les combustibles fossiles. Le pétrole représente plus de 35 %, le charbon 29 %, le gaz 24 % et les énergies renouvelables 7 % [56]. L'évolution de la

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

politique énergétique vers la maîtrise de l'énergie vise essentiellement pour mettre le réchauffement climatique et à éviter l'épuisement des ressources énergétiques fossiles en limitant les émissions de gaz à effet de serre. [56].

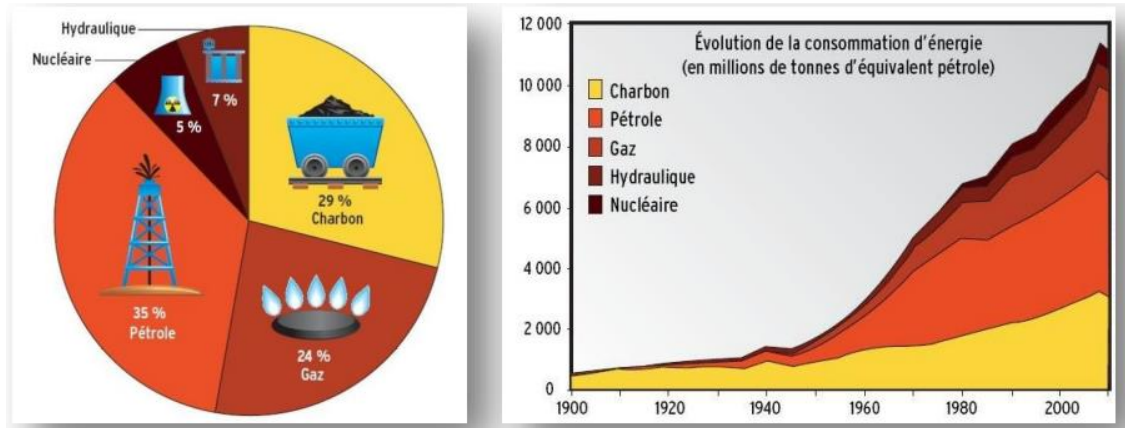


Figure II-10 : consommation de l'énergie primaire 2009 et évaluation de la consommation mondiale d'énergie [56]

### 2.3. La consommation énergétique en Algérie :

Après l'indépendance, avec un taux d'urbanisation élevé, la consommation d'énergie ne cesse d'augmenter parallèlement à l'amélioration des conditions de vie, de la qualité des bâtiments énergivores et de la facilité d'utilisation de la quantité de fossiles.

Selon les données de l'Aprue, la consommation d'énergie a atteint 30 millions de TEP[58] avec un taux de croissance de 6,5%/an de 2000 à 2012. Le secteur résidentiel est considéré comme un secteur de consommation en forte croissance avec 7,4%/an. [59]. 85% de la consommation d'énergie provient en fin de compte de sources épuisables. Au rythme actuel de consommation de 6% par an, cette réserve sera épuisée d'ici 2030. [60]. Ainsi, une augmentation de la consommation d'énergie a entraîné une augmentation des émissions de gaz à effet de serre.



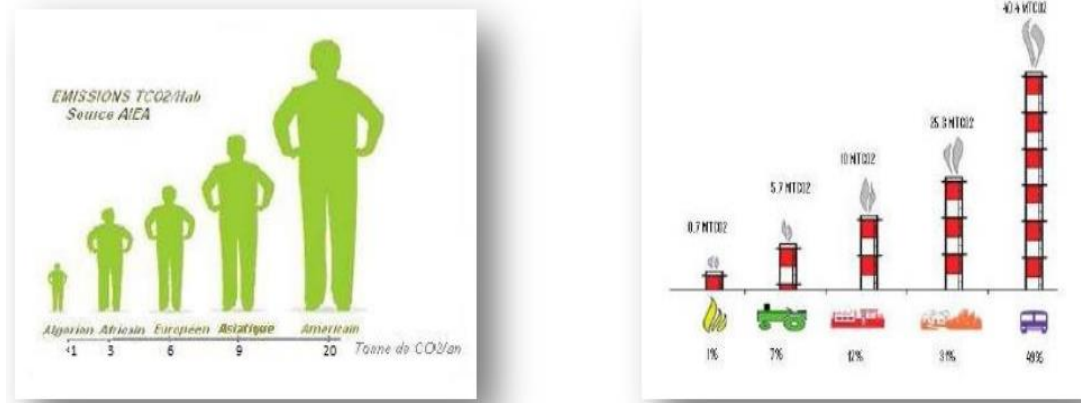


Figure II-11: les émissions du gaz à effet de serre par habitants et le GES selon le secteur d'activité. [59]

### 2.4. La consommation énergétique par type d'énergie :

La consommation nationale d'énergie a atteint 53,3 Mtep en 2013 avec une augmentation (+ 5,5 %) par rapport à 2012. [61]

- **Produits pétroliers** : Il s'agit d'un type de produit énergétique principalement utilisé dans tous les domaines d'activité pour produire de la chaleur pour l'industrie, le chauffage pour les ménages, le secteur tertiaire et les transports de charge, etc. La consommation de ce produit représente 30 % de la consommation totale d'énergie avec une augmentation de 5,5 % en 2013. [61]

- **Gaz naturel** : Principalement utilisé pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire et la cuisson. La consommation de gaz naturel a augmenté à un taux de croissance annuel moyen (TAG) de 8,1 %/an de 2000 à 2012[63], Il représente le produit le plus dominant en termes de consommation avec 35%. [61]

- **Electricité** : L'utilisation de l'électricité est importante dans tous les secteurs en Algérie. Sa consommation a connu un taux de croissance annuel moyen (TAG) de 6,8 % par an de 2000 à 2012. [62], Cela représente 28 % de consommation énergétique totale. [61]. La forte urbanisation a entraîné une augmentation rapide de la consommation d'électricité.

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

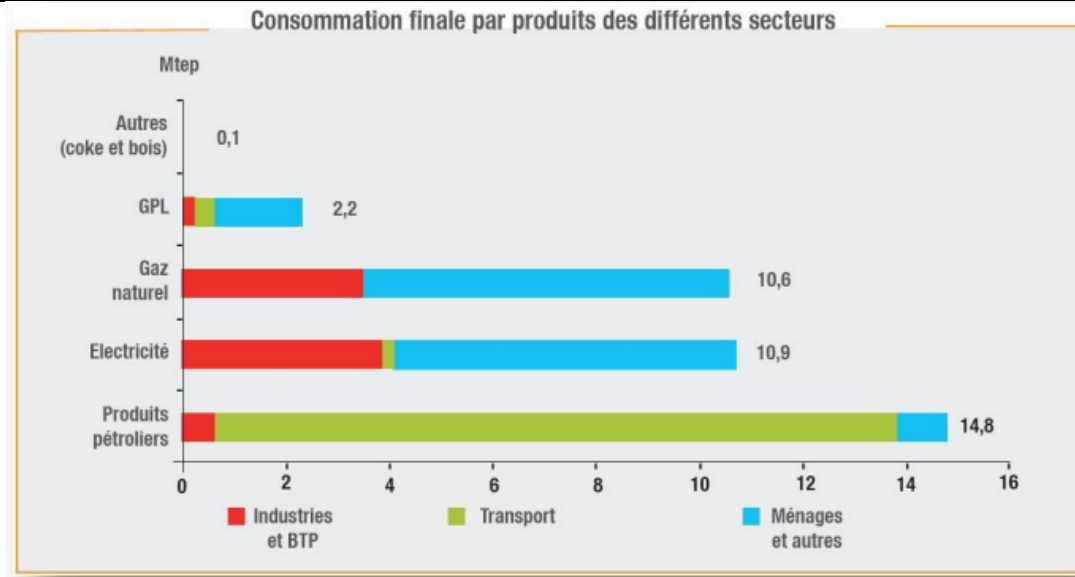


Figure II-12: Consommation finale par produits des différents secteurs. [61]

### 2.5. La consommation énergétique par secteur d'activité

La consommation d'énergie par différents secteurs est selon l'APRUE et le ministère de l'Énergie. [63] :

- Le secteur ménages et autre : Ce secteur se caractérise par une forte augmentation de la consommation d'énergie (+ 9 %) à 16,4 millions de TEP en 2013. Ceci est dû à l'augmentation de la consommation résidentielle. [61]
- Secteur des transports : L'augmentation de la consommation d'énergie dans ce secteur a été (+ 3,7 %) de 8,2 millions de TEP en 2013. [61]
- Secteur industriel L'augmentation de la consommation d'énergie dans ce secteur est (+ 3,9 %) de 13,9 millions de TEP en 2013. Ceci est dû au développement du transport routier. [61]

Un aperçu sur la consommation d'énergie dans le monde ou en Algérie montre que le confort thermique actuel est mis en balance avec la consommation d'énergie.

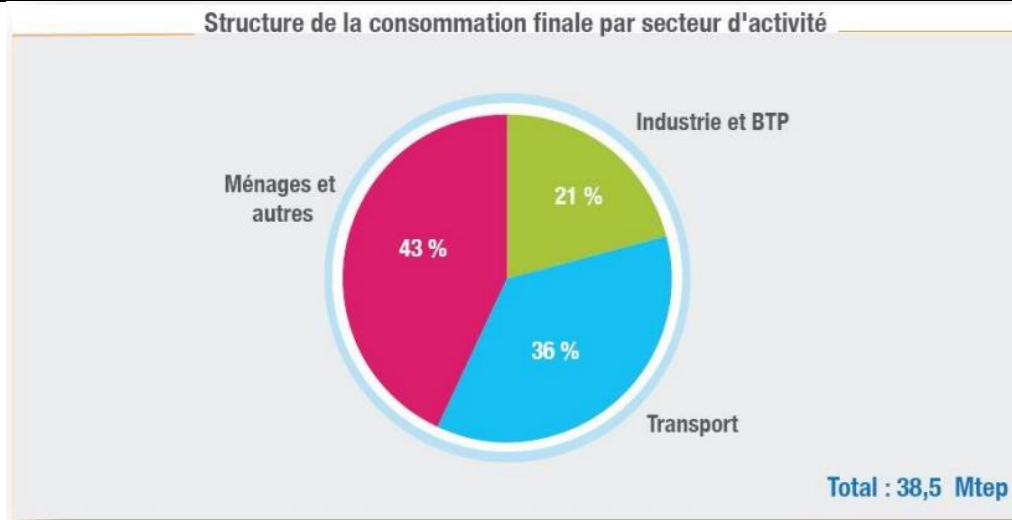


Figure II-13 : structure de la consommation finale par secteur d'activité. [61]

### 3. Le stockage de la chaleur

En général, stocker de l'énergie consiste à l'emmagasiner pendant une période où elle est abondante ou moins coûteuse (solaire, tarifs de nuit...) pour l'utiliser pendant une période durant laquelle elle est rare ou plus chère.

### 4. L'isolation thermique :

Dans la pratique, 70% de l'énergie consommée dans les bâtiments sert au chauffage et à la climatisation. L'isolation est pour un confort accru en hiver comme en été. [10]. L'isolation d'un bâtiment est la conception et la réalisation de sa structure et de tous les éléments de l'enveloppe de manière à ce qu'ils soient capables de supporter la chaleur avec une inertie thermique adaptée aux déperditions et aux apports de chaleur. [69]

L'isolation est un outil essentiel pour améliorer le confort thermique. Il s'agissait de réfléchir à l'ensemble du projet, y compris la pose de l'isolant, pour économiser l'énergie. [70] L'isolation désigne les murs extérieurs, les planchers, les planchers des combles, les murs intérieurs directement liés aux espaces tampons non chauffés. [10]

L'isolation a trois fonctions principales dans la maison. Le premier est un confort thermique accru en hiver comme en été. Le second est de réduire la consommation d'énergie pour le chauffage et/ou la climatisation. Alors que le troisième est de rendre les habitats plus écologiques en réduisant la pollution liée au rejet de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. [71]

#### 4.1. Les principes de l'isolation thermique

## **Chapitre II : l'énergie et le bâtiment**

Pour isoler une enveloppe, il existe trois façons d'isoler. Il s'agit de l'isolation interne, de l'isolation externe et de l'isolation répartie.

### **4.1.1. Isolation intérieure**

Ce type d'isolation est largement utilisé en raison de ses nombreux avantages. La facilité de mise en œuvre présente l'un de ses avantages car elle est moins chère à appliquer que d'autres types d'isolation et ne nécessite pas l'intervention d'un expert. Malgré ses inconvénients, il est plus important car il réduit l'espace habitable, fait perdre les avantages de l'inertie thermique, provoque la condensation des chicanes et n'élimine pas les ponts thermiques.

### **4.1.2. Isolation extérieure**

Plus efficace que le premier type d'isolation en supprimant tous les ponts thermiques, en augmentant l'effet d'inertie thermique et en protégeant la maçonnerie des intempéries et des variations de température. L'isolation extérieure a également la particularité d'empêcher la chaleur et le froid des murs intérieurs et de protéger les surfaces des espaces intérieurs. Mais son principal inconvénient reste son coût élevé et la nécessité d'un spécialiste pour son application.

### **4.1.3. Isolation répartie :**

Elle se caractérise par l'utilisation d'isolants comme matériau de construction. Son rôle principal est de stabiliser la construction, remplir et isoler simultanément. [10]



*Figure II-14: l'isolation répartie[76]*

## **4.2. Les types d'isolant :**

### **4.2.1. Les isolants synthétiques :**

Ils sont des matériaux fabriqués de comportement synthétique.

- **Le polystyrène expansé (PSE) :**

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

C'est un dérivé de filtrage de pétrole (naphta). (Gallauziaux, T. et Fedullo, D. 2010). Le polystyrène expansé (PSE) renferme une opulence de billes liées par accumulation donc de l'empreinte et qui emprisonnent l'air sec immobile. Il est spécifié par une éternelle légèreté, une récusation cinématique Afrique simplement il est périssable au feu. Son conductivité est épouvantablement faible (pendant 0.029 et 0.038 w/m.k) (Fragos, M. M. et Trouillez, 2012).

- **Polystyrène extrudé (XPS) :**

Il est originel de naphta. Son conductivité thermique est pendant 0,029 et 0,037 W/m.K.[70].

- **Polyuréthanes (PUR) :**

L'alliance d'un polyol, un ixocyanate et un espion d'expansion (HFC ou CO2). [10]



*Figure II-15: le polystyrène expansé et le polystyrène extrudé[70]*

### 4.2.2. Les isolants en fibre de bois :

**Fibragglos** : c'est un matériau naturel fabriqué à partir des fibres longues minéralisées du résineux et recouvert de ciment, de chaux ou d'enduit. [10]

**Le bois minéralisé** : il est obtenu à partir de bois sciés de petit diamètre et de déchets d'entretien forestier (épicéa [10]

**La paille de lavande** : pour l'isolation, des pailles usagées doivent être utilisées pour extraire l'huile essentielle de lavande. C'est une ressource inépuisable et recyclable. Sa conductivité est de 0,055w/m.k. [10]

**Les roseaux** : ils sont utilisés en rénovation, les panneaux de roseaux sont plutôt utilisés pour l'isolation extérieure de la maison. C'est une solution naturelle et écologique. Sa conductivité est de 0,056w/m.k. [70]



*Figure II-16: les fibres de bois et les roseaux*

**Le torchis** : matériau naturel, renouvelable, recyclable et sain, le torchis est constitué d'un mélange de paille, d'eau et d'argile ou de terre. C'est écologique et peu coûteux, il est possible de réaliser des revêtements isolants légers. Sa conductivité thermique est de 0,57 à 0,59 W/m.K. [70]



*Figure II-17: le torchis [70]*

### **4.2.3. Les isolants d'origine animale :**

**Laine de mouton** : c'est un isolant naturel, sain et écologique. Il nécessite une préparation après découpe, trempage, dégraissage, rinçage et traitement contre le feu, les moisissures et les insectes. Sa conductivité thermique est de 0,035 à 0,042 w/m.k[70]

**Plume de canard** : cet isolant est composé de 70 plumes de canard, 10 molleton et 20 fibres textiles thermoplastiques (polyester). Sa conductivité thermique est de 0,040 à 0,042 w/m.k. [10]



*Figure II-18: la laine de muoton, la plume de canard*

#### **4.2.4. Les isolantes nouvelles générations :**

Par plus d'amélioration, la nouvelle génération d'isolant par une épaisseur raisonnable, a une performance bien meilleure que celle classique.

**Les aérogels :** des matériaux nanoporeux aux caractéristiques futuristes conçues par Steven Kistler en 1931. C'est une matière solide la plus légère qui contient 99.8% d'air. Les principaux gaz utilisés dans ces matières sont l'azote et l'oxygène et un gel de silice en phase aqueuse. Les performances exceptionnelles des aérogels peuvent encore être améliorées par l'ajout du carbone à la silice. Sa conductivité thermique est de 0,011 à 0,013 w/m.k. [10]



*Figure II-19: les aérogels [112]*

**Panneaux d'isolation sous vide :** la première application est apparue dans les années 1950. Ils représentent une amélioration de l'ingénierie des aérogels. [10], C'est un isolant mince, il est composé d'un matériau "core" qui est confiné dans une membrane étanche et placé dans un évidement. Leur conductivité thermique est de 0,0042 à 0,050 w/m.k. Ils présentent des performances exceptionnelles. [70]



*Figure II-20: les panneaux isolants sous vide [77]*

**Polyuréthane (PUR) ou polyisocyanurate** : c'est un matériau couramment utilisé pour réparer les défauts d'isolation. C'est un produit léger, efficace et adaptable. Cependant, il est très dangereux en cas d'incendie, car il dégage des gaz toxiques. Sa conductivité thermique est de 0,022 à 0,030 W/m.K. [70]



*Figure II-21: le polyuréthane (PUR) [70]*

**Mousse phénolique** : c'est une sorte de résine phénolformaldéhyde, elle est couramment utilisée comme isolant. Sa conductivité thermique est de 0,018 à 0,035 W/m.K [70]

**La peinture isolante réfléchissante** : est une peinture acrylique à base d'eau, composée de quatre composants céramiques liés par différentes résines. Il permet d'isoler les murs intérieurs, les façades et même les toitures. W/m.K. [70]

**Peinture d'isolation extérieure** : Convient pour l'isolation des façades et des toitures. Il permet la conservation de la chaleur en hiver et évite la surchauffe en été en réfléchissant les rayons du soleil. Cette peinture résiste aux intempéries, à la moisissure et à la saleté. C'est une sorte de plâtre blanc. [70]





*Figure II-22: la peinture isolante en extérieur [70]*

**Peinture isolante en intérieur :** La peinture isolante est utilisable pour l'intérieur. Dans ce cas, elle évite les déperditions de chaleur et régule le taux d'humidité. Elle répond aux raisons esthétiques par une large gamme des couleurs. [70]



*Figure II-23: la peinture isolante en intérieur [77]*

### **4.2.5. L'isolation répartie :**

C'est l'utilisation de matériaux de construction pour la structure, le rembourrage et l'isolation.

**Le béton cellulaire** c'est un matériau issu de ressources naturelles, 64° de sable blanc très pur, 15' de chaux, 20'c, 1' de gypse et 1% 0,05s d'agents d'expansion comme la poudre d'aluminium. Le coefficient de conductivité thermique varie de 0,09 à 0,13 w/m.k. [10].



*Figure II-24: Le béton cellulaire*

**Les blocs bi-matières :** ce sont des blocs de construction monolithiques composés de deux matériaux collés. L'intérieur est silico-calcaire. Ou avec du béton cellulaire pour supporter la charge. L'extérieur est composé de blocs de béton cellulaire légers pour fournir une couche supplémentaire d'isolation. Le coefficient de conductivité thermique est de 0,064 w/m.k. Pour un mur de 36,5 cm de large. Umur est de 0,18 w/m<sup>2</sup>.k. [10]



*Figure II-25: les blocs bi-matières*

**Les blocs mono-murs en pierre ponce :** c'est une roche volcanique connue depuis des milliers d'années. Il contient 85% de l'air emprisonné dans les nombreux pores et cellules fermées. De là, il obtient une grande capacité isolante. Sa conductivité thermique est de 0,099 à 0,11 w/m.k. [10]



*Figure II-26: les blocs mono-murs en pierre ponce*

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

**Les blocs monomurs en billes d'argile expansée** : un mur de 30cm avec U de 0,038 à 0,47w/m<sup>2</sup>.k.



*Figure II-27: les blocs mono murs en billes d'argile expansée*

**Les blocs mono murs en terre cuite** : tuile horizontale, tuile verticale ou terre cuite à simple paroi sont intéressantes en raison de leurs performances thermiques caractéristiques. L'argile est collectée et stockée à l'extérieur pendant environ un an, puis en ajoutant de l'eau, du sable et de la sciure de bois, le mélange est broyé en particules de petite taille et humidifié avec de la vapeur. Il sera passé dans un moule ou un moule pour fabriquer les alvéoles à l'intérieur. Enfin, il est séché et cuit. Sa conductivité thermique est de 0,12 à 0,18 w/m.k. Pour une laize de 30cm U est de 0,37w/m<sup>2</sup>.k. Si les blocs monomur sont remplis d'un autre isolant, la conductivité chutera à (0,08 à 0,09) w/m.k. [10]



*Figure II-28: les blocs monomurs en terre cuite*

**Les blocs de coffrage isolant** : ce sont des blocs préfabriqués avec isolation intégrée. Le principe est la fusion de la structure porteuse entre les couches isolantes intérieure et extérieure. [10]



*Figure II-29: Les blocs de coffrage isolant. [70]*

Tous ces matériaux d'isolation offrent aux occupants la possibilité de choisir en fonction d'une variété de caractéristiques telles que la performance d'isolation, le coût et l'impact sur la santé des occupants et l'environnement. Des cycles de production courts, des matériaux les moins énergivores et les moins polluants possibles avec de bonnes performances thermiques sont toujours le meilleur choix. [42]

### **4.2.6. L'isolation du vitrage et de menuiserie extérieure :**

L'isolation de la partie compacte de projet ne signifie pas l'arrivée à la performance thermique souhaitée s'il ne soit pas complété par une prise en considération de la partie vitrée de l'enveloppe.

Les vitrages : Le simple vitrage est caractérisé par une performance thermique ( $U_g$ ) très faible de 5.7 à 6  $w/m^2.k$ . A la fin des années 70, l'apparition du double vitrage afin d'emprisonner l'air entre deux vitres. La performance thermique d'un complexe de 4124 est un  $U_g$  de 2.9  $w/m^2.k$ . Si les verres sont de 6 mm  $U_g$  deviendra 2.8  $w/m^2.k$  [10]

Pour améliorer encore les vitrages, double vitrage à faible émissivité pour  $U_g$  de 1,7 à 1,9  $w/m^2.k$ . Le remplacement de l'air entre les deux verres par un gaz plus isolant donne un  $U_g$  de 1,7  $w/m^2.k$ . Le triple vitrage se caractérise par de très bonnes performances thermiques avec  $U_g$  0,5 à 0,8  $w/m^2.k$ . [42]

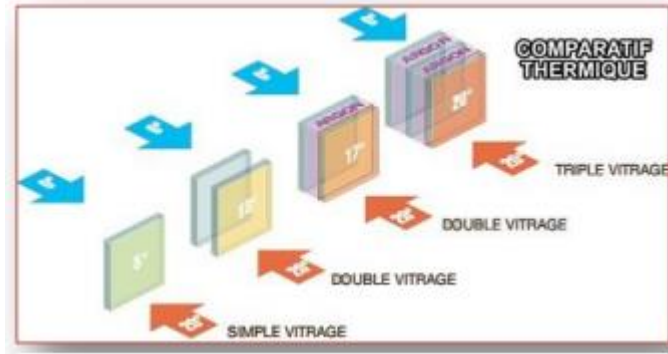


Figure II-30: un comparatif thermique entre les types de vitrage. [78]

**Les menuiseries** : la performance globale d'une ouverture dépend aussi des huisseries, qu'elles aient de bonnes qualités isolantes, qu'elles soient étanches à l'air et résistantes aux intempéries. Les différents matériaux utilisés pour réaliser la charpente sont :

**Le bois** : c'est le plus ancien matériau utilisé, il se caractérise par une isolation thermique et une résistance mécanique élevée. Mais son principal inconvénient est qu'il est fragile par mauvais temps. Il a besoins d'un entretien fréquent. La solution est d'utiliser un châssis mixte le bois du côté intérieur et l'aluminium vers l'extérieur. [10]



Figure II-31: la menuiserie en bois[79]

**L'acier** : le cadre en acier a une très bonne résistance mécanique mais son inconvénient est une mauvaise isolation. [10]



## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

Figure II-32: une menuiserie en acier[80]

L'**aluminium** c'est un excellent conducteur de chaleur mais cela peut être surmonté en brisant les ponts thermiques. L'isolation est assurée par les vides d'air des alvéoles à l'intérieur des profilés. [10]



Figure II-33: une menuiserie en aluminium [81]

**PVC** : un matériau très utilisé actuellement dont il présente une bonne propriété isolante. [10]



Figure II-34: une menuiserie en pvc [82]

- Les portes en bois :  $U_w$  est de 1,2 à 2,9  $w/m^2.k$ . [10]
- Les portes en aluminium : en ajoutant des ruptures de ponts thermiques  $U_w$  est de 1.8 à 2.2  $w/m^2 .k$ . [10]
- Portes aluminium : par ajout de rupture de pont thermique  $U_w$  est de 1,8 à 2,2  $w/m^2 .k$ . [10]
- Portes en fibre de verre : 0,64 à 1,4  $w/m^2 .k$ . [10]

### 5. Confort thermique

#### 5.1. L'importance du confort thermique

En plus de la sécurité et de l'intimité, un abri humain doit assurer le confort thermique de ses occupants. Il s'agit de regrouper quelques critères pour protéger l'intérieur des effets négatifs du climat extérieur. L'intérêt pour le confort thermique au XIXe siècle avec les mouvements de réforme des conditions de travail dans les usines et les maisons [83]

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

Le confort thermique est important pour améliorer la qualité de l'environnement intérieur, la santé des occupants et la productivité tout en préservant les bâtiments, en minimisant la consommation d'énergie et en protégeant l'environnement de l'environnement de l'environnement lié à la pollution. [84]

### 5.2. Les paramètres du confort thermique :

"L'homme est un organisme endothermique et possède une stratégie métabolique efficace qui lui permet d'activer toute une gamme de processus de régulation pour faciliter son adaptation à l'environnement. [92]. C'est le noyau central isotherme et la chaleur - coque absorbante, [93]

Le critère le plus important pour déterminer l'équilibre thermique en participant au confort thermique est les paramètres liés à l'environnement thermique ou à l'individu. La température de l'air, sa vitesse relative, la température radiante moyenne et l'humidité de l'air sont des paramètres liés à l'environnement thermique. Bien que l'activité métabolique et la résistance des vêtements soient des paramètres personnellement pertinents. [92][35]

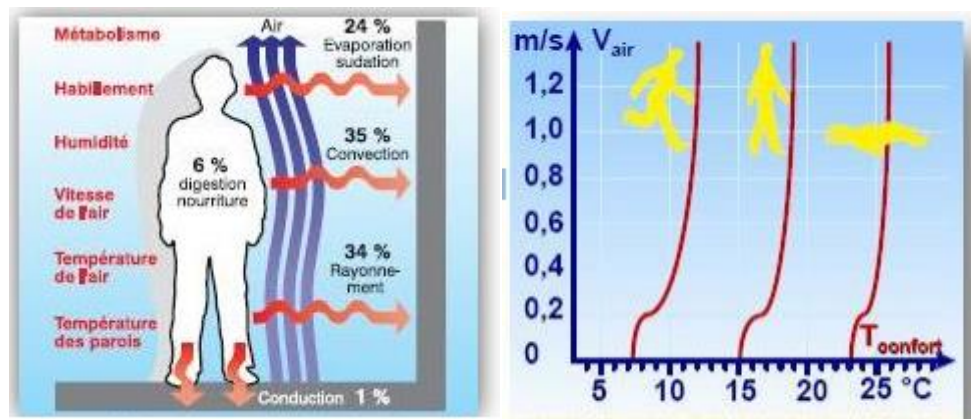


Figure II-35: les facteurs influençant le confort thermique.et température de confort pour différentes vitesses relatives de l'air

#### 5.2.1. La température de l'air (T<sub>a</sub>) : I

Il s'agit d'un premier facteur à contrôler. C'est la température de l'air circulant autour des occupants qui détermine le flux de chaleur entre l'air et l'individu. Lorsque la température est prise séparément, elle ne peut pas refléter une valeur précise du confort thermique. Alors qu'il est considéré comme le paramètre le plus important. ([90], [94]). La température ambiante minimale pour le confort thermique dépend d'autres paramètres tels que la nature des travaux effectués et le type de pièce, Voir les tableaux II-1 et II-2.

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

Nature du travail exécuté	Température minimale obligatoire
Travail léger en position assise, notamment tout travail cérébral, travail de précision ou qui consiste à lire ou à écrire.	20 C°
Travail physique léger en position assise, notamment travail de couture avec machines électriques et travail sur petites machines outils	19 C°
Travail léger en position debout, notamment sur machine-outil	17 C°
Travail moyen en position debout, notamment montage et ébarbage.	16 C°
Travail pénible en position debout, notamment forage et travail manuel avec outils lourds.	12 C°

Tableau II-1: la température ambiante minimale par rapport au travail effectué. [88]

Type du local	Température minimale obligatoire
Locaux où des gens habillés normalement sont au repos ou exercent une activité physique très légère. Par exemple un bureau, salle de cour, salle de réunion...etc.	21C°
Locaux où des gens peu ou pas habillés sont au repos ou exerçant une activité physique légère. Comme une salle de soin médicale ou des vestiaires.	23 à 25 C°
Locaux où des gens habillés normalement exercent une activité physique légère. Par exemple laboratoires, cuisines, ateliers.	17 C°
Locaux où des gens peu habillés exercent une grande activité physique. Par exemple une salle de la gymnastique, salle de sport.	17 C°
Locaux qui sont des lieux de passage des gens normalement habillés comme les couloirs, les corridors et les sanitaires.	17 C°
Locaux qui doivent être gardés à l'abri du gel comme les salles d'archive et les garages.	5 C°

Tableau II-2: les valeurs de référence de la température ambiante. [43]

### 5.2.2. La vitesse relative de l'air :

C'est la vitesse de l'air qui correspond au mouvement de l'air autour de l'individu. C'est un paramètre très important en raison de son effet sur l'échange de chaleur par convection et sur l'augmentation de l'évaporation à la surface de la peau. [35]. L'augmentation de la vitesse de



## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

l'air augmente l'échange de chaleur. [94]. A l'intérieur d'un bâtiment, la vitesse est ignorée lorsqu'elle ne dépasse pas 0,2 m/s. A partir de cette valeur de vitesse, les usagers de l'espace commencent à percevoir le mouvement de l'air. [94]. Ces débits peuvent être positifs s'il s'agit d'une atmosphère chaude et humide. [35]. Tandis qu'une vitesse d'air élevée due à une mauvaise conception du bâtiment ou du système de ventilation peut entraîner une gêne liée à la présence de courants d'air chaud ou froid. [43]

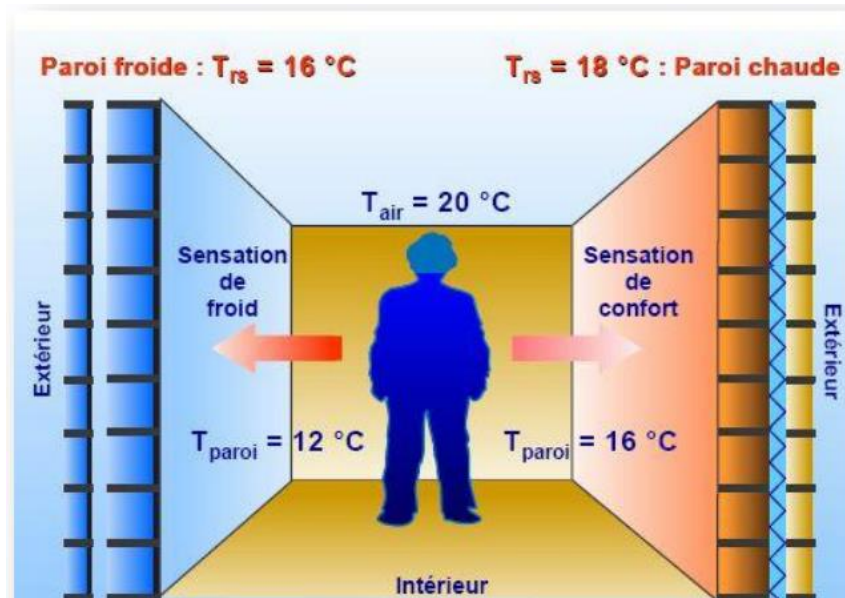


Figure II-36: l'influence de la température des parois sur la sensation du confort thermique

### 5.2.3. La température moyenne radiante (T<sub>p</sub>) :

C'est la température des murs environnants, son effet sur l'échange de chaleur rayonnante [35]. C'est un indicateur important du confort intérieur qui peut donner une idée de la nature de l'isolation et de l'inertie thermique. [90]. Pour contrôler la température radiante du mur, il suffit d'augmenter l'inertie thermique du mur en s'assurant que le coefficient de conductivité thermique (k) est égal ou inférieur à 1,2. L'écart entre la température de l'air ambiant et la température des parois n'excédant pas 5°C. [90]

### 5.2.4. Le Degré hygrométrique de l'air :

C'est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à cette température T<sub>a</sub> et la quantité d'eau maximale qu'il peut contenir à cette même température. [94], Une humidité relative de 30 % à 70 % se situe dans une plage confortable et a peu d'effet sur le confort thermique. [35]. L'air ne peut absorber qu'une quantité limitée de vapeur d'eau. Lorsque l'atmosphère est chaude et en état de saturation en air, le corps entrera dans un état inconfortable car la peau a du mal à transpirer. [35]

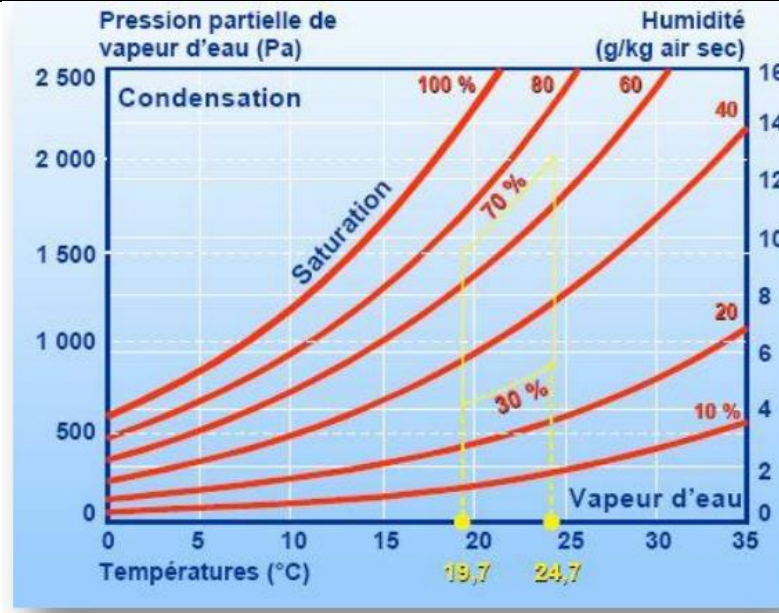


Figure II-37: plage du confort pour une activité du bureau

### 6. Potentiel et gisement naturel pour couvrir les besoins d'un bâtiment

En Algérie, les hydrocarbures occupent une place très importante dans le développement économique du pays. L'Algérie possède les troisièmes réserves prouvées de pétrole brut en Afrique et les dixièmes au monde en termes de réserves prouvées de gaz naturel. C'est le plus grand producteur de gaz naturel en Afrique, le deuxième fournisseur de gaz naturel en Europe et l'un des trois premiers producteurs de pétrole en Afrique. On estime que l'Algérie possède la troisième plus grande ressource de gaz de schiste au monde. L'Algérie dispose également d'importantes ressources en uranium et en charbon. Avec 3500 heures d'ensoleillement par an, l'Algérie est l'un des pays ayant le plus grand potentiel d'énergies renouvelables au monde.

Les potentiels éolien, biomasse, géothermique et hydroélectrique sont beaucoup moins importants que les potentiels du soleil. Toutefois, cela n'empêche pas le démarrage de nombreux projets de construction de parcs éoliens et la mise en œuvre de projets expérimentaux sur la biomasse et la géothermie.

#### 6.1. Le potentiel renouvelable

Les énergies renouvelables constituent historiquement les premières sources d'énergies utilisées par les hommes. Fournies par le soleil, le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau, etc., ces énergies, par définition, se renouvellent naturellement après avoir été consommées et sont donc inépuisables (au moins sur des très grandes échelles de temps). Il existe cinq grands types d'énergies renouvelables : l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, la

## **Chapitre II : l'énergie et le bâtiment**

---

biomasse et la géothermie. Leur caractéristique commune est de ne pas produire d'émissions polluantes (ou peu), et ainsi d'aider à lutter contre l'effet de serre.

### **6.1. Potentiel d'énergies renouvelables de l'Algérie :**

De par sa position géographique favorable, l'Algérie dispose d'un potentiel national d'énergies renouvelables très important. Ce pays a un potentiel énorme pour l'énergie solaire. Avec un ensoleillement annuel moyen estimé à environ 2000 heures et un territoire constitué de 86 déserts sahariens, sa puissance solaire est estimée à environ 1700 KWh/m<sup>2</sup>/an au nord du pays et 2650KWh/m<sup>2</sup>/an au sud, ce qui correspond à une capacité électrique huit fois supérieure aux réserves de gaz naturel du pays et constitue le plus grand gisement d'énergie solaire au monde.

Le potentiel de développement des autres énergies renouvelables est plus modeste, notamment pour l'hydroélectricité et l'éolien lorsque la vitesse du vent ne fluctue qu'entre 2 et 6m/s. Le potentiel de la biomasse, qui comprend le recyclage des déchets d'activités humaines, des déchets municipaux et agricoles, est estimé à 1,33 MTEp/an. La géothermie a des perspectives plus favorables avec 200 sources d'eau chaude répertoriées et une capacité annuelle estimée à 700 MW par an [99], [100].

#### **6.2.1. Potentiel solaire :**

De l'autre côté du bassin méditerranéen, il existe un immense réservoir solaire situé dans la partie nord du continent africain et surtout dans la partie sud de l'Algérie. Le potentiel de cette forme d'énergie dans le sud algérien également connu sous le nom de GSA (Grande Algérie Sahara) est le plus important (figure II-38) [101].

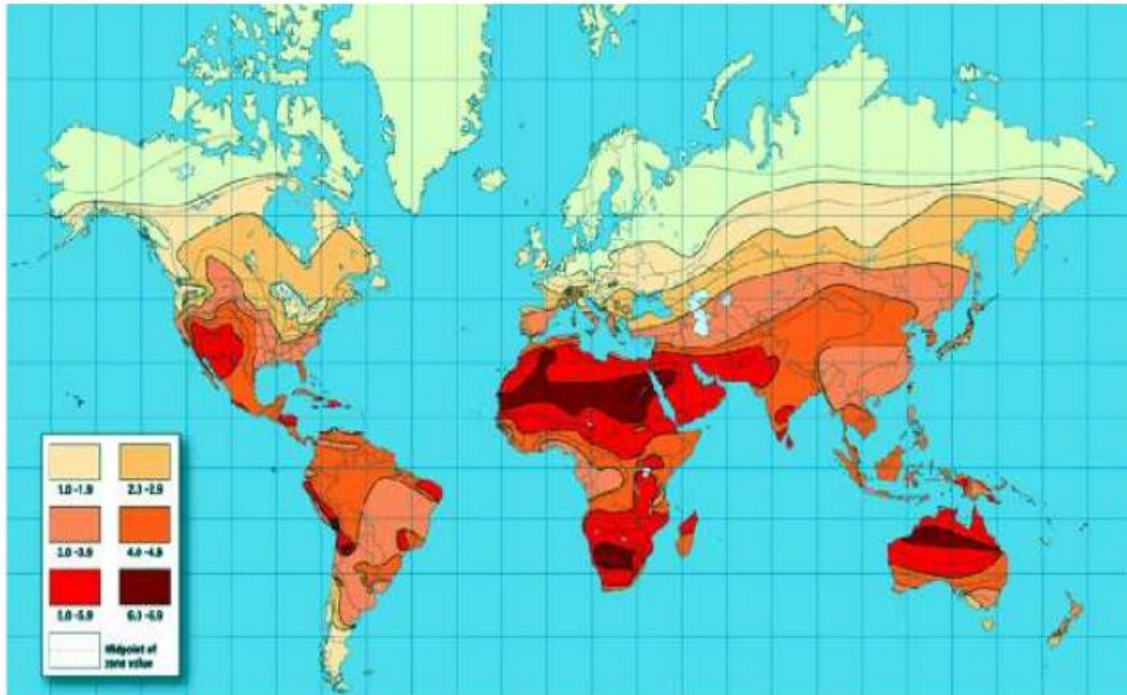


Figure II-38: carte d'insolation solaire du monde [101]

La période d'ensoleillement sur la majeure partie du territoire national dépasse annuellement 2000 heures et peut atteindre 3900 heures (hauts plateaux et déserts du Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m<sup>2</sup> est de l'ordre de 5Kwh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700Kwh/m<sup>2</sup>/an au Nord et 2263 KWh/m<sup>2</sup>/an au Sud [99], [100], [101], [102].

Le tableau ci-dessous indique le pourcentage d'ensoleillement pour chaque région d'Algérie.

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (Kwh/m <sup>2</sup> /an)	1700	1900	2650

Tableau II-3: Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques [101], [102]

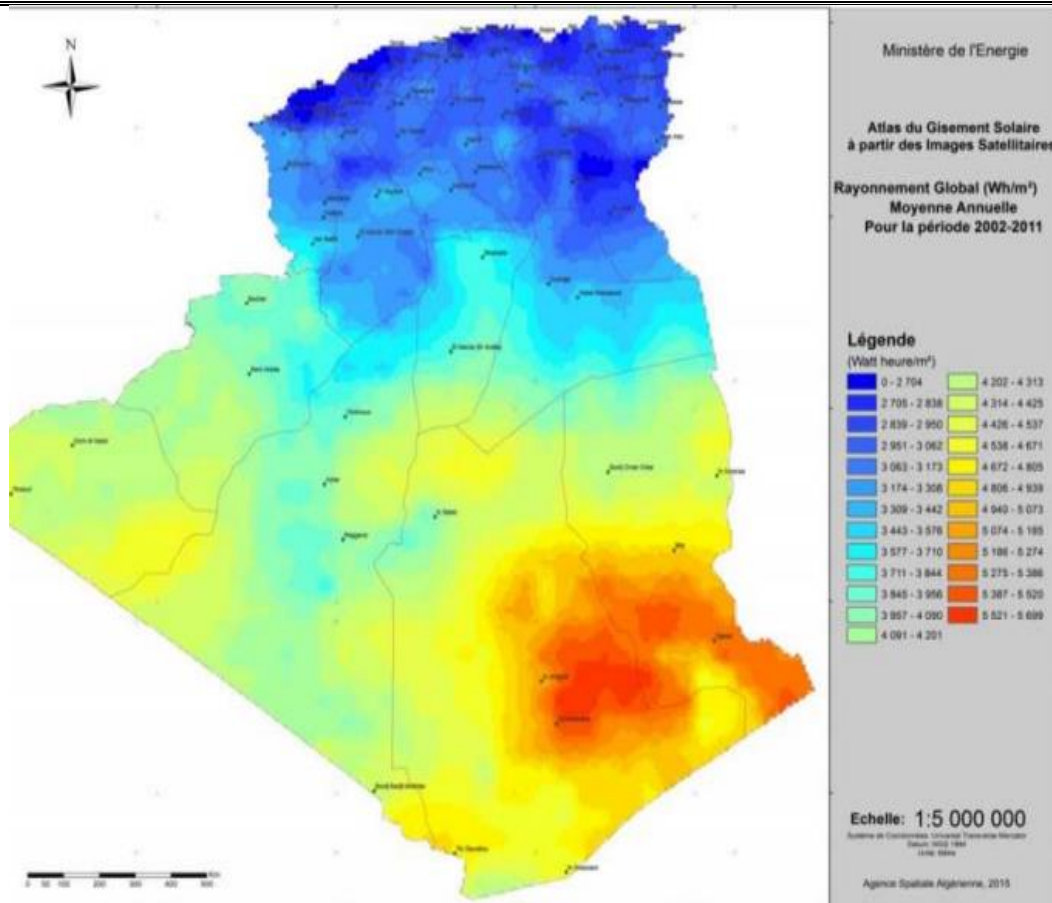


Figure II-39: carte l'irradiation globale annuelle moyenne 2002-2011 [103] [104]

### 6.2.2. Potentiel éolien

L'énergie éolienne représente le deuxième secteur de production d'électricité dans le programme national de développement des énergies renouvelables. Plusieurs études ont été menées par le CDER au profit de la Direction de l'Énergie, d'une part, concernant l'identification des sites éligibles à l'implantation de parcs éoliens, et d'autre part, en termes de faisabilité économique et de techniques d'exploitation. La mise en place de parcs éoliens dans différentes régions d'Algérie, notamment dans le sud algérien [103].

Les ressources éoliennes en Algérie varient considérablement d'un endroit à l'autre. Cela est principalement dû à la topographie et au climat varié. En effet, notre vaste pays est divisé en deux régions géographiques très différentes. Le nord de la Méditerranée est caractérisé par un littoral de 1200 km et un support montagneux, représenté par les séries de l'Atlas tellien et de l'Atlas saharien. Entre eux se trouvent des plaines et des plateaux alternant avec un climat continental. Pendant ce temps, le Sud est caractérisé par un climat saharien. [104]

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

La carte ci-dessous montre que le Sud est caractérisé par une vitesse plus élevée que le Nord, surtout dans le Sud-Est, avec une vitesse supérieure à 7m/s et dépasse la valeur de 8m/s dans la région de Tamanrasset (In Tamanrasset) Amguel) [104].

Au nord, nous voyons une moyenne mondiale faible. On note cependant l'existence de microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaïa et Annaba, sur les plateaux de Tébessa, Biskra, M'sila et Elbayadh (6 à 7m/s), et le Grand Sud (> 8m/s) [101], [104].

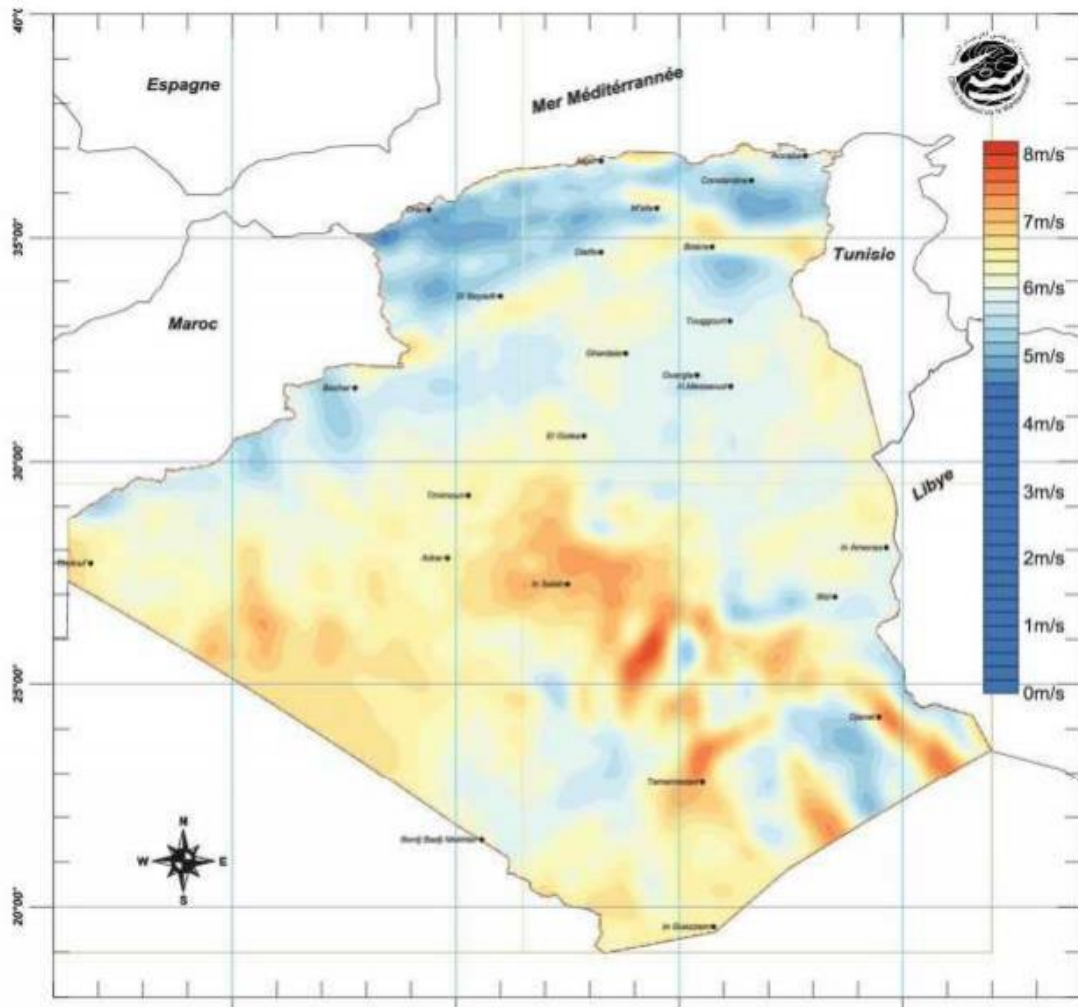


Figure II-40 : Carte du Vent Annuel Moyen à 50m (Période 2001-2010) [104]

### 6.2.3. Potentiel géothermique

L'Algérie se caractérise par un riche potentiel en énergie géothermique [103], [104]. Le Nord de l'Algérie compte plus de 240 sources chaudes réparties d'Est en Ouest et plus concentrées à l'Est. Le sud de l'Algérie dispose d'une importante réserve d'eau thermale profonde dans l'Albien (également appelée nappe phréatique de l'Albien). L'aquifère de l'Albien est le

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

principal réservoir géothermique du sud algérien. Elle s'étend en Algérie sur une superficie de 600 000 km<sup>2</sup>.

L'évaluation du potentiel géothermique apporte une aide précieuse aux responsables de la gestion des ressources en eau géothermique et du milieu naturel pour les activités touristiques futures dans le secteur hydrothermal. Ainsi, les études d'évaluation permettent l'expertise et l'assistance technique des projets publics du secteur basse enthalpie en Algérie. Ils sont également un appui important dans le domaine de l'extraction de l'énergie géothermique dans la production d'électricité, de chaleur et de froid et de chauffage pour les serres agricoles et la pisciculture. Il est prévu de produire 15 mégawatts d'électricité à partir de l'énergie géothermique dans le cadre du programme des énergies renouvelables.

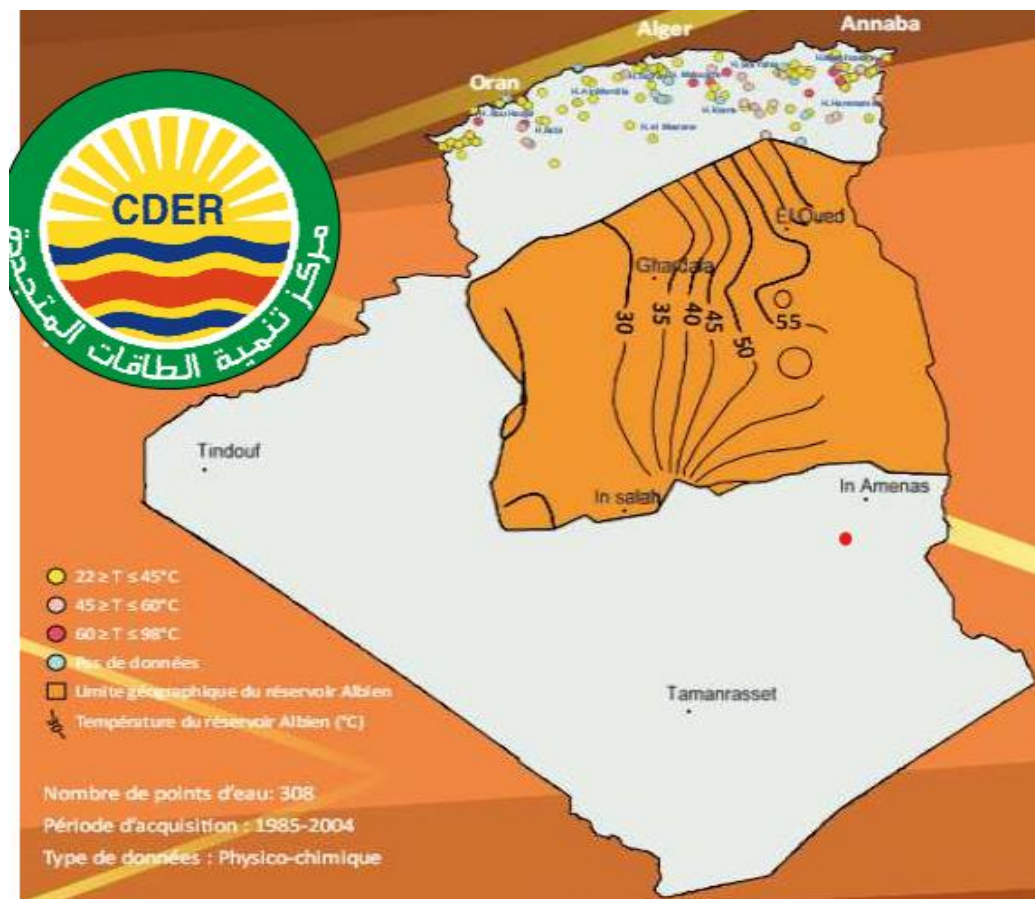


Figure II-41: localisation et température des ressources géothermique de l'Algérie

### 6.2.4. Potentiel de biomasse :

Le CDER a réalisé une étude préliminaire sur le potentiel énergétique des déchets ménagers et assimilés (DMA), des stations d'épuration (STEP) et des déchets de l'agriculture et de l'industrie agroalimentaire. Ces ressources sont disponibles de manière durable et en quantité,

## **Chapitre II : l'énergie et le bâtiment**

---

compte tenu de la croissance continue de la population algérienne, ainsi que de son revenu moyen [103].

Les résultats de cette étude suggèrent que la valorisation énergétique de ces sources permet une production potentiellement exploitable de près de 1 milliard de mètres cubes de biogaz. Converti en électricité, ce biogaz peut produire plus de 1700 GWh/an, soit la consommation annuelle moyenne de 1,5 million d'Algériens [103].

### **6.2.5. Potentiel forestier :**

Le potentiel actuel est estimé à 37 millions de TEP (Tonne Equivalent Pétrole). Le potentiel de récupération est d'environ 3,7 millions de TEP. Le taux de récupération actuel est d'environ 10 % [104].

### **6.2.6. Potentiel national des déchets ménagers et assimilés**

05 millions de tonnes de déchets agricoles et municipaux ne sont pas recyclés. Ce potentiel représente un gisement d'environ 1,33 million de TEP/an [104].

### **6.2.7. Potentiel hydraulique :**

Le volume total tombant sur le territoire de l'Algérie est important et estimé à 65 milliards de m<sup>3</sup>, mais n'apporte finalement que très peu d'avantages au pays : réduction du nombre de jours de pluie, privilégiant les processus spatiaux limités, s'évaporant fortement, rapidement évacuation vers la mer [104].

D'après le schéma, les ressources en surface diminuent du Nord vers le Sud. Les ressources utiles et renouvelables sont actuellement estimées à 25 milliards de m<sup>3</sup>, dont environ les deux tiers sont des ressources de surface. 103 sites de barrages ont été identifiés. Plus de 50 barrages sont actuellement en exploitation [104].

## **7. Produire du confort thermique naturellement : [113]**

### **7.1. Apports solaires :**

Les rayons du soleil peuvent être la première source de confort en hiver et la principale source d'inconfort en été à cause de la chaleur pénétrant dans la maison par le vitrage du type de vitrage, ainsi que de la direction et de l'angle entre les rayons du soleil et le vitrage.

#### **7.1.2. L'angle d'incidence**

C'est l'angle entre le rayonnement solaire et la direction perpendiculaire au verre. Elle change avec la course du soleil mais aussi avec la direction et l'inclinaison du verre. Le gain solaire



## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

est maximal lorsque les rayons du soleil sont perpendiculaires au verre, c'est-à-dire angle d'incidence  $0^\circ$

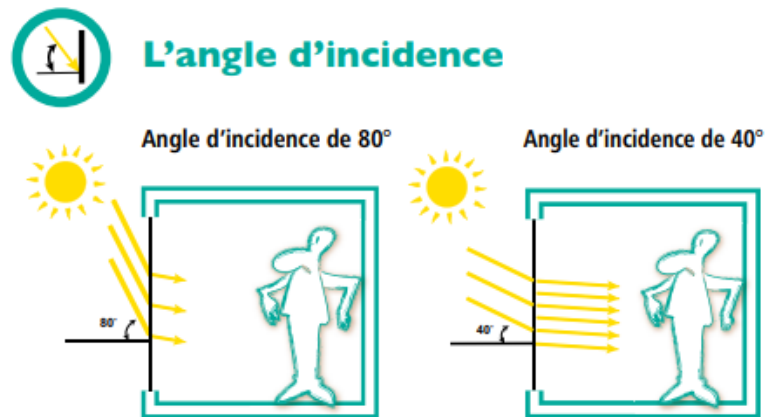


Figure II-42: l'angle d'incidence

### 7.1.3. Le facteur solaire, $S_w$

C'est la capacité d'un vitrage à laisser entrer plus ou moins de rayonnement solaire. À éclairement solaire égal, l'apport de chaleur solaire est d'autant plus important que le coefficient solaire du vitrage soit élevé.

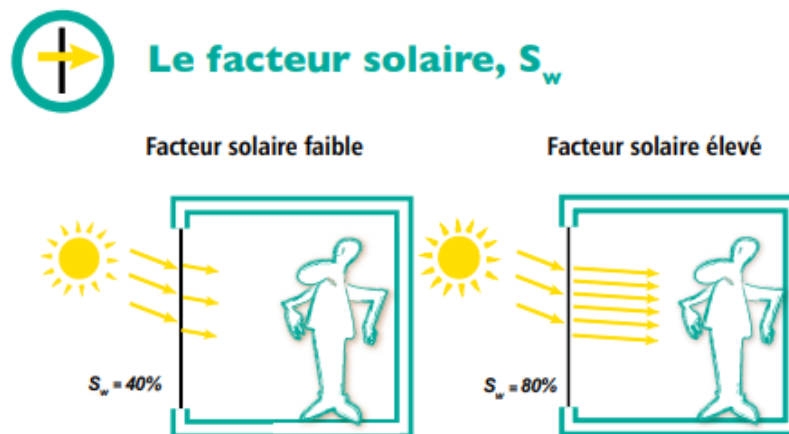


Figure II-43: le facteur solaire,  $S_w$

Pour minimiser les apports solaires en été, il faut :

- Choisir un vitrage à faible coefficient solaire.
- Installer le pare-soleil approprié.
- Limiter les surfaces vitrées à l'Ouest et éventuellement à l'Est.

pour Tirer profit de l'ensoleillement en hiver

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

---

- La direction sud est privilégiée pour les grandes parois vitrées à coefficient solaire maximum.
- Limitez l'ombrage par une protection solaire (végétation persistante, bâtiments environnants, etc.).
- 

### 7.2. Air en mouvement :

- La vitesse de déplacement de l'air modifie la sensation thermique à cause des échanges thermiques peau-air

#### Température de l'air

La perte de chaleur est proportionnelle à la différence de température entre l'air et la peau. Plus la température de l'air est basse, plus le corps perd de chaleur.

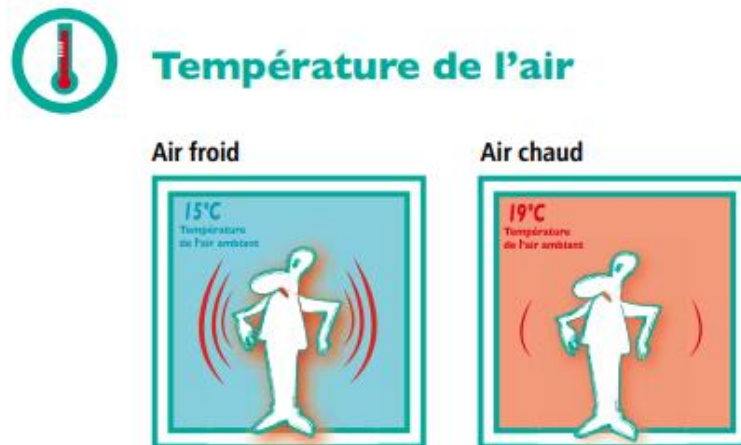


Figure II-44: température de l'air

#### - Vitesse de l'air

À température égale, l'air absorbe plus de chaleur totale du corps que lorsque la vitesse de l'air est élevée. Plus l'air se déplace rapidement, plus le corps perd de chaleur.



Figure II-45: vitesse de l'air

Pour Favoriser les mouvements d'air frais en été il faut

- Créer des mouvements d'air.
- Apporter de l'air plus frais, notamment en utilisant la fonction de refroidissement nocturne

pour Maintenir l'air chaud et immobile en hiver,il faut

- Eviter les mouvements d'air.
- Limiter la pénétration de l'air froid, par exemple en réduisant la pénétration

### 6-3 Choc thermique :

Pour s'adapter à des changements de température importants ou brusques, le corps doit exercer un effort, provoquant généralement une gêne.

#### - Amplitude thermique

L'amplitude du choc thermique dépend de la différence de température. Il est plus difficile pour le corps de s'adapter à des changements de température drastiques qu'à des changements plus doux.



### Amplitude thermique

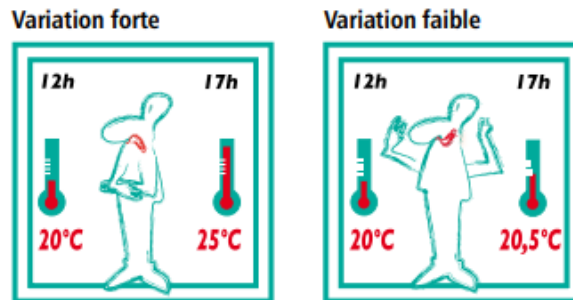


Figure II-46: amplitude thermique

### 7.3. Vitesse de variation de la température

Plus le changement de température est brutal, plus le corps doit fournir d'efforts. Pour ne pas trop tester votre corps, il faut lui laisser le temps de réagir.



### Vitesse de variation de la température

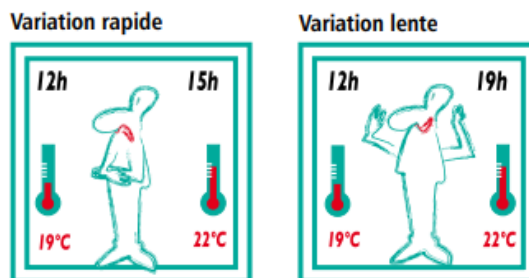


Figure II-47: vitesse de variation de la température

Pour concevoir un bâtiment avec la plus forte inertie possible. Deux formes d'inertie sont nécessaires :

- l'inertie de transfert des parois qui ralentit et réduit la pénétration de la chaleur de l'extérieur,
- l'inertie thermique des parois intérieures qui absorbe la chaleur

Pour homogénéiser la température en hiver, il faut :

- Utiliser des matériaux intérieurs capables d'absorber et de libérer de la chaleur.
- Sélectionner un réchauffeur inertiel.
- Assurer une répartition et régulation optimisées de la chaleur.

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

### 7.4. Influence des parois :

Les échanges thermique entre le corps et les parois jouent un rôle essentiel dans la sensation de confort thermique.

#### - Température du la paroi

La température des murs est tout aussi importante que la température ambiante. Plus la différence de température entre le corps et la paroi est grande, plus le corps perd de chaleur.

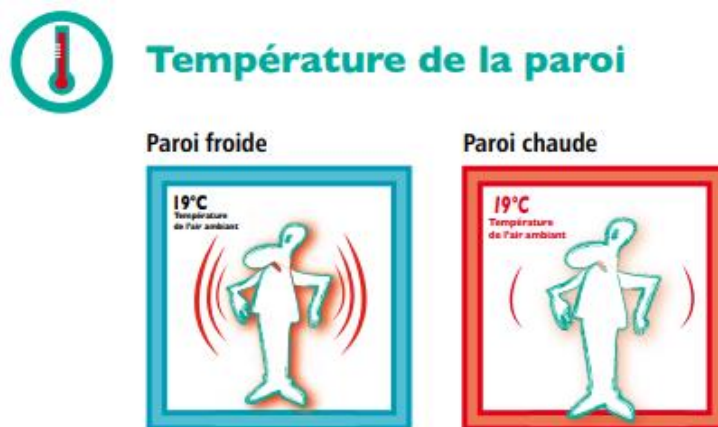


Figure II-48: température de la paroi

#### 7.5.2. L'effusivité de la paroi

L'efficacité des matériaux qui composent le mur est le facteur décisif. L'efficacité est la capacité d'un matériau à absorber la chaleur sans augmenter sa température. A température ambiante égale, plus l'efficacité du mur est grande, plus le corps perd de chaleur.



Figure II-49: l'effusivité de la paroi

Pour conserver des surfaces internes fraîches en été, il faut :

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

---

- Protéger la façade contre la chaleur et le soleil.
- Former des murs épais avec un matériau qui ralentit et réduit la pénétration de la chaleur.

En hiver, il faut

- éviter les surfaces internes froides,
- protéger le mur du froid extérieur (isolation efficace, espace tampon)
- chauffer l'intérieur des murs.

### 7.5.3. Température à la verticale :

Une grande différence de température entre les pieds et la tête est source d'inconfort. Malgré la température modérée, la grande différence de température entre les pieds et la tête n'est jamais agréable.

### 7.5.4. Tirage thermique (convection)

En se refroidissant, l'air devient plus lourd et descend, tandis que l'air plus chaud et plus léger monte. Cette vitesse de déplacement de l'air dépend de la différence de température entre l'air froid et l'air chaud.

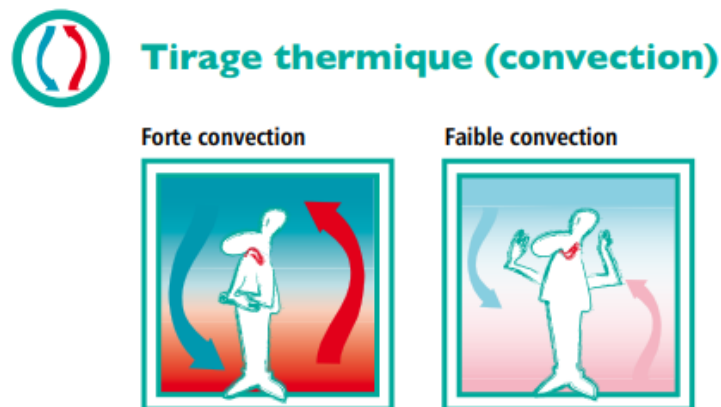


Figure II-50: tirage thermique (convection)

### 7.5.5. Stratification (pas de convection)

L'air exalté persistance en optimum et l'air banquise persistance en bas. Les pertes de en rut par le conservatoire ne sont pas homogènes : syndrome des « pieds hivernaux et de la leader chaude ».

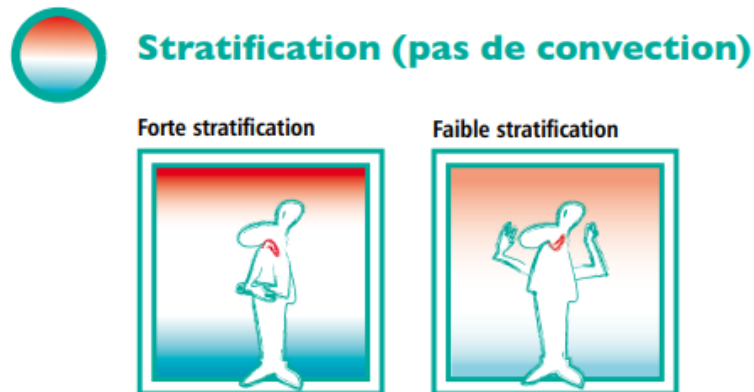


Figure II-51: stratification (pas de convection)

Pour Diminuer la température de l'air en été

- Utiliser la convection naturelle pour générer un courant d'air et ainsi dissiper la chaleur la nuit.
- Limiter l'entrée d'air chaud pendant la journée.
- Utiliser des matériaux qui ralentissent la pénétration de la chaleur à travers le toit, c'est-à-dire qui ont une différence de phase élevée.

pour uniforme la température ambiante en hiver

- il faut diffuser la Chaleur dans les parties basses des pièces.
- Isolation efficace des toits et des sols.

### 8. Les systèmes énergétiques solaires pour le bâtiment :

L'énergie solaire est l'énergie rayonnée par le soleil. Cette énergie est à l'origine de nombreux phénomènes Physiques tels que la photosynthèse, le vent ou le cycle De l'eau. Elle vient de la fusion nucléaire se produisant au cœur du Soleil. Elle circule dans l'espace sous forme d'un Rayonnement électromagnétique. Ce rayonnement est Composé de photons, petites particules d'énergie Élémentaires.

Les diverses applications qui découlent de l'exploitation des rayons solaire sont innombrable. En effet, les technologies solaires les plus répandue s'observent majoritairement dans le domaine de l'immobilier : solaire thermique passif, solaire thermique actif, solaire thermodynamique, solaire photovoltaïque et éclairage naturel.

#### 8.1. Systèmes photovoltaïques :

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

Au niveau mondial, le marché des systèmes photovoltaïques, connaît depuis maintenant plus de 10 ans, un taux de croissance très élevé, de l'ordre de 30 à 40 % par an. [105]. Cette croissance exceptionnelle, due principalement aux systèmes photovoltaïques raccordés au réseau de distribution d'électricité, se traduit bien évidemment par des innovations technologiques et une baisse de coûts des modules photovoltaïques mais aussi à des efforts importants de recherche et de développement dans le domaine de l'électronique de puissance

### 8.1.1. Les centrales à l'énergie solaire

Les centrales solaires utilisent les rayons du soleil comme source d'énergie. Ce système puise son énergie grâce à la concentration du rayonnement solaire. Celui-ci est collecté à l'aide de plusieurs dispositifs adaptés tels que les capteurs solaires et les panneaux photovoltaïques. L'avantage de la technologie solaire est qu'elle permet de pratiquer des prix d'électricité peu élevés. Les installations des centrales sont déployées sur plusieurs hectares pour générer en retour une quantité d'électricité suffisante pour alimenter un territoire donné. [106]

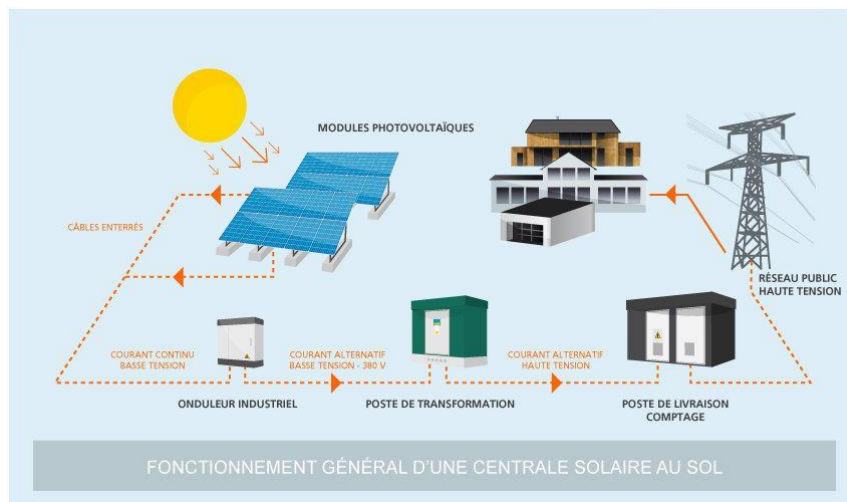


Figure II-52 : Fonctionnement général d'une centrale solaire [106]

### 8.1.2. Le fonctionnement des panneaux solaires

Les panneaux solaires sont constitués des cellules photovoltaïques, ces cellules sont des composants électroniques capables de produire l'électricité à partir des rayonnements solaires grâce à l'effet photo. Cet effet est basé sur le comportement des matériaux semi-conducteur quand ils reçoivent des rayons solaires, dès que photons rentre en contact avec les matériaux, il transmette leur énergie en électron de semi-conducteur qui génère un courant électrique

Figure II-53.



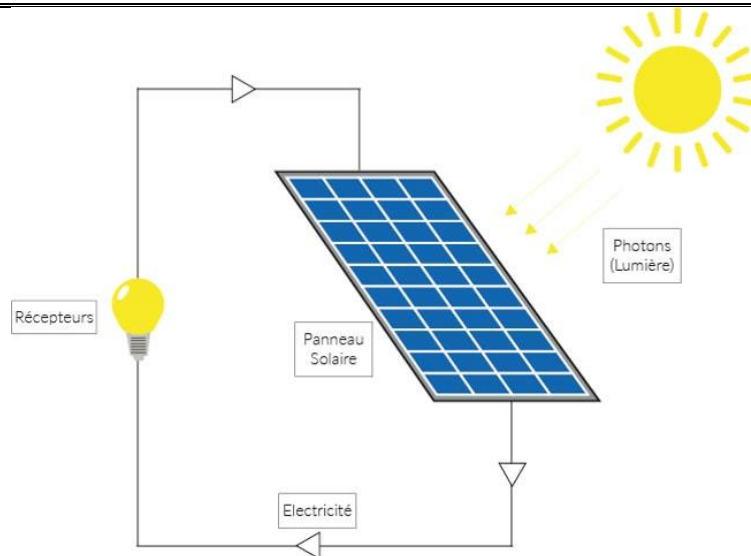


Figure II-53: le fonctionnement des panneaux solaire

### 8.1.3. Les différentes installations photovoltaïques

#### *Les installations sur site isolé*

Ce type de montage est adapté aux installations ne pouvant être raccordées au réseau. L'énergie produite doit être directement consommée et/ou stockée dans des accumulateurs pour permettre de répondre à la totalité des besoins. Les panneaux photovoltaïques produisent l'électricité en courant continu [107]. Le régulateur optimise la charge et la décharge de la batterie suivant sa capacité et assure sa protection. L'onduleur transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les récepteur AC. Les batteries sont chargées le jour pour pouvoir alimenter la nuit ou les jours de mauvais temps. Des récepteurs DC spécifiques sont utilisables. Ces appareils sont particulièrement économes [107]

#### *Les installations raccordées au réseau de distribution public*

Il y a la solution avec injection totale, Toute l'énergie électrique produite par les capteurs photovoltaïques est envoyée pour être revendue sur le réseau de distribution. Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en deux points :

- le raccordement du consommateur qui reste identique avec son compteur de consommation (on ne peut pas utiliser sa propre production),
- le nouveau branchement permettant d'injecter l'intégralité de la production dans le réseau,

Ce type d'installation dispose de deux compteurs :

- L'un pour la production,

## **Chapitre II : l'énergie et le bâtiment**

---

- L'autre pour la non-consommation (permet de ne vérifier qu'aucun soutirage frauduleux n'est réalisé). [108]

Puis il y a la solution avec injection de surplus, cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en un point. L'utilisateur consomme l'énergie qu'il produit avec le système solaire et l'excédent est injecté dans le réseau. Quand la production photovoltaïque est insuffisante, le réseau fournit l'énergie nécessaire. Un seul compteur supplémentaire est ajouté au compteur existant [108]

### **8.2. Systèmes Thermiques :**

La première et plus répandue des utilisations de l'énergie solaire est sa transformation en énergie thermique. La transformation se fait naturellement ; il suffit de se mettre au soleil pour ressentir de la chaleur. Le corps humain transforme l'énergie solaire en énergie thermique. Avec une architecture appropriée, un bâtiment est aussi capable de transformer cette énergie en énergie thermique.

L'utilisation la plus connue actuellement est le chauffage « solaire » ; L'eau pour les robinets ou les radiateurs est chauffée par des panneaux solaires. Une autre utilisation de cette transformation est l'usage de fours solaires. Les petits fours solaires « domestiques » peuvent chauffer facilement jusqu'à 150°C et les fours industriels ou pour la recherche peuvent atteindre jusqu'à 3000°C en quelques secondes.

Cette énergie est la transformation des rayons du soleil en énergie thermique c'est-à-dire en chaleur. Cette énergie peut être utilisée directement soit pour le chauffage mais aussi pour obtenir de l'eau chaude. Le principe général est de concentrer les rayons solaires en un seul endroit. Ceux-ci sont alors piégés par des capteurs solaires thermiques vitrés qui transmettent l'énergie solaire à des absorbeurs métalliques. Ces mêmes absorbeurs réchauffent alors un réseau de tuyaux où circule un fluide caloporteur (c'est-à-dire un fluide qui reçoit de la chaleur en un point de son circuit et qui la cède en un autre point). Cet échangeur va ensuite chauffer à son tour de l'eau stockée dans un cumulus, cette même eau ira alimenter chauffe-eau (pour l'eau sanitaire) et systèmes de chauffages solaires.

#### **8.2.1. Le solaire thermique actif**

Le solaire thermique actif permet de transmettre la chaleur du rayonnement solaire au sein d'un fluide, parfois de l'air, le plus souvent de l'eau, par la mise en œuvre des capteurs solaires. Ces techniques peuvent assurer la production d'eau chaude sanitaire ou d'eau distillée, le chauffage des piscines et des habitations ainsi que le séchage. [109]

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

---

### 8.2.2. Les capteurs thermiques :

Tous les capteurs solaires thermiques visent à convertir le rayonnement solaire en chaleur avec un rendement élevé et à fournir cette chaleur aux consommateurs aussi efficacement que possible. Il existe plusieurs types de capteurs solaires thermiques : les capteurs non-vitrés, les capteurs plans, les capteurs sous vide, les capteurs à concentration. Ces types diffèrent considérablement en qualité, en rendement, en conception et en coût.

#### *Capteurs solaires non vitré :*

Les capteurs plans sans vitrage sont habituellement fabriqués en un plastique noir qui a été stabilisé afin de résister aux rayons ultraviolets. Comme ces capteurs ne possèdent pas de vitrage, une grande partie de l'énergie solaire est absorbée. Cependant, parce qu'ils ne sont pas isothermes, une grande partie de la chaleur absorbée est perdue lorsqu'il y a du vent et que la température extérieure n'est pas assez chaude

Ils transfèrent si bien la chaleur de l'air (et provenant de l'air) qu'ils peuvent réellement « saisir » la chaleur au cours de la nuit lorsqu'il fait chaud et qu'il y a du vent à l'extérieur. [110]



*Figure II-54: Capteur solaire moquette.*

#### *Capteurs vitrés :*

Un capteur plan vitré est composé :

- d'un caisson.
- d'un isolant permettant de limiter les fuites thermiques en sous face et sur les bords.
- d'un film réfléchissant.
- d'un faisceau de tubes cylindriques.

## Chapitre II : l'énergie et le bâtiment

- une surface absorbante placée à l'intérieur du coffre.
- un vitrage fixé sur le caisson. Les tubes sont parcourus par un fluide caloporteur (eau + antigel). Cette eau se réchauffe au fil de l'écoulement dans les tubes.

Les tubes sont parcourus par un fluide caloporteur (eau + antigel). Cette eau se réchauffe au fil de l'écoulement dans les tubes.

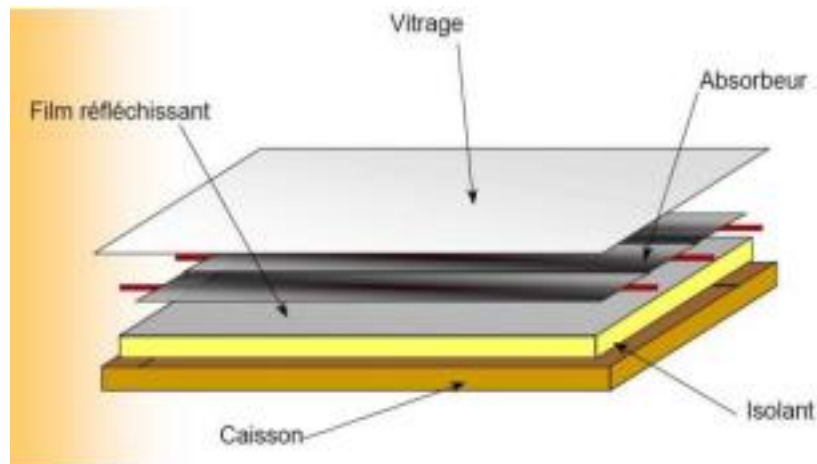


Figure II-55: Capteur solaire plan vitré.

### Capteurs sous vide :

Un capteur solaire "sous vide" est composé d'une série de tubes transparents en verre de 5 à 15 cm. de diamètre. Dans chaque tube il y a un absorbeur pour capter le rayonnement solaire et un échangeur pour permettre le transfert de l'énergie thermique. Les tubes sont mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur et l'absorbeur reçoit un traitement sélectif pour empêcher le rayonnement. Un capteur solaire thermique sous vide est composé :

- d'une série de tubes de verre sous vide (il n'y a pas d'air).
- d'un absorbeur à l'intérieur des tubes de verre.
- d'un tube en cuivre à l'intérieur des tubes de verre.

Les tubes en cuivre sont parcourus par un fluide caloporteur (eau + antigel). Cette eau se réchauffe au fil de l'écoulement dans les tubes.

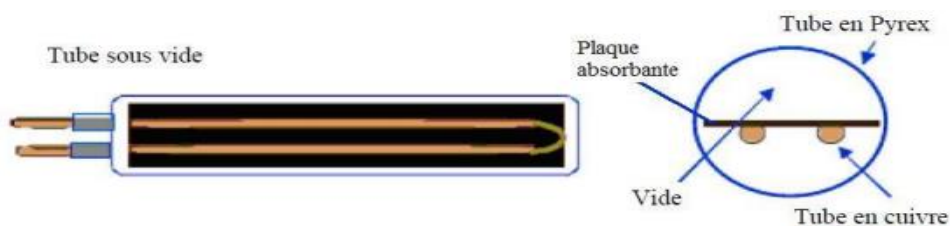


Figure II-56: Tube sous vide.



Figure II-57: Capteur sous vide

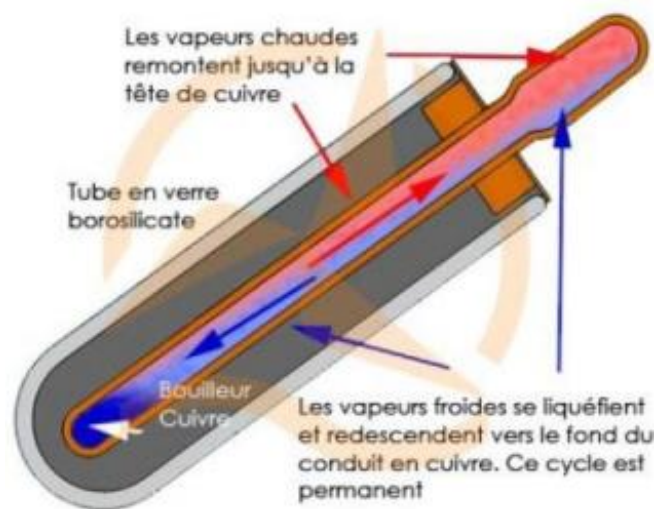


Figure II-58: Capteur sous vide à caloduc.

### **Capteurs à concentration :**

Un capteur solaire thermique à concentration est composé :

- d'un châssis, d'un isolant permettant de limiter les fuites thermiques en sous face et sur les bords.
- d'un système de réflexion de la lumière.
- d'un absorbeur.
- d'un réseau de tubes en cuivre

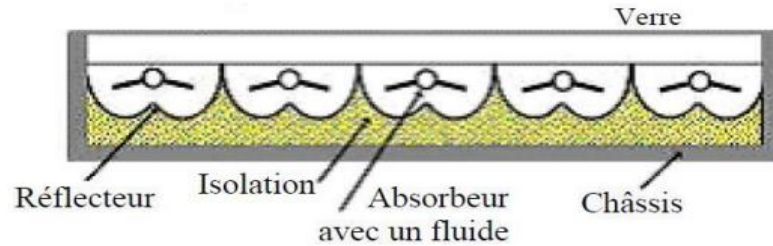


Figure II-59: Capteur à concentration.

### 8.2.3. Fonctionnement des panneaux solaires thermique :

La chaleur du Soleil peut être utilisée de manière directe pour chauffer un réservoir d'eau, sécher du linge (évaporation) ou tempérer les parois d'une maison. C'est le principe utilisé par les panneaux solaires thermiques qui sont placés sur les toits ou les façades des maisons. En transitant par les panneaux solaires, l'eau est réchauffée par le Soleil, puis utilisée sur place, pour le chauffage ou l'eau sanitaire du bâtiment. [111]

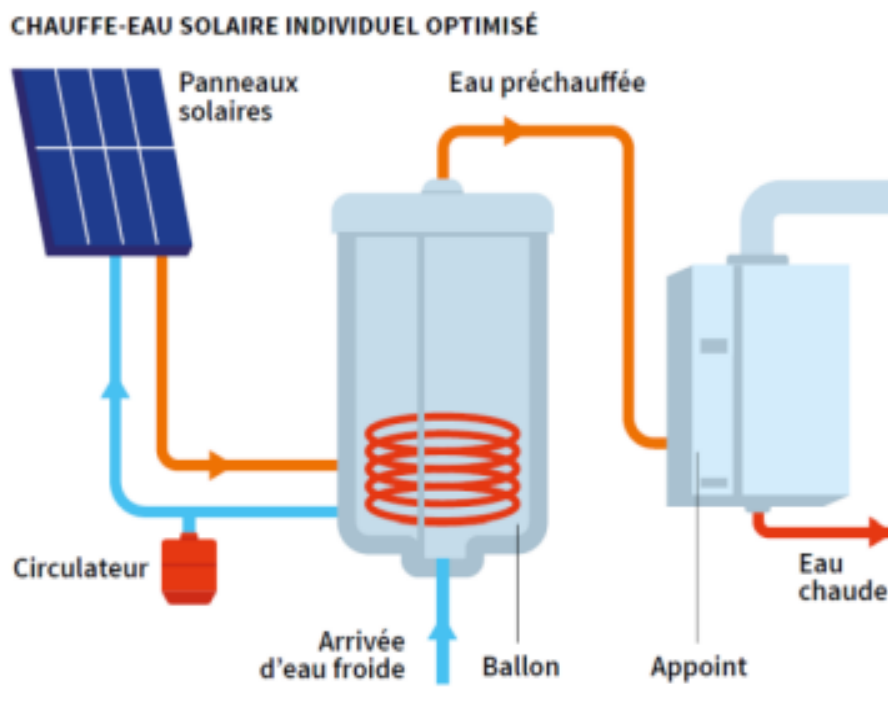


Figure II-60: Panneau solaire thermique

### 8.2.3. Avantages et inconvénients des capteurs solaires thermiques :

**Avantages:** Outre les économies d'énergie déjà énoncées, les capteurs solaires thermiques respectent l'environnement. L'énergie solaire recueillie par les capteurs solaires thermiques est une énergie propre et renouvelable. Installer ce type de matériel permet de participer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

## **Chapitre II : l'énergie et le bâtiment**

---

**Inconvénients:** La production d'énergie solaire n'est possible que lorsqu'il y a du soleil. L'énergie solaire est une énergie intermittente. Il faut donc un système de chauffage d'appoint. Il faut pouvoir stocker la chaleur dans des ballons ou des dalles chauffantes. Le coût d'investissement d'une installation solaire thermique est relativement élevé.

### **Conclusion :**

Nous avons présenté dans ce chapitre, les paramètres affectant la consommation énergétique et comment produire un confort thermique naturel. Nous avons mentionné les matériaux de construction pour isolation thermique. et le gisement naturel le plus disponible en Algérie "gisement solaire"

En plus de notre définition des systèmes photovoltaïques et thermiques



**Chapitre III :**  
***Méthode de calcul***



## Chapitre III : méthode de calcul

### Introduction

En Algérie, on assiste à une réalisation multiple et intense de projets de bâtiments qui consomment trop d'énergie (énergivores), et ne sont malheureusement soumis à aucune exigence réglementaire sur le plan du confort thermique et de l'efficacité énergétique. Les paramètres de la conception sont d'ordre fonctionnel et architectural et la dimension énergétique du projet n'est pas toujours considérée comme significative, ce qui conduit à des bâtiments non confortables et énergivores.

Dans ce chapitre, nous limiterons notre étude aux écoles primaires :

- à leurs besoins énergétiques
- à la méthode de dimensionnement un système photovoltaïque avant installation

### 1. Estimation des besoins énergétique

On va parler dans cette partie sur les besoins énergétiques dans une école et ceci est limité au confort visuel et thermique. Dans la pratique, on trouve deux types de besoins : l'éclairage et le conditionnement d'air (chauffage et refroidissement).

#### 1.1. Eclairage (confort visuel)

Éclairement (lux), qui peut être utilisé pour représenter la quantité de lumière souhaitée sur une surface dans une pièce.

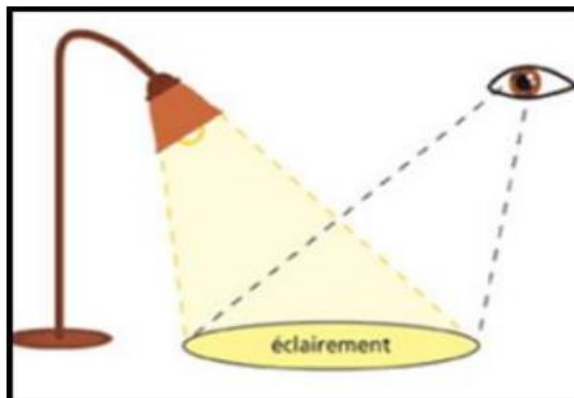


Figure III-1: l'éclairement d'une surface [115]

### Chapitre III : méthode de calcul

Il est utile de pouvoir connaître les niveaux d'éclairage recommandé suivant l'ergonomie de travail (le confort de la tâche de travail). Dans la norme NBN EN 12464-1 on trouve ces niveaux d'éclairage.

L'espace	La norme
Paysage sous la pleine Lune	$E = 0,2$
Eclairage pour une lecture confortable	$E = 100 \text{ à } 200 \text{ lux}$
Eclairage pour une vision finie des couleurs (exemple : salle de dessin)	$E = \text{quelques } 102 \text{ lux}$
Eclairage en extérieur sous un ciel gris	$E = 1000 \text{ lux}$
Eclairage sous scialytique (salle d'opération)	$E = 3000 \text{ lux}$
Paysage sous le Soleil d'été au max	$E = 10000 \text{ lux}$
Eclairages en intérieurs	$E = 100000 \text{ lux}$

Tableau III-1 : quelque norme d'éclairage dans certain espace [114]

#### 1.1.1. Eclairage et la consommation

Quand il s'agit de réaliser des économies d'énergie, le kWh le moins cher est celui qu'on ne consomme pas. L'éclairage peut représenter plus de 35% de la consommation d'énergie dans les bâtiments en fonction des activités. Cette consommation électrique moyenne va dépendre du choix de l'ampoule. On prend l'exemple d'une ampoule qui restitue 75 watts de lumière ; Elle est utilisée durant 4 heures par jour et 365 jours par an.

Type d'ampoule	Consommation annuelle (en kWh)
Ampoule LED 12 watts (puissance d'éclairage 75 watts)	17,5
Ampoule fluocompacte 15 watts (puissance d'éclairage 75 watts)	21,9
Ampoule à incandescence 75 watts (puissance d'éclairage 75 watts)	109,5
Ampoule halogène 75 watts (puissance d'éclairage 75 watts)	109,5

Tableau III-2 : type d'ampoule et sa consommation annuelle

## **Chapitre III : méthode de calcul**

---

### **1.1.2. Les stratégies de la lumière naturelle :**

Toute réalisation architecturale concrétise un microcosme en rapport plus ou moins étroit avec l'environnement auquel 'il appartient. Il est important de concevoir un édifice en concordance optimale avec leur environnement et tirer le meilleur parti possible de la lumière naturelle. La stratégie de la lumière naturelle est l'étude de la relation entre la lumière naturelle et le bâtiment. Elle permet d'offrir un confort visuel aux occupants et de réduire la consommation d'énergie des bâtiments . [116]. Cette stratégie fonctionne en deux étapes importante :

- Capter la lumière
- Distribuer la lumière captée

#### **Capter la lumière naturelle:**

Capter la lumière du jour consiste à la recueillir pour éclairer naturellement un bâtiment



*Figure III-2 : puit de lumière [117]*

#### **Distribuer la lumière naturelle**

Distribuer la lumière naturelle consiste à diriger et à transporter les rayons lumineux de manière à créer une bonne répartition de la lumière naturelle dans le bâtiment. La difficulté d'utilisation de la lumière naturelle par rapport à la lumière artificielle réside dans la grande

### Chapitre III : méthode de calcul

inhomogénéité des éclairagements qu'elle induit en général. La répartition de la lumière représente un facteur clé pour assurer un éclairage de qualité.

Une répartition harmonieuse de la lumière naturelle dans un bâtiment peut être favorisée par différentes approches basées sur :

- Le type de distribution lumineuse (direct, indirecte),
- La répartition des ouvertures :

La répartition de la lumière et la répartition des ouvertures vont de pair, étant donné que l'ouverture soit le seul moyen par lequel la lumière parvient dans un espace. Lorsqu'on parle de l'inclinaison de l'ouverture, on peut distinguer deux types d'ouverture : les ouvertures latérales et les ouvertures zénithales. Ces deux types d'ouverture réagissent différemment au rayonnement solaire qui les pénètre.

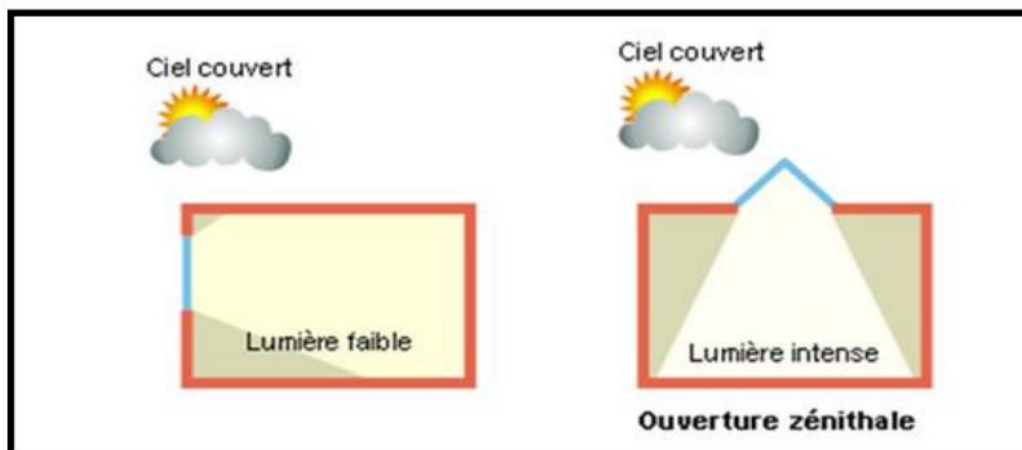


Figure III-3: différents types d'ouverture. [118]

L'éclairage latéral est bénéfique pour se sentir soulagé. L'entretien est également plus facile que d'ouvrir les portes basculantes. De plus, le bilan thermique est en faveur de l'ouverture verticale. [118]

#### 1.2. Chauffage et refroidissement (Le confort thermique) :

Le confort thermique dépend de 6 critères qui influencent les 5 types d'échanges thermiques : la température de l'air, la température des parois, le métabolisme de la personne, son habillement, la vitesse de l'air dans le local et son humidité.

### Chapitre III : méthode de calcul

Au niveau du bâtiment, les deux paramètres principaux sont la température de l'air et la température des parois. La moyenne de ces deux températures définit la température opérative vise à exprimer la température par l'occupant.

Les occupants des écoles sont principalement des enfants. Les mécanismes physiques de thermorégulation du corps humain ne sont pas aussi efficaces chez les enfants que chez les adultes. Leur confort thermique sera donc plus difficilement atteint.

- Au niveau du froid, par rapport à un adulte, le corps de l'enfant est en général caractérisé par une faible compacité (beaucoup de surface d'échange pour un petit volume), une faible inertie (masse musculaire faible) et une mauvaise isolation (conductance cutanée thermique élevée de la peau fine). Ces caractéristiques entraînant une perte de chaleur plus importante chez l'enfant que chez l'adulte.
- Au niveau de la chaleur, l'évaporation (sudation) représente environ 25% des échanges thermiques chez l'adulte. Ce type d'échange est très réduit chez le jeune enfant, ce qui le rend particulièrement vulnérable à la chaleur.

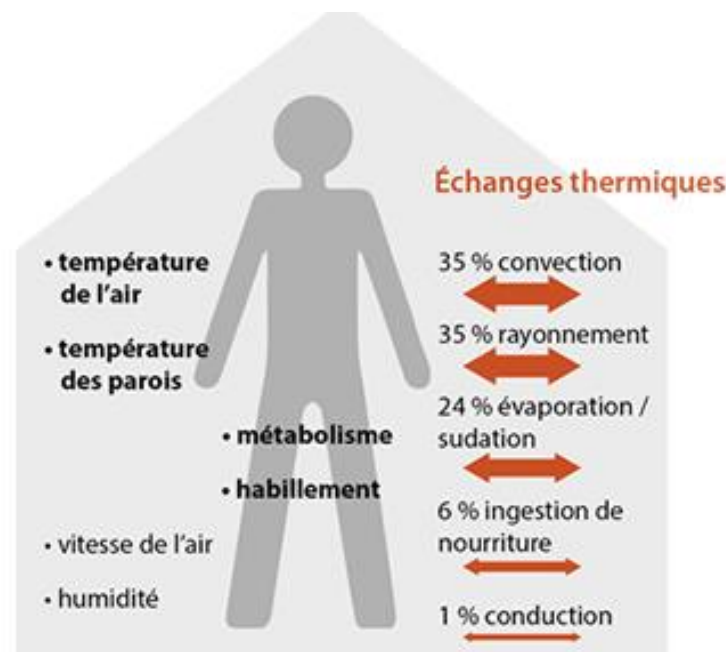


Figure III-4 : Le confort thermique dépend de 6 critères qui influencent 5 types d'échanges thermiques [119]

#### 1.2.1. Les normes de température pour l'enfant

### Chapitre III : méthode de calcul

Il semble évident qu'une température ni trop faible, ni trop élevée est nécessaire pour que la classe puisse être un lieu d'apprentissage et de vie de qualité. C'est d'autant plus important que, comme expliqué ci-avant, les enfants sont plus sensibles que les adultes aux inconforts thermiques. Une température adéquate est nécessaire pour le bien-être et pour la santé des élèves et des enseignants, mais aussi pour leurs performances.

Une température opérative entre 20°C et 23°C est optimale. On observe une forte baisse de la performance au-dessus de 25°C. Le critère de performance est beaucoup plus restrictif que le critère de confort thermique. [119]

#### 1.2.2. Refroidissement

Les systèmes de climatisation ou climatiseur sont des machines frigorifiques. En effet, ils fonctionnent suivant un cycle thermodynamique de compression/détente présenté sur la figure III-5. Ils sont donc généralement composés d'un compresseur (seul élément consommant de l'énergie), un évaporateur, un condenseur et d'un détendeur. La climatisation assure également une fonction de régulation de l'hygrométrie de l'air. [120]

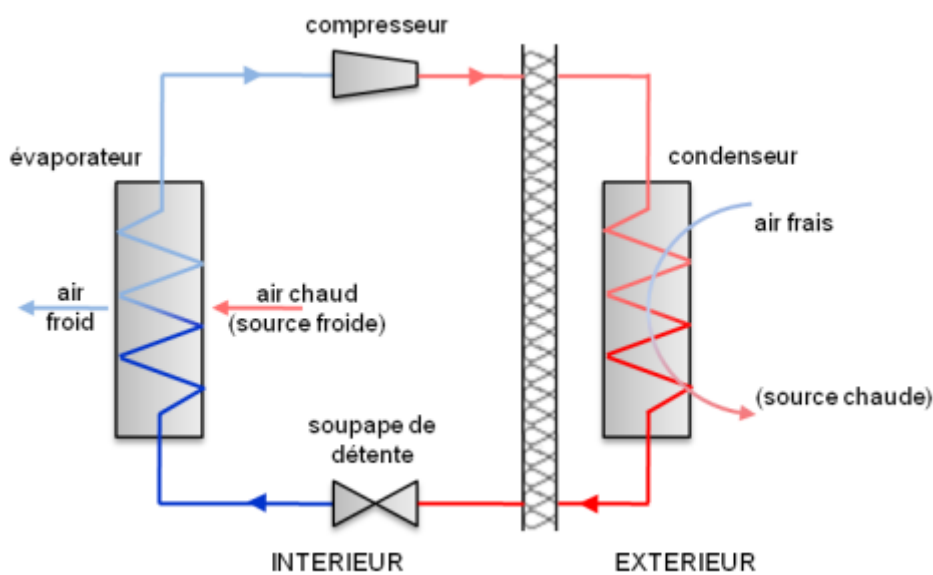


Figure III-5 : schéma de principe de fonctionnement d'un climatiseur

#### 1.2.3. Chauffage

Le chauffage est l'élément fondamental qui assure le confort thermique d'une maison. Également, le chauffage est utilisé pour la production et la distribution interne de l'eau

### Chapitre III : méthode de calcul

chaude. Il apparait ainsi important de procéder à un choix judicieux de son système de chauffage.

- **Chaudière**

- La chaudière est le principal équipement utilisé pour un circuit de chauffage central. Elle est excellente pour alimenter les différents appareils utilisés pour chauffer une maison de façon homogène. De plus, elle est idéale en vue de la production d'eau chaude sanitaire.

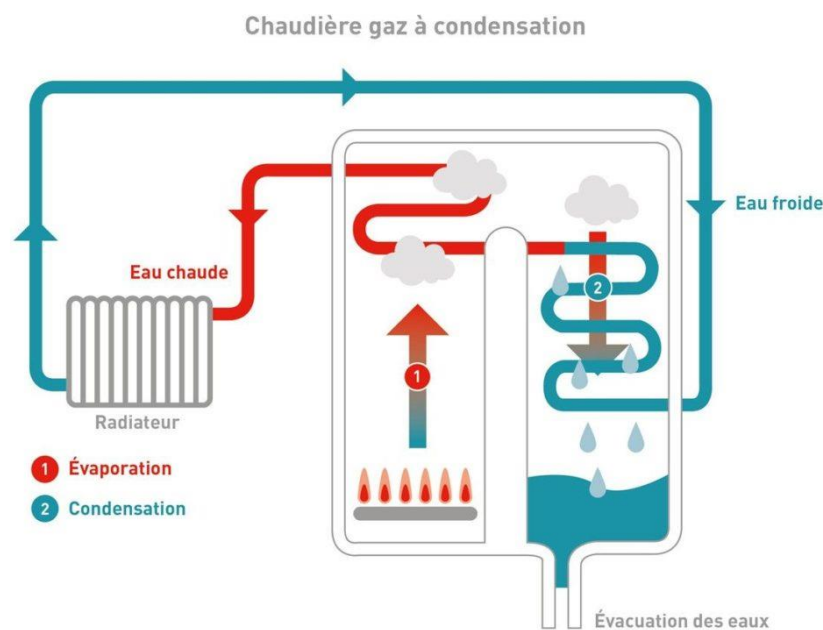


Figure III-6 : schéma de principe de fonctionnement d'une chaudière

#### 2. Etude d'une solution solaire photovoltaïque

Dans cette partie on présente une solution énergétique permettant d'améliorer les performances énergétiques. Cela passe par une étude générale sur les modes d'installations et d'utilisation de la technologie d'énergie solaire photovoltaïque.

Tout système photovoltaïque nécessite une étude de dimensionnement avant installation. La méthode de mise à l'échelle consiste d'abord à déterminer la puissance crête du panneau photovoltaïque qui fournit l'énergie électrique nécessaire pendant la journée. Elle consiste à déterminer la période de besoin en électricité et la consommation requise.

## Chapitre III : méthode de calcul

### 2.1. La latitude, l'inclinaison et l'orientation optimales des capteurs photovoltaïques

La latitude est une coordonnée géographique représentée par une valeur angulaire, expression de la position d'un point sur Terre, au nord ou au sud de l'équateur qui est le plan de référence. La latitude est une mesure angulaire ; elle varie entre la valeur  $0^\circ$  à l'équateur et  $90^\circ$  aux pôles. La latitude est utilisée en combinaison avec la longitude pour indiquer la position précise d'un élément sur Terre. Lorsqu'ils sont reliés entre eux, tous les endroits de la Terre ayant une même latitude forment un cercle dont le plan est parallèle à celui de l'équateur, d'où l'autre terme « parallèle » permettant de nommer une latitude. [125]

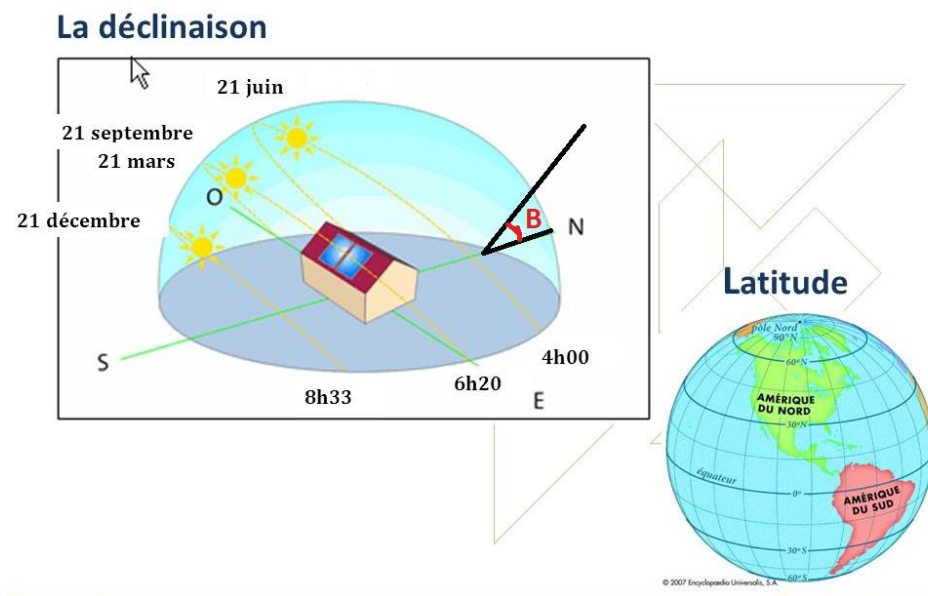


Figure III-7 : les angles pour un plan incliné : inclinaison  $\beta$

Plus les rayons sont proches de la perpendiculaire au plan des panneaux ( $\cos \theta \approx 1$ ), plus la quantité d'énergie disponible est importante. [124]. Idéalement, Ils doivent être orientés en plein Sud dans l'hémisphère Nord et en plein Nord dans l'hémisphère Sud, à l'écart des zones ombragées, et inclinés d'un angle qui permet l'optimisation de l'énergie récupérée. En première approximation, l'inclinaison optimale Peut se calculer par la formule : latitude du lieu +  $10^\circ$ . Le tableau suivant donne les valeurs de l'inclinaison recommandée des capteurs Photovoltaïques pour une utilisation annuelle constante en fonction de la latitude. [121]

Latitude $\varphi$ ( $^\circ$ )	Inclinaison $\beta$ ( $^\circ$ )
---------------------------------	----------------------------------



### Chapitre III : méthode de calcul

$\varphi < 10^\circ$	$10^\circ$
$10^\circ < \varphi < 30^\circ$	$\varphi$
$30^\circ < \varphi < 40^\circ$	$\varphi + 10^\circ$
$\varphi > 40^\circ$	$\varphi + 15^\circ$

Tableau III-3 : Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux pour une utilisation annuelle. [121]

#### 2.2. Energie de Consommation

L'énergie consommée en (AC) ou (DC)  $E_c$ , exprimée en Watt- heure par jour (Wh/j). Cette énergie représente le produit de la puissance par le temps. Pour calculer la consommation énergétique en (AC) ou (DC) d'une installation. On calcul d'abord l'énergie Électrique consommée en 24heures par chaque équipement ou chaque fonction électrique et ensuite on les additionne :

$$E_c = \sum P_i \times T_i$$

**Où :**

$E_c$  : énergie consommée en (AC) ou (DC)

**AC** : Courant alternatif

**DC** : Courant continu

$P_i$ : Puissance électrique d'un appareil «  $i$  » exprimée en Watt (W).

$T_i$ : Durée d'utilisation de cet appareil «  $i$  » en heure par jour (h/j).

Comme cette installation dépendra de batterie et onduleur, il est nécessaire de tenir compte de leurs rendements pour avoir l'énergie totale journalière réelle  $E_T$  qui s'exprime comme suit :

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_{Bat}} + \frac{E_{AC}}{\eta_{Bat} \times \eta_{Ond}}$$

**Où :**

$\eta_{BAT}$ : Rendement de batterie (0.95).

## Chapitre III : méthode de calcul

---

$\eta_{Ond}$ : Rendement de l'onduleur (0.90).

### 2.3. Dimensionnement du générateur photovoltaïque

Suite à l'évaluation des besoins électriques et du gisement solaire, il est à présent possible de dimensionner le champ photovoltaïque. Cette opération consiste simplement à calculer la puissance crête nécessaire au bon fonctionnement de l'installation.

#### Puissance crête d'un générateur photovoltaïque

Dans une installation photovoltaïque autonome, la seule source d'énergie disponible provient du champ photovoltaïque. La règle de dimensionnement du champ photovoltaïque c'est que l'énergie électrique journalière produite par le champ photovoltaïque **E(ep)** doit être au minimum égale à l'énergie journalière consommée par les appareils électriques **E(ec)**:

$$E_{ep} \geq E_{ec}$$

Ne pas respecter cette règle signifie qu'on consomme plus d'énergie qu'on en produit, l'installation photovoltaïque est décadente. Par ailleurs, l'énergie électrique **E(ep)** se calcul par la formule suivante :

$$E_{ep} = \frac{P_{ch}}{P_i \times E_i \times K}$$

Avec :

**E<sub>ep</sub>**: L'énergie électrique journalière potentiellement produite par l'installation photovoltaïque, exprimée en kWh/jour.

**E<sub>i</sub>**: L'irradiation solaire journalière, exprimée en kWh/m<sup>2</sup>/jour, reçue par le champ photovoltaïque.

**P<sub>ch</sub>** : La puissance crête du champ photovoltaïque.

**P<sub>i</sub>** : La puissance radiative dans la condition standard de test (conditions STC), exprimée en kW/m<sup>2</sup>. Donc,  $P_i = 1 \text{ kW/m}^2$ .

### Chapitre III : méthode de calcul

**E<sub>i</sub>**: est l'irradiation solaire journalière reçue par une surface unitaire (1 m<sup>2</sup>) du champ photovoltaïque, en prenant en compte l'orientation et l'inclinaison de celui-ci.

**K** : est le ratio de performance de l'installation photovoltaïque

Ainsi, la règle se formalise mathématiquement par :

$$\frac{P_{ch}}{P_i \times E_i \times K} \geq E_T$$

L'objectif étant de calculer la puissance crête P<sub>ch</sub> de l'installation photovoltaïque, on exprime P<sub>ch</sub> en fonction des autres paramètres selon la formule suivante : [122]

$$P_{ch} = \frac{E_T \times P_i}{E_i \times K}$$

**P<sub>ch</sub>**: Puissance crête de champs photovoltaïques en Watt crête (W<sub>c</sub>)

**E<sub>c</sub>**: Energie consommée par jour (Wh/jour)

**E<sub>i</sub>**: Energie solaire journalière (Wh/m<sup>2</sup> /jour) (irradiation)

**P<sub>i</sub>**: Puissance d'éclairement aux conditions STC (P<sub>i</sub> =1000W/m<sup>2</sup>)

**K** : Ratio de performance (Facteur de correction globale (Entre 65 et 90) (%)), ce coefficient tient compte :

- De l'incertitude météorologique.
- De l'inclinaison non corrigée des modules suivant la saison.
- Du point de fonctionnement des modules.
- Du rendement moyen charge/décharge de la batterie (90%).
- Du rendement de régulateur (95%).
- Des pertes dans les câbles et connexions pour les systèmes avec batterie.

La valeur souvent utilisée dans les calculs du système avec batterie est de 0,65.

Tension de fonctionnement du champ photovoltaïque

### Chapitre III : méthode de calcul

De façon générale, On choisit la tension de fonctionnement en fonction de la puissance crête du champ photovoltaïque en watt:[124]

Puissance crête (WC)	Moins de 500WC	De 501WC à 2000WC	De 2001WC à 10000WC
Tension de champ (V)	12	24	48

Tableau III-4: Tension du champ en fonction de sa puissance crête

#### 2.4. Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser

A partir de la puissance crête des panneaux on peut déterminer le nombre de Panneaux solaire nécessaires à l'installation, il suffit de diviser la puissance totale souhaitée par la puissance unitaire d'un seul panneau solaire :

$$N_m = \frac{P_{ch}}{\text{Puissance crête unitaire panneau}}$$

#### Nombre de panneaux photovoltaïques en série

Le nombre minimum et le nombre maximum de modules photovoltaïques en série se calculent par la formule simple suivante :

- Nombre minimal de modules en série =  $E_+ \left[ \frac{V_{MPPT,MIN}}{V_{MPP} \times 0.85} \right]$
- Nombre maximal de modules en série =  $E_- \left[ \frac{V_{MPPT,MAX}}{V_{MPP} \times K} \right]$

Avec :

- $E_-[X]$  : La partie entière inférieure du nombre X. Par exemple,  $E_-[10.6] = 10$ .
- $E_+[X]$  : La partie entière supérieure du nombre X. Par exemple,  $E_+[10.6] = 11$ .
- $V_{MPPT,MIN}$ : La valeur minimale de la tension pour laquelle le tracker (MPPT) fonctionne
- $V_{MPPT,MAX}$ : La valeur maximale de la tension pour laquelle le tracker (MPPT) fonctionne
- $V_{MPP}$  La tension de puissance maximale des modules photovoltaïques.

Le coefficient k est un coefficient de sécurité imposé par le guide de l'UTE C15-712-1, et qui prend en compte l'élévation de la tension délivrée par les modules lorsque la température des

### **Chapitre III : méthode de calcul**

---

cellules diminue généralement 1.15. Le coefficient 0.85 est un coefficient de minoration permettant de calculer la tension MPP à 70 °C.

#### **Nombre de panneaux photovoltaïques en parallèles**

Connecter les panneaux en parallèle augmentera les ampères et maintiendra la même tension, Le nombre de modules photovoltaïques en parallèles se calculent en divisant le nombre des panneaux photovoltaïques total par le nombre des panneaux photovoltaïques en série comme suite :

$$N_p = \frac{N_m}{N_s}$$

Avec :

**N<sub>m</sub>**: Nombre total de panneaux photovoltaïque

**N<sub>s</sub>**: Nombre de panneaux connectés en série

#### **2.5. Dimensionnement du parc de batteries**

Pour réaliser le dimensionnement des batteries, on procède de la façon suivante : [124]

- On calcul l'énergie consommée  $E_c$  (par les différents récepteurs)
- On détermine le nombre de jours d'autonomie nécessaires.
- On détermine la profondeur de décharge acceptable pour le type de batterie utilisé. (Pour que vos batteries aient une meilleure durée de vie, il est important de ne pas les décharger complètement.
- On calcul la capacité (C) de la batterie en appliquant la formule ci-dessous :

$$C_{ch} = \frac{E_c \times N}{D \times V}$$

**C<sub>ch</sub>** Capacité du champ de batterie en ampère. Heure (Ah)

**E<sub>c</sub>**: Consommée par jour (Wh/j)

**N** : nombre de jour d'autonomie

### **Chapitre III : méthode de calcul**

---

**D** : décharge maximale admissible (0,8 pour les batteries au plomb)

**V** : tension de champ photovoltaïque (V)

❖ Nombre de batteries en séries :

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_{batterie}}$$

**V<sub>ch</sub>** : Tension du champ

**V<sub>batterie</sub>** : La tension de la batterie

❖ Nombre de batterie en parallèles :

$$N_p = \frac{C_{ch}}{C_{batterie}}$$

Avec :

**C<sub>ch</sub>**: Capacité totale du champ de batteries associées à toute l'installation photovoltaïque.

**C<sub>batterie</sub>** : Capacité d'une batterie. (La tension des batteries est en général de 12V ;

La capacité des batteries est quant à elle comprise entre 50 et 200 Ah.

#### **2.6. Dimensionnement du régulateur de charge**

Le choix d'un régulateur de charge repose sur deux paramètres principaux : [124]

- ❖ La tension entre les panneaux et les batteries : le régulateur doit pouvoir accepter cette tension (en général 12V, 24V, 48V).
- ❖ L'intensité maximale du régulateur : l'intensité du régulateur doit être supérieure à l'intensité de court-circuit des modules solaires auxquels il est relié.

#### **1/ Pour les batteries :**

Il suffit de connaître la tension du parc complet, 12V, 24V, 36V ou 48V.

#### **2/ Régulateur MPPT**

### **Chapitre III : méthode de calcul**

---

Il est limité en tension d'entrée côté panneau solaire, 75V, 100V, 150V ou plus. Pour savoir si le régulateur est compatible avec les panneaux qu'on cherchera à brancher en série pour obtenir la tension la plus élevée possible, on additionne les tensions à vide (Voc) puis on ajoute un coefficient de 20% pour tenir compte de l'influence de la température ambiante.

**Tension nominale** : Elle doit être celle du champ photovoltaïque.

**Courant d'entrée  $I_e$** : C'est le courant de charge maximal que les modules sont susceptibles de débiter. Il doit être supporté sans problème par le régulateur. Pour estimer ce courant, le plus sûr est de prendre 1,5 fois le courant maximal. [123]

**Courant de sortie  $I_s$**  : L'intensité du courant de sortie du régulateur doit être supérieure à la valeur maximale que peuvent tirer les récepteurs simultanément. Elle peut être déterminée par la formule suivante : [122]

$$I_{ms} = \frac{P_{ch}}{V}$$

V : la tension nominale du champ photovoltaïque.

**$P_{CH}$** : La puissance crête du champ de photovoltaïque .

#### **2.7. Dimensionnement de l'onduleur**

Le convertisseur de courant se dimensionne en fonction de plusieurs critères :

- **La tension d'entrée** : c'est la même que la tension des batteries ou du régulateur (12, 24 ou 48V DC).
- **La tension de sortie** : en Algérie on utilise du 220/230 V, 50Hz.
- **La puissance nominale** : c'est la puissance que les appareils consomment en électricité pour fonctionner de façon "normale". Pour connaître cette puissance nominale, il suffit de faire la somme des puissances des appareils électriques susceptible d'être utilisés en même temps Il faut toujours choisir un convertisseur dont la puissance est légèrement supérieure à celle des appareils.

### Chapitre III : méthode de calcul

---

- **La puissance maximale** : l'onduleur doit être capable de fournir une grande puissance (généralement 2 ou 3 fois la puissance nominale). Cette particularité est utile pour les appareils qui possèdent un moteur (réfrigérateur, micro-onde, lave-linge, ...), car leur consommation augmente très fortement lors du démarrage. En général, si on a correctement dimensionné la puissance nominale, la puissance maximale est prévue par ces onduleurs est suffisante.
- **Le rendement** : Une partie de l'électricité transformée est consommée par le convertisseur de courant (entre 80 et 95% de l'énergie est restituée). Il est important de contrôler ce rendement, sachant qu'un bon produit se situe autour de 90%.

De plus, la plupart des convertisseurs consomment de l'énergie même lorsqu'ils ne fonctionnent pas (stand-by). Certains sont équipés d'un système de marche/arrêt qui permet de grandes économies dans les petites installations photovoltaïques. [124]

#### 2.8. Le dimensionnement des câbles électriques solaires

Pour assurer le transport de l'énergie des modules jusqu'au régulateur de charge, on ne peut pas utiliser n'importe quel câble électrique. [124]. Les câbles solaires sont étudiés pour résister aux conditions liées à leur utilisation (supérieure à 30 ans) en minimisant les pertes d'énergie. [124]



Figure III-8 : le câble solaire

La résistance d'un câble électrique dépend de la résistivité ( $\rho$ ) du matériau utilisé (cuivre, argent, fer, ...), de la longueur du câble, de sa section, et de sa température. Le cuivre est de



### **Chapitre III : méthode de calcul**

---

loin le conducteur le plus utilisé, et sa résistivité oscille entre  $16 \times 10^{-9} \Omega \cdot m$  à  $0^\circ C$  et  $17 \times 10^{-9} \Omega \cdot m$  à  $25^\circ C$ . L'équation permettant de connaître la résistance est la suivante :

$$R = \frac{\rho \times L}{S}$$

Avec :

**R** : la résistance en ( $\Omega$ )

**$\rho$**  : la résistivité en ( $\Omega \cdot m$ )

**L** : la longueur du câble en (m)

**S** : la section du câble s en ( $mm^2$ )

#### **Conclusion :**

Les écoles sont des bâtiments qui consomment de l'énergie dans le monde en général et en Algérie en particulier, C'est à cause de confort thermique et visuel qui doit être apporté aux enfants à travers les climatiseurs et les lampes, qui à leur tour consomment de l'énergie.

Dans ce chapitre nous avons présenté en général, les besoins énergétiques les plus importants des écoles et les différents concepts qui entrent dans la configuration d'un système d'assemblage photovoltaïque, plus précisément le système autonome. Nous avons exposé des méthodes de dimensionnement des différents composants d'une installation photovoltaïque, qui vont du l'onduleur à module photovoltaïque et aux câbles.



## **Chapitre IV :**

# **Dimensionnement d'une installation de panneau photovoltaïque.**

## Chapitre IV : dimensionnement d'une installation de panneau photovoltaïque.

### Chapitre IV : dimensionnement d'une installation de panneau photovoltaïque

#### Introduction

D'après les résultats présentés précédemment autour de les solutions d'amélioration Énergie .Dans ce chapitre nous offrons des solutions d'amélioration de l'efficacité énergétique dans une école primaire de 110 élèves. à travers de Dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour produire l'énergie électrique nécessaire à couvrir l'alimentation de école Selon des facteurs et d'autres conditions comme Les Heures d'activité à l'intérieur du bâtiment.

Cette école primaire Rezigui Boucif se situe dans le village de KHWALED Abdel Hakem, affilié à la commune de Sidi Ben Adda à la wilaya d'Ain-Temouchent. Cette école, projet d'école écologique, compte 110 élèves et une vingtaine d'employés a été doté d'une mini-station photovoltaïque qui n'a jamais été mise en marche. L'école se situe entre Latitude: 35.3053 et Longitude: -1.18129 35° 18' 19" Nord, 1° 10' 53" Ouest et les heures de travail estimées sont de huit heures, de 8h00 à 16h00

#### **1. Dimensionnement d'une mini station PV**

##### **1.1. Consommation d'énergie :**

Suite à une enquête que nous avons réalisée au niveau du village KHWALED Abdelhakem, nous avons pu recenser les différents appareils électriques installés au niveau de l'école REZIGUI Boucif. Sur le tableau IV.1, on présente l'ensemble des appareils recensés. La consommation totale de chaque appareil est donnée sur le tableau..

les appareils	nombre d'appareils	Puissance d'appareils (W)	Temps de travail	Puissance * le nombre	Energie Consommée (EC) (P * t)
Lampe (LED)	2	15 W	2 Heures	30 W	60 Wh
Lampe (Néon)	8	18 W	6 Heures	144 W	864 Wh
Lampe	10	10 W	2 Heures	100 W	200 Wh
PC	1	360 W	5 Heures	360 W	2520 Wh
Imprimante	1	504 W	3 Heures	504 W	3528 Wh
Photocopieuse	1	648W	3 Heures	648 W	1944 Wh
Lampe (LED)	25	15 W	7 Heures	375 W	2625 Wh

## Chapitre IV : dimensionnement d'une installation de panneau photovoltaïque.

Climatiseur	7	2250W	3 Heures	150 W	3600 Wh
Réfrigérateur	1	150 W	24 Heures	15750 W	47250 Wh
<b>TOTAL</b>				<b>P*N= 18061W</b>	<b>EC= 62591 Wh</b>

Tableau IV-1 : Le nombre, la puissance et Durée de fonctionnement des charges

### 1.2. Sources d'énergie utilisées :

L'école est raccordée au réseau d'électricité de Sonelgaz 220 V. Aussi, elle est équipée de:

- de bouteilles de gaz naturel pour la cuisine,
- D'une installation comportant onze panneaux solaires photovoltaïques
- et d'une installation comportant un capteur solaire thermique (à tube sous vide)



Figure IV-1 installation photovoltaïque de l'école REZIGUI Boucif

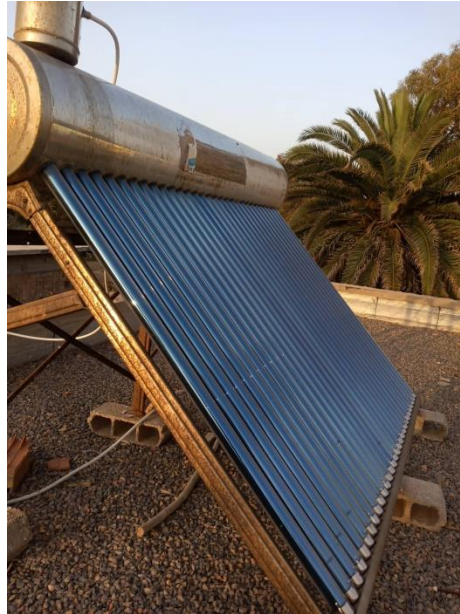


Figure IV-2: Capteur solaire thermique de l'école

### 1.3. Présentation de l'installation photovoltaïque

Cette installation comporte:

- 11 Panneaux solaires type de 4BB poly cristallin 280W, avec un angle d'inclinaison 45
- 4 Batterie 12V-200A,
- Régulateur de charge intégré avec onduleur 4000W,
- Les câbles.

#### 1.3.1. Les caractéristiques des panneaux solaires utilisés

- |   |              |
|---|--------------|
| • puissance maximale nominale (pmax)                          | 280W         |
| • tension en circuit ouvert (voc)                             | 37.20V       |
| • courant de court-circuit (isc)                              | 10.08A       |
| • tension à pmax (vmp)  | 30.0V        |
| • courant à pmax (imp)  | 9.33A        |
| • température nominale de fonctionnement de la cellule (noct) | 48±2°C       |
| • tension maximale du système                                 | 1000VDC      |
| • calibre maximum du fusible en série                         | 18A          |
| • température de fonctionnement                               | -40°C..+85°C |
| • technologie cellulaire                                      | POLY         |

## Chapitre IV : dimensionnement d'une installation de panneau photovoltaïque.

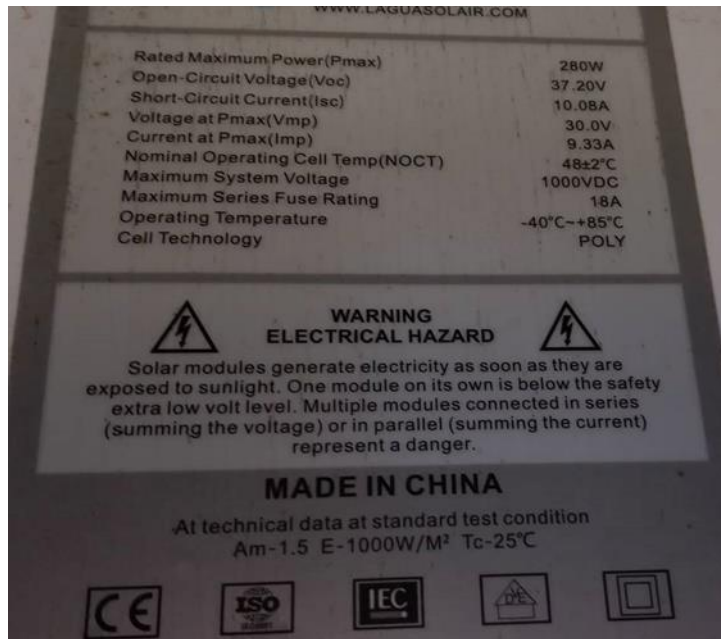


Figure IV-3 : les caractéristiques des panneaux solaires utilisés

### 1.3.2. Les caractéristiques de l'onduleur utilisé :

- Capacité : 3000 W
- Facteur de puissance : 1.0
- Plage de température de fonctionnement : 10-50°C
- Entrée CC : 24VDC, 142A
- Sortie CA : 230VAC, 50/60HZ, 13A
- Puissance nominale : 4000W
- Tension nominale de fonctionnement : 240VDC
- Tension solaire max (VOC) : 500VDC
- Plage de tension MPPT : 120-450VDC

### 1.4. Déterminer l'angle d'inclinaison :

Pour calculer la pente optimale nous utilisons la formule : latitude du lieu + 10°. [121]

Emplacement

- Latitude  $\varphi$  (°) : 35.3053

Puisque:  $30^\circ < \varphi < 40^\circ$

Dans ce cas inclinaison  $\beta$  (°) :  $\varphi + 10^\circ$

Donc : inclinaison  $\beta$  (°) = 45°

## Chapitre IV : dimensionnement d'une installation de panneau photovoltaïque.

### 1.5. Redimensionnement de la mini station PV

Il est à signaler que dans un premier temps, L'installation photovoltaïque est calculée pour deux cas différents :

- Dans le première cas, les climatiseurs sont considérés séparés du système photovoltaïque ; ils seront branchés directement sur le réseau. À l'exception du climatiseur du bureau du directeur, il peut être ajouté au système.
- Dans le deuxième cas, le système photovoltaïque couvrira toute la consommation électrique de l'école.

#### 1.5.1. Premier Cas :

On rappelle que la consommation journalière de l'énergie est de 22091 Wh.

#### *Calcul de l'énergie stockée et consommée*

Afin d'obtenir l'énergie journalière totale réelle, il est nécessaire de prendre en compte le rendement de la batterie et de l'onduleur qui dépend de l'installation. ; ce rendement est pris égale à 85%. L'énergie à stocker par les batteries est comme suit :

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_{Bat}} + \frac{E_{AC}}{\eta_{Bat} \times \eta_{Ond}}$$
$$E_T = 0 + \frac{22091}{0.95 \times 0.90} = 25837.42 \text{ Wh}$$

L'énergie à stocker par jour : 25.83742 KWh

#### *La charge en 24H*

On a :

- L'énergie totale demandée : 25.83742 KWh
- La Tension d'alimentation : 220V
- La puissance crête de la charge : 4561W

Selon la puissance maximale de la charge, on trouve que la tension du système est : 48 V.

#### *Calcul de l'onduleur*

## Chapitre IV : dimensionnement d'une installation de panneau photovoltaïque.

Le choix de l'onduleur dépend de sa Puissance et pour calculer la puissance de l'onduleur, nous devons calculer la somme des capacités de tous les appareils et ajouter le facteur de sécurité qui est, selon les standards internationaux, de 25%.

$$P_{\text{onduleur}} = 4561 + (4561 \times 0.25) = 5701W$$

L'Onduleur approprié adapté au système doit avoir une puissance qui dépasse ou égale 5701W.

### *Calcul du nombre de batteries*

Pour calculer le nombre de batteries il faut déterminer :

- la tension du système (48V)
- la capacité des batteries actuellement utilisées (200Ah)
- la capacité du champ par jour en ampères et le nombre de jours indépendants (Nous avons donc supposé que le nombre moyen de jours indépendants est 3 jours).
- la profondeur de décharge admissible ( 80%)

Remarque : Le nombre de jours nuageux par an à Ain Temouchent varie de 3 à 6 jours "Année Météorologique Typique par Métronome"

$$C_{\text{ch}} = \frac{E_T \times N}{D \times V}$$

Pour un jour

$$C_{\text{ch}} = \frac{25837.42 \times 1}{0.80 \times 48} = 672.849 \text{ Ah}$$

Pour 3 jours

$$C_{\text{ch}} = \frac{25837.42 \times 3}{0.80 \times 48} = 2018.548 \text{ Ah}$$

### *Nombre de batteries en parallèle :*

La capacité des batteries actuellement utilisées est de 200Ah.

Pour un jour



## Chapitre IV : dimensionnement d'une installation de panneau photovoltaïque.

$$N_p = \frac{672.849}{200} = 4 \text{ batteries}$$

Pour 3 jours

$$N_p = \frac{2018.548}{200} = 10 \text{ batteries}$$

### **Nombre de batteries en série :**

La tension des batteries actuellement utilisées dans l'école est de 12Volt et la tension du système est de 48Volt.

$$N_s = \frac{48}{12} = 4 \text{ batteries}$$

### **Nombre de batteries :**

Pour un jour

$$N_{\text{batteries}} = N_s \times N_p = 16 \text{ batteries}$$

Pour 3 jours

$$N_{\text{batteries}} = N_s \times N_p = 40 \text{ batteries}$$

### ***Calcul du nombre des panneaux solaires***

Pour calculer le nombre de panneaux solaires, il faut calculer la puissance crête de champs photovoltaïques

$$P_{\text{ch}} = \frac{E_T \times P_i}{E_i \times K}$$

$$P_{\text{ch}} = \frac{25.83742 \times 1000}{5 \times 0.65} = 7949.975 \text{ W}$$

Nombre de panneaux :

$$N_m = \frac{P_{\text{ch}}}{\text{Puissance crête unitaire par panneau}} = 28.39$$

## Chapitre IV : dimensionnement d'une installation de panneau photovoltaïque.

**Remarque :** pour précaution toujours on ajoute 1 à 2 panneaux supplémentaire, donc le nombre total des panneaux sera 30 panneaux

### *Nombre de panneaux en série :*

Pour calculer le nombre de modules PV connectés en série, la tension recommandée de l'onduleur doit être respectée (MPPT)

- Nombre maximal de modules en série  $E_{-} \left[ \frac{V_{MPPT,MAX}}{V_{MPP \times K}} \right] = 10$  panneaux

$$N_{ms} = \frac{450}{30 \times 1.5} = 10 \text{ panneaux}$$

$$V_{max} = 10 \times 30 = 300V$$

### *Nombre de panneaux en parallèle :*

$$N_{mp} = \frac{30}{10} = 3 \text{ panneaux}$$

$$I_{max} = 3 \times 9.33 = 27.99A$$

### 1.5.2. Deuxième cas:

On rappelle que la consommation journalière d'énergie, dans ce cas, est de 62591 Wh. L'alimentation de l'école est assurée par deux systèmes distincts et égaux afin d'adapter le système de tension de champ (48 volts). Le tableau IV-3 présente la consommation journalière de chaque système :

Type d'appareil* le nombre	Puissance	EC (P * t)
Climatiseur*4	9000 W	27000 Wh
Imprimante*1	504 W	3528 Wh
Lampe (Néon)*8	144 W	864 Wh
<b>TOTAL</b>	<b>P*N= 9648 W</b>	<b>31392 Wh</b>
Lampe*10	100 W	200 Wh
PC*1	360 W	2520 Wh
Lampe (LED)*2	30 W	60 Wh

## Chapitre IV : dimensionnement d'une installation de panneau photovoltaïque.

Photocopieuse*1	648 W	1944 Wh
Réfrigérateur*1	150 W	3600 Wh
Climatiseur*3	6750W	20250 Wh
Lampe (LED)*25	375 W	2625 Wh
<b>TOTAL</b>	<b>P*N= 8413W</b>	<b>EC= 31199 Wh</b>

Tableau IV-2 : La consommation de chaque system par jour

### Calcul de l'énergie stockée

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_{Bat}} + \frac{E_{AC}}{\eta_{Bat} \times \eta_{Ond}}$$

$$E_T = 0 + \frac{31392}{0.95 \times 0.90} = 36715.79 \text{ Wh}$$

L'énergie à stocker par jour : 36.71579 KWh

### La charge journalière:

- L'énergie totale demandée : 36.71579 KWh
- La Tension d'alimentation : 220V
- La puissance crête de la charge : est 9648 W pour system 1 et 8413W pour system 2

En fonction la puissance crête de la charge, on trouve que la tension de chaque système est de 48V.

### Calcul du nombre de batteries

$$C_{ch} = \frac{E_T \times N}{D \times V}$$

Pour un jour

$$C_{ch} = \frac{36715.79 \times 1}{0.80 \times 48} = 956.14 \text{ Ah}$$

Pour 3 jours

$$C_{ch} = \frac{36715.79 \times 3}{0.80 \times 48} = 2868.42 \text{ Ah}$$

## Chapitre IV : dimensionnement d'une installation de panneau photovoltaïque.

### Nombre de batteries en parallèle :

Pour un jour

$$N_p = \frac{956.14}{200} = 4.78 = 5 \text{ batteries}$$

Pour 3 jours

$$N_p = \frac{2868.42}{200} = 14.3 = 15 \text{ batteries}$$

### Nombre de batteries en séries :

$$N_s = \frac{48}{12} = 4 \text{ batteries}$$

### Nombre de batteries :

Pour un jour

$$N_{\text{batteries}} = N_s \times N_p = 20 \text{ batteries}$$

Pour 3 jours

$$N_{\text{batteries}} = N_s \times N_p = 60 \text{ batteries}$$

### Calcul du nombre des panneaux solaires

La Puissance crête de champs photovoltaïques :

$$P_{\text{ch}} = \frac{E_T \times P_i}{E_i \times K}$$

$$P_{\text{ch}} = \frac{36.71579 \times 1000}{5 \times 0.65} = 11297.166 \text{ W}$$

Nombre de panneaux :

$$N_m = \frac{P_{\text{ch}}}{\text{Puissance crête unitaire par panneau}} = 40$$

## Chapitre IV : dimensionnement d'une installation de panneau photovoltaïque.

### *Nombre de panneaux en série :*

- Nombre maximal de modules en série  $E_{-} \left[ \frac{V_{MPPT,MAX}}{V_{MPP} \times K} \right] = 10$  panneaux

$$N_{ms} = \frac{450}{30 \times 1.5} = 10 \text{ panneaux}$$

$$V_{max} = 10 \times 30 = 300V$$

### *Nombre de panneaux en parallèle :*

$$N_{mp} = \frac{40}{10} = 4 \text{ panneaux}$$

$$I_{max} = 4 \times 9.33 = 37.32V$$

### **Conclusion**

L'efficacité de l'installation photovoltaïque dépend de plusieurs facteurs en plus de faire des bons calculs pour obtenir des bons résultats et sans aucune panne; et c'est exactement le problème ce qui s'est passé dans le système photovoltaïque situé dans l'école.

En raison d'une erreur de calcul des besoins de l'école et d'un mauvais choix du lieu d'installation, il y a aussi la petite surface sur laquelle se trouve le système photovoltaïque ne permet pas de prendre la distance requise entre les panneaux, ce qui provoque la présence d'ombres sur les panneaux arrière comme le montre la figure IV-4, En plus la présence du palmier qui couvre le soleil et la présence de poussières et de salissures à l'interface des panneaux.

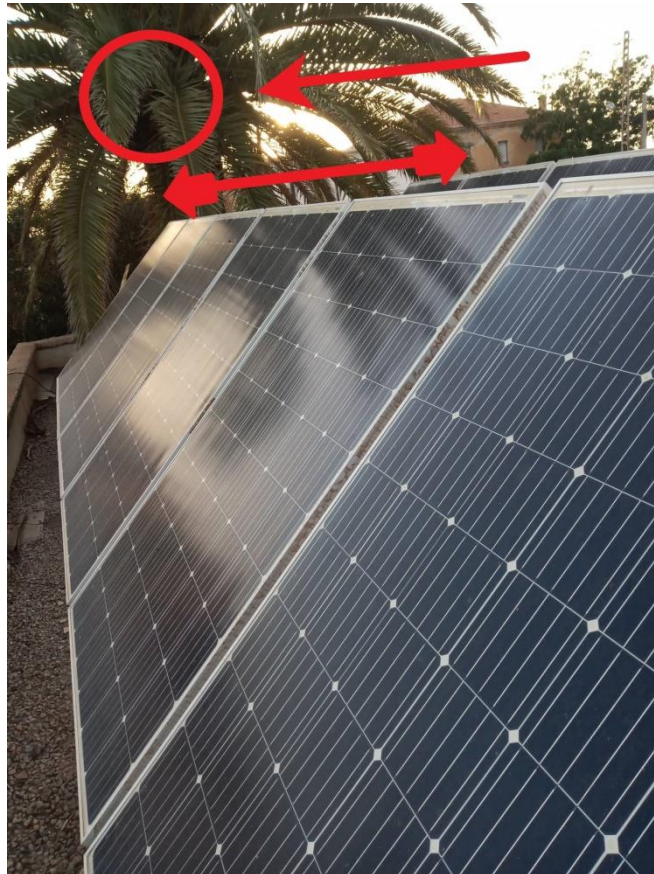
En plus du manque de panneaux et de batteries, et de quelques modifications qu'il faut apporter au système dans les deux cas, nous avons trouvé dans la première cas que le nombre de panneaux qui permet de couvrir les besoins en électricité de l'école est de 30 panneaux au lieu de 11. Pour les batteries, le système photovoltaïque a besoin au moins de 16 batteries pour une autonomie de 1 jour (ou 40 batteries pour une autonomie de 3 jours) au lieu de 4 batteries et l'onduleur utilisé doit être remplacé.

Dans le deuxième cas, l'école a besoin de deux systèmes d'une tension de 48 volts, où chaque système besoins de 40 panneaux .Pour les batteries, chaque système photovoltaïque a besoin

#### **Chapitre IV : dimensionnement d'une installation de panneau photovoltaïque.**

au moins de 20 batteries pour une autonomie de 1 jour ou 60 batteries pour une autonomie de 3 jours

La meilleure solution est d'appliquer le premier cas avec réaménagement des classes en modifiant les matériaux et la méthode de construction pour augmenter les performances énergétiques. Ce volet est traité dans le chapitre suivant.



*Figure IV-4 : la position des panneaux solaire dans cette école*



**Chapitre V :**  
***Résultats***  
***De Simulation***

## **Chapitre V : RésultatsDe Simulation**

### **Introduction**

Dans ce chapitre, nous proposerons des solutions techniques pour améliorer la performance énergétique de l'école dont nous avons parlé précédemment, Où les solutions sont d'apporter des changements à la méthode et aux matériaux de construction ont été étudiés au programme trnsys.

#### **1. Le logiciel Trnsys**

TRNSYS (prononcé « tran-sis ») est un logiciel de simulation destiné principalement aux domaines des énergies renouvelables et du bâtiment.il est un environnement logiciel graphique extrêmement flexible utilisé pour simuler le comportement des systèmes transitoires. Alors que la grande majorité des simulations se concentrent sur l'évaluation des performances des systèmes d'énergie thermique et électrique, TRNSYS peut également être utilisé pour modéliser d'autres systèmes dynamiques tels que les flux de trafic ou les processus biologiques. [126]

#### **2. Objectifs**

Le but de cette simulation est de tester l'impact des solutions proposées avant de les appliquer sur le terrain

#### **3. Démarche de la Simulation**

Dans cette étude, la Simulation numérique sur TRNSYS est limitée à deux salles de classe voisines :

- la première ayant trois façades exposées au milieu extérieur,
- la deuxième ayant deux façades exposées au milieu extérieur, le troisième mur est partagée avec la première salle et le quatrième est partagé avec une troisième salle voisine.

La figure V-5 présente le modèle géométrique étudié. Les dimensions des salles sont données dans le tableau V-1.



## Chapitre V : Résultats De Simulation

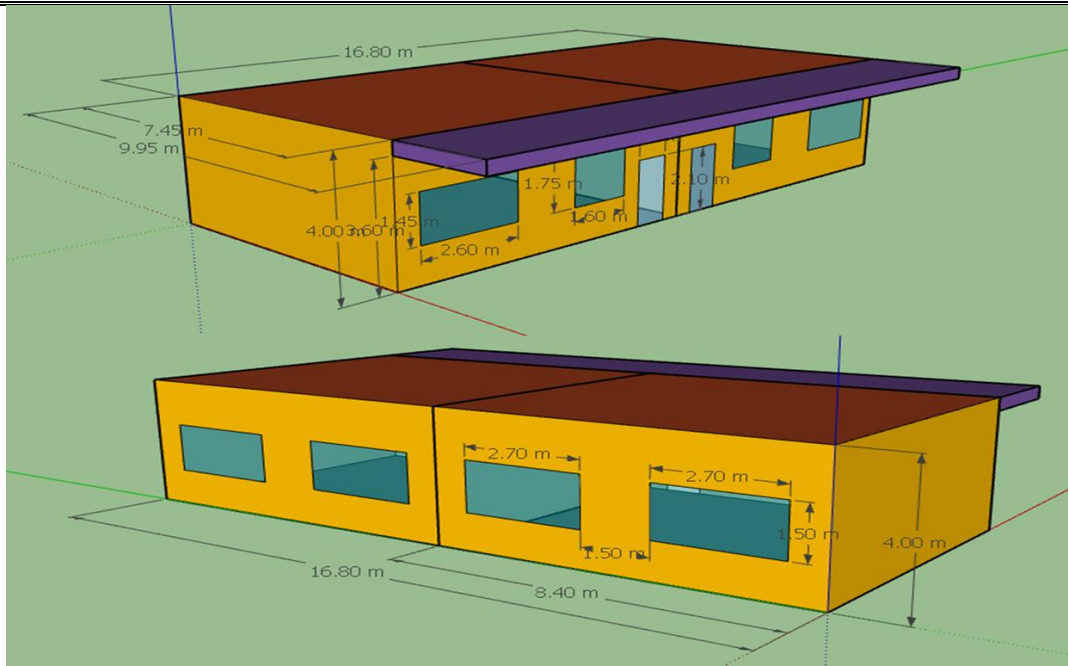


Figure V-1 : le modèle géométrique des salles de classe (État actuel pour le cas 1et 2)

	Dimensions [m] (longueur × largeur × hauteur)	La surface [m <sup>2</sup> ] (longueur × largeur)
Salle de classe_1	<b>8.40 × 7.45 × 4</b>	<b>62.58</b>
Salle de classe_2	<b>8.40 × 7.45 × 4</b>	<b>62.58</b>

Tableau V-1: Dimensions des salles de classe.

Afin d'étudier toutes les solutions proposées nous avons organisé la simulation en neuf configurations:

- Premier cas représente l'état actuel sans modifications
- Deuxième cas représente l'état actuel en changeant les vitres des fenêtres de simple à double vitrage,
- Troisième cas, on envisage une clôture de la zone d'ombrage avec un simple vitrage,
- Quatrième cas identique au troisième cas ; le simple vitrage est remplacé par un double vitrage, les dimensions des fenêtres et des portes et du dispositif d'ombrage sont données sur le tableau V-2 et le tableau V-3 respectivement.
- Cinquième cas, la zone d'ombrage est équipée d'un double vitrage ayant un faible coefficient d'émission,

## Chapitre V : Résultats De Simulation

- Sixième cas, le double vitrage du cinquième cas est remplacé par la brique de verre

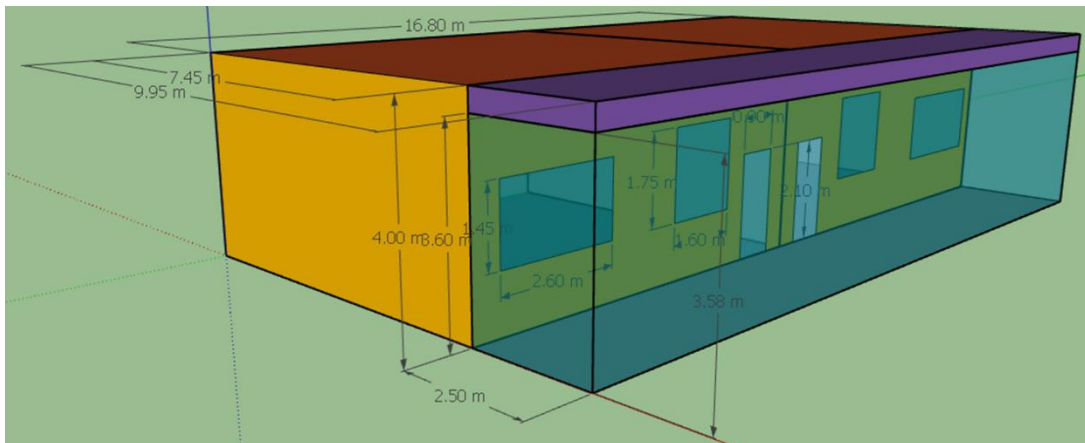


Figure V-2 : le modèle géométrique des classes pour les cas 3, 4, 5 et 6

- Septième cas, on augmente les dimensions des fenêtres, comme le montre la figure V-6, en utilisant du verre simple
- Huitième cas, la même configuration que le septième cas mais en utilisant double vitrage pour les fenêtres,
- Neuvième cas, on reprend le huitième cas en un vitrage ayant un coefficient de transmission faible.

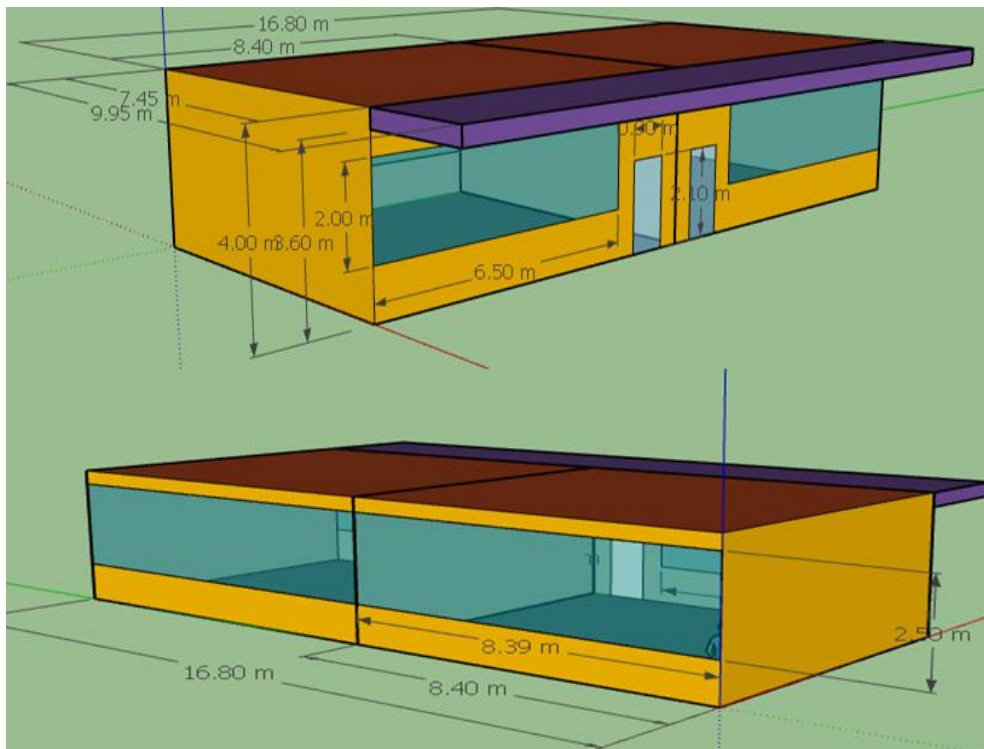


Figure V-3 : le modèle géométrique de salles de classe (pour le cas 7, 8 et 9)

Les fenêtres	Orientation	Hauteur x Largeur [m]	Position <sup>1</sup> [m]	Cadre
--------------	-------------	-----------------------	---------------------------	-------

## Chapitre V : Résultats De Simulation

Salle de classe 1 et 2 *(4)	Ouest	1.50 x 2.70	1.1	Aluminium
Salle de classe 1 et 2 *(2)	Est	2.60 x 1.45	1.1	Bois
Salle de classe 1 et 2 *(2)	Est	1.75 x 1.60	1.1	Bois

Tableau V-2 : Orientation et dimensions des fenêtres.

**Remarque :** La position (1) fait référence à la hauteur de la fenêtre à partir du niveau du sol.

Les portes			
<b>Hauteur [m]</b>		<b>Largeur [m]</b>	
2.1		0.9	
Position de la fenêtre (l'espace entre eux)			
<b>côté ouest</b>	1.50 [m]		
<b>côté est</b>	1.70 [m]		
Dispositif d'ombrage (état actuel)			
<b>Épaisseur (m)</b>	<b>Longueur (m)</b>	<b>Hauteur (m)</b>	<b>Largeur (m)</b>
0.40	16.80	3.58	2.50

Tableau V-3: Données supplémentaires.

**Remarque :**

- La hauteur des fenêtres à partir du sol est de 1,10 [m].
- Toutes les portes sont en bois.

### 1.1 Les propriétés thermo-physiques des matériaux

Une fois les matériaux sélectionnés, les propriétés thermo-physiques des matériaux de construction sont données par la bibliothèque du logiciel TRNSYS. Sur le tableau V-4 on présente les propriétés thermo-physiques des matériaux de notre étude.

## Chapitre V : Résultats De Simulation

Murs extérieurs				
	Épaisseur [cm]	Conductivité thermique [W/m.K]	Capacité thermique [KJ/Kg.K]	Densité [Kg/m3]
Plâtre	1	0.351	1	1500
Trou d'air	10	0.778	1.227	1
Parpaing	10	1.113	0.65	1300
Mortier de ciment	2	1.15	1	1700
Béton	2	1.755	0.65	2100
Murs intérieurs				
Brique creuse	10	1.15	0.878	1800
Mortier	2.5	1.15	0.84	2000
Toit				
Plâtre	1	0.351	1	1500
Béton armé	4	1.755	0.92	2300
Hourdis	16	1.23	0.65	1300
Mortier de ciment	10	1.15	1	1700

Tableau V-4 : Propriétés thermo-physiques des matériaux de construction.

vitrage	U-Valeur <sup>1</sup>	g-Valeur <sup>2</sup>	Cadre	cadre U-Valeur
Simple	5.74	0.87	bois	2.27
Double	2.95	0.777		
double vitrage opaque	1.6	0.597	Aluminium	2
brique de verre	2	0.7		

Tableau V-5: Propriétés des alternatives de conception de vitrage.

<sup>1</sup>U-Valeur: Coefficient global de transfert de chaleur.

<sup>2</sup>g-Valeur: Transmission de l'énergie solaire des fenêtres.

Données météorologiques internes		
Paramètre	Valeur	Unité
Infiltration	0.6	[ACH]

## Chapitre V : Résultats De Simulation

Plage de réglage de la température <sup>1</sup>	L'hiver 20.3-24.3	[°C]
	Été 24.3-26.7	[°C]
Point de consigne de chauffage	20.3	[°C]
Point de consigne de refroidissement	26.7	[°C]
Données de l'occupant		
Nombre de personnes	25	Person
Activité	Assis - Travail léger	--
Gain de chaleur par personne	120	W
Facteur vestimentaire	0.6	Clo
Taux métabolique	1.2	Rencontré
Horaire de contrôle		
du quotidien	Figure V-4	
chaque semaine	Figure V-5	
Annuel	Figure V-6	

Tableau V-6: Les données opérationnelles.

### 1.2 Conditions de temps (Heures d'activité ou temps de consommation)

Les heures d'activité et de repos doivent être définies afin de simuler la consommation annuelle dans chaque cas, ceci est exprimé dans le tableau et les courbes suivantes :

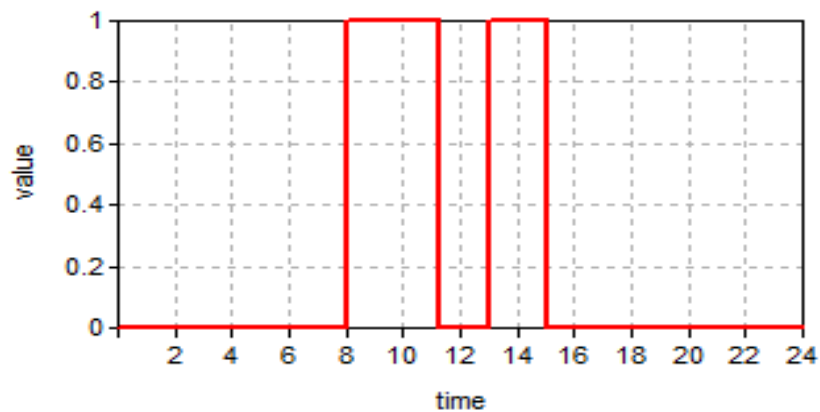


Figure V-4 Heures d'activité par jour

## Chapitre V : Résultats De Simulation

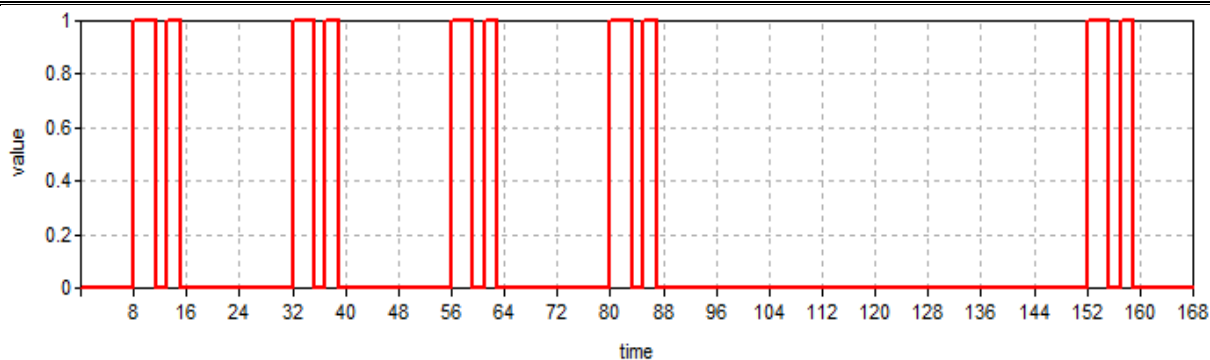


Figure V-5 : Heures d'activité par semaine

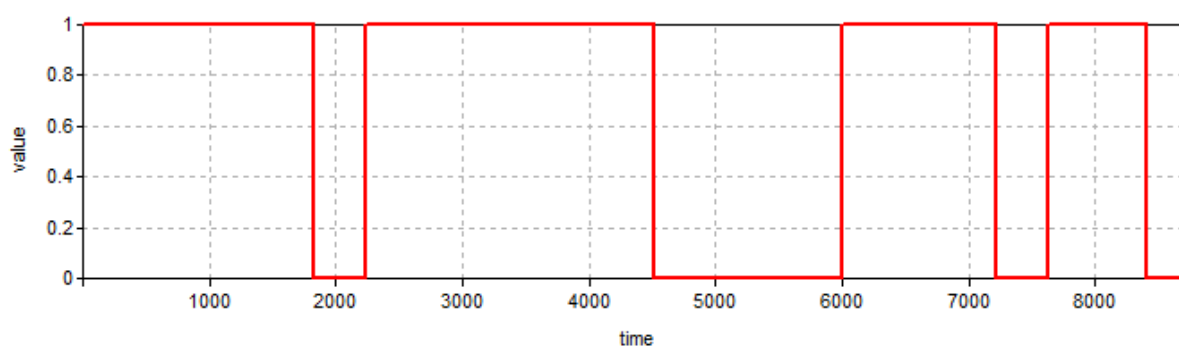


Figure V-6: Horaire annuel.

Entrée à l'école	07/09/2021	
Vacances d'automne	28/10/2021	14/11/2021
Vacances d'hiver	16/12/2021	02/01/2022
Vacances de printemps	17/03/2022	03/04/2022
Vacances d'été	07/07/2022	

Tableau V-7 : Calendrier des entrées, sorties et vacances scolaires

### 1.3 Les conditions climatiques de la zone

La simulation du bâtiment a été réalisée dans des conditions climatiques réelles issues du fichier météo type d'Oued El-Hallouf (Année Météorologique Typique par Métronome). Les tableaux V-8 et V-9 résument les données météorologiques du fichier TMY.

## Chapitre V : Résultats De Simulation

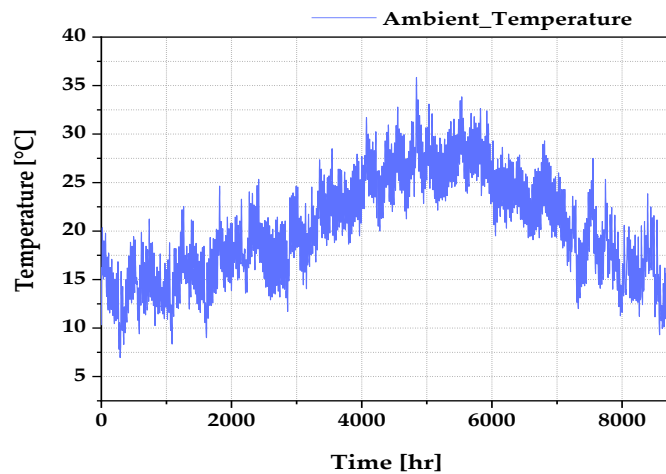


Figure V-7: Répartition de la température annuelle d'Oued El Hallouf Ain T'émouchent.

Mois	Température maximale	Température minimale	Température moyenne
	[°C]	[°C]	[°C]
Janvier	21.30	6.90	14.05
Février	22.60	8.30	14.83
Mars	24.70	9.00	16.50
Avril	25.40	11.70	17.87
mai	28.50	14.00	20.90
Juin	31.70	18.60	24.18
Juillet	35.90	21.20	27.33
Août	33.90	22.10	27.61
Septembre	32.40	19.50	24.78
Octobre	29.30	15.80	22.10
November	27.50	10.70	17.77
Décembre	21.30	6.90	14.05

Tableau V-8 : Données météorologiques d'Oued El Hallouf Ain T'émouchent.

	Temps	T maximale	Temps	T minimale
	[hr]	[°C]	[hr]	[°C]
Période d'automne	6017	29.30	7160	16.45
Période d'hiver	7744	25.35	8265	11.20
Période de printemps	1264	22.55	289	6.95

## Chapitre V : Résultats De Simulation

Période d'été	4073	31.70	2863	11.70
---------------	------	-------	------	-------

Tableau V-9 : Température (Ambiante) Maximale et Minimale pour chaque plage de périodes.

**Remarque :** le champ de notre étude s'est limité au suivi des changements de température pendant une journée, c'est-à-dire pendant 48 heures. De plus, notre étude s'est limitée à la température la plus basse enregistrée, la température extérieure durant l'hiver et l'automne. En revanche, l'été et le printemps se sont concentrés sur la température la plus élevée enregistrée au cours de ces deux périodes.

Plage d'heures de chaque saison :

- Période d'Automne [5976-7200 hr],
- Période d'hiver [7608-8376 hr],
- Période de printemps [0-1800 hr],
- Période d'été [2208-4488 hr].

### 4. Les résultats obtenus

Les figures V-8 et V-9 présentent les modèles Studio TRNSYS et TRNBuild de notre étude. Les résultats de calcul sont présentés sur les figures V-10 à V-13.



## Chapitre V : Résultats De Simulation

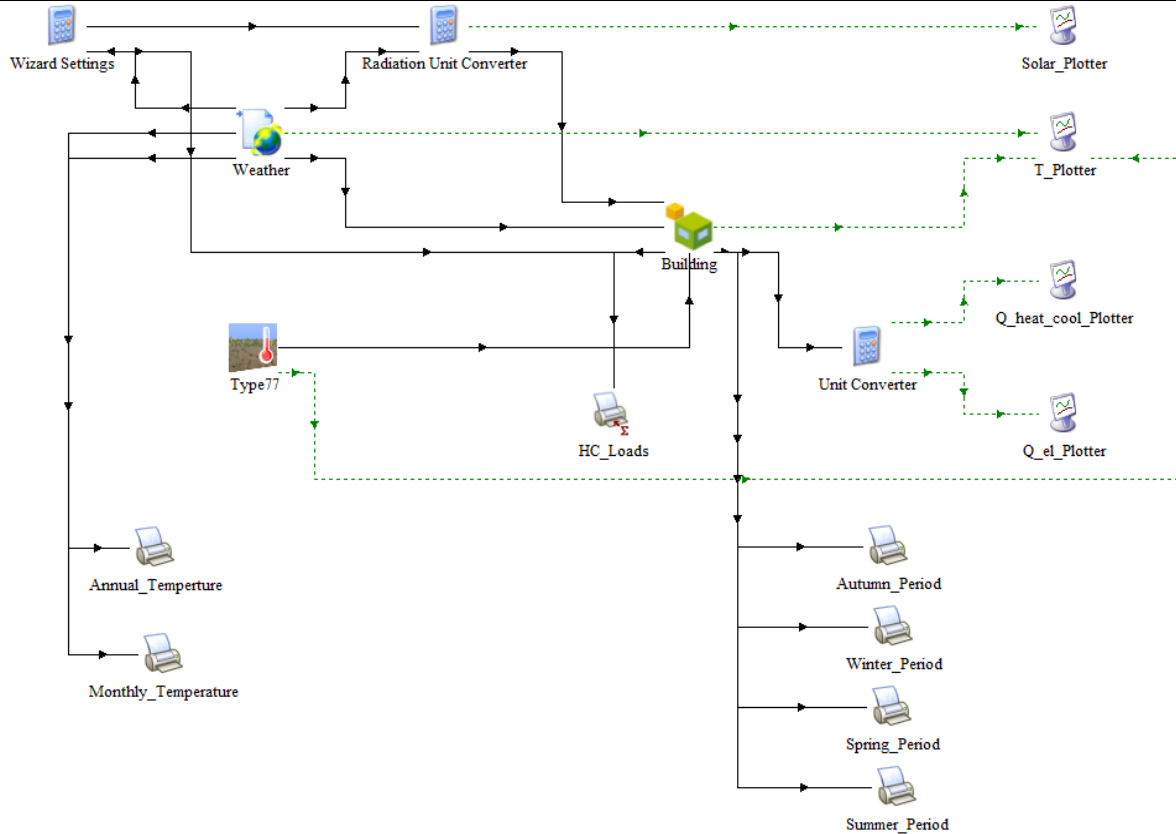


Figure V-8 : Représentation du modèle par le studio TRNSYS.

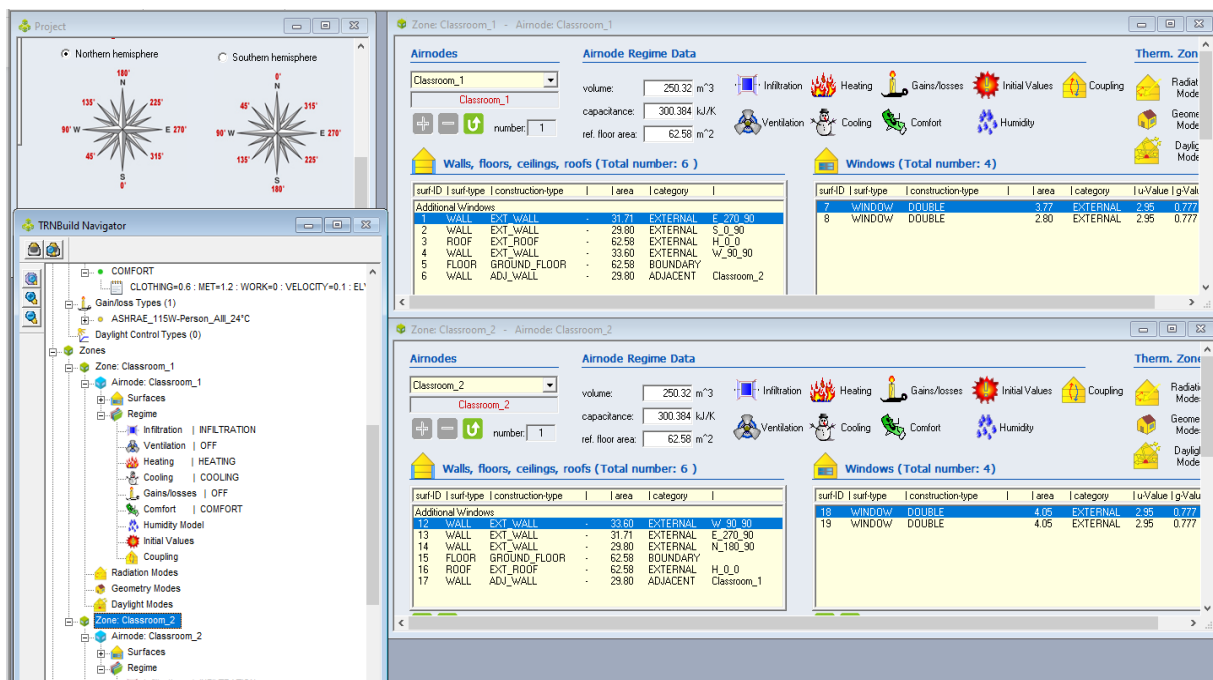


Figure V-9 : Représentation du modèle par TRNBuild.

### 4.1. Comparaison des températures les classes 1 & 2

## Chapitre V : Résultats De Simulation

Afin d'étudier le comportement thermique des deux classes nous avons comparé les courbes de températures des classes 1 & 2 du premier cas (l'état actuel) sans utiliser le chauffage et climatisation. Sur la figure V-10, on remarque que la différence de températures des deux salles de classe est très faible voire nulle; elle ne dépasse guère 0.20°C.

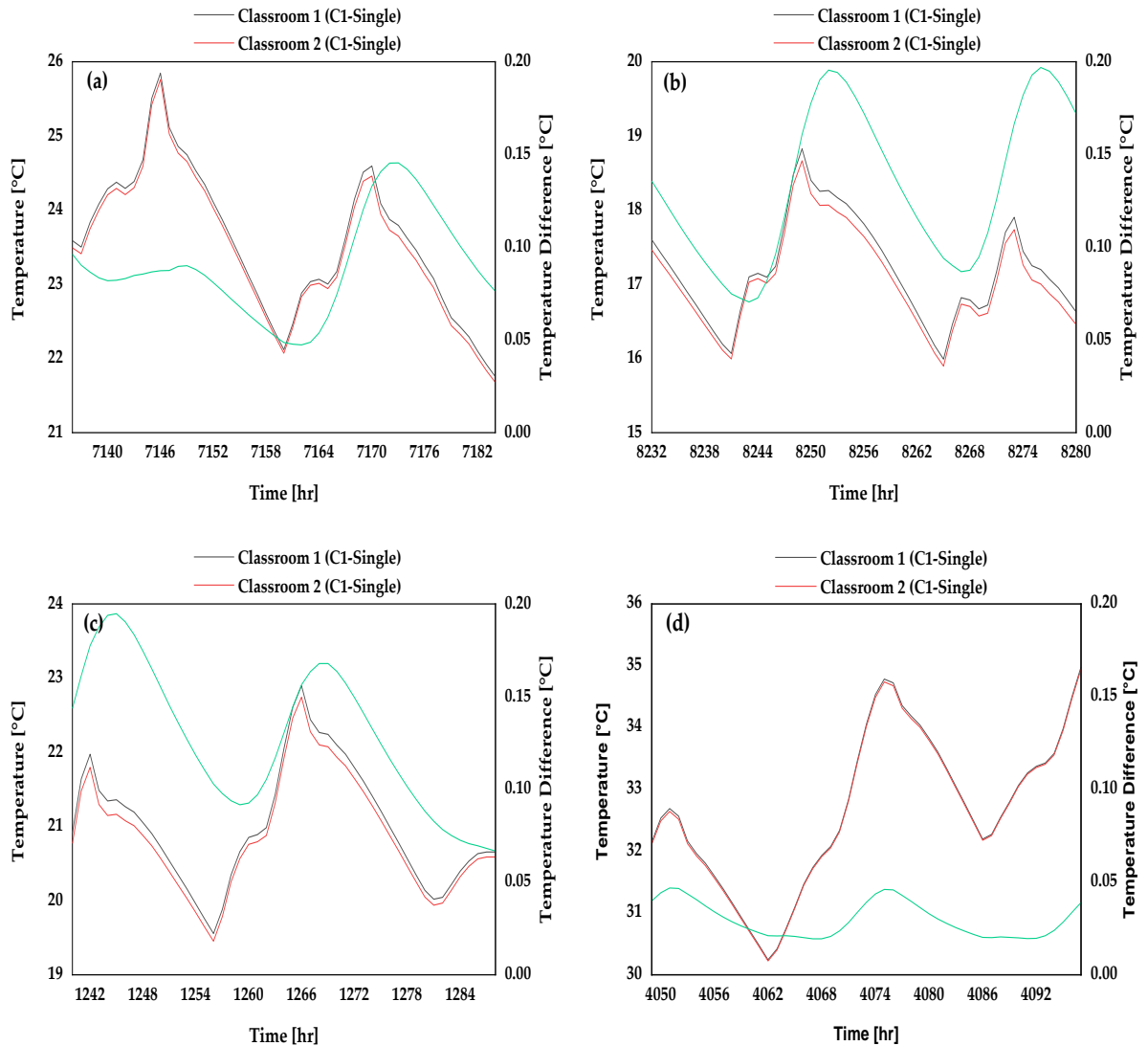


Figure V-10 : comparaison des températures des deux classes Avec : (a): L'automne, (b): L'hiver, (c): Le printemps et (d): Été.

### 4.2. L'effet de l'utilisation du chauffage et de la climatisation

On procède au calcul des températures des salles de classe avec et sans chauffage/climatisation tout en considérons le cas 1 (état actuel) ; les résultats sont présentés sur la figure V-11. On trouve qu'au printemps et en automne les besoins en terme de chauffage/climatisation sont très faibles voire nuls car les températures sont très proches de

## Chapitre V : Résultats De Simulation

celles exigées par les normes. En hiver le chauffage permet d'élever la température de plus de 3°C. En été, la climatisation permet de baisser la température de plus de 4°C.

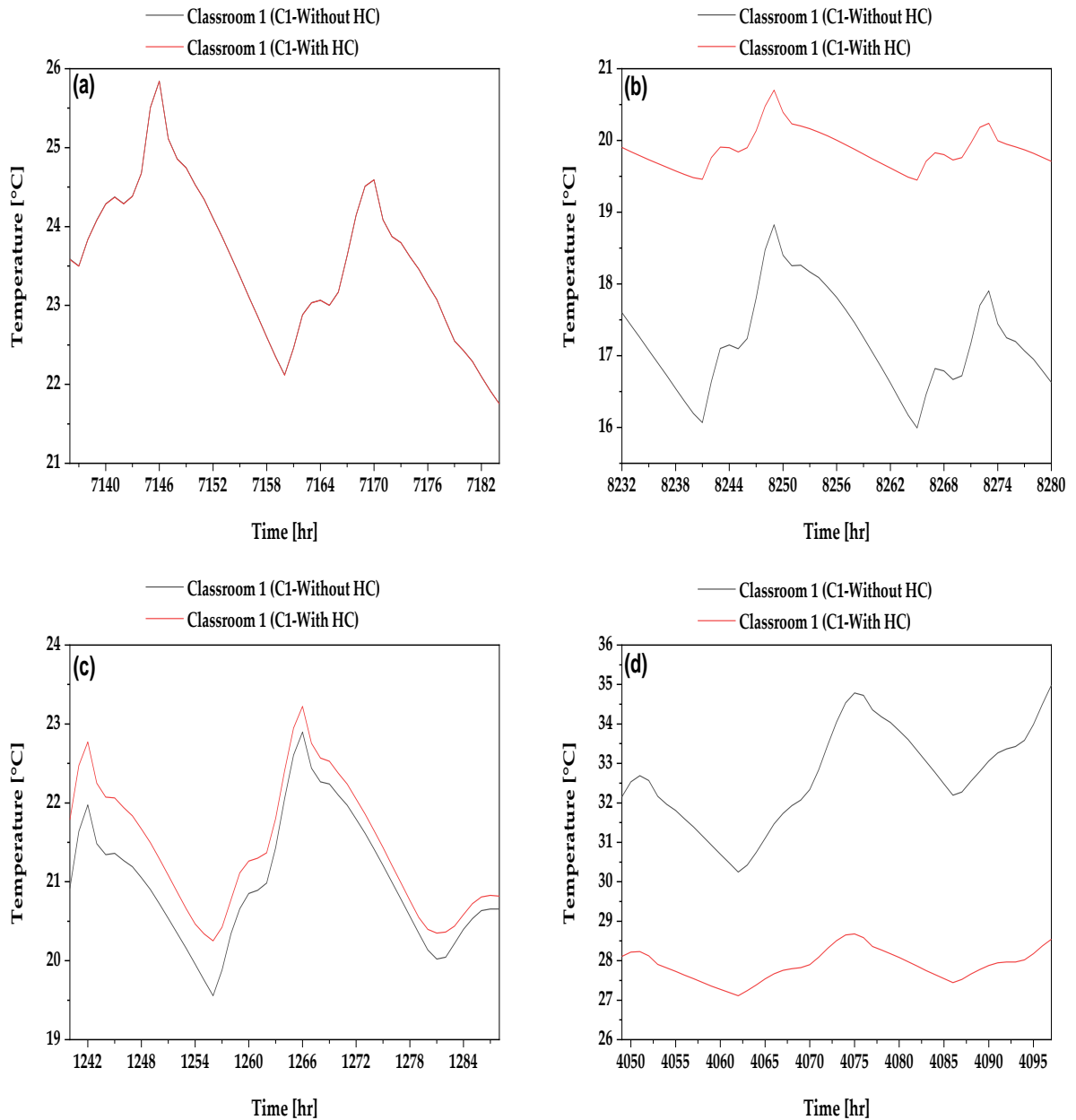


Figure V-11 : comparaison des températures de la classe 1 calculées avec et sans chauffage/climatisation Avec : (a): L'automne, (b): L'hiver, (c): Le printemps et (d): Été.

### 4.3. Calcul de la quantité d'énergie consommée

La simulation a permis de déterminer la quantité d'énergie consommée dans chaque cas pendant un an pour les deux salles de classe :

- le tableau V-10 et la figure V-12 présentent les résultats de la classe 1.

## Chapitre V : Résultats De Simulation

- le tableau V-11 et la figure V-13 présentent les résultats de la classe 2

Après analyse des résultats, on trouve que la meilleure solution en termes de refroidissement, c'est à dire la consommation d'électricité la plus faible, est le cas n°2. Ceci est valable pour les deux salles de classe. En revanche, la meilleure solution en termes de chauffage est le cas n°8.

salle de classe 1		
	Chauffage [KWH]	Climatisation [KWH]
Cas 1 (état actuel)	241.91	465.46
Cas 2 (Cas 1 avec double vitrage)	207.55	442.73
Cas 3 (cloture du dispositif d'ombrage avec simple vitrage)	265.10	587.90
Cas 4 (cas 3 avec double vitrage)	223.53	675.52
Cas 5 (cas 3 avec double vitrage à faible émissivité)	212.47	691.67
Cas 6 (cas avec brique de verre)	205.24	718.60
Cas 7 (augmentation de la taille des fenêtres, simple vitrage)	221.86	903.28
Cas 8 (cas 7 avec double vitrage)	142.34	913.52
Cas 9 (cas 8 avec double vitrage à faible émissivité)	147.89	724.38

Tableau V-10: la quantité d'énergie consommée pendant un an (salle de classe 1)

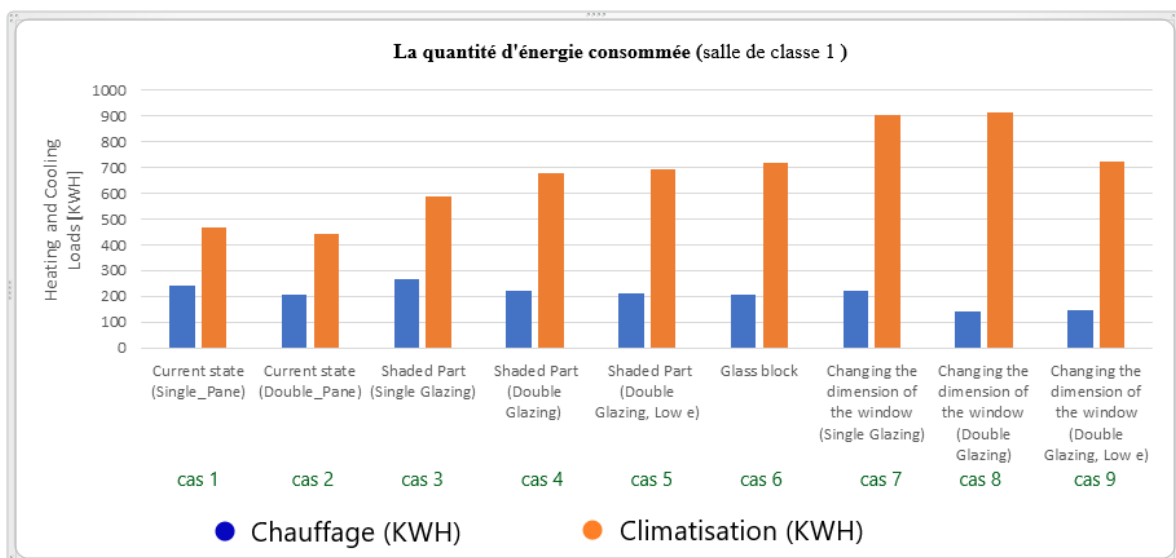


Figure V-12 la quantité d'énergie consommée pendant un an(salle de classe 1)

salle de classe 2
-------------------

## Chapitre V : Résultats De Simulation

	Chauffage [KWH]	Climatisation [KWH]
Cas 1 (état actuel)	251.59	457.90
Cas 2 (Cas 1 avec double vitrage)	217.16	435.33
Cas 3 (cloture du dispositif d'ombrage avec simple vitrage)	274.09	580.04
Cas 4 (cas 3 avec double vitrage)	231.46	667.05
Cas 5 (cas 3 avec double vitrage à faible émissivité)	220.17	683.03
Cas 6 (cas avec brique de verre)	212.68	709.81
Cas 7 (augmentation de la taille des fenêtres, simple vitrage)	229.20	890.77
Cas 8 (cas 7 avec double vitrage)	148.77	900.24
Cas 9 (cas 8 avec double vitrage à faible émissivité)	155.16	713.24

Tableau V-11: la quantité d'énergie consommée pendant un an (salle de classe 2)

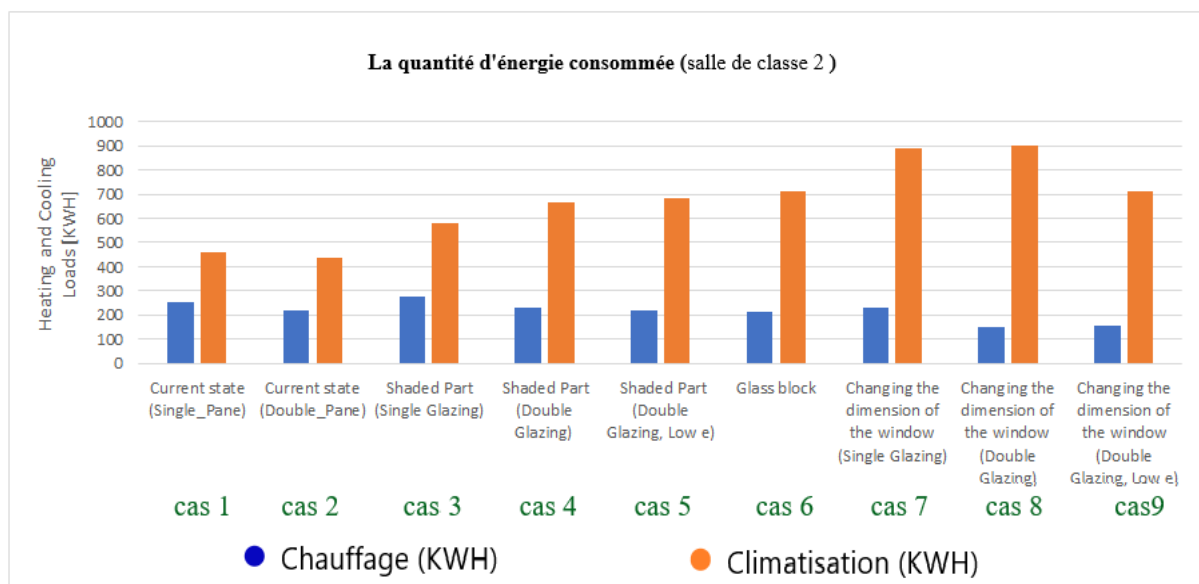


Figure V-13: la quantité d'énergie consommée pendant un an(salle de classe 2)

### 5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons tenté d'évaluer les besoins énergétiques d'une école primaire dans un premier temps. Ensuite nous nous sommes proposé d'étudier des solutions permettant d'améliorer les performances énergétiques des salles de classe et de réduire la consommation d'énergie. Neuf cas ont été considérés par la simulation numérique. L'analyse des résultats a permis de distinguer deux solutions qui peuvent être adoptés pour atteindre une meilleure performance.

## **Chapitre V : Résultats De Simulation**

---

La meilleure solution en termes de consommation est le deuxième cas, de plus c'est le plus simple et le moins cher. Mais l'utilisation du huitième cas avec quelques modifications ça pourrait être mieux

En raison de la grande surface de fenêtre dans le huitième cas, se produit l'effet de serre donc nous suggérons d'appliquer ce cas avec l'ajout d'un rideau solaire mobile du côté est et ouest pour se protéger du soleil en été et en profiter en hiver, En plus de modifier les dimensions des fenêtres pour obtenir l'éclairage approprié et l'utilisation de double vitrage pour une bonne l'isolation thermique

### **6. perspective et propositions de fin d'étude**

Dans les suggestions nous avons proposons une solution de chauffe-eau solaire en fonction des besoins de l'école et des heures d'activité à l'intérieur de l'école

L'idée proposée est d'utiliser un capteur solaire thermique sans réservoir d'eau sous prétexte que les heures d'activité scolaire sont limitées entre 8h et 16h, et ce sont les heures quotidiennes de rayonnement solaire. Pour soutenir l'idée, nous avons étudié un kit solaire thermique dans une expérience, les résultats sont présentés dans l'annexe I.

Dans l'objectif d'explorer les performances des capteurs thermiques, nous nous sommes proposé de réaliser un capteur thermique et de procéder à des manipulations.

#### 1. Les étapes de fabrication ce banc d'essai [127]

- Fixer le cuivre recuit sur la plaque d'aluminium ou de cuivre en veillant à faire des courbes propres (pas de plis, pas d'écrasement) pour constituer un serpentin.
- Construire un coffre en bois ou en aluminium dans lequel vous placez l'isolant.
- Installer le serpentin.
- Recouvrir de peinture noire la plaque de cuivre ou d'aluminium.
- Fermer le coffre avec une plaque de verre.

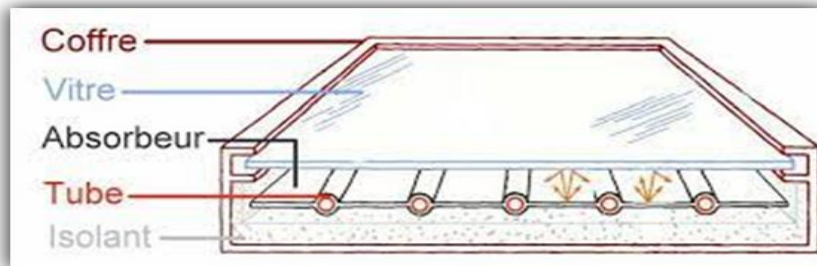


Figure V-14 : Un capteur solaire plan

#### 2. Le boîtier :

Le capteur est protégé par un boîtier en bois fabriqué en contreplaqué en arrière et en bois de 1 cm d'épaisseur sur les cotés



Figure V-15 : Le boîtier en bois

#### 1.1. L'isolation :

## Chapitre V : Résultats De Simulation

L'isolant arrière c'est des feuilles de polystyrène de 20 mm d'épaisseur placé dans le cadre en arrière et même sur les côtés



*Figure V-16 : l'emplacement de l'isolant*

### **1.2. Une plaque absorbante :**

Ce sont plusieurs plaques minces en aluminium qui ont été assemblées et collées directement sur l'isolant, et qui ont été peintes avec une peinture de bombe aérosol noire mate.

#### Caractéristiques de l'aluminium

-Température de fusion : 660 °C

-Conductivité thermique à 20 °C :  $\lambda = 240 \text{ w/m } ^\circ\text{C}$



*Figure V-17 : les plaques en aluminium*



## **Chapitre V : Résultats De Simulation**

---

### **1.3. L'échangeur :**

Les tubes en cuivre ont un diamètre intérieur de 7 mm et un diamètre extérieur de 8 mm raccordés entre eux sur une longueur de 2 m au total.

#### Caractéristiques du cuivre :

Conductivité thermique à 273,2 K :  $\lambda=403$  w/m k

à la fin on les a peints en noir mate pour un maximum d'absorption



*Figure V-18: l'échangeur*

### **1.4. Une couverture transparente :**

Une vitre transparente de verre trempé d'épaisseur 3 mm pour une optimisation maximale du rayonnement, la vitre est jointe avec le cadre en bois à l'aide d'un ruban adhésif pour limiter et éviter les pertes thermiques.



*Figure V-19: couverture transparente*

### **3. Instrumentation :**

#### **3.1. Mesure de l'éclairement**

Le rayonnement solaire global est mesuré grâce un solarimètre étalonné. Celui-ci est placé dans le même angle de capteur vis à vis du rayonnement solaire comme est montré dans la figure V-20.



*Figure V-20: Solarimètre*

#### **3.2. Mesure des températures**

## Chapitre V : Résultats De Simulation

Les températures sont mesurées à l'aide d'un thermomètre standard en degrés Celsius



Figure V-21: thermocouple

### 4. Expérimentation

L'angle du capteur a été choisi selon une équation que nous avons expliquée dans le troisième chapitre, qui est  $45^\circ$ . L'expérience a été réalisée au niveau de l'Université Ain Temouchent "belhadj bouchaib", où nous avons prélevé un échantillon d'eau chauffée chaque 30 minutes de 8h30 à 15h. L'expérience a été menée sur deux jours : journée ensoleillée et journée nuageuse

#### Première expérience (journée ensoleillée)

La température de l'eau est mesurée à l'entrée et à la sortie chaque 30 minutes en plus de la valeur du rayonnement solaire

Temps	$q''$ ( $w/m^2$ )	$T_e$ (°C)	$T_s$ (°C)
8.30	425	23.3	
9	619	23.3	57.3
9.30	756	23.4	64.7
10	760	23.6	67.4
10.30	841	23.7	70.4
11	921	23.8	73.4
11.30	944	24.1	75.6
12.00	982	24.4	80.3
12.30	968	24.9	78.5

## Chapitre V : Résultats De Simulation

13.00	919	25.3	72.00
13.30	910	25.4	70.7
14.00	833	25.5	70.2
14.30	665	25.6	69.7
13:00	630	25.6	68.00

Tableau V-12 : Les données de la Première expérience

### Deuxième expérience (journée nuageuse)

Nous mesurons les rayons du soleil chaque 15 minute à cause de la présence de nuages

Temps	$q''$ (w/m <sup>2</sup> )	Te (°C)	Ts (°C)
8:30	425	23.3	
8:45	530		
9	619	23.3	59.2
9:15	570		
9:30	756	23.4	62.1
9:45	615		
10	760	23.6	64.4
10:15	719		
10:30	488	23.7	70.1
10:45	700		
11	393	23.8	73.1
11:15	340		
11:30	349	24.1	66.8
11:45	213		
12.00	549	24.2	71.2
12:15	610		
12.30	826	24.3	74.00
12:45	293		
13.00	962	24.3	75.6
13:15	500		
13.30	499	24.4	76.6

## Chapitre V : Résultats De Simulation

13:45	1009		
14:00	845	24.5	79.9
14:15	264		
14:30	813	25	74.8
14:45	517		
15:00	672	25	73.3

Tableau V-13: Les données de la Deuxième expérience

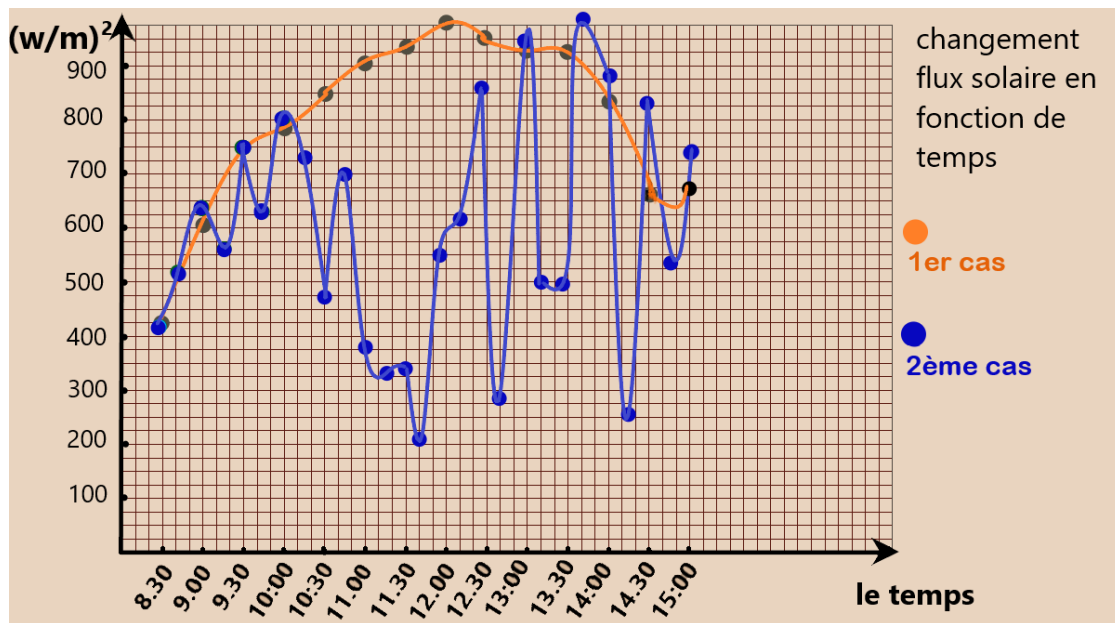
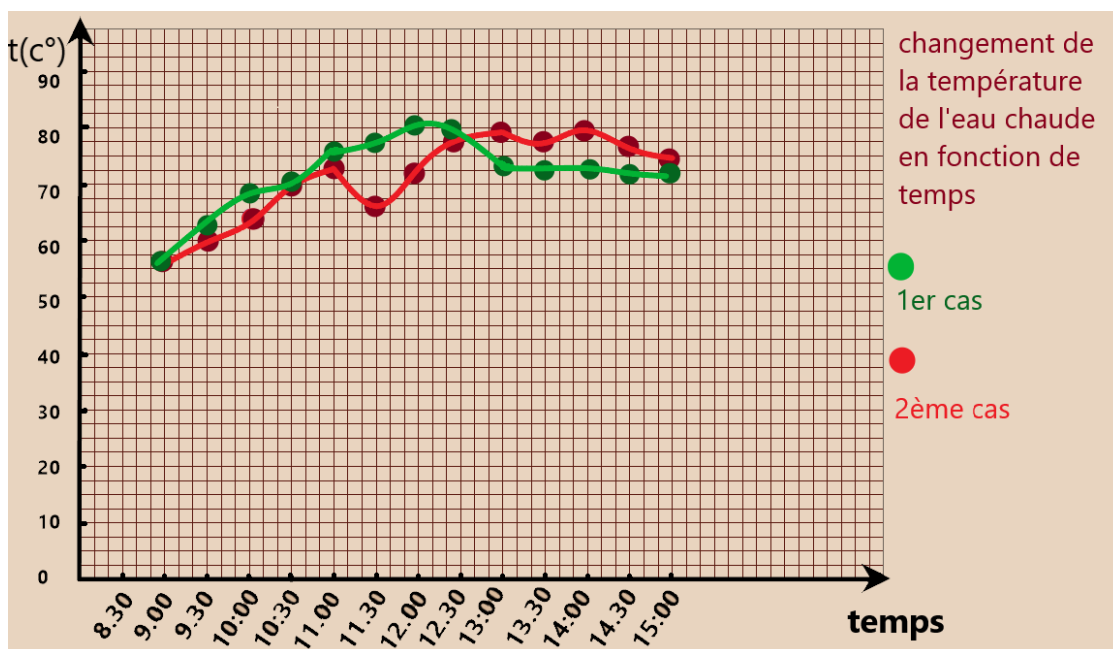


Figure V-22 : Courbe changement du flux soleil en fonction de temps



## **Chapitre V : Résultats De Simulation**

---

*Figure V-23 : Courbe changement de la température de l'eau chaude en fonction de temps*

### **Conclusion**

Dans l'objectif d'explorer le fonctionnement des capteurs thermiques, nous avons proposé de réaliser et de tester un capteur thermique plan à tubes. A l'entrée du capteur la température de l'eau est de 23 à 25°C. On constate que l'eau qui sort du capteur solaire a une température variant de 60 à 80 dans les deux cas. Toutes les mesures sont réalisées dans la période allant de 8h 30 à 15h00. On estime que les résultats préliminaires sont satisfaisants et suffisants pour répondre aux besoins de l'école en eau chaude durant les heures d'activité.

### Conclusion générale :

En s'intéressant à l'évaluation et l'amélioration des performances énergétiques du bâtiment « type école ». Dans l'étude théorique nous avons abordées les modes d'énergie renouvelable. Nous avons aussi introduit les besoins énergétiques d'un bâtiment, plus précisément Matériaux et méthodes de construction pour atteindre le confort thermique et visuel dans les bâtiments tout en réduisant ou en éliminant la consommation d'énergie. Enfin nous avons mis la lumière sur principe de calcul des systèmes solaires photovoltaïques.

Dans la partie expérimentale, Nous avons simulé sur ordinateur par trnsys plusieurs solutions étudiées sur une école primaire en changeant les matériaux et la conception du bâtiment pour augmenter la performance énergétique. En parallèle et afin de mettre en application les connaissances acquises nous avons procédé à la réadaptation d'une installation photovoltaïque pour répondre aux besoins actuels de l'école.

En fin, dans le cadre de l'étude technico-économique pour la réadaptation et la maintenance de l'installation photovoltaïque, nous avons trouvé que pour remettre en marche l'installation existante il faut apporter quelques modifications au système utilisé en changeant l'emplacement des panneaux et leur nombre et certaines des modifications mentionnées précédemment.

---

---

## **Références :**

- [1] : bilan du ministère de l'énergie et des mines (2009)
- [2] Lehmann P. J. (2011), *La politique monétaire : institutions, instruments et mécanismes*, Hermès Science publications, Paris.
- A. Lehmann, (2011), Idées reçues sur le lexique : un obstacle à l'enseignement du lexique dans les classes.  
Consulté sur :  
[https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Dossier\\_vocabulaire/56/7/Alise\\_Lehmann\\_111202\\_avec\\_couv\\_201567.pdf](https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Dossier_vocabulaire/56/7/Alise_Lehmann_111202_avec_couv_201567.pdf)
- [3] Ader, 2011
- [4] Robert J et Fabas L., (2008). « Guide de la maison économe ». Ed EYROLLES. Paris. 199 p.
- [5] Feddaoui 2014
- [6] Daniela SANNA., (2009). « objectif 2020 : bâtiment à énergie positive. angece,
- [7] Schneider Électrique Le livre blanc de l'Efficacité énergétique. février 2011. [www.shneider-electric.com](http://www.shneider-electric.com)
- [8] ROMO EE, 2015
- [9] De-Haut P., (2007). « Chauffage, isolation et ventilation écologique ». Ed Eyrolles. Paris. 179 p.
- [10] Gallauziaux T et Fedullo D., (2010). « Le grand livre de l'isolation ». Ed Groupe Eyrolles. Paris. 683 p.
- [11] Nugon-baudon L et Lhoste E., (2008). « Trucs et astuces pour une maison Ecolo ». Ed Marabout. Espagne. 245 p.
- [12] Isoltop, 2017
- [13] Laustens J., 2008, «Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings, International Energy Agency», OECD/IEA, Paris.
- [14] Courgey S et Oliva J., (2008). « La maison bioclimatique ». Ed Terre Vivante. France. 239 p.
- [15] Garnier, (2012). *Le bâtiment à énergie positive ; comment maîtriser l'énergie dans l'habitat* », édition Eyrolle, Paris.
- [16] Gauzin-Muller D., (2005). « 25 maisons écologiques ». Ed Le Moniteur. Paris. 159 p.
- [17] Edito., (2007), Guide des solutions environnementales [en ligne] <http://www.energiesrenouvelables.org>
- [18] PLATZER M., 2009
- [19] TITTELIN P., 2008
- [20] ADRA N., 2001
- [21] Despretz H., 1994
- [22] Shobhakar D. « Comment infléchir les émissions de CO2 dans quatre mégapoles d'Asie » in *La Revue Durable*, « Vivre ensemble en mégapole », n° 14.2005
- [23] Despretz, H. « Maîtrise de l'énergie dans les bâtiments. Définitions. Usages. Consommations », revue technique de l'ingénieur, vol 4. Année 2004
- [24] Morillon, R. *L'intégration de l'efficacité énergétique et du développement urbain durable dans le bâtiment*. Par : Morillon, R. Université Marne la vallée. Année 2005
- [25] Source : <http://www.vedura.fr/>



- 
- [26] Brundtland, 1987
- [27] Diab et al, 2000
- [28] [www.ecoloinf.com](http://www.ecoloinf.com)
- [29] Chêne, 2011
- [30] : <https://hydronic-flow-control.com/fr/page/nos-services--cycle-de-vie-du-bâtiment>
- [31] soiSalomon,S et Bedel, S .La maison des méga watts, Le guide malin de l'énergie chez. Terre vivante.2004.
- [32] PREBAT, ADEME et CSTB .Comparaison internationale bâtiment et énergie.. Rapport final. Décembre 2007. p. A19
- [33] Amjahdi M et Lemale J., (2010). « Rénovez votre maison: des solutions écologiques ». Ed Dunod, Paris. 191 p.
- [34] Giec, 2007 et Aspo, 2007
- [35] LIEBARD, A ET DE HERDE, A. (2005). Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Ed Le moniteur, Paris.
- [36] Courgey, S. et Oliva, J-P. « La conception bioclimatique des maisons confortables et économes », Edition Terre vivante, Paris. 2006 - 2007.
- [37] Hegger, M. Tomas, S. Fuchs, M. et Zeumer, M. « Construction et énergie », Editions Presses polytechniques et universitaires Romandes, Lausanne. 2011
- [38] Bernstein, D. Chamietier, J. P. et Vidal, T. « Anatomie de l'enveloppe des bâtiments, constructions et enveloppes lourdes », Edition le moniteur, Paris. 1997.
- [39] S.M.A. Bekkouche,Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires, Thèse de Doctorat en Physique Electronique, Université de Tlemcen. , Mai 2009.
- [40] **Didier** Guignard, « Conservatoire ou révolutionnaire ? Le sénatus-consulte de 1863 appliqué au régime foncier d'Algérie », *Revue d'histoire du XIXe siècle* [En ligne], 41 | 2010,
- [41] Alexandroff G., Alexandroff J.-M. (1982), Architectures et climats. Soleil et énergies naturelles dans l'habitat, Paris, Berger-Levrault (Architectures).
- [42] Oliva, J-P. « L'isolation écologique, conception, matériaux et mise en œuvre », Edition Terre vivante, Paris. 2007.
- [43] Mazari, M. « Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public, cas du département d'architecture de Tamda (Tizi-Ouzou) », Université Tizi-Ouzou. 2012.
- [44] A.D.E.M.E., 2003-Guide des déchets en Auvergne, Ed. Délégation régionale, Clermont-Ferrand, 95p.
- [45] [http://www.climamaison.com.](http://www.climamaison.com/) /
- [46] Pierre Hérant. Performances énergétiques et ventilation des bâtiments : contexte et enjeux, 2004.
- [47] M. J. Finnegan, C. A. C. Pickering, and P. S. Burge. The sick building syndrome: prevalence studies. British medical journal (Clinicat research ed.), 289(6458) :1573, 1984
- [48] Légifrance. Arrête du 22 octobre 1969 relatif aux conduits de fumée desservant des logements, 1969.

- 
- [49] J. Flémal. Energie+, version 7, architecture et climat, université catholique de louvain (belgique), 2012.
- [50] Baptiste Bouvret and Nathalie Richard. La ventilation dans les b^atiments d'habitation basse consommation.pdf. M^emoires formation DDQE, 2010.
- [51] Hassan Fathy and Walter Shearer. Natural Energy and Venacular Architecture : Principles and Examples With Reference to Hot Arid Climates. United Nations University, 1986.
- [52] Dutartre, N. La reglementation de la regulation et de la gestion de l • fenergie. Promoclim, , tome 22, n • <4. 1991.p 214.
- [53] ADEME, « Gestion énergétique dans les bâtiments publics», Guide méthodologique. 1999
- [54] Mahmoudi, F. « climatisation, ventilation et désenfumage » in revue ,vies de villes,N°09,Alger ,mai 2008.p4312
- [55] Rapport Aprue 2009 cité par Imessad, K. 2011
- [56] Meritet, S. l'état énergétique du monde », Pour la science, dossier n° 69. 2010.
- [57] EIA, 2011 cité dans S. Semahi 2013
- [58] Tonne Pétrole Equivalent
- [59] « Consommation énergétique finale de l'Algérie », APRUE, Alger, 2014
- [60] APRUE, 2011, cité par Besselchi, M. 2013
- [61] «MEM, 2014»Bilan énergétique national de l'année 2013 », téléchargé du site www.mem.org.dz 2014 consulté le 3. 3. 2015.
- [62] MEM et APRUE, « Recueil de textes législatifs et règlementaires sur la maîtrise de l'énergie », 2010.
- [63] APRUE et MEM, « Consommation énergétique finale de l'Algérie », APRUE, Alger, 2014
- [64] S. Hasnain, "Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part I: heat storage materials and techniques," Energy Conversion and Management, vol. 39, pp. 1127-1138, 1998.
- [65] S. Hasnain, "Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part II: cool thermal storage," Energy Conversion and Management, vol. 39, pp. 1139-1153, 1998.
- [66] Thierry. G et David .f, Le grand livre de l'isolation, 2009
- [67] Les essentielle de l'habitat. Introduction à la thermique du bâtiment
- [68] les essentielles des bâtiments. Introduction à thermique des bâtiments PDF
- [69] Dumitriu –valcea, Isolation thermique des constructions en Algérie,1986
- [70] Fragos, MM. Et Trouillez, 2012 « Le guide de l'isolation ; Mieux comprendre pour bien choisir », Edition Comprendre choisir.com, Paris. 2012. Téléchargeable du site www.comprendrechisir.com
- [71] Gacem, M. « Comparaison entre l'isolation thermique extérieure et intérieure d'une pièce d'un habitat situé dans le site de Ghardaia », mémoire de magister, Université Abou-Bakr Belkaid, Tlemcen. 2010-2011
- [72] <http://www.finexto.com/>

- 
- [73] [www.energieplus-lesite.be](http://www.energieplus-lesite.be)
- [74] [www.energieplus-lesite.be](http://www.energieplus-lesite.be)
- [75] [//www.iso-exterieur.fr/](http://www.iso-exterieur.fr/)
- [76] <http://isolation.maison-materiaux.com/>
- [77] <http://panasonic.ca/>
- [78] <http://www.protection-securite-alarme.com/>
- [79] [//www.symbiose-nature-bois.fr/](http://www.symbiose-nature-bois.fr/)
- [80] <http://dpa-distribution.fr/>
- [81] <http://www.mcr06.com/>
- [82] [//www.leblogdubatiment.com/](http://www.leblogdubatiment.com/)
- [83] Bellara, S. « Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective ; cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli Constantine. », mémoire du magister, université Mentouri, Constantine. 2004- 2005.
- [84] Kamajou, A. et al 2012, CERTU 2003
- [85] Jean-Marie, 2008
- [86] Moudjalled, B. (2007). modélisation dynamique de confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés. Lyon.
- [87] Roulet, A. C. « Eco-confort pour une maison saine et à basse consommation d'énergie », presses polytechniques et universitaires romandes, Suisse, 2004.
- [88] Charbonneau, JY, 2004
- [89] Givoni, B. « L'homme, l'architecture et le climat », Edition le moniteur, Paris. 1978.
- [90] Mazouz, S. « Confort thermique », 1ère année poste-graduation cour, département d'architecture de l'université de Biskra.
- [91] Slater, 1986 cité par Gallissot, 2012
- [92] Deval, J-C. « Le confort thermique en climat tempéré », revue phys. Appl N° 19, laboratoire d'Eco thermique solaire CNRS, France. 1984
- [93] Teller, J. «Notions de confort thermique », université de Liège, de site [www.lema.ulg.ac.be](http://www.lema.ulg.ac.be).
- [94] Belmaaziz, M. « Le confort thermique et stratégie thermiques des êtres humains », 2011- 2012.
- [95] Le Guay M. sur le site [edu.scol.education.fr](http://edu.scol.education.fr)
- [96] Benlatreche T. « Effets thermo-radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les édifices publics », mémoire du magister, université Mentouri, Constantine. 2006.
- [97] Hamel, K. « Confort thermique », cours en ligne, département d'architecture de l'université de Biskra. 2012. Consulté du site [www.univ-biskra.dz](http://www.univ-biskra.dz) en juin 2014.
- [98] Cantin R. et al, « Complexité du confort thermique dans les bâtiments », 6ème congrès Européen de science des systèmes Paris. 2005
- [99]B. SENOUCI, « Énergies renouvelables en Algérie », Fondation Friedrich Ebert, Algérie, 2012.

- 
- [100] F. BENZAID, « Stratégie Nationale pour le développement des Energies Renouvelables », 7<sup>ème</sup> Salon International Electro, Automation & Energy 2013, Direction des Energies Renouvelables et de la Maitrise de l'Energie, Alger, le 19 mai 2013.
- [101] Z. ABADA, M. BOUHARKAT, "Study of management strategy of energy resources in Algeria", EnergyReports4(2018)1–7.
- [102] D. Dib, A. BENDAKIR, S. METATLA, W. GUEBABI, Y. SOUFI, « The Algerian Challenge between the Dependence on Fossil Fuels and its Huge Potential in Renewable Energy », International Journal of Renewable Energy Research, Vol.2, No.3, 2012.
- [103] R. BESSAH, E. KOUADRI, S. TOUILEB, « Bilan de la recherche scientifique, du Développement technologique et de l'innovation de l'EPST CDER 2016 », CDER, Alger, Algérie, 2016.
- [104] « énergies nouvelles et renouvelables », Ministère de l'Énergie, Algérie, <http://www.energy.gov.dz/francais/index.php?page=energies-nouvelles-renouvelables-etmaitrise-de-l-energie>
- [105] Violaine Didier, les onduleurs pour systèmes photovoltaïques, fonctionnement, état de l'art et étude des performances, VILLEURBANNE 2007. Site internet : [www.hespul.org](http://www.hespul.org)
- [106] Mémoire sur la Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance
- [107] Mémoire sur la Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance Énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie [http://bu.univ-chlef.dz/doc\\_num.php?explnum\\_id=445](http://bu.univ-chlef.dz/doc_num.php?explnum_id=445)
- [108] <https://www.vattenfall.fr/le-mag-energie/electricite/toutes-les-techniques-pour-produire-de-l-electricite>
- [109] Kalla fayçal « Conversion thermodynamique de l'énergie solaire : Etude et modélisation d'un capteur solaire ». Mémoire magistère. 2015
- [110] AKERM Mustapha « Etude et modélisation d'un capteur solaire » mémoire de magistère.
- [111] [www.explorateurs-energie.com](http://www.explorateurs-energie.com) visité le 16/06/2020
- [112] <http://www.lamy-expertise.fr/>
- [113] article caue dordogne Conseil d'Architecture d'urbanisme et d'Environnement [www.caue.dordogne.com](http://www.caue.dordogne.com)
- [114] : Champion, 1999-2015
- [115] : Agence Culturelle Grand Est, 2011
- [116] : A.DE HERBER, 2002.
- [117] : B.PAULE, (2007), Dispositifs d'éclairage naturel, Disponible sur: <http://moodle.epfl.ch/>
- [118]: Gérard, 2012
- [119] thermiques // [www.renovermonecole.be/fr/objectifs-bien-etre/confort-thermique-enfants](http://www.renovermonecole.be/fr/objectifs-bien-etre/confort-thermique-enfants)
- [120] Maïzia, M., 2007. Pompe à chaleur et habitat. Prospective des consommations d'énergie et des émissions de CO2 dans l'habitat: les gisements offerts par les pompes à chaleur. Cah. CLIP 18, 1–47.

---

[121] S. Brigand, « **Les principes de l'énergie solaire photovoltaïque** », complément technique, Techniques de construction, www.editiondumoniteur.com, Mars-Avril 2008.

[122] A. Labouret, M. Viloz, « **Energie solaire photovoltaïque** », 3<sup>ème</sup> édition, Edition Dunod 2005.

[123] M. J. T. Nkouimi, « **Outil d'aide au dimensionnement des systèmes photovoltaïques domestiques** », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé, © Mémoire Online 2000-2010.

[124] M.R. NEBBALI / Etude dimensionnement d'une installation photovoltaïque / Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou / 2016-2017

[125] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Latitude>

[126] trnsys logiciel site officiel " <https://www.trnsys.com/>"

[127] [lepanneausolaire.net/realiser-soi-meme-son-chauffe-eau-solaire.php](http://lepanneausolaire.net/realiser-soi-meme-son-chauffe-eau-solaire.php)