

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عمار ثليجي - الأغواط
Université Amar Telidji – Laghouat –
Faculté de TECHNOLOGIE
Département de Génie Mécanique



Mémoire

Présenté pour l'obtention du Diplôme de **Master**

Spécialité : Génie Mécanique

Option : Energie Renouvelable en Mécanique

Thème :

Audit Energétique en Algérie

Présenté par :

- ❖ Melle. TASSI Kheira
- ❖ Melle. CHELAOUCHI Keltoum

Dirigé par :

Pr. Saïd BOUABDALLAH

Année universitaire: 2023/2024.

Remerciements

Premièrement, nous tenons à remercier sincèrement notre « **Allah** » source de toute connaissance, qui nous donne la force, la volonté et le courage pour achever ce travail.

Nous tenons également à remercier très sincèrement **Mr. Saïd BOUABDALLAH** Professeur de l'université de Laghouat et tout le staff du **Département de Génie Mécanique** pour leur soutien, leur patience, leur confiance et leurs conseils tout au long de l'élaboration de ce travail.

Nous voudrions vivement remercier les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques.

Un grand Merci à Mon idéal dans la vie à Mon frère **HOCINE** qui m'a soutenu tout le temps.

Nous tenons enfin à remercier toute personne ayant participé de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Dédicace

Louange à Dieu, pour l'amour, les remerciements et la gratitude. Louange à

Dieu, grâce à qui j'ai atteint les objectifs les plus élevés.

Je dédie ce succès à moi-même d'abord et ensuite :

Je dédie cet humble travail au premier peuple de ma compagnie, à celui sous les pieds duquel Dieu a placé le Paradis, comme le Messager de Dieu, que les prières et la paix de Dieu soient sur lui, a dit : « Le Paradis est sous les pieds des mères », et dont les supplications et les bénédictions ne m'ont jamais privé, ma **chère mère.**

À ceux qui a dépensé le précieux et le bon marché et a enduré. Épreuves, mon **cher père.**

A ceux à qui Dieu m'a donné la bénédiction de leur présence dans ma vie, mes grands-mères, et mon frère **HOCINE** et mes sœurs: **Faiza et leurs enfants, Fatiha, Khadîdja,** mes tantes, ma chère **Amina et zohra.**

À celle qui m'a accompagné dans ma vie, nous allons marquer la voie du succès dans notre carrière scientifique tout au long de ces années **Kaltoum Chelaouchi**

À l'âme pure et tendre de mon cœur, qui nous a quittés, mais dont le souvenir est toujours immortel en nous, bienveillante, solidaire, aimante « **Meriem Benamar** », que Dieu ait pitié d'elle et la fasse habiter dans son spacieux paradis.

À tous les membres de ma famille.

TASSI KHEIRA

الإهداء

الحمد لله حبا و شكرا و امتنانا ، الحمد لله الذي بفضلله أدركت أسمى الغايات

أهدي هذا النجاح الى نفسي اولاً ثم

إلى من سعى معي الى اتمام هذه المسيرة دتمم لي سندا.

اهديه الى من وهبوني الحياة والأمل، والنشأة على شغف الاطلاع والمعرفة، ومن علموني أن أرتقي سلم الحياة بحكمة وصبر ؛ براء، وإحساناً، ووفاء لهما والدي العزيز، ووالدتي العزيزة.

إلى من وهبني الله نعمة وجودهم في حياتي إلى العقد المتين اخوتي جداتي الحبيبتان ، عمتي الغالية ، خالاتي العزيزات ، غاليتي يسرى صديقتي حنان ادامكم الله.

إلى صديقة العمر من كاتفنتي ونحن نشق الطريق معا نحو النجاح في مسيرتنا العلمية طوال هذه السنوات خيرة طاسي.

الى الروح الغالية التي رحلت عنا لكن ذكرها لا زالت خالدة فينا طيبة القلب المساندة الداعمة المحبة صديقتي مريم رحمة الله عليها.

وأخيراً إلى كل من ساعدني، وكان له دور من قريب أو بعيد في إتمام هذه الدراسة سائلة المولى أن يجزي الجميع خير الجزاء في الدنيا والآخرة.

كلتوم شلاوشي

SOMMAIRE

Remerciements
Dédicaces
Liste des Figures
Liste des Tableaux
Abréviations
Introduction générale.....1

Chapitre I: Généralités sur l’audit énergétique

I. Introduction 3
I.1 Définition 3
I.2 Objectifs de l’audit énergétique 4
I.3 les statistiques : 4
 I.3.1 Par Produit : 5
 I.3.2 Par Secteur 6
I.4 Les étiquettes énergétiques : 8
I.5 Les normes internationale d’audite énergétique 11
 I.5.1 Les Normes applicable à l’audit énergétique 11
 I.5.2 Les Normes National d’audite énergétique.....13

Chapitre II : Méthodologie d’audit énergétique

II. Introduction..... 16
II.1 Procédure et différentes phases de l’audit énergétique 16
 II.1.1 Première phase (Audit préliminaire) 17
 II. 1.1.1 Déroulement 17
 II.1.1.2 Approche méthodologique de la première phase 18
 II.1.1.3 Présentation des résultats 19
 II.1.2 Deuxième phase (Audit détaillée) 19
 II.1.2.1 Déroulement de la deuxième phase 19
 II.1.2.2 Approche méthodologique de la 2ème phase 20
 II.1.2.3 Résultats 22
 II.1.3 Troisième phase (Recherche des solutions d’amélioration) 22
 II.1.3.1 Déroulement 22
 II.1.3.2 Méthodologie pour atteindre les objectifs de cette phase 23
II.2 Les obligations..... 25

SOMMAIRE

II.2.1 De l'auditeur envers l'établissement	25
II.2.2 De l'établissement vers l'auditeur	25
II.3 Les mesure	26
II.4 Instrumentation	27
II.5 Modalités de réalisation de l'audit énergétique	29
II.5.1 Visite du site et investigations préliminaires	29
II.5.2 Campagne de mesure	29
II.5.3 Détermination des économies	30
II.5.4 Rapport d'audit	30
II.5.5 Présentation des résultats	31
II.6 Auditeurs énergétiques	32
II.6.1 Définition	32
II.6.2 le rôle d'auditeurs énergétiques	33
II.7 Exemple d'une formation	34
Conclusion.....	36

Chapitre III : Programmes de l'audit énergétique en Algérie

III. Introduction	37
III.1 Energies Renouvelables	37
III.1.1 Potentiel Solaire	38
III.1.2 Potentiel éolien	38
III.1.3 Potentiel de l'Energie Géothermique.....	39
III.1.4. Potentiel Hydraulique	40
III.1.5 Potentiel Biomassique.....	40
III.1.5.1 Potentiel de la forêt	40
III.1.5.2 Potentiel national des déchets ménagers et assimilés.....	40
III.2 Programme de développement des énergies renouvelables.....	40
III.2.1 Consistance du programme de développement des énergies renouvelables.....	41
III.3 Efficacité Énergétique	42
III.3.1 Programme national d'efficacité énergétique	42
III.3.2 Plan d'Action en Matière d'Efficacité Energétique	43
III.3.3 Bilan de Réalisation de la Première Tranche du Programme national d'Efficacité Energétique	45
III.3.3.1 Projets	45
III.3.3.2 Actions d'accompagnement	45

III.3.3.3 Communication	45
Conclusion.....	46

Chapitre IV : Calcul de la consommation énergétique en Algérie

VI. Introduction	47
VI.1 Méthodes de calculs de consommation d'énergie	47
VI 1.1 Principe de calcul des consommations des trois vecteurs énergétiques.....	47
VI.1.2 Consommation de chaleur et de vapeur pour le chauffage de fluides ou solides.....	48
a) Calcul de la quantité de chaleur nécessaire	48
b) Calcul de la quantité de vapeur consommée.....	49
VI .1.3 Consommation d'eau de refroidissement	49
VI .1.4 Evaluation de l'enthalpie massique de l'eau liquide ou Vapeur.....	50
VI .1.5 Capacité calorifique et enthalpie de mélanges à plusieurs composants.....	50
a) Méthode du Cp fonction de la composition de la fraction massique.....	50
b) Méthode du calcul de l'enthalpie globale	50
VI.1.6 Méthode des degrés jours	51
VI.2 Exemple pour une habitation sous TRNSYS	52
VI.2.1 Estimation des besoins en chauffage	56
a) Calcul du coefficient de déperdition thermique GV (W/°C).....	56
b) Calcul du coefficient de besoins thermiques BV (W/°C)	56
VI.3 Simulation du projet.....	57
VI .3.1 Définition du logiciel (TRNSYS)	57
VI .3.2 Etapes de simulation sous TRNSYS	60
➤ 1 ^{ère} phase : Création d'un projet de simulation de bâtiment.....	60
➤ 2 ^{ème} phase : TRNbuild	64
➤ 3 ^{ème} phase : simulation sur COMBISYS.....	66
VI.4 Résultats de simulation :	68
VI.5 Propositions et possibilités de l'Audit Énergétique dans le secteur du Bâtiment et autres secteurs en Algérie :	72
VI .5.1 Secteur du Bâtiment	72
VI .5.2 Secteur Industriel	73
VI .5.3 Secteur du Transport	73
VI .5.4 Secteur Agricole.....	74
Conclusion	74
Conclusion générale et perspectives	75

Chapitre I: Généralités sur l'audit énergétique

Figure I. 1 : Le diagramme illustre les différents flux énergétiques de l'année 2021, de la production primaire à la consommation finale d'énergie..	4
Figure I. 2: Structure de la consommation finale d'énergie par produit (bilan énergétique)..	6
Figure I. 3: Structure de la consommation finale d'énergie par secteur d'activité	8
Figure I. 4: L'étiquette d'énergie des bâtiments à usage d'habitation	9
Figure I. 5: L'étiquette d'énergie des bâtiments à usage autre que d'habitation	9
Figure I. 6: L'étiquette de climat des bâtiments à usage d'habitation	10
Figure I. 7: L'étiquette de climat des bâtiments à usage autre que d'habitation.....	10

Chapitre II : Méthodologie d'audit énergétique

Figure II.1:Matériel imposé pour les audits bâtiment.....	28
---	----

Chapitre III : Programmes de l'audit énergétique en Algérie

Figure III. 1: Evolution estimée du parc national de production d'électricité, selon le Ministère de l'Energie et des Mines (MEM).	37
Figure III. 2:Carte de l'Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011)	38
Figure III. 3 : Carte du Vent Annuel Moyen à 50m (Période 2001-2010).....	39
Figure III. 4 : Evolution estimée du parc national de production d'électricité, selon le Ministère de l'Energie et des Mines (MEM).	42

Chapitre IV : Calcul de la consommation énergétique en Algérie

Figure VI. 1: Consommations d'énergie pour le cycle	47
Figure VI. 2: Schéma architectural de la maison étudiée	52
Figure VI. 3: Schéma de l'installation solaire combinée	53
Figure VI. 4: La relation des 4 composants TRNSYS	69
Figure VI. 5 : Building Project.....	60
Figure VI. 6: sélection de la zone à étudier	60
Figure VI. 7: dimensionnement de la zone	61
Figure VI. 8: fenêtres et orientation de la maison	61
Figure VI. 9: ventilation, chauffage et climatisation.....	62
Figure VI. 10: Gains et éclairage.	62
Figure VI. 11: Masques proches fixes et Masques amovibles.	63
Figure VI. 12: Génération du projet.	63
Figure VI. 13: Schéma de projet généré.....	64
Figure VI. 14: Les composants de la maison sur TRNbuild	65
Figure VI. 15: simulation du projet sur TRNSYS.....	65
Figure VI. 16: Schéma de l'installation choisi sur COMBISYS.....	66
Figure VI. 17: conception d'un system combine.	67
Figure VI. 18: conception d'un system combine.	67
Figure VI. 19: Température en 2023 à Alger- Bouzereah.....	68
Figure VI. 20: Température annuelle en 2024 à Alger-Bouzereah	68
Figure VI. 21 : Température en 2023 à Laghouat	69
Figure VI. 22: Température en 2024 à Laghouat	69
Figure VI. 23: Degrés-jours et ensoleillement en 2023 à Alger Bouzereah.....	70
Figure VI. 24: Degrés-jours et ensoleillement en 2023 à Laghouat.....	70
Figure VI. 25: Degrés-jours et ensoleillement en 2024 à Alger Bouzereah.....	71
Figure VI. 26: Degrés-jours et ensoleillement en 2024 à Laghouat.....	71

Chapitre I : Généralités sur l’audit énergétique

Tableau I. 1: Consommation finale par produit.....	5
Tableau I. 2: Consommation finale par Secteur	7

Chapitre II : Méthodologie d’audit énergétique

Tableau II. 1: Mesures de contrôle énergétique	26
Tableau II. 2: Liste des auditeurs agréés en 2015 et 2016.....	32

Chapitre IV : Calcul de la consommation énergétique en Algérie

Tableau VI. 1: les caractéristiques de maison dans les deux cas.....	54
Tableau VI. 2: Composition des parois de la maison.....	55
Tableau VI. 3: températures ambiantes du site de Bouzareah.....	56

Notations et symboles Abréviations

Notations et symboles Abréviations

Unités Physiques

Tep	Tonne équivalent Pétrole	Tonne
GWh	Giga Wattheure	GWh
K Tonnes	Kilo Tonnes	KT
K Tep	Kilo tonne équivalent pétrole	K Tep
M Tep	Million de tonnes équivalent pétrole	M Tep

Abréviations

GN	Gaz Nature	
GNL	Gaz Naturel Liquéfié	
GPL	Les Gaz de Pétrole Liquéfiés	
ISMME	Industries Sidérurgiques, Métalliques, Mécaniques et Électriques	
APRUE	Agence Natioanle pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Enegrie.	

Notations et symboles

Symboles	Désignations	Unités
a	Diffusivité	m ² /s
a	Azimut du soleil	Degré
BV	Coefficient de besoins thermique	W/°C
C _p	Capacité calorifique de l'eau	J/Kg.°C
C _{pa}	Chaleur massique de l'air	
D	Rayonnement Diffus sur le plan incliné	W/m ²
Dj	Durée du jour	Heure
E	Emittance d'une surface a la température Ta	W/m ²
F	Facteur d'apport gratuit	
G	Energie solaire globale journalière moyenne	KWh / m ² .jour
G	Rayonnement Global sur le plan incliné	W/m ²
GV	Coefficient de déperdition thermique	W/°C
G*	Eclairement solaire	W/m ² .
h	Hauteur du soleil	Degré
K	Coefficient de transmission surfacique	W/m ² .°C
L	Longitude du lieu	Degré
L	Largeur de la surface absorbante	m
M	Débit massique par unité de surface de capteur	kg/s.m ²
m	Débit massique par tuyauterie	kg/s
n	Numéro du jour de l'année	
n	Nombre de tuyauteries	
P	Le pas de tuyauteries	m
PSU	Puissance solaire utile moyenne journalière	KWh/m ² .j
Q _a	Déperditions par renouvellement d'air	W
Q _c	Besoins en chauffage	KWh
Q _{chauff}	Besoins en eau chaude sanitaire	KWh
Q _i	Apports internes à la maison	W

Notations et symboles Abréviations

R _{th}	Résistance thermique totale	m ² °C/W
re	Résistance superficielle extérieure	m ² °C/W
ri	Résistance superficielle intérieure	m ² °C/W
T _i	Température de consigne	°C
S	Surface totale de l'enveloppe de la maison	m ²
S	Rayonnement Direct sur le plan incliné	W/m ²
S _{ch}	Surface de captation pour le chauffage	m ²
S _{ecs}	Surface de captation pour l'eau chaude sanitaire	m ²
SS	Durée d'insolation	Heure
SS ₀	Durée maximale d'insolation	Heure
TL	Temps légal	Heure
TU	Temps universel	Heure
TSM	Temps solaire moyen	Heures
TSV	Temps solaire vrai.	Heures
T _a	Température ambiante	°C
T _{fe}	Température d'entrée du fluide dans le capteur	°C
T _{fs}	Température de sortie du fluide dans le capteur	°C
T _p	Température de la paroi	°C
T _{sc}	Température sans chauffage	°C
v	Débit volumique de fluide dans la tuyauterie	m ³ /s.
δ	La déclinaison	Degré
ε	Emissivité	
φ	Latitude	Degré
Φ	Energie absorbée par le capteur	W
Φ _u	Energie emmagasinée dans le fluide caloporteur (énergie utile)	W
Φ _a	Energie perdue vers l'extérieur par convection et rayonnement	W
Φ _t	Energie de démarrage nécessaire à la montée de température du capteur.	W
Φ _m	Déperditions par les murs	W
Φ _t	Déperditions par le toit	W
Φ _p	Déperditions par le plancher	W
Φ _v	Déperditions par les fenêtres	W
Φ _{po}	Déperditions par les portes	W
Φ _{ex}	Déperditions totales coté extérieur	W
Φ _{Tt}	Déperditions totales par enveloppe de la maison	W
Δ	décalage administrative	Heure

ملخص

انطلق نشاط التدقيق الطاقي في الجزائر فعليا سنة 2014 طبقا لأحكام المرسوم التنفيذي رقم 05-495 المؤرخ في 26 ديسمبر 2005 المعدل والمتمم المتعلق بالرقابة الطاقوية على المنشآت التي تستهلك كميات كبيرة من الطاقة. من خلال هذا الموضوع، نريد تقديم مذكرة تعرض الإجراء التقني لمراجعة الطاقة في قطاع البناء وإسقاطاتها في الجزائر، وقمنا أيضًا بإجراء المحاكاة على برنامج TRNSYS، والذي حصلنا على نتائجه على موقع INFOCLIMA، مع الاقتباس من دورة التدقيق في الجزائر، النصوص التنظيمية والموصوفة، مراقبو الحسابات الجزائريون. وسننتهي بمقترحات حول إمكانية أن نكون جزءًا من اقتصاد الطاقة بشكل مريح يميل نحو المعايير الدولية.

الكلمات المفتاحية : التدقيق الطاقوي، الفعالية الطاقوية، معايير الطاقة، استهلاك الطاقة، تحول الطاقة.

Résumé

L'activité d'audit énergétique en Algérie a été lancée effectivement en 2014, conformément aux dispositions du décret exécutif n°05-495 du 26 décembre 2005, modifié et complété relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie. A travers ce sujet, nous voulons faire un mémoire qui présente la procédure technique de l'audit énergétique dans le secteur de bâtiment et sa projection en Algérie, Nous avons également effectué la simulation sur logiciel TRNSYS, dont nous avons obtenu les résultats sur le site INFOCLIMA, avec une citation de le parcours de l'audite en Algérie, les textes règlementaires et décrits, les auditeurs Algériens. et nous terminerons par des propositions de possibilité de faire partie de l'économie de l'énergie dans un confort tend vers les normes internationales.

Mots clés : Audit énergétique, efficacité énergétique, normes énergétique, consommation énergétique, Transition énergétique.

Abstract

The energy audit activity in Algeria was effectively launched in 2014, in accordance with the provisions of Executive Decree No. 05-495 of 26 December 2005, amended and supplemented concerning the energy audit of energy-intensive establishments. Through this subject, we want to make a brief that presents the technical procedure of the energy audit in the building sector and its projection in Algeria. We also carried out the simulation on TRNSYS software, the results of which we obtained on the INFOCLIMA website with a quote of the audit trail in Algeria, the regulatory texts and described, the Algerian auditors. and we will end with proposals of the possibility of being part of the energy economy in a comfort tending towards international standards.

Keywords: Energy audit, energy efficiency, energy standards, energy consumption, Energetic transition.

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

L'activité d'audit énergétique a été lancée effectivement en 2014, conformément aux dispositions du décret exécutif n°05-495 du 26 décembre 2005, modifié et complété relatif à l'audit énergétique des établissements grands consommateurs d'énergie [1]. Les audits énergétiques permettent d'évaluer la consommation d'énergie dans les immeubles et les locaux, d'identifier les points faibles et d'améliorer la performance énergétique.

L'Algérie ne fait pas l'exception des pays en voie de développement, dont la croissance continue de la population et de la construction est le principal facteur de la demande accrue en énergie dans le secteur des bâtiments. Des modèles de construction étrangers se sont généralisés sur tout le territoire algérien, inappropriée au contexte culturel, social et climatique du pays. En conséquence, le secteur bâtiments a été classé le plus énergivore avec une consommation qui représente environ de 44 % de la consommation finale. [1]

Pour cela, l'Algérie met en œuvre un programme national d'efficacité énergétique (PNEE) à l'horizon 2030 [2]. L'objectif principal de ce programme est de diminuer la consommation de 9 % en substituant les énergies à l'échelle inter-énergétique et en introduisant des équipements et des technologies performantes dans tous les domaines tels que le bâtiment, le transport et l'industrie.

A travers de sujet d'audit énergétique, nous voulons faire un mémoire qui présente la procédure technique de l'audit énergétique dans le secteur de bâtiment et sa projection en Algérie, en citons le parcours de l'audite en Algérie, les textes règlementaires et décrits, les auditeurs Algériens. L'audit énergétique dans le monde et nous terminerons par des propositions de possibilité de faire partie de l'économie de l'énergie dans un confort tend vers les normes internationales.

L'objectif principal de ce travail est de connaître les différentes méthodes de calcul de la consommation d'énergie. Ce travail peut également aborder les solutions nécessaires pour améliorer la performance énergétique, afin de réduire la consommation excessive d'énergie en Algérie. Comme le but d'audit énergétique est de réduire les coûts énergétiques, de réduire l'empreinte écologique et d'améliorer la performance énergétique globale.

Introduction générale

Ce travail comprend quatre chapitres qui nous expliquent l'importance de notre sujet.

Dans le premier chapitre, nous exprimons de manière générale de l'audit énergétique en Algérie, où nous allons expliquer ce dernier ainsi que son objectif, notamment les statistiques tirées du Ministère des Energies Renouvelables en Algérie. À la fin du chapitre, nous nous sommes concentrés sur les normes internationales et nationales adoptées et utilisées en audit énergétique.

Le deuxième chapitre décrit de la méthodologie de l'audit énergétique, c'est-à-dire de sa procédure et de ses différentes phases, qui sont représentés en trois phases : première phase (l'audit préliminaire), deuxième phase (l'audit détaillé), et troisième phase (la recherche de solutions d'amélioration).

Dans le troisième chapitre, nous exposons les programmes d'audit énergétique en Algérie, qui comprend le programme de découverte des énergies renouvelables. Ainsi que le programme national d'efficacité énergétique.

Comme une partie d'application du sujet en question dans le quatrième chapitre, nous allons aborder les différentes méthodes de calcul de la consommation d'énergie. Et à travers d'un exemple d'application en Algérie en utilisant du Logiciel TRNSYS et un site climatique actualisé nous allons faire une contribution pour l'évaluation de la consommation d'énergie pour l'audit énergétique des bâtiments. Enfin, une conclusion avec des perspectives sont déterminées.

Chapitre I :

Généralités sur l'audit énergétique

I. Introduction

L'audit énergétique évalue la consommation d'énergie d'un édifice, installation industrielle ou processus pour réduire les dépenses, réduire l'impact environnemental et améliorer la performance énergétique globale. En effet, il est indispensable pour les entreprises et les individus pour optimiser leur utilisation de l'énergie.

Dans ce chapitre, nous définissons l'audit énergétique en Algérie et des statistiques de consommation énergétique. Nous aborderons également Les étiquettes énergétiques ainsi que les normes internationales et nationales.

I.1 Définition

L'audit énergétique consiste à évaluer la consommation d'énergie des secteurs industriels et des établissements, en se basant sur leur historique. Il s'agit d'analyser les conditions de fonctionnement de ces secteurs pour établir un diagnostic de leur situation énergétique. Il facilite la détection des postes les plus importants en termes de consommation et permet de déduire les améliorations techniques et économiquement réalisables. En d'autres termes, l'audit vise à encourager une utilisation rationnelle de l'énergie en examinant où, pourquoi, comment, combien et quand on consomme de l'énergie. L'audit fournit des indications pour déterminer où et comment des mesures d'économie d'énergie, et donc de coûts, peuvent être mises en place, où et comment une récupération d'énergie est possible ou une conversion à d'autres sources d'énergie, alternatives ou non. [3]

On utilise fréquemment le mot « audit énergétique » et il peut prendre différentes significations en fonction des entreprises. Les entreprises proposant cette prestation utilisent également des expressions telles que : « diagnostic thermique », « expertise des consommations », « expertise et audit approfondi ». L'audit énergétique dans ces secteurs utilise différents moyens, allant de la simple visite des installations qui suggère des améliorations à l'analyse détaillée avec simulation horaire, en passant par la mise en œuvre d'une métrologie plus ou moins approfondie. Peu importe le contexte dans lequel les services peuvent être réalisés.

Selon une étude réalisée par l'APRUE [2], les secteurs industriels et les établissements ont une influence importante sur la consommation totale d'énergie en Algérie, représentant 42% de la consommation finale. Il est essentiel d'identifier préalablement les postes les plus consommateurs d'énergie et les périodes où cette énergie est le plus utilisée, ainsi que d'améliorer son efficacité. C'est pourquoi il est essentiel de réaliser un audit énergétique. [4].

I.2 Objectifs de l'audit énergétique

L'objectif essentiel de cette évaluation énergétique est de détecter les solutions performantes qui permettent une réduction significative de la consommation énergétique. Ces recommandations doivent être basées sur l'étude d'un échantillon d'activités consommatrices d'énergie (transports, industriels...), telles qu'elles sont recensées par leurs factures d'énergie. Ces solutions doivent pouvoir s'appliquer à toute l'entité, pour toute activité comparable à celle de l'échantillonnage. L'audit énergétique vise principalement à diminuer les dépenses énergétiques, à réduire l'impact environnemental et à améliorer la performance énergétique globale.

I.3 les statistiques :

En 2021, la consommation finale d'énergie atteint 50,2 M Tep. À la suite d'une baisse de - 8,6% en 2020, elle a connu une augmentation de 8,0 % en 2021, pour retrouver celle de 2019. Elle a été motivée par l'augmentation de la consommation de presque tous les produits. Les sources d'énergie, principalement l'électricité et le gaz naturel. [4]

La figure I.1 montre les différents flux énergétiques et la consommation finale d'énergie :

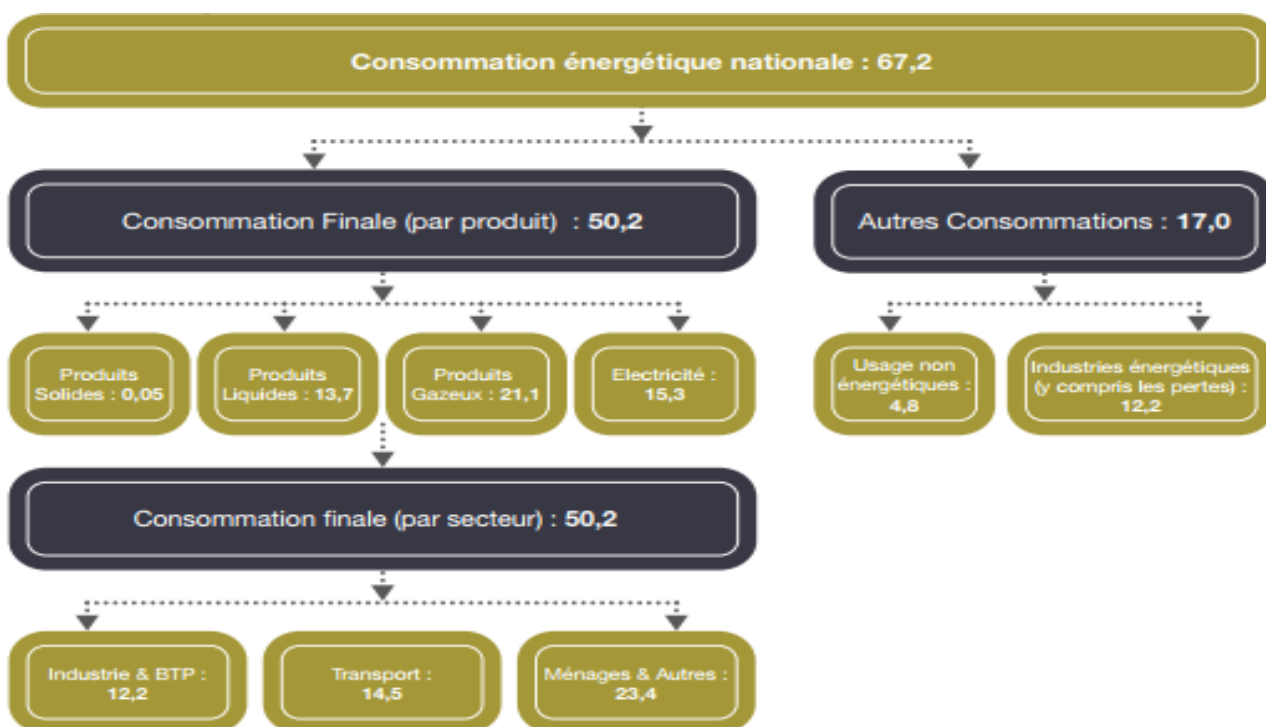


Figure I. 1:Le diagramme illustre les différents flux énergétiques de l'année 2021, de la production primaire à la consommation finale d'énergie. [4].

D'après le diagramme ci-dessus, la consommation nationale d'énergie est divisée en trois sections : consommation finale par produit, et par secteur, et la dernière section est liée aux autres consommations. Nous l'expliquons à travers les éléments suivants :

I.3.1 Par Produit :

L'évolution de la consommation finale, par produit, est détaillée ci-après :

Tableau I. 1: Consommation finale par produit [4].

Produit	Unités	2020	2021	Evolution	
				Quantité	(%)
Produits pétroliers ¹²	K Tep	13135	13686	551	4,2
	K Tonnes	12569	13099		
Gaz naturel	K Tep	16843	17930	1087	6,5
	10 ⁶ m ³	17823	18974		
Electricité	K Tep	13614	15348	1733	12,7
	GWh	58898	63442		
GPL	K Tep	2853	3157	304	10,6
	K Tonnes	2418	2675		
Coke sidérurgique	K Tep	10	47	38	377,9
	K Tec	14	68		
Autres : Bois	K Tep	11	2	-8	-76,6
	K Tec	54	13		
TOTAL	K Tep	46466	50171	3705	8,0

Du tableau I.1 ci-dessus, il ressort ce qui suit :

- La consommation finale d'électricité a connu une nette augmentation (12,7%), passant de 13,6 M Tep en 2020 à 15,3 M Tep en 2021, grâce à la croissance de 4,7 % du nombre de clients de Sonelgaz, qui s'est élevé à près de 11,0 millions d'abonnés en 2021.
- Une augmentation des demandes d'électricité.

- En 2021, la consommation finale du gaz naturel a augmenté de 6,5 % pour atteindre 17,9 M Tep, ce qui s'explique par l'augmentation de la consommation des clients de Sonelgaz, y compris ceux des ménages (5,1%) et des industriels (10,9%). Sonelgaz compte désormais 6,9 millions d'abonnés, ce qui représente une augmentation de 6,8% par rapport à 2020.
- La demande de produits pétroliers sur le marché national a augmenté de 4,2 % pour atteindre 13,7 M Tep en 2021, contre 13,1 M Tep en 2020. La hausse s'est concentrée principalement sur les carburants de base (essence, gasoil et GPL/C), en raison de la diminution des prix. Les autorités ont mis en place des mesures de suspension du transport public et ferroviaire (voyageurs) en raison de l'épidémie de Covid-19.

En ce qui concerne la distribution de la consommation finale par produit, comme le montre le graphique ci-dessous, (Figure :I.2) le gaz naturel occupe la première place (36%), suivi de l'électricité (31%) et enfin des produits pétroliers (27%). [4]

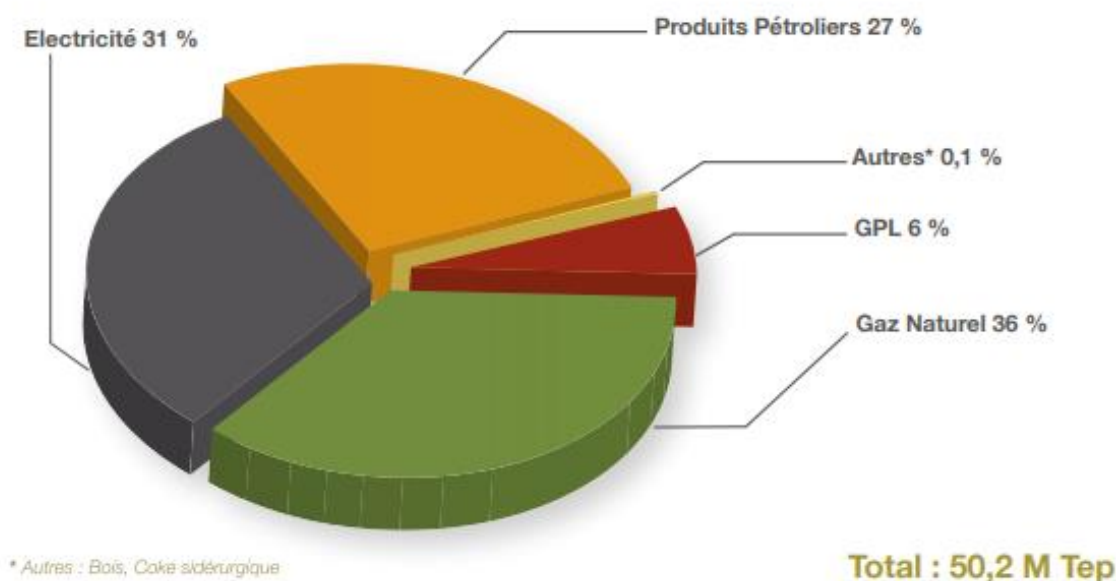


Figure I. 2: Structure de la consommation finale d'énergie par produit (bilan énergétique). [4].

I.3.2 Par Secteur

En fonction du domaine d'activité, la consommation finale de 2021 a été marquée par les changements suivants [4] :

- Le secteur des « Ménages et autres » a connu une augmentation de sa demande de 6,2 %, passant de 22,1 M Tep en 2020 à 23,4 M Tep en 2021, entraînée par le sous-secteur résidentiel (4,4%) et le sous-secteur Tertiaires et autres (12,3%).

- Le secteur des "transports" a connu une reprise de 7,6% de sa consommation, passant de 13,5 M Tep en 2020 à 14,5 M Tep en 2021, principalement grâce à la consommation de carburants terre et aérien (gasoil 5,1%), GPL/C (35,8%), essences (1,8%) et jet (15,1%), en lien avec la reprise du transport routier et l'ouverture graduelle de l'espace aérien.
- La consommation du secteur «Industries et BTP» a connu une hausse significative (12%) à 12,2 M Tep en 2021, en lien avec la reprise de l'activité économique, notamment dans les sous-secteurs ISMME, industries agroalimentaires, chimie et matériaux de construction.

Le détail de la consommation finale par secteur d'activité, est donné ci-après dans le tableau I.2 :

Tableau I. 2: Consommation finale par Secteur [4].

Unité : K Tep	2020	2021	Evolution	
			Quantité	(%)
Industrie et BTP, dont :	10911	12220	1309	12,0
- Matériaux de construction	4768	4887	120	2,5
- ISMME	1942	2586	644	33,2
- BTP	605	619	14	2,3
Industries Manufacturieres :	1252	1321	68	5,5
Dont : industries Agroalimentaires	1128	1185	57	5,1
- Chimie	409	851	442	108,2
- Autres Industries	1935	1956	22	1,1
Transport, dont :	13499	14520	1021	7,6
- Routier	12847	13764	917	7,1
- Aerien	214	246	32	15,0
Ménages et autres, dont :	22056	23431	1375	6,2
- Résidentiel	17299	18053	754	4,4
- Agriculture	565	672	107	18,8
- Tertiaires et autres	4192	4706	515	12,3
TOTAL	46466	50171	3705	8,0

La structure de la consommation finale reste dominée par le secteur des « Ménages & autres » (47%), suivi par le secteur du transport (29%) et enfin le secteur de « l'industrie et BTP » avec une part de 24%, comme illustré dans la figure I.3 .

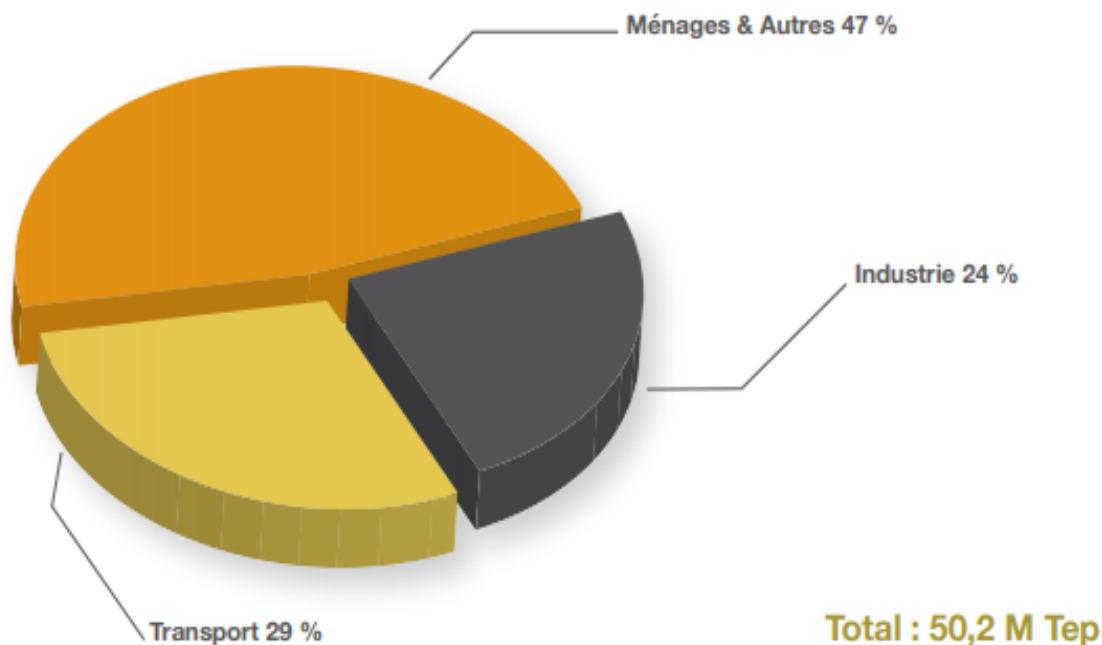


Figure I. 3: Structure de la consommation finale d'énergie par secteur d'activité [4].

I.4 Les étiquettes énergétiques :

L'étiquette "énergie" représente la quantité d'énergie primaire (EP) utilisée par un bâtiment. On obtient cette consommation primaire d'énergie en multipliant la consommation d'énergie du bâtiment par un coefficient afin de prendre en compte les pertes dans le réseau de production et de distribution. Cette étiquette indique la classe à laquelle appartient le produit, en allant : du plus économe, classé «A». Au moins économe, classé «G» ou «I» selon les cas.

- Deux critères sont employés afin de caractériser chaque bâtiment : l'énergie probable consommée, exprimée en kilowattheures par mètre carré et par an,
- La production de gaz à effet de serre (GES), exprimée en kilogrammes de CO₂ par mètre carré et par an.
- La définition des classes (exemple : A à G), et de la représentation graphique, normalement colorée, conforme aux principes des illustrations présentées aux figures suivantes :

- Pour les bâtiments à usage d'habitation :
L'étiquette d'énergie se présente comme suit.

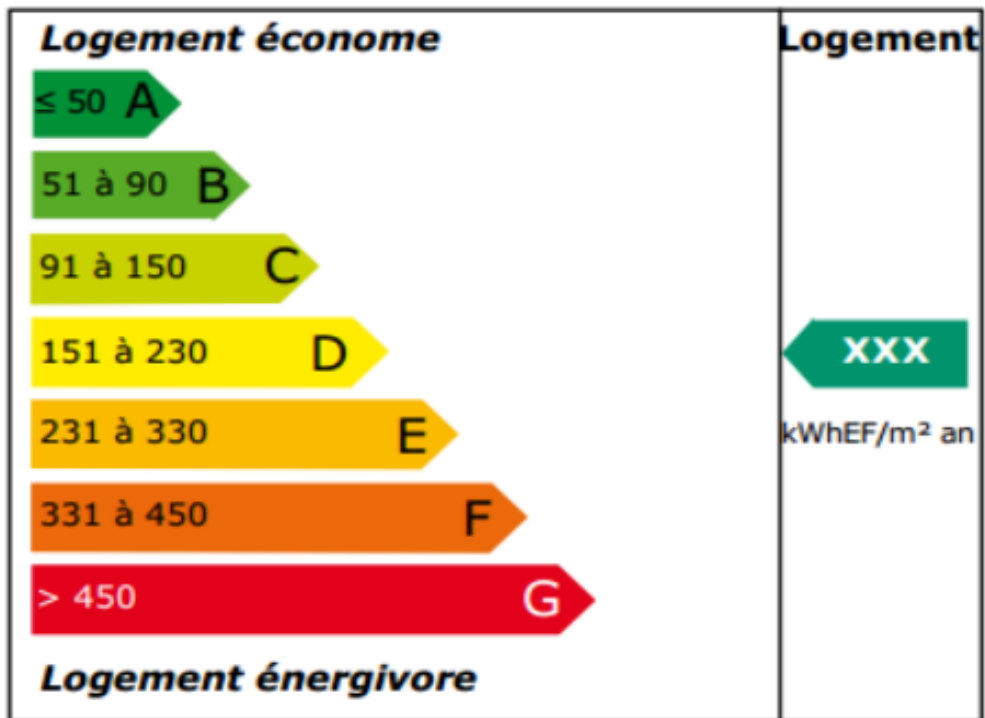


Figure I. 4: L'étiquette d'énergie des bâtiments à usage d'habitation [5].

- Pour les bâtiments à usage autre que d'habitation :

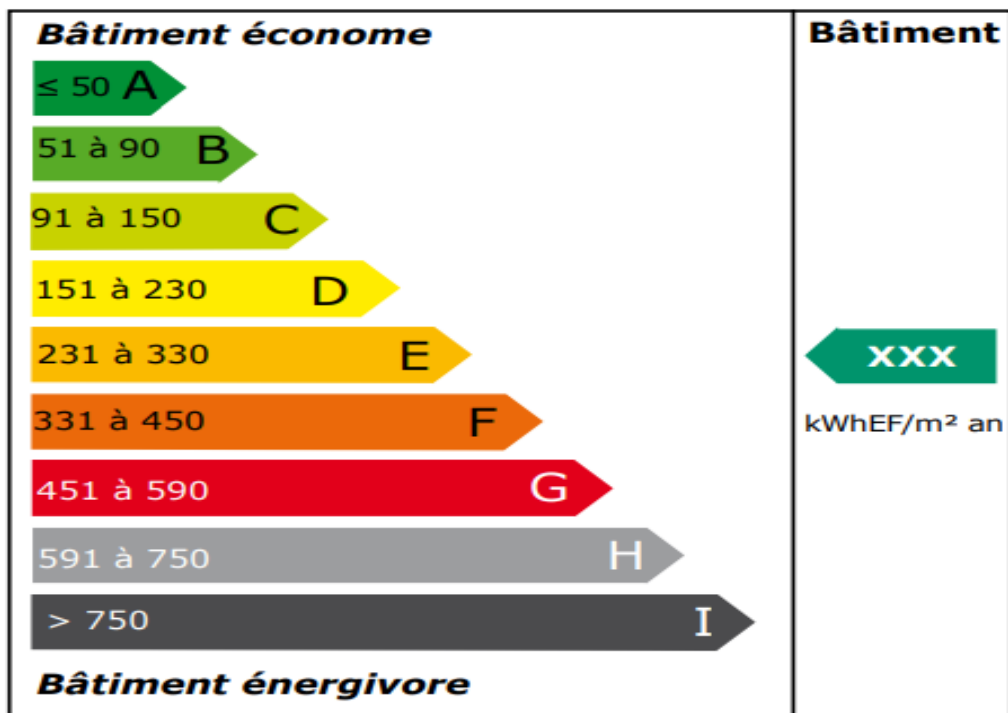


Figure I. 5: L'étiquette d'énergie des bâtiments à usage autre que d'habitation [5].

- Pour les bâtiments à usage d'habitation : L'étiquette de Climat se présente comme suit.

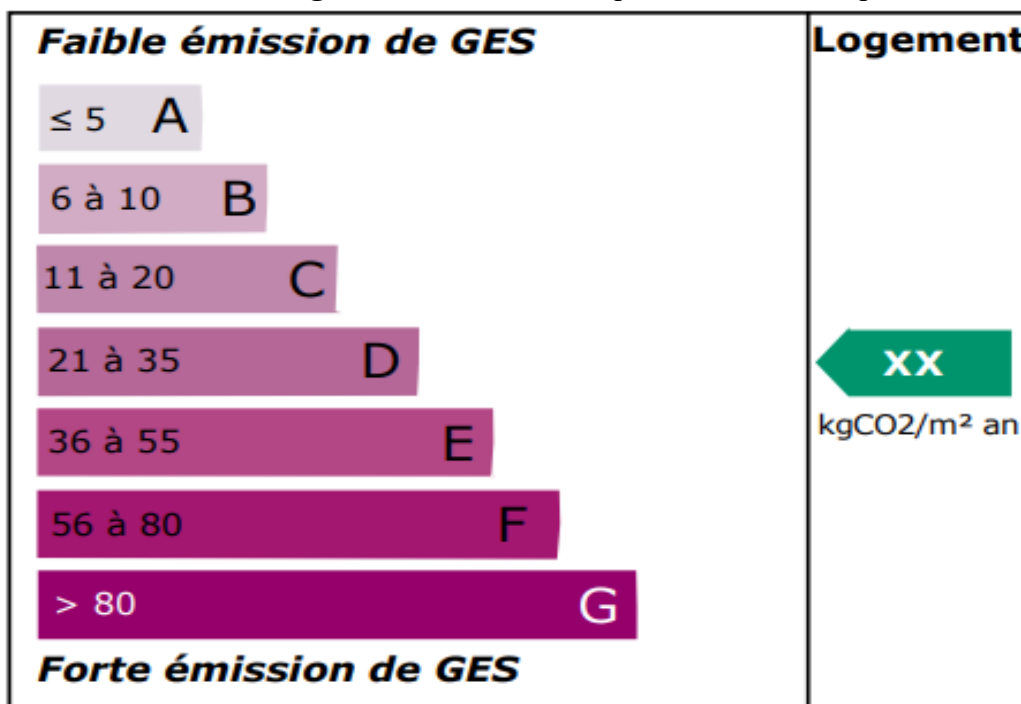


Figure I. 6: L'étiquette de climat des bâtiments à usage d'habitation [5].

- Pour les bâtiments à usage autre que d'habitation :

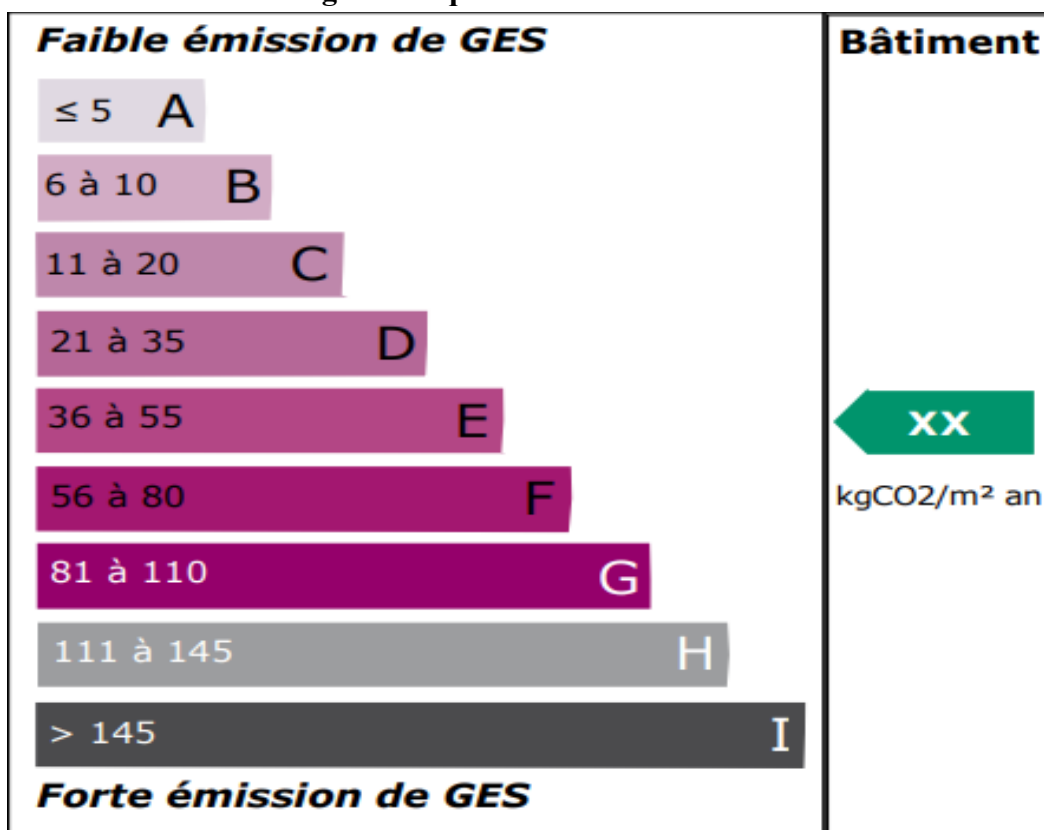


Figure I. 7: L'étiquette de climat des bâtiments à usage autre que d'habitation [5].

I.5 Les normes internationale d'audit énergétique

Les normes de l'audit énergétique constituent des écrits qui établissent les critères et les étapes à suivre afin de mener à bien un audit énergétique. Des organismes de normalisation, comme l'AFNOR en France ou l'ISO à l'échelle internationale, les élaborent.

L'objectif des normes de l'audit énergétique est d'assurer la qualité et la fiabilité des audits en matière d'énergie. Elles garantissent que les audits sont effectués de manière objective et impartiale, et que les recommandations formulées sont pertinentes et réalisables.

Tous les types d'audits énergétiques peuvent être soumis aux normes de l'audit énergétique, que ce soit pour des bâtiments, des installations industrielles ou des entreprises. Les systèmes d'accréditation et de certification sont généralement fondés sur des normes nationales et internationales ; heureusement, en plus d'une norme existante pour les vérifications énergétiques publiée par l'organisme européen de normalisation CEN, il existe aujourd'hui plusieurs normes pour l'audit dans le développement.

I.5.1 Les Normes applicable à l'audit énergétique [5].

- **NF EN 16247 : Audits énergétiques**

- La série de Normes spécifie les exigences, la méthodologie et les livrables d'un audit énergétique. Elle s'applique à tous les types d'établissements et d'organismes, à toutes les formes d'énergie et à tous les usages énergétiques, à l'exclusion des maisons individuelles privées.

- La série de Normes traite des exigences générales communes à l'ensemble des audits énergétiques. Des exigences spécifiques viennent compléter ces exigences générales dans des parties distinctes dédiées aux audits énergétiques des bâtiments, des procédés industriels, des transports et des compétences des auditeurs.

- Les audits énergétiques réglementaires doivent être établis selon la méthode décrite par la série de normes EN 16247 parties 1 à 5.

*La législation des Etats membres de l'UE est adoptée selon l'EN 16247 pour se conformer aux exigences :

- NF EN 16247-1 : Audits énergétiques Partie 1 – Exigences générales – sept 2012
- NF EN 16247-2 : Audits énergétiques Partie 2 – Bâtiments – juillet 2014
- NF EN 16247-3 : Audits énergétiques Partie 3 – Procédés – juillet 2014

- NF EN 16247-4 : Audits énergétiques Partie 4 – Transports – juillet 2014
 - NF EN 16247-5 : Audits énergétiques Partie 5 – Compétences des auditeurs- juin 2015
- énergétiques

Ils existent d'autres normes par pays : Exemples :

- France : Norme BP X 30-120 Fascicule de documentation français publié en 2006. Depuis la sortie des normes EN 16247, ce référentiel est moins utilisé. Il reste néanmoins intéressant pour la richesse de ses annexes que l'on ne retrouve pas dans l'EN 16247-3. Ce document décrit la méthode à adopter pour réaliser un diagnostic énergétique dans l'industrie. Il garantit à l'entreprise des pratiques cohérentes et harmonisées contribuant à la réalisation de diagnostics énergétiques de qualité.

- Espagne : Norma UNE 216501

- Hollande_ Belgique : Méthode EPS

- **ISO 50002 : Audits énergétiques**

- Exigences et recommandations de mise en œuvre – juillet 2014 Le document spécifie les exigences, la méthodologie et les livrables d'un audit énergétique. Il s'applique à tous les types d'établissements et d'organismes, à toutes les formes d'énergie et à tous les usages énergétiques. Etant donné l'existence de la série de normes européennes EN 16247, ce document n'est pas publié en norme française.

- **Système de Management de l'énergie :**

- NF EN ISO 50001** : Exigences et recommandations de mise en œuvre – août 2018.

- La norme spécifie les exigences pour concevoir, mettre en œuvre, entretenir et améliorer un système de management de l'énergie. La finalité consiste à maintenir une amélioration de la performance énergétique d'un organisme à partir d'une gestion méthodique de l'énergie.

- La norme se fonde sur la méthodologie d'amélioration continue dite PDCA (Plan-Do-Check-Act) :

- * Les organismes disposant d'un SMé certifié ISO 50001 sont exonérés de l'audit énergétique réglementaire.

- * La Norme ISO 50001 annule et remplace la norme d'origine européenne EN 16001.

• **NF EN ISO 50004** : Lignes directrices pour la mise en œuvre, la maintenance et l'amélioration d'un système de management de l'énergie – novembre 2014

- La Norme fournit des orientations pratiques et des exemples pour concevoir, mettre en œuvre, entretenir et améliorer un système de management de l'énergie dans un organisme.

- Les orientations pratiques de ce guide ne sont pas prescriptives dans le cadre d'une certification de SMé

• **NF ISO 50006** : -Principes généraux et lignes directrices – mars 2015

-La Norme fournit aux organismes des lignes directrices leur permettant de déterminer, d'utiliser et d'actualiser les indicateurs de performance énergétique (IPÉ) et les situations énergétiques de référence (SER) dans le cadre du processus de mesure de la performance énergétique.

I.5.2 Les Normes National d'audit énergétique :

- **La norme Algérienne NF EN 15217** : Pour développer la performance énergétique d'un bâtiment neuf, ou améliorer la performance énergétique d'un bâtiment existant, nous devrions, en principe, respecter la norme NF EN 15217, (Performance énergétique des bâtiments. Méthodes d'expression de la performance énergétique et de certification énergétique des bâtiments). Même s'il faut parfois adapter cette norme au cas particulier examiné, elle a l'avantage de présenter un ensemble assez complet de procédures de base, classées comme suit : des indicateurs permettant d'exprimer la performance énergétique, des méthodes pour exprimer les exigences pour le neuf ou pour l'existant, les moyens de définir les valeurs de référence, une procédure de certification. Le caractère très technocratique de cette norme, qui vise manifestement à servir d'outil de référence pour les règlements nationaux, a l'inconvénient d'imaginer qu'il faut fixer des objectifs (plus ou moins obligatoires), au lieu d'aider à optimiser les choix. Certaines spécifications sont très caractéristiques à cet égard, exemple : « Les organismes nationaux décident si l'énergie utilisée pour l'éclairage dans les bâtiments résidentiels, ainsi que l'énergie pour d'autres services (par exemple, les appareils électriques, la cuisine, les processus industriels) dans tous les types de bâtiments doivent ou non être incluses dans l'évaluation calculée ». Malgré cette orientation, très réglementaire, certaines procédures peuvent être très utiles bien au-delà même des obligations nationales potentielles envisagées. C'est la raison pour laquelle nous accordons ici de l'importance à cette norme.[7]

- **Les deux types d'évaluation de la norme** : permet deux types d'évaluation énergétique des bâtiments :
 - ✓ une évaluation calculée : incluant les consommations liées au chauffage, au refroidissement, à la ventilation, à l'eau chaude sanitaire et à l'éclairage.
 - ✓ une évaluation mesurée : définie dans un article spécifique de la norme

La norme distingue quatre cadres d'application, précisés par le tableau suivant. En fait la norme en cause peut servir dans quatre cas différents :

1. Pour le permis de construire (lors de la conception), avec les procédures de calcul.
2. Pour les certificats de performance énergétique (sur réalisé ou existant), avec les procédures de calcul.
3. Pour l'optimisation des démarches de réhabilitation (sur existant), et d'une manière générale pour valider les choix d'amélioration, avec les procédures de calcul.
4. Pour les certificats de performance énergétique (sur réalisé ou existant), avec les procédures de mesure.[7]

- **La norme NF EN ISO 50001** : a été utilisée en Algérie comme référence pour les audits énergétiques, car la norme internationale précise les conditions nécessaires pour établir et améliorer un système de gestion de l'énergie (SME), La mise en place de la norme ISO 50001 peut présenter de multiples bénéfices pour l'Algérie, tels que [6]:

La création d'un SME permet aux entreprises de diminuer leur consommation D'énergie, ce qui se traduit par des économies financières et une réduction de L'impact sur l'environnement.

En diminuant sa dépendance aux importations d'hydrocarbures, l'Algérie a la possibilité d'améliorer sa sécurité énergétique et de diminuer sa vulnérabilité face aux variations des prix internationaux.

Les entreprises certifiées ISO 50001 ont la possibilité de se démarquer de leurs concurrents et d'améliorer leur réputation auprès des clients et des investisseurs.

La réduction des émissions de gaz à effet de serre est un défi majeur dans la lutte contre le changement climatique. La mise en place d'un SME peut aider à atteindre cet objectif.

- **la norme ISO 50002** : a été ajoutée des directives précises à la norme ISO 50001 pour la réalisation d'audits énergétiques. Son objectif est d'assurer une supervision rigoureuse et professionnelle des audits énergétiques, afin de fournir des données fiables et pertinentes pour la prise de décision en matière d'efficacité énergétique [5].
- **Les Principes clés de la norme ISO 50002** :

La liberté et l'impartialité des auditeurs énergétiques.

Capacité et expertise des auditeurs spécialisés dans l'énergie.

Gestion minutieuse des audits énergétiques.

Collecte et analyse méthodique des informations.

Analyser les possibilités d'amélioration de l'efficacité énergétique.

Une bonne communication des résultats de l'audit.

Les organisations peuvent bénéficier de la norme ISO 50002 pour compléter la norme ISO 50001 et améliorer leurs performances énergétiques. La mise en place de cette norme peut entraîner de multiples bénéfices économiques et environnementaux pour l'Algérie.

Chapitre II :

Méthodologie

d'audit énergétique

II. Introduction

Pour effectuer un audit énergétique en Algérie, il est essentiel de saisir les diverses options d'audit énergétique disponibles afin d'évaluer la performance énergétique des systèmes et des installations. Les audits préliminaires, détaillés et améliorés sont trois des audits énergétiques les plus couramment utilisés.

Dans ce chapitre, nous apprendrons en détail les différentes étapes de l'audit énergétique, ainsi que les auditeurs.

II.1 Procédure et différentes phases de l'audit énergétique

Première phase : dans cette phase de l'audit énergétique doit permettre, à partir d'une analyse des données disponibles dans l'établissement :

- De réaliser une première approche du bilan énergétique ;
- De comparer les performances énergétiques à des références connues dans son activité
- De dresser une première évaluation des gisements d'économies d'énergies envisageables.
- D'orienter le responsable de l'établissement vers des interventions simples à mettre en œuvre dans le cadre de l'évolution de son établissement et de l'environnement local ;
- D'identifier les domaines à développer dans les phases suivantes de l'étude [8].

Deuxième phase : lors de cette phase le travail de l'auditeur consiste à approfondir l'analyse sur les principaux gisements identifiés dans la première étape et choisis conjointement avec le responsable de l'établissement. Pour cela, il est nécessaire d'établir le bilan énergétique sur la base d'une analyse détaillée de l'existant :

- à partir de données et de calculs ;
- à partir de mesures [8].

Troisième phase : il convient dans cette phase :

- De déterminer les actions à mener sur les procédés et utilités d'une entreprise ou leur mode d'exploitation, afin de réaliser des économies d'énergie ;
- D'identifier et de décrire les solutions aussi précisément que possible et de donner une première approche du coût de mise en œuvre et du temps de retour [8].

II.1.1 Première phase (Audit préliminaire) :

L'évaluation initiale de la consommation d'énergie d'un bâtiment ou d'une installation s'appelle l'audit énergétique préliminaire, qui vise à identifier les zones où il y a une consommation excessive et des améliorations énergétiques potentielles, ce qui permet la mise en œuvre de mesures. Cette phase est la suivante [3].

II. 1.1.1 Déroulement :

Cette étape se déroule en quatre étapes :

a) Préparation de l'audit :

L'auditeur adresse au responsable de l'établissement la liste des documents à fournir lors de la réunion d'enclenchement. Cette liste comprend :

- Un plan masse du site, un descriptif des installations «utilités» et «procédés», des schémas et modes de fonctionnement, les moyens existants de suivi, de comptages et de mesures de l'énergie ;
- Les données de production, les relevés des compteurs, les contrats et factures d'énergie, les consommations d'énergie détaillées ;
- Les études déjà réalisées dans le domaine énergétique, les projets d'investissements.

b) Collecte d'informations :

Lors de la réunion d'enclenchement avec l'auditeur, le responsable de l'établissement remet les documents demandés, fait une présentation générale du site comprenant une description de l'organisation et des procédés mis en œuvre et planifie le déroulement de la visite et des entretiens. La visite des installations «utilités» et «procédés» permet d'investiguer de manière qualitative les postes consommateurs d'énergie. Des relevés et quelques mesures ponctuelles peuvent être réalisés. Les entretiens avec les différents acteurs du site permettent de comprendre le fonctionnement technique et le mode d'exploitation des installations

c) Analyse des données et rédaction du rapport préliminaire :

A l'issue de la visite et des entretiens, l'auditeur traite les données, et rédige le rapport comprenant le bilan de la situation énergétique du site et un programme d'actions.

d) Présentation du rapport préliminaire :

L'analyse préalable est présentée et discutée avec le responsable de l'établissement. La restitution orale est l'occasion pour le responsable de l'établissement et l'auditeur d'échanger leurs points de vue pour permettre au responsable de l'établissement de décider des suites à donner.

II.1.1.2 Approche méthodologique de la première phase :

Les éléments méthodologiques concernent l'analyse des données et l'identification des gisements d'économies.

a) Analyse des données :

Il s'agit :

- De réaliser une première approche du bilan énergétique du site, à partir des factures énergétiques et des volumes de production ;
- D'établir les ratios des consommations énergétiques par unité représentative ;
- D'estimer la répartition des consommations énergétiques, à partir des relevés de compteurs divisionnaires ou à partir des puissances installées et des temps de fonctionnement.

En fonction des données disponibles, des ratios complémentaires peuvent être calculés (consommations spécifiques et de la distribution des utilités, des procédés, etc.). Tous les ratios calculés peuvent être analysés mois par mois sur une ou deux années de référence. À partir des consommations d'énergie détaillées, l'auditeur analyse les fortes variations, les consommations associées aux différentes configurations du site (tranches horaires, weekend, etc.) et l'incidence des conditions climatiques. Les performances énergétiques du site sont comparées à des références connues dans son activité.

b) Identification des gisements d'économies d'énergie :

Les gisements d'économies envisageables sont détectés à partir des consommations spécifiques et de la comparaison du fonctionnement des installations aux meilleures pratiques énergétiques. Cette comparaison peut se répertorier selon cinq domaines d'intervention :

- Les méthodes de production : examen de l'adéquation de l'installation avec la production et les conditions dans lesquelles on la fait fonctionner. La puissance installée est-elle adaptée (sur ou sous dimensionnement) ? L'utilisation de l'outil de production est-elle optimale ?
- Les conditions d'exploitation du matériel : conditions générales de service, état et condition d'entretien du matériel, personnel de maintenance ;
- Les équipements par l'amélioration du rendement dans les bonnes conditions d'exploitation et de réglages ;
- D'éventuels dysfonctionnements, sources d'améliorations potentielles de consommation ;
- Les possibilités de valorisations énergétiques de pertes et rejets.
- La quantification des gisements d'économies est estimée à partir du bilan énergétique et des profils de consommation.

II.1.1.3 Présentation des résultats :

Une restitution des résultats de cette première étape est réalisée auprès du chef de l'établissement sous forme d'un rapport préliminaire comprenant notamment :

- Un descriptif simplifié des principales installations ;
- La première approche du bilan énergétique (répartition des consommations, consommations spécifiques, profils de consommation, comparaison à des ratios de référence) ;
- L'analyse des paramètres de fonctionnement ;
- L'identification et la justification des gisements d'économies, ainsi que la quantification des gains potentiels ;
- La description des interventions simples à mettre en œuvre ;
- La description de la poursuite de l'analyse détaillée (phase 2).

II.1.2 Deuxième phase (Audit détaillée) :

Selon les résultats de la première phase, le responsable de l'établissement en concertation avec l'auditeur décide d'orienter l'audit sur tout ou partie des gisements d'économies identifiés.

Pour cela, il est nécessaire de préciser le bilan énergétique du site ou des postes contenant les gisements potentiels.

L'analyse détaillée réalisée par l'auditeur doit apporter les éléments nécessaires afin :

- D'approfondir les gisements d'économie d'énergie retenus ;
- De consolider le bilan énergétique global du site.
- D'évaluer les émissions polluantes dues aux consommations énergétiques.[3]

II.1.2.1 Déroulement de la deuxième phase :

L'auditeur approfondit les axes de travail préférentiels retenus à l'issue de l'analyse préalable, en établissant les besoins en énergie (en quantité et qualité, suivant les cycles de production ou de fonctionnement et dans le temps) des différents processus, et les moyens énergétiques associés, ainsi que la fourniture en utilités.

a) Collecte d'informations complémentaires :

Cette phase comprend :

- Les entretiens avec les responsables de la conduite, du suivi, de l'exploitation, de la maintenance des matériels et équipements, et des travaux neufs ;
- Les relevés de comptage et de mesures existants ;
- Les campagnes de mesures éventuelles ;
- La documentation complémentaire.

b) Analyse :

L'auditeur analyse les données complémentaires et établit la consommation énergétique du site ou du secteur visé par un gisement, à partir de calculs, de simulations ou d'estimation. La consommation énergétique du site ou du secteur visé par un gisement est comparée aux données réelles. L'analyse est poursuivie jusqu'à la convergence acceptable entre les calculs théoriques et les consommations relevées permettant d'aboutir à la consommation de base.

c) Présentation des résultats

L'auditeur rédige les documents de l'analyse détaillée. Après échanges et discussion avec le responsable de l'établissement, il remet le rapport de son analyse.

II.1.2.2 Approche méthodologique de la 2ème phase :

Ce processus comporte quatre étapes :

a) Définition des besoins :

L'auditeur doit partir des besoins (quantifier et qualifier les fluides nécessaires) et remonter à la distribution et à la production des fluides. Les éventuels dysfonctionnements sont repérés et quantifiés comme source potentielle d'amélioration.

b) Analyse des données et mesures :

Au niveau du site ou du système étudié, l'analyse des données et des résultats de la campagne de mesures consiste à :

- Comparer les résultats aux données de fonctionnement ;
- Rechercher les périodes de fonctionnement pour lesquelles les consommations d'énergie paraissent anormales ;
- Déterminer et calculer des indicateurs (par fluide, par atelier, etc.) permettant d'évaluer la performance énergétique ;
- Identifier les paramètres limitants ;
- Étudier l'adéquation entre les dimensionnements, les systèmes de régulation et les besoins ;
- Appréhender les conditions de conduite, d'entretien et de maintenance ;
- D'identifier et améliorer les paramètres ayant un impact sur l'environnement.
- Sur la base de ces éléments (informations complémentaires, résultats validés de la campagne de mesures) ainsi que de la connaissance de la problématique étudiée par l'auditeur, la quantification du besoin réel est détaillée.

L'auditeur en déduit le gisement de manière précise, par rapport à la situation existante, en fonction des caractéristiques et des contraintes du système.

L'analyse des indicateurs de performance énergétique et des dysfonctionnements conduit à confronter les relevés :

- Aux données théoriques (ratios de la profession) ;
- Aux besoins réels identifiés ;
- Au dimensionnement de l'installation.

c) Réalisation des bilans :

En fonction des éléments complémentaires recueillis, l'auditeur établit des bilans (thermiques, électriques, économiques, etc.) des systèmes étudiés. Ces éléments sont réintégrés dans le bilan global du site. La consolidation du bilan global du site consiste à recouper les résultats de calculs basés sur les données divisionnaires (instrumentation en place et campagne de mesures pour les données manquantes ou douteuses) avec les consommations totales annuelles issues des factures énergétiques ; La répartition des usages des énergies primaires sur le site est détaillée par grands secteurs utilisateurs (unités de production ou ensemble d'unités, bâtiment, production d'utilités, etc.).

La synthèse des diagrammes de flux des différents secteurs permettra d'étudier les synergies possibles, comme par exemple :

- la valorisation d'un rejet thermique sortant d'un secteur et entrant dans un autre ;
- l'organisation de l'activité des différents secteurs pour limiter les puissances instantanées appelées (démarrage différé, délestage, etc.).
- le bilan énergétique du site permet d'aboutir à l'établissement :
- de la part fixe et de la part variable de la consommation énergétique ;
- d'un diagramme de flux énergétiques, mettant en évidence, l'énergie entrante, l'énergie produite, récupérée, l'énergie utile, l'énergie perdue (pertes par les parois, rejets gazeux, effluents liquides, etc.) ;
- des rendements.

d) Description des gisements d'économie d'énergie :

Pour établir le gisement potentiel d'économies, l'auditeur compare, chaque fois que possible, les éléments de son bilan aux ratios de référence de l'activité et aux performances des équipements les plus efficaces au plan énergétique, disponibles sur le marché.

En partant des indicateurs calculés, les gisements d'économies d'énergie sont argumentés.

Après avoir établi le gisement potentiel d'économies, l'auditeur recherche les causes des dérives, par exemple :

- les modes de gestion, de régulation ;
- les choix technologiques ;
- le dimensionnement des équipements ;
- les phénomènes d'usure, d'encrassement, de dégradation ;
- les conditions de maintenance.

II.1.2.3 Résultats :

Une restitution des résultats de cette 2ème phase est réalisée auprès du chef de l'établissement au cours d'une réunion où sont recueillis ses commentaires. Un rapport lui est remis ; il comprend :

- un descriptif simplifié des principales installations techniques : celui-ci doit permettre de situer rapidement les différents postes consommateurs d'énergie sur le site, les lieux concernés par les préconisations et la position des moyens de mesures ou de comptage ;
- les résultats de la campagne de mesures.
- un tableau présentant les caractéristiques générales de chaque équipement étudié ;
- les bilans énergétiques, assortis des hypothèses utilisées et le bilan global du site ;
- une appréciation sur les réseaux de fluides et les comptages primaires (électricité, gaz, eau...) ;
- l'indication des principaux ratios utilisés pour l'analyse énergétique ;
- la consolidation de l'évaluation énergétique des gisements ;
- l'analyse de l'auditeur sur les causes des dérives.

II.1.3 Troisième phase (Recherche des solutions d'amélioration) :

Sur la base de l'analyse détaillée de la 2ème phase et des commentaires du chef de l'établissement, l'auditeur recherche les solutions pour atteindre tout ou partie des gisements.[3]

II.1.3.1 Déroulement :

A partir du bilan énergétique validé correspondant à la consommation de base l'auditeur : - analyse les dysfonctionnements ;

- identifie, quantifie, chiffre et décrit les solutions d'amélioration envisageables à mener pour réduire la facture énergétique ;
- compare les solutions envisageables entre elles ;
- propose des indicateurs de performance énergétique et leur suivi périodique.
- L'auditeur rédige le rapport final et le présente au chef de l'établissement. Les échanges doivent permettre d'aider le gestionnaire de l'établissement dans le choix des solutions à

retenir.

II.1.3.2 Méthodologie pour atteindre les objectifs de cette phase :

a) Identification des solutions :

Les actions possibles sont identifiées par l'auditeur sur la base :

- de sa propre expertise ;
- de l'âge du matériel, de son état, de son mode d'exploitation et de conduite ;
- de la technologie du matériel existant par rapport aux équipements les plus efficaces disponibles sur le marché.

b) Description des solutions :

L'auditeur présente :

- la liste des actions à mettre en place concernant la sensibilisation, la formation du personnel, les comptages de l'énergie et leur suivi ;
- la liste des modifications à apporter aux installations et équipements pour la réalisation des économies, ainsi que leur description sommaire et leur dimensionnement estimé ;
- la liste des modifications à apporter aux modes opératoires ;
- les incidences sur le mode d'exploitation, sur l'entretien et sur la durée de vie des équipements sont signalées, ainsi que les éventuelles contraintes de mise en œuvre, les incidences environnementales.

c) Quantification des économies :

D'énergie Les économies d'énergie attendues des modifications proposées, ainsi que les gains éventuels induits en termes de productivité, de maintenance, de qualité de production, sont évalués. Les retombées positives sur certains critères comme par exemple sur les conditions de travail, de préservation de l'environnement, la sécurité, etc., sont mentionnées. Ces améliorations sont introduites dans le bilan énergétique établi afin d'en faire une simulation, d'estimer leur impact sur la consommation de base et le gain potentiel, en tenant compte des éventuels échanges entre les postes consommateurs d'énergie.

d) Évaluation des solutions :

Les coûts liés aux solutions d'amélioration sont évalués (études, investissement, bonnes pratiques, etc.), ainsi que l'impact sur le bilan d'exploitation du site, afin d'établir notamment les temps de retour brut. Les investissements correspondants et leur temps de retour seront précisés à partir de l'expérience de l'auditeur, des données existant sur le site et de quelques consultations préliminaires auprès des fournisseurs permettant d'établir une estimation budgétaire. La détermination précise des

montants d'investissement est un des objets de l'étude de faisabilité faisant éventuellement suite à l'audit.

e) Présentation des solutions :

Afin de permettre une aide à la décision dans le choix des solutions étudiées, celles-ci sont présentées d'abord de façon indépendante les unes des autres (actions unitaires), puis de façon combinée (plusieurs actions unitaires cohérentes entre elles).

❖ Actions unitaires

Pour chaque action possible, préalablement étudiée, l'auditeur établit une fiche récapitulative comprenant :

- sa classification dans une des trois catégories possibles d'amélioration, pour mémoire : modification des comportements, optimisation des processus, ou évolutions rendant nécessaires des investissements ;
- une description détaillée ;
- le chiffrage de la solution :
 - le gain potentiel en kWh/an ou th/an ;
 - le coût d'investissement, éventuel, et dans ce cas la fiche mentionne le temps de retour brut ;
 - l'incidence sur les coûts d'exploitation et de maintenance, y compris sur les contrats de fourniture des énergies (abonnement, puissance ou débit souscrit) ;
 - l'incidence éventuelle avec d'autres critères d'amélioration (qualité, productivité, etc.) ;
 - les hypothèses de la simulation (coûts énergétiques, durées et périodes de fonctionnement, etc.) ;
 - la durée de vie usuelle ;
- les répercussions sur la formation du personnel, la conduite, l'entretien ; - les contraintes de mise en œuvre ;
- les cohérences, et les éventuels impacts avec les autres actions ;
- les formes de soutien financier éventuel : aides, subventions, incitations fiscales, etc.

❖ Actions combinées

Il sera utile d'étudier les actions de façon combinée dans le cas où :

- plusieurs actions unitaires apparaissent cohérentes entre elles ;
- plusieurs actions interfèrent entre elles, notamment en cas d'impact négatif de certaines sur d'autres. Une fiche récapitulative concernant la combinaison de ces actions pourra être établie sur une base identique à celle décrite précédemment. Cela permettra de dégager le

gain réel de ces actions associées (ce gain n'est pas forcément égal à la somme des gains obtenus pour chaque action unitaire), et de définir éventuellement un plan d'engagement commun de ces actions.

II.2 Les obligations :

II.2.1 De l'auditeur envers l'établissement :[10]

a) **Transparence :**

S'il s'agit d'un prestataire extérieur, l'auditeur s'engage à la transparence vis-à-vis des responsables de l'établissement.

À ce titre, il fournit toutes les informations relatives à :

- son statut juridique ;
- son actionnariat, ainsi que celui de ses principaux actionnaires ;
- ses différentes filiales ;
- ses liens financiers ou autres avec des producteurs ou fournisseurs de biens ou de services en rapport avec ses domaines d'intervention.

b) **Confidentialité :**

L'auditeur s'engage à maintenir strictement confidentiels toutes les informations, documents et résultats produits en exécution de la prestation ainsi que toutes les données et informations qui lui auront été communiquées par le maître d'ouvrage.

c) **Respect des consignes du site :**

L'auditeur doit respecter le règlement intérieur de l'établissement, ainsi que les règles d'hygiène et de sécurité [8].

II.2.2 De l'établissement vers l'auditeur :

Pour être efficace dans son étude, l'auditeur, s'il s'agit d'une personne extérieure au site, a besoin que les responsables de l'établissement :

- lui adjoigne une personne du site pouvant le guider dans ses contacts avec les autres personnes du site, et dans ses déplacements en toute sécurité dans l'établissement ;
- lui donne accès aux parties du site concernées par son étude ;
- lui donne accès aux documents nécessaires à la réalisation des différentes phases du diagnostic énergétique.[10]

II.3 Les mesure :

Il est impossible de calculer avec exactitude des bilans énergétiques et massiques, et les gisements d’économies sans avoir des données exactes, à cet effet des campagnes de mesures doivent être réalisées sur le site de l’audit pour confirmer les informations fournies et les compléter dans le cas échéant. La liste suivante présente les mesures qui doivent être prises lors de la réalisation de l’audit énergétique.[10]

Tableau II. 1: Mesures de contrôle énergétique [10].

Procédé	Variable	Action requise
Utilisation de combustible liquide	Débit du combustible	Mesuré
	Température du combustible	Mesurée
Utilisation d’électricité	Consommation unitaire	Mesurée ou déduite
	Courant	Mesuré ou déduit
	Tension	Mesurée ou déduite
	Facteur de puissance	Mesuré
	Coefficient de charge	Mesuré
	Taux d’utilisation	Mesuré ou déduit
	Bilan de puissance	Mesuré ou déduit
Compensation de l’énergie Réactive	Mesurée ou déduite	
Combustion	Température des fumées	Mesurée
	Débit des fumées	Mesurée
	Produits de combustion	Dérivés
	Air rejeté	Dérivé
	Coefficient de charge	Mesuré
	Taux d’utilisation	Mesuré ou déduit
Gaz	Débit du volume	Mesuré
	Température	Mesurée
	Teneur en humidité	Mesurée
Chaleur	Débit du flux	Mesuré
	Température	Mesurée
	Pression	Mesurée

Air comprimé	Analyse du réseau Taux de fuite Rendement	Mesuré ou calculé Mesuré ou calculé
Groupe de froid	Etude du système Rendement	Mesuré ou calculé
Perte de chaleur des surfaces	Température Superficie Vitesse de l’air	Mesurée Mesurée Mesurée ou calculée

➤ **Types de mesures :**

- Mesures instantanées : Suffisantes pour déterminer la valeur d’un paramètre recherché dans des conditions stables de fonctionnement, par exemple la perte de chaleur d’une surface, les conditions de combustion d’un brûleur, etc. ...
- Mesures instantanées répétées : Nécessaires quand le régime de fonctionnement n’est pas stable.
- Mesures continues : Nécessaires d’effectuer des enregistrements pendant une période assez longue dans des situations où le régime de fonctionnement varie constamment. Ces mesures sont aussi utiles pour déterminer le modèle d’utilisation ou de consommation d’énergie pendant la nuit ou le week-end.

II.4 Instrumentation :

Les instruments de base portables qui sont généralement nécessaires pour effectuer un audit énergétique sont : [10]

- ✓ Analyseur d’oxygène.
- ✓ Analyseur de gaz de combustion (oxygène et gaz carbonique).
- ✓ Tube Pitot ou manomètre (pour mesurer débit des fumées).
- ✓ Pyromètre à infrarouge.
- ✓ Thermomètres avec différentes sondes de température.
- ✓ Débitmètre.
- ✓ Hygromètre ou thermo-hygromètre.
- ✓ Analyseur de réseau électrique (tension, courant, cos α , consommation d’énergie etc.).
- ✓ Ampèremètres.
- ✓ Appareils de mesure de l’éclairage (luxmètre).

- ✓ Analyseur d’harmoniques.
- ✓ Multimètre.
- ✓ Pincès ampérométrique.








Catégorie	Basique		Complet		Expert	
	ref	prix	ref	prix	ref	prix
Luxmètre	 Amprobe LM-120	A	 Extech SDL400	B	 Kimo LIS 30	C
wattmètre	 HT Italia HT4022	B	 Chauvin Arnoux F05	B	 Fluke 435	D
ampèremètre						
voltmètre						
pince ampère métrique						
températures & débits de ventilation	 KIMO LVA + K25	C	 Wohler FA430 Flow Kit	C	 KIMO DBM610	E
analyseur de combustion	 KIMO Kigaz 150	C	 KIMO Kigaz 250	D	Nous consulter	E
caméra thermique	 FLIR E6	E	 Fluke Ti200	F	 FLIR T460	G
logiciel STD	 FISA Visual TTH D					

Figure II.1:Matériel imposé pour les audits bâtiment[11]

II.5 Modalités de réalisation de l'audit énergétique [9]

II.5.1 Visite du site et investigations préliminaires :

L'auditeur effectuera une visite détaillée du site industriel afin d'investiguer de manière précise les postes consommateurs d'énergie. Pour le bon déroulement de l'audit, le maître d'ouvrage désignera une personne chargée de suivre le déroulement de l'audit et de servir d'interlocuteur à l'auditeur.

De même, l'auditeur devra avoir accès aux données dont dispose le maître d'ouvrage exploitant le site en matière de consommations d'énergie (factures d'énergie, études déjà réalisées, rapports des contrôles réglementaires, procédés consommateurs mis en œuvre, schémas correspondants, ...).

La collecte des informations pourra se faire en amont de l'intervention sous forme d'échanges préalables qui permettront :

- de gagner du temps pendant la période d'expertise et donc de diminuer le coût d'intervention
- à l'intervenant de préparer son plan d'action et de rassembler des éléments de comparaison extérieurs ;
- de présenter un devis pour son intervention en explicitant la méthode qu'il se propose de suivre. En tout état de cause, les informations et documents concernant les matériels et les consommations énergétiques devront être fournis par le maître d'ouvrage à l'auditeur au plus tard à son arrivée sur le site concerné.

Au cas où l'audit objet de ce travail fait suite à un pré-audit, le rapport sera fourni à l'auditeur, lequel basera sa prestation sur les résultats et préconisations du dit pré-audit.

II.5.2 Campagne de mesure :

Cette campagne concernera les paramètres caractéristiques du site industriel et des équipements à auditer.

L'auditeur définira dans sa proposition les mesures et calculs à effectuer, ainsi que leur niveau de précision nécessaire. Il lui appartiendra de fournir les équipements de mesure et d'acquisition de données nécessaires, en complément de l'équipement de l'usine, et permettant un suivi continu, pendant la période déterminée, des paramètres retenus et des grandeurs à mesurer. Il en restituera une trace sous forme de tableaux de mesures, de calculs et de courbes.

Afin d'optimiser la qualité de la campagne de mesures, l'auditeur devra préciser également les périodes de scrutation et d'enregistrement des données d'acquisition.

Au cas où certains matériels de mesure peuvent être installés à demeure afin de faciliter le suivi ultérieur des consommations de l'entreprise, l'auditeur en fera la proposition écrite et chiffrée ou fournira lui-même le matériel au maître d'ouvrage, lequel se chargera de faire effectuer, à ses frais, la mise en place du matériel préalablement à l'intervention de l'auditeur.

Les campagnes de mesures à effectuer et les conditions particulières d'essais devront faire l'objet d'un document écrit avant toute intervention, pour validation préalable par le maître d'ouvrage. Pour les fluides, les équipements de mesures devront être adaptés à la nature de la grandeur mesurée et aux conditions d'utilisation qui ont été identifiées lors de l'audit.

La démarche s'effectuera dans le respect des procédures d'intervention correspondant à la législation et aux usages du site.

II.5.3 Détermination des économies :

A partir des mesures et calculs effectués, l'auditeur établira les bilans énergétiques correspondant aux différents secteurs et matériels étudiés et en fera l'analyse afin de déterminer les économies possibles pour chaque équipement ou secteur et de préciser les modifications éventuellement nécessaires. De même il chiffrera le coût et la rentabilité attendus de ses préconisations.

II.5.4 Rapport d'audit :

A l'issue de cette visite d'investigation, l'auditeur procédera à une analyse des données recueillies sur le site et rédigera un rapport faisant état des résultats de son analyse.

Ce rapport contiendra notamment :

a) La présentation de la situation :

Le rapport final de l'audit devra faire apparaître les résultats de l'investigation. Afin de situer l'audit, il sera précisé les secteurs et les équipements concernés, les campagnes de mesures et calculs associés réalisés ainsi que leurs conditions d'exécution, le matériel de mesure et d'acquisition de données mis en œuvre, les données et informations recueillies lors de l'audit.

b) Il sera notamment fourni :

Un descriptif des installations concernées par l'audit ainsi que de la liste des documents remis par le maître d'ouvrage (données de base) ; La liste des équipements audités, leurs caractéristiques, leur dimensionnement, leur mode d'exploitation et leur environnement ;

c) Le descriptif des mesures effectuées avec :

La liste des instruments de mesure utilisés, les périodes de mesures, de scrutation, d'enregistrement, les conditions d'essais, les calculs effectués et le traitement des données (logiciels utilisés) et les commentaires nécessaires à la compréhension des conclusions.

- Le résultat de l'audit, à savoir
- ✓ le coût global de fonctionnement des installations auditées, y compris les coûts de maintenance et d'exploitation afin de servir de référence pour le calcul des économies éventuelles à réaliser,
- ✓ la liste des modifications à apporter aux installations et équipements pour la réalisation des

- économies, ainsi que leur description sommaire et leur dimensionnement estimé,
- ✓ la liste des modifications à apporter aux modes opératoires,
 - ✓ les investissements correspondants (budget) et une première estimation du planning de réalisation,
 - ✓ les propositions d'organisation du travail et de formation du personnel,
 - ✓ les économies d'énergie attendues des modifications proposées, ainsi que les gains éventuels induits de productivité, de maintenance, de qualité de production,
 - ✓ les temps de retour bruts estimés des différentes solutions d'amélioration préconisées,
 - ✓ une analyse de l'impact de ces modifications sur l'environnement (émissions de gaz à effet de serre, effluents, résidus de production, cogénération, emploi éventuel d'énergies renouvelables, etc.).

Une proposition d'équipements de mesures et de gestion (plan de comptage, indicateurs préconisés, calculs correspondants) nécessaires au suivi des économies qui seront réalisées par la mise en œuvre des actions retenues par l'industriel.

Une fiche de synthèse sera rédigée selon le modèle donné en annexe au présent cahier des charges. Placée en tête du rapport, elle rassemblera les principaux résultats issus de l'audit ainsi que les préconisations faites par l'auditeur au responsable du site industriel.

II.5.5 Présentation des résultats :

L'auditeur présentera au maître d'ouvrage le rapport de l'audit. Lors de cette présentation, il précisera suivant les cas :

- a) Les économies réalisables et les modifications à mettre en œuvre :
 - Modification opératoire ;
 - Modification ou remplacement d'un ou plusieurs équipements ;
 - Modification et/ou création d'un système ou de tout ou partie d'une installation.
- b) Les investissements à réaliser avec :
 - Un descriptif succinct ;
 - Une évaluation budgétaire du coût ;
 - Une rentabilité calculée suivant les modalités définies en annexe ;
 - Une première estimation du planning de réalisation et de ses contraintes.
- c) Il proposera enfin un plan de suivi des résultats obtenus avec les tableaux de bord nécessaires. Cette présentation devra permettre :
 - de commenter à l'ensemble des responsables représentant le maître d'ouvrage, les résultats de l'audit,
 - de faire réagir le maître d'ouvrage sur les résultats obtenus,

- de les mettre en cohérence avec les objectifs stratégiques de l'entreprise,
- de convaincre de la pertinence des actions préconisées,
- de définir les priorités, les délais, les responsables de la mise en œuvre des actions au sein de l'entreprise.

II.6 Auditeurs énergétiques :

II.6.1 Définition :

Les consultants auditeurs énergétique jouent un rôle clé dans l'identification des problématiques et des opportunités d'amélioration en termes d'efficacité énergétique. Leur expertise permet de réaliser des études approfondies pour évaluer la consommation énergétique, identifier les sources de gaspillage et proposer des solutions pour réduire la consommation et les émissions de gaz à effet de serre. L'auditrice ou l'auditeur énergétique est missionné par des particuliers, des entreprises, des collectivités locales ou un cabinet d'audit afin de réaliser un état des lieux énergétique d'un bâtiment, d'une maison individuelle ou d'un appartement.

Au cours de sa visite, ce professionnel ou cette professionnelle doit passer en revue une série de points précis, et analyser comment maximiser les économies d'énergie.

Après la visite, l'auditeur énergétique élabore un plan d'action et propose des solutions concrètes pour réduire la consommation de combustible (gaz, fioul, bois...) et/ou d'électricité du bâtiment.

L'activité d'audit énergétique en Algérie a effectivement débuté en 2014, liée à la surveillance énergétique des installations très consommatrices d'énergie. A ce jour, quarante-trois (43) agréments ont été délivrés par les auditeurs énergétiques, suite aux instructions positives des services concernés conformément aux dispositions du décret n°13-424. [1]

Tableau II. 2: Liste des auditeurs agréés en 2015 et 2016 [1].

Nom de l'auditeur	Adresse	Téléphone
BOUHRAOUA Toufik	BP 73 Benchaaben Benkhilil wilaya de Blida	0661704216
SALHI Nour Eddine	N°172, lot Khaiti Staoueli wilaya d'Alger	0555137917
HARIZI Athmane	23, cité amel ain babouche wilaya d'Oum El Bouaghi	0770451087

BEKAKRIA Miloud	Cité El Amiria SEDRATA wilaya de Souk Ahras	0561618501
BAHLOUL Madjid	232 logements Bat 07 n° 07 Gué de Constantine - Alger – Alger	0662807767
KOUIDRI Mohamed	BP 3233 PTT GAR Ouasis Nord Laghouat	0666745146

II.6.2 le rôle d'auditeurs énergétiques :

Les consultants et auditeurs énergétiques sont chargés de différentes tâches liées à l'audit énergétique :

- **Analyse des données :** Ils collectent et analysent les données relatives à la consommation et à la performance énergétique des installations. Ces données comprennent la consommation d'énergie, les factures, les flux de production, etc.
- **Études sur site :** Ils réalisent des visites sur site pour observer les installations, évaluer leur état et identifier les principales sources de gaspillage énergétique.
- **Diagnostic énergétique :** Ils établissent un diagnostic énergétique en identifiant les équipements inefficaces, les pertes d'énergie, les problèmes de maintenance, etc. Ils quantifient également le potentiel d'économie énergétique et proposent des mesures correctives.
- **Recommandations et plan d'action :** Sur la base du diagnostic énergétique, les consultants et auditeurs énergétiques élaborent des recommandations personnalisées pour optimiser la consommation énergétique, réduire les coûts et améliorer la performance environnementale. Ils établissent également un plan d'action pour la mise en œuvre des solutions proposées.
- **Suivi et évaluation :** Les consultants et auditeurs énergétiques assurent un suivi rigoureux de la mise en œuvre des mesures recommandées et évaluent leur efficacité à travers le suivi des données énergétiques et l'analyse des résultats obtenus.

La contribution des consultants et auditeurs énergétiques est essentielle pour guider les décideurs dans la mise en place de politiques et de stratégies énergétiques durables en Algérie. Leur expertise technique et leur connaissance approfondie des technologies et des pratiques efficaces permettent d'optimiser l'utilisation des ressources énergétiques et de contribuer à la transition énergétique du pays.

II.7 Exemple d'une formation :

Au sein de la partie consacrée au rôle des acteurs clés dans l'audit énergétique de l'Algérie, il est essentiel de mettre en lumière l'importance des organismes de formation dans le développement et la mise en œuvre de mesures visant à améliorer l'efficacité énergétique et à promouvoir les énergies renouvelables.

Les organismes de formation jouent un rôle fondamental en offrant des programmes éducatifs spécialisés dans le domaine de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables. Ils contribuent à la formation de professionnels qualifiés capables de concevoir, de mettre en œuvre et de superviser des projets énergétiques durables. Ces formations permettent aux étudiants d'acquérir des compétences techniques et théoriques essentielles pour contribuer à l'audit énergétique et à la mise en œuvre de politiques énergétiques efficaces.

Les universités ont également un rôle clé à jouer dans l'audit énergétique de l'Algérie, en tant qu'institutions de recherche et de développement. Les départements et instituts spécialisés dans les sciences de l'énergie et l'environnement sont en mesure de mener des études approfondies sur les défis énergétiques du pays et de proposer des solutions novatrices. Les chercheurs et les étudiants peuvent mener des projets de recherche visant à optimiser les usages énergétiques, à évaluer l'efficacité des technologies énergétiques existantes et à proposer de nouvelles approches pour répondre aux besoins énergétiques de manière durable. S'engager à suivre les sessions de formation continue des auditeurs organisées par l'APRUE.

❖ APRUE :

L'APRUE est une entreprise publique industrielle et commerciale placée sous l'égide du Ministère de l'Energie et des Mines. Son rôle principal est de mettre en œuvre et de surveiller les programmes nationaux d'économie d'énergie [2], et il a également un rôle dans l'application des termes et conditions d'approbation des auditeurs énergétiques.

Dans le cadre de ce programme, L'APRUE a organisé des sessions de formation pour les experts et les bureaux d'études, et parmi ces formations, on cite par exemple la formation sur l'audit énergétique des bâtiments, et ce, c'était en 2018. Il se concentre sur l'importance de l'audit énergétique et ses différentes méthodes

Le paragraphe suivant représente un exemple de formation réfléchi sur l'audit énergétique dans les bâtiments. Elle a été tirée d'APRUE et explique le contexte de la formation. Son objectif est d'acquérir et de connaître les concepts nécessaires et utiles pour réaliser l'efficacité énergétique et l'audit. Formation vous serez en mesure de maîtriser la méthodologie énergétique.

Formation sur : L'audit énergétique dans le bâtiment [APRUE].

Contexte :

Le secteur tertiaire du bâtiment est considéré comme l'un des secteurs les plus énergivores et la consommation dépasse souvent les 500 TEP par an. Ces établissements sont assujettis à l'audit énergétique instauré dans le décret N° 05-495 du 24 Dhou El Kaada 1426 correspondant au 26 décembre 2005 relatif à l'audit énergétique obligatoire et périodique des établissements grands consommateurs d'énergie.

Les audits énergétiques doivent donc être réalisés par des personnes qualifiées dans le secteur du bâtiment et ce afin d'en assurer la qualité en raison non seulement des retombées économiques qu'ils engendrent mais aussi environnementales. Pour répondre à ces préoccupations, et vu le nombre de demandes enregistrés au courant de l'année 2018, une session de formation a été programmée pour les experts et bureaux d'études.

L'objectif :

1. Maîtriser les aspects législatifs et réglementaires liés à la maîtrise de l'énergie ainsi que les aspects législatifs réglementaires liés à la réglementation thermique du bâtiment.
2. Maîtriser la méthodologie de l'audit énergétique du bâtiment.
3. Connaître les étapes nécessaires pour la conduite d'un diagnostic énergétique.
4. Acquérir ou consolider les notions techniques utiles en efficacité énergétique.
5. Identifier et évaluer les mesures d'efficacité énergétique applicables aux équipements du bâtiment ainsi que ceux applicables à son enveloppe.
6. Rédiger le rapport d'Audit Energétique

Conditions d'accès à la formation :

Conformément à l'arrêté interministériel du 29 septembre 2010 relatif aux modalités d'agrément des auditeurs, les candidats doivent être titulaires d'un diplôme d'ingénieur ou un diplôme universitaire équivalent dans l'une des spécialités techniques suivantes :

- Génie mécanique énergétique / thermique
- Génie chimique
- Génie des procédés
- Electrotechnique
- Electromécanique

Durée :

Entre 10 et 15 jours.

Consistance de la formation :

Notions de base :

- Présentation de la législation et de la réglementation.
- Architecture bioclimatique.
- Rappels sur l'électricité et le gaz.
- Equipements électriques et à gaz.
- Climatisation.
- Eclairage et technique de l'éclairage.

Méthodologie de l'audit énergétiques :

- Introduction aux formulaire et feuille de travail pour la préparation et l'exécution d'audits énergétique
- Unités de mesures

Evaluation et management :

- Application du DTR au calcul des déperditions calorifiques (Bilan hiver/été).
- Evaluation de la consommation d'énergie .
- Evaluation et classification de l'enveloppe du bâtiment et ses éléments de conception.
- Outils de simulation Application

Pratique de l'audit énergétiques :

- Étude de cas d'audits énergétiques réalisés dans des bâtiments.
- Réalisation d'un audit énergétique sur un bâtiment et présentation des résultats primaires.

Conclusion

Les auditeurs énergétiques sont des experts spécialisés dans l'évaluation de la consommation d'énergie, la détection d'inefficacités et la suggestion de solutions. Leur expertise peut conduire à des économies importantes, à une réduction de l'impact sur l'environnement et à une plus grande durabilité.

Chapitre III :

Programmes de l'audit énergétique en Algérie

III. Introduction

L'Algérie commence à investir dans l'énergie verte en mettant en place un programme ambitieux visant à développer les énergies renouvelables (EnR) et à optimiser son utilisation de l'énergie. La vision du gouvernement algérien repose sur une stratégie qui met l'accent sur l'exploitation des ressources inépuisables telles que le solaire, afin de diversifier les sources d'énergie et de préparer l'Algérie de l'avenir. L'Algérie entre dans une nouvelle ère énergétique durable grâce à la fusion des initiatives et des intelligences.

La mise à jour du programme des énergies renouvelables vise à installer environ 22 000 MW de puissance d'origine renouvelable à l'horizon 2030 pour le marché national, en gardant l'option de l'exportation comme objectif stratégique, si les conditions du marché le permettent.

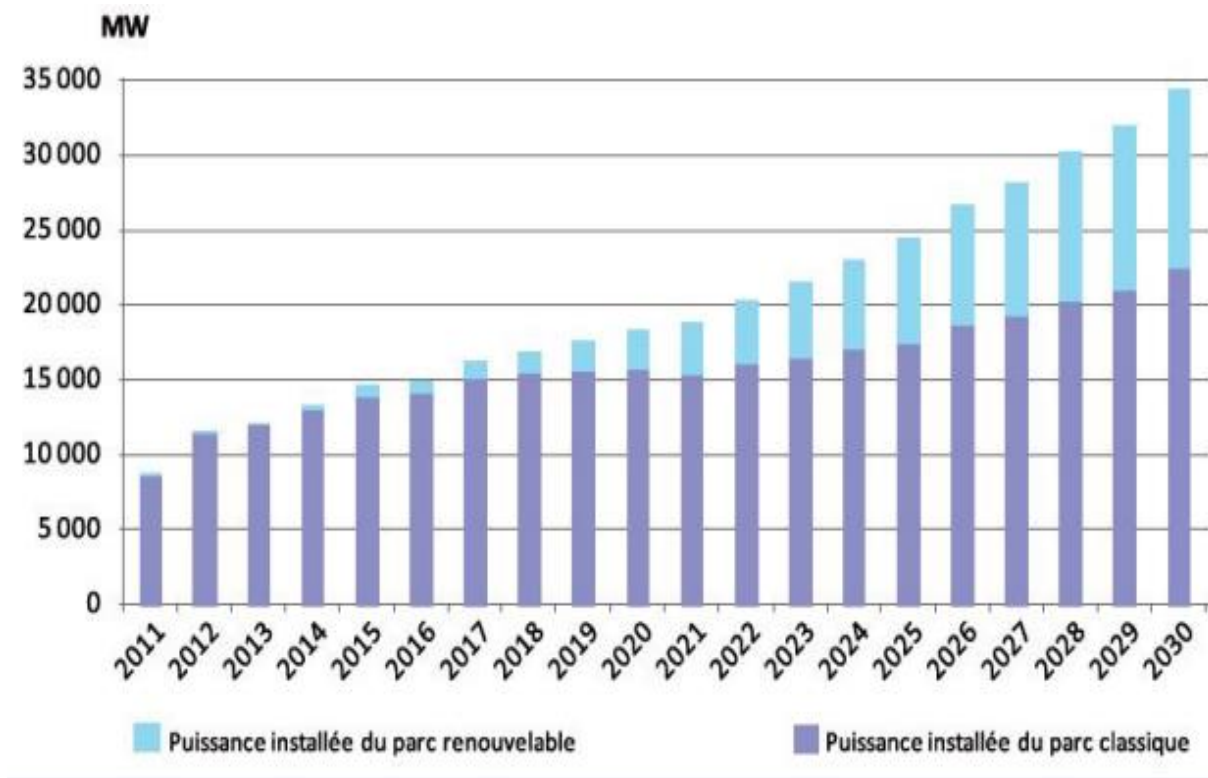


Figure III. 1: Evolution estimée du parc national de production d'électricité, selon le Ministère de l'Énergie et des Mines (MEM).

III.1 Energies Renouvelables

L'Algérie entre dans une nouvelle ère de durabilité énergétique. Dans sa version mise à jour, le programme des énergies renouvelables vise à installer environ 22 000 MW de puissance d'origine renouvelable à l'horizon 2030 pour le marché national, tout en préservant l'option d'exportation Si les conditions du marché le permettent, en tant qu'objectif stratégique [12].

III.1.1 Potentiel Solaire

Vue de sa localisation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaire les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara).

L'énergie reçue annuellement sur une surface horizontale de 1m² soit près de 3 KWh/m² au nord et dépasse 5,6 KWh/m au Grand Sud.

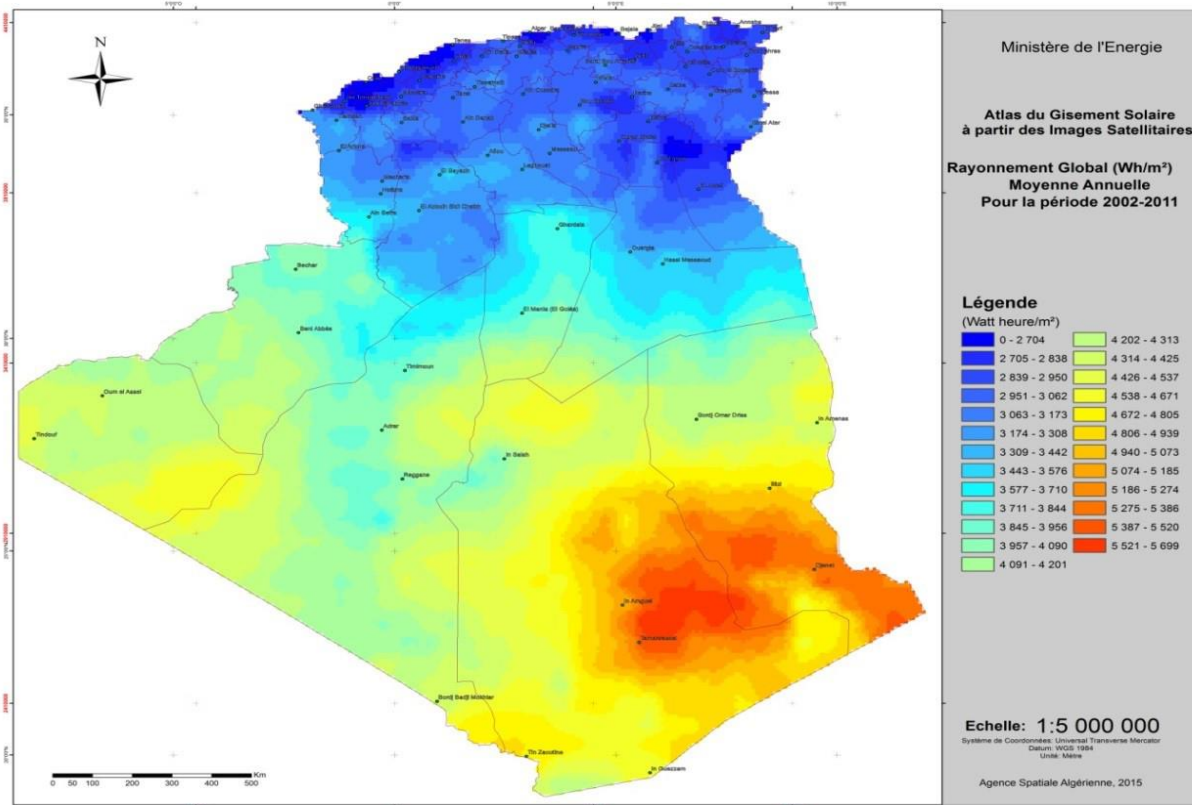


Figure III. 2: Carte de l'Irradiation Globale Directe Annuelle Moyenne (Période 2002-2011)

III.1.2 Potentiel éolien

L'énergie éolienne en Algérie diffère considérablement d'un endroit à l'autre. Cela s'explique en grande partie par une topographie et un climat très variés. Effectivement, notre vaste pays est divisé en deux grandes régions géographiques. La région du Nord méditerranéen se distingue par une côte de 1200 km et un paysage montagneux, avec les deux chaînes de l'Atlas tellien et de l'Atlas saharien.

Des plaines et des hauts plateaux de climat continental s'intercalent entre elles. Le Sud, de son côté, présente un climat saharien.

La figure III.3 illustre que les vitesses sont plus élevées dans le Sud que dans le Nord, en particulier dans le Sud-Est, avec des vitesses supérieures à 7 m/s. Dans la région de Tamanrasset (In Amguel), ils dépassent la valeur de 8 m/s.

En ce qui concerne le Nord, il est généralement observé que la vitesse moyenne est faible. L'existence de microclimats est toutefois observée sur les sites côtiers d'Oran, Bejaïa et Annaba, sur les hauts plateaux de Tébessa, Biskra, M'sila et El Bayadh (6 à 7 m/s), ainsi que dans le Grand Sud (>8 m/s).

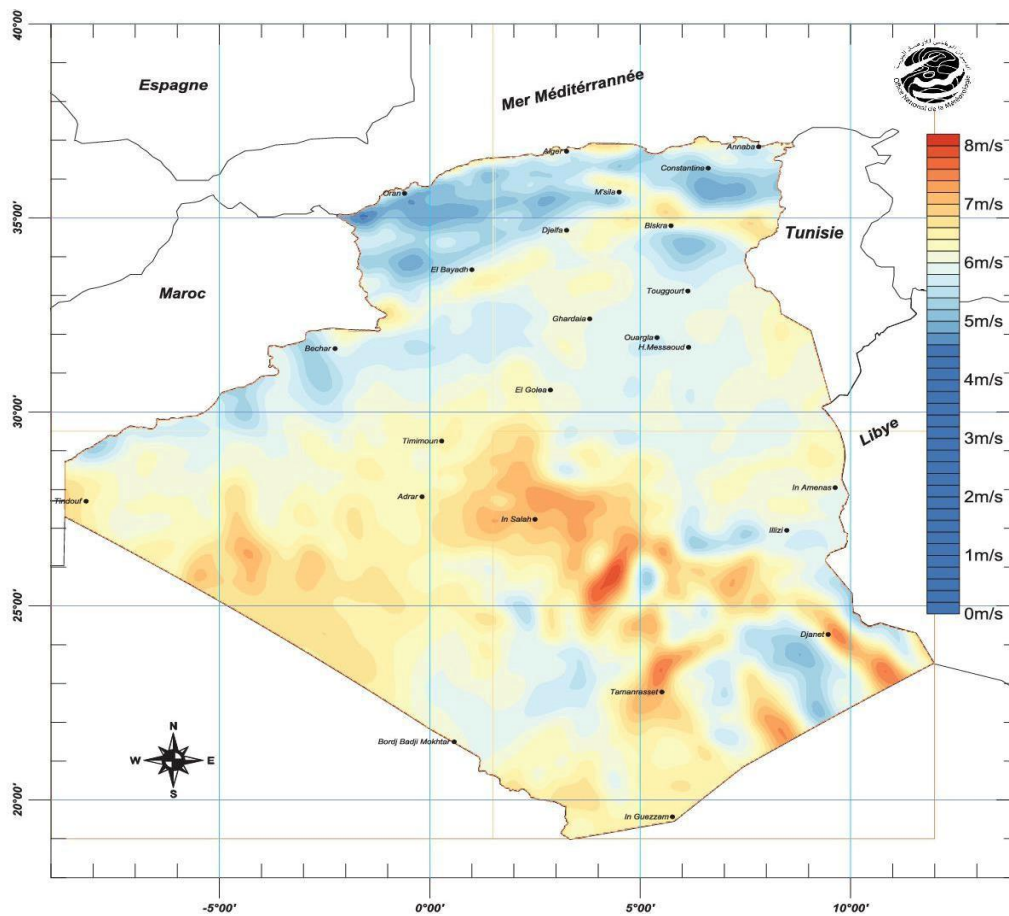


Figure III. 3 : Carte du Vent Annuel Moyen à 50m (Période 2001-2010)

III.1.3 Potentiel de l'Énergie Géothermique

La compilation des données géologiques, géochimiques et géophysique a permis d'identifier plus de deux cent (200) sources chaudes qui ont été inventoriées dans la partie Nord du Pays. Un tiers environ (33%) d'entre elles ont des températures supérieures à 45°C. Il existe des sources à hautes températures pouvant atteindre 118°C à Biskra.

Des études sur le gradient thermique ont permis d'identifier trois zones dont le gradient dépasse les 5°C/100m

- Zone de Relizane et Mascara
- Zone d'AïneBoucif et Sidi Aïssa
- Zone de Guelma et Djebel El Onk

III.1.4. Potentiel Hydraulique

Les précipitations totales sur le territoire algérien sont considérables, avec une estimation de 65 milliards de m³, mais elles apportent peu de bénéfices au pays : un nombre réduit de jours de précipitation, une concentration sur des zones restreintes, une forte évaporation et une évacuation rapide vers la mer. En d'autres termes, les ressources de surface diminuent du nord vers le sud. Les ressources utiles et renouvelables sont actuellement estimées à environ 25 milliards de m³, dont environ 2/3 sont des ressources en surface. On a compté 103 sites de barrages. Actuellement, plus de 50 barrages sont en service.

III.1.5 Potentiel Biomassique

III.1.5.1 Potentiel de la forêt

- Le potentiel actuel est évalué à environ 37 Millions de TEP (Tonnes Equivalent Pétrole).
- Le potentiel récupérable est de l'ordre de 3,7 Millions de TEP. Le taux de récupération actuel est de l'ordre de 10%

III.1.5.2 Potentiel national des déchets ménagers et assimilés

- 05 millions de tonnes de déchets urbains et agricoles ne sont pas recyclés. Ce potentiel Représente un gisement de l'ordre de 1.33 millions de TEP/an.

III.2 Programme de développement des énergies renouvelables :

En mettant en place ce programme d'énergies renouvelables, l'Algérie vise à devenir un acteur incontournable dans la génération d'électricité à partir des énergies solaires et éoliennes, en incluant la biomasse, la cogénération, la géothermie et, au-delà de 2021, le solaire thermique. Ces secteurs énergétiques joueront un rôle essentiel dans la promotion d'un développement économique durable capable de stimuler un nouveau modèle de croissance économique. À l'horizon 2030, 37 % de la capacité installée et 27 % de la production d'électricité pour la consommation nationale seront issues de sources renouvelables. Étant donné que le solaire occupe une place prépondérante dans le potentiel national en énergies renouvelables, l'Algérie voit cette énergie comme une occasion et un moyen de développer son économie et son société, en mettant en place des industries qui génèrent de la richesse et des emplois. Cela n'empêche pas nécessairement

De nombreux projets de construction de fermes éoliennes ont été lancés, ainsi que des projets expérimentaux en biomasse, géothermie et cogénération par exemple.

Les projets EnR de production de l'électricité dédiés au marché national seront menés en deux étapes :

- **Première phase 2015 - 2020** : Cette phase verra la réalisation d'une puissance de 4010 MW, entre photovoltaïque et éolien, ainsi que 515 MW, entre biomasse, cogénération et géothermie.
- **Deuxième phase 2021 - 2030** : Le développement de l'interconnexion électrique entre le Nord et le Sahara (Adrar), permettra l'installation de grandes centrales d'énergies renouvelables dans les régions d'In Salah, Adrar, Timimoune et Bechar et leur intégration dans le système énergétique national. A cette échéance, le solaire thermique pourrait être économiquement viable.

La stratégie de l'Algérie en la matière vise à développer une véritable industrie des énergies renouvelables associée à un programme de formation et de capitalisation des connaissances, qui permettra à terme, d'employer le génie local algérien, notamment en matière d'engineering et de management de projets. Le programme EnR, pour les besoins d'électricité du marché national, permettra la création de plusieurs milliers d'emplois directs et indirects.

III.2.1 Consistance du programme de développement des énergies renouvelables

La consistance du programme en énergie renouvelables à réaliser pour le marché national sur la période 2015-2030 est de 22 000 MW, répartie par filière comme suit :

- Photovoltaïque : 13575 MW
- CSP : 5 010 MW
- Cogénération : 2 000 MW
- Eolien : 400 MW
- Biomasse : 1 000 MW
- Géothermie : 15 MW

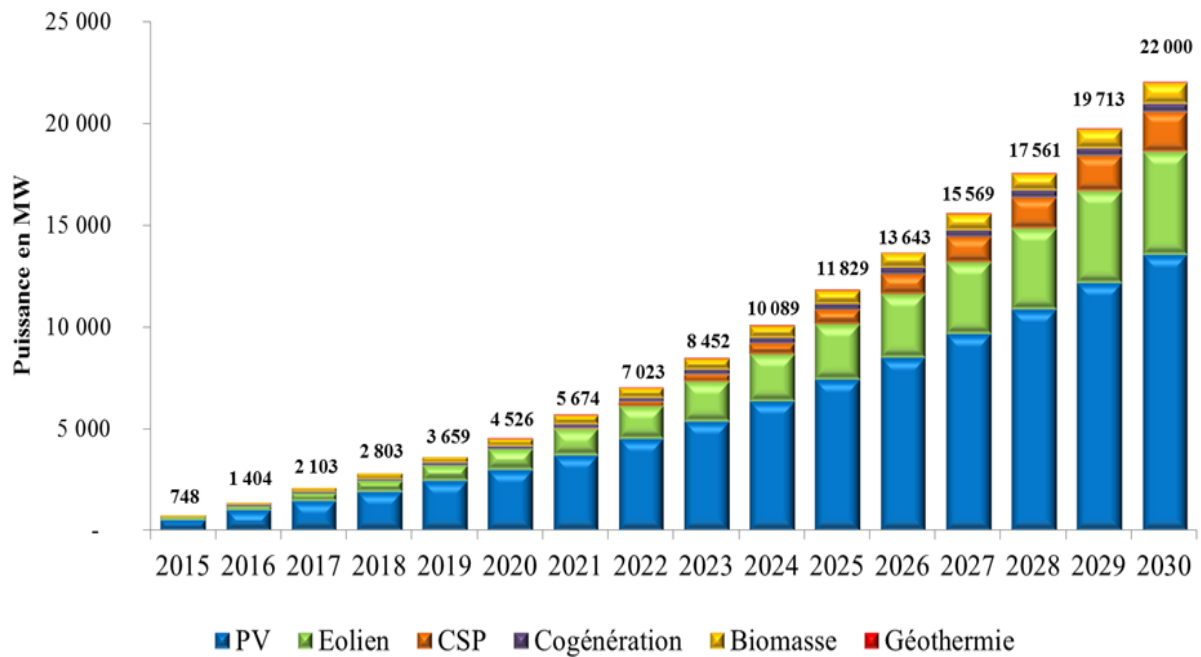


Figure III. 4 : Evolution estimée du parc national de production d'électricité, selon le Ministère de l'Énergie et des Mines (MEM).

III.3 Efficacité Énergétique

L'importance stratégique de l'efficacité énergétique a été confirmée, elle se présente comme un élément essentiel pour le développement durable. Consciente de ce problème, l'Algérie, à travers son programme durable, souligne l'importance de l'engagement de toutes les parties impliquées pour atteindre de réels résultats, réalisés par des projets d'envergure qui exploitent pleinement le potentiel d'économie d'énergie [12].

III.3.1 Programme national d'efficacité énergétique

Le programme d'efficacité énergétique répond à l'engagement de l'Algérie à promouvoir une utilisation plus responsable de l'énergie et à explorer toutes les possibilités pour préserver les ressources et organiser une consommation efficace et optimale. L'efficacité énergétique vise à produire les mêmes produits ou services, mais en réduisant au minimum l'utilisation d'énergie. Ce programme inclut des mesures qui mettent l'accent sur l'utilisation des formes d'énergie les plus adaptées aux diverses utilisations, ce qui implique des changements de comportement et l'amélioration des équipements. Il est prévu dans ce programme d'introduire des mesures d'efficacité énergétique dans les trois domaines du bâtiment, du transport et de l'industrie, ainsi que de favoriser la création d'une industrie locale de fabrication de lampes performantes, de chauffe-eau solaires et d'isolants thermiques, en encourageant l'investissement local ou étranger.

III.3.2 Plan d'Action en Matière d'Efficacité Energétique

Le rôle de l'efficacité énergétique est crucial dans le contexte énergétique national, marqué par une croissance élevée de la consommation, principalement dans le secteur domestique, grâce à la construction de nouveaux logements, à la réalisation d'infrastructures d'utilité publique et à la relance de l'industrie. En réalisant ce programme à travers une variété d'initiatives et de projets, il est prévu que l'émergence d'un marché durable de l'efficacité énergétique en Algérie se développera à long terme.

Il existe de nombreux impacts économiques et sociaux liés à l'intégration de la dimension de l'efficacité énergétique dans les divers secteurs d'activité. La mise en place de cette intégration améliore le cadre de vie des citoyens tout en étant une réponse adéquate au défi de la préservation de l'énergie, avec ses effets positifs sur l'économie nationale, en créant des emplois et de la richesse, ainsi que sur la préservation de l'environnement. L'accent est mis sur les domaines de consommation qui ont une influence importante sur la demande d'énergie. La plupart des secteurs concernés sont le bâtiment, le transport et l'industrie.

- **Pour le secteur du bâtiment :**

L'efficacité énergétique d'un bâtiment est définie comme le rapport entre l'énergie reçue par le système et la totalité d'énergie qu'il consomme. Ce fonctionnement englobe l'ensemble des techniques utilisées pour restreindre au maximum la consommation d'énergie dans un logement. Il vise à conserver le maximum de confort thermique nécessaire au quotidien. L'objectif principal d'une consommation énergétique efficace est d'être performant tout en consommant un minimum d'énergie.

L'objectif du programme est de promouvoir l'adoption de méthodes et de technologies novatrices, en ce qui concerne l'isolation thermique des constructions existantes et nouvelles. Il sera prévu de prendre des mesures appropriées lors de la phase de conception architecturale des logements.

L'objectif est aussi de promouvoir la diffusion massive des équipements et des appareils performants sur le marché local, tels que les chauffe-eau solaires et les lampes économiques, dans le but d'améliorer le confort intérieur des logements en réduisant l'utilisation d'énergie. Un des avantages pour le développement de l'efficacité énergétique dans ce secteur est la création d'une industrie locale spécialisée dans les isolants thermiques et les équipements et appareils performants (chauffe-eau solaires ; lampes économiques).

Globalement, c'est plus de 30 millions de TEP qui seront économisées, d'ici 2030 répartie comme suit :

- Isolation thermique : l'objectif est d'atteindre un gain cumulé évalué à plus de 7 millions de TEP ;
- Chauffe -eau solaire : l'objectif est de réaliser une économie d'énergie à plus de 2 millions de TEP ;
- Lampe basse consommation (LBC) (LED): Les gains en énergie escomptés, à l'horizon 2030

sont estimés à près de 20 millions de TEP ;

- 4- Eclairage public : l'objectif est de réaliser une économie d'énergie de près de un (01) million de TEP, à l'horizon 2030 et d'alléger la facture énergétique des collectivités.

- **Pour le secteur des transports :**

Le programme a pour objectif de favoriser les carburants les plus accessibles et les moins polluants, tels que le GPLc et le GNc. L'objectif est d'améliorer la composition de l'offre de carburants et de contribuer à diminuer la part du gasoil, en plus des avantages pour la santé et l'environnement. Cela entraînerait une économie de plus de 16 millions de TEP d'ici 2030

- **Pour le secteur de l'industrie :**

Le programme vise à amener les industriels à plus de sobriété dans leurs consommations énergétiques. En effet, l'industrie représente un enjeu pour la maîtrise de l'énergie du fait que sa consommation énergétique est appelée à s'accroître à la faveur de la relance de ce secteur. Pour ce secteur, c'est plus de 30 millions de TEP qui seront économisées.

Pour plus d'efficacité énergétique, il est prévu :

- La généralisation des audits énergétiques et du contrôle des procédés industriels qui permettront d'identifier les gisements substantiels d'économie d'énergie et de préconiser des plans d'actions correctifs ;
- L'encouragement des opérations de réduction de la surconsommation des procédés industriels, à travers un soutien de l'Etat au financement de ces opérations.

III.3.3 Bilan de Réalisation de la Première Tranche du Programme national d'Efficacité Energétique

III.3.3.1 Projets

- Isolation thermique de 600 logements neufs : 160 logements
- Isolation thermique dans les constructions existantes : isolation thermique de 620 m²
- Installation de Chauffe-eau solaire individuel et collectif : 407 unités
- Substitution de lampes à mercure avec des lampes à sodium « Eclairage publique » : 10 000 lampes
- Conversion de VP en GPLc : 9100 kits convertis
- Installation des Kit GPLc pour les véhicules de flottes captives : 48 kits ont été installés
- Etude de faisabilité : 08 études ont été réalisées
- Audits énergétique : 33 opérations ont été réalisées
- aide à l'investissement : 18 opérations ont été réalisées.

III.3.3.2 Actions d'accompagnement

- Réalisation des formations d'auditeurs énergétique dans l'industrie ;
- Réalisation des formations d'auditeurs énergétique dans le bâtiment ;
- Réalisation des formations d'homme énergie dans l'industrie ;
- Réalisation des formations d'homme énergie dans le tertiaire ;
- Réalisation d'une journée technique de sensibilisation pour les industriels ; réalisation de la 5^{ème} édition des journées portes ouvertes dans le milieu scolaire sur les économies d'énergie ;
- Réalisation d'un état des lieux de la filière de fabrication des matériaux de construction ;
- Réalisation d'un diagnostic sur le transport urbain de la ville d'Alger et évaluation des besoins en infrastructures, et bus dédiés au gaz naturel ;
- Etat des lieux du parc de l'éclairage public au niveau national.

III.3.3.3 Communication

Des campagnes de communication ont été lancées pour accompagner les projets de l'efficacité énergétique destinés pour le grand public relatif à la sensibilisation sur la réduction de la consommation d'énergie dans les périodes hivernales et estivales.

Conclusion

En conclusion, l'application du programme national d'efficacité énergétique sur le terrain conduira à réduire progressivement l'augmentation de la demande énergétique. Il y aurait donc une économie d'énergie cumulée d'environ 93 millions de TEP, dont 63 millions d'ici 2030 et le reste au-delà de cette date.

Chapitre IV :

Calcul de la consommation énergétique en Algérie

VI. Introduction

En Algérie, le gaz naturel est la principale source d'énergie utilisée, qui représente environ 40% de la consommation totale d'énergie. Les énergies électriques représentent 30%, les produits pétroliers 22% et le GPL 5%. En 2022, le total de la consommation de gaz naturel s'élevait à 51,7 millions de tonnes équivalent pétrole (TEP), dont une grande La consommation partie est destinée aux foyers et au secteur tertiaire [13]. En Algérie, la consommation d'électricité par habitant s'élevait à 1 484 kWh en 2020, ce qui représente une consommation totale d'électricité de 66,65 milliards de kWh par an [14]. Il y a une répartition de cette consommation entre les usages domestiques, industriels et les services. La transition dans le domaine de l'énergie en Algérie est en cours, avec des initiatives croissantes visant à intégrer les énergies renouvelables et écologiques.

VI.1 Méthodes de calculs de consommation d'énergie

Il y a différentes approches pour évaluer la consommation d'énergie, la méthode la plus appropriée dépend du contexte et des exigences particulières. Différents principes et méthodes sont utilisés pour calculer la consommation d'énergie, voici quelques-uns [15] :

VI 1.1 Principe de calcul des consommations des trois vecteurs énergétiques

Le cycle de vie de production de l'éthanol consomme de l'énergie sous différentes formes de vecteurs (Figure VI.1) :

- Le gazole ou diesel pour les camions et tracteurs
- L'électricité pour les pompes et moteurs
- Le gaz naturel pour l'apport de chaleur destinée au chauffage ou à l'évaporation de milieux

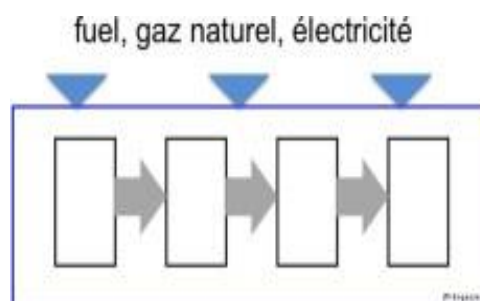


Figure VI. 1: Consommations d'énergie pour le cycle [15].

Pour les procédés industriels de transformation d'agro ressources, les quantités d'énergie électrique consommées par les moteurs et pompes sont généralement très inférieures aux quantités d'énergie thermique nécessaires pour chauffer et évaporer. En conséquence, vous utiliserez deux approches différentes pour l'évaluation des consommations énergétiques :

- Un calcul simplifié de la consommation d'électricité à partir d'ordres de grandeur des consommations électriques des pompes et moteurs composant les équipements
- Un calcul plus précis des consommations de chaleur, faisant intervenir des grandeurs thermiques comme les capacités calorifiques, les chaleurs de changement de phase ou les chaleurs de combustion

Dans cette étude, les consommations des trois vecteurs énergétiques sont évaluées de la manière suivante :

- **Consommation de gazole par les tracteurs et camions :**

Elle est calculée à partir des données sur la consommation de gazole au niveau de la ferme (par ha) et des camions (par km et tonne transportée)

- **Consommation d'électricité pour moteurs, pompes et tour de refroidissement d'eau :**

Elle est calculée, d'une manière simplifiée, à partir des données sur :

- La consommation d'électricité à la ferme, exprimée par ha de culture.
- Les consommations individuelles des opérations unitaires, exprimées par tonne ou kg de matière traitée.

- **Consommation de gaz naturel pour l'apport de chaleur :**

Elle est calculée à partir d'une évaluation des quantités de chaleur et des consommations de vapeur (utilisation de chaudières à gaz) nécessaires pour les opérations de chauffage, d'évaporation et de séchage. La méthode est détaillée dans la suite.

VI.1.2 Consommation de chaleur et de vapeur pour le chauffage de fluides ou solides

Soit m en kg la masse de fluide ou de solide à chauffer d'une température initiale T_0 à une température finale T_1

a) Calcul de la quantité de chaleur nécessaire : Elle est calculée en utilisant les enthalpies qui expriment :

- le contenu de chaleur par kg de fluide/solide : Enthalpie massique $H_{/kg}$ en $J_{/kg}$
- le contenu de chaleur du fluide ou solide : Enthalpie

$$H = m \cdot H_{/kg} \quad \text{en J} \quad (1)$$

- A partir d'un bilan chaleur, la quantité de chaleur Q en J nécessaire pour chauffer le

- fluide ou solide d'une température T_0 à une température T_1 est alors donnée par les relations :

$$Q = T_1 - T_0 \quad (2)$$

$$Q = m \cdot (T_{1/kg} - T_{0/kg})$$

- Si le chauffage se fait sans changement de phase (pas d'évaporation), la quantité de chaleur Q est calculée par :

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_1 - T_0) \quad (3)$$

- C_p étant la capacité calorifique du solide ou du fluide.

b) Calcul de la quantité de vapeur consommée :

La chaleur de chauffage nécessaire est apportée par la condensation de Vapeur. Si $H_{v/kg}$ est l'enthalpie par kg de vapeur à la température de la vapeur, et $H_{e/kg}$ l'enthalpie d'eau à la température de la vapeur condensée, la Quantité de chaleur $Q_{ve/kg}$ apportée par la condensation d'un kg de vapeur est donnée par la relation :

$$Q_{ve/kg} = (H_{v/kg} - H_{e/kg}) \quad (4)$$

Et la quantité m_v de vapeur nécessaire, en kg, pour apporter la Quantité de chaleur de chauffage Q par la relation :

$$m_v = Q / Q_{ve/kg} \quad (5)$$

VI .1.3 Consommation d'eau de refroidissement :

Pour refroidir une masse m (kg) de fluide ou solide de T_0 à T_1 , la quantité de chaleur Q à éliminer est donnée par :

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_0 - T_1) \quad (6)$$

Si la chaleur est éliminée par un circuit d'eau de refroidissement, avec T_{e1} la température de l'eau froide d'entrée et T_{e2} température de l'eau à la sortie, la quantité de chaleur $Q_{er/kg}$ éliminée par l'utilisation d'un kg d'eau de refroidissement est donnée par :

$$Q_{er/Kg} = C_{pe} \cdot (T_{e2} - T_{e1}) \quad (7)$$

et la quantité d'eau de refroidissement nécessaire m_e pour éliminer la quantité de chaleur Q par :

$$m_e = Q / Q_{er/Kg} \quad (8)$$

VI.1.4 Evaluation de l'enthalpie massique de l'eau liquide ou Vapeur

L'enthalpie massique de l'eau, qu'elle soit liquide ou vapeur, est une mesure importante en thermodynamique pour comprendre les échanges de chaleur dans différents systèmes.

L'enthalpie massique (ou enthalpie spécifique) est définie comme l'enthalpie par unité de masse et est généralement exprimée en kJ/kg.

- **Eau liquide :**

À $T=0^{\circ}\text{C}$ (référence) :

$$H_{e/\text{kg}} = 0 \text{ en J/kg}$$

À $T^{\circ}\text{C}$:

$$H_{e/\text{Kg}} = C_{pe} \cdot T \quad \text{en J/Kg} \quad (9)$$

- **Eau vapeur :**

- à $T=0^{\circ}\text{C}$:

$$H_{v/\text{kg}} = 2500 \text{ en kJ/kg}$$

à $T^{\circ}\text{C}$:

$$H_{v/\text{Kg}} = 2500 + C_{pv} \cdot T \quad \text{En KJ/Kg} \quad (10)$$

C_{pe} et C_{pv} les capacités calorifiques de l'eau liquide et vapeur, et 2500 kJ/kg la chaleur d'évaporation de l'eau à 0°C .

VI.1.5 Capacité calorifique et enthalpie de mélanges à plusieurs composants

Deux méthodes sont utilisées pour le calcul des quantités de chaleur de chauffage ou de refroidissement dans le cas de milieux à plusieurs composants.

a) Méthode du C_p fonction de la composition de la fraction massique :

Pour une solution de sucre à une fraction massique x_s :

$$C_p \text{ (kJ/kg.}^{\circ}\text{C)} = 4,19 - 2,35 \cdot x_s \quad (11)$$

Pour les pulpes de betterave à une fraction massique d'eau x_e :

$$C_p \text{ (kJ/kg.}^{\circ}\text{C)} = 1,5 + 2,7 \cdot x_e \quad (12)$$

b) Méthode du calcul de l'enthalpie globale :

L'enthalpie globale d'un système avec deux composants A et B est égale à la somme des enthalpies des composants et est calculée par les relations :

$$H = m_A \cdot H_{A/kg} + m_B \cdot H_{b/kg} \quad (13)$$

$$H_{/kg} = X_A \cdot H_{A/kg} + X_B \cdot H_{b/kg} \quad (14)$$

➤ **Relations utilisées pour le calcul de :**

- l'enthalpie massique d'un mélange eau éthanol à une fraction massique d'éthanol x_{eth} :

$$H_{/kg} = X_{eth} \cdot H_{eth/kg} + (1 - X_{eth}) \cdot H_{b/kg} \quad (15)$$

- L'enthalpie massique de l'air à une humidité Y kg eau/kg air sec à $T^\circ\text{C}$:

$$H_{a/kg} = C_{pa} \cdot T + (2500 + C_{pv} \cdot T) \cdot Y \text{ en en } kj/kg \quad (16)$$

VI.1.6 Méthode des degrés jours :

Elle permet de calculer les besoins en chauffage d'une habitation. A un instant donné, la puissance thermique effective nécessaire pour maintenir à la température T_i l'intérieur de l'habitation s'écrit :[16]

$$Q_i = GV(T_{sc} - T_a) \quad (17)$$

La détermination de l'énergie à fournir au logement durant une période Δt s'écrit :

$$Q_i = \int_{\Delta t} GV (T_{sc} - T_a) dt \quad (18)$$

Appelons nombre de degrés jours la quantité suivante :

$$ndj = \int (T_{sc} - T_a) dt \quad (19)$$

Le terme dt de l'intégrale correspond au nombre de jours durant lesquels la température de l'air extérieur vaut T_a ($^\circ\text{C}$) avec bien sûr, $T_a < T_{sc}$. La définition de ndj implique que T_{sc} et T_a représentent des températures moyennes calculées sur la journée. Le nombre de degrés – jours correspond donc au nombre de jours de chauffage multiplié par l'écart de température ($T_{sc}-T_a$) à vaincre.

En considérant que le facteur GV est constant sur la période étudiée, l'énergie à fournir pour le chauffage s'écrit :

$$Q_c = GV \times ndj \quad \text{en (Joules)} \quad (20)$$

Pour obtenir Q_c en kWh, il faut diviser par 10^3 et multiplier par 24 le résultat, ce qui donne :

$$Q_c = 0,024 GV.ndj \quad \text{en (KWh)} \quad (21)$$

VI.2 Exemple pour une habitation sous TRNSYS

Cet exemple a été utilisé comme une référence car il correspond au sujet de mon étude. Présentation de l'habitation : Ce logement est situé à Bouzareah-Alger, au dernier étage d'un immeuble collectif, et dont la superficie totale est de 75 m^2 . Il est construit sur la base d'une architecture simple, les murs extérieurs sont en double cloison de briques, et le plafond est une dalle en béton armée ; les murs intérieurs ont une seule cloison. Les fenêtres sont en métal à simple vitrage. Cet appartement (F3) est composé de deux (2) chambres, d'une cuisine, de sanitaires et d'une salle de séjour. Il est habité par 4 personnes. Les besoins de cette habitation sont évalués en fonction de ces caractéristiques architecturales, du nombre d'occupants et du taux de renouvellement d'air. [16]



Figure VI. 2: Schéma architectural de la maison étudiée [16]

Les Dimensions :➤ **Données architecturales de la maison :**

- Surface latérale totale 111 m²
- Hauteur de la maison 2,90 m
- surface habitable 75 m²
- Volume habitable 220 m³

➤ **Données géographiques de la maison :**

- Latitude : φ 36° 47'
- Longitude : L 3° 1' • Altitude 385 m
- Albédo : a 0,2

• **Schéma de l'installation solaire combinée adoptée :**

- Nous avons opté pour l'installation mixte individuelle dans la figure 3 :

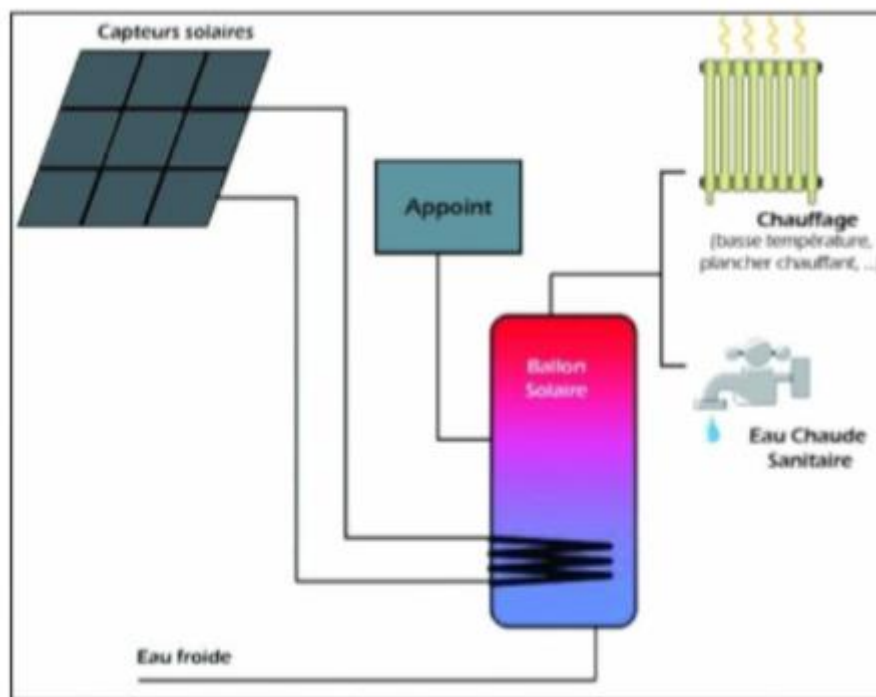


Figure VI. 3: Schéma de l'installation solaire combinée [16]

• **Dimensionnement des équipements :**

Les installations solaires thermiques individuelles conçues pour la production d'ECS et le chauffage domestique sont constituées principalement d'une surface de captation et d'un système de stockage dans le but d'assurer un certain niveau de consommation moyenne. L'installation se compose des éléments suivants :

- **Surface de captation :** Cette surface est prise égale à 14m^2 , valeur que nous avons estimée pour une maison de 75 m^2 bien isolée sur le site de BOUZAREAH dans l’option d’un taux de couverture solaire de 60% pour les besoins en chauffage et 100% pour l’ECS..
- **Ballon de stockage :** Nous allons déterminer le volume du ballon de stockage en relation avec la surface de captation installée.
- **Volume de stockage total :** Pour les installations thermiques, les capteurs plans peuvent chauffer de 70 l à 100 l d’eau par jour et par m, ce qui donne pour 14m^2 de surface de captation un volume de stockage égal à $V_{tt}=14 \times 100=1400\text{L} =1.4\text{ m}^3$. Dans cette installation nous utiliserons un ballon de capacité de 2 m^3 , disponible dans notre marché.
- **Système d’appoint :** Dans les installations solaires thermiques un complément d’énergie peut être nécessaire ; le but est de maintenir un niveau de température permettant d’assurer les besoins puisque les équipements solaires sont généralement dimensionnés pour n’en couvrir qu’une partie. L’énergie d’appoint est fournie par une résistance électrique intégrée dans le ballon de stockage : le ballon solaire et le ballon de stockage sont confondus (cas le plus répandu).
- **Déperditions de la maison :**

Dans notre étude nous calculons les déperditions thermiques de la maison en envisageant deux cas afin d’évaluer le comportement de notre machine (maison) thermique en fonction de ces caractéristiques (cas). Voici les deux cas envisagés :

Tableau VI. 1: les caractéristiques de maison dans les deux cas

Cas	Mur extérieur	Plancher haut	Plancher bas	Portes	Fenêtres
Cas 1	Plâtre Brique 8trous Lame d’air Brique 8trous Mortier de ciment	Plâtre Béton hourdis allégé	Carrelage Mortier Béton	Métal	Vitre simple
Cas 2	Plâtre Brique 8trous Lame d’air Brique 8trous Mortier de ciment	Plâtre Béton hourdis allégé Polystyrène	Carrelage Mortier Béton	Métal	Double vitrage

Dans le cadre de notre étude et exemple pour une habitation, nous concentrerons uniquement sur le premier cas

Tableau VI. 2: Composition des parois de la maison [16]

	Epaisseur (m)	λ (W/m°C)	Rth (m²°C/W)	K (W/m²°C)	S (m²)	k.S (W/°C)	Aj	$\Sigma a_j.k.S$ (W/K)
Mur extérieur						97		
brique8trous	0,1		0,7					
lame d'air ventilée	0,05		0,085					
brique8trous	0,1		0,7					
plâtre	0,01	0,52	0,019					
mortier de ciment	0,03	1,4	0,021					
ri+re			0,17					
total			1,70	0,59		57,2	1	57,2
Mur intérieur								
brique8trous	0,1		0,7					
Plancher haut						75		
béton hourdis allégé	0,2	1,1	0,18					
plâtre	0,01	0,52	0,019					
Résistance interne			0,09					
total			0,29	3,46		259,3	1	259,3
Plancher bas						75		
béton	0,1	1,75	0,057					
mortier	0,03	0,1	0,3					
carrelage	0,02		0,0017					
Résistance interne			0,17					
total			0,53	1,89		141,8	0,33	46,8
Fenêtres, portes fenêtres	simple vitrage			2	11,7	23,4	1	23,4
Portes extérieures	métal			5,8	2,2	12,76	1	12,76
				$\Sigma S=260,9$		$\Sigma a_j.k.S=399$		

- Les déperditions par l’enveloppe de la maison sont calculées comme suit :

$$\phi_{ext} = \phi_m + \phi_t + \phi_v + \phi_{po} + \phi_p = [(K_m S_m + K_v S_v + K_p S_p + K_t S_t)](T_i - T_e) \quad (22)$$

Où :

- ϕ_{ext} : Déperditions totales coté extérieur
- ϕ_m : Déperditions par les murs
- ϕ_t : Déperditions par le toit

- ϕ_p : Déperditions par le plancher
- ϕ_v : Déperditions par les fenêtres
- ϕ_{po} : Déperditions par les portes

Ces déperditions s’expriment finalement comme :

$$\phi_{ext} = K.S.(T_i - T_a) \tag{23}$$

- Les valeurs de T_a pour le site retenu sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau VI. 3: températures ambiantes du site de Bouzareah

Mois	Jan.	Fév.	mars	Av.	Mai	juin	Juin	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Ta (°c)	12	10	12,2	14,7	18,8	21,3	25	25,9	21,5	19,1	15,6	12,6

VI.2.1 Estimation des besoins en chauffage :

a) Calcul du coefficient de déperdition thermique GV (W/°C) [16]:

Ce coefficient, appelé coefficient de déperdition thermique (en W/°c), caractérise les déperditions thermiques Q_{th} du bâti. Il est calculé à partir de l’équation suivante :

$$\phi_{th} = GV(T_i - T_a) = [(K_m S_m + K_v S_v + K_p S_p + K_t S_t + K_{po} S_{po})1,1 + \rho_a \cdot \dot{V}_a \cdot Cp_a](T_i - T_a) \tag{24}$$

Soit :

$$GV = (K_m S_m + K_v S_v + K_p S_p + K_t S_t + K_{po} S_{po})1,1 + \rho_a \cdot \dot{V}_a \cdot Cp_a \tag{25}$$

En se référant aux valeurs rapportées sur le tableau VI.2, on peut finalement calculer le coefficient GV :

$$GV=475 \text{ W/°c}$$

b) Calcul du coefficient de besoins thermiques BV (W/°C) [16]:

Le coefficient BV est le coefficient de besoins thermiques. Il se déduit du coefficient GV en prenant en compte les apports énergétiques dus aux occupants de l’habitation, aux appareils domestiques et aux apports solaires par les fenêtres. Il s’exprime en W/°C.

Soient Q_i les apports internes à la maison (en W). On définit une température T_{sc} dite température sans chauffage, correspondant à la température extérieure à partir de laquelle il n’ya plus besoin de chauffage pour maintenir à la température T_i ($T_i > T_{sc}$) l’intérieur de l’habitation.

$$Q_i = GV(T_i - T_{sc}) \quad (26)$$

Et par suite :

$$T_{sc} = T_i - \frac{Q_i}{Gv} \quad (27)$$

Donc les besoins énergétiques réels Q_c sont donnés par l'équation du bilan :

$$Q_c = Q_{th} - Q_i \quad (28)$$

Mais aussi par la définition de BV :

$$Q_c = BV(T_i - T_a) \quad (29)$$

On en déduit l'égalité suivante :

$$BV(T_i - T_a) = GV(T_i - T_a) - GV(T_i - T_{sc}) \quad (30)$$

Ou encore

$$BV = GV(1 - F)$$

Avec :

$$F = \frac{T_i - T_{sc}}{T_i - T_a} \quad (31)$$

F : est appelé facteur d'apport gratuit. Ce dernier facteur dépend de nombreux paramètres tels que :

- le nombre d'occupants du logement,
- le mode de vie (température de confort, éclairages, appareils électriques,...)
- la situation géographique (ensoleillement, température extérieure,...)
- la construction de la maison (orientation par rapport au sud, dimensions, isolation,...).

VI.3 Simulation du projet

L'évaluation des besoins en énergie permet de mettre en place des systèmes appropriés, en tenant compte des augmentations supplémentaires de la demande de puissance et du volume de stockage. Le logiciel COMBISYS sous TRNSYS analyse notre installation solaire pour le logement de référence et évalue le comportement de l'installation.

L'objectif du logiciel est de vérifier l'exactitude des calculs et d'évaluer la performance énergétique et l'efficacité de l'installation à différentes températures.

VI .3.1 Présentation du logiciel (TRNSYS) [17]

TRaNsient SYStem Simulation, principalement connu sous le nom de Trnsys, est «un environnement logiciel graphique extrêmement flexible utilisé pour simuler le comportement des systèmes transitoires ». Le logiciel TRNSYS est un logiciel conçu et développé par l'Université du

Wisconsin à partir de la fin des années 1970. Il est majoritairement utilisé pour faire la simulation qui se concentre sur l'évaluation des performances du système d'énergie thermique et électrique.

En plus, il peut également être utilisé pour modéliser d'autres systèmes dynamiques tels que les flux de trafic ou les processus biologiques (Trnsys, 2020).

Ce logiciel a été largement utilisé par les chercheurs, designers, étudiants, architectes, ingénieurs, consultants... Il a été utilisé activement dans des applications telles que :

- Modélisation centrale des installations
- Simulation de bâtiment (y compris modélisation énergétique LEED).
- Processus solaires thermiques
- Transfert de chaleur couplé au sol
- Applications solaires à haute température
- Systèmes de pompe à chaleur géothermique
- Modélisation thermique / flux d'air multizone couplée
- Optimisation
- Recherche sur le système énergétique
- Évaluation des technologies émergentes
- Centrales électriques (biomasse, cogénération)
- Systèmes de piles à combustible à hydrogène
- Systèmes éoliens et photovoltaïques
- Calibration des données et simulation

TRNSYS se compose de deux parties :

- La première partie c'est le moteur qui peut être appelé en tant que noyau lit et traite le fichier d'entrée, résout le système détermine la convergence et trace les variables système. Il détermine également les propriétés thermo physiques, inverse les matrices, effectue des régressions linéaires et interpole les fichiers de données externes.
- La deuxième partie est une vaste bibliothèque de composants, chacun modélisant les performances d'une partie du système. La bibliothèque standard comprend environ 150 modèles allant des pompes aux bâtiments multizones, des éoliennes aux électrolyseurs, des processeurs de données météorologiques aux routines économiques, et des équipements HVAC de base aux technologies émergentes de pointe.

Avec son modèle et ses données largement répandus dans la bibliothèque, il facilite et accélère la modélisation et la simulation pour l'utilisateur. Les utilisateurs peuvent également créer un modèle personnalisé en fonction des différents besoins.

Ces deux parties sont constituées de 4 composants différents qui sont :

- **Trnsys3d** : utilisé pour modéliser l'énergie du bâtiment / données 3D (sont normalement utilisés pour les grands bâtiments qui ont beaucoup de zones thermiques ou de formes complexes pour profiter du temps de modélisation de la zone thermique).
- **TRNSYS Studio** : interface pour entrer des environnements du bâtiment tel que les données météo, orienté du bâtiment... et également utilisé pour exécuter la simulation évalué les performances du bâtiment.
- **TRNBuild** : interface pour entrer la définition du bâtiment telle que la couche du mur, le matériau d'utilisation dans le bâtiment, le nombre d'occupants, l'habillement, le système HVAC... .
- **TRNEXE (TRNSYS -simulation)** : faire le calcul et transmettre le résultat de la simulation.

La relation entre ces 4 composants est illustrée dans la figure ci-dessous.

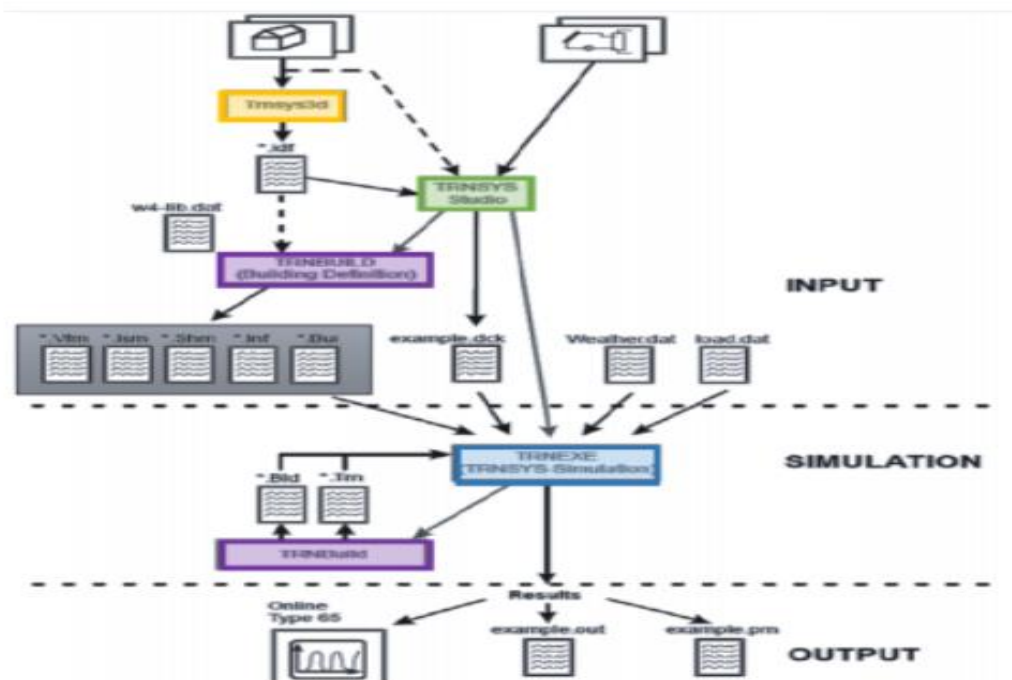


Figure VI. 4: La relation des 4 composants TRNSYS [17]

VI .3.2 Etapes de simulation sous TRNSYS

Nous allons décrire dans ce qui suit les différentes étapes de l'utilisation de ce logiciel :

- **1^{ère} phase : Création d'un projet de simulation de bâtiment**

Etape 1 : On clique sur : file / New/ Building Project puis on clique sur « next ».

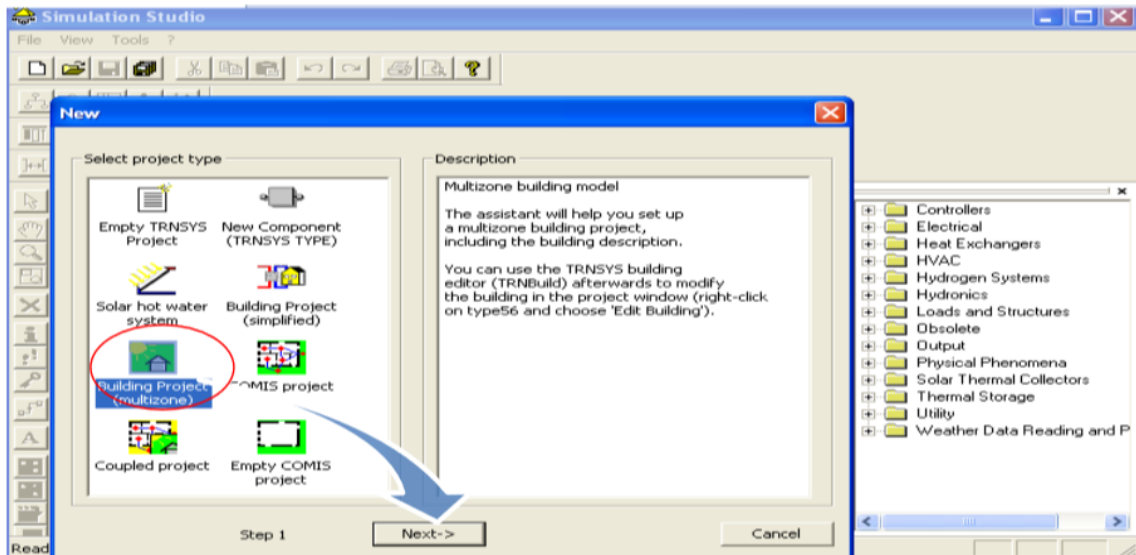


Figure VI. 5 : Building Project

Etape 2 : Sélection de la zone à étudier.

On sélectionne la zone 4C et on clique sur « next » Etape 2 : Sélection de la zone à étudier. On sélectionne la zone 4C et on clique sur « next »

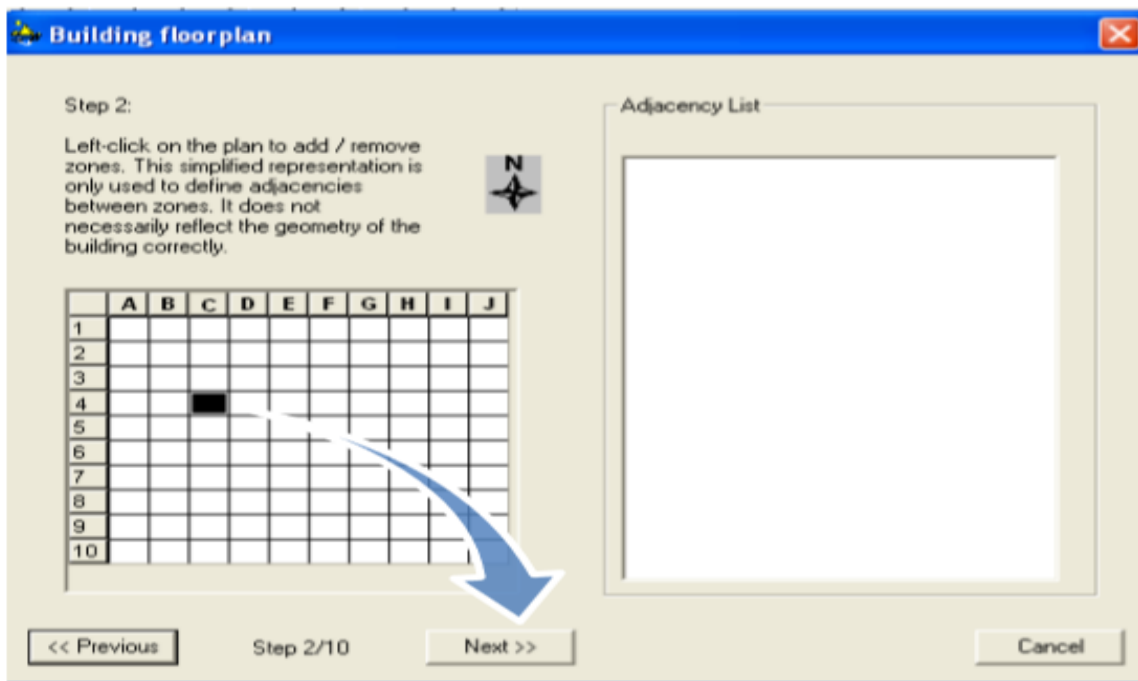


Figure VI. 6: sélection de la zone à étudier

Etape 3 : Dimensionnement de la zone : il faut introduire la hauteur, largeur et longueur de la maison

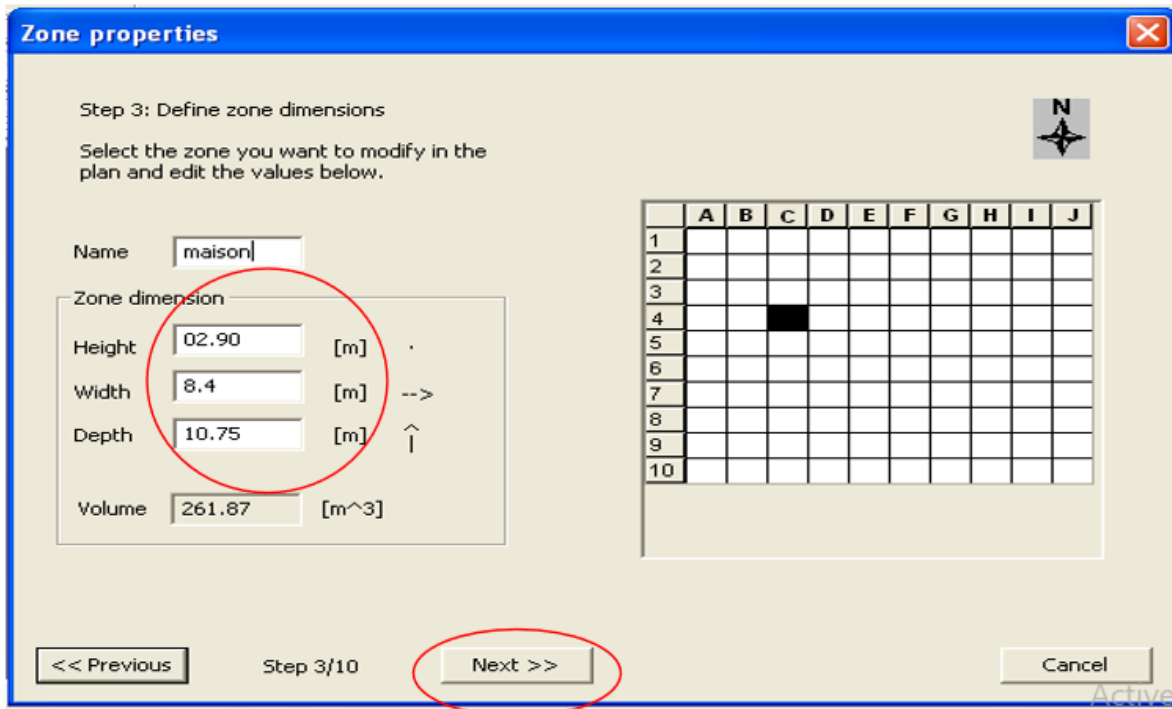


Figure VI. 7: dimensionnement de la zone

Etape 4 : Fenêtres et orientation de la maison

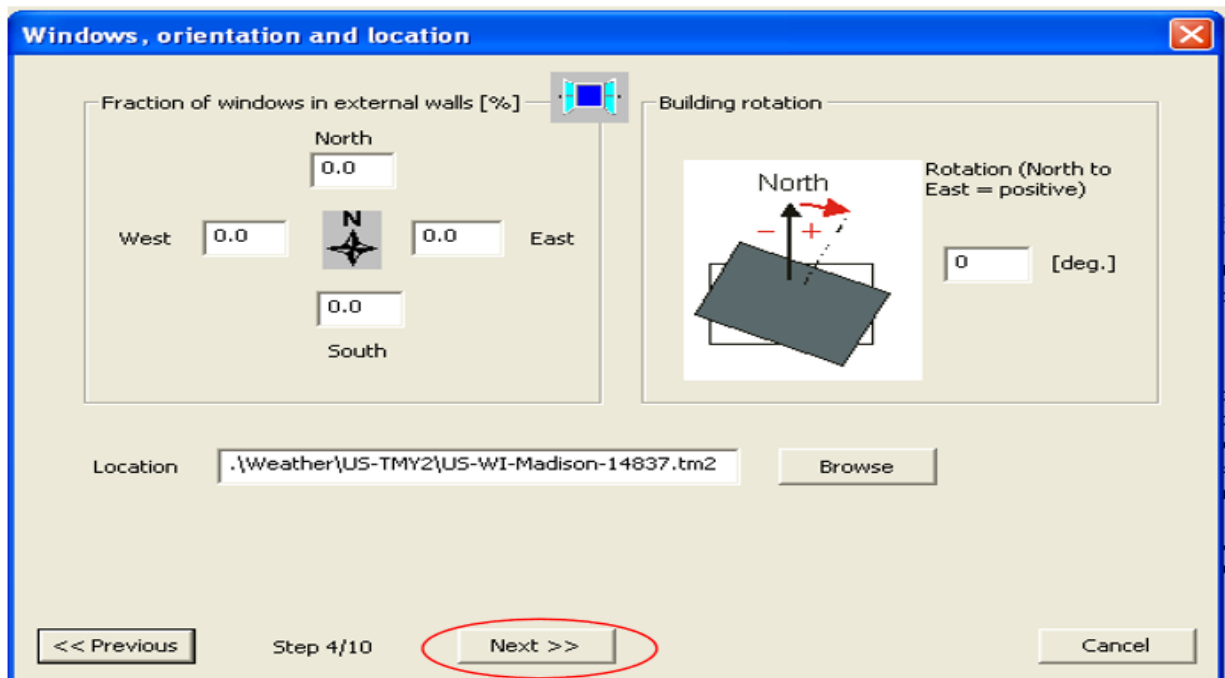


Figure VI. 8: fenêtres et orientation de la maison

Etapes 5 et 6 : Ventilation, Chauffage et Climatisation. On spécifie le taux de renouvellement d'air puis on clique sur « next »

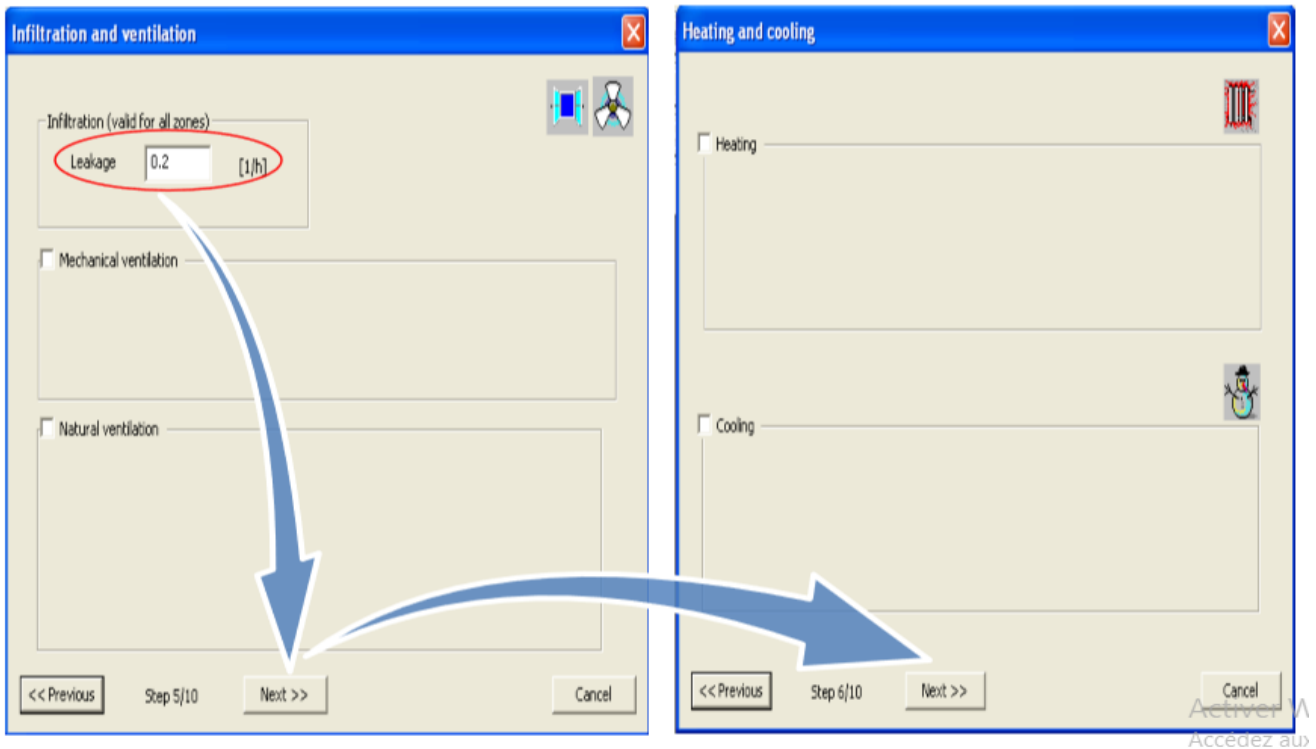


Figure VI. 9: ventilation, chauffage et climatisation.

Etape 7: Gains et Eclairage. On spécifie les différents apports intérieurs et on clique sur «next».

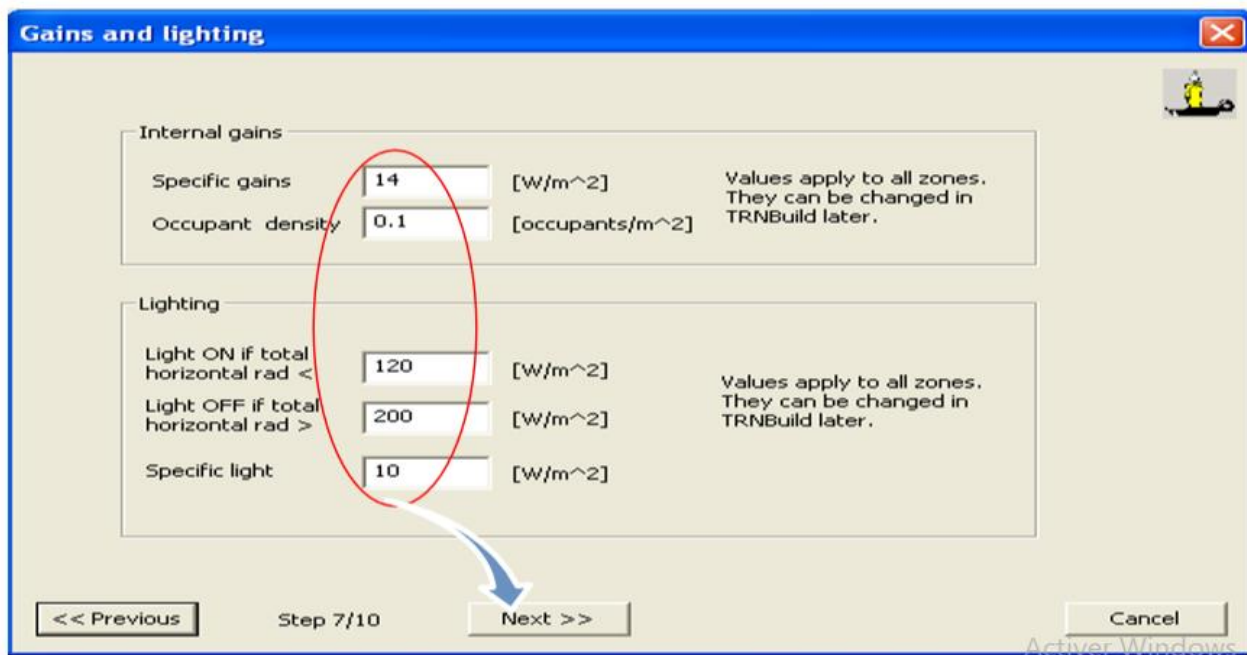


Figure VI. 10: Gains et éclairage.

Etapes 8, 9 : Masques proches fixes et Masques amovibles.

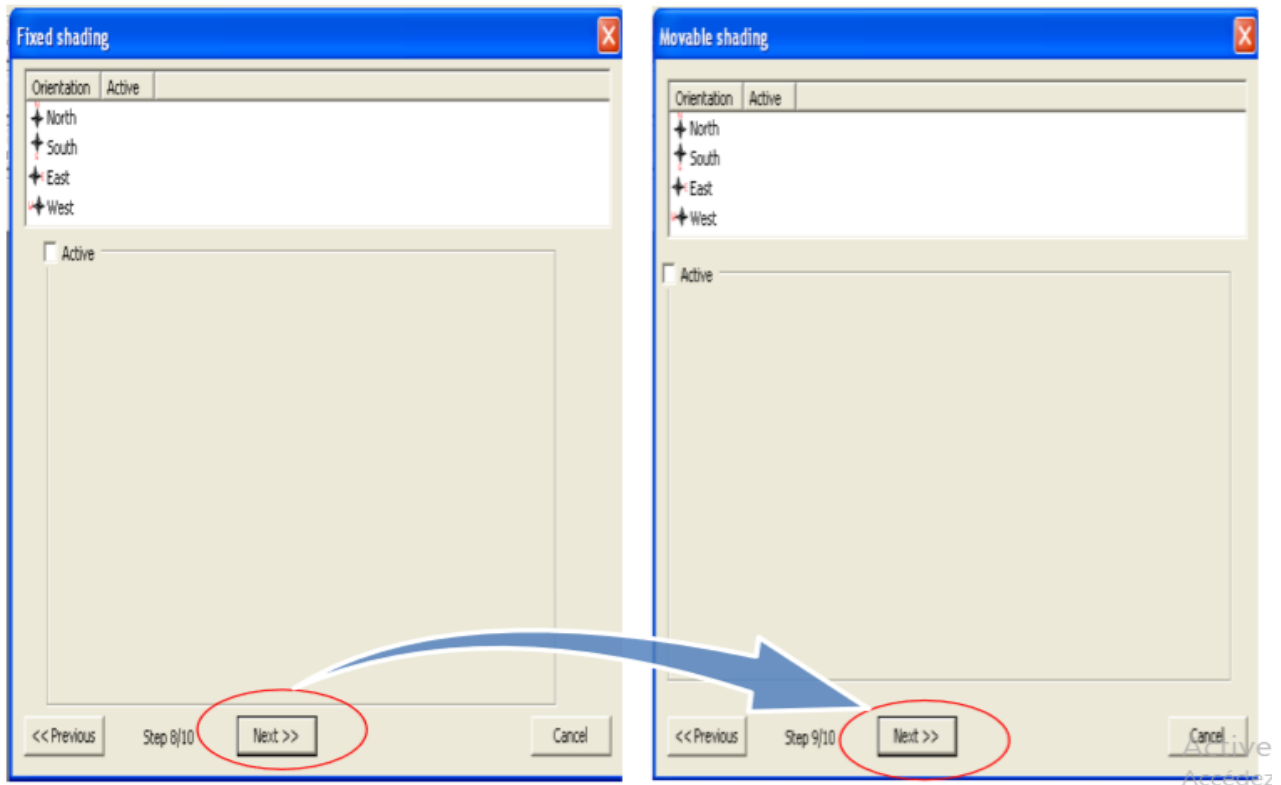


Figure VI. 11: Masques proches fixes et Masques amovibles.

Etape 10: Génération du projet. On clique sur « Create project ».

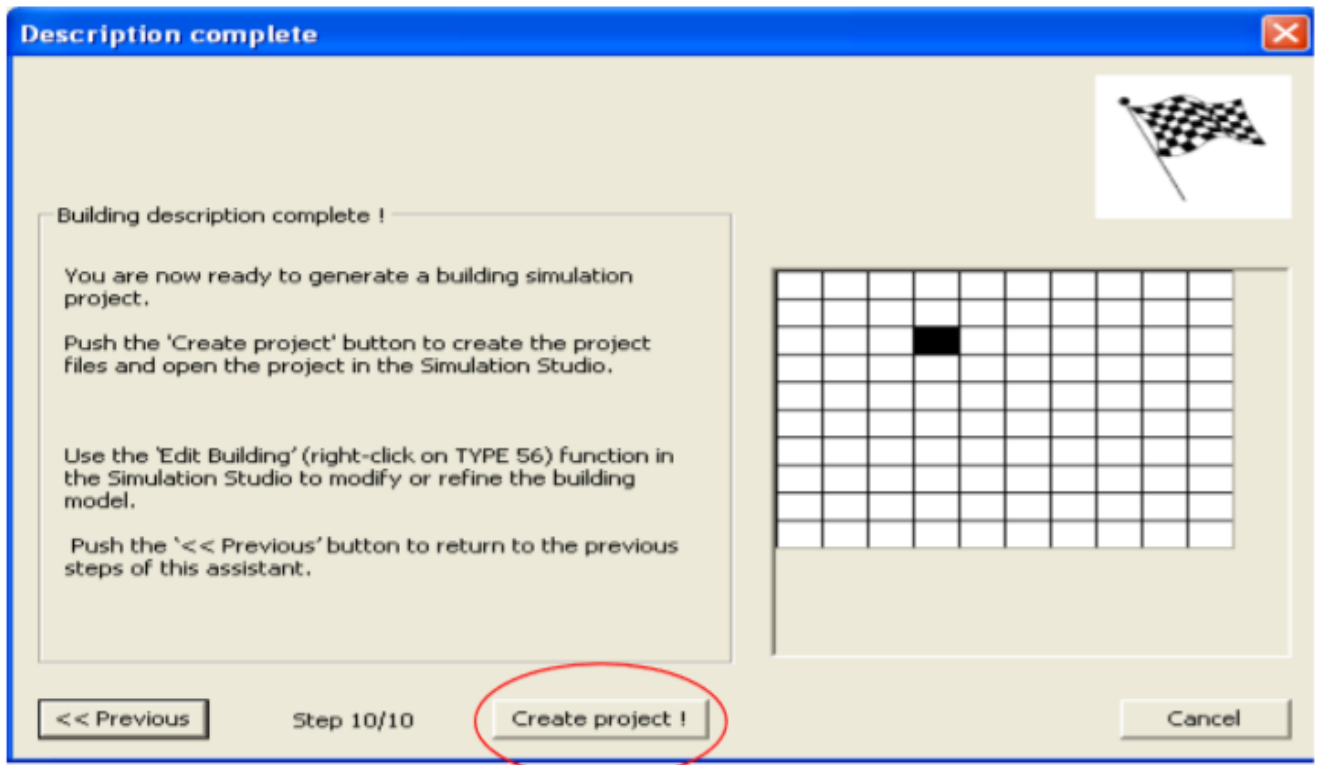


Figure VI. 12: Génération du projet.

A ce niveau du logiciel, le projet est généré.

➤ 2^{ème} phase : TRNbuild

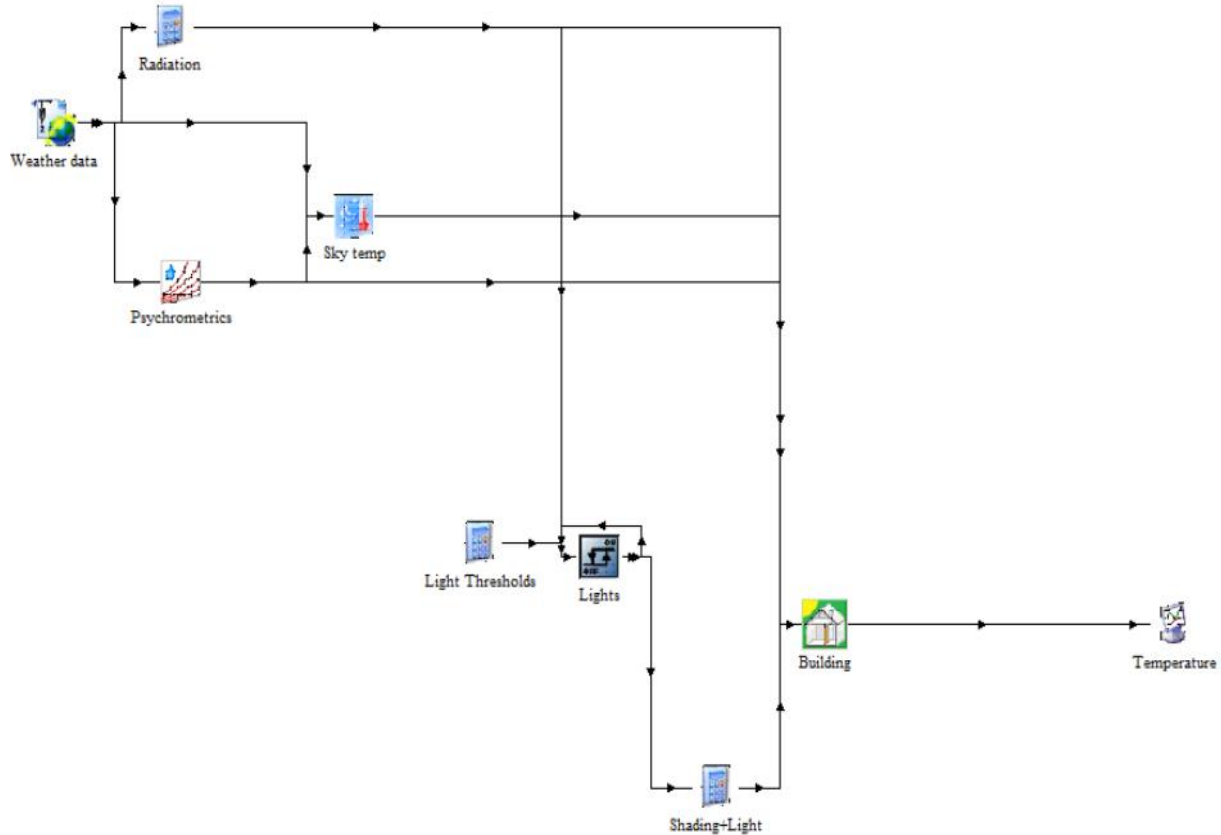


Figure VI. 13: Schéma de projet généré.

Après avoir introduit le fichier météo de notre région au format TYM2 et avoir sélectionné « édit building » on pourra commencer la description des composants de l'enveloppe de la maison dans TRNbuild

- Cette interface permet de décrire tous les composants de la maison mono-zone. Nous spécifions la composition des murs, leurs orientations respectives, la surface vitrée et les types de vitrages utilisés. Il est nécessaire aussi de définir les conditions initiales de la zone étudiée (la température de consigne, et l'humidité relative.) Les caractéristiques des murs, fenêtres, portes, plancher et plafond (dimensions, matériaux et orientation,...) dans chaque zone ont été obtenues à partir du dessin d'architecture.
- Le modèle de la maison mono-zone par le logiciel TRNSYS permet à l'utilisateur de construire des types de murs multicouches dans lequel chaque couche est un matériau unique.

- Les propriétés thermo physiques de chacune des couches (conductivité thermique, densité, chaleur spécifique, épaisseur.) sont entrées par l'utilisateur ou choisies à partir d'une bibliothèque existante.



Figure VI. 14: Les composants de la maison sur TRNbuild

Après enregistrement du projet dans TRNBUILD, on revient sur TRNSYS pour lancer la simulation. Pour cela, on clique sur la touche « F8 ».

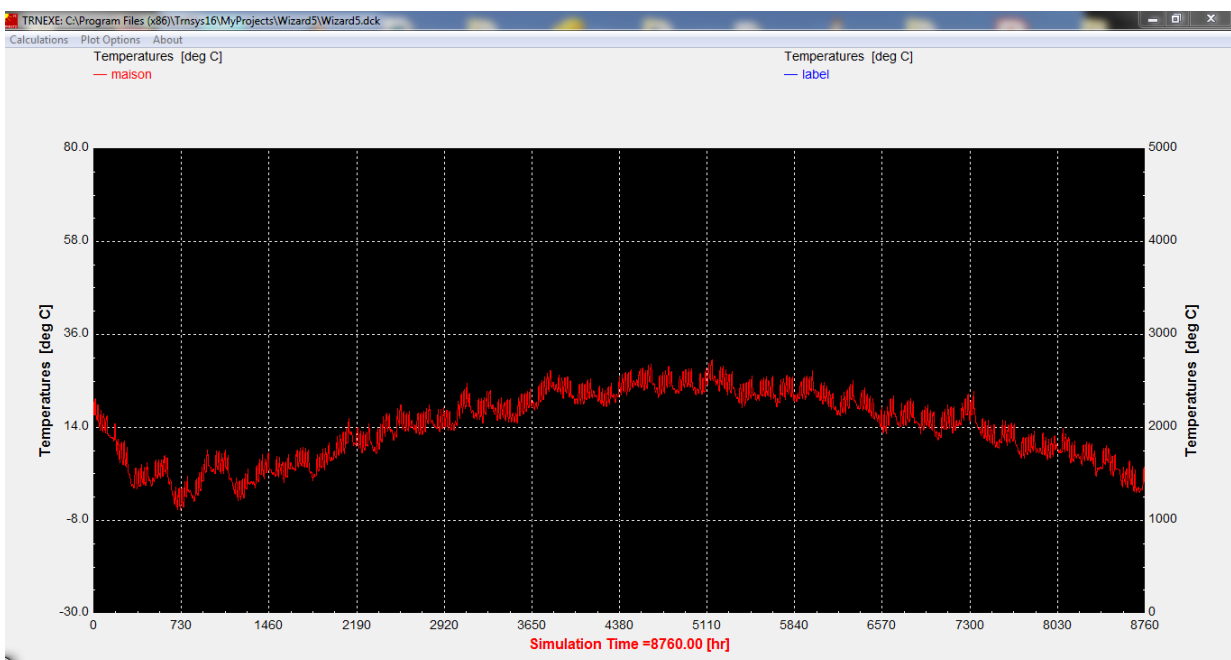


Figure VI. 15: simulation du projet sur TRNSYS

➤ 3^{ème} phase : simulation sur COMBISYS

Cette application est basée sur le logiciel TRNSYS elle permet de simuler notre installation solaire combinée (eau chaude sanitaire et chauffage). Elle démontre la capacité et la fiabilité de TRNSYS.

Schéma de l'installation choisi sur COMBISYS

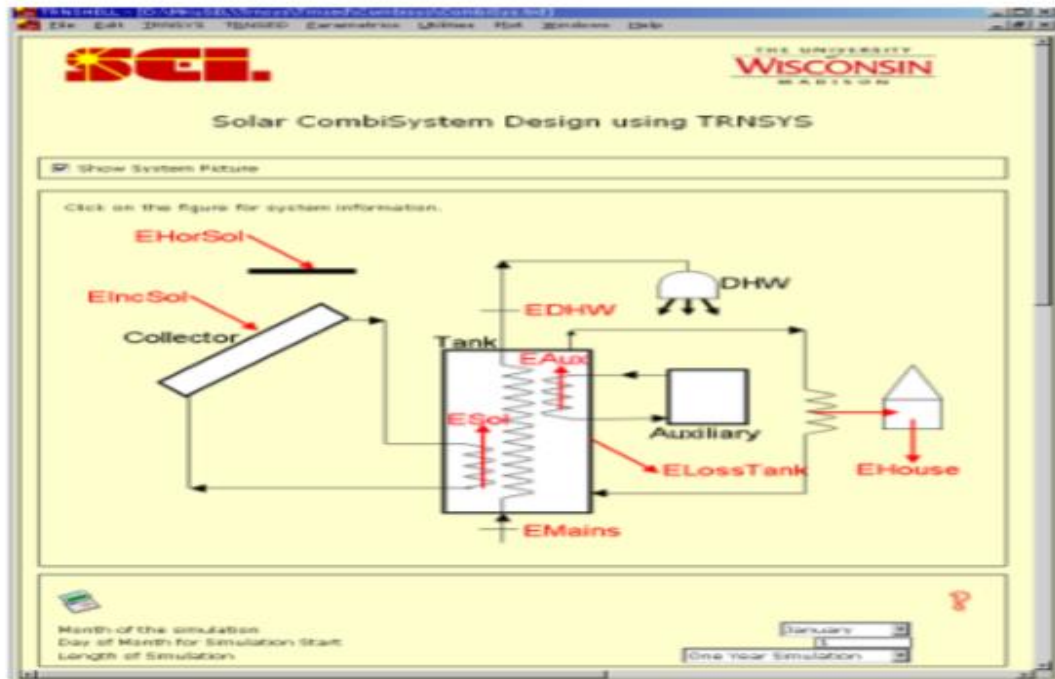



Figure VI. 16: Schéma de l'installation choisi sur COMBISYS.

➤ Etapes de la simulation :


Avant tout application, il faut accéder au dossier approprié et exécuter trnsed.exe. Il faut ensuite cliquer sur « OK » pour fermer la boîte "A propos" puis Ouvrir le fichier TRD (CombiSys.trd). Il y a possibilité de modifier différentes options du système qui devrait être auto-explicatives. L'aide est disponible en cliquant sur les points d'interrogation

Solar CombiSystem Design using TRNSYS

Show System Picture


 ?

Month of the simulation: ?
 Day of Month for Simulation Start:
 Length of Simulation:

 ?


City Name: ?
 Collector Slope: deg
 Collector Azimuth (South=0, East=-90, West=90): deg

Select Solar Collector from a list
 Enter detailed Solar Collector Parameters

 ?


Collector Type: ?
 Collector Total Area: m²
 Collector - Storage Tank Heat Exchanger Effectiveness:

Figure VI. 17: conception d'un system combine.


 ?

Tank Volume per collector area: l/m²
 Tank Loss Coefficient: W/m²/K
 Tank Auxiliary Heating Setpoint: °C


Turn Solar Domestic Hot Water Load ON
 Turn Solar Space Heating ON

 ?

Average Hot Water Draw per occupant (at 45°C - 104°F): l/d
 Number of occupants: -
 Mains Temperature: °C

 ?

Overall Heat Loss coefficient of the house: W/K
 Space Heating Setpoint: °C

 ?

Plot Instantaneous values
 Plot Integrated values

Figure VI. 18: conception d'un system combine.

VI.4 Résultats de simulation :

La simulation du projet est basée sur le logiciel TRNSYS qui permet de simuler notre installation solaire combinée (eau chaude sanitaire et chauffage). Selon les travaux antérieurs des systèmes combinés il doit avoir l’accessibilité aux systèmes combinés sur TRNSYS tel que le fichier TRD(CombiSys.trd) qui offre la possibilité de modifier les différentes options du système qui devrait être auto-explicatives est cela indisponibles sur les versions démos. Alors, pour faire estimation de la consommation d’énergie du système considère on a pris quelques conditions métrologique de la région d’Alger-Bouzareah et de Laghouat des années 2023 et les cinq premiers mois de 2024. Les données sont inspires du site INFOCLIMAT [18] qui offre une base de donne climatique considérables.

➤ A partir de ces figures suivantes la répartition de la température annuelle

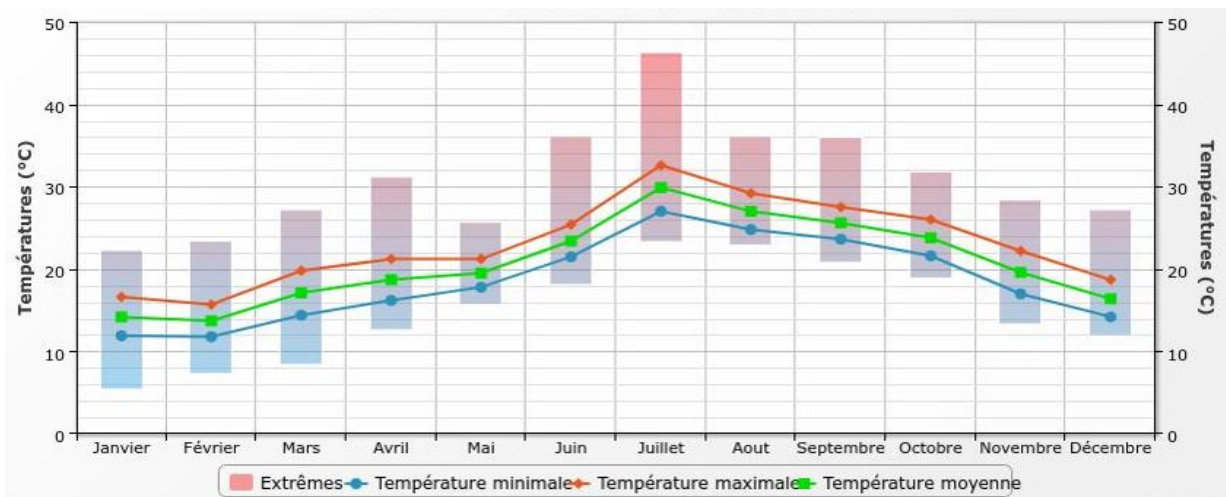


Figure VI. 19: Température mensuelle de 2023 à Alger- Bouzereah

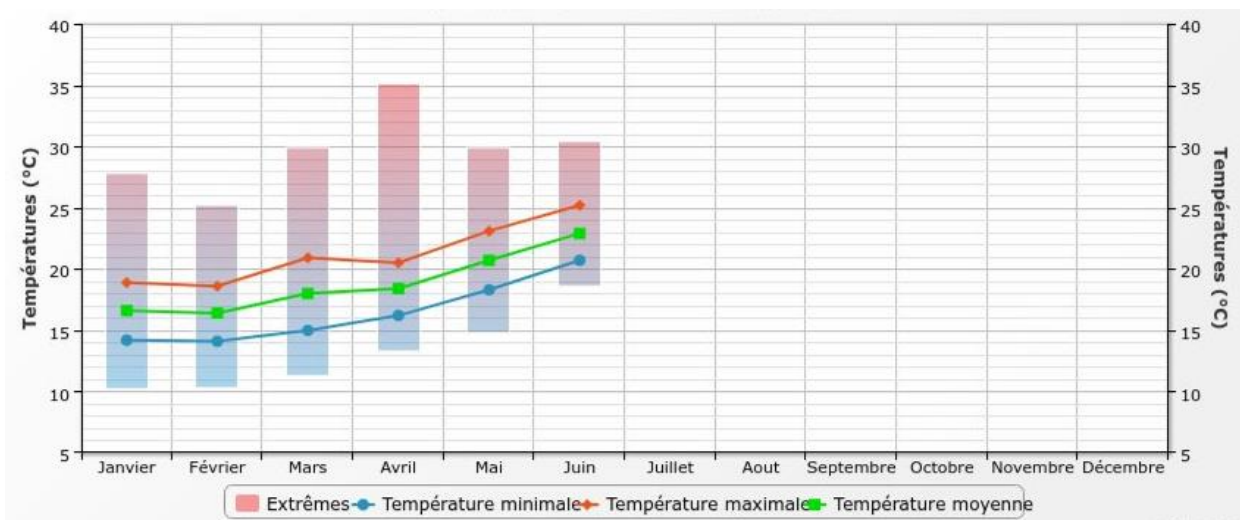


Figure VI. 20: Température du cinq premiers mois de 2024 à Alger-Bouzereah

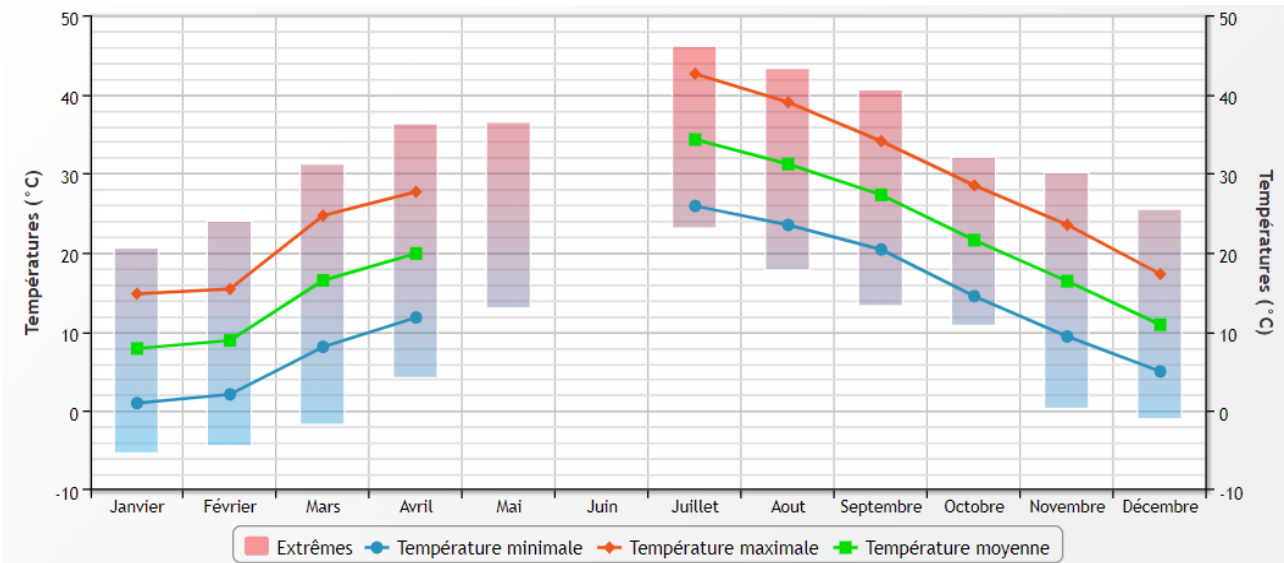


Figure VI. 21 : Température mensuelle de 2023 à Laghouat

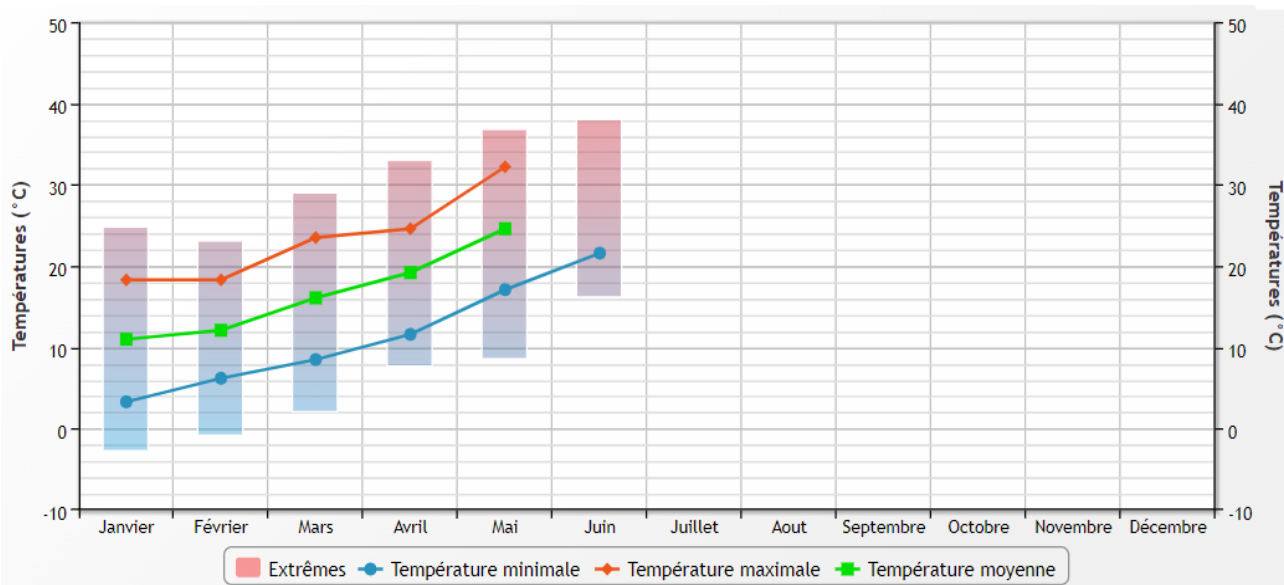


Figure VI. 22: Température du cinq premiers mois de 2024 à Laghouat

Les figures (IV 19, IV 20, IV 21, IV 22) ci-dessus représentent la répartition de la température annuelle des villes de Laghouat et d'Alger - Bouzareah. Nous avons obtenu ces résultats de Climatologie à partir du site INFOCLIMAT [18]. Nous remarquons qu'il y a une fluctuation de température dans les deux régions, comme suit :

- Pour la région d'Alger-Bouzareah :

-Dans la (figure IV : 19) On peut observer la forme sinusoïdale de l'augmentation mensuelle de la température, le maximum est atteint en été et le minimum est atteint en hiver.

-Dans la (figure IV : 20) Quant aux 5 mois de l'année en cours 2024, on remarque une variation de température, atteignant sa température maximale au mois de juin.

- Pour la région de Laghouat :

-Dans la (figure IV : 21) On remarque une différence de température. Cependant, aucun résultat n'a été enregistré au cours des mois de mai et juin. Le maximum est atteint au mois de juillet.

-Dans la (figure IV : 22) Quant aux 5 mois de l'année en cours 2024, on remarque également une augmentation de la température jusqu'à atteindre le mois de juin.

- A partir de figures nous donnons les degrés du jours (climatisation et chauffage) et ensoleillement de deux villes (Laghouat, Alger-Bouzareah) dans les années 2023-2024

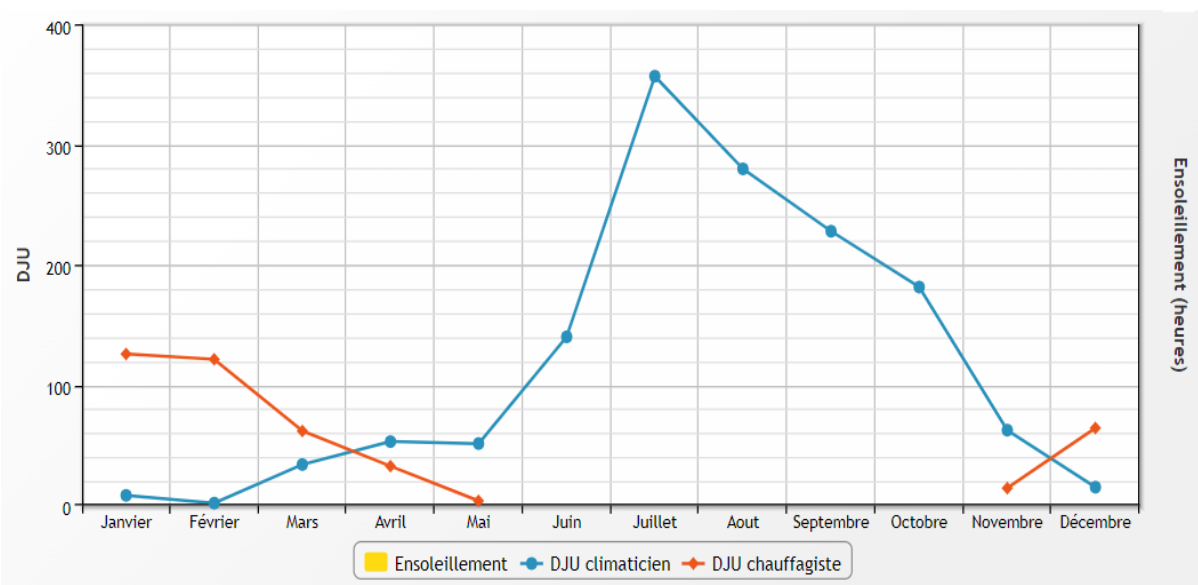


Figure VI. 23: Degrés-jours et ensoleillement mensuelle en 2023 à Alger Bouzereah.

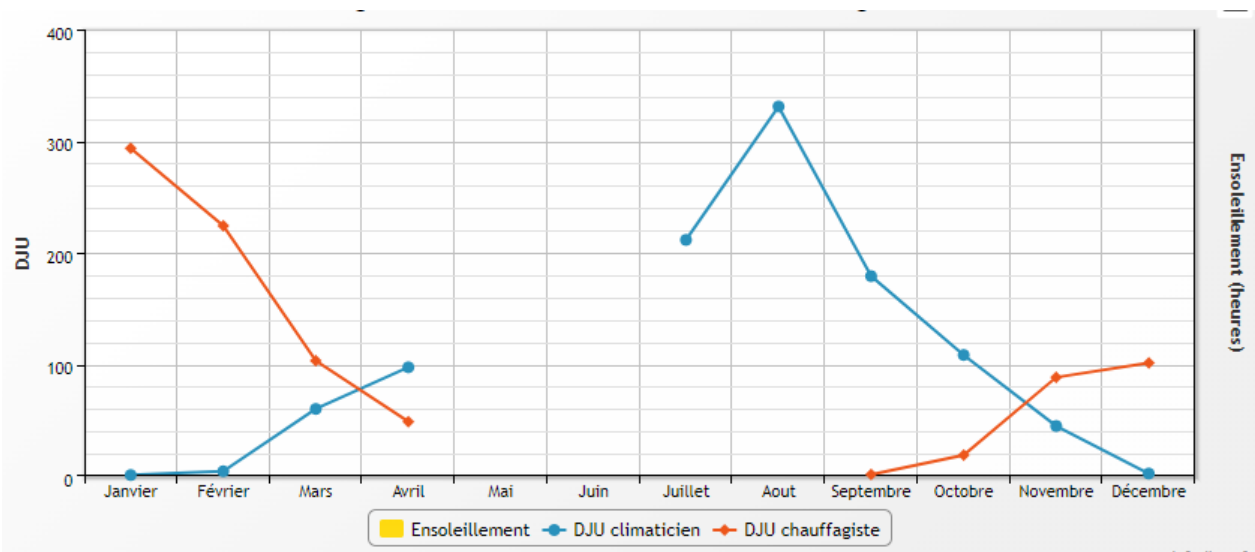


Figure VI. 24: Degrés-jours et ensoleillement mensuelle en 2023 à Laghouat

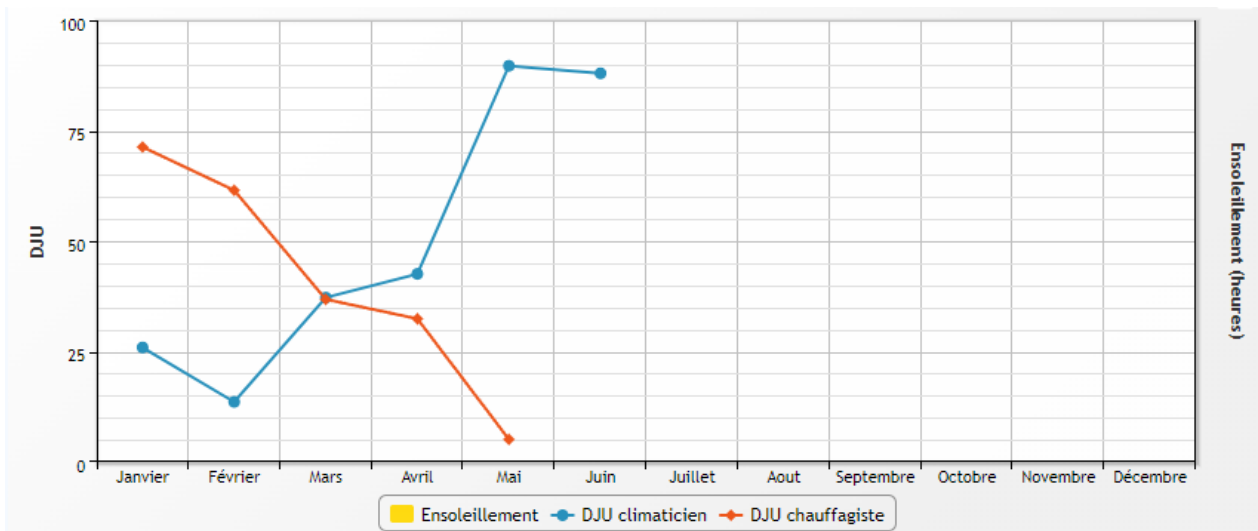


Figure VI. 25: Degrés-jours et ensoleillement du cinq premiers mois de 2024 à Alger Bouzareah

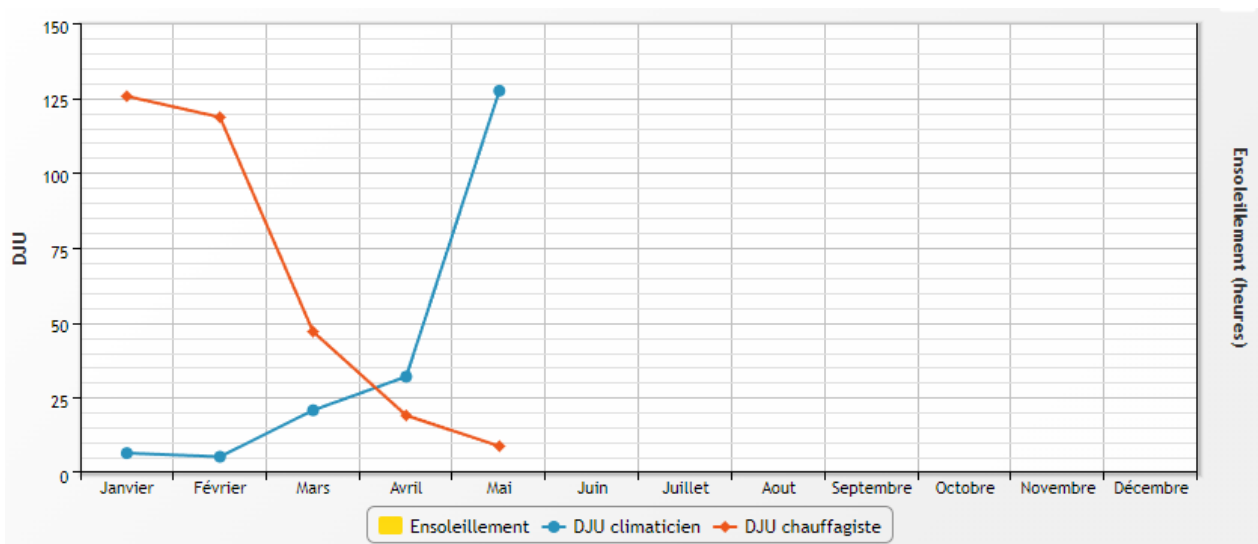


Figure VI. 26: Degrés-jours et ensoleillement du cinq premiers mois de 2024 à Laghouat

D'après les quatre graphiques des figures ci-dessus pour les années 2023 et 2024 : on constate que les besoins en chauffage et climatisation en 2023 varient selon le climat des deux villes (Laghouat et Bouzareah). Il a été constaté que les besoins en climatisation sont supérieurs aux besoins en chauffage dans la région de Bouzareah qui représente un climat à forte humidité, avec une moyenne de 5 mois de juin à octobre,(figure VI.23).

En revanche, la ville de Laghouat enregistre une période de plus grand besoin de chauffage en hiver, et cela est dû à la nature du climat extrêmement froid, alors que l'on constate que le besoin en climatisation est élevé en été en raison de la température élevée en été, (figure VI.24).

Concernant les besoins en chauffage et climatisation pour l'année en cours 2024 dans les deux villes ; On constate que la consommation de chauffage à Laghouat (figure VI.26) est supérieure à celle de la région de Bouzareah en hiver (figure VI.25). Alors que les besoins en climatisation entre les deux villes étaient quasiment égaux. Cela est dû à la nature du climat de chaque ville.

VI.5 Propositions et possibilités de l'Audit Énergétique dans le secteur du Bâtiment et autres secteurs en Algérie :

L'audit énergétique joue un rôle crucial dans la détection des possibilités d'économies D'énergie, l'amélioration de l'efficacité énergétique et la réduction des dépenses. En Algérie, il existe différents domaines où l'audit énergétique peut être effectué, tels que le bâtiment, l'industrie, le transport et l'agriculture. Voici une étude approfondie des offres et des opportunités d'audit énergétique dans ces domaines :

VI .5.1 Secteur du Bâtiment

➤ **Bâtiments Résidentiels :**

- **Évaluation de l'Isolation :** Afin de repérer les pertes de chaleur et suggérer des améliorations, il est recommandé d'effectuer une évaluation de l'isolation thermique des murs, des toits et des fenêtres.
- **Systèmes de Chauffage et de Climatisation :** S'assurer de l'efficacité des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC) et suggérer des solutions plus écologiques en énergie telles que les pompes à chaleur.

• **Éclairage :**

Auditer l'éclairage afin de favoriser l'emploi de LED et d'autres technologies d'éclairage respectueuses de l'environnement.

• **Equipements Electroménagers :**

Évaluer l'efficacité énergétique des appareils électroménagers et proposer des appareils éco-énergétiques certifiés.

➤ **Bâtiments Commerciaux et Administratifs :**

- **Gestion des Consommations Énergétiques :** Instaurer des dispositifs de gestion de l'énergie afin de surveiller et gérer la consommation en temps réel.
- **Audit des Installations Électriques :** Étudier les systèmes électriques afin de repérer les dépenses excessives et les pertes d'énergie.

- **Efficacité des Ascenseurs et Escaliers Mécaniques :** Assurer l'efficacité énergétique des ascenseurs et des escaliers mécaniques, et suggérer des solutions plus efficaces.

VI .5.2 Secteur Industriel :

- **Évaluation des Processus :** Auditer les procédés industriels afin de repérer les défauts énergétiques et suggérer des solutions pour maximiser l'efficacité de l'utilisation de l'énergie.
- **Machines et Équipements :** Évaluer la condition et l'efficacité des machines et équipements industriels, et suggérer des mises à jour ou des substitutions par des modèles plus écologiques en énergie.

Récupération de Chaleur Proposer des méthodes pour récupérer la chaleur résiduelle afin de réutiliser l'énergie perdue lors des processus de production.

- **Systèmes de Réfrigération et de Climatisation :**
- **Analyse de Performance :** Auditer les performances des systèmes de réfrigération et de climatisation afin de recommander des technologies plus performantes.
- **Maintenance Préventive :** Créer des plans de maintenance préventive afin d'assurer L'efficacité maximale des systèmes de réfrigération et de climatisation.

VI .5.3 Secteur du Transport

➤ Gestion de Flotte :

- **Audit des Véhicules :** Analyser la consommation d'essence des véhicules, leur maintenance et leur utilisation afin de repérer des possibilités d'amélioration.
- **Optimisation des Itinéraires :** Proposer des possibilités d'amélioration des trajets et de diminution des distances parcourues, ce qui entraîne une diminution de la consommation de carburant.
- **Conversion au GPL :** Promouvoir la conversion des véhicules au GPL, une option plus abordable et respectueuse de l'environnement par rapport aux carburants traditionnels.

➤ Infrastructure de Transport :

- **Éclairage Public :** Effectuer une évaluation de l'éclairage public afin de suggérer des solutions D'éclairage plus efficaces, telles que l'emploi de lampadaires solaires.
- **Signalisation Routière Signalisation Routière :** Effectuer une évaluation de l'efficacité énergétique des systèmes de signalisation routière et suggérer des modifications.

VI .5.4 Secteur Agricole

➤ **Systèmes d'Irrigation :**

- **Efficacité des Pompes :** Évaluer l'efficacité des pompes d'irrigation afin de suggérer des modèles plus performants ou des systèmes de gestion automatisée de l'irrigation.
- **Énergies Renouvelables :** Promouvoir l'emploi de systèmes d'irrigation à l'énergie solaire afin de diminuer la dépendance aux sources d'énergie conventionnelles.

➤ **Bâtiments Agricoles :**

- **Serres :** Évaluer les serres afin d'optimiser leur isolation thermique, la gestion de la température et l'efficacité énergétique.
- **Bâtiments d'Élevage :** Analyser la consommation d'énergie des installations d'élevage et suggérer des moyens de diminuer les dépenses énergétiques tout en améliorant le confort des animaux.

Conclusion :

Comme conclusion, nous pouvons dire que les besoins en chauffage et climatisation varient selon le climat de chaque ville. L'audit énergétique est essentiel pour repérer les opportunités d'économies d'énergie, améliorer l'efficacité énergétique et diminuer les dépenses.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale et perspectives

L'audit énergétique représente une approche stratégique qui offre de multiples opportunités d'amélioration de l'efficacité énergétique dans différents domaines en Algérie.

En appliquant les recommandations des audits, il est envisageable de faire des économies importantes, et diminuer l'impact sur l'environnement et de contribuer à la transition énergétique du pays. Il est crucial de mettre en place des actions comme la formation des auditeurs énergétiques, de sensibiliser les acteurs aux avantages des audits et de promouvoir les technologies éco énergétiques afin d'optimiser l'impact de ces audits.

Dans ce mémoire, nous abordons la problématique de l'audit énergétique en Algérie, nous étudions l'exemple que nous avons pris selon le contexte de notre sujet. Et après l'avoir simulé sur logiciel de TRNSYS, nous avons obtenu via le site de climatologie nous avons les résultats de températures dans la ville de Laghouat et la ville de Bouzareah en Algérie. Nous avons également obtenu que les besoins en chauffage et en climatisation soient liés au climat de la région étudiée. Dans les futurs travaux nous allons effectuer des simulations approfondies de la consommation d'énergie sous TRNSYS et les appliquer sur les systèmes réelles afin d'effectuer un audit énergétique à n'importe quel système.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Ministère De L'énergie et des Mines :Audite énergétique.
- [2] APRUE Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie.
- [3] 'ADEME' audit énergétique dans les bâtiments -Décembre 2014.01_09_2015.
- [4] Ministère De L'énergie et des Mines : bilan_energetique_2021.
- [5] Mémo CAD nR14.a Roger Cadiergues PERFORMANCE ET ÉTIQUETTES ÉNERGÉTIQUES.
- [6] 'ALGERIE 360' ISO-50001 : une norme méconnue en Algérie.
- [7] 'ATEE' NORMES et REFERENTIELS pour la Maîtrise de l'Energie-04 janvier 2024.
- [8] Ministère de l'Energie et des Mines, Guide Méthodologique « Annexe II ».
- [9] Ministère de l'Energie et des Mines, les cahiers des charges définissant la méthodologie le rapport d'audit et sa synthèse « Annexe I ».
- [10] Etablissement d'une méthodologie pour l'audit énergétique. Mr. Marzouk ZAIR Projet de Fin d'Etudes : 2011/2012.
- [11] Audit énergétique des Entreprises : Le Guide de la mesure-Edition Février 2015 par Testoon.
- [12] Ministère de l'énergie et des Mines rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergie.
- [13] <https://elwatan-dz.com/consommation-denergie-en-algerie-le-gaz-naturel-se-taille-la-part-du-lion> (28/02/2024).consulté le 10/06/2024.
- [14] Donnees.banquemondiale.
- [15] Analyse de cycle de vie (AVC) Application aux bioproduits, université de lorraine ,2011.
- [16] BENAKLI SAID OUALI et ADDAD MASSINISSA `Simulation d'une installation solaire pour la production d'eau` Mémoire du fin d'études de Master. UNIVERSITE MOULOUD MAMMERIDE TIZI-OUZOU ,2012.
- [17] TAING ,KIMNENH `analyse et modélisation des données d'un bâtiment pour l'évaluation de son comportement thermique ` travail de fin d'études . Université Liege Library, 2019.
- [18] <https://www.infoclimat.fr> consulté le 15-06-2024.