

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان
Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En: Génie civile

Spécialité: Efficacité Energétique des Bâtiments

Par: LAKSARI Ismail

BENDAHMANE Sid Ahmed Yacine

Sujet

**BILAN THERMIQUE DES LOGEMENTS SELON LA REGLEMENTATION
ALGERIENNE « ÉTUDES DE DEUX CAS AVEC PRECONISATIONS »**

Soutenu publiquement, le 12 Juin 2025, devant le jury composé de :

Mr. CHERIF BENMOUSSA Y.	Grade MAA	Université de Tlemcen	Président
Mr. HENAOUI M	Grade	Université de Tlemcen	Examineur
Mr. MISSOUM Med Abdelghani	Grade MCB	Université de Tlemcen	Encadrant

Année universitaire : 2024 /2025

Remerciements

Tout d'abord, à **DIEU** merci, le Clément et Miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que nous remercions notre promoteur **Mr. MISSOUM Med Abdelghani** pour la sollicitude avec laquelle il a suivie et guidée ce travail.

Nous remercions les membres du jury **Mr. CHERIF BNMOUSSA Y** et **Mr. HENAOUI M** qui nous font l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.

Toute notre gratitude à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nos remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce projet.

Dédicaces

Nous dédions ce travail de master,

À

Nos parents

*qui durant toutes ces longues années d'études nous l'aidé, soutenu et fait
confiance.*

Et pour Leurs disponibilité permanente

RESUME

Dans un contexte où l'Algérie cherche à réduire sa dépendance aux hydrocarbures, l'amélioration de l'efficacité énergétique, notamment dans le secteur du bâtiment, représente un enjeu stratégique. Le Programme National de Maîtrise de l'Énergie (PNME) fixe des objectifs ambitieux à l'horizon 2030, parmi lesquels une réduction significative de la consommation énergétique, en particulier dans l'habitat, identifié comme l'un des secteurs les plus énergivores.

Ce mémoire s'inscrit dans cette dynamique, à travers l'analyse détaillée de la performance énergétique de deux logements individuels. Après avoir mené des relevés géométriques et identifié les matériaux et systèmes en place, un bilan thermique a été établi selon la réglementation algérienne (DTR C3.2/4 et RTB+), permettant de localiser les principales sources de déperditions de chaleur.

Les résultats obtenus ont mis en évidence plusieurs faiblesses thermiques : ponts thermiques, isolation insuffisante, vitrages simples, équipements peu performants. Plusieurs solutions d'amélioration ont été testées : isolation par l'extérieur, remplacement des menuiseries, changement de chaudière, isolation de toiture. Si certaines interventions se sont révélées efficaces sur le plan technique, leur impact économique reste limité en raison du faible coût de l'énergie en Algérie et de l'absence de mécanismes d'incitation financière.

L'étude montre que les logements déjà moyennement performants énergétiquement ne justifient pas, en l'état actuel, d'importants investissements en rénovation thermique. En revanche, elle souligne la nécessité de concentrer les efforts sur les habitations à très faible performance (les "passoires thermiques"), où les marges de progrès et les gains économiques sont bien plus importants.

Enfin, ce travail met en lumière la pertinence d'associer à toute analyse technique une évaluation économique rigoureuse, intégrant le calcul de retour sur investissement, afin de guider les décisions futures. Il ouvre également des perspectives de recherche élargies, notamment autour de politiques d'incitation et de ciblage des ménages prioritaires pour une transition énergétique équitable et efficace dans le secteur résidentiel.

Mots clés : Bilan thermique, Diagnostic performances énergétique, isolation, retour sur investissement, habitation, chauffage, climatisation

ABSTRACT

In a context where Algeria is seeking to reduce its dependence on hydrocarbons, improving energy efficiency, particularly in the building sector, represents a strategic challenge. The National Energy Management Programme (PNME) sets ambitious targets for 2030, including a significant reduction in energy consumption, particularly in housing, identified as one of the most energy-intensive sectors.

This thesis is part of this dynamic, through the detailed analysis of the energy performance of two individual dwellings. After conducting geometric surveys and identifying the materials and systems in place, a thermal balance was established according to Algerian regulations (DTR C3.2/4 and RTB+), allowing to locate the main sources of heat losses.

The results obtained revealed several thermal weaknesses: thermal bridges, insufficient insulation, simple glazing, low performance equipment. Several improvement solutions have been tested: external insulation, replacement of joinery, boiler change, roof insulation. Although some interventions have proved to be technically effective, their economic impact remains limited due to the low cost of energy in Algeria and the absence of financial incentive mechanisms.

The study shows that houses with already medium energy performance do not justify, in their current state, large investments in thermal renovation. On the other hand, it highlights the need to concentrate efforts on very low-performance dwellings ("thermal sieves"), where the margins of progress and economic gains are much greater.

Finally, this work highlights the relevance of combining any technical analysis with a rigorous economic assessment, including the calculation of return on investment, in order to guide future decisions. It also opens up broader research opportunities, particularly around incentive policies and targeting priority households for an equitable and efficient energy transition in the residential sector.

Keywords: Thermal assessment, Energy performance diagnosis, insulation, return on investment, housing, heating, air conditioning

ملّخص

في سياق تسعى فيه الجزائر إلى تقليل اعتمادها على الهيدروكربونات، فإن تحسين كفاءة الطاقة، وخاصة في قطاع البناء، يمثل تحدياً استراتيجياً. يحدد البرنامج الوطني لإدارة الطاقة (PNME) أهدافاً طموحة لعام 2030، بما في ذلك التخفيض الكبير في استهلاك الطاقة، خاصة في الإسكان، الذي تم تحديده كواحد من أكثر القطاعات استهلاكاً للطاقة.

وتشكل هذه الأطروحة جزءاً من هذه الديناميكية، من خلال التحليل التفصيلي لأداء الطاقة في مسكنين فرديين. وبعد إجراء المسوحات الهندسية وتحديد المواد والأنظمة الموجودة، تم إنشاء توازن حراري وفقاً للوائح الجزائرية (DTR C3.2/4) و(RTB+)، مما يسمح بتحديد المصادر الرئيسية لفقد الحرارة.

كشفت النتائج التي تم الحصول عليها عن العديد من نقاط الضعف الحرارية: الجسور الحرارية، عدم كفاية العزل، الزجاج البسيط، المعدات منخفضة الأداء. تم اختبار العديد من حلول التحسين: العزل الخارجي، واستبدال النجارة، وتغيير الغلايات، وعزل السقف. وعلى الرغم من أن بعض التدخلات أثبتت فعاليتها من الناحية الفنية، إلا أن تأثيرها الاقتصادي لا يزال محدوداً بسبب انخفاض تكلفة الطاقة في الجزائر وغياب آليات الحوافز المالية.

وتظهر الدراسة أن المنازل ذات الأداء المتوسط بالفعل في مجال الطاقة لا تبرر، في حالتها الحالية، استثمارات كبيرة في التجديد الحراري. ومن ناحية أخرى، يؤكد على ضرورة تركيز الجهود على المساكن ذات الأداء المنخفض للغاية ("المصافي الحرارية")، حيث تكون هوامش التقدم والمكاسب الاقتصادية أكبر بكثير.

وأخيراً، يسلط هذا العمل الضوء على أهمية الجمع بين أي تحليل فني وتقييم اقتصادي صارم، بما في ذلك حساب العائد على الاستثمار، من أجل توجيه القرارات المستقبلية. كما أنه يفتح فرصاً بحثية أوسع، لا سيما فيما يتعلق بسياسات الحوافز واستهداف الأسر ذات الأولوية لتحقيق تحول عادل وفعال في مجال الطاقة في القطاع السكني.

الكلمات المفتاحية: التوازن الحراري، تشخيص الأداء الطاقوي، العزل، العائد على الاستثمار، السكن، التدفئة، التكيف

Liste des figures

- Figure 1: Organisation des contenus sur le thème de l'énergie
- Figure 2: Demande de l'énergie finale dans le cas du chauffage domestique
- Figure 3: Le Solaire Photovoltaïque
- Figure 4: solaire thermique
- Figure 5: Schéma d'une installation-type de géothermie
- Figure 6: Consommation finale d'énergie par secteur dans le monde en 2015
- Figure 7: Evolution de la consommation nationale par secteur en Ktep
- Figure 8: Répartition de consommation finale par secteur
- Figure 9: Evolution de la consommation électrique à Tlemcen dans le secteur résidentiel
- Figure 10: Consommation de l'électricité à Tlemcen dans le secteur résidentiel
- Figure 11: Consommation gazière à Tlemcen dans le secteur résidentiel (2013-2018)
- Figure 12: Schéma montrant la consommation d'énergie selon la date de construction et les choix écologiques
- Figure 13: Répartition en % des déperditions pour une maison et un immeuble
- Figure 14: Apports d'énergie dans les bâtiments
- Figure 15: Pont thermique d'un plancher
- Figure 16: Ponts thermiques de liaisons
- Figure 17: Ponts thermiques intégrés
- Figure 18: Facteur d'émission et des vitrages
- Figure 19: Facteur solaire g des vitrages
- Figure 20: Transmission lumineuse T_l des vitrages
- Figure 21: Coefficient de transmission thermique de vitrage
- Figure 22: Exemple de U_g pour différents types de vitrages
- Figure 23: Coefficient d'une fenêtre à double vitrage
- Figure 24: Coefficient d'une fenêtre+ fermeture extérieure
- Figure 25: Principaux coefficients qui permettent de caractériser les performances thermiques d'une paroi vitrée et sa fermeture

Figure 26: Principe de la ventilation naturelle

Figure 27: Répartition en % des infiltrations d'air dans une maison individuelle

Figure 28: Conductivités thermiques de quelques matériaux

Figure 29 : plan 1

Figure 30: Façade 1

Figure 31 : Calcul des infiltrations

Figure 32 : DIAGRAMME de l'air humide ou psychrométrique

Figure 33 : Plan 2

Figure 34 : Façade 2

Figure 35 : Calcul des Infiltrations

Figure 36 : Diagramme en barre comparatif des solutions

Figure 37 : Diagramme en barre comparatif des couts

Figure 38 : Diagramme en barre comparatif des solutions

Figure 39 : Diagramme en barre comparatif des couts

Liste des Tableaux

Tableau 1: Consommation énergétique finale nationale par secteur

Tableau 2: la consommation électrique annuelle à Tlemcen

Tableau 3: Consommation d'énergie électrique à Tlemcen (2017 et 2018)

Tableau 4: La consommation annuelle du gaz naturel dans le secteur résidentiel à Tlemcen

Tableau 5 : Données dimensionnelles générales du bâtiment

Tableau 6 : Surfaces de l'enveloppe et leur orientation

Tableau 7 : Données géométriques des fenêtres

Tableau 8 : Paramètres géographiques et zones thermiques

Tableau 9 : Conditions de base extérieures

Tableau 10 : Conditions de base intérieures

Tableau 11 : Composition des parois opaques

Tableau 12 : Calculs du débit supplémentaire par infiltrations due au vent (qs)

Tableau 13 : Apport parois opaques

Tableau 14 : Coefficients de correction du rayonnement total de base dans le cas d'étude

Tableau 15 : Apports par transmission (avt) et par ensoleillement (ave) à travers les parois vitrées

Tableau 16 : Apports de référence de parois opaques horizontales

Tableau 17 : Apports de référence de parois opaques verticales

Tableau 18: Apports de référence par transmission (AVT) et par ensoleillement (AVE) à travers les parois vitrées

Tableau 19 : Apports calorifiques dus aux appareils ménagers et de restaurants

Tableau 20 : Apports internes

Tableau 21 : Apports latents

Tableau 22 : Données dimensionnelles générales du bâtiment

Tableau 23: surfaces de l'enveloppe et leur orientation

Tableau 24: données géométriques des fenêtres

Tableau 25 : Paramètres géographiques et zones thermiques

Tableau 26 : Conditions de base intérieures

Tableau 27 : Conditions de base intérieures

Tableau 28: Composition des parois opaques

Tableau 29 : Calculs du débit supplémentaire par infiltrations dues au vent (q.s.)

Tableau 30 : Apport parois opaques

Tableau 31 : Coefficients de correction du rayonnement total de base dans le cas d'étude

Tableau 32 : Apports de référence par transmission (AVT) et par ensoleillement (AVE) à travers les parois vitrées

Tableau 33 : Apports de référence de parois opaques horizontales

Tableau 34 : Apports de référence de parois opaques verticales

Tableau 35 : Apports par transmission (avt) et par ensoleillement (ave) à travers les parois vitrées

Tableau 36 : APPORTS calorifiques dus aux appareils ménagers et de restaurants

Tableau 37 : Apports internes

Tableau 38 : Apports sensibles

Tableau 39 : Apports latents

Tableau 40 : Récapitulatif des résultats

Tableau 41 : Récapitulatif des résultats

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

CHAPITRE I - THERMIQUE DU BATIMENT

1 Définition de l'énergie.....	5
2. Le besoin d'énergie dans le bâtiment	6
3. Les types d'énergie renouvelable utilisée dans les bâtiments	7
3.1 L'énergie du soleil.....	7
3.2 Le Solaire Photovoltaïque	7
3.2.1 Le Solaire Thermique.....	9
3.2.2 L'énergie du vent(l'éolien).....	9
3.2.3 L'énergie de la terre(lagéothermie)	9
3.3 Consommation d'énergie	9
3.3.1 Consommation énergétique mondiale par secteur d'activité	9
3.3.2 Consommation nationale d'énergie.....	10
3.3.2.1 Evolution de la consommation par secteur d'activité	10
3.3.3 Consommation d'énergie à TLEMCEM	11
<u>3.4</u> Consommation énergétique des logements anciens et récents.....	15
3.5 Classification énergétique des bâtiments	17
4. Définition de le climat.....	17
5. Déperditions thermiques.....	17
5.1 Les apports d'énergie dans les bâtiments :.....	18
5.1.1 Les apports intérieurs:.....	18
5.1.2 Les apports extérieurs:.....	18
6. Les Ponts thermiques.....	19
6.1 Types de ponts thermiques.....	20
7. Déperditions thermiques à travers les ouvertures.....	22
7.1 Définitions	22
7.1.1 Les fenêtres.....	22

7.1.2 Performances thermiques des vitrages	24
7.1.3 La ventilation naturelle	25
7.2 Conductivité thermique	27

CHAPITRE II - BILAN ENERGETIQUE DES DEUX MAISONS

Introduction	30
--------------------	----

CAS D'ETUDE I

I.1. Aspects geometriques	30
I.2 Données climatiques	32
I.3 Les composantes d'enveloppe et le calcul des coefficients de transmission thermique	33
I.4 Calculs d'hiver	34
I.5 Calculs d'été	37
I.6 Evaluation énergétique de la maison (selon DTR C3.2/4)	49
I.6.1. Données générales du bâtiment	49
I.6.2. Besoins de chauffage.....	49
I.6.2.1 Hypothèse réglementaire	49
I.6.2.2 Calcul des besoins.....	50
I.6.3. Besoins de climatisation	50
I.6.3.1 Hypothèse d'utilisation.....	50
I.6.3.2 Calcul des besoins.....	50
I.6.4. Besoins en eau chaude sanitaire (ECS)	50
I.6.4.1 Formule réglementaire (DTR C3.2/4)	50
I.6.4.2 Conversion en énergie primaire.....	50
I.6.5. Bilan énergétique global	50
I.6.6. Consommation spécifique	51
I.6.7. Classe énergétique de la maison	51

CAS D'ETUDE II

II.1 Aspects géométriques.....	53
II.2 Données climatiques	54
II.3 Les composantes d'enveloppe et le calcul des coefficients de transmission thermique.....	55
II.4 Calculs d'hiver	57
II.5 Calculs d'été	58
II.6 Evaluation énergétique de la maison (selon DTR C3.2/4)	65
II.6. 1. Données générales du bâtiment.....	65
II.6.2. Besoins de chauffage.....	65
II.6.2.1 Hypothèse réglementaire	65

II.6.2.2 Calcul des besoins	65
II.6.3. Besoins de climatisation.....	66
II.6.3.1 Hypothèse d'utilisation.....	66
II.6.3.2 Calcul des besoins	66
II.6.4. Besoins en eau chaude sanitaire (ECS)	66
II.6.4.1 Formule réglementaire (DTR C3.2/4)	66
II.6.4.2 Conversion en énergie primaire	66
II.6.5. Bilan énergétique global.....	66
II.6.6. Consommation spécifique	66
II.6.7. Classe énergétique de la maison.....	67
Conclusion	67

CHAPITRE III - ANALYSE ECONOMIQUE ET RETOUR SUR INVESTISSEMENT

Cas d'étude N°I

Introduction	69
I. Cas d'étude 1	69
I.1 1ère solution : Isolation thermique par l'extérieur (ITE)	69
I.2. 2 ^{ème} solution: Remplacer les fenêtres existantes par du double vitrage avec Cadre en PVC	71
III. 3 ^{ème} Solution : Remplacement de la chaudière et Installation d'un chauffe-eau solaire individuel (CESI) :	72
IV. 4eme Solution : isolation thermique intérieur de la toiture (ITI) :.....	74
V. Interprétation des solutions de cas d'étude N° 1	76
V.1.Comparaison croisée des solutions (par paire).....	78
V.2. Analyse synthétique globale	79
I. Cas d'étude 2	
I.1 1ère solution : Isolation thermique par l'extérieur (ITE)	80
I.2. 2 ^{ème} solution: Remplacer les fenêtres existantes par du double vitrage avec Cadre en PVC.....	82
III. 3 ^{ème} Solution : Remplacement de la chaudière et Installation d'un chauffe-eau solaire individuel (CESI) :	83
VI. 4eme Solution : isolation thermique intérieur de la toiture (ITI) :.....	85
VII. Interprétation des solutions de cas d'étude N° 1	87
Conclusion	90
Conclusion Générale.....	92
Références bibliographique.....	94

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction Générale

Bien que l'Algérie soit historiquement et économiquement dépendante du secteur des hydrocarbures, les enjeux environnementaux et énergétiques actuels l'ont conduite à adopter une nouvelle vision axée sur la maîtrise de l'énergie. Cette transition énergétique s'est concrétisée à travers le Programme National de Maîtrise de l'Énergie (PNME), initié par le gouvernement algérien et actualisé en 2015. Ce programme vise à freiner la croissance continue de la demande énergétique nationale tout en promouvant l'efficacité énergétique dans divers secteurs. À l'horizon 2030, le PNME ambitionne une économie d'environ 63 millions de tonnes équivalent pétrole (Tep), une réduction de plus de 193 millions de tonnes de CO₂ et la création de 200 000 emplois directs ou indirects.

Parmi les secteurs les plus énergivores, le bâtiment occupe une place centrale, avec un potentiel d'économie estimé à 30 millions de Tep. Dans cette perspective, le programme national encourage activement l'application de l'isolation thermique de l'enveloppe des bâtiments, aussi bien pour les constructions existantes que pour les projets neufs. L'objectif est double : réduire la consommation énergétique et améliorer le confort thermique des logements en minimisant le recours aux systèmes de chauffage et de climatisation.

Dans ce contexte, le présent mémoire s'inscrit dans une démarche d'analyse de la performance énergétique de deux logements individuels, à travers la réalisation de leur bilan thermique. L'objectif est d'identifier les sources principales de déperdition de chaleur, d'évaluer la consommation énergétique et de proposer des solutions concrètes et techniquement viables pour améliorer leur efficacité énergétique, réduire les coûts de fonctionnement et renforcer le confort intérieur.

Pour ce faire, une première phase consistera à effectuer des levés géométriques, incluant les surfaces habitables, les dimensions des ouvertures, ainsi que la localisation et l'orientation des habitations étudiées, en tenant compte notamment de leur altitude. Ensuite, nous procéderons à l'identification des matériaux constitutifs de l'enveloppe bâtie, de leurs épaisseurs, ainsi que des systèmes de chauffage et de climatisation utilisés. Ces éléments serviront de base au calcul du bilan thermique, permettant de localiser précisément les zones de pertes énergétiques (ponts thermiques, défauts d'isolation, etc.).

Une analyse approfondie de la consommation énergétique de chaque logement sera ensuite menée afin d'estimer les besoins réels en énergie pour le chauffage et la climatisation. Sur cette base, des recommandations ciblées seront formulées pour améliorer les performances énergétiques : amélioration de l'isolation, changement des équipements, optimisation des usages. Chaque proposition sera évaluée à travers un calcul de retour sur investissement, afin de déterminer sa faisabilité économique.

Tous les calculs seront effectués en conformité avec la réglementation thermique nationale en vigueur, notamment les documents techniques réglementaires DTR C3.2/4 ainsi que le référentiel RTB+. Enfin, une conclusion générale viendra synthétiser les résultats obtenus et proposer une vision stratégique pour une meilleure efficacité énergétique du secteur résidentiel en Algérie.

CHAPITRE I

Thermique du bâtiment

INTRODUCTION :

Dans ce premier chapitre, nous présentons une base théorique essentielle à la compréhension des phénomènes liés à la performance énergétique des bâtiments. Nous abordons les principaux modes de transfert de chaleur, les notions de confort thermique et d'isolation, ainsi que les caractéristiques des matériaux isolants. L'objectif est de poser un cadre de référence clair pour mieux analyser les besoins énergétiques dans le secteur du bâtiment. Nous nous intéressons à l'évolution de la consommation d'énergie à l'échelle mondiale, nationale, et locale, notamment à Tlemcen. Cette étude permet de mieux comprendre les enjeux actuels de la maîtrise de l'énergie dans le bâtiment.

1. Définition de l'énergie

« Energie » est un mot d'origine latine énergie, qui veut dire « puissance physique qui permet d'agir et de réagir ». L'énergie est capable de produire soit de la chaleur, soit du travail, soit tous les deux, qui sont nécessaire pour notre vie.

La définition de l'énergie est vague, à une acceptation large suivant les différents domaines ou on se trouve [1] :

- ✓ Par rapports aux physiciens; l'énergie est la puissance matérielle du travail
- ✓ Par rapports aux économistes ; C'est la quantité de l'énergie mécanique commercialisée ; C'est-à-dire l'ensemble des sources et des formes d'énergies susceptibles d'utilisation massive,

Aussi bien pour produire de la chaleur que pour actionner des machines.

Vu qu'elle est indispensable au confort, L'énergie peut s'introduire dans l'architecture à travers deux axes principaux [2] (figure 1) :

- ✓ Le coût énergétique «**initial**» de la construction à partir du coût énergétique «**vécu** » de la consommation du au chauffage, climatisation, éclairage et alimentation matériaux et de la construction.

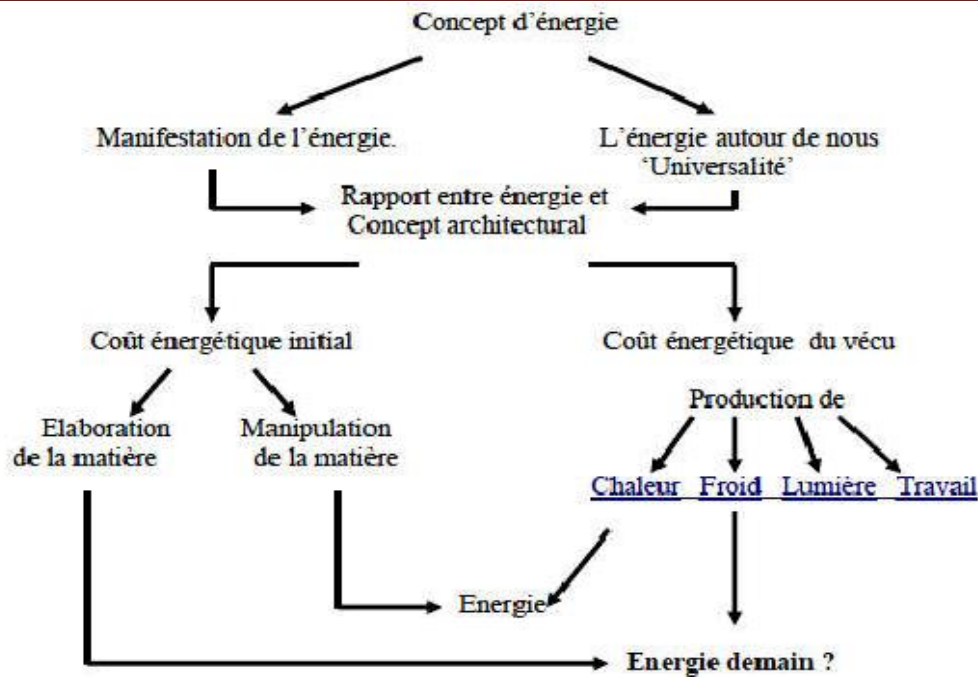


Figure 1: Organisation des contenus sur le thème de l'énergie[1]

2. Le besoin d'énergie dans le bâtiment

Le besoin brut du bâtiment est la quantité d'énergie nécessaire pour maintenir, pendant une période de temps donné, un climat intérieur convenable et satisfaire les prestations du bâtiment (eau chaude, cuisson, éclairage, chauffage, climatisation, ...).

Dans le bâtiment, le maintien d'un confort thermique agréable semble s'opposer aux recherches d'économie d'énergie, d'où, on ne pourra répondre à cette apparente contradiction que par une conception "globaliste" du bâtiment. Pour se faire, il faut posséder de bonnes notions sur les paramètres climatiques, l'inertie thermique des bâtiments et leur localisation

Cette approche du besoin d'énergie de chauffage et de climatisation renvoie trois facteurs explicatifs [3] :

- ✓ **Le besoin en température** ; est un besoin de climat intérieur, caractérisé par la température intérieure moyenne (qui explique principalement de façon quantitative le besoin d'énergie de chauffage ou climatisation) ce besoin en température est, un besoin « social » ;
 - ✓ **Les caractéristiques physiques du logement** qui interviennent de façon prépondérante dans la création du besoin d'énergie sont le volume et le degré d'isolation.
- D'autres caractéristiques importantes telles que l'exposition au soleil, au vent, le vitrage qu'on doit prendre en considération dès la conception et l'implantation ;
- ✓ **Le climat du site**, qui détermine la période du besoin.

Le besoin d'énergie se traduit par la demande d'énergie finale, par exemple les besoins de chaleur pour le chauffage d'une maison donnent naissance à une demande d'électricité, du fuel-oil ou de gaz cette demande est schématisée dans la figure 2

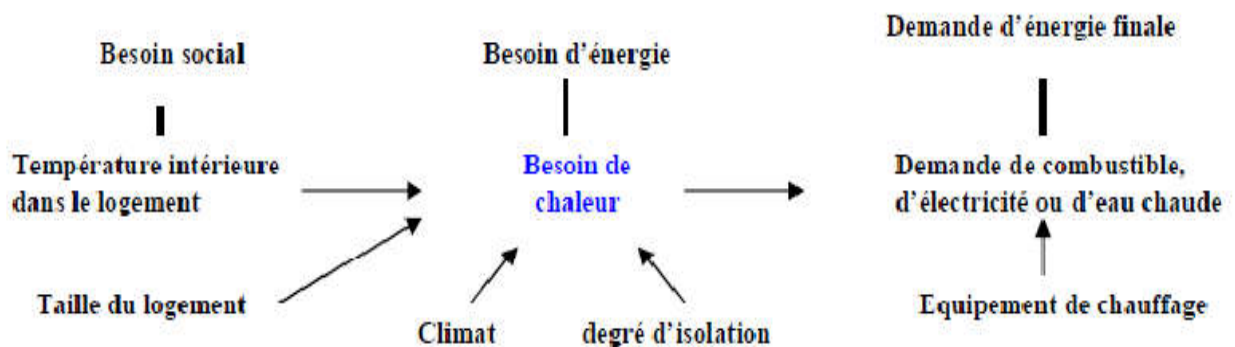


Figure 2: Demande de l'énergie finale dans le cas du chauffage domestique [3].

3. Les types d'énergie renouvelable utilisée dans les bâtiments

Le renouvelable décline en plusieurs familles tel que le solaire, l'éolien et la géothermie:

3.1 L'énergie du soleil

Les bâtiments peuvent être conçus pour tirer profit de l'action de chauffage et d'éclairage du soleil de manière à réduire la consommation d'énergie. Les techniques <passives= visent ainsi à exploiter l'énergie solaire au moyen de grandes fenêtres, placées côté sud dans les régions nordiques, et de murs qui stockent la chaleur.

L'énergie solaire est beaucoup utilisée pour chauffer l'eau, surtout dans les régions méditerranéennes. Un chauffe-eau solaire consiste en un panneau à travers lequel l'eau se réchauffe en circulant. Un tel système peut fournir de l'eau chaude sanitaire ou alimenter un circuit de chauffage central. À plus grande échelle, le solaire thermique a été mis en œuvre dans des réseaux de chauffage urbain.

3.2 Le Solaire Photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque utilise également le rayonnement solaire, mais le transforme directement en électricité. La lumière du soleil peut directement être transformée en électricité par des panneaux photovoltaïques

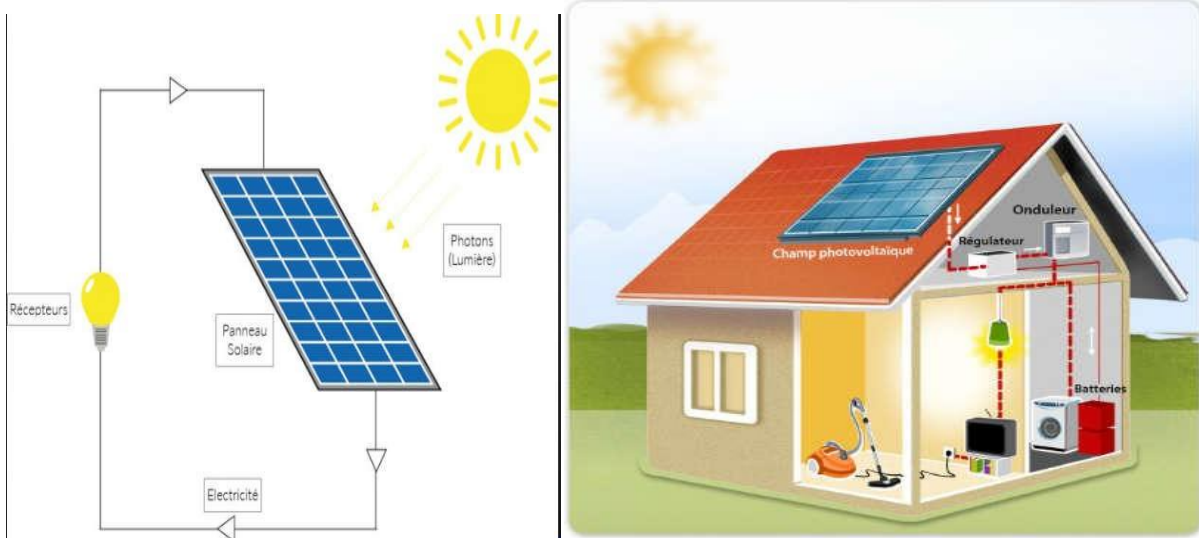


Figure 3: Le Solaire Photovoltaïque [4]

▪ Le Solaire Thermique

L'énergie solaire thermique consiste à capter le rayonnement solaire pour élever la température d'un objet. L'emploi de l'énergie solaire thermique s'effectue directement pour chauffer de l'eau sanitaire par exemple, avec un chauffe-eau solaire, ou encore des fours solaires [5].

Au sein de l'énergie solaire, il faut différencier le solaire photovoltaïque et le solaire thermique. Le premier permet de produire de l'électricité. La conversion directe de l'énergie solaire en électricité se fait par l'intermédiaire d'un matériau semi-conducteur comme le silicium. L'élément de base est la photovoltaïque et le produit commercial s'appelle un module photovoltaïque. Le deuxième permet de produire de la chaleur (à basse, moyenne ou haute température). Les applications les plus répandues sont celles concernant le bâtiment comme la production d'eau chaude sanitaire. La conversion du rayonnement solaire en chaleur se fait grâce au capteur solaire thermique.

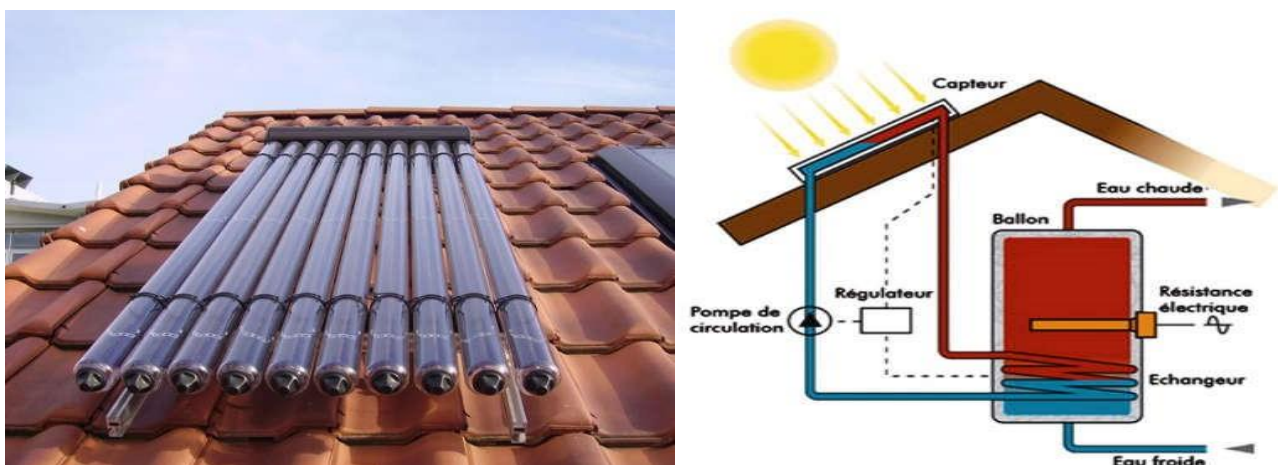


Figure 4: solaire thermique [4]

▪ L'énergie du vent (l'éolien)

Le principe de L'énergie éolienne est d'utilisation de l'énergie mécanique produite par les mouvements des différentes masses d'air et vent. Cette énergie transforme l'énergie mécanique en électricité, ou autre énergie. Des champs d'éoliennes fonctionnant comme une petite centrale. Ils produisent de l'électricité qui sera consommée sur place.

3.2.1 L'énergie de la terre (la géothermie)

Le principe de La géothermie est d'utiliser la chaleur naturelle provenant des nappes aquifères présentes dans le sol pour fournir un système durable de chauffage pour les bâtiments (**Figure 1.5**). Si cette énergie géothermique peut être à l'origine de chaleur, elle permet également de produire de l'électricité, moyennant l'utilisation de turbines.

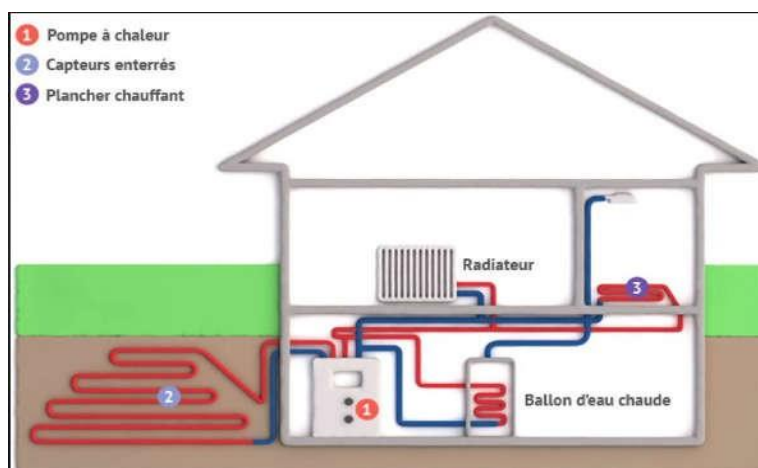


Figure 5: Schéma d'une installation – type de géothermie [4]

3.3 Consommation d'énergie

3.3.1 Consommation énergétique mondiale par secteur d'activité

Tous les domaines d'activité ne consomment pas la même quantité d'énergie, ni les mêmes énergies. Les secteurs tertiaire et résidentiel, par exemple, étaient les plus gros consommateurs en **2015** et représentaient **44%** de la facture énergétique du pays. Leur énergie préférée : l'électricité, à près de **37%**. En comparaison, le secteur des transports représentait **30%** de la consommation énergétique française et utilisait majoritairement le pétrole (**75%**) pour son activité. L'industrie n'est pas en reste, avec **25%** de la consommation totale du pays en **2015**, mais celle-ci préfère le gaz, qui représente un quart de sa facture. Enfin, l'agriculture est le secteur le plus économe : seulement **3%** de la dépense totale d'énergie [6].

La répartition de la consommation finale entre les différents secteurs et leurs énergies de prédilections est présentée comme suit (**Figure 6**):

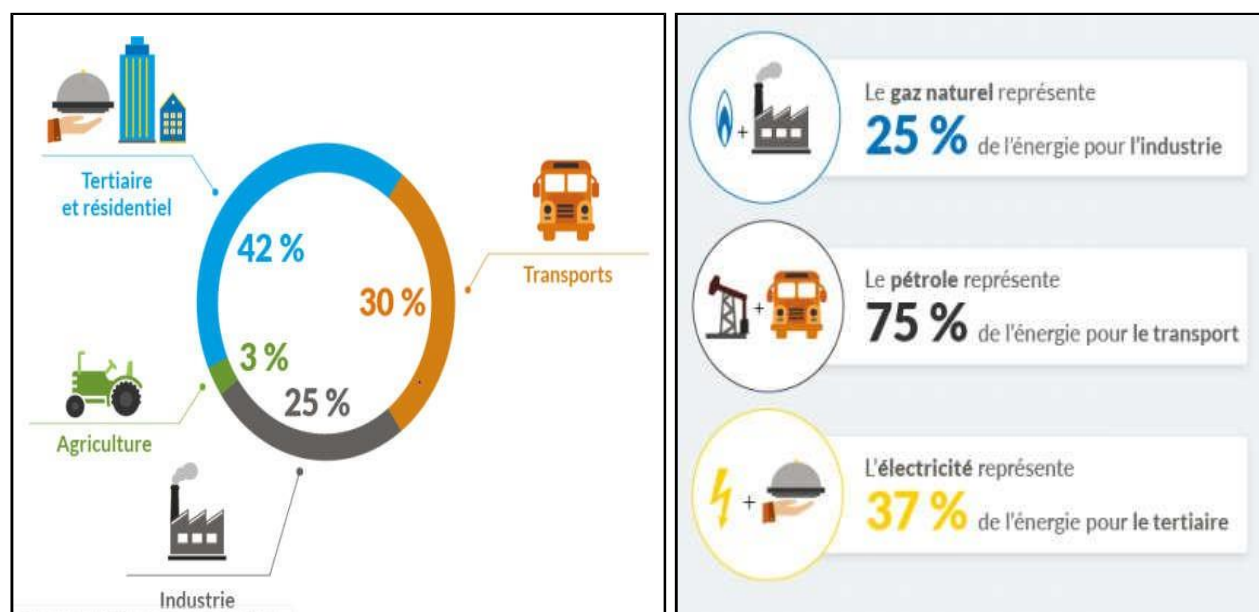


Figure 6: Consommation finale d'énergie par secteur dans le monde en 2015 [6].

3.3.2 Consommation nationale d'énergie

L'Algérie, pays producteur et exportateur de pétrole et de gaz a connu une nouvelle politique nationale des hydrocarbures. L'état a permis le financement d'un vaste programme industriel, social et économique [7].

▪ Evolution de la consommation par secteur d'activité

Dans l'élaboration du bilan énergétique, le système de consommation est présenté sous forme de trois secteurs: l'industrie et **BTP**, des transports et des ménages et autres. Les niveaux de consommation pour chaque secteur sont passés respectivement de (**8019 Ktep, 11215 Ktep et 12415 Ktep en 2010**) à (**8238 Ktep, 14551 Ktep et 16579 Ktep en 2014**), soit une augmentation de **2,73%** pour l'industrie, **29,75%** pour le transport et **33,54%** pour les ménages et autres [8].

Tableau 1: Consommation énergétique finale national par secteur [8].

Ktep	2010	2014	Evolution	
			Quantité	(%)
Industrie et BTP	8019	8238	+219	+2.7
Transport	11215	14551	+3336	+29.75
Ménages et autres	12415	16579	+4164	+33.5
Total	31650	39368	+7718	+24.4

La consommation la plus élevée a été enregistrée dans le secteur des ménages et autres, elle a atteint **40% en 2010** et **42% en 2014**.

Pour le transport, sa part a régressé de **35% en 2010**, elle est passée à **37% en 2014**, quant à l'industrie, la consommation est passée de **25% en 2010** à **21% en 2014**. La structure de la consommation par secteur d'activité montre qu'en matière d'appréhension et de traitement de la consommation, le secteur des ménages et autres constitue une priorité dans l'élaboration de la stratégie et des programmes de maîtrise d'énergie (**Figure 7**).

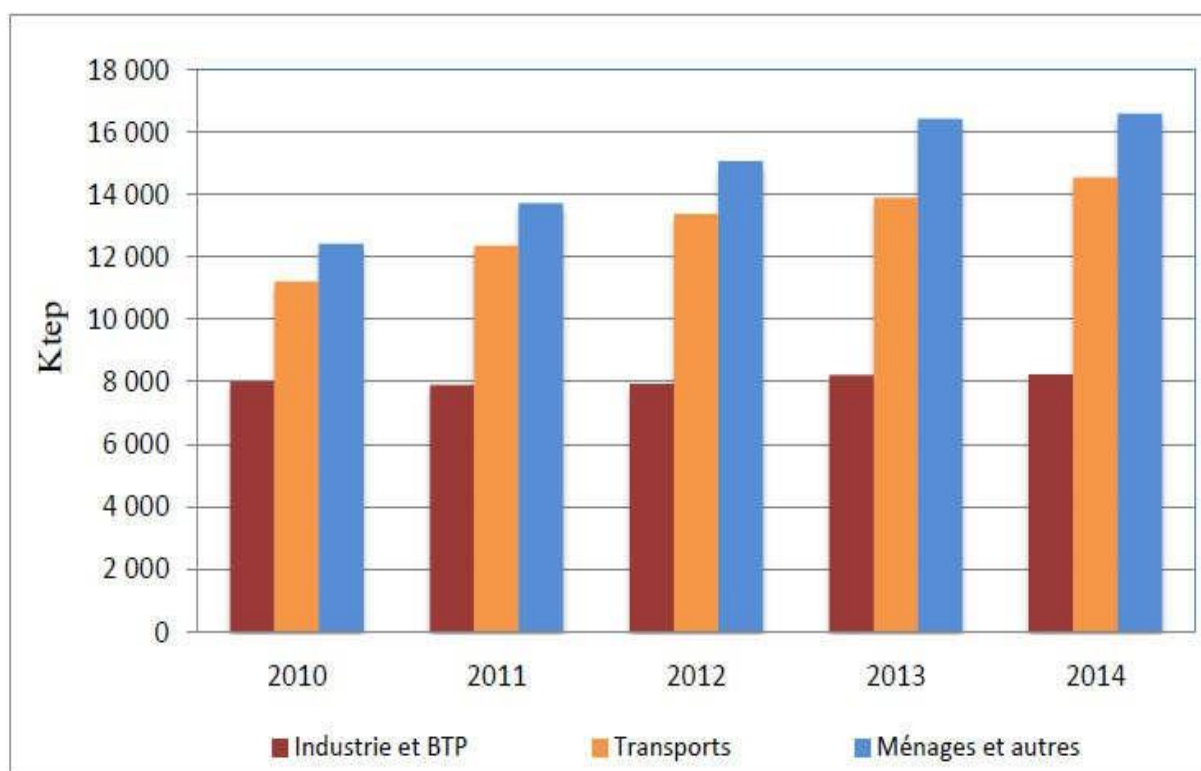


Figure 7: Evolution de la consommation nationale par secteur en Ktep[8].

3.3.3 Consommation d'énergie à TLEMCEN

- Répartition de consommation finale par secteur

A TLEMCEN le secteur résidentiel et le transport présentent la consommation finale la plus élevée qui est de **55%**. Les secteurs des industries et BTP et l'agriculture représentent respectivement **35%** et **10%** de la consommation final.

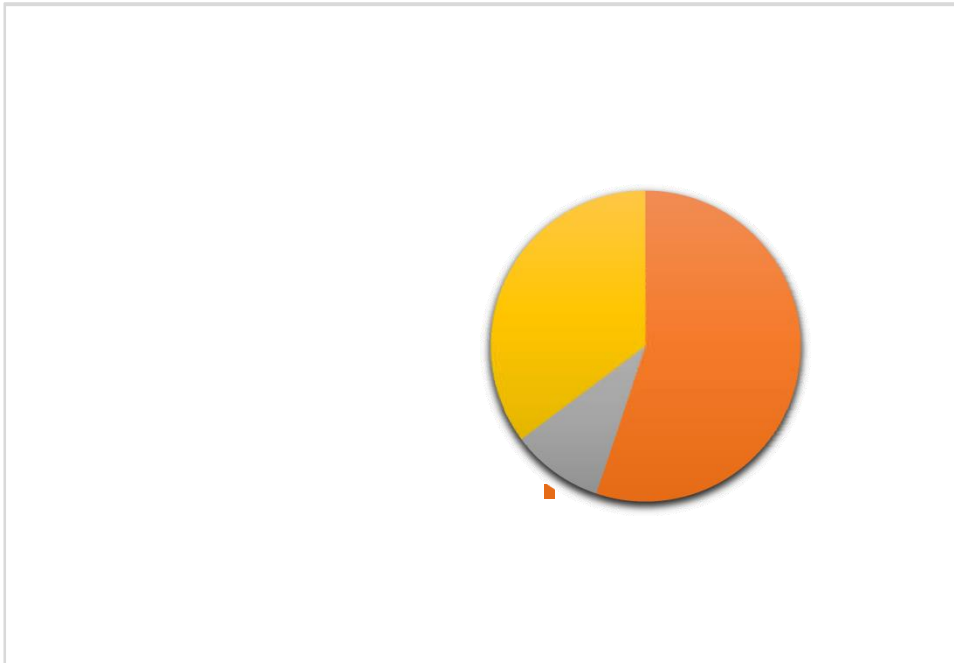


Figure 8: Répartition de consommation finale par secteur [9]

AO: Abonner ordinaire.

FSM: Facturation sur mémoire.

MT: Moyenne tension des grands post d'électricité.

- **Evolution de la consommation électrique**

D'après les statistiques de la société Nationale de l'électricité et du gaz unité de Tlemcen, la consommation électrique annuelle à Tlemcen est en perpétuelle croissance. Les histogrammes de la (Figure 8) montrent l'évolution de la consommation annuelle passant de **1061 10⁶KWh** en **2013**, arrivant à **1371 10⁶KWh** en **2018**. Soit une augmentation de **310 10⁶KWh** en cinq ans. [9]

Tableau 2: la consommation électrique annuelle à Tlemcen [9].

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
ELEC (KWh) 10 ⁶	1061	1198	1303	1351	1378	1371

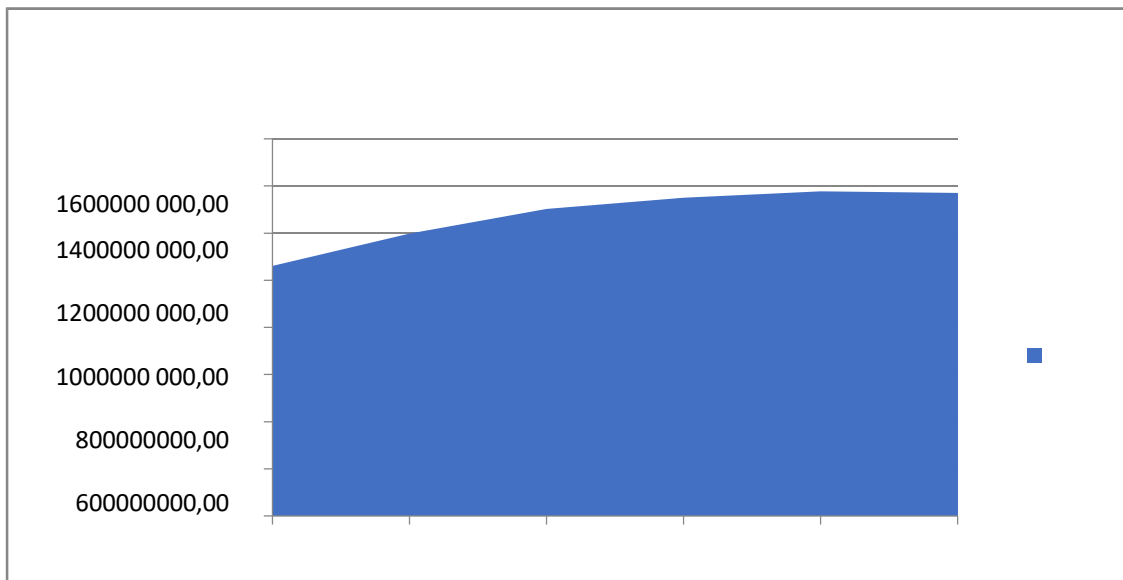


Figure9: Evolution de la consommation électrique à Tlemcen dans le secteur résidentiel [9].

La consommation d'énergie électrique à Tlemcen dans la période estivale (**trimestre3**) passant de (**401 106KWh en 2017**) et (**374 106 KWh en 2018**). La consommation électrique dans cette période est plus importante par rapport les autres saisons d'année (**Tableau 3**).

Tableau 3: Consommation d'énergie électrique à Tlemcen (2017et2018)[9]

Trimestre	Consommation d'électricité [KWh] 2017 (10 ⁶)	Consommation d'électricité [KWh] 2018 (10 ⁶)
Trimestre 1	316	322
Trimestre 2	303	304
Trimestre 3	401	374
Trimestre 4	359	372
Total	1379	1372

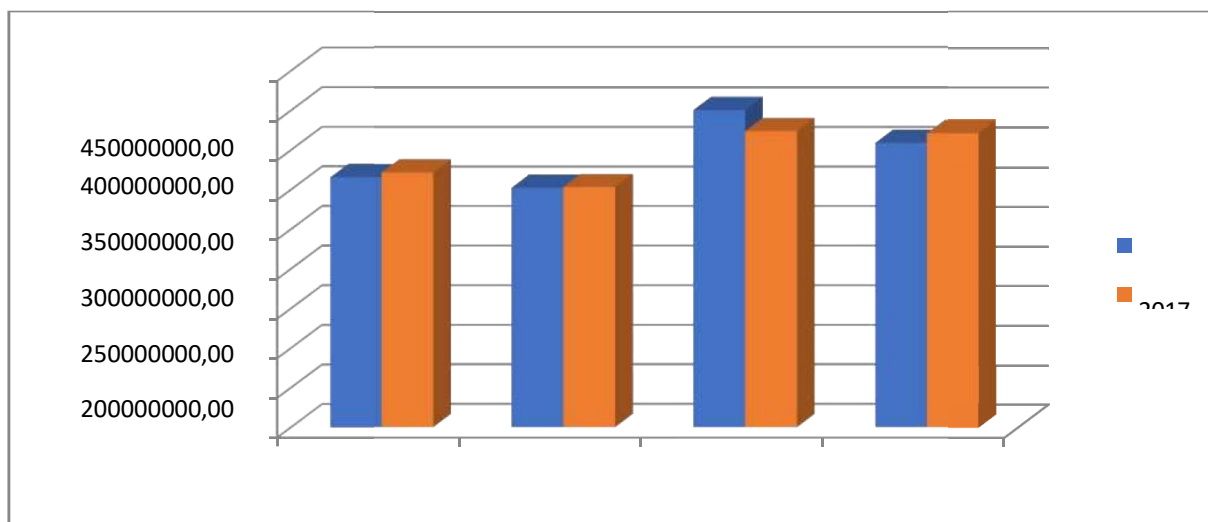


Figure 10: Consommation de l'électricité à Tlemcen dans le secteur résidentiel [9].

• Evolution de consommation du gaz naturel

La consommation annuelle du gaz naturel dans le secteur résidentiel à Tlemcen est aussi en croissance sans cesse (**Figure 1.9**). Passant de (**2308 10⁶ Thermie en 2013**) et (**3494 10⁶ Thermie en 2018**). Soit une augmentation de **1185 10⁶ Thermie** en cinq ans. A savoir que cette consommation concerne uniquement le gaz de ville, vu que l'alimentation en gaz butane (bouteille) n'est pas recensée [9].

Tableau 4: La consommation annuelle du gaz naturel dans le secteur résidentiel à Tlemcen [9]

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
GAZ(Thermie) 10⁶	2308	2380	2591	2661	2805	3494

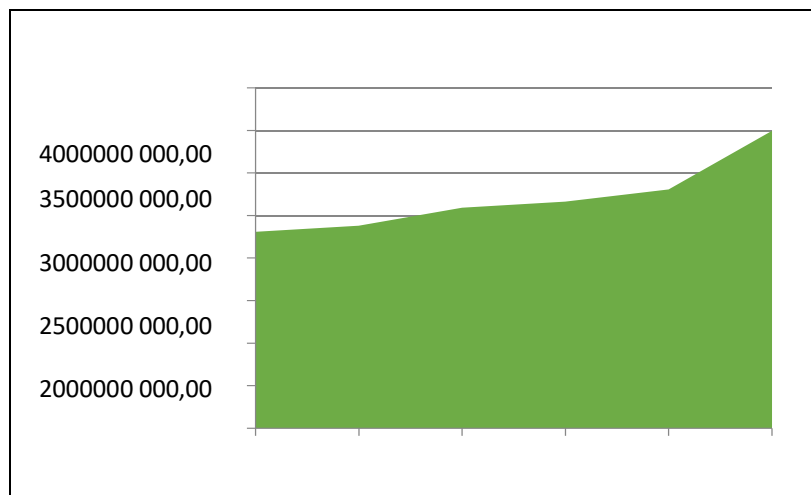


Figure 11: Consommation gazière à Tlemcen dans le secteur résidentiel (2013-2018) [9].

✓ La Tep (tonne d'équivalent pétrole)

La tep permet de mesurer l'énergie calorifique d'une tonne de pétrole «moyen ». Elle est souvent employée dans les bilans énergétiques : **ktep (103 tep)**, **Mtep (106 tep)**.

✓ Kilowatt Heure (kW. H ou kWh)

Énergie consommée par un appareil de **1 000 watts** pendant une durée d'une heure. Cette unité est particulièrement utilisée dans les industries électriques. Il est fait usage également du wattheure (**Wh**) et des multiples par milliers du **kWh** que sont le mégawattheure(**MWh**) et le gigawatt-heure

(GWh): **1 kWh = 3,6.10⁶ J**

MP: Moyenne pression des grands post de gaz.

✓ La thermie (symbole th)

La thermie est une ancienne unité de quantité de chaleur. Elle correspond à la quantité de chaleur nécessaire pour élever d' **1 degré Celsius** la température d'une tonne d'eau à **15°** sous la pression normale. C'est donc un multiple de la calorie. Cette unité est encore parfois utilisée par les thermiciens.

1th=1000000calories=1000kcal=1Mcal=1000000 microthermies

3.4 Consommation énergétique des logements anciens et récents

Le schéma ci-dessous de la consommation d'énergie, montre les très fortes variations dans la performance énergétique des logements "anciens" par rapport aux logements "actuels". Cependant, malgré le renforcement de l'isolation thermique et l'efficacité des équipements de chauffage, la consommation d'énergie globale ne cesse d'augmenter. Les raisons principales sont l'augmentation de la superficie des logements par rapport au nombre d'habitants et une amélioration générale du confort.

[10]

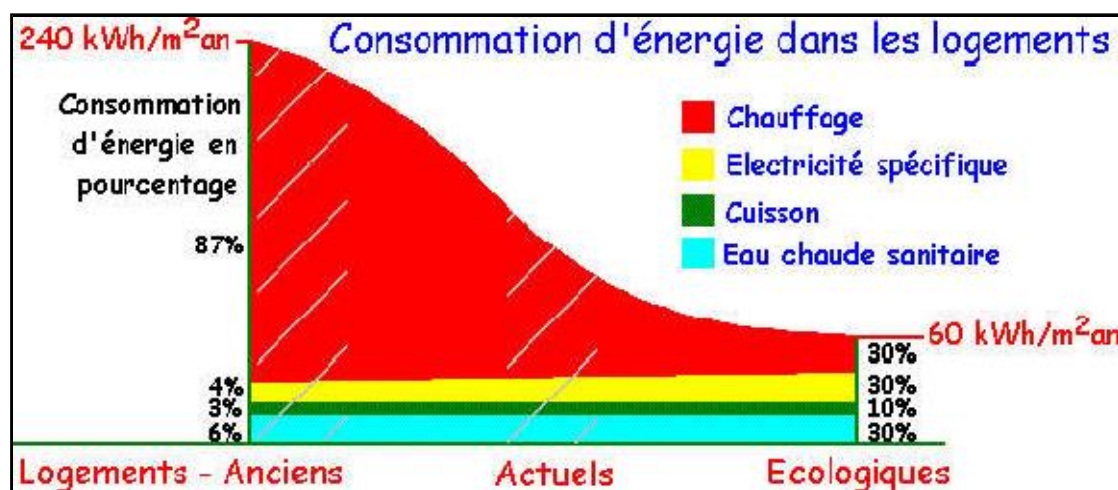


Figure 12: Schéma montrant la consommation d'énergie selon la date de construction et les choix écologiques [10]

✓ **Le chauffage (en rouge)**

La consommation d'énergie pour le chauffage d'un logement ancien est facilement divisée par 2 grâce à l'isolation thermique, l'utilisation de menuiseries et de vitrages performants, ainsi que l'installation d'équipements de chauffage moderne. Le chauffage représente **87%** de la consommation d'énergie globale dans les logements anciens et seulement **30%** dans les logements les plus performants.

✓ **L'électricité spécifique (Éclairage et équipement électrique: en jaune)**

La consommation a tendance à augmenter dans tous les logements à cause de l'accroissement du nombre des équipements ménagers et de loisirs.

✓ **La cuisson (en vert)**

La consommation d'énergie pour la cuisine reste inchangée. Mais, ce poste marginal dans les logements anciens prend beaucoup plus d'importance quand la consommation baisse par ailleurs.

✓ **L'eau chaude sanitaire(en bleu)**

La consommation d'énergie pour produire de l'eau chaude est en légère augmentation, car le niveau de confort recherché dans les logements actuels est supérieur aux conditions acceptées dans le passé. Dans les logements anciens, ce poste ne représente que **6%** de la consommation d'énergie globale, mais avec la réduction des besoins de chauffage, le poste "production d'eau chaude sanitaire" représente près de **30%** de la consommation d'énergie dans un logement moderne.

3.5 Classification énergétique des bâtiments :

Elle est établie selon le niveau de consommation annuelle d'énergie par m²(en *kWh/m².an*).

Comme pour l'électroménager, sept classes sont définies, allant de la classe **A** à la classe **G**.

- ✓ **Classe A** : logement économe, avec une consommation annuelle d'énergie primaire pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et le refroidissement inférieur à 51 kWh/m².an
- ✓ **Classe G**:logement énergivore, avec une consommation égale ou supérieure à 450 kWh/m².an.
- ✓ **Classe G**:fortes émissions de gaz à effet de serre, avec **80kg** équivalent de CO₂/m²/an.

a. Définition de Le climat

Le Climat se définit par le temps. Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un lieu donné.

Le Climat varie selon l'espace, modifie longuement l'environnement et influence les activités de l'être humain. Il est le résultat de l'interaction de certains facteurs, incluant la température, la vapeur d'eau, le vent, les radiations solaire et les précipitations dans un endroit particulier et à travers une période de temps. [11]

b. Déperditions thermiques

Les déperditions thermiques signifient la perte de chaleur qui subit l'enveloppe du bâtiment. Ces déperditions sont fonction des caractéristiques de la structure, des matériaux, de l'environnement du bâtiment (climat, effet de masque, orientation, ...). Ces déperditions sont importantes dans les bâtiments non ou mal isolé.

Les déperditions thermiques possibles pour une structure passent:

- ✓ Par la toiture en contact avec l'extérieur,
- ✓ À travers les murs,
- ✓ Par le plancher bas,
- ✓ À travers les portes et les fenêtres, Par renouvellement d'air et les fuites, Au niveau des ponts thermiques.

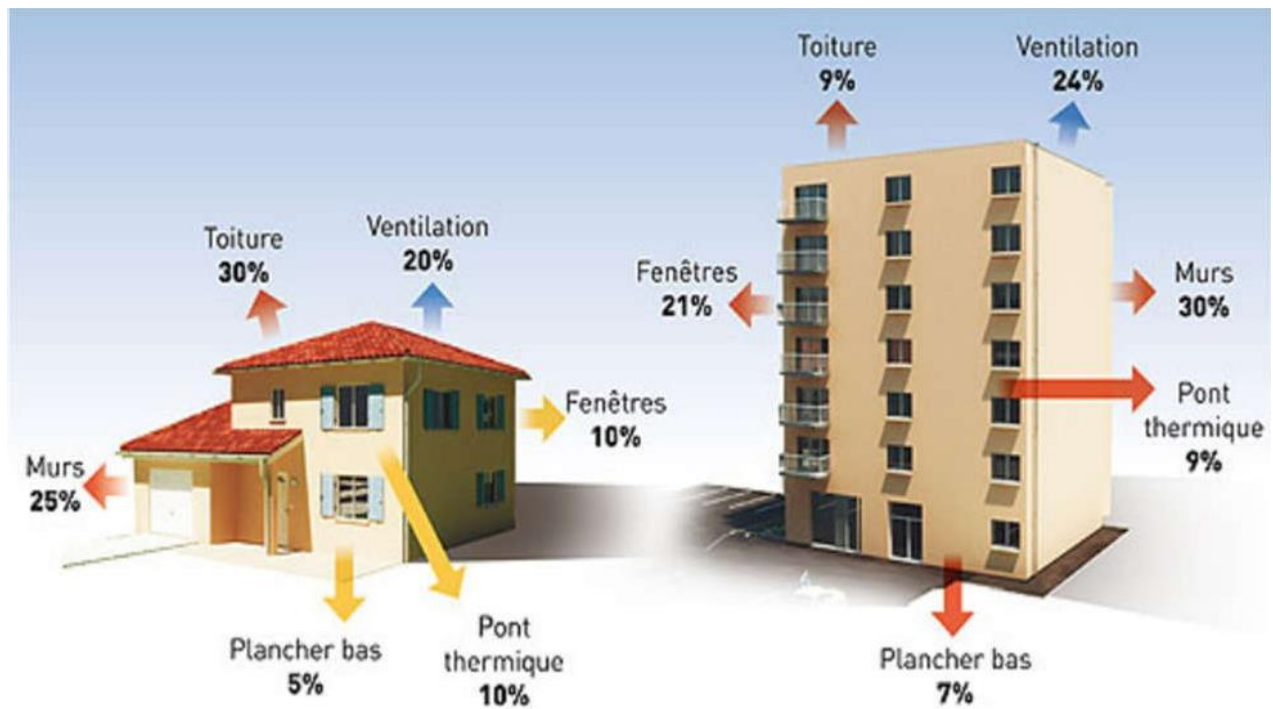


Figure 13: Répartition en % des déperditions pour une maison et un immeuble [13]

5.1 Les apports d'énergie dans les bâtiments :

5.1.1 Les apports intérieurs:

Le chauffage est une source des apports intérieurs, on prendra un soin tout particulier au rendement énergétique du système de chauffage.

La respiration et le rayonnement humain, l'électroménager et le multimédia sont aussi des sources potentielles d'apport énergétique. [14]

5.1.2 Les apports extérieurs:

Le rayonnement solaire est une source importante d'apport énergétique. Les choix de l'orientation et des menuiseries deviennent primordiaux dans la dynamique énergétique .il existe différents types d'apports solaires :

- ✓ **Les apports solaires directs:** il s'agit des rayonnements solaires qui proviennent des baies vitrées ou des fenêtres. Ceux-ci constituent une charge thermique très importante: $1,5\text{m}^2$ de surface au soleil équivalent à un radiateur. Pour se prémunir de ces risques, une seule solution (les protections solaires).
- ✓ **Les apports solaires indirects :** ils correspondent les apports solaires indirects aux rayonnements qui pénètrent par les murs extérieurs et par les autres éléments constructifs du logement (pont thermique notamment). [14]

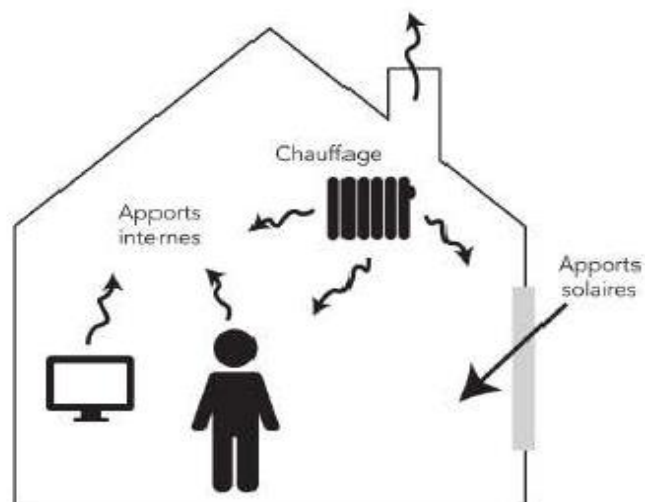


Figure 14: Apports d'énergie dans les bâtiments [14]

c. Les Ponts thermiques

Un pont thermique est constitué par toute discontinuité dans la couche isolante. C'est tout endroit où la résistance thermique présente une faiblesse. Au voisinage d'un pont thermique, les lignes de flux se resserrent. Les isothermes se déforment en s'écartant les unes des autres. Les lignes de flux restent néanmoins perpendiculaires aux isothermes. Ces ponts ne causent pas seulement des pertes de chaleur inutiles, mais peuvent être sources de dégâts : moisissures, taches de poussière.

Les composants d'enveloppe assurant l'isolation thermique (murs, plafonds et planchers, ainsi que les fenêtres et les portes) doivent envelopper entièrement le volume chauffé. Les espaces non chauffés peuvent être inclus dans le volume chauffé. Les jardins d'hiver et vérandas doivent être l'objet d'une attention particulière [12].

Les ponts thermiques entraînent des déperditions de chaleur supplémentaires par rapport aux déperditions à travers les parois du bâtiment. Dans un bâtiment non isolé, les ponts thermiques représentent de faibles déperditions (en général inférieures à 15 %) car les déperditions totales par les parois sont très élevées. En revanche, dès lors que les parois sont fortement isolées, le pourcentage de déperditions dû aux ponts thermiques devient important. Il est de plus de 30 %. Mais, les déperditions globales sont très faibles. Les principaux ponts thermiques d'un bâtiment se situent aux jonctions des façades et planchers, façades et refends, façades et toitures, façades et planchers bas. [12].

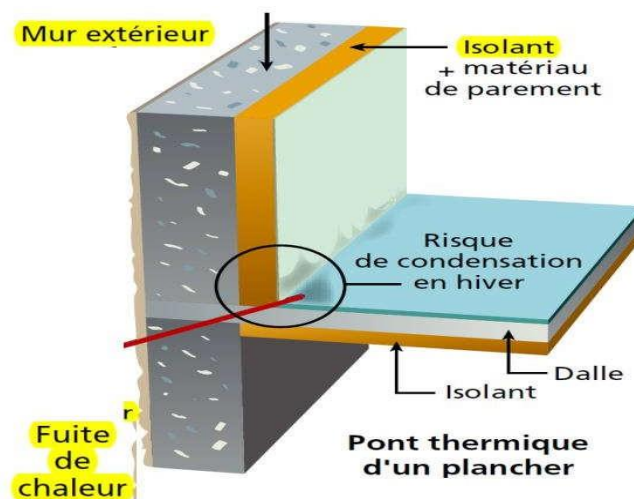


Figure 15: Pont thermique d'un plancher [12].

Le mode de construction choisi doit permettre d'éviter autant que possible les ponts thermiques. Les ponts thermiques résiduels doivent toujours être pris en compte dans le calcul du coefficient de transmission thermique.

6.1 Types de ponts thermiques

On distingue les ponts thermiques géométriques tels que les angles et les coins, et les ponts thermiques matériels, dans lesquels un matériau conducteur de la chaleur traverse la couche isolante. On classe aussi les ponts thermiques en ponts linéaires, qui ont une certaine longueur, et les ponts ponctuels, dans lesquels l'interruption de la couche isolante reste locale. Toute courbure dans la couche isolante ou dans la paroi constitue un pont thermique géométrique. Les isothermes doivent suivre la courbure de la paroi et les lignes de flux, qui leur sont perpendiculaires, se resserrent vers l'intérieur de la courbure.

Il existe deux grands types de ponts thermiques:

- a. **Ponts thermiques des liaisons** : ils se trouvent à la jonction de deux parois de l'enveloppe du bâtiment (mur toiture ou mur fenêtre), ou bien au niveau des changements de plan (vertical / horizontal).

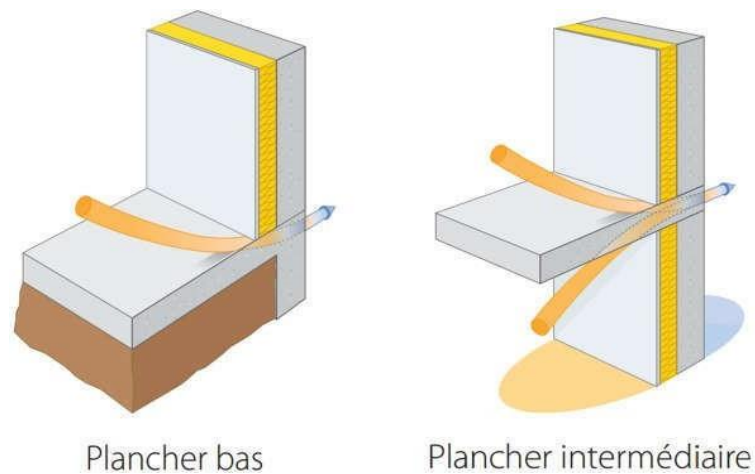


Figure 16: Ponts thermiques de liaisons [15].

b. **Ponts thermiques intégrés ou ponctuels** : une paroi est constituée de plusieurs composants assemblés entre eux par collage, vissage ou assemblage mécanique. Si leur conception n'est pas correcte, ces assemblages (ossature métallique, appuis, ...) présentent autant de petits ponts thermiques intégrés au système. Ce problème se pose même lors de fixation des isolants.

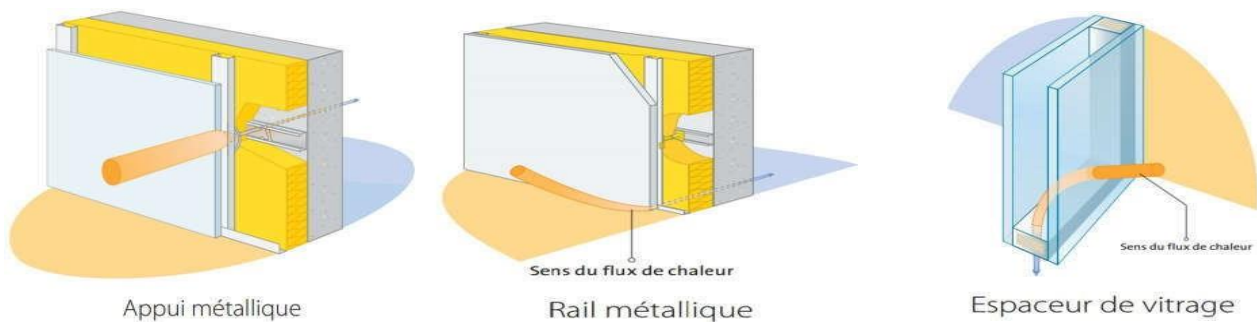


Figure 17: Ponts thermiques intégrés [15].

Les ponts thermiques géométriques n'ont en général pas des effets importants, notamment sur les déperditions, par ce que la couche isolante n'est pas interrompue, elle n'est que déformée. Toutefois, Lorsque les conditions sont critiques, l'abaissement de température à la surface intérieure peut être suffisant pour favoriser l'apparition de moisissures.

a. **Déperditions thermiques dans une paroi opaque :**

Il existe deux types de déperdition thermique à travers les parois opaques:

- ✓ Déperditions thermiques surfaciques : elles résument les déperditions de la chaleur (ou de fraîcheur en été) suivant les surfaces.
- ✓ Déperditions thermiques linéiques : elles résument les déperditions de la chaleur (ou de fraîcheur en été) dans les intersections des éléments de la structure.

d. Déperditions thermiques à travers les ouvertures

Les moyens de ventilation Seul le renouvellement permanent et régulier de l'air permet de maintenir la maison à un état hygrométrique voisin de celui de l'air extérieur et d'éviter ainsi le dépôt d'humidité dans la maison et en particulier au niveau des ponts thermiques. On élimine l'humidité en extrayant l'air chaud du logement puisqu'il contient toute la vapeur d'eau produite dans la maison.

✓ Chaque personne produit environ **1 à 1,5 litre d'eau par jour**.

Le taux d'humidité idéal dans l'atmosphère intérieure se situe entre 40 et 60 %.

✓ En France, la pollution chimique touche **3 logements sur 4!**

7.1 Définitions

La ventilation a pour vocation d'évacuer l'air vicié des logements en le renouvelant par de l'air frais. La ventilation mécanique désigne tous les dispositifs motorisés d'évacuation ou d'insufflation d'air frais.

7.1.1 Les fenêtres

«Dans le temps », les fenêtres avaient aussi pour rôle d'assurer le renouvellement de l'air dans les pièces pour la respiration, pour extraire l'humidité de la cuisine, et les fentes sous les portes extérieures apportaient l'air pour le poêle ou la cheminée. Maintenant que les portes et fenêtres sont parfaitement étanches, on y installe des ouïes dans le châssis, ou dans les battants, pour assurer ce renouvellement d'air. Mais cet air est froid puisqu'il provient directement de l'extérieur [24].

Les ouvertures sont nécessaires dans un bâtiment pour le confort, pour bénéficier des apports solaires et pour l'aération, Les fenêtres constituent un véritable gain énergétique en hiver mais ils représentent entre 10 et 15% des déperditions thermiques d'un bâtiment. La résistance thermique d'une fenêtre est en effet 10 fois plus faible que celle d'une paroi. Plusieurs paramètres pour améliorer la performance thermique des vitrages et menuisiers :

Emissivité des vitrages : L'émissivité caractérise la capacité d'un vitrage à absorber puis à réémettre de la chaleur par rayonnement. Le vitrage a un faible facteur d'émission.

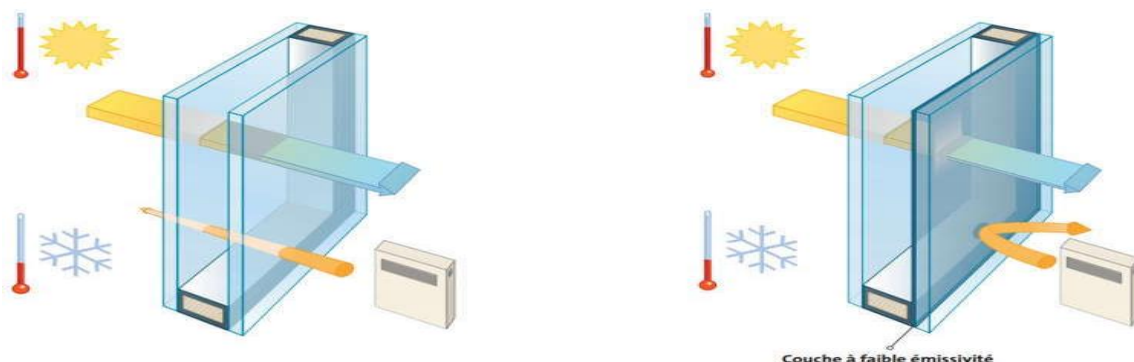


Figure 18: Facteur d'émission et des vitrages [15].

La figure ci-dessus représente la comparaison entre deux doubles vitrages du transfert par rayonnement avec **deux facteurs d'émission différents**.

- **Éviter les menuiseries métalliques:** le métal est un bon conducteur thermique.

Privilégiez le bois ou le menuisier en PVC.

- **Facteur solaire g:** Le facteur solaire g est le rapport entre l'ensoleillement reçu et la somme des énergies transmise par le vitrage. En effet plus le vitrage a un coefficient solaire plus élevé plus le vitrage est capable à transmettre de l'énergie solaire au bâtiment.

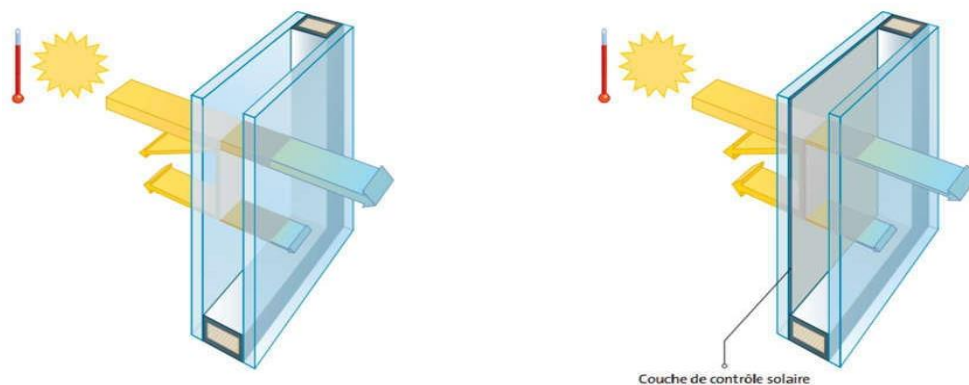


Figure19: Facteur solaire g des vitrages[15].

La figure ci-dessus est une comparaison entre deux doubles vitrages du transfert par rayonnement avec deux facteurs solaire différents «un double vitrage ordinaire et un double vitrage à couche de control solaire ».

- **Transmission lumineuse TI:** La transmission lumineuse est la fraction de rayonnement solaire transmise par le vitrage (la lumière). Plus la transmission lumineuse est importante plus le vitrage laisse passer la lumière et par conséquent confort visuel plus performant.

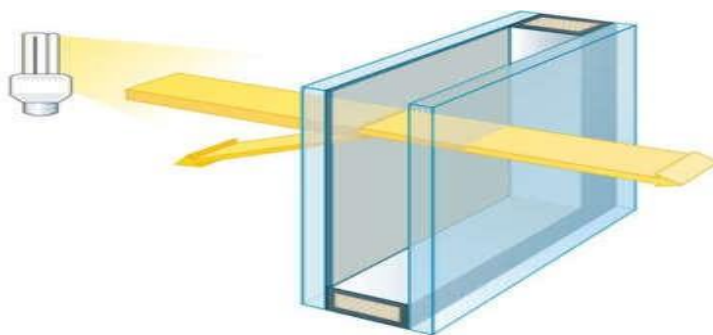


Figure20: Transmission lumineuse TI des vitrages [15].

- **Coefficient de transmission thermique de vitrage :** Le coefficient de transmission thermique d'un vitrage désigne la quantité de chaleur s'échappant au travers la surface de vitrage de 1m^2 pour une différence de 1° exprimée en $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$.

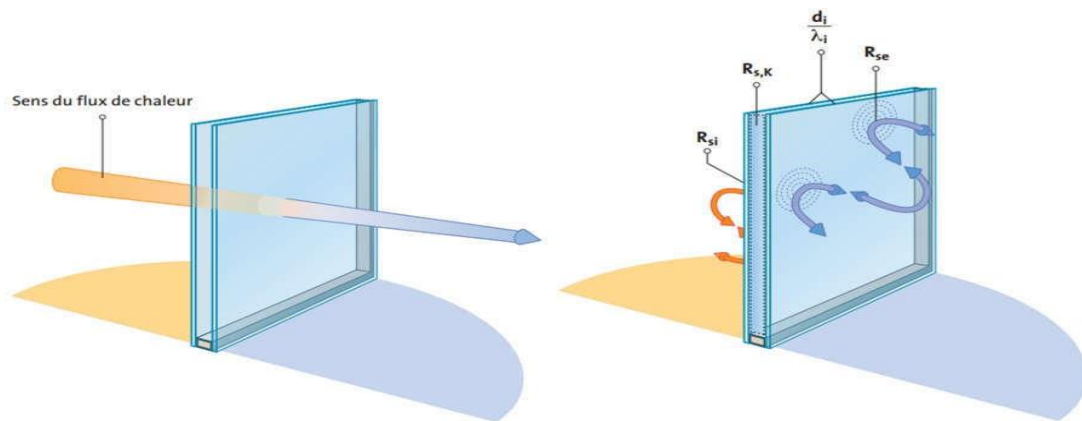


Figure 21: Coefficient de transmission thermique de vitrage [15].

- ✓ Le coefficient de transmission thermique de vitrage se calcule à partir de la somme des différents constituants (la résistance superficielle du vitrage, l'âme d'air ou du gaz, ...)
- ✓ Donc le coefficient de transmission thermique de vitrage dépend de plusieurs paramètres tels que l'épaisseur et la conductivité thermique du verre et la résistance thermique de lame d'air (cas de double vitrage)

7.1.2 Performances thermiques des vitrages

Les propriétés isolantes des fenêtres dépendent essentiellement du type de vitrage «simple, double ou triple vitrage». Le type de vitrage est défini par le coefficient U_g . C'est un indice appliqué au vitrage, qui précise ses performances de transmission thermique. C'est un excellent indicateur de choix pour limiter les pertes de chaleur dues à des vitrages peu isolants, que ce soit pour vos fenêtres, portes fenêtres

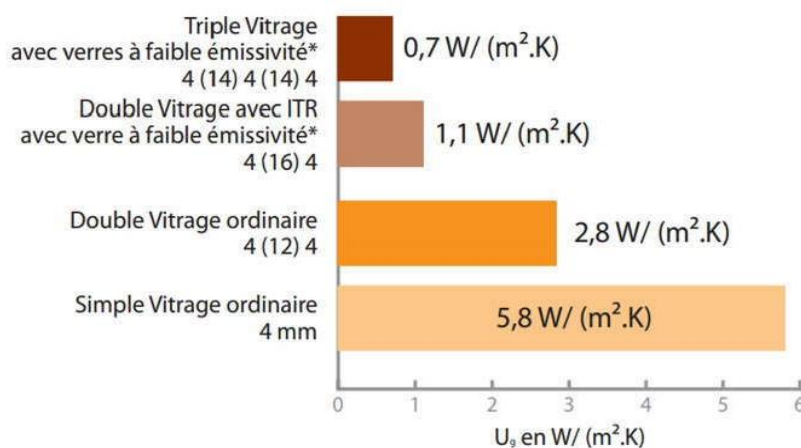


Figure 22: Exemple d' U_g pour différents types de vitrages [15].

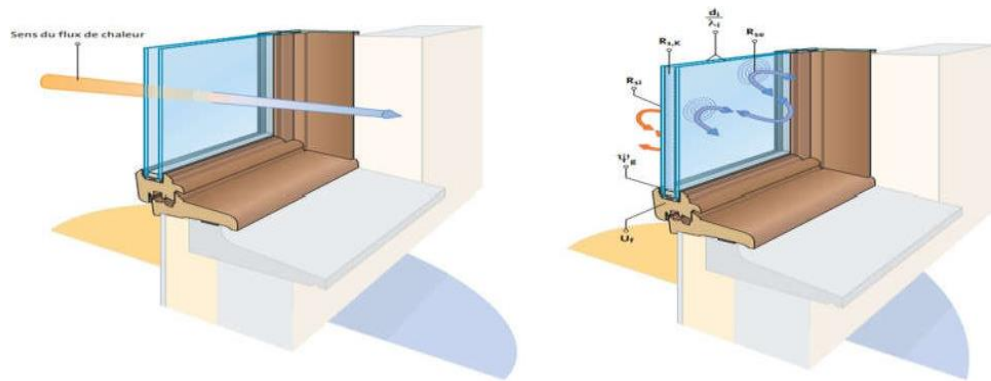


Figure 23: Coefficient d'une fenêtre à double vitrage [15].

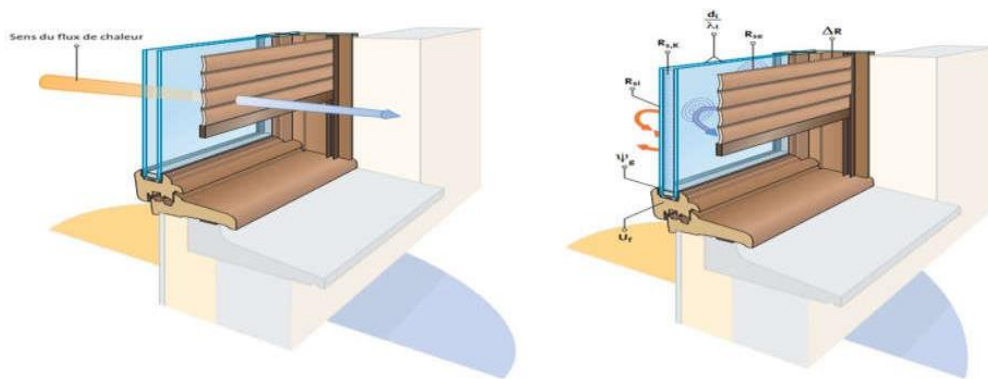


Figure 24: Coefficient d'une fenêtre + fermeture extérieure [15].

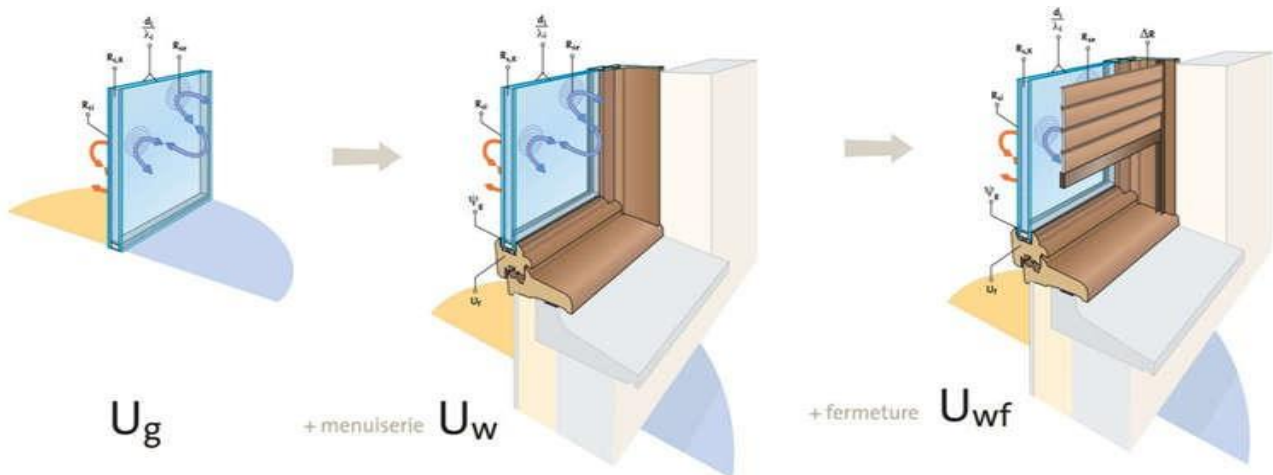


Figure 25 : Principaux coefficients qui permettent de caractériser les performances thermiques d'une paroi vitrée et sa fermeture [15].

7.1.3 La ventilation naturelle

Elle consiste à simplement créer des courants d'air dans le logement par le biais d'orifices d'entrée d'air en partie basse des murs des pièces principales et des bouches de sortie en partie haute des pièces humides.

Dans ce dispositif, le débit est très mal contrôlé car il dépend du vent, des conditions climatiques et de la saison. Il peut conduire à une sous-ventilation ou au contraire à une sur ventilation occasionnant des besoins inutiles en chauffage [24].

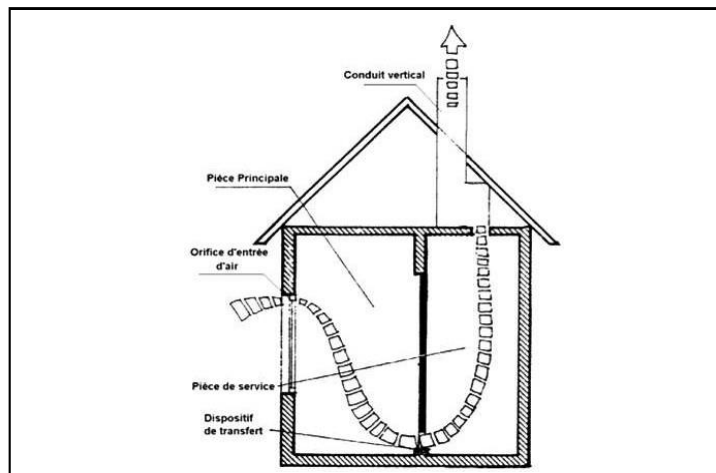


Figure 26: Principe de la ventilation naturelle [16].

La ventilation participe aussi à l'élimination des polluants intérieurs, mais il vaut mieux pour cela recourir à l'aération. Pour cela, ouvrez en grand vos fenêtres pendant une dizaine de minutes, pas plus. En hiver, cela permet de bien renouveler l'air sans trop refroidir les parois et les meubles de la pièce. (La pratique qui consiste à aérer longtemps, mais en entrouvrant seulement les fenêtres, est à bannir !) [16]

Ces pertes proviennent des infiltrations d'air (perméabilité des parois, menuisier extérieur, équipement électrique, ...), de l'entrée d'air l'air frais et de l'excédent d'air extrait (ventilation).

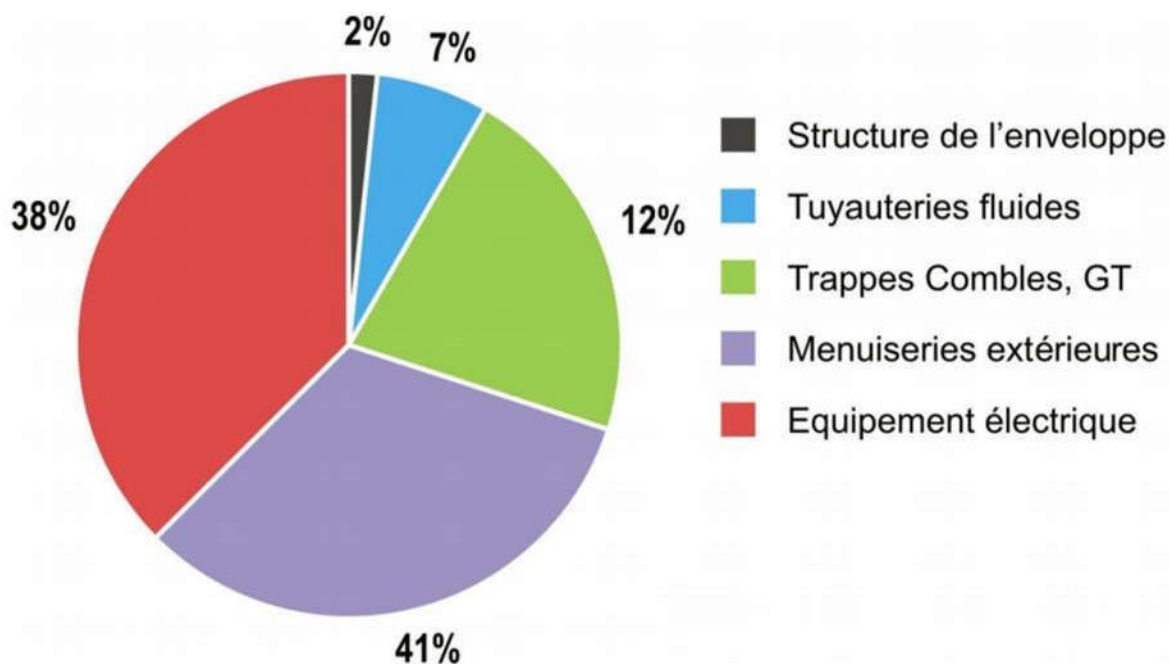


Figure 27: Répartition en % des infiltrations d'air dans une maison individuelle [ADEME].

Pour la bonne santé de l'occupant, la ventilation assure le renouvellement sanitaire (apport d'air frais, évacuation des odeurs, ...). Elle peut être assurée :

- ✓ Soit naturellement via des orifices d'amenée d'air frais et de rejet d'air vicié.
- ✓ Soit mécaniquement, par des bouches de pulsion et d'extraction. Les infiltrations d'air dans un bâtiment sont dues à des différences de pression engendrée soit par le vent, soit par l'écart entre les températures intérieure et extérieure, et sont rendues possibles par les défauts d'étanchéité de l'enveloppe.

L'air extérieur introduit dans le bâtiment doit être porté à la température intérieure de confort, que ce soit par réchauffement (en saison de chauffe) ou par rafraîchissement (en été).

7.2 Conductivité thermique

La conductivité thermique (notée λ) correspond à la capacité d'un matériau à conduire la chaleur. Elle représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et par unité de temps, sous un gradient de température [17].

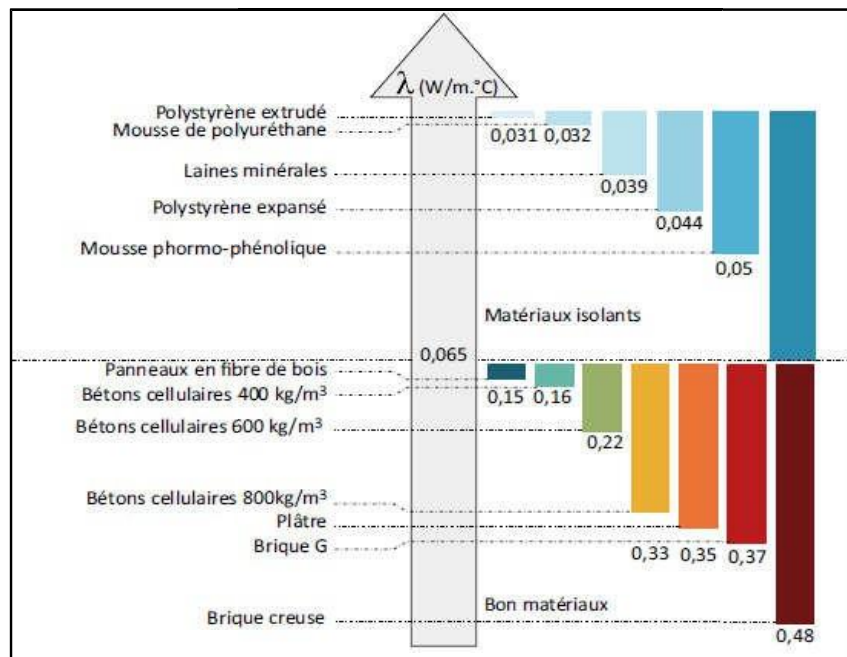


Figure 28:

Conductivités

thermiques de quelques matériaux [12].

Conclusion:

Ce chapitre nous a permis de faire le point sur les bases théoriques nécessaires pour bien comprendre les phénomènes thermiques dans le bâtiment. Nous avons vu l'importance de l'isolation thermique, les propriétés des matériaux, les apports et les pertes d'énergie, ainsi que les différents types d'énergies utilisés. L'analyse de la consommation énergétique, notamment à Tlemcen, montre que le secteur résidentiel représente une part importante des besoins. Ces informations vont nous aider à mieux évaluer la performance énergétique des logements dans les chapitres suivants et à proposer des solutions pour les améliorer.

CHAPITRE II

Bilan énergétique des deux maisons

INTRODUCTION :

Dans ce chapitre, nous avons présenté deux cas d'étude réels pour analyser la performance énergétique de maisons individuelles situées à Tlemcen. Le premier cas concerne la maison de l'un des membres du groupe, et le second concerne celle de son binôme. Pour chaque logement, nous avons appliqué la méthodologie du DTR C3.2/4 en commençant par les données géométriques et climatiques, suivies des calculs thermiques pour l'hiver et l'été. Ensuite, nous avons évalué les besoins en chauffage, en climatisation et en eau chaude sanitaire. Enfin, un bilan énergétique global a été établi afin de déterminer la classe énergétique de chaque maison.

I.1. Aspects géométriques

Afin d'illustrer les différentes étapes nécessaires pour vérifier la conformité à la Réglementation Thermique des Bâtiments (RTB), prenons l'exemple d'un logement individuel situé dans la wilaya de Tlemcen. Ce logement comprend trois pièces principales ainsi que deux pièces de service (cuisine et salle de bain), pour une surface de plancher totale d'environ 171,52 m². Il est mitoyen au sud avec une habitation, ce qui fait que seules les façades nord et est et ouest sont exposées. Les principales caractéristiques géométriques requises pour le calcul réglementaire sont résumées dans le Tableau 1.

Conformément aux conventions définies au paragraphe I.4.2 du Document Technique Réglementaire (DTR), le calcul réglementaire s'appuie sur :

- les longueurs intérieures (en m), pour les parois verticales qui ne sont pas en contact avec le sol (marqué par exemple par une ligne pointillée en Figure 1, vue Est, Ouest, Nord);
- le périmètre intérieur (en m) pour les planchers bas sur terre-plein ou enterrés;
- la longueur (en m) du pourtour extérieur pour les murs enterrés.
- Le tableau extérieur pour le calcul des ouvrants (i.e. portes et fenêtres).

Tableau 5 : Données dimensionnelles générales du bâtiment

Côté A _{net}	Côté Est	13,4	m
Côté B _{net}		12,8	m
h _{net}		2,6	m
Surface nette	SDB Cuisine	171,52	m ²
Volume net chauffé		445,95	m ³
Côté A		14	m
Côté B		13,4	m
h		3,4	m
Surface brute		187,6	m ²
Volume totale		637,84	m ³
Périmètre intérieur du plancher bas		52,4	m

Figure 29 : plan 1
Tableau 6 : Surfaces de l'enveloppe et leur orientation

Toiture	171,52	m ²	-
Plancher	171,52	m ²	-
Mur –Nord	29,23	m ²	N
Mur –Est	31,95	m ²	E
Mur –Ouest	29,32	m ²	O
Porte	2,64	m ²	O
Fenêtre Ouest1	1,44	m ²	O
Fenêtre Ouest2	1,44	m ²	O
Fenêtre NORD	4,05	m ²	N
Fenêtre Est1	1,44	m ²	E
Fenêtre Est2	1,2	m ²	E
Fenêtre Est3	0,25	m ²	E
Surface d'enveloppe Totale	446	m ²	

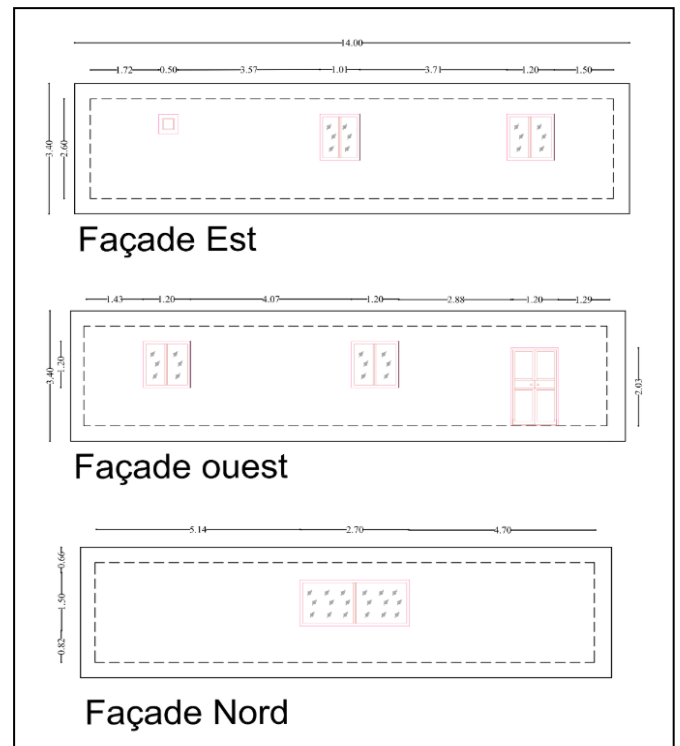

Figure 30: Façade 1

Tableau 7 : Données géométriques des fenêtres :

	Largeur	Longueur	Surface Fenêtre	Surface De Vitrage	Surface Menuiserie	Epaisseur Menuiserie
F. N	2,7 M	1,5 M	4,05 M ²	3,5 M ²	0,55 M ²	0,05 M
F 2. E	1	1,2	1,2	0,99	0,21	0,05
F 3. E	0,5	0,5	0,25	0,16	0,09	0,05
F 1. O	1,2	1,2	1,44	1,1	0,34	0,05

Le calcul des surfaces de fenêtres distingue la surface totale de l'ouverture dans la paroi, la surface de la menuiserie et la surface vitrée .Dans le cas d'étude par simplicité. Les données géométriques de base pour le calcul sont détaillées dans le Tableau 3.

1.2 Données climatiques :

Le positionnement du site d'implantation du projet dans une des zones climatiques réglementaires (Tableau 4) permet de déterminer les conditions de base extérieures (Tableau 5) et intérieures (Tableau 6) pour les calculs thermiques.

Tableau 8 : Paramètres géographiques et zones thermique :

Wilaya	Tlemcen	
Altitude	718 m	
Latitude	34°53' 19'' Nord	
Zone climatique hiver	A	Annexe A.1 du DTR
Zone climatique été	B	Annexe B.5 du DTR
Classe de rugosité du site	IV (zones urbaines; zones industrielles; forêts)	p.86 du DTR

Tableau 9 : Conditions de base extérieures

Température extérieure de base (hiver)	T _{b,e}	0	°C	Tableau 2.2 du DTR (p.34)
Température de base extérieure sèche (été)	T _{Sb,e}	37	°C	Tableau 9.1 du DTR (p.99)
Ecart annuel de température	EAT	36	°C	Tableau 9.1 du DTR (p.99)
Ecart diurne	E _b	15	°C	Tableau 9.1 du DTR (p.99)
Humidité spécifique	H _{sb,e}	11	g _{vap} /kg _{gas}	Tableau 9.1 du DTR (p.99)

Tableau 10 : Conditions de base intérieures

Température intérieure hiver	T _{i,h}	21	°C	(§II.4.3., p.33)
Température intérieure été	T _{i,e}	27	°C	Tableau 9.6 du DTR (p.104)
Ecart diurne	E _b	15	°C	Tableau 9.6 du DTR (p.104)
Humidité relative intérieure	H _{r,i}	50	%	Tableau 9.6 du DTR (p.104)
Humidité spécifique intérieure	H _{s,b,e}	11,2	g _{vap} /kg _{gas}	Diagramme psychrométrique (p.188)

I.3 Les composantes d'enveloppe et le calcul des coefficients de transmission thermique :

Le calcul du coefficient de transmission thermique des parois est une étape importante. Pour l'hiver, on utilise la formule (1) qui additionne la résistance thermique des matériaux (Tableau 7) avec les résistances superficielles intérieure et extérieure (h_i et h_e) données dans le Tableau 1.2 (page 28 de la RTB). La même formule sert à calculer le coefficient pour l'été (Kété), indiqué à l'équation 10.2 (page 106 de la RTB), mais en utilisant cette fois les valeurs du Tableau 1.3 (page 28 de la RTB), spécifiques à la saison estivale.

$$1/K = \Sigma R + 1/h_i + 1/h_e \quad (1)$$

NOTE : Le coefficient de transmission thermique en hiver K de la toiture du Tableau 7 dont la résistance thermique est de $1,677 \text{ m}^2\text{°C/W}$ et pour laquelle $1/h_i + 1/h_e$ est égal à $0,14 \text{ m}^2\text{°C/W}$ (Tableau 1.2 p.28 de RTB) est : $K = 1/(1,677 + 0,14) = 0,55 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

Tableau 11 : Composition des parois opaques

TOITURE	K=0,55W/m ² °C		Kété=0,53W/m ² °C	
Matériaux	M _{sup} (kg/m ²)	Conductivité λ (W/m°C)	Epaisseur (m)	Résistance R (m ² °C/W)
Granito	38	2,10	0,02	0,010
Mortier de ciment	44	1,40	0,02	0,014
Sable sec	26	0,60	0,02	0,033
Béton plein –Forme de pente	110	1,75	0,05	0,029
Polystyrène	1,05	0,04	0,03	0,750
Béton-prédalle	102	1,75	0,06	0,034
Plâtre courant d'enduit intérieur	15	0,35	0,02	0,057
Total	336,05	-	0,64	1,677

MURS	K=0,99W/m ² °C		Kété=1,02W/m ² °C	
Matériaux	Msup(kg/m ²)	Conductivité λ (W/m°°C)	Epaisseur(m)	Résistance R(m ² °C/W)
Enduit de ciment	44	0,87	0,02	0,0230
Brique creuse	90	0,48	0,20	0,4167
Lame d'air pour mur de24à50mm	0	0,00	0,10	0,1400
Brique creuse	90	0,48	0,10	0,2083
Enduit de plâtre	15	0,35	0,02	0,0571
Total	239		0,44	0,845

PLANCHERBAS	K=2,13W/m ² °C		Kété=2,70W/m ² °C	
Matériaux	Msup(kg/m ²)	Conductivité λ (W/m°°C)	Epaisseur(m)	Résistance R(m ² °C/W)
Béton armé	750	1,75	0,30	0,171
Sable	39	0,60	0,03	0,050
Mortier de ciment	44	1,40	0,02	0,014
Carrelage(granito)	57	2,10	0,03	0,014
Total	890		0,38	0,25

Le coefficient K de la porte du logement est obtenu au Tableau 3.10 (p.51 du DTR) et est égal à 3,5 W/m²°C, idempour la valeur estivale. Pour les fenêtres, on a considéré K = 3,0 et Kété= 3,0 W/m²°C. Pour ces produits, on pourra se référer aux fiches techniques les concernant où suivre les méthodologies de calcul proposées dans le DTR (§ III.4-III.5).

$$K_{\text{porte}}=K_{\text{porte,été}}=3,5\text{W/m}^2\text{°C}$$

$$K_{\text{fenêtres}}=K_{\text{fenêtres,été}}=3,0\text{Wm}^2\text{°C}$$

NOTE : Ce guide n'approfondit pas le calcul analytique des coefficients de transmission pour les fenêtres. La RTB décrit cet aspect en détail (§ III.4 et III.5).

I.4 Calculs d'hiver

Le calcul réglementaire en hiver se fait en deux étapes :

1. D'abord, on calcule les pertes de chaleur par transmission à travers l'enveloppe du bâtiment, puis on les compare aux pertes de référence (équation 2.5 du DTR). Cela permet de vérifier la conformité pour l'hiver.

2. Ensuite, on détermine la puissance de chauffage nécessaire (équation 2.9 du DTR), en tenant compte des pertes de chaleur par transmission et par renouvellement de l'air.

Vérification d'hiver (C-3.2)	$D_T \leq 1,05 \times D_{ref}$	(2)
-------------------------------------	--	------------

D_T (en $W/^\circ C$) représente les déperditions par transmission du logement, obtenues à partir de l'équation 2.3 (p. 31 du DTR) pour toutes les parois qui délimitent le volume thermique considéré. C'est la somme :

- Des déperditions surfaciques à travers les parois en contact avec l'extérieur ($D_s = K \times A$);
- Des déperditions à travers les liaisons où ponts thermiques (D_{li});
- Des déperditions à travers les parois en contact avec le sol (D_{sol});
- Des déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés (D_{lnc}).

La déperdition surfacique à travers une paroi en contact avec l'extérieur D_s correspond au produit du coefficient de transmission thermique en hiver K et de la surface de la paroi considérée.

Une approche simplifiée du calcul des déperditions par ponts thermiques D_{li} pour tout le logement consiste à les estimer à 20% des pertes surfaciques par transmission à travers les parois du logement (équation 4.3 du DTR). Cependant, il est possible de les calculer de façon analytique en suivant les indications du Chapitre IV du DTR.

En ce qui concerne la déperdition vers le sol du plancher bas D_{sol} (équation (3) et 5.3 à p. 67 du DTR), il s'agit d'un plancher bas sur terre-plein ou enterré sans isolation spécifique (cas 1, dans le Tableau 5.1 à p.68 du DTR) avec une différence entre le niveau haut du plancher bas et le niveau du sol (z) entre -0,2 m et + 0,2 m à 0 et donc un coefficient k_s égal à 1,75 $W/m^\circ C$ (Tableau 5.2 à p.69 du DTR).

$D_{sol} = p \times k_s$	(3)
--	------------

Où p est le périmètre du plancher bas (52,4 m, cf. Tableau 1).

Dans notre cas d'étude, il n'y a pas de déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés D_{lnc} car il n'y a pas de volumes non chauffés.

Le total des déperditions par transmission s'établit donc comme suit :

$$DT = \sum (D_{s,i} + D_{li,i} + D_{sol,i} + D_{lnc,i}) = 0,55 \times 171,52 \times (1,2) + 0,99 \times (29,23 + 29,32 + 31,95) \times (1,2) + 3,5 \times 2,64 \times (1,2) + 3,0 \times (1,44 + 1,44 + 4,05 + 1,44 + 1,2 + 0,25) \times (1,2) + 2,1 \times 52,4 = 377,2 \text{ W/}^\circ C.$$

$D_{ref} = a \times S_1 + b \times S_2 + c \times S_3 + d \times S_4 + e \times S_5$	(4)
--	------------

Les déperditions par transmission du logement doivent être comparées aux déperditions de référence $D_{\text{réf}}$ (en $\text{W}/^\circ\text{C}$), obtenues grâce à la formule suivante (équation 2.6, p.32 du DTR) et à partir des coefficients de référence (a, b, c, d, e) du

Tableau 2.1 (p.32 du DTR) :

Dans ce cas (logement individuel à Tlemcen, zone A), $D_{\text{réf}} = 0,9 \times 171,52 + 2,0 \times 171,52 + 1,2 \times (29,23 + 29,32 + 29,23 + 31,95) + 3,0 \times 2,64 + 3,8 \times (2,9 + 2,9 + 8,1 + 2,9 + 2,4 + 0,5) = 723,87 \text{ W}/^\circ\text{C}$.

$D_T = 377,2 \text{ W}/^\circ\text{C} \lll 1,05 \times D_{\text{réf}} = 723,87 \text{ W}/^\circ\text{C}$.

La vérification d'hiver (2) est passée avec succès!

Connaissant les déperditions par transmission D_T , nous pouvons passer à l'étape suivante du calcul de la puissance de chauffage Q nécessaire pour un logement. Pour cela une estimation des pertes par renouvellement d'air D_R doit être effectuée selon l'équation suivante (équation 2.9 du DTR).

Puissance de chauffage :

$$Q_{\text{ch}} = (t_{b,i} - t_{b,e}) \times \{ [1 + \max(c_r, c_{in})] \times D_T + [(1 + c_r) \times D_R] \} \quad (5)$$

Où:

$t_{b,i}$ (en $^\circ\text{C}$) est la température intérieure de base (21°C – cf. Tableau 6) ;

$t_{b,e}$ (en $^\circ\text{C}$) est la température extérieure de base (0°C – cf. Tableau 5) ;

D_T (en $\text{W}/^\circ\text{C}$) représente les déperditions par transmission du logement ;

D_R (en $\text{W}/^\circ\text{C}$) représente les déperditions par renouvellement d'air du logement ;

C_r (sans dimension) est un ratio estimé des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel (dans le cas, chauffage individuel, est égal à 0) ;

C_{in} (sans dimension) représente un coefficient de surpuissance (dans le cas, chauffage discontinu et classe d'inertie du bâtiment “faible” ou “moyenne”, est égal à 0,15).

Les déperditions par renouvellement d'air du logement font l'objet du chapitre VII du DTR.

L'expression générale (équation 7.1 à p. 81 du DTR) est la suivante :

$$D_R = 0,34 \times (Q_{V,an} + Q_S) \quad (6)$$

Où:

- $0,34$ (en $\text{Wh}/\text{m}^3^\circ\text{C}$) est la chaleur volumique de l'air;

- $Q_{V,an}$ (en m^3/h) est le débit minimal d'air neuf (équation 7.2 à p.83 du DTR), correspondant à la valeur plus grande entre 0,6 fois le volume habitable par heure et le débit extrait de référence $Q_{V,\text{réf}}$ qui dépend du nombre de pièces principales et de service (équation 7.3 p.83 du DTR).

Dans ce cas, $Q_{V,an} = \max(0,6 \times 445,95; [5 \times 75 + (105 + 30)]/6) = 267,57 \text{ m}^3/\text{h}$;

- Q_s (en m³/h) est le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent, déterminé en considérant seulement le débit d'air s'infiltrant par les ouvrants – i.e. portes et fenêtres (équations 7.4 et 7.5, pp. 85-86 du DTR).

$$Q_s = \sum P_{pi} \times e_{vi} = \sum (P_{oi} \times A_i) \times e_{vi} \quad (7)$$

Tableau 12 : Calculs du débit supplémentaire par infiltrations due souvent (q_s)

	A(m ²)	P _O (m ³ /hm ² sousΔP=1 Pa)	e _v	Q _s (m ³ /h)
		Tableau 7.5 du DTR	Tableau 7.6 du DTR	Equation 7.4 du DTR
Porte	2,64	1,2	1,47 (H ≤ 4 m et zone IV)	4,656
Fenêtre Ouest 1	1,44	4,0	1,47	8,467
Fenêtre Ouest 2	1,44	4,0	1,47	8,467
Fenêtre Est 1	1,44	4,0	1,47	8,467
Fenêtre Est 2	1,2	4,0	1,47	7,056
Fenêtre Est 3	0,25	4,0	1,47	1,47
Fenêtre Nord	4,05	4,0	1,47	23,814
TOTAL	-	-	-	62,397

Nous disposons désormais de toutes les données pour calculer les déperditions par renouvellement d'air (D_R) et obtenir la puissance de chauffage.

$$D_R = 0,34 \times (267,57 + 62,397) = 112,188 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$Q_{ch} = (21 - 0) \times \{ [1 + \max(0; 0,15)] \times 377,2 + [(1 + 0) \times 112,188] \} = 11465,328 \text{ W} = 11,5 \text{ k}$$

1.5 Calculs d'été

Comme pour l'hiver, le calcul réglementaire d'été se fait en deux étapes :

Première étape : vérifier si l'exigence d'été est respectée (équation 8.7, page 93 du DTR). Cela consiste à comparer les apports de chaleur par les vitrages (AV) et les parois opaques (APO) au mois de juillet à 15h (Temps Solaire Vrai), pour une température intérieure de 27 °C, avec des valeurs de référence ;

Deuxième étape : calculer la charge de climatisation, c'est-à-dire la somme des apports de chaleur sensible et latente (équations 8.5 et 8.6, page 92).

$$\text{Vérification d'été (C-3.4)} \quad APO (15h) + AV (15h) \leq 1,05 \times A_{réf} \quad (8)$$

APO(t), en W, désigne les apports calorifiques à travers les parois opaques extérieures est calculé comme suit (équation 10.1, p. 105 du DTR) :

$$APO(t) = 1,2 \times K_{été} \times S_{int} \times \Delta t_e(t) \quad (9)$$

Où:

- 1,2 : un coefficient des apports latéraux linéiques (au travers des ponts thermiques);
- $S_{int}(m^2)$: surface intérieure totale des parois ; $K_{été}$: transmission calorifique ($W/m^2\text{°C}$);
- $\Delta t_e(t)$ ($^{\circ}\text{C}$) : différence équivalente de température à l'heure t (cf. §X.1.3duDTR)

t = 15h au mois de juillet.

Pour les parois exposées au soleil (voir équation 10.7, page 106 du DTR), la différence de température prend en compte la chaleur supplémentaire due à l'ensoleillement direct.

$$\Delta T_e(t) = \Delta T_{es}(t) + C_{\Delta T_e} + (\alpha / 0,9) \times [\Delta T_{em}(t) - \Delta T_{es}(t)] \times (I_{t,b} / I_{t,b} \quad (40) \quad (10)$$

Pour les parois à l'ombre (équation 10.8,p. 106 du DTR),la formule se simplifie:

$$\Delta t_e(t) = \Delta t_{es}(t) + C_{\Delta t_e} \quad (11)$$

Les calculs pour toutes les parois opaques sont déroulés dans le Tableau 9et prennent en compte les données suivantes:

- Porte: face extérieure de couleur claire, $\alpha=0,50$ (§X.1.3.4.1.du DTR);
- Murs et couverture: face extérieure de couleur noir mat, $\alpha=0,7$ (§X.1.3.4.1.du DTR);
- La toiture est isolée (i.e.la RTB prescrit de prendre pour $\Delta t_{em}(t)$ et $\Delta t_{es}(t)$ 75% des valeurs du tableau 10.2).

TABLEAU 13 : Apport parois opaques

		Mur N	Mur E	Mur O	Porte O	Toit	Source
$\Delta t_e(15h)$	$^{\circ}\text{C}$	4,3	4,3	4,3	6,6	2,38	-
$\Delta t_{em}(15h)$	$^{\circ}\text{C}$	4,4	7,2	10,6	17,8	12,9	Tableau10.1et10.2duDTR
$\Delta t_{es}(15h)$	$^{\circ}\text{C}$	4,4	4,4	4,4	6,70	2,48	Tableaux10.1-10.2duDTR (parois Nà l'ombre)
M_{sup}	kg	239	239	239	<100	336,05	-
E_b	$^{\circ}\text{C}$	15	15	15	15	15	Tableau9.1duDTR
Δt_{smax}	$^{\circ}\text{C}$	10	10	10	10	10	TS _{b,e} -TS _{b,i} -Tableau9.1 du DTR
$C_{\Delta t_e}$		-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	Tableau10.3duDTRpar interpolation

a		0,7	0,7	0,7	0,5	0,7	§X.1.3.4.1.du DTR
It,b(34)	W/m ²	45,4	498	498	498	708	Tableau 9.4 du DTR par interpolation
It,b(40)	W/m ²	47	516	516	516	734	Tableau 9.4 du DTR
Sint	m ²	29,23	29,32	31,95	2,64	171,52	-
Kété	W/m ² °C	1,02	1,02	1,02	3,5	0,53	-
APO(15h)	W	157,42	258,39	414,53	197,36	1407,22	-

$APO(15h) = 2434,92 \text{ W}$.

Après avoir déterminé les apports de chaleur par les murs opaques, on calcule ceux qui passent par les surfaces vitrées (voir chapitre XI, page 98 du DTR).

Les apports par les vitrages (en watts) correspondent, d'après l'équation 11.2 (page 115 du DTR une erreur y indique « 10.2 »), à la somme de deux éléments :

- les apports liés à la différence de température à travers le vitrage, notés $AVT(t)$,
- et les apports dus au rayonnement solaire, notés $AVE(t)$:

$$AV(t) = AV(t) + AVE(t) \quad (12)$$

Les gains dus au gradient de température à travers les parois vitrées $AVT(t)$ en W sont calculés comme suit :

$$AVT(t) = 1,2 \times K_{été} \times S_{ouv} \times (T_{se} - T_{sb,i}) \quad (13)$$

(Équation 11.3 à p. 115 du DTR, mais par erreur dans le DTR indiquée avec le code « 10.3 »):

Où:

- 1,2 : coefficient des apports latéraux linéiques (à travers les ponts thermiques);
- S_{ouv} (en m²) : superficie de l'ouverture dans la paroi opaque;
- $T_{se}(t)$ (en °C) est la température extérieure sèche à l'heure t (cf. §IX.1.1.3), dans ce cas égal à 37°C ;
- $T_{sb,i}$ (en °C) : température intérieure sèche de base (27°C).

Les gains dus au rayonnement solaire à travers les parois vitrées $AVE(t)$ en W sont calculés comme indiqué ci-après (équation 11.4 p. 116 du DTR) :

$$AVE(t) = SV_{ens} \times It + (SV - SV_{ens}) \times Id \times FS \times N_{pvi}(t) \quad (14)$$

Où:

- SV (en m²) : superficie totale vitrée et SV_{ens} (en m²) : superficie vitrée ensoleillée (cf. annexe B.4 du DTR pour la détermination des parties ensoleillées) ;

- $SV-SV_{ens}(enm^2)$: surface vitrée à l'ombre;
- It (en W/m^2) : rayonnement total maximal réel(cf.§IX.1.2.3), qui dépend du rayonnement total de base It,b obtenu par interpolation des valeurs du tableau 9.4 du DTR et corrigés par les coefficients du Tableau10:
- $It,b_{N34^{\circ}77'}=45,4 W/m^2$ (par interpolation);
- $It,b_{E,34^{\circ}77'}=498 W/m^2$ (par interpolation);
- $It,b_{O,34^{\circ}77'}=498 W/m^2$ (par interpolation);

Tableau 14 : Coefficients de correction du rayonnement total de base dans le cas d'étude

C_{cadre}	Tenant compte de la nature du cadre-ou menuiserie- (cf.§ IX.1.2.3.2)	Cadre en bois	1
C_{limp}	Tenant compte de la limpidité de l'atmosphère (cf.§IX.1.2.3.3)	Centre des grandes villes, les zones industrielles	0,87
C_{alt}	Tenant compte de l'altitude (cf.§ IX.1.2.3.4)	Altitude = 718m	1,021
C_{ros}	Tenant compte de la valeur du point de rosée (cf.§IX.1.2.3.5,tableau9.5)	Zone B, altitude > 500m	1,05

Id (en W/m^2) est le rayonnement diffus maximal réel (voir § IX.1.2.3). Il dépend du rayonnement diffus de base It,d (en W/m^2), qui est obtenu en interpolant les valeurs du tableau 9.4 (page 101 du DTR). Pour rappel, les valeurs pour l'orientation Nord correspondent directement au rayonnement diffus de base. Ce rayonnement est ensuite corrigé à l'aide de quatre coefficients précédemment présentés. Exemple : pour une orientation Nord à $34^{\circ}77'$, on trouve $Id,b N,34^{\circ}77' = 45,4 W/m^2$ (par interpolation).

$NPVI(t)$ est le coefficient qui mesure l'atténuation des gains solaires à travers les vitrages à une heure donnée t (voir § XI.1.2). Ce coefficient est obtenu à partir des tableaux 11.1 à 11.5 du DTR, en fonction :

- de la durée de fonctionnement des installations,
- des protections solaires utilisées (stores, rideaux, etc.),
- de la masse thermique rapportée à la surface du plancher (voir équation 11.5 du DTR),
- de l'orientation du vitrage,
- et de l'heure solaire vraie.

Dans notre cas d'étude:

- L'heure solaire vraie est 15h et la masse M rapportée à la surface du plancher est plus que $750kg/m^2$:
 $[336,05 \times 171,54 + 239 \times (29,23 + 29,32 + 31,95) + 890 \times 171,52] / 171,52 = 1352,2kg/m^2$.
- On en déduit $N_{PVI}(EST)=34\%$ et $N_{PVI}(NORD)= 92\%$ et $N_{PVI}(OUEST)= 42\%$ (tableau 11.5, p. 123 du DTR).

- F_s est le facteur solaire du vitrage (cf.§XI.2.2) et dépend des caractéristiques du vitrage et sa protection solaire:
- Les fenêtres Est et Ouest du cas d'étude ont une protection solaire (stores verticaux en bois externe):
 - F_s vitrage double clair:0,85(Tableau11.8p.126 du DTR);
 - FS stores verticaux extérieures en bois:0,06 (Tableau11.10p.128duDTR);
- Les fenêtres Nord n'ont pas de protection solaire:
 - FS vitrage double clair:0,85(Tableau11.8p.126duDTR).

TABLEAU 15 : Apports par transmission (avt) et par ensoleillement (ave) à travers les parois vitrées

		Fenêtre NORD 1	Fenêtre OUEST 1	Fenêtre OUEST 2	Fenêtre EST 1	Fenêtre EST 2	Fenêtre EST 3
Tse-Tb,i	°C	10	10	10	10	10	10
Souv	m ²	4,05	1,44	1,44	1,44	1,25	0,25
Kété	W/m ² °C	3,00	3	3	3,00	3	3
AVT	W	145,8	51,84	51,84	51,84	43,02	9
		353,34					
SV	m ²	3,5	1,1	1,1	1,1	0,99	0,16
SVens	m ²	-	1,1	1,1	1,1	0,99	0,16
It	W/m ²	42,34	464,5	464,5	464,5	464,5	464,5
Id	W/m ²	42,34	42,34	42,34	42,34	42,34	42,34
NPVI		0,92	0,42	0,42	0,34	0,34	0,34
FS		0,85	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
AVE	W	115 ,9	12,9	12,9	10,42	10,42	10,42
		172,96					
AVT+A VE	W	261,7	64,74	64 ;74	62,26	53,44	19,42
		526,3					

Les apports de chaleur à travers les parois en contact avec l'extérieur (parois aériennes dans la RTB) sont :

$$APO (15h) + AV(15h) = 2434,92 + 526,3 = 2961,22 \text{ W.}$$

Ces apports doivent être comparés aux **apports de référence A réf (en W)** pour vérifier la conformité thermique en été.

Pour réaliser cette vérification estivale (voir C-3.4), il faut calculer les **apports calorifiques de référence A réf** (cf. § VIII.2.2.2, page 93 du DTR).

A réf correspond à la somme des apports de référence à 15 h en juillet :

- à travers les parois opaques horizontales (**Aréf,PH**, § VIII.2.3),

- les parois verticales (Aréf, PV, § VIII.2.4),
- et les surfaces vitrées (Aréf, PVi, § VIII.2.5) :

$$AV_{\text{ref}}(15 \text{ h}) = A_{\text{ref,PH}}(15 \text{ h}) + A_{\text{ref,PV}}(15 \text{ h}) + A_{\text{ref,PVi}}(15 \text{ h}) \quad (14)$$

La valeur de $A_{\text{ref,PH}}$ (équation 8.9) pour la toiture de notre cas d'étude (logement individuel, situé en zone B à une altitude > 500 m) est de 2097,86 W, comme montrée dans le Tableau suivant :

Tableau 16 : Apports de référence de parois opaques horizontales

A	-	0,90	Tableau 8.3,p.94 du DTR
$\Delta T_{\text{réf,PH}}$	°C	13,59	Tableau 8.4,p.94 du DTR
S_{int}	m ²	171,52	-
$A_{\text{réf,PH}}(\text{W})$	W	2097,86	-

La valeur de $A_{\text{réf, PV}}$ (équation 8. 11, p. 96) pour les parois vitrées du bâtiment pris en exemple (logement individuel en zone B, à une latitude de 34°53'19'' N et à une altitude > 500 m) est 398,44W, comme calculée dans le Tableau 13.

Tableau 17 : Apports de référence de parois opaques verticales

		Mur N	Mur O	Mur E	Porte O	Source
C	-	1	1	1	1	Tableau8.5,p.95du DTR
$\Delta T_{\text{réf,PV}} (\text{°C})$	°C	4,86	8,91	6,09	8,91	Tableau8.6,p.95du DTR(par interpolation)
$S_{\text{int}}(\text{m}^2)$	m ²	25,18	26,44	29,06	2,64	
$A_{\text{réf,PV}} (\text{W})$	W	122,37	235,58	176,97	23,52	
		398,44				

La valeur de $A_{\text{réf,PVi}}$ (voir équation 8.10, page 94) pour les vitrages du bâtiment pris en exemple correspond à la somme de deux éléments :

- les apports dus à l'ensoleillement (AV_{Eref} , équation 8.12, page 96 du DTR),
- et les apports dus à la différence de température ($AVT_{\text{réf}}$, équation 8.13, page 97 du DTR).

Le résultat obtenu pour $A_{\text{réf, pvi}}$ est **558,11 W** (voir Tableau 14).

Tableau 18: Apports de référence par transmission (AVT) et par ensoleillement (AVE) à travers les parois vitrées

		Fen.N	Fen.O1	Fen.O2	Fen.E1	Fen.E2	Fen.E3	
S_{ouv}	m ²	4,05	1,44	1,44	1,44	1,2	0,25	

e'	W/m ² °C	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	§VIII.2.5.2.2.
ΔTS _{réf} , PVi	°C	10	10	10	10	10	10	Tableau 8.8p.97 du DTR
AV _{Tréf}	W	170,1	60,48	60,48	60,48	60,48	10,5	
		422,50						
SV	m ²	3,5	1,1	1,1	1,1	0,99	0,16	
SV _{ens}	m ²	-	1,1	1,1	1,1	0,99	0,16	
It	W/m ²	42,34	464,5	464,5	464,5	464,5	464,5	§IX.1.2.3.
Id	W/m ²	42,34	42,34	42,34	42,34	42,34	42,34	§IX.1.2.3.
NPVI _{réf}		0,95	0,43	0,43	0,31	0,31	0,31	Tableau 8.7p.97 du DTR
FS _{réf}		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	§VIII.2.5.2.1.
AVE _{réf}	W	21,11	32,95	32,95	23,75	21,38	3,45	
		135,59						
A _{réf,PVi}	W	191,21	93,43	93,43	84,23	81,86	13,95	
		558,11						

A ce stade, on dispose de toutes les données nécessaires pour faire la vérification de conformité d'été(7), introduite plus haut (équation 8.7 à p. 93 du DTR).

$$APO(15h) + AV(15h) = 2961,22W; A_{réf} = A_{réf,PH}(15h) + A_{réf,PV}(15h) + A_{réf,PVi}(15h) = 2097,86 + 398,44 + 558,11 = 3054,41W$$

$APO(15h) + AV(15h)$ est plus bas que $1,05 \times A_{réf}$ et alors la vérification d'été(7) est passée avec succès!

$$\text{Puissance de climatisation (W)} Q_{clim} = AT_s + AT_i \quad (15)$$

La puissance de climatisation nécessaire pour un logement est calculée en déterminant les **apports totaux en watts** (voir § VIII.2.1.3, page 92 du DTR).

Ces apports sont la somme :

- des **apports sensibles** (voir équation 8.5 du DTR),
- et des **apports latents** (voir équation 8.6 du DTR).

$$AT_s = C\Delta a_s \times A_s + A_{RENs} \quad (16)$$

- $C_{\Delta as}$, $C_{\Delta al}$ sont des coefficients «majorateurs» des gains sensibles et latents (cf.§VIII.2.1.2), respectivement 1,05 et 1,00 (installation sans réseau de conduits d'air, comme les climatiseurs individuels);
- $ARENs$, $ARENI$ (W) représentent les apports sensibles et latents dus à la ventilation des locaux (cf. chapitre XIII).

$As(W)$ et $Al(W)$ représentent respectivement les gains sensibles et les gains latents (cf.§VIII.2.1.1):

$$As = APO + AV + AIs + AINFs \quad (18)$$

NOTE : APO et AV ont été déjà calculés (9,12). Pour la puissance de climatisation, les apports sont déterminés à 15 h.

Où:

- AIs et AIl (W) représentent les apports internes sensibles et latents (cf. chapitre XII du DTR),
- $AINFs$ et $AINFl$ (W) représentent les apports sensibles et latents dus aux infiltrations d'air (cf. chapitre XIII du DTR).

La formule générale des apports intérieurs (équation 12.1 à p. 130 du DTR) prend en considération les parts sensible et latente de chaque apport j-ème, en les multipliant par les coefficients respectifs de simultanéité CS_j (cf. Tableau 12.1 à p. 130 du DTR) et, seulement pour la partie sensible, par un coefficient d'amortissement NAI,j (cf. § XII.1.4).

$$AI(t) = \sum (CS_j \times Ais_j \times NAI,j) + \sum (CS_j \times Ail,j) \quad (20)$$

NOTE : La RTB classe les apports internes «ayant pour origine les occupants (cf.§ XII.2.1), les machines entraînées par des moteurs électriques (cf. § XII.2.2), les appareils électriques (cf. §XII.2.3), l'éclairage (cf.§XII.2.4), les appareils à gaz (cf.§XII.2.5), les réservoirs (cf.§XII.2.6), l'évaporation libre (cf.§XII.2.7), l'introduction de vapeur vive (cf. §XII.2.8), les tuyauteries (cf.§XII.2.9) et les conduits d'air intérieurs (cf. § XII.2.10) ».

Dans le bâtiment d'étude considéré ici, on tient compte:

- Des apports internes dus aux occupants (cf.§XII.2.1);
- Des apports internes dus aux appareils électriques (cf.§XII.2.3);
- Des apports internes dus à l'éclairage (cf.§XII.2.4).

Pour calculer les apports internes dus aux appareils électriques, on peut se référer à la liste présentée dans le Tableau 12.6 (p.137 du DTR). Suivant, les appareils considérés:

Tableau 19 : Apports calorifiques dus aux appareils ménagers et de restaurants

	Partie sensible(W)	Partie latente (W)

Four électrique	3000	610
Four micro-onde	1400	-
Plaque chauffant (500W)	500	280
Télévision	150	-
Réfrigérateur	100	-
Machine à laver	3000	1500
	8150	2390

Tableau 20 : Apports internes

	Partie sensible	Partie latente	Source
OCCUPANTS - Q_{oc}	290W	365W	Equation 12.2, 12.3 du DTR
C_{Soc}	0,5	0,5	Tableau 12.1
NAI_{,oc}	1	-	§XII.1.4.1
n_{oc}	10	10	§XII.2.1.2
C_{oc}	58	73	Tableau 12.3
ECLAIRAGE-AI_{écl}	260,4 W	-	Equation 12.9 du DTR
W_n	620	-	Tableau 12.10
C_{me}	1,25	-	§XII.2.4.2
C_{cr}	1	-	§XII.2.4.2
NAI_{,écl}	0,96	-	Tableau 12.2
C_{Sécl}	0,35	-	Tableau 12.1
Appareils électriques-AI_{éle}	1181,75W	1195W	Equation 12.1
AI_{éle}	8150	2390	Tableau 12.7
C_{s,éle}	0,5	0,5	Tableau 12.1
NAI_{,éle}	0,29	-	Tableau 12.2 (cf. §Annexe B.7)

Les apports dus aux infiltrations AINF et renouvellement de l'air AREN sensibles et latents sont calculés selon les indications du chapitre XIII du DTR, comme suit :

$$\text{ARENs (t)} = 0.320 \times Q_{v_{an}} \times (TS_e(t) - TS_{eb,i}) \quad (21)$$

$$\text{AINFs (t)} = 0.320 \times Q_{v_{inf}} \times (TS_e(t) - TS_{eb,i}) \quad (22)$$

Où :

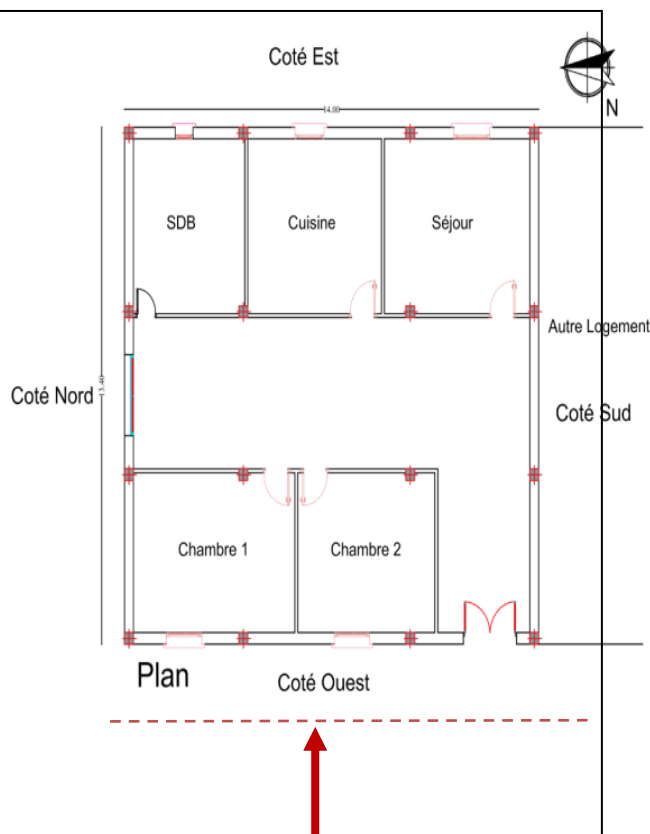
- $0,320 \text{ (J/m}^3\text{°C)}$ représente le produit de la chaleur spécifique de l'air (1004 J/kg°C) par la masse volumique de l'air ($1,15 \text{ kg/m}^3$) et par un facteur de conversion ($1/3600$) ;
- $Q_{\text{van}}(\text{m}^3/\text{h})$ est le débit d'air neuf (§XIII.2.2.1 du DTR), déjà calculé pour le cas d'étude et égal à $267,57 \text{ m}^3/\text{h}$.

Q_{vinf} (en m^3/h) est le débit d'air qui entre à cause des infiltrations du vent à travers les portes et fenêtres (voir § XIII.3).

Le débit d'infiltration pour un ouvrant donné ($Q_{\text{voinf},i}$), multiplié par sa surface, est indiqué soit par le fabricant, soit dans l'Avis Technique du produit. S'il n'y a pas ces informations, on utilise les valeurs du **Tableau 13.1 du DTR**.

Façade Ouest où il y'a plus de fenêtres, qui sont les plus responsables d'infiltrations

$$\text{Souv} = 2,64 + 1,44 + 1,44 = 5,52 \text{ m}^2$$



Les infiltrations n'ont lieu qu'à travers les ouvrants se situant sur les parois au vent pour la direction du vent considérée.

On retiendra pour le calcul la direction du vent produisant l'effet le plus défavorable.

Dans le cas d'étude, seulement les parois Nord, EST et OUEST ont ouvrants. La direction principale du vent est perpendiculaire à la

FIGURE31 : CALCUL DES INFILTRATIONS

$$\text{ARENs} = 0,320 \times 267,57 \times (37 - 27) = 856,224 \text{ W} \text{ et } \text{AINFs} = 0,320 \times (80,04) \times (37 - 27) = 256,128 \text{ W}.$$

Pour les apports la tents, les formules à appliquer sont les suivantes:

$$\text{ARENs}(t) = 0.797 \times Q_{\text{van}} \times \max [(HS_{b,e} - HS_{b,i}), 0] \quad (23)$$

Où:

- **0,797 (J·kgair/gvap·m³)** est le résultat du produit entre :
- la masse volumique moyenne de l'air (**1,15 kg/m³**),
- la chaleur de vaporisation de l'eau (**2498 J/g**),
- et un facteur de conversion (**1/3600**).
- **HSb,e** (en **gvap/kgas**) est l'humidité spécifique de base de l'air extérieur (voir partie III, chapitre IX, tableau 9.1 du DTR).

Pour la **zone B** et une altitude supérieure à **500 m**, sa valeur est de **11 gvap/kgas**.

- **HSb,i** (en **gvap/kgas**) est l'humidité spécifique de base de l'air intérieur.

Pour la trouver, on utilise le diagramme psychrométrique (Figure 7) :

On croise la courbe d'humidité relative (50 %, confort normal pour un séjour long, d'après le tableau 9.6 du DTR) avec la température intérieure sèche de base, ce qui donne une humidité spécifique de **11,2 gvap/kgas**.

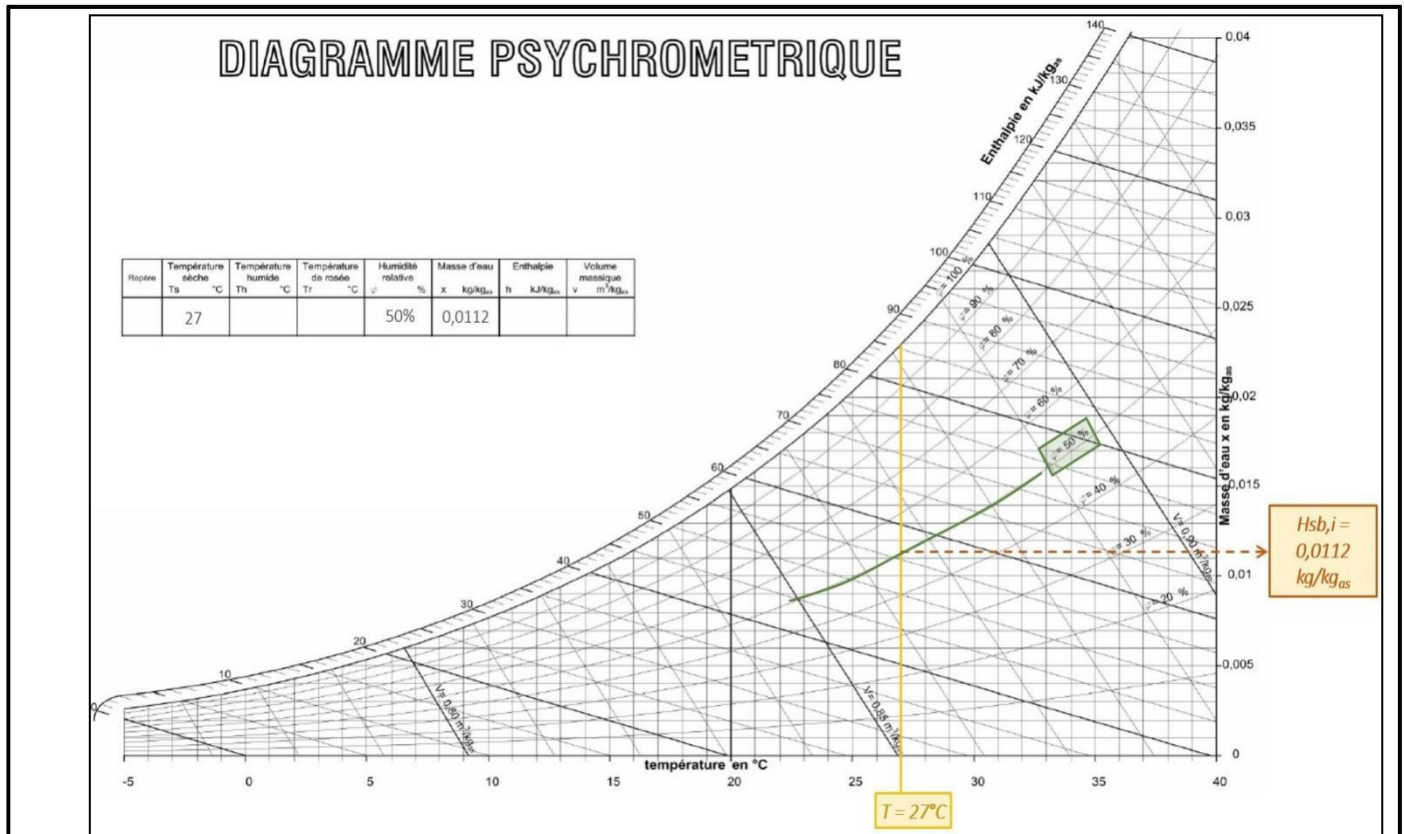


Figure 32 : diagramme de l'air humide ou psychrométrique (SOURCE: RTB)

$$ARENL = 0,797 \times 267,57 \times \max(-0,2; 0) = 0 \text{ W};$$

$$AINFl = 0,797 \times (80,04) \times \max(-0,2; 0) = 0 \text{ W}.$$

Ac est a de l'étude, on dispose de toutes les données pour calculer la puissance frigorifique:

TABLEAU 21 : Apports latents

APO	2434,92 W
AV	526,3 W
AI_s	1732,15 W
AINF_s	256,128 W
As	4949,498 W
AREN_s	856,224 W
C_{ΔAs}	1,05 W
AT_s	6053,19 W

AIL	1560 W
AINFL	0 W
AI	1560 W
ARENL	0 W
CΔAI	1,00
ATL	1560 W

La puissance frigorifique est donc : $ATS+ATL = 6056,19 + 1560 \text{ W} = 7616,19 \text{ W} = 7,6 \text{ KW}$.

I.6 Evaluation énergétique de la maison (selon DTR C3.2/4)

I.6.1. Données générales du bâtiment

- Localisation : **Wilaya de Tlemcen**
- Altitude : **718 m**
- Latitude : **34°53'19"N**
- Zone climatique hiver : **A**
- Zone climatique été : **B**
- Surface habitable (SH) : **171,52 m²**
- Volume chauffé : **445,95 m³**
- Nombre de façades exposées : **3 (Nord, Est, Ouest)**
- Type de vitrage : **Simple vitrage avec volets**
- Nombre d'occupants : **5**
- Système de chauffage : **Chaudière gaz murale, puissance 11,5 kW, rendement = 90 %**
- Climatisation : **2 climatiseurs split 18 000 BTU (total 7,6 kW), COP = 3**
- Production d'eau chaude sanitaire (ECS) : **par la même Chaudière**

I.6.2. Besoins de chauffage

I.6.2.1 Hypothèse réglementaire

Durée annuelle de fonctionnement = 1600 heures/an (donnée issue du DTR C3.2/4 pour la zone climatique 12 – Tlemcen).

Justification de 1600 h/an : Selon le DTR C3.2/4, cette durée correspond à une estimation conventionnelle pour les maisons individuelles dans la zone climatique A. Elle représente environ 160 jours/an avec une moyenne de 10 heures de chauffage par jour.

I.6.2.2 Calcul des besoins

Besoins en énergie utile = $11,5 \times 1600 = 18\,400$ kWh/an

Besoins en énergie primaire = $18\,400 / 0,90 \approx 20\,444$ kWhEP/an

I.6.3. Besoins de climatisation**I.6.3.1 Hypothèse d'utilisation**

100 jours de fonctionnement par an, 5 heures par jour, Puissance frigorifique : 7,6 kW, COP = 3

Justification du COP = 3 : Le Coefficient de Performance exprime l'efficacité énergétique d'un climatiseur. Un COP = 3 signifie que le climatiseur fournit 3 kWh de froid pour chaque 1 kWh électrique consommé.

I.6.3.2 Calcul des besoins

Durée annuelle = $100 \times 5 = 500$ heures

Énergie utile = $7,6 \times 500 = 3800$ kWh (froid fourni)

Énergie primaire = $3800 / 3 \approx 1267$ kWhEP/an

I.6.4. Besoins en eau chaude sanitaire (ECS)**I.6.4.1 Formule réglementaire (DTR C3.2/4)**

$Q_{ECS} = 1000 \times 5 = 5000$ kWh/an

Justification: Cette valeur standard prend en compte un usage de 50 litres d'eau chaude à 40 °C par jour et par personne, les pertes thermiques et le rendement du système.

I.6.4.2 Conversion en énergie primaire

$Q_{ECS_EP} = 5000 / 0,90 \approx 5556$ kWhEP/an

I.6.5. Bilan énergétique global

Poste	Énergie utile (kWh/an)	Rendement / COP	Énergie primaire (kWhEP/an)
Chauffage	18 400	90 %	20 444
Climatisation	3800 (froid)	COP = 3	1267
Eau chaude	5000	90 %	5556

Total : 27 267 kWhEP/an

I.6.6. Consommation spécifique

Consommation spécifique = $27\,267 / 171,52 \approx 159$ kWhEP/m².an

I.6.7. Classe énergétique de la maison

Classe	Consommation (kWhEP/m ² .an)
A	< 50
B	50 – 90
C	90 – 150
D	150 – 230
E	230 – 330
F	330 – 450
G	> 450

La maison est classée D, ce qui correspond à une performance énergétique moyenne selon le DTR C3.2/4.

CAS D'ETUDE N° 02

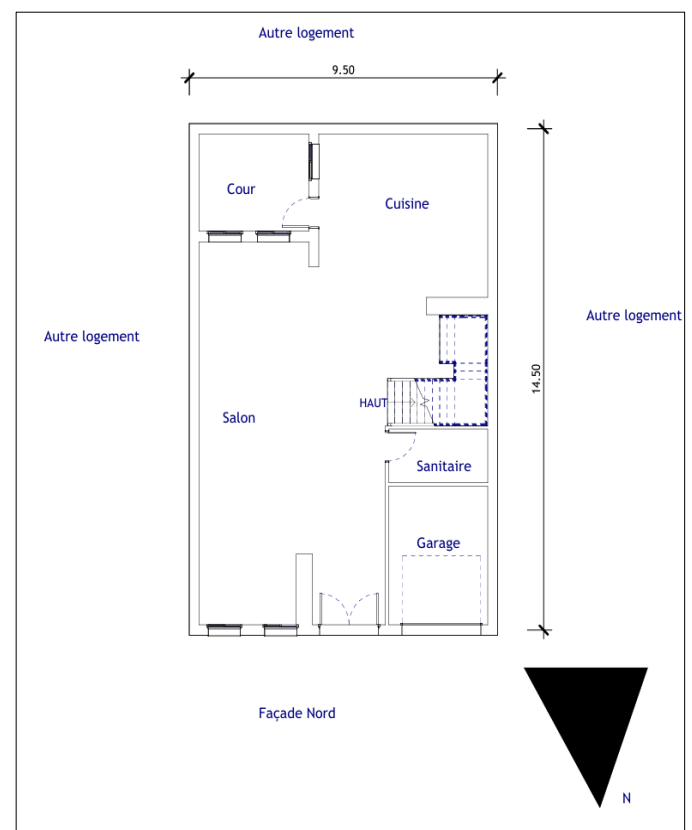
II. LE CAS D'ÉTUDE

II.1 Aspects géométriques

Dans le but d'illustrer les différentes étapes permettant de vérifier la conformité à la RTB, l'étude porte sur un logement individuel situé dans la Wilaya de Tlemcen. Ce logement comprend cinq pièces principales et trois pièces de service (cuisine et deux salles de bain), pour une surface de plancher avoisinant les 150 m². Il est mitoyen à l'est, à l'ouest et au nord avec trois habitations similaires, ce qui fait de la façade sud la seule surface directement exposée. Les données géométriques essentielles au calcul réglementaire sont rassemblées dans le Tableau 1.

Tableau22: Données dimensionnelles générales du bâtiment

côté Anet	9,5	m
côté B net	14,5	m
H net	6,2	m
Surfacenette	137,75	m ²
Volumenet chauffé	245,5	m ³
côté A	10	m
côté B	15	m
h	7,4	m
Surface brute	150	m ²



Volumetotale	1110	m3
Périmètre intérieur du plancherbas	48	m

Figure 33: Plan 2

Tableau 23: surfaces de l'enveloppe et leur orientation

Toiture	120,75	M²	-
Plancher	137,751	M²	-
Mur–Nord	39,86	M²	N
Mur –Sud	35,934	M²	S
Porte	2,2	M²	N
FenêtreSUD1	2,1	M²	S
FenêtreSUD2	1,536	M²	S
FenêtreSUD3	1,536	M²	S
FenêtreNORD1	1,68	M²	N
FenêtreNORD2	1,68	M²	N
FenêtreNORD3	1,68	M²	N
FenêtreNORD4	1,68	M²	N
Surface d'enveloppe Totale	211,00	M²	

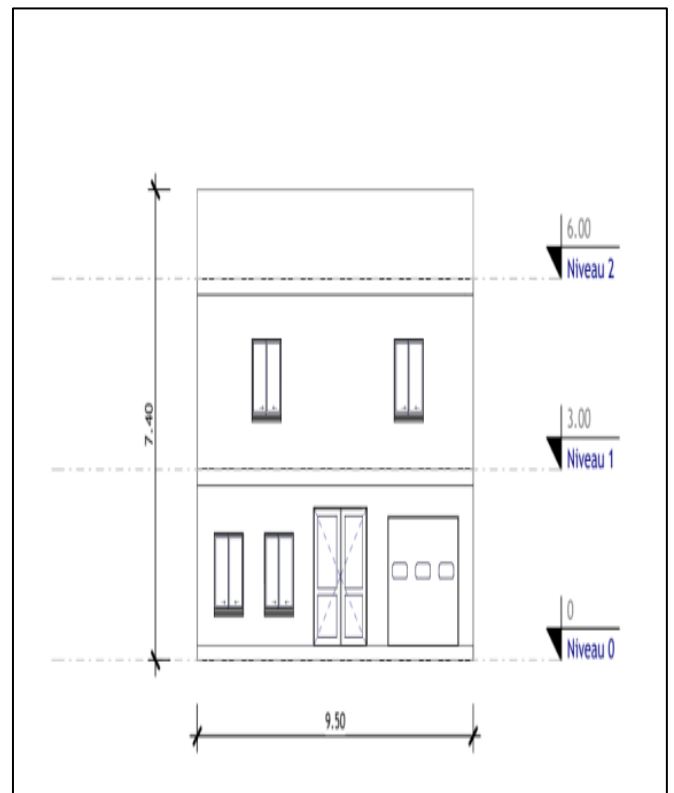


Figure 34 : Façade 2

Tableau 24: données géométriques des fenêtres

		F1	F2	F3	F4
A	M²	1,20	1,20	1,20	1,20
B	M²	1,40	1,40	1,40	1,40

Surface fenêtre (SOUV)	M ²	1,68	1,68	1,68	1,68
Surface vitrage(SG)	M ²	1,18	1,18	1,18	1,18
Surface menuiserie(SF)	M ²	0,5	0,5	0,5	0,5
Épaisseur menuiserie(dF)	M ²	0,008	0,008	0,08	0,008

II.2 Données climatiques

TABLEAU 25 : Paramètres géographiques et zones thermiques

Wilaya	Tlemcen	-
Altitude	721	-
Latitude	34°55'Nord	-
Zone climatique hiver	A	Annexe A.1 du DTR
Zone climatique été	B	Annexe B.5 du DTR
Classe de rugosité du site	IV (zones urbaines; zones industrielles; forêts)	p.86 du DTR

Tableau 26 : Conditions de base intérieures

CONDITIONS DE BASE EXTERIEURES

Température extérieure de base(hiver)	T _{b,e}	0	°C	Tableau 2.2 du DTR (p.34)
Température de base extérieure sèche (été)	T _{Sb,e}	37	°C	Tableau 9.1 du DTR (p.99)
Ecart annuel de température	EAT	36	°C	Tableau 9.1 du DTR (p.99)
Ecart diurne	E _b	15	°C	Tableau 9.1 du DTR (p.99)
Humidité relative extérieure	H _{r,e}	50	%	Tableau 9.1 du DTR (p.99)
Humidité spécifique	H _{sb,e}	11	g _{vap} /k _{gas}	Tableau 9.1 du DTR (p.99)

Tableau 27 : Conditions de base intérieures

Température intérieure hiver	T _{i,h}	21	°C	(§II.4.3., p.33)
Température intérieure été	T _{i,e}	27	°C	Tableau 9.6 du DTR (p.104)
Ecart diurne	E _b	15	°C	Tableau 9.6 du DTR (p.104)
Humidité relative intérieure	H _{r,i}	50	%	Tableau 9.6 du DTR (p.104)

II.3 - Les composantes d'enveloppe et le calcul des coefficients de transmission thermique

$$1/k = \sum R + 1/h_i + 1/h_e \quad (1)$$

NOTE : Le coefficient de transmission thermique en hiver K de la toiture du Tableau 7 dont la résistance thermique est de $1,677 \text{ m}^2\text{°C/W}$ et pour laquelle $1/h_i + 1/h_e$ est égal à $0,14 \text{ m}^2\text{°C/W}$ (Tableau 1.2 p. 28 de RTB) est : $K = 1/(1,677 + 0,22) = 0,52 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

TABLEAU 28: Composition des parois opaques

TOITURE	$K = 0,52 \text{ W/m}^2\text{°C}$		$K_{\text{été}} = 0,53 \text{ W/m}^2\text{°C}$	
Matériaux	$M_{\text{sup}} (\text{kg/m}^2)$	Conductivité λ ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$)	Epaisseur (m)	Résistance R ($\text{m}^2\text{°C/W}$)
Granito	38	2,10	0,02	0,010
Mortier de ciment	44	1,40	0,02	0,014
Sable sec	26	0,60	0,02	0,033
Béton plein – Forme de pente	110	1,75	0,05	0,029
Béton – prédalle	102	1,75	0,06	0,034
Plâtre courant d'enduit intérieur	15	0,35	0,02	0,057
Total	335		0,19	1,177

MURS	$K = 0,99 \text{ W/m}^2\text{°C}$		$K_{\text{été}} = 1,02 \text{ W/m}^2\text{°C}$	
Matériaux	M_{sup} (kg/m^2)	Conductivité λ ($\text{W/m}^{\circ}\text{C}$)	Epaisseur (m)	Résistance R ($\text{m}^2\text{°C/W}$)
Enduit de ciment	44	0,87	0,02	0,0230
Brique creuse	90	0,48	0,20	0,4167
Lame d'air pour mur de 24 à 50 mm	0	0,00	0,10	0,1400
Brique creuse	90	0,48	0,10	0,2083
Enduit de plâtre	15	0,35	0,02	0,0571
Total	239		0,44	0,845

PLANCHER BAS	$K = 2,13 \text{ W/m}^2\text{°C}$	$K_{\text{été}} = 2,70 \text{ W/m}^2\text{°C}$
--------------	-----------------------------------	--

Matériaux	M _{sup} (kg/m ²)	Conductivité λ (W/m°C)	Epaisseur(m)	Résistance R(m ² °C/W)
Béton armé	750	1,75	0,30	0,171
Sable	39	0,60	0,03	0,050
Mortier de ciment	44	1,40	0,02	0,014
Carrelage (granito)	57	2,10	0,03	0,014
Total	890		0,38	0,25

$$K_{\text{fenêtres}} = K_{\text{fenêtres, été}} = 3,0 \text{ W/m}^2\text{C}$$

II.4 Calculs d'hiver

$$DT = \sum (D_{s,i} + D_{li,i} + D_{sol,i} + D_{lnc,i})$$

$$= 1,07 \times 150 \times (1 + 20\%) + 0,99 \times (35,93 + 39,86) \times (1 + 20\%) + 3,5 \times 2,15 \times 2,2 \times (1 + 20\%) + 3,0 \times (1,96 + 1,96 + 1,96 + 2,1 + 1,536 + 1,536) \times (1 + 20\%) + 1,75 \times 48 = 423,346 \text{ W/°C}$$

Les déperditions réelles par transmission du logement doivent ensuite être comparées aux déperditions de référence ($D_{\text{réf}}$), exprimées également en W/°C.

Ces dernières sont obtenues es à l'aide de l'équation 2.6 (page 32 du DTR), en intégrant les coefficients de référence a, b, c, d, e figurant dans le Tableau 2.1 du même document.

$$D_{\text{ref}} = a \times S_1 + b \times S_2 + c \times S_3 + d \times S_4 + e \times S_5 \quad (4)$$

$$DR = 0,34 \times (Q_{V,\text{an}} + Q_S) \quad (6)$$

Où :

- 0,34 (en Wh/m³ °C) est la chaleur volumique de l'air;
- $Q_{V,\text{an}}$ (en m³/h) est le débit minimal d'air neuf (équation 7.2 à p.83 du DTR), correspondant à la valeur plus grande entre 0,6 fois le volume habitable par heure et le débit extrait de référence $Q_{V,\text{réf}}$ qui dépend du nombre de pièces principales et de service (équation 7.3 p.83 du DTR).

Dans ce cas, $Q_{V,\text{an}} = \max (0,6 \times 245,5 ; [5 \times 100 + (120 + 30)] / 6) = 147,3 \text{ m}^3/\text{h}$;

- Q_S (en m³/h) est le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent, déterminé en considérant seulement le débit d'air s'infiltrant par les ouvrants – i.e. portes et fenêtres (équations 7.4 et 7.5, pp. 85- 86 du DTR).

$$Q_S = \sum P_{pi} \times e_{vi} = \sum (P_{oi} \times A_i) \times e_{vi} \quad (7)$$

Tableau 29 : Calculs du débit supplémentaire par infiltrations dues au vent (q_s)

	A (m ²)	PO (m ³ / hm ² sous $\Delta P = 1$ Pa)	ev	Qs (m ³ /h)
		Tableau 7.5 du DTR	Tableau 7.6 du DTR	Equation 7.4 du DTR
Porte 1	2,2	1,2	1,47	3,88
Porte 2	2,15	1,2	1,47	3,7926
Fenêtre NORD 1	1,68	4,0	1,47	11,5848
Fenêtre NORD 2	1,68	4,0	1,47	11,5848
Fenêtre NORD 3	1,68	4,0	1,47	11,5848
Fenêtre NORD 4	1,68	4,0	1,47	11,5848
Fenêtre SUD 1	2,1	4,0	1,47	12,31
Fenêtre SUD 2	1,536	4,0	1,47	9,09
Fenêtre SUD 3	1,536	4,0	1,47	9,09

Nous disposons désormais de toutes les données pour calculer les déperditions par renouvellement d'air (DR) et obtenir la puissance de chauffage.

$$D_R = 0,34 \times (147,3 + 84,42) = 78,79 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$Q_{ch} = (21 - 0) \times \{ [1 + \max(0; 0,15)] \times 423,346 + [(1 + 0) \times 84,42] \} = 10224,64 \text{ W} = 10,2 \text{ kW}$$

II.5 Calculs d'été :

Tableau 30 : Apport parois opaques

		Mur S	Mur N	Porte N	Toit	Porte S	Source
$\Delta_{te} (15h)$	°C	4,3	4,3	6,6	2,38	6,6	-
$\Delta_{tem} (15h)$	°C	4,40	13,90	15,60	12,90	6,7	Tableau 10.1 et 10.2 du DTR
$\Delta_{tes} (15h)$	°C	4,40	4,40	6,70	2,48	6,7	Tableaux 10.1 - 10.2 du DTR (parois N à l'ombre)
M_{sup}	kg	239	239	<100	336	<100	-
E_b	°C	15	15	15	15	15	Tableau 9.1 du DTR
Δ_{tsmax}	°C	10	10	10	10	10	TS _{b,e} - TS _{b,i} - Tableau 9.1 du DTR

C_{Δte}		-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	Tableau 10.3 du DTR par interpolation
α		0,75	0,75	0,7	0,3	0,7	§X.1.3.4.1. du DTR
It,b(40)	W/m ²	47,00	217,00	217,00	734,00	217	Tableau 9.4 du DTR
S_{int}	m ²	35,93	39,86	2,2	120,75	2,15	-
K_{été}	W/m ² °C	1,02	1,02	3,50	1,047	3,5	-
APO (15h)	W	189,12	209,179	60,09	361,07	59,59	-

It,bSUD,30°=94

It,bS,40°=217

It,bS,34°55'=183,5W/m²(par interpolation);

It,bNORD,30°=50

It,bN,40°=47

It,bN,34°55'=47,8W/m²(par interpolation);

Tableau 31 : Coefficients de correction du rayonnement total de base dans le cas d'étude

Ccadre	Tenant compte de la nature du cadre- ou menuiserie-(cf.§IX.1.2.3.2)	Cadre en PVC	1
Climp	Tenant compte de la limpidité de l'atmosphère (cf.§IX.1.2.3.3)	Centre des grandes villes, les zones industrielles	0,87
Calt	Tenant compte de l'altitude (cf.§IX.1.2.3.4)	Altitude=40m	1,001 4
Cros	Tenant compte de la valeur du point de rosée(cf.§IX.1.2.3.5,tableau9.5)	Zone B, altitude>750m	1,05

Dans notre cas d'étude:

- L'heure solaire vraie est 15h et la masse M rapportée à la surface du plancher est plus que 750kg/m²:
 $[335 \times 120,75 + 239 \times (35,934 + 39,86) + 890 \times 137,75] / 137,75 = 1315,16 \text{ kg/m}^2$

FS Est le facteur solaire du vitrage (cf.§XI.2.2)et dépend des caractéristiques du vitrage et sa protection solaire:

- Les fenêtres Sud du cas d'étude ont une protection solaire (stores verticaux en bois externe):
- FS vitrage double clair:0,90 (Tableau 11.8p.126 du DTR);
- FS stores verticaux extérieures en bois:0,16 (Tableau 11.10p.128 du DTR);
- Les fenêtres Nord n'ont pas de protection solaire:
- FS vitrage verre clair:0,9 (Tableau 11.8p.126 du DTR).

TABLEAU 32 : Apports déréférence par transmission (AVT) et par ensoleillement(AVE) à travers les parois vitrées

		FN1	FN 2	FN 3	FN4	FS	FS	FS
S _{ouv}	m ²	1,68	1,68	1,68	1,68	2,1	1 ,536	1,536
e'	W/m ² °C	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
ΔTS _{réf,PV} i	°C	10	10	10	10	10	10	10
AVT _{réf}	W	82,32	82,32	82,32	82,32	88,2	64,512	64,512
SV	mm ²	1,19	1,19	1,23	1,23	2,1	0,97	0,97
SV _{ens}	m ²	1,19	1,19	1,23	1,3	-	-	-
It	W/m ²	201,00 4	201,004	201,004	201,004	43,535	43,535	43,535
Id	W/m ²	43,535	43,535	43,535	43,535	43,535	43,535	43,535
NPVI _{réf}		0,68	0,68	0,68	0,68	0,95	0,95	0,95
FS _{réf}		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
AVE _{réf}	W	24,4	24,4	25,22	25,22	13,02	5,89	5,89
		124,04						
A _{réf,PVI}	W	106,72	106,72	107,54	107,54	101,22	70,404	70,404
		672,548						

Tableau 33 : Apports de référence de parois opaques horizontales

a	-	0,90	Tableau8.3,p.94duDTR
ΔTS _{réf,PH}	°C	13,39	Tableau8.4,p.94duDTR
S _{int}	m ²	120,75	-
A _{réf,PH (W)}	W	1455,158	-

Tableau 34 : Apports de référence de parois opaques verticales

		Mur S	Mur N	Porte N	Porte S	Source
c	-	1	1	1	1	Tableau8.5,p.95duDTR
ΔTS _{réf,PV(°C)}	°C	4,86	5,89	5,89	4,86	Tableau8.6,p.95duDTR (par interpolation)
S _{int(m²)}	m ²	35,934	39,86	2,2	2,15	

Aréf,PV(W)	W	174,64	193,71	12 ,96	10,45	
		391,76				

TABLEAU35 : Apports par transmission (avt) et par ensoleillement (ave) à travers les parois vitrées

		FN1	FN2	FN3	FN4	FS1	FS2	FS3	
Tse- Tb,i	°C	10	10	10	10	10	10	10	
Souv	m ²	1,68	1,68	1,68	1,68	2,1	1,536	1,536	§VIII.2.5.2.2.
Kété	W/m ² °C	3	3	3	3	3	3	3	Tableau8.8p.97 duDTR
AVT	W	70,56	70,56	70,56	70,56	75,6	55,296	55,296	
		468,432							
SV	m ²	1,19	1,19	1,23	1,23	2,1	0,97	0,97	
SVens	m ²	1,19	1,19	1,23	1,3	-	-	-	
It	W/m ²	201,00 4	201,004	201,004	201,004	43,5 35	43,535	43,535	§IX.1.2.3.
Id	W/m ²	43,535	43,535	43,535	43,535	43,5 35	43,535	43,535	§IX.1.2.3.
NPVI		0,68	0,68	0,68	0,68	0,95	0,95	0,95	Tableau8.7 p.97duDTR
FS		0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	§VIII.2.5.2.1.
AVE	W	24,32	24,32	24,32	24,32	12,6 1	5,82	5,82	
		121,53							
AVT+ AVE	W	94,96	94,96	94,96	94,96	88,6 2	61,18	61,18	
		590 ,82							

A ce stade, on dispose de toutes les données nécessaires pour faire la vérification de conformité d'été(7), introduite plus haut (équation 8.7 à p. 93 du DTR).

$$APO (15h)+AV(15h)=879,66+ 590,82 = 1470,488 \text{ W};$$

$$Aréf= 2639,594 \text{ W}$$

La puissance de climatisation nécessaire pour un logement est calculée à partir de la détermination des apports totaux en W (cf.§VIII.2.1.3,p.92duDTR), somme des apports totaux sensibles (équation8.5duDTR) et latents (équation8.6):

$$\text{Puissance de climatisation(W)} Q_{\text{clim}} = AT_s + AT_l \quad (15)$$

$$AT_s = C_{\Delta as} \times As + ARENs \quad (16)$$

$C_{\Delta as}$, $C_{\Delta al}$ Sont des coefficients «majorateurs» des gains sensibles et latents (cf.§VIII.2.1.2), respectivement 1,05 et 1,00 (installation sans réseau de conduits d'air, comme les climatiseurs individuels) ;

- $ARENs$, $ARENl(W)$ représentent les apports sensibles et latents dus à la ventilation des locaux (cf. Chapitre XIII).

$As (W)$ et $Al (W)$ représentent respectivement les gains sensibles et les gains latents (cf.§VIII.2.1.1):

$$As = APO + AV + AIs + AINFs \quad (18)$$

Où:

- AIs et $AlI(W)$ représentent les apports internes sensibles et latents (cf. chapitre XII duDTR),
- $AINFs$ et $AINFl (W)$ représentent les apports sensibles et latents dus aux infiltrations d'air (cf. chapitre XIII du DTR).

NOTE : APo et AV ont été déjà calculés (9,12) . Pour la puissance de climatisation, les apports sont déterminés à 15 h.

La formule générale des apports intérieurs (équation12.1àp.130duDTR) prend en considération les parts sensible et latente de chaque apport j-ème, en les multipliant par les coefficients respectifs de simultanéité CS_j (cf. Tableau12.1à p. 130 du DTR) et, seulement pour la partie sensible, par un coefficient d'amortissement NAI_j (cf. § XII.1.4).

$$AI(t) = \sum (CS_j \times AIs_j \times NAI_j) + \sum (CS_j \times AlI_j) \quad (20)$$

NOTE : La RTB classifie les apports internes

«ayant pour origine les occupants (cf.§ XII.2.1), les machines entraînées par des moteurs électriques (cf. § XII.2.2), les appareils électriques (cf. § XII.2.3), l'éclairage (cf.§XII.2.4) , les appareils à gaz (cf.§XII.2.5), les réservoirs (cf.§XII.2.6), l'évaporation libre (cf.§XII.2.7), l'introduction de vapeur vive (cf.§XII.2.8), les tuyauteries (cf.§XII.2.9) et les Conduits d'air intérieurs (cf.§XII.2.10)».

Pour calculer les apports internes dus aux appareils électriques, on peut se référer à la liste présentée

Dans le Tableau 12.6 (p.137 du DTR).Suivant, les appareils considérés:

TABEAU 36 : APPORTS CALORIFIQUES DUS AUX APPAREILS MENAGERS ET DE RESTAURANTS

	Partie sensible (W)	Partie latente (W)
Four électrique	3.000	610
Plaque chauffan t(500 W)	500	280
Réfrigérateur	100	-
Machine à laver	3.000	-
Micro-onde	3.000	1.500
TV	150	-
Machine à laver 5Kg	6000	3000
Friteuse 5 L	1200	690
	16950	6080

TABEAU37 :

Apports

internes

	Partie sensible	Partie latente	Source
OCCUPANTS- Q_{oc}	290 W	365 W	Equation12.2,12.3duDTR
CS_{oc}	0,5	0,5	Tableau12.1
$NAI_{,oc}$	1	-	§XII.1.4.1
n_{oc}	10	10	§XII.2.1.2
C_{oc}	58	73	Tableau12.3
ECLAIRAGE- $AI_{écl}$	71,04W	-	Equation12.9duDTR
W_n	229	-	Tableau12.10
C_{me}	1,21	-	§XII.2.4.2
C_{cr}	1	-	§XII.2.4.2
$NAI_{,écl}$	0,96	-	Tableau12.2
$CS_{écl}$	0,35	-	Tableau12.1
Appareils électriques- $AI_{été}$	2457,75 W	3040 W	Equation12.1
$AI_{été}$	16950	6080	Tableau12.7
$CS_{,été}$	0,5	0,5	Tableau12.1

NAI,éle	0,29	-	Tableau12.2(cf.§AnnexeB.7)
---------	------	---	----------------------------

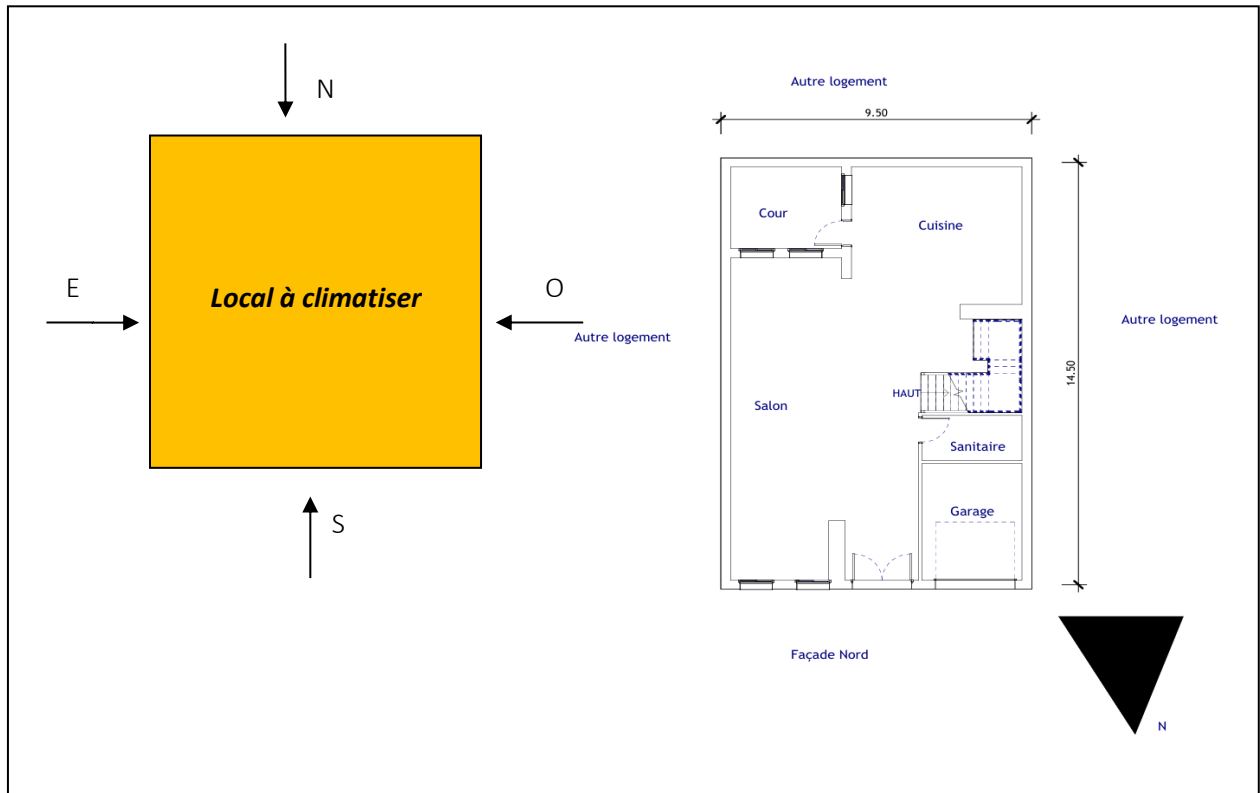


FIGURE 35: Calcul des Infiltrations

Les infiltrations n'ont lieu qu'à travers les ouvrants se situant sur les parois sauvant pour la direction du vent considérée.

On retiendra pour le calcul la direction du vent produisant l'effet le plus défavorable.

Dans le cas d'étude, seulement les parois a Nord et a Sud ont ouvrants. La direction principale du vent est perpendiculaire à la façade Nord où il y'a plus de fenêtres, qui sont les plus responsables d'infiltrations

$$S_{ouv}=1,68+0,66+1,68=4,2 \text{ m}^2$$

$$Q_{voinf, fen\hat{e}tre}=14,5\text{m}^3/\text{h}$$

$$ARENs=0,320 \times 291,66 (34-27)=653,318 \text{ W et } AINFs=0,32 \times (14,5 \times 13,012) \times (34-27)= 422,63 \text{ W.}$$

$$ARENI= 0,797 \times 291,66 \times \max(14,5-10;0)=1046,03 \text{ W; } AINFI=0,797 \times (14,5 \times 13,012) \times \max (14,5-10;0)= 676,68 \text{ W.}$$

A ce stade de l'étude, on dispose de toutes les données pour calculer la puissance frigorifique:

Tableau 38 : Apports sensibles

APO	879,668	W
AV	591,44	W

AIS	375	W
AINFS	422,63	W
As	2268,788	W
ARENS	653,384	W
CΔAs	1,05	
ATS	3068,2806	W

Tableau39 :Apports latents

AIL	275,00	W
AINFL	676,68	W
AI	951,68	W
ARENL	1046,03	W
CΔAI	1,00	
ATL	1997,71	W

La puissance frigorifique est donc : $ATS+ATL=5065W=5,0kW$.

II.6 Evaluation énergétique de la maison (selon DTR C3.2/4)

II.6.1. Données générales du bâtiment

- Localisation : **Wilaya de Tlemcen**
- Altitude : **721 m**
- Latitude : **34°55'N**
- Zone climatique hiver : **A**
- Zone climatique été : **B**
- Surface habitable (SH) : **137,75 m²**
- Volume chauffé : **245,5 m³**
- Nombre de façades exposées : **1 (Nord)**
- Type de vitrage : **Simple vitrage avec volets**
- Nombre d'occupants : **5**
- Système de chauffage : **Chaudière gaz murale, puissance 10,2 kW, rendement = 90 %**
- Climatisation : **1 climatiseur split 18 000 BTU (total 5 kW), COP = 3**
- Production d'eau chaude sanitaire (ECS) : **par la même Chaudière**

II.6.2. Besoins de chauffage

II.6.2.1 Hypothèse réglementaire

Durée annuelle de fonctionnement = 1600 heures/an (donnée issue du DTR C3.2/4 pour la zone climatique 12 – Tlemcen)

Justification de 1600 h/an : Selon le DTR C3.2/4, cette durée correspond à une estimation conventionnelle pour les maisons individuelles dans la zone climatique A. Elle représente environ 160 jours/an avec une moyenne de 10 heures de chauffage par jour.

II.6.2.2 Calcul des besoins

Besoins en énergie utile = $10,2 \times 1600 = 16320$ kWh/an

Besoins en énergie primaire = $16\,320 / 0,90 \approx 18\,133,33$ kWhEP/an

II.6.3. Besoins de climatisation

II.6.3.1 Hypothèse d'utilisation

100 jours de fonctionnement par an, 5 heures par jour, Puissance frigorifique : 5 kW, COP = 3

Justification du COP = 3 : Le Coefficient de Performance exprime l'efficacité énergétique d'un climatiseur. Un COP = 3 signifie que le climatiseur fournit 3 kWh de froid pour chaque 1 kWh électrique consommé.

II.6.3.2 Calcul des besoins

Durée annuelle = $100 \times 5 = 500$ heures

Énergie utile = $5 \times 500 = 2500$ kWh (froid fourni)

Énergie primaire = $2500 / 3 \approx 833,33$ kWhEP/an

II.6.4. Besoins en eau chaude sanitaire (ECS)

II.6.4.1 Formule réglementaire (DTR C3.2/4)

$Q_{ECS} = 1000 \times 5 = 5000$ kWh/an

Justification: Cette valeur standard prend en compte un usage de 50 litres d'eau chaude à 40 °C par jour et par personne, les pertes thermiques et le rendement du système.

II.6.4.2 Conversion en énergie primaire

$Q_{ECS_EP} = 5000 / 0,90 \approx 5556$ kWhEP/an

II.6.5. Bilan énergétique global

Poste	Énergie utile (kWh/an)	Rendement / COP	Énergie primaire (kWhEP/an)
Chauffage	16 320	90 %	18 133 ,33

Climatisation	2500(froid)	COP = 3	833,33
Eau chaude	5000	90 %	5556

Total : 24 522,66 kWhEP/an

II.6.6. Consommation spécifique

Consommation spécifique = $24\,522,66 / 137,75 \approx 178,02$ kWhEP/m².an

II.6.7. Classe énergétique de la maison

Classe	Consommation (kWhEP/m ² .an)
A	< 50
B	50 – 90
C	90 – 150
D	150 – 230
E	230 – 330
F	330 – 450
G	> 450

La maison est classée D, ce qui correspond à une performance énergétique moyenne selon le DTR C3.2/4.

Conclusion :

À la fin de cette étude, nous avons constaté que les deux maisons respectent les exigences réglementaires du DTR C3.2/4, aussi bien pour la saison hivernale que pour la saison estivale. Les calculs ont permis d'estimer les besoins énergétiques de chaque maison et de déterminer leur consommation en énergie primaire. Les deux logements se trouvent dans la classe D, ce qui indique une performance énergétique moyenne. Ces résultats montrent l'intérêt d'une bonne évaluation thermique pour identifier les points faibles de l'enveloppe et proposer des solutions d'amélioration.

Chapitre III

Analyse économique et retour sur investissement

Introduction

Dans le contexte actuel de crise énergétique et d'impératifs environnementaux, la performance énergétique des bâtiments résidentiels constitue un enjeu majeur. Ce chapitre est consacré à l'analyse comparative de solutions techniques visant à améliorer l'efficacité énergétique de deux maisons types, à travers une série d'interventions ciblées. L'objectif principal est d'identifier les mesures les plus efficaces en termes de réduction des pertes thermiques, de gains énergétiques, de retours sur investissement et d'impact sur la classe énergétique du bâtiment. Chaque solution envisagée – isolation thermique, remplacement des fenêtres, amélioration des systèmes de chauffage et installation de dispositifs solaires – fait l'objet d'un dimensionnement précis et d'une évaluation technico-économique rigoureuse. À travers cette étude, nous cherchons à formuler des recommandations concrètes pour une rénovation énergétique optimisée et accessible.

I. Cas d'étude 1 :

I.1 1ère solution : Isolation thermique par l'extérieur (ITE)

- Mousse polyuréthane (5 cm) (isotherme)

- Enduit monocouche (1,5 cm)

$K = 0,99 \text{ W/m}^2\text{C}$ (Tableau 07)

I.2. Données initiales de la maison :

- Surface nette : $171,52 \text{ m}^2$

- Volume net chauffé : $445,95 \text{ m}^3$

- Hauteur sous plafond : $2,6 \text{ m}$

- Température de base (zone hiver A, été B) :

- Hiver : $Ex = 0^\circ\text{C}$, $Int. = 21^\circ\text{C} \rightarrow \Delta T = 21^\circ\text{C}$

- Été : $Ex = 37^\circ\text{C}$, $Int. = 27^\circ\text{C} \rightarrow \Delta T = 10^\circ\text{C}$

I.3. Murs en contact avec l'extérieur :

- Mur O : $29,32 \text{ m}^2$

- Mur E : $31,95 \text{ m}^2$

- Mur N : $29,23 \text{ m}^2$

→ Total : $90,5 \text{ m}^2$

I.4. Avant isolation : perte thermique

$K = 0,99 \text{ w/m}^2 \cdot \text{C}^\circ$

$$\Phi = K.S.\Delta T = 0,99 \times 90,5 \times 21 = 1882 \text{ W}$$

1.5 . (ITE):

1.5.1. Mousse polyuréthane :

$$E = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$$

$$\lambda = 0,022 \text{ W/ m.c}^\circ$$

$$\text{Totale } R_{\text{mono}} = 0,05/0,022 = 2,27 \text{ mc /W}$$

1.5.2. Enduit monocouche :

$$e = 1,5 \text{ cm} = 0.015 \text{ m}$$

$$\lambda = 0,87 \text{ w/m.c}^\circ$$

$$\text{Total : } R_{\text{mono}} = 0,015/0,87 = 0,0172 \text{ mc /W}$$

1.6. Résistance thermique totale après (ITE):

$$K = 0,99 \text{ w/m}^2.\text{C}^\circ$$

$$R = 1,01 = 0,845 \text{ (Tableau 07)} + 0,17 \text{ (DTR)}$$

$$R_{\text{total}} = 1,01 + 0,0172 + 2,27 = 3,2972 \text{ mc/w}$$

$$K_{\text{total}} = 1/3,2972 = 0,303 \text{ w/mc}$$

1.7. Après isolation : perte thermique :

$$K = 0,303 \text{ w/mc}$$

$$\Phi = 0.303 \times 90,5 \times 21 = 574,8 \text{ W}$$

Gain thermique :

$$\Delta\Phi : 1882 - 574.8 = 1307 \text{ W}$$

$$1882 \rightarrow 100 \%$$

$$1307 \rightarrow x$$

Donc : (69.5 %) de réduction

1.8 Impact sur la consommation énergétique :

Consommation initiale estimée :

$$159 \text{ kwhEP/m}^2.\text{an} \rightarrow \text{classe D}$$

Les murs représentent environ 40 % des pertes

→ Bilan Global estimé :

$$159 \times (1 - 0.695 \times 0.4) = 144.7 \text{ kwhEP/m}^2.\text{an}$$

$$D \rightarrow C : 90 \rightarrow 150 \text{ (DTR C3.2/4)}$$

1.9 Coût de la solution :

$M_{pu} = 3500 \text{ DA/m}^2$ (Fourniture et pose)

$E_{mono} = 2500 \text{ DA/m}^2$ (Fourniture et pose)

$(M_{pui} + E) \times 90.5 = 543000 \text{ DA}$

- Prix du gaz naturel $\approx 0,4 \text{ DA/kWh}$

- Économie annuelle :

$7598 \text{ kWh} \times 0,4 \text{ DA/kWh} = 3039 \text{ DA/an}$

I.10. Temps de retour sur investissement (TRI) :

$TRI = 543000 \text{ DA} / 3039 \text{ DA/an} = 178 \text{ ans}$

I.2. 2^{ème} solution: Remplacer les fenêtres existantes par du double vitrage avec Cadre en PVC**II.1. Données initiales**

Nombre de fenêtres: 5

Surface Total des fenêtres : $9,82 \text{ m}^2$

Fenêtres actuelles : simple vitrage $K=3 \text{ w/m}^2\text{C}^\circ$

Température de base (hiver): $Ex : 0\text{C}^\circ$

$Int: 21 \text{ C}^\circ$

Fenêtres nouvelles double vitrage = $K = 1,5 \text{ w/m}^2\text{C}^\circ$

II.2. Calcul des pertes thermiques (simple vitrage)

$\Phi = K.S.\Delta T = 3 \times 9,82 \times 21 = 618,66 \text{ w}$

II.3. Calcul des pertes Thermiques (D.V + PVC)

$\Phi = 1,5 \times 9,82 \times 21 = 309,33 \text{ W}$

II.4. Gain thermique obtenu:

$\Delta\Phi = 618,66 - 309,33 = 309,33 \text{ w/ (gain de 50\%)}$

II.5. Impact sur la consommation énergétique :

- Avant remplacement des fenêtres (après ITE des murs) :
- Consommations : $114,7 \text{ KwhEP/m}^2.\text{an}$.

Les fenêtres représentant 18% des pertes totales.

• Gains Global estimé

$114,7 \times (1 - 0,18) = 94,377 \text{ KwhEP/m}^2.\text{an}$

$C \rightarrow C : 90 \rightarrow 150$

II.6 Cout total de la solution:

Fenêtre double vitrage isolation renforcée (VIR) + PVC

$$55000 \text{ DA} \times 5 = 275000 \text{ DA}$$

- Prix du gaz naturel $\approx 0,4 \text{ DA/kWh}$

- Économie annuelle :

$$1715,2 \text{ kWh} \times 0,4 \text{ DA/kWh} = 686 \text{ DA/an}$$

II.7. Temps de retour sur investissement (TRI) :

$$\text{TRI} = 275000 \text{ DA} / 686 \text{ DA/an} = 400 \text{ ans}$$

La valeur $K=1,5$ est celle d'un double vitrage à isolation renforcée avec cadre PVC.

Source → le DTR C 3.2/4

Précise dans l'annexe A (Tableau A, 4) que les menuiseries double vitrage a isolation renforce avec cadre PVC peuvent attendre des valeurs de $K \leq 1,6 \text{ W m}^2\text{C}$ ce qui est cohérent avec 1,5 .

III. 3^{ème} Solution : Remplacement de la chaudière et Installation d'un chauffe-eau solaire individuel (CESI) :**III.1. Remplacement de la chaudière**

✓ Chaudière actuelle :

Rendement estime 90%

Type : classique, utilisée pour chauffage+ ECS

✓ Nouvelle chaudière proposée :

Type : chaudière à condensation gaz mural, modèle haute performance uniquement pour le chauffage

Rendement saisonnier: $>103 \%$

PCI (=94% PCS), SOURCE DTR (C3.2/4, annexe B)

-Calcul des économies d'énergie primaire sur le chauffage

Supposons une puissance de chauffage de 11,5 kW (donné antérieure), utilisée 1600 h/an

- Énergie utile = $11.5 \times 1600 = 18\,400 \text{ kWh/an}$

- Consommation d'énergie primaire $\eta = 0.90$

$$18\,400 / 0.90 = 20\,444 \text{ kWh/an}$$

- Consommation avec la nouvelle chaudière $\eta = 0.94$

$$18\,400 / 0.94 = 19\,574 \text{ kWh/an}$$

-Gain

$$20444 - 19\,574 = 870 \text{ kWh/an}$$

III.2 Installation d'un chauffe-eau solaire individuel (CESI)

- Besoin ECS annuel total pour 5 personnes

$$5 \times 1000 = 5000 \text{ kWh/an}$$

- Apport solaire moyen d'un CESI bien dimensionné (Tlemcen, zone A hiver/ B été) :

60 à 70 % de couverture, selon DTR C3.2/4 et 4.2.5 et données ENSOL on 65% comme valeur réaliste :

$$5000 \times 0.65 = 3250 \text{ kWh/ an}$$

III.3. gain global en énergie primaire Total : $870 + 3250 = 4120 \text{ kWh/an}$

III.4. évaluation de la nouvelle classe énergétique :

Classe initiale :

$$159 \text{ kWhEp/m}^2.\text{an.}$$

Consommation d'énergie primaire réduite :

$$159 - 4120 / \text{surface habitable C nouveau}$$

$$4120 / 171,52 = 24,02 \text{ kWhEp/m}^2.\text{an}$$

$$\text{Nouvelle consommation} = 159 - 24,02$$

$$134,98 \text{ kWhEp/m}^2.\text{an}$$

- Nouvelle classe énergétique :

Selon la DTR C3.2/4, la classe énergétique est définie comme classe C

$$134,98 \text{ kWh EP/m}^2.\text{an}$$

III.5 Coût des solutions proposées :

1. Remplacement de la chaudière par une chaudière murale plus performante

- Prix total (achat + pose) $\approx 180\,000 \text{ DA}$

2. Installation d'un chauffe-eau solaire individuel (CESI)

- Prix total (achat + pose) $\approx 120\,000 \text{ DA}$

3. Coût global de l'amélioration énergétique :

$$180\,000 \text{ DA} + 120\,000 \text{ DA} = 300\,000 \text{ DA}$$

III.6 Gain énergétique globale :

Comme calculé précédemment :

- Gain total estimé = 4120 kWh /an

- Nouvelle consommation spécifique = $134,98 \text{ kWh EP/m}^2.\text{an}$

- Nouvelle classe énergétique = classe C

III.7 Économie annuelle estimée :

- Supposons un coût moyen de l'énergie primaire en Algérie (pour chauffage et ECS)

- Prix du gaz naturel $\approx 0,4$ DA/kWh
- Économie annuelle :
 $4\,120 \text{ kWh} \times 0,4 \text{ DA/kWh} = 1648 \text{ DA/an}$

III.8 Temps de retour sur investissement (TRI) :

$$\text{TRI} = 300000 \text{ DA} / 1648 \text{ DA/an} = 182 \text{ ans}$$

VIII. 4eme Solution : isolation thermique intérieur de la toiture (ITI) :

IV.1 : Données actuelles :

K actuel (coefficient de transmission thermique):

$$K = 1/R_{\text{total}} = 1/(1,677 + 0,14) \approx 0,55 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Ce $K = 0,55 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ représente le niveau d'isolation actuel de la toiture.

IV.2. Objectif: Améliorer la performance avec un seul isolant performant

Nous allons remplacer le polystyrène actuel par un isolant plus performant, tout en gardant les autres couches identiques. L'isolant proposé est la laine de roche haute densité (excellente inertie thermique pour les toitures plates), avec une conductivité $\lambda = 0,035 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.

IV.3. Choix et calcul de l'épaisseur de l'isolant

On veut atteindre un $K \leq 0,30 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (seuil très bon selon le DTR C3.2/4).

Formule:

$$K = 1 / (R_{\text{autres}} + e / \lambda_{\text{isolant}})$$

R des autres couches (sans l'isolant actuel):

$$R_{\text{autres}} = R_{\text{total}} - R_{\text{polystyrène}} = 1,677 - 0,750 = 0,927 \text{ m}^2\text{C/W}$$

On veut :

$$1 / (0,927 + e/0,035) \leq 0,30 \rightarrow 0,927 + (e / 0,035) \geq 1 / 0,30 = 3,333 \rightarrow e/0,035 \geq 2,406 \rightarrow e \geq 0,0842 \text{ m}$$

$$\approx 8,5 \text{ cm}$$

$$0,035 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}.$$

IV.4. Résultat avec le nouvel isolant

Si on installe 8,5 cm de laine de roche ($\lambda = 0,035 \text{ W / m} \cdot ^\circ\text{C}$), alors :

$$R_{\text{isolant}} = 0,085 / 0,035 \approx 2,43 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$R_{\text{total, nouveau}} = 0,927 + 2,43 = 3,357 \text{ m}^2\text{C/W} \rightarrow K_{\text{nouveau}} = 1/3,357 = 0,298 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Amélioration obtenue :

$$\text{Avant : } K = 0,55 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Après: $K = 0,298 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$

Le K est divisé par 2: gain très important

IV.5. Impact sur la consommation et la classe énergétique

Hypothèse :

- Surface de toiture = $171,52 \text{ m}^2$
- Différence moyenne de température en hiver (intérieur 21°C / extérieur 0°C) = $\Delta T = 21^\circ\text{C}$
- Temps de chauffage = 1600 h/an
- Chaleur perdue par la toiture (avant) :

$$Q_{\text{avant}} = K_{\text{avant}} \times S \times \Delta T \times t = 0,55 \times 171,52 \times 21 \times 1600 \approx 3169689,6 \text{ Wh/an}$$

$$= 3169,7 \text{ kWh/an}$$

- Chaleur perdue par la toiture (après) :

$$Q_{\text{aprs}} = 0,298 \times 171,52 \times 21 \times 1600 \approx 1719263 \text{ Wh/an} = 1719,3 \text{ kWh/an}$$

- Économie annuelle d'énergie :

$$3169,7 - 1719,3 = 1450,4 \text{ kWh/an}$$

IV.6. Conséquences de la classe énergétique

Classe actuelle (fournie): D ($159 \text{ kWhEP/m}^2\cdot\text{an}$)

Gain thermique après : 1719 kWh/an

$$3169,7 \rightarrow 100 \%$$

$$1450,4 \rightarrow x$$

Donc : (77 %) de réduction

La toiture représente environ 30 % des pertes

→ Bilan Global estimé :

$$159 \times (1 - 0,77 \times 0,3) = 122,271 \text{ kWhEP/m}^2\cdot\text{an}$$

Nouvelle consommation estimée :

$$159 - 36,729 = 122,271 \text{ kWhEP/m}^2\cdot\text{an}$$

Cela permet de se rapprocher de la classe C selon les seuils appliqués par le DTR.

Coût de la solution :

$$M_{L,R} = 4000 \text{ DA/m}^2 \text{ (Fourniture et pose)}$$

$$M_{L,R} \times 171,52 = 680000 \text{ DA}$$

- Prix du gaz naturel $\approx 0,4 \text{ DA/kWh}$

- Économie annuelle :

$$6299 \text{ kWh} \times 0,4 \text{ DA/kWh} = 2519 \text{ DA/an}$$

IV.7. Temps de retour sur investissement (TRI) :

$$\text{TRI} = 680000 \text{ DA} / 3039 \text{ DA/an} = 269 \text{ ans}$$

V. Interprétation des solutions de cas d'étude N° 1

Tableau 40 : Récapitulatif des résultats

Solution	Conso. initiale (kWh/m ² /an)	Conso. après (kWh/m ² /an)	Économie annuelle (kWh/m ² /an)	Coût (DA)	Temps de retour (années)	Classe énergétique initiale	Classe énergétique finale
Solution 1 – ITE murs	159	114.7	44.3	543000	178	D	C
Solution 2 – Double vitrage	159	149	10	275000	401	D	D
Solution 3 – Chaudière + CES solaire	159	134.98	24	300000	182	D	C
Solution 4 – Isolation toiture	159	122.271	36.729	680000	269	D	C

V.1.Comparaison croisée des solutions (par paire)**V.1.1.Solution 1 vs Solution 2**

La Solution 1 (ITE murs) génère une économie annuelle beaucoup plus importante (44,3 kWh/m²/an) que la Solution 2 (double vitrage : 10 kWh/m²/an), mais son coût est plus élevé. Le temps de retour sur investissement est plus avantageux pour la Solution 1 (178 ans contre 401 ans). Ainsi, la Solution 1 est plus efficace énergétiquement et économiquement à long terme.

V.1.2. Solution 1 vs Solution 3

La Solution 3 (chaudière + CES solaire) présente une économie modérée (24 kWh/m²/an), mais reste inférieure à celle de la Solution 1. Cependant, elle coûte moins cher (300 000 DA contre 543 000 DA) avec un temps de retour comparable (182 ans contre 178 ans). Les deux améliorent la classe énergétique de D à C.

V.1.3 Solution 1 vs Solution 4

La Solution 4 (isolation toiture) a une performance énergétique intermédiaire (36,729 kWh/m²/an), mais son coût est le plus élevé (680 000 DA). Son temps de retour est aussi plus long (269 ans), ce qui rend la Solution 1 plus intéressante malgré des résultats similaires sur la classe énergétique.

V.1.4 Solution 2 vs Solution 3

La Solution 3 offre de meilleures performances énergétiques (24 contre 10 kWh/m²/an), pour un coût légèrement supérieur, mais avec un temps de retour bien plus favorable. La Solution 2 ne permet pas de changer la classe énergétique, contrairement à la Solution 3.

V.1.5 Solution 2 vs Solution 4

La Solution 4 est plus efficace (36,729 contre 10 kWh/m²/an), mais beaucoup plus coûteuse. Cependant, son impact sur la classe énergétique est positif (passage à C), contrairement à la Solution 2. La rentabilité reste faible pour les deux solutions.

V.1.6 Solution 3 vs Solution 4

Les deux solutions offrent un bon compromis, mais la Solution 3 est plus rentable économiquement avec un coût et un temps de retour inférieurs. La Solution 4 offre une meilleure économie annuelle mais avec un surcoût conséquent.

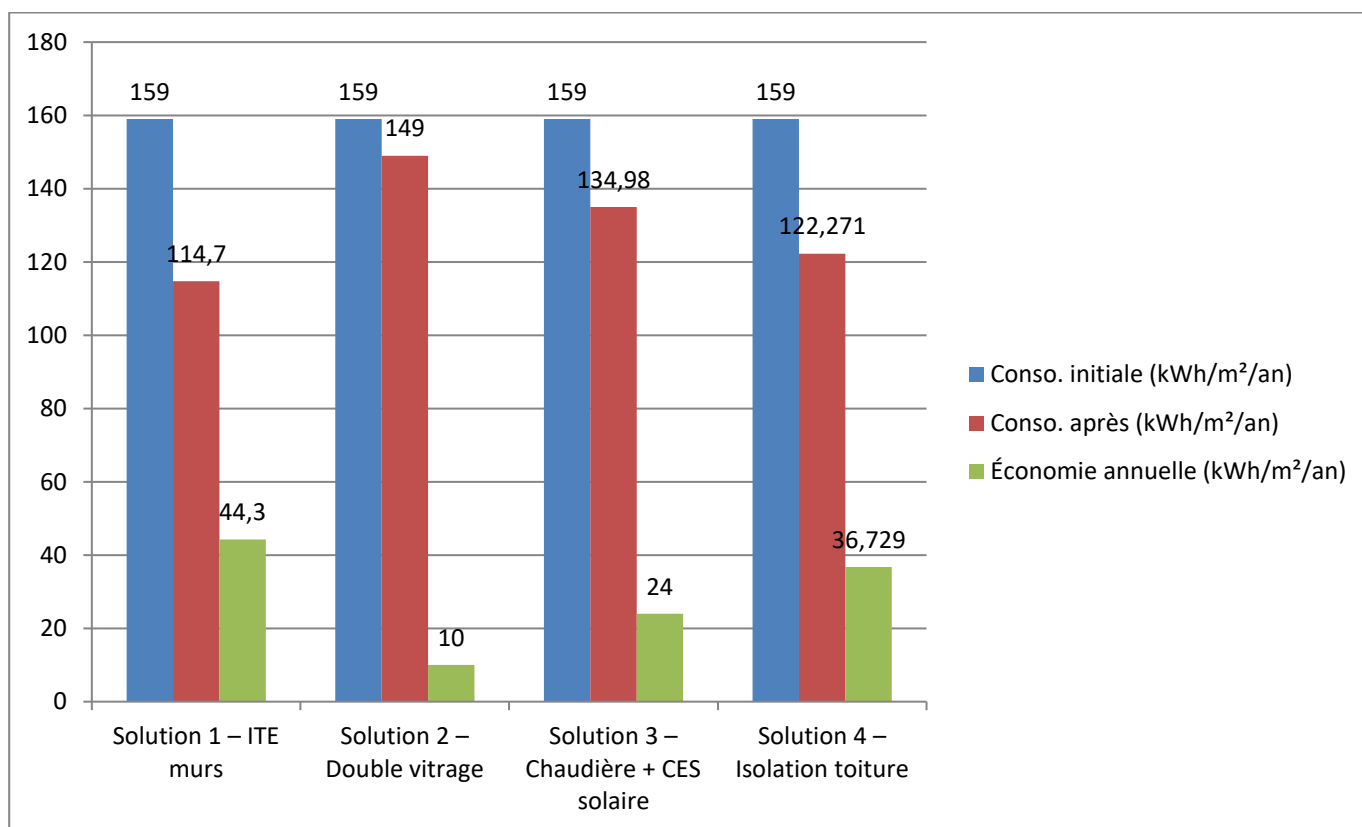


Figure 36 : Diagramme en barre comparatif des solutions

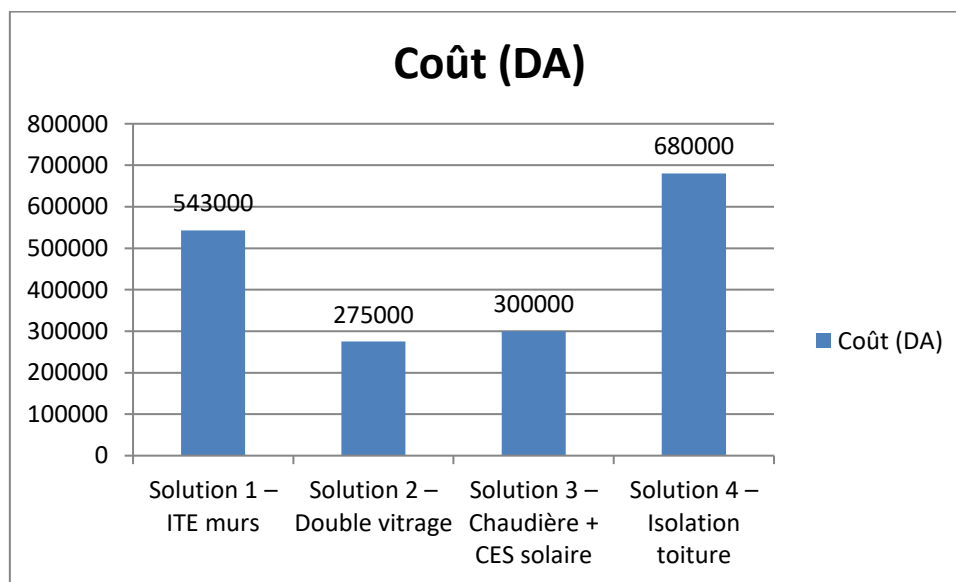


Figure 37 : Diagramme en barre comparatif des coûts

V.2. Analyse synthétique globale

Les quatre solutions proposées permettent chacune une amélioration partielle ou significative de la performance énergétique de la maison. La Solution 1 (isolation thermique des murs par l'extérieur) reste la plus performante en termes d'économie annuelle et de réduction de la consommation énergétique. La Solution 3 (remplacement de la chaudière et installation d'un chauffe-eau solaire) est aussi très intéressante avec un bon compromis entre coût et performance. Les Solutions 2 et 4, bien que techniquement justifiées, présentent un temps de retour trop long pour être considérées prioritaires dans une stratégie d'amélioration énergétique réaliste.

L'étude a permis d'identifier les impacts énergétiques, économiques et environnementaux de quatre solutions de rénovation énergétique. Parmi celles-ci, l'isolation thermique par l'extérieur (Solution 1) apparaît comme la plus avantageuse en termes d'économie d'énergie et de retour sur investissement. L'association avec la Solution 3 (chaudière performante + chauffe-eau solaire) offre un complément optimal pour atteindre une classe énergétique C à un coût raisonnable. Ces résultats permettent d'orienter les choix futurs vers une rénovation énergétique progressive et cohérente.

Cas d'étude 02 :**I. 1ère solution : Isolation thermique par l'extérieur (ITE)**

- Mousse polyuréthane (5 cm) (isotherme)

- Enduit monocouche (1,5 cm) (RPE)

$K = 0,99 \text{ W/m}^2\text{C}$ (tableau)

I.1. Données initiales de la maison :

- Surface nette : $137,75 \text{ m}^2$

- Volume net chauffé : $245,5 \text{ m}^3$

- Hauteur sous plafond : $6,2 \text{ m}$

- Température de base (zone hiver A, été B) :

- Hiver : $E_x = 0^\circ\text{C}$, $Int. = 21^\circ\text{C} \rightarrow \Delta T = 21^\circ\text{C}$

- Été : $E_x = 37^\circ\text{C}$, $Int. = 27^\circ\text{C} \rightarrow \Delta T = 10^\circ\text{C}$

I.2. Murs en contact avec l'extérieur :

- Mur S : $35,93 \text{ m}^2$

- Mur N : $39,86 \text{ m}^2$

→ Total : $75,87 \text{ m}^2$

I.3 .Avant isolation : perte thermique

$K = 0,99 \text{ N/m}^2 \cdot \text{C}^\circ$

$\Phi = K.S.\Delta T = 0,99 \times 75,87 \times 21 = 1577,33 \text{ W}$

I.4 . (ITE):**1.4.1. Mousse polyuréthane :**

$E = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$

$\lambda = 0,022 \text{ W/ m.c}^\circ$

Totale $R_{\text{mono}} = 0,05/0,022 = 2,27 \text{ mc /W}$

I.4.2. Enduit monocouche :

$e = 1,5 \text{ cm} = 0.015 \text{ m}$

$\lambda = 0,87 \text{ w/m.c}^\circ$

Total : $R_{\text{mono}} = 0,015/0,87 = 0,0172 \text{ mc /W}$

I.5. Résistance thermique totale après (ITE):

$$K = 0,99 \text{ w/m}^2.\text{C}^\circ$$

$$R = 1,01 = 0,845 \text{ (Tableau)} + 0,17 \text{ (DTR)}$$

$$R_{\text{total}} = 1,01 + 0,0172 + 2,27 = 3,2972 \text{ mc/w}$$

$$K_{\text{total}} = 1/3,2972 = 0,303 \text{ w/mc}$$

I.6. Après isolation : perte thermique :

$$K = 0,303 \text{ w/mc}$$

$$\Phi = 0,303 \times 75,87 \times 21 = 482,76 \text{ W}$$

Gain thermique :

$$\Delta\Phi : 1577,33 - 482,76 = 1094,57 \text{ W}$$

$$1577,33 \rightarrow 100 \%$$

$$1094,57 \rightarrow x$$

Donc : (69.4 %) de réduction

I.7 Impact sur la consommation énergétique :

Consommation initiale estimée :

$$178,02 \text{ kwhEP/m}^2.\text{an, classe D}$$

Les murs représentent environ 40 % des pertes

→ Bilan Global estimé :

$$178,02 \times (1 - 0,694 \times 0,4) = 128,6 \text{ kwhEP/m}^2.\text{an}$$

$$D \rightarrow C : 90 \rightarrow 150 \text{ (DTR C3.2/4)}$$

I.8 Coût de la solution :

$$M_{\text{pui}} = 3500 \text{ DA/m}^2 \text{ (Fourniture et pose)}$$

$$E_{\text{mono}} = 2500 \text{ DA/m}^2 \text{ (Fourniture et pose)}$$

$$(M_{\text{pui}} + E) \times 75,87 = 455220 \text{ DA}$$

- Prix du gaz naturel $\approx 0,4 \text{ DA/kWh}$

- Économie annuelle :

$$6804,85 \text{ kWh} \times 0,4 \text{ DA/kWh} = 2721,94 \text{ DA/an}$$

I.9. Temps de retour sur investissement (TRI) :

$$\text{TRI} = 455220 \text{ DA} / 2721,91 \text{ DA/an} = 167 \text{ ans}$$

II. 2^{ème} solution:

Remplacer les fenêtres existantes par du double vitrage avec Cadre en PVC

II.1. Données initiales

Nombre de fenêtres: 10

Surface Total des fenêtres : 11,892 m²

Fenêtres actuelles : simple vitrage $K=3$ w/m²C

Température de base (hiver): Ex : 0C°

Int: 21 C°

Fenêtres nouvelles double vitrage = $K = 1,5$ w/m²C°

II.2. Calcul des pertes thermiques (simple vitrage)

$$\Phi = K.S.\Delta T = 3 \times 11,892 \times 21 = 749,196 \text{ w}$$

II.3. Calcul des pertes Thermiques (DIY + PVC)

$$\Phi = 1,5 \times 11,892 \times 21 = 374,598 \text{ W}$$

II.4. Gain thermique obtenu:

$$\Delta \Phi = 749,196 - 374,598 = 374,598 \text{ w/ gain de } = 50\%$$

II.5. Impact sur la consommation énergétique Avant remplacement (après ITE des murs):

Consommations des fenêtres : 128,6 KwhEP/m².an .

Les fenêtres représentant 18 % des pertes totales.

- **Gains Global estimé**

$$128,6 \times (1 - 0,5 \times 0,18) = 117,026 \text{ KwhEP/}$$

$$C \rightarrow C : 90 \rightarrow 150$$

II.6 Cout total de la solution:

Fenêtre double vitrage isolation renforcée (VIR) + PVC

$$55000 \text{ DA} \times 10 = 550000 \text{ DA}$$

- Prix du gaz naturel $\approx 0,4$ DA/kWh

- Économie annuelle :

$$8399,17 \text{ kWh} \times 0,4 \text{ DA/kWh} = 3359,6 \text{ DA/an}$$

I.9. Temps de retour sur investissement (TRI) :

$$\text{TRI} = 550000 \text{ DA} / 3359,6 \text{ DA/an} = 163 \text{ ans}$$

La valeur $K=15$ est celle d'un double vitrage à isolation renforcée avec cadre PVC.

Source → le DTR C₃ 2/4

Précise dans l'annexe A (Tableau A, 4) que les menuiseries double vitrage a isolation renforce avec cadre PVC peuvent attendre des valeurs de $K \leq 1,6 \text{ W m}^2\text{C}$ ce qui est cohérent avec 1,5 .

III. 3^{ème} Solution : Remplacement de la chaudière et Installation d'un chauffe-eau solaire individuel (CESI) :

III.1. Remplacement de la chaudière

✓ Chaudière actuelle :

Rendement estime 90%

Type : classique, utilisée pour chauffage+ ECS

✓ Nouvelle chaudière proposée :

Type : chaudière à condensation gaz mural, modèle haute performance uniquement pour le chauffage

Rendement saisonné: >103 %

PCI (=94% PCS), SOURCE DTR (C3.2/4, annexe B)

-Calcul des économies d'énergie primaire sur le chauffage

Supposons une puissance de chauffage de 11,5 kW (donné antérieure), utilisée 1600 h/an

- Énergie utile = $10.2 \times 1600 = 16320 \text{ kWh/an}$

- Consommation d'énergie primaire $\eta = 0.90$

$$16320 / 0.90 = 18133 \text{ kWh/an}$$

- Consommation avec la nouvelle chaudière $\eta = 0.94$

$$16320 / 0.94 = 17361,7 \text{ kWh/an}$$

-Gain

$$18133 - 17361,7 = 771,3 \text{ kWh/an}$$

III.2 Installation d'un chauffe-eau solaire individuel (CESI)

- Besoin ECS annuel total pour 5 personnes

$$5 \times 1000 = 5000 \text{ kWh/an}$$

- Apport solaire moyen d'un CESI bien dimensionné (Tlemcen, zone A hiver/ B été) :

60 à 70 % de couverture, selon DTR C3.2/4 et 4.2.5 et données ENSOL on 65% comme valeur réaliste :

$$5000 \times 0.65 = 3250 \text{ kWh/ an}$$

III.3. gain global en énergie primaire Total : $771,3 + 3250 = 4021,3 \text{ kWh/an}$

III.4. évaluation de la nouvelle classe énergétique :

Classe initiale :

159 kWhEp/m².an.

Consommation d'énergie primaire réduite :

159- 4021,3 / surface habitable = C nouveau

4021,3 / 137,75 = 29,19 kWhEp/m².an

Nouvelle consommation = 159 - 29,19

129,81 kWhEp/m².an

- Nouvelle classe énergétique :

Selon la DTR C3.2/4, la classe énergétique est définie comme classe C

129,81 kWh EP/m².an

III.5 Coût des solutions proposées :

1. Remplacement de la chaudière par une chaudière murale plus performante

- Prix total (achat + pose) $\approx$ 180 000 DA

2. Installation d'un chauffe-eau solaire individuel (CESI)

- Prix total (achat + pose) $\approx$ 120 000 DA

3. Coût global de l'amélioration énergétique :

180 000 DA + 120 000 DA = 300 000 DA

III.6 Gain énergétique globale :

Comme calculé précédemment :

- Gain total estimé = 4021,3 kWh /an

- Nouvelle consommation spécifique = 129,81 kWh EP/m².an

- Nouvelle classe énergétique = classe C

III.7 Économie annuelle estimée :

- Supposons un coût moyen de l'énergie primaire en Algérie (pour chauffage et ECS)

- Prix du gaz naturel $\approx$ 0,4 DA/kWh

- Économie annuelle :

6638,2 kWh $\times$ 0,4 DA/kWh = 2655,3 DA/an

I.9. Temps de retour sur investissement (TRI) :

$$\text{TRI} = 300000 \text{ DA} / 2655,3 \text{ DA/an} = 113 \text{ ans}$$

IV.4eme Solution : isolation thermique intérieur de la toiture (ITI) :**IV.1 : Données actuelles :**

K actuel (coefficient de transmission thermique):

$$K = 1/R_{\text{total}} = 1/(1,677 + 0,22) \approx 0,52 \text{ W/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$$

Ce **K = 0,52 W/m².°C** représente le niveau d'isolation actuel de la toiture.

IV.2. Objectif: Améliorer la performance avec un seul isolant performant

Nous allons remplacer le polystyrène actuel par un isolant plus performant, tout en gardant les autres couches identiques. L'isolant proposé est la laine de roche haute densité (excellente inertie thermique pour les toitures plates), avec une conductivité $\lambda = 0,035 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$.

IV.3. Choix et calcul de l'épaisseur de l'isolant

On veut atteindre un $K \leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$ (seuil très bon selon le DTR C3.2/4).

Formule:

$$K = 1 / (R_{\text{autres}} + e / \lambda_{\text{isolant}})$$

R des autres couches (sans l'isolant actuel):

$$R_{\text{total}} = 0,845 \text{ m}^2\text{C/W}$$

On veut :

$$1 / (0,845 + e/0,035) \leq 0,30 \quad \rightarrow \quad 0,845 + (e / 0,035) \geq 1 / 0,30 = 3,333 \quad \rightarrow \quad e/0,035 \geq 2,488 \quad e \geq 0,087$$

$$m \approx 8,7 \text{ cm}$$

IV.4. Résultat avec le nouvel isolant

Si on installe 8,7 cm de laine de roche ($\lambda = 0,035 \text{ W / m.}^\circ\text{C}$), alors :

$$R_{\text{isolant}} = 0,087 / 0,035 \approx 2,48 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$R_{\text{total, nouveau}} = 0,845 + 2,48 = 3,3 \text{ m}^2\text{C/W} \quad \rightarrow \quad K_{\text{nouveau}} = 1/3,3 = 0,3 \text{ W/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$$

Amélioration obtenue :

$$\text{Avant : } K = 0,52 \text{ W/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$$

$$\text{Après: } K = 0,3 \text{ W/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$$

Le K est divisé par 2: gain très important

IV.5. Impact sur la consommation et la classe énergétique

Hypothèse :

- Surface de toiture = 137,75 m²
- Différence moyenne de température en hiver (intérieur 21 °C / extérieur 0 °C) = $\Delta T = 21$ °C
- Temps de chauffage = 1600 h/an
- Chaleur perdue par la toiture (avant) :

$$Q_{\text{avant}} = K_{\text{avant}} \times S \times \Delta T \times t = 0,52 \times 137,75 \times 21 \times 1600 \approx 2406768 \text{ Wh/an}$$

$$= 2406,7 \text{ kWh/an}$$

- Chaleur perdue par la toiture (après) :

$$Q_{\text{après}} = 0,3 \times 137,75 \times 21 \times 1600 \approx 1388520 \text{ Wh/an} = 1388,5 \text{ kWh/an}$$

- Économie annuelle d'énergie :

$$2406,7 - 1388,5 = 1018,2 \text{ kWh/an.}$$

IV.6. Conséquences de la classe énergétique

Classe actuelle (fournie): D (159 kWhEP/m².an)

Gain thermique après : 1388,3 kWh/an

$$2406,7 \rightarrow 100 \%$$

$$1018,2 \rightarrow x$$

Donc : (42,3 %) de réduction

La toiture représente environ 30 % des pertes

→ Bilan Global estimé :

$$159 \times (1 - 0.423 \times 0.3) = 138,8 \text{ kWhEP/m}^2.\text{an}$$

Nouvelle consommation estimée :

$$159 - 20.8 = 138,2 \text{ kWhEP/m}^2.\text{an}$$

Cela permet d'obtenir la classe C selon les seuils appliqués par le DTR.

Coût de la solution :

$$M_{L,R} = 4000 \text{ DA/m}^2 \text{ (Fourniture et pose)}$$

$$M_{L,R} \times 137,75 = 550000 \text{ DA}$$

- Prix du gaz naturel $\approx 0,4$ DA/kWh

- Économie annuelle :

$$5399,8 \text{ kWh} \times 0,4 \text{ DA/kWh} = 2159,9 \text{ DA/an}$$

IV.7. Temps de retour sur investissement (TRI) :

$$\text{TRI} = 550000\text{DA} / 2159,9 \text{ DA/an} = 254 \text{ ans}$$

VI. Interprétation des solutions de cas d'étude N° 2**Tableau 41 : Récapitulatif des résultats**

Solution	Conso. initiale (kWh/m ² /an)	Conso. après (kWh/m ² /a n)	Économie annuelle (kWh/m ² /a n)	Coût (DA)	Temps de retour (années)	Classe énergétique e initiale	Classe énergétique finale
Solution 1 – ITE murs	178	128,6	49,4	455220	167	D	C
Solution 2 – Double vitrage	178	161,98	16,2	550000	163	D	D
Solution 3 – Chaudière + CES solaire	178	129,80	48,2	300000	113	D	C
Solution 4 – Isolation toiture	178	138,8	39,2	550000	254	D	C

Comparaison croisée des solutions (par paire)**Solution 1 vs Solution 2**

La Solution 1 (ITE murs) génère une économie annuelle beaucoup plus importante (49,4 kWh/m²/an) que la Solution 2 (double vitrage : 16,2 kWh/m²/an), et le coût de la 2eme solution est plus élevé. Le temps de retour sur investissement est plus avantageux pour la Solution 2 (163 ans contre 167 ans). Ainsi, la Solution 1 est plus efficace énergétiquement et économiquement à long terme.

Solution 1 vs Solution 3

La Solution 3 (chaudière + CES solaire) présente une économie modérée (48,2 kWh/m²/an), mais reste inférieure à celle de la Solution 1. Cependant, elle coûte moins cher (300000 DA contre 455220 DA) avec un temps de retour comparable (167 ans contre 113 ans). Les deux améliorent la classe énergétique de D à C.

Solution 1 vs Solution 4

La Solution 4 (isolation toiture) a une performance énergétique intermédiaire (39,2 kWh/m²/an), mais son coût est le plus élevé (550000 DA). Son temps de retour est aussi plus long (254 ans), ce qui rend la Solution 1 plus intéressante malgré des résultats similaires sur la classe énergétique.

Solution 2 vs Solution 3

La Solution 3 offre de meilleures performances énergétiques (48,2 contre 16,2 kWh/m²/an), son coût est inférieur par rapport à la 2eme solution, mais avec un temps de retour bien plus favorable. La Solution 2 ne permet pas de changer la classe énergétique, contrairement à la Solution 3.

Solution 2 vs Solution 4

La Solution 4 est plus efficace (39,2 contre 16,2 kWh/m²/an). Cependant, son impact sur la classe énergétique est positif (passage à C), contrairement à la Solution 2. La rentabilité reste faible pour les deux solutions.

Solution 3 vs Solution 4

Les deux solutions offrent un bon compromis, mais la Solution 3 est plus rentable économiquement avec un coût et un temps de retour inférieurs et offre une meilleure économie annuelle.

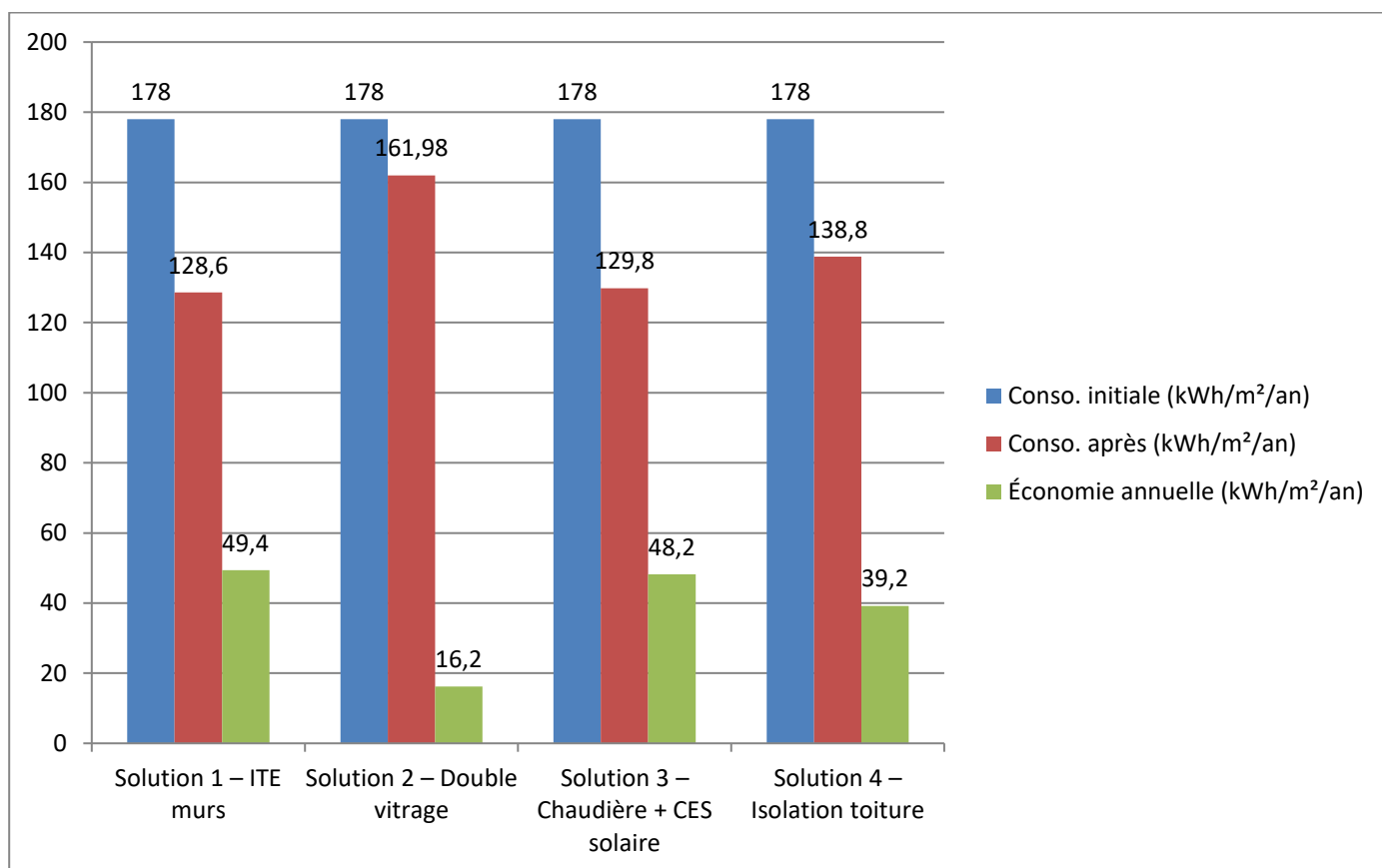


Figure 38 : Diagramme en barre comparatif des solutions

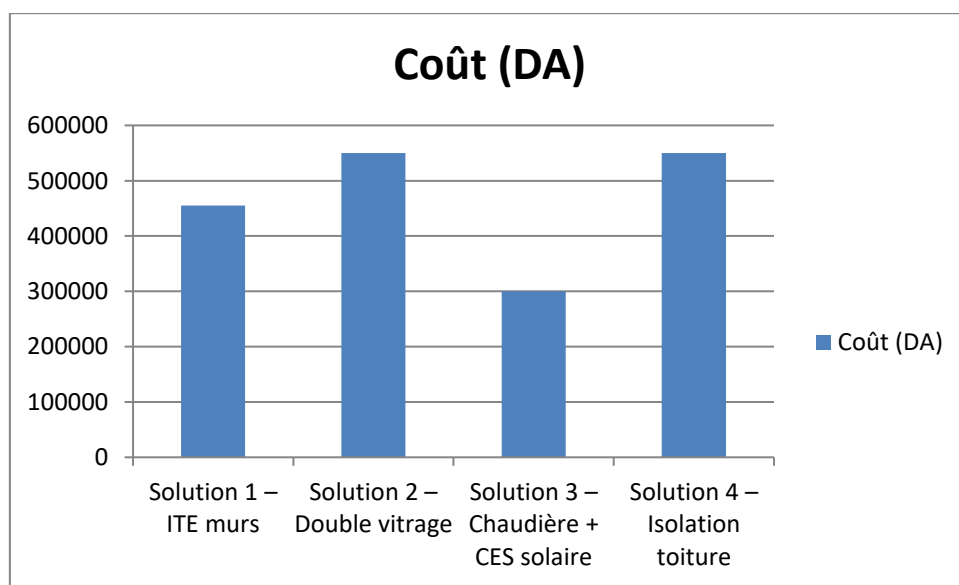


Figure 39 : Diagramme en barre comparatif des coûts

Analyse synthétique globale

Les quatre solutions proposées permettent chacune une amélioration partielle ou significative de la performance énergétique de la maison. La Solution 1 (isolation thermique des murs par l'extérieur) reste la plus performante en termes d'économie annuelle et de réduction de la consommation énergétique. La Solution 3 (remplacement de la chaudière et installation d'un chauffe-eau solaire) est aussi très intéressante avec un bon compromis entre coût et performance. Les Solutions 2 et 4, bien que techniquement justifiées, présentent un temps de retour trop long pour être considérées prioritaires dans une stratégie d'amélioration énergétique réaliste.

L'étude a permis d'identifier les impacts énergétiques, économiques et environnementaux de quatre solutions de rénovation énergétique. Parmi celles-ci, l'isolation thermique par l'extérieur (Solution 1) apparaît comme la plus avantageuse en termes d'économie d'énergie.

L'association avec la Solution 3 (chaudière performante + chauffe-eau solaire) offre un complément optimal pour atteindre une classe énergétique C à un coût raisonnable. Ces résultats permettent d'orienter les choix futurs vers une rénovation énergétique progressive et cohérente.

Conclusion

L'analyse menée à travers les deux cas d'étude met en évidence l'intérêt stratégique de certaines interventions dans le cadre d'une rénovation énergétique. Il ressort que l'isolation thermique par l'extérieur (ITE) des murs demeure la solution la plus performante en termes de réduction de la consommation énergétique, malgré un coût initial relativement élevé. En parallèle, le remplacement de la chaudière couplé à un chauffe-eau solaire offre un bon compromis entre coût, performance et retour sur investissement. En revanche, les solutions portant sur le double vitrage et l'isolation des toitures, bien que techniquement efficaces, présentent des durées d'amortissement peu attractives à court terme. L'étude confirme qu'une combinaison progressive et bien planifiée de ces solutions permet non seulement d'améliorer la classe énergétique des bâtiments, mais aussi de réduire durablement leur impact environnemental, contribuant ainsi à une transition énergétique cohérente et soutenable.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'étude que nous avons menée s'inscrit dans une démarche d'analyse de la performance énergétique des habitations individuelles, dans un contexte national où la maîtrise de l'énergie devient un enjeu crucial, tant sur le plan économique qu'environnemental. À travers la réalisation de bilans thermiques détaillés, notre objectif était d'identifier les zones de déperdition énergétique, de mieux comprendre la manière dont l'énergie est consommée dans les logements étudiés, et d'évaluer les solutions techniques d'amélioration, tout en tenant compte des réalités économiques et réglementaires locales.

Le bilan énergétique constitue un outil fondamental pour évaluer l'efficacité énergétique d'un bâtiment. Il permet de repérer les principaux points faibles de l'enveloppe thermique, comme les ponts thermiques, les défauts d'isolation ou encore l'inefficacité de certains équipements de chauffage. Grâce aux relevés géométriques et à l'identification des matériaux utilisés, parfois complexes à obtenir en raison de l'accessibilité ou du manque d'informations, nous avons pu reconstituer une vision assez précise de l'état énergétique des deux maisons analysées.

Les bilans thermiques réalisés conformément aux normes algériennes en vigueur (notamment les DTR C3.2/4 et RTB+) ont permis de quantifier les pertes énergétiques et d'orienter nos propositions de rénovation. Celles-ci visaient à optimiser l'isolation (murs, toiture, fenêtres) et à améliorer les systèmes de chauffage. Cependant, l'évaluation technique seule ne suffit pas : il est essentiel d'y associer une analyse économique réaliste, fondée sur le retour sur investissement de chaque solution envisagée.

Parmi les solutions testées, l'isolation thermique par l'extérieur (ITE) via mousse polyuréthane ou enduit monocouche a montré une efficacité énergétique notable, mais son coût élevé constitue un frein majeur à sa généralisation. Le remplacement des fenêtres en simple vitrage par du double vitrage PVC a apporté un gain limité. De même, le changement de chaudières n'a pas permis une amélioration significative. Enfin, l'isolation des toitures, bien qu'importante, n'a pas produit les résultats attendus en termes de rentabilité.

Ces constats nous conduisent à une conclusion pragmatique : dans le contexte algérien actuel, où le coût de l'énergie est relativement bas et les aides de l'État aux particuliers sont quasi inexistantes, les investissements dans la rénovation énergétique des logements restent difficiles à rentabiliser, du moins dans les habitations déjà relativement bien isolées. Cela souligne l'importance d'orienter les efforts futurs vers les logements les plus énergivores, parfois qualifiés de “passoires thermiques”, où les gains potentiels sont plus élevés et les interventions plus justifiables économiquement.

Nous recommandons donc de poursuivre cette démarche sur un échantillon plus large, incluant des habitations à faible performance énergétique initiale, afin de mieux cerner l'impact réel des travaux d'isolation sur la consommation énergétique globale. Ces travaux futurs pourraient également explorer les scénarios d'incitation publique ou de tarification progressive de l'énergie, pour évaluer dans quelle mesure des mécanismes économiques pourraient encourager une transition énergétique plus rapide et équitable dans le secteur résidentiel.

Références bibliographiques

-
- [1] DONALD.W.CURRAN, la nouvelle donnée énergétique, Masson, collection géographie, 1981p.17.
- [2] DEPECKER.P, organisation des contenus sur le thème de l'énergie, 1985.
- [3] CHATEAU. ET LAPPILONNEB. la prévision à long terme de la demande d'énergie - propositions méthodologiques éditions du centre national de la recherche scientifique, paris 1977 p.90.
- [4] COLLARDF. «les énergies renouvelables », courrier hebdomadaire du crisp2015;p.5- 72.
- [5] Connaissance des énergies, d'après KEYWORLDENERGIESTATISTIQUES2014
- [6]ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer- donnees provisoires mai 2017: Service de l'observation et des statistiques–chiffresdel'energie2015publiesen2017)
- [7] aprue : agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'énergie (Algérie) 2014.
- [8] MEM: ministère de l'énergie et des mines, bilan énergétique national de l'année (2010- 2014).
- [9] la société nationale de l'électricité et du gaz unité de Tlemcen
- [10]site internet:<http://outilssolaires.com/développement-durable/énergiesolaire/consommation-logements+al>
- [11]NEUF: «climat intérieur/confort, sante, confort visuel» revue européenne d'architecture n°77, novembre -décembre 1978. p 12.
- [12]ASTRIDDENKER, DRS.M K ELHASSAR, SAADBARADIY. 2014. guide pour la construction éco-énergétique en Algérie.
- [13] CHAHWANE, LAYAL, 2011. valorisation de l'inertie thermique pour la performance énergétique des bâtiments [en ligne] thèse de doctorat. Génie civil et sciences de l'habitat. Grenoble. Université de Grenoble.
- [14] JDIDI, M.ET BENJEDDOU, O. la thermique du bâtiment du confort thermique au choix des équipements de chauffage et de climatisation.5 rue la Romiguières ,75005 paris : Dunod, 2016.isbn 978_2_10_074481_7.
- [15] LES ESSENTIELS DE L'HABITAT (PAGE CONSULTEE LE 09/07/2016). site de Saint-Gobain, [en ligne], <http://www.construireavecsaint-gobain.fr/>
- [16] PAUL DE HAUT. CHAUFFAGE, ISOLATION ET VENTILATION ECOLOGIQUES. édition Eyrolles. paris. 2007. ISBN 978-2-212-12105-6.
- [17] HOLLAERT, LAURIE « analyse de la rentabilité financière et des avantages liés à l'isolation thermique : étude de cas adaptes au modèle belge » mémoire de master, université libre de Bruxelles 2014.
- Site officiel de l'ADEME: [http](http://www.ademe.fr)
- Site officiel de l'aprue : <http://www.aprue.org.dz>
- Site officiel de cder: <http://www.cder.dz>
- Site officiel de sonelgaz: <http://www.sonelgaz.dz>