

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID DE TLEMCEM  
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE  
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL

MÉMOIRE DE MASTER EN GÉNIE CIVIL

OPTION : INFRASTRUCTURE ET GÉOTECHNIQUE

***PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES DES  
CONSTRUCTIONS***

SOUTENU LE 16 JUIN 2016 DEVANT LE JURY :

<b>PRÉSIDENT</b>	<b>M<sup>R</sup> F. GHOMARI</b>	UABB TLEMCEM
<b>EXAMINATEUR</b>	<b>M<sup>R</sup> S. MELOUKA</b>	UABB TLEMCEM
<b>EXAMINATEUR</b>	<b>M<sup>R</sup> A. LOBIYED</b>	UABB TLEMCEM
<b>ENCADREUR</b>	<b>M<sup>R</sup> A. MISSOUM</b>	UABB TLEMCEM
<b>CO-ENCADREUR</b>	<b>M<sup>R</sup> Z. BENYELLES</b>	UABB TLEMCEM

PRÉSENTÉ PAR : **ABDELMALIK SAIDI**

ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2015-2016

ولسوء يعصم من النار فترضى

*À ma mère*

*À mon frère*

*Pour toute personne qui m'a soutenue de près ou de loin*

## Remerciement

- ❖ C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que je remercie mes encadreurs Mr **A. MISSOUM** et Mr **Z.BENYELLES** pour leurs assistances, disponibilités, leurs soutiens et patiences durant ce travail.
- ❖ Je remercie aussi tout le personnel de la bibliothèque pour leur patience.
- ❖ J'exprime mon immense gratitude à Mr **F. GHOMARI**, (département de génie civil UABT) d'avoir accepté d'honorer la présidence de ce jury.
- ❖ Ainsi j'exprime ma reconnaissance à Mr **S. MELOUKA** (département de génie civil UABT) et à Mr **A. LOBIYED** (département d'architecture UABT) d'avoir accepté de lire ce manuscrit et d'apporter les critiques nécessaires à ce travail.
- ❖ Aussi à tous les enseignants du département de génie civil UABT

## Résumé

En Algérie, les constructions sont très peu économes en énergie et par conséquent, elles restent un grand secteur de consommation de l'énergie, d'autant plus, les logements ne sont pas régis par une réglementation contraignante en la matière. Aucune incitation pour s'équiper en chauffe-eau solaire ou en panneau solaire n'existe, y compris dans le sud.

Afin de quantifier les consommations d'énergie d'une habitation, nous avons conçu un logiciel de calcul « **OAPEC** » qui est un descriptif du logement et de ses équipements, avec une estimation de la consommation annuelle d'énergie (en kWh/m<sup>2</sup> par an) et de leurs coûts afin de mieux évaluer la facture à payer. Sont pris en compte : le chauffage, l'eau chaude sanitaire, le refroidissement et la ventilation. Le nombre d'occupants, le climat local et l'isolation sont aussi comptabilisés.

Des conseils prodigués pour réduire la consommation énergétiques et recommandations de travaux permettent d'économiser de l'énergie et améliorer la performance de la construction avec un ordre de grandeur du coût des travaux ou des équipements.

### **Mots clés :**

DPE – Energie – Economie - Consommation – Chauffage –  
Climatisation – OAPEC – isolation

## Abstract

In Algeria, the constructions are very efficient in energy and therefore, they remain a large sector of energy consumption, even more, housing are not governed by binding legislation on the subject. No incentive for solar water heater and solar panel exists, including in the South.

To quantify the consumption of energy of a dwelling, we've designed a calculation software « **OAPEC** » that is a description of housing and facilities, with an estimate of the annual energy consumption (in kWh/m<sup>2</sup> per year) and their costs in order to better evaluate the Bill to pay. Are taken into account: heating, hot water, cooling and ventilation. The number of occupants, the local climate and isolation are also recorded.

Recommendations of work and advice to reduce energy consumption and recommendations of work allow to save energy and improve the performance of the construction with an order of magnitude of the cost of works or equipment.

### Keywords :

EPD – Energy – Economy – Consumption – Heating - Air conditioning  
- **OAPEC** - insulation

## ملخص

تكلفة الطاقة في المنازل الجزائرية محدودة جدا وبالتالي، فقطاع العمارة يعتبر جد مستهلك للطاقة، علاوة على ذلك فالمباني الجزائرية غير خاضعة للقوانين و الشروط المتعلقة بالعزل الحراري، بالاضافة لعدم وجود أي حافز لاستغلال الطاقة الشمسية لتسخين المياه بما في ذلك في المناطق الجنوبية. لتحديد مقدار استهلاك الطاقة في المباني ذات الطابع السكني قمنا بتصميم برنامج وهو برنامج خاص بالمساكن وتجهيزاتها حيث يقوم بتقدير الاستهلاك السنوي للطاقة (ب الكيلووات ساعي/م<sup>2</sup> سنويا) وتكلفتها من اجل تقييم افضل لفواتير الدفع مع الاخذ بعين الاعتبار التدفئة، تسخين المياه، التبريد و التهوية، عدد السكان والماخ المحلي والعزل الحراري.

نصائح للحد من استهلاك الطاقة وتوصيات للعمل تسمح بالحفاظ على الطاقة وتحسين اداء البناية اخذين بعين الاعتبار تكاليف الاشغال والمعدات.

الكلمات المفتاحية

OAPEC - التدقيق الطاقوي - طاقة - اقتصاد - استهلاك - تدفئة - تبريد - عزل

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Plage de confort thermique .....	7
Figure 2. Le flux de chaleur $\Phi$ dissipé à travers une paroi .....	10
Figure 3. Différents modes de transfert thermique .....	11
Figure 4. Transfert de chaleur par rayonnement .....	12
Figure 5. Transfert de chaleur par convection .....	13
Figure 6. Transfert de chaleur par conduction .....	14
C'est une caractéristique propre à chaque Figure 7. Conductivité thermique .....	14
Figure 8. Propagation de la chaleur pour différents matériaux en fonction du temps	17
Figure 9. Répartition en % des déperditions pour une maison et un immeuble.....	20
Figure 10. Perte de chaleur à travers un pont thermique .....	21
Figure 11. Ponts thermiques de liaisons .....	22
Figure 12. Ponts thermiques intégrés .....	22
Figure 13. Coefficient de transmission thermique $U_p$ d'une paroi .....	24
Figure 14. Résumé des principales valeurs qui permettent de caractériser les performances thermiques d'une paroi opaque .....	25
Figure 15. Facteur d'émission $\varepsilon$ des vitrages .....	26
Figure 16. Facteur solaire $g$ des vitrages.....	27
Figure 17. Transmission lumineuse $T_l$ des vitrages .....	27
Figure 18. Le coefficient de transmission thermique de vitrage $U_g$ .....	28
Figure 19. Exemple de $U_g$ pour différents types de vitrages .....	29
Figure 20. Le coefficient $U_w$ d'une fenêtre à double vitrage .....	30
Figure 21. Coefficient $U_{wf}$ d'une fenêtre + fermeture extérieure .....	31
Figure 22. Résumé des principaux coefficients qui permettent de caractériser les performances thermiques d'une paroi vitrée et sa fermeture .....	33
Figure 23. Répartition en % des infiltrations d'air dans une maison individuelle .....	34
Figure 24. Carte des zones climatique de l'Algérie .....	39
Figure 25. Isolation d'une paroi par l'extérieur « ITE » .....	46
Figure 26. Isolation d'une paroi par l'intérieur « ITI » .....	48
Figure 27. Le béton cellulaire .....	49
Figure 28. Bloc bimatières .....	50

Figure 29. Bloc monomurs en pierre ponce .....	50
Figure 30. Bloc monomurs en terre cuite .....	51
Figure 31. Etiquettes énergie du DPE .....	61
Figure 32. Les consommations d'énergie prise en compte dans la méthode 3CL....	62
Figure 33. Vu en plan .....	76
Figure 34. Ve en 3D .....	77
Figure 35. Interface de logiciel.....	79
Figure 36. Description du bâtiment.....	80
Figure 37. Description des murs.....	81
Figure 38. Locaux non chauffés .....	82
Figure 39. Description du plancher haut.....	83
Figure 40. Description du plancher bas .....	84
Figure 41. Les ouvertures du façade Nord .....	85
Figure 42. Les ouvertures du façade Sud.....	86
Figure 43. Description des portes.....	87
Figure 44. Description des ponts thermiques .....	88
Figure 45. Chauffage.....	89
Figure 46. Eau chaude sanitaire.....	90
Figure 47. Ventilation.....	91
Figure 48. Climatisation .....	92
Figure 49. Consommation d'énergie.....	93
Figure 50. Étiquettes énergétique et climatique.....	94
Figure 51. Déperditions .....	95

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Valeurs du facteur d'émission $\varepsilon$ .....	12
Tableau 2. Conductivité thermique de divers matériaux .....	15
Tableau 3. Conductivité thermique de divers matériaux.....	16
Tableau 4. $\Delta R$ en fonction de fermeture (règle Th-U fascicule 3).....	31
Tableau 5. Les valeurs de $\eta_{\min}$ en fonction du type de local .....	35
Tableau 6. Taux horaire de renouvellement d'air $\eta_{50}$ .....	36
Tableau 7. Facteur correctif de hauteur $\varepsilon$ .....	36
Tableau 8. Coefficient d'exposition $e$ du local chauffé .....	37
Tableau 9. Températures intérieures de base .....	39
Tableau 10. Les températures extérieures de base en fonction de l'altitude .....	41
Tableau 11. Conditions extérieures de base d'été .....	42
Tableau 12. Les conditions intérieures (confort d'été) .....	43
Tableau 13. Conditions intérieures (confort d'été) .....	68
Tableau 14. Ensoleillement reçu en Algérie par région climatique .....	69
Tableau 15. Données DPE .....	79

## Tableau de nomenclature

Notation	Désignation	Unité
R	Résistance thermique	$m^2.K.W^{-1}$
U	Coefficient de transmission thermique	$W.m^{-2}.K^{-1}$
C	Capacité calorifique	J/Kg.K
T	Température	°C ,K
$T_1 - T_2$	Ecart de température	°C ,K
BV	Besoins annuels de chauffage d'un logement	KWh
GV	Déperditions de l'enveloppe	W/K
DP	Déperdition par la paroi	W/K
UV,ue	Coefficient surfacique équivalent	-
b	Coefficient de réduction des déperditions	-
PT	Déperdition par les ponts thermiques	W/K
ITI	Isolation thermique intérieure	-
ITE	Isolation thermique extérieure	-
ITR	Isolation thermique répartie	-
DR	Déperditions par le renouvellement d'air	W/K
INT	Facteur d'intermittence	-
Cch	Consommation de chauffage	KWh
Bch	Besoin de chauffage	KWh
Fch	Facteur de couverture solaire pour le chauffage	-
ECS	Eau chaude sanitaire	-
Cecs	Consommation d'eau chaude sanitaire	KWh
Fei	Facteur d'ensoleillement	-
Sh	Surface habitable	$m^2$
Notation	Désignation	Unité
alt	Altitude	m

$U_g$	Coefficient de transmission thermique du vitrage	$W.m^{-2}.K^{-1}$
$U_w$	Coefficient de transmission thermique (vitrage + menuiserie)	$W.m^{-2}.K^{-1}$
$U_{jn}$	Coefficient de transmission thermique (vitrage + menuiserie + volet)	$W.m^{-2}.K^{-1}$
$\Delta R$	Résistance additionnelle	$m^2.K.W^{-1}$
$l$	Langueur	m
$k$	Valeur du pont thermique	-
$Text_{moy}$	Température extérieure moyenne du site	$^{\circ}C$
DHcor	Degrés-heures de chauffage corrigé	$^{\circ}C.h$
$A_i$	Apports internes dans le logement	KWh
$N_{ref}$	Nombre d'heures de la période de chauffage	h
$A_s$	Apports solaires	KWh
$S_{se}$	Surface transparente Sud équivalente	-
$E$	Ensoleillement reçu	$KWh.m^{-2}$
$h_{sp}$	Hauteur sous plafond	m
$F_{ts}$	Proportion d'énergie solaire	-
$Cl$	Coefficient d'orientation et d'inclinaison	-
$Pr$	Pertes récupérables	KWh
$R_{rp}$	Rendement de récupération des pertes	-
$V_s$	Le volume du ballon de stockage	L
$m$	La masse	Kg
$F$	Fraction des besoins de chauffage	
$Q_{vinf}$	Débit d'air dû aux infiltrations	$m^3/h$
$S_{dep}$	Surface des parois déprédatives	$m^2$
$C_2$	Facteurs de correction de l'altitude	-
$C_3$	Facteurs de correction de position par rapport à la mer.	-
$l_{ch}$	Inverse du rendement de l'installation	-
Notation	Désignation	Unité

Rg	Rendement conventionnel du générateur	-
Re	Rendement d'émission	-
Rd	Rendement de distribution	-
Rr	Rendement de régulation	-
Q	La quantité de chaleur sensible	J
c	La chaleur massique	J/Kg.°C
$\Delta t$	La période	s
$\frac{\Delta\theta}{\Delta x}$	Variation de la température par unité de longueur	°C/m

### Symboles grecques

$\theta_{cw}$	Température de l'eau froide	°C
$\eta_{50}$	Taux horaire de renouvellement d'air	h
$\Phi$	Flux de chaleur	W. m <sup>-2</sup>
$\rho$	Masse volumique	Kg/m <sup>3</sup>
$\lambda$	Conductivité thermique	W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
$\Psi$	Coefficient de transmission linéique	W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
$\varepsilon$	Emissivité du matériau	-
$\Delta$	Variation	-
$\varphi$	Densité de flux	W/s
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzmann	W. m <sup>-2</sup> .K <sup>-4</sup>
$\alpha$	Diffusivité	m <sup>2</sup> /s

# SOMMAIRE

Dédicace.....	ii
Remerciement.....	iii
Résumé.....	iv
Abstract.....	v
ملخص.....	vi
Liste des figures.....	vii
Liste des tableaux.....	viii
Tableau de nomenclatures.....	x
Symboles grecques.....	xii
Sommaire.....	xiii
Introduction générale.....	4
CHAPITRE I : THERMIQUE DU BATIMENT .....	4
I.1. generalités .....	5
I.2. Le confort dans la construction :.....	5
I.2.1. Historique :.....	5
I.2.2. Définition .....	6
I.2.3. Confort thermique.....	6
I.3. Principes de base de la thermique du bâtiment.....	8
I.3.1. Energie thermique « La chaleur » .....	8
I.3.2. Catégories de chaleur .....	8
I.3.2.1. Chaleur sensible .....	8
I.3.2.2. Chaleur latente.....	8
I.3.2.3. Température ressentie .....	9
I.3.3. Apports d'énergie dans les bâtiments .....	9
I.3.3.1. Apports intérieurs .....	9
I.3.3.2. Apports extérieurs .....	9
I.3.4. Flux de chaleur.....	9
I.3.5. Densité de flux $\varphi$ .....	10
I.3.6. Modes de transfert thermique.....	10

I.3.6.1. Rayonnement.....	11
I.3.6.2. Convection .....	12
I.3.6.3. Conduction .....	13
I.4. inertie thermique .....	16
I.4.1. Définition .....	16
I.4.2. Diffusivité thermique .....	16
I.4.3. Diffusivité thermique .....	17
I.4.4. Amélioration de l'inertie thermique .....	18
CHAPITRE II : DEPERDITIONS THERMIQUES.....	19
II.1. déperditions thermiques .....	20
II.1.1. Ponts thermiques : .....	20
II.1.1.1. Types des ponts thermiques : .....	21
II.1.1.2. Traitement des ponts thermiques.....	22
II.1.2. Déperditions thermiques dans une paroi opaque $DP_{paroi}$ : .....	23
II.1.3. Déperditions thermiques à travers les ouvertures .....	26
II.1.4. Déperditions par renouvellement d'air.....	34
II.1.5. Puissance de chauffage : .....	37
II.2. Climat Algérienne : .....	38
II.2.1. Zones climatiques de l'Algérie :.....	38
II.2.2. Conditions de climat : .....	39
II.2.2.1. Conditions intérieures de base :.....	39
II.2.2.2. Conditions extérieures de bases .....	40
CHAPITRE III : ISOLATION THERMIQUE.....	43
III.1. isolation thermiques.....	45
III.2.1. Historique .....	45
III.2.2. Définitions.....	46
III.2.3. Isolation extérieure « ITE ».....	46
III.2.3.1. Avantages de l'isolation extérieur.....	47
III.2.3.2. Inconvénients de l'isolation extérieur .....	47
III.2.4. Isolation intérieur « ITI » .....	47
III.2.4.1. Avantages de l'isolation intérieur.....	48
III.2.4.2. Inconvénients de l'isolation intérieur .....	48

III.2.5. Isolation répartie « ITR » .....	48
III.2.5. Caractéristiques des isolants.....	51
III.2.6. Classification des isolants .....	52
III.2.6.1. Les isolants minéraux .....	52
I.7.6.2. Les isolants synthétiques :.....	55
I.7.6.3. Les isolants végétaux.....	57
I.7.6.4. Les isolants animale.....	59
CHAPITRE IV : METHODE DE DIAGNOSTIC DE PERFORMANCE ENERGETIQUE 3CL.....	59
IV.1. Definition .....	61
IV.2. Plage d'application de la méthode 3CL .....	61
IV.3. données d'entrée de la méthode 3CL .....	62
IV.5. Modèles.....	65
IV.5.1. Expression du besoin de chauffage .....	65
IV.5.2. Calcul des déperditions de l'enveloppe GV.....	65
IV.5.2 Coefficient de réduction des déperditions b .....	66
IV.5.3. Coefficients U.....	66
IV.5.4. Déperditions par les ponts thermiques.....	66
IV.5.5. Déperditions par renouvellement d'air :.....	67
IV.5.6. Sollicitations environnementales :.....	68
IV.5.7. Surface Sud équivalente :.....	69
IV.5.8. Facteur d'intermittence INT :.....	70
IV.5.11. Consommations de refroidissement (climatisation).....	72
IV.5.12. Besoin d'eau chaude sanitaire :.....	72
IV.5.13. Consommation d'eau chaude sanitaire :.....	73
CHAPITRE IV : SIMULATION AVEC OAPEC.....	73
V.1. À propos du logiciel .....	75
V.2. Présentation du projet.....	76
V.3. Données d'entrer.....	78
V.4. simulation .....	79
V.4.1. Interface de logiciel .....	79
V.4.2. La description du bâti.....	80
V.4.3. Description des murs .....	81

V.4.4. Description du plancher haut .....	83
V.4.5. Description du plancher bas.....	84
V.4.6. Description des ouvertures .....	85
V.4.6.1. Façade Nord .....	85
V.4.6.2. Façade Sud .....	86
V.4.6.3. Description des portes .....	87
V.4.7. Description des ponts thermiques.....	88
V.4.8. Description des équipements.....	89
V.4.8.1. Chauffage .....	89
V.4.8.2. Eau chaude sanitaire .....	90
V.4.8.3. Ventilation .....	91
V.4.8.4. Climatisation .....	92
V.4.9. Résultats .....	93
V.4.9.1. Consommation d'énergie finale .....	93
V.4.9.2. Étiquettes énergétique et climatique.....	94
V.4.9.3. Déperditions.....	95
Conclusion et perspectives.....	95

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Règlements et Arrête Ministériel  
Organismes

# **INTRODUCTION GENERALE**

Le secteur du bâtiment est l'un des secteurs dont la consommation a un impact significatif sur la consommation globale d'énergie de notre pays soit 42% de la consommation finale **[APRUE]**.

Le bâtiment constitue probablement l'un des défis majeurs pour les prochaines décennies, non seulement pour l'Algérie, mais pour l'ensemble des pays du monde. En effet, avec les changements climatiques, nous avons des hivers de plus en plus rudes et des étés de plus en plus chauds. L'enjeu aujourd'hui est à la fois de préserver et d'améliorer le confort des citoyens et de réduire la consommation d'énergie par rapport, notamment au chauffage et à la climatisation.

Les foyers Algériens consomment presque dix fois plus d'électricité par rapport aux normes internationales et deux fois plus que la moyenne des pays maghrébins, selon l'Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie « APRUE ». En moyenne, un foyer algérien consomme entre 1 800 à 2 500 kilowatt-heure/an/habitant alors que la norme est de 200 à 250 kilowatt-heure/an. Il consomme aussi le double de la consommation d'un foyer d'autres pays du Maghreb a précisé un responsable de cette agence lors d'un séminaire sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment tenu le 2 février 2016 à Alger.

Avec une population estimée à 39,5 millions d'habitants au 1er janvier 2015, selon l'Office National des Statistiques « ONS », la consommation de l'Algérie en énergie a atteint 56 millions de tonnes équivalent pétrole (TEP) en 2014, pour une valeur avoisinant les 41 milliards de dollars US. En 2030, la demande énergétique risque de doubler dans les quinze (15) années à venir, et donc d'atteindre probablement près de 80 milliards de dollars US, d'autant plus que la consommation en gaz et en électricité connaît un rythme de croissance annuel de 14% à 18%. A noter que la forte hausse des besoins énergétiques, au niveau national, se traduira forcément par une diminution des exportations algériennes, et donc par une diminution des recettes financières si, parallèlement, aucun effort allant dans le sens de l'économie de l'énergie ne serait entrepris.

L'Algérie s'est engagée à améliorer la performance énergétique des bâtiments avec un programme appelé le Programme Algérien de Développement des Energies Nouvelles et Renouvelables et de l'Efficacité Energétique « 2016-2030 » **[APRUE]**.

Le programme vise à encourager la mise en œuvre des pratiques et des technologies innovantes, autour de l'isolation thermique des constructions. Des mesures adéquates seront prévues au niveau de la phase de conception architecturale des logements.

- Il s'agit de favoriser la pénétration massive des équipements et appareils performants sur le marché local, notamment les chauffe-eaux solaires et les lampes économiques : l'objectif étant d'améliorer le confort intérieur des logements en utilisant moins d'énergie.

- La mise en place d'une industrie locale des isolants thermiques et des équipements et appareils performants « chauffe-eaux solaires, lampes économiques, ... » constitue l'un des atouts pour le développement de l'efficacité énergétique dans ce secteur.

Globalement, c'est plus de 30 MTEP qui seront économisées, d'ici 2030 [APRUE].

C'est ainsi que ce sujet « Diagnostic de Performance Energétique » est né et il m'a été proposé par mes deux encadreurs. Il s'agit de la mise en œuvre d'un outil de calcul des consommations d'énergie d'une habitation à l'image du modèle existant à l'étranger mais selon les spécificités de notre pays et donner des recommandations afin de réduire cette consommation pour préserver les ressources énergétiques de notre pays.

Notre travail est d'élaborer un logiciel de calcul selon la méthode 3CL (méthode française). Cet outil sera adapté au climat Algérien et nous permettra d'évaluer les consommations énergétiques en (KWh/m<sup>2</sup>/an) et ainsi que leur impact sur les émissions des gaz à effet de serre en (KgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an).

**Le premier chapitre** sera consacré à la thermique du bâtiment. Il abordera principalement la notion de confort thermique tout en détaillant les principes de base de la thermique du bâtiment. Les différents paramètres utiles dans la thermique des structures tel que le principe de l'échange de chaleur, le flux de chaleur, l'inertie thermique des bâtiments, la résistance et la conductivité thermique seront ainsi traités.

**Le deuxième** chapitre, sera consacré dans un premier temps au calcul des différents types des déperdition calorifiques suivant les DTR C3-2 et C3-4 « Règlement thermique des bâtiments d'habitation et règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments » et dans un deuxième temps, un aperçu des différentes zones climatiques de territoire Algérien sera donné.

**Le troisième chapitre**, traitera des différents types d'isolation thermique qu'elles soient intérieures ou extérieures tout en donnant les avantages et les inconvénients de chacune d'elles avec une classification des isolants avec des exemples.

**Le quatrième chapitre**, sera entièrement consacré à la présentation de la méthode 3CL tout en décrivant en détail les différentes étapes de calculs et en donnant des informations que l'on doit collecter sur la structure pour réaliser le diagnostic.

Dans le **cinquième chapitre** Nous allons traiter à titre d'exemple un projet de maison individuelle qui se situe à Tlemcen avenue **OAPEC**

En fin, une **conclusion** générale sera donnée sur le processus d'élaboration de ce premier outil de Diagnostic énergétique dans notre pays, puis on terminera par des **perspectives** afin que dans le futur, le travail soit achevé à 100%.

**CHAPITRE I**  
**THERMIQUE DU BATIME**

## I.1. GENERALITES

La thermique du bâtiment est une discipline de la thermique. Elle a pour but d'estimer les besoins (ou les consommations) énergétiques des bâtiments (chauffage, climatisation, production d'eau chaude sanitaire, ...). Elle est principalement concernée par les principe d'isolation thermique et de ventilation .

La thermique du bâtiment consiste à définir les déperditions thermiques entre le bâtiment et le milieu extérieur.

Cette analyse va reposer sur toute une série de facteurs qui sont **[1]** :

- **Les facteurs environnementaux** : l'emplacement géographique d'un bâtiment (longitude, latitude, altitude) et les données climatiques afférentes, l'implantation générale du bâtiment ainsi que la nature du sol.
- **Les facteurs fonctionnels** : deux bâtiments ne sont pas identiques par leur fonction, la chaleur à délivrer, l'eau à chauffer, l'humidité à évacuer varient d'une affectation à l'autre. Dans le cas de l'éclairage, l'usage de machines et ordinateurs, les équipements électroménagers produisent plus ou moins de chaleur, qu'il faut ajouter au bilan thermique.
- **Les facteurs liés à la nature des matériaux et composants employés dans la construction du bâtiment** : les parois extérieures, murs, planchers et toitures sont considérés comme des surfaces d'échange thermique que l'on doit considérer relativement à leur orientation, leurs dimensions physiques, les matériaux de construction employés considérés dans leur épaisseur et leurs propriétés thermiques. Lorsqu'il s'agit de surfaces vitrées, on doit tenir compte de la transmittance des vitres et d'envisager l'exposition au soleil. En effet, les parois sont considérées plus ou moins étanches ou perméables à l'air, sources de déperditions thermiques. Dans le cas des parois intérieures, elles sont considérées dans leur masse et elles contribuent à ce qu'on appelle l'inertie thermique et le déphasage thermique, c'est-à-dire la capacité à accumuler et d'autre-part à restituer à court ou moyen terme la chaleur accumulée.

## I.2. LE CONFORT DANS LA CONSTRUCTION :

### I.2.1. Historique :

Le confort de l'Antiquité et du Moyen Age était celui de l'espace. Le confort d'avant la Révolution industrielle celui de l'ornement. Dans les pays industrialisés, au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, le confort a été associé presque uniquement à l'équipement sanitaire.

### I.2.2. Définition

Le confort désigne l'état de satisfaction du corps humain en fonction de son environnement, et puisque on passe plus de 80% du temps à l'intérieur (à la maison, au bureau, au magasin, ...) alors l'environnement représente dans ce cas les bâtiments (résidentielle ou tertiaire). Le confort dans le bâtiment ça pourrait être thermique, visuelle, acoustique, ou bien respiratoire.

### I.2.3. Confort thermique

La définition du confort thermique est ainsi d'une grande importance pour le bâtiment afin de lui permettre d'atteindre ses objectifs de fonctionnalité tout en justifiant, à tort ou à raison, l'installation des équipements d'ambiance (chauffage, ventilation et climatisation). Exposé à un environnement thermique, le corps humain réagit par une interaction dynamique mobilisant un ensemble de réactions rétroactives, volontaires et involontaires, qui permettent de contrôler les échanges thermiques avec cet environnement afin de satisfaire les exigences de l'homéothermie. Selon l'intensité des échanges thermiques et des réactions mis en jeu dans un environnement donné, le corps peut éprouver une sensation de neutralité thermique, de tiédeur ou de fraîcheur. Il peut avoir chaud ou froid dans des conditions extrêmes qui peuvent le plonger dans une hyperthermie ou hypothermie lors d'une exposition prolongée mettant en péril sa vie [2].

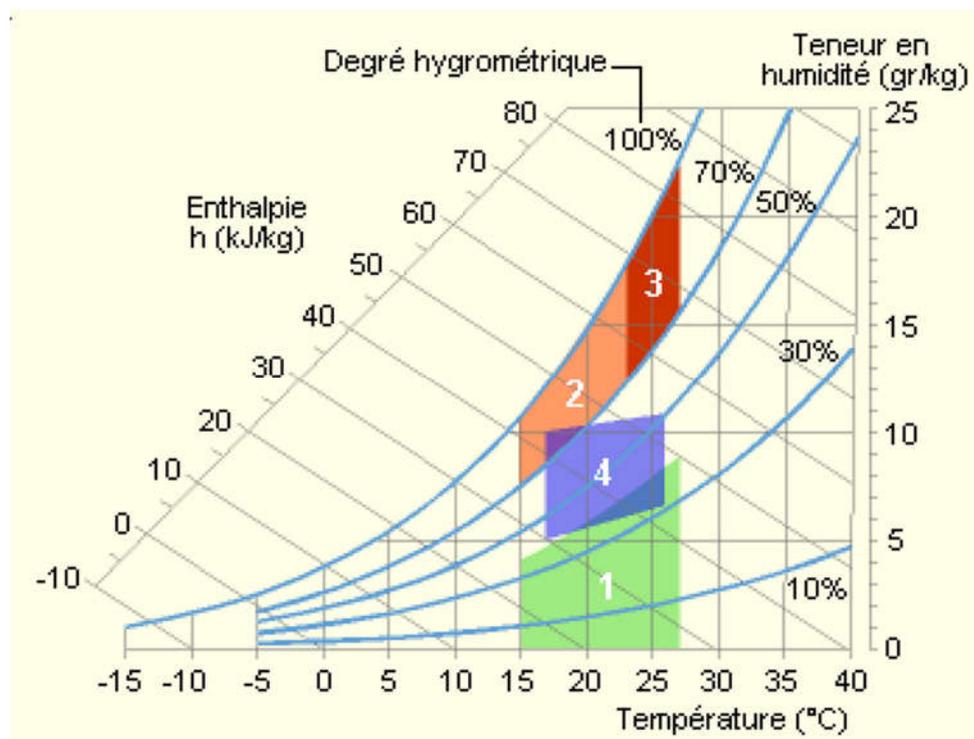
Le confort thermique concerne principalement la température intérieure des pièces, sa répartition harmonieuse dans l'espace et la qualité de l'air ambiant (taux d'humidité, propreté, salubrité).

Pendant les périodes froides, il est raisonnable de vivre dans les pièces principales à une température de 19 à 20 °C, avec un taux d'humidité relatif à 50 %. Pour accéder à ce confort tout en maîtrisant les consommations d'énergie, il convient de chauffer raisonnablement, d'avoir des portes et fenêtres bien étanches, de renforcer l'isolation thermique de chacune des parois du bâtiment et de maintenir un bon renouvellement d'air.

Le confort thermique varie d'une personne à une autre suivant plusieurs paramètres tel que l'âge, le sexe, l'emplacement géographique .... Il dépend de 6 paramètres [3] :

- **Le métabolisme** : c'est la production de chaleur interne permettant de maintenir la température du corps autour de 37°C.
- **L'habillement** : il représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.
- **La température de l'air ambiant** : les deux objectifs principaux sont de maintenir la température de l'air intérieur stable face aux écarts de température extérieure, et de créer une certaine homogénéité de température dans l'espace.

- **La température des parois** : Les parois froides entraînent des déperditions thermiques du corps humain par rayonnement avec ces parois ce qui crée une sensation d'inconfort thermique et oblige à élever la température de l'air pour compenser cet inconfort.
- **Les mouvements de l'air** : En hiver, la température de l'air intérieur étant inférieure à celle de la peau (33°C), l'air en mouvement permet d'augmenter les déperditions thermiques par convection au niveau de la peau, d'où l'intérêt de diminuer les courants d'air ; au contraire en été on a intérêt à créer des courants d'air pour rafraîchir la maison.
- **L'humidité relative de l'air** : l'humidité est due principalement à l'occupation humaine, l'activité des habitants et l'humidité extérieure. Une ventilation adaptée permet de résoudre ce problème. L'inconfort n'apparaît que pour une humidité relative inférieure à 30% ou supérieure à 70%.



**Figure 1. Plage de confort thermique [4]**

- 1 : Zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.  
 2 et 3 : Zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de microchampignons.  
 3 : Zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.  
 4 : Polygone de confort hygrothermique.

Alors pour un confort optimal et pour une température de l'air aux environs de 22 °C, on peut dès lors recommander que l'humidité relative soit gardée entre 40 et 65 %.

## I.3. PRINCIPES DE BASE DE LA THERMIQUE DU BATIMENT

### I.3.1. Energie thermique « La chaleur »

L'énergie thermique se manifeste sous forme de chaleur. Les atomes qui forment leurs molécules sont en mouvement constant puisqu'ils continuent à se déplacer ou à vibrer. Ce mouvement implique une certaine énergie cinétique des atomes que nous appelons chaleur ou énergie thermique.

Plus la température d'un élément augmente et plus l'énergie thermique de celui-ci fait de même. Pourtant, si l'énergie thermique d'un corps augmente, sa température n'augmente pas de façon systématique car l'énergie thermique peut passer d'un corps à un autre par radiation, conduction ou par convection.

L'énergie se mesure en joules « J » dans le Système International bien que lorsqu'il s'agit d'énergie thermique, il est habituel de parler de calories « cal » qui correspondent à la quantité d'énergie nécessaire pour élever la température de chaque gramme d'eau d'un degré Celsius. Une calorie équivaut à 4,184 joules

### I.3.2. Catégories de chaleur

#### I.3.2.1. Chaleur sensible

C'est la chaleur fournie pour varier la température du corps de T1 à T2

$$Q = m \cdot c \cdot (T1 - T2)$$

Elle correspond à un écart de Température d'un corps dans le même état.

Q : La quantité de chaleur sensible en J

c : La chaleur massique, en J /kg(°C) (appelée aussi capacité thermique massique ). c peut dépendre de la Température (on considérera alors sa valeur moyenne entre T1 et T2 ).

mc = C : capacité calorifique du corps (en J (°C)-1), est la quantité de chaleur nécessaire pour élever la Température d'un corps de 1°C.

#### I.3.2.2. Chaleur latente

Tous les corps purs sont capables de modifier leur état. Les solides peuvent devenir des liquides (glace en eau) et les liquides peuvent devenir des gaz (eau en vapeur), mais ces transformations nécessitent l'ajout ou le retrait de chaleur. La chaleur qui provoque ces transformations est appelée chaleur latente.

La chaleur qui provoque un changement d'état sans modifier la température est appelée chaleur latente [1]. Pour un corps de masse m :

$$Q = m \cdot L \text{ avec } L \text{ en cal/g}$$

Il existe plusieurs types de chaleur latentes :

- Chaleur latente de liquéfaction.

- Chaleur latente de vaporisation.
- Chaleur latente de condensation.
- Chaleur latente de solidification.

### I.3.2.3. Température ressentie

$$T^{\circ}_r = \frac{T^{\circ} \text{ de la pièce} + T^{\circ} \text{ de la paroi}}{2}$$

Pour éviter le phénomène de la paroi froide (ou chaude), il faut isoler l'habitation. Pour atteindre une même  $T^{\circ}$  ressentie de 18°C il faut chauffer la pièce jusqu'à environ : 22°C en pièce non isolée et 19°C en pièce isolée.

**À savoir 1°C de moins c'est 7% d'économie d'énergie.**

## I.3.3. Apports d'énergie dans les bâtiments [1]

### I.3.3.1. Apports intérieurs

Le chauffage et la climatisation sont des sources importantes des apports intérieurs, on prendra un soin tout particulier au rendement énergétique des systèmes de chauffage et de climatisation.

La respiration et le rayonnement humains, l'électroménager et le multimédia sont aussi des sources potentielles d'apport énergétique.

### I.3.3.2. Apports extérieurs

L'ensoleillement est une source importante d'apport énergétique. Les choix de l'orientation et des menuiseries (fenêtres et portes fenêtres) deviennent primordiaux dans la dynamique énergétique. Il existe différents types d'apports solaires :

- **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 m<sup>2</sup> de surface au soleil équivalent à un radiateur. Pour se prémunir de ces risques, une seule solution : les protections solaires.
- **Apports solaires indirects** : ils correspondent aux apports solaires indirects aux rayonnements qui pénètrent par les murs extérieurs et par les autres éléments constructifs du logement (pont thermique notamment).

## I.3.4. Flux de chaleur

Le flux de chaleur  $\Phi$  (Flux thermique) est défini comme étant la quantité de chaleur transférée dans un corps Q pendant une période  $\Delta t$ , il traduit la puissance thermique traversant le matériau.

Le transfert d'énergie est réalisé du corps le plus chaud vers le corps le plus froid, donc le sens du flux est toujours de  $T_i$  vers  $T_j$  tel que  $T_i > T_j$ .

Si  $T_i = T_j$  alors c'est l'équilibre thermique.

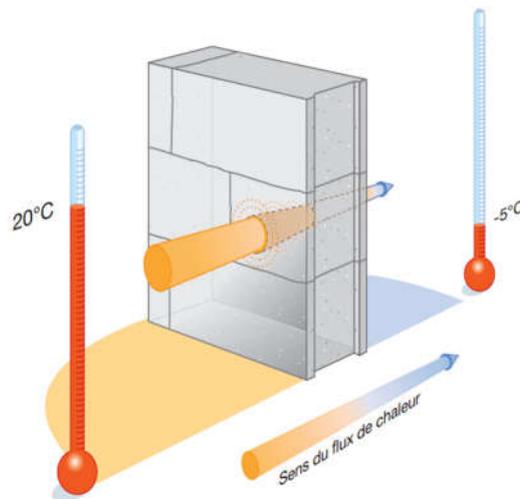
Il est donné par la formule :

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

$\Phi$  : le flux de chaleur exprimé en watt (w).

$Q$  : la quantité de chaleur transférées en J.

$\Delta t$  : la période (temps) exprimé en (s).



**Figure 2. Le flux de chaleur  $\Phi$  dissipé à travers une paroi [5]**

### **I.3.5. Densité de flux $\varphi$**

La densité de flux correspond au flux de chaleur transmis d'un milieu à un autre par unité de surface.

$$\varphi = \frac{\Phi}{S}$$

$\varphi$  : la densité de flux elle est exprimée en (w/m<sup>2</sup>).

$\Phi$  : le flux thermique en W

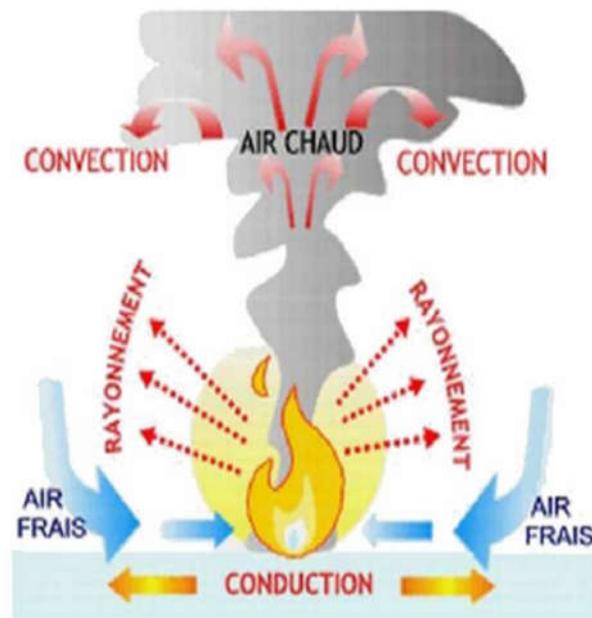
$S$  : le surface en m<sup>2</sup>.

### **I.3.6. Modes de transfert thermique**

Lorsque deux éléments (paroi, toiture, ... et le milieu extérieur) sont à températures différentes, un échange de chaleur s'établit jusqu'à ce que les températures des deux éléments soient identiques. Il est donc nécessaire d'empêcher ce transfert avec des rénovations des bâtiments existants et même pour les bâtiments

neufs, l'objectif de l'isolation est donc d'amorti ce transfert voir l'éliminer si c'est possible.

Dans le domaine de bâtiment, les échanges thermiques de la chaleur se font principalement selon 3 modes de transmission : la conduction « majoritaire », la convection et le rayonnement.



**Figure 3. Différents modes de transfert thermique [6]**

### I.3.6.1. Rayonnement

Le transfert de l'énergie thermique par radiation se produit à travers d'ondes électromagnétiques. C'est de la même façon que nous recevons l'énergie thermique qui provient du soleil.

Il se manifeste quand des corps chauds émettent des rayons porteurs d'énergie qui sont absorbés par d'autres corps et alors transformés en chaleur. Au niveau d'une paroi, le rayonnement se traduit par celui des émetteurs de chaleur cédant leur chaleur à la paroi.

Suivant la loi de Stefan, le flux de chaleur échangé par rayonnement entre les deux surfaces peut s'écrire :

$$\Phi_{ray} = \epsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot (T_s^4 - T_a^4)$$

$\Phi_{ray}$  : le flux thermique par rayonnement exprimé en W.

S : surface d'échange en m<sup>2</sup>.

$\sigma$  : constante de Stefan-Boltzmann égale à :  $5,67 \cdot 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>.

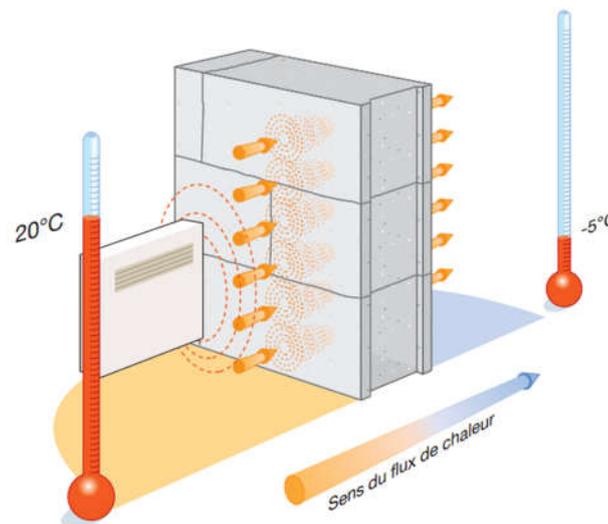
$T_s$  : température de la surface du mur en Kelvin K.

$T_a$ : température ambiante en Kelvin K.

$\varepsilon$  : facteur d'émission ou émissivité du matériau.

Matériaux	Facteur d'émission $\varepsilon$
Acier	0,79
Ciment	0,96
Brique	0,75
Béton	0,93
Liège	0,93
Enduit	0,93
Verre	0,94
Aluminium	0,04
Cuivre	0,05

**Tableau 1. Valeurs du facteur d'émission  $\varepsilon$  [7]**



**Figure 4. Transfert de chaleur par rayonnement [5]**

### I.3.6.2. Convection

Le transfert de l'énergie thermique par convection se produit lorsqu'il existe un transfert de molécules comme dans le cas du vent qui déplace des molécules chaudes d'un endroit à l'autre.

Au niveau d'une paroi, c'est le mouvement de l'air provoqué quand la température de ce dernier est différente de celle de la paroi. Le local chauffé cède de la chaleur à la paroi par convection.

Le flux de chaleur par convection est donné par la loi de Newton par la formule :

$$\Phi_{conv} = h_c \cdot S \cdot (T_1 - T_2)$$

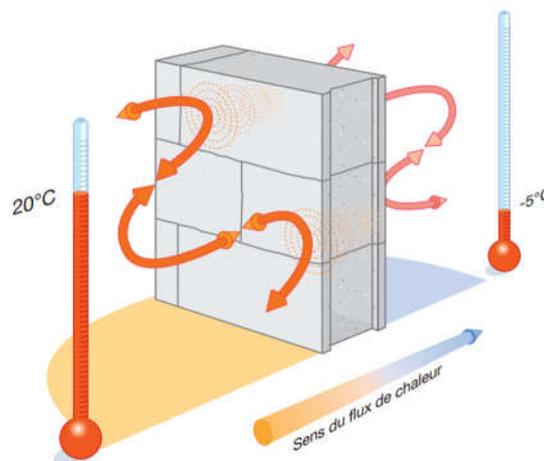
$\Phi_{conv}$  : flux thermique par convection exprimé en W.

$S$  : surface de l'élément considéré en  $m^2$ .

$T_1 - T_2$  : la différence des températures intérieure et extérieure en °C.

$h_c$  : coefficient de transmission thermique par convection exprimé en  $W/m^2\text{°C}$  et qui dépend de :

- La vitesse de circulation du fluide.
- L'écart des températures  $T_1 - T_2$ .
- La nature du fluide.



**Figure 5. Transfert de chaleur par convection [5]**

### I.3.6.3. Conduction

Le transfert de l'énergie thermique par conduction se réalise lorsqu'un corps chaud est en contact physique avec un corps d'une température plus froide. L'énergie se transmet toujours depuis un corps chaud vers un corps froid. Si les deux corps sont à la même température, il n'existe aucun transfert énergétique. Au moment de toucher un morceau de glace avec la main, une partie de l'énergie thermique de notre main se transmet à la glace, c'est pourquoi il y a une sensation de froid.

Elle est la transmission d'énergie ou de chaleur par la matière même de la paroi (sa partie solide). On dit qu'une paroi conduit plus ou moins bien la chaleur selon sa résistance thermique.

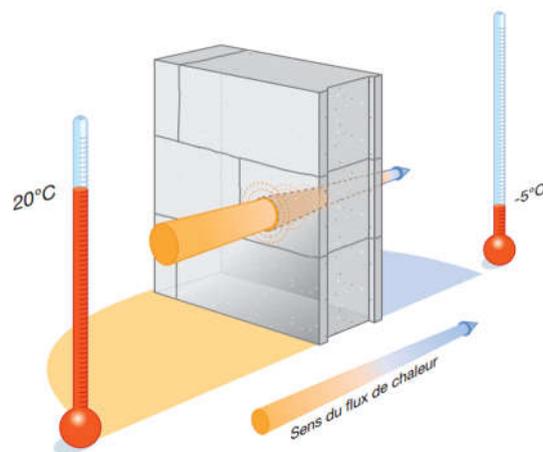
L'échange de la chaleur par conduction est calculé d'après la loi de Fourier par la formule :

$$\Phi_{cond} = -\lambda \cdot S \cdot \frac{\Delta\theta}{\Delta x}$$

S : surface de l'élément considéré en m<sup>2</sup>.

$\frac{\Delta\theta}{\Delta x}$  : variation de la température par unité de longueur lorsqu'on se déplace dans la direction de propagation de la chaleur.

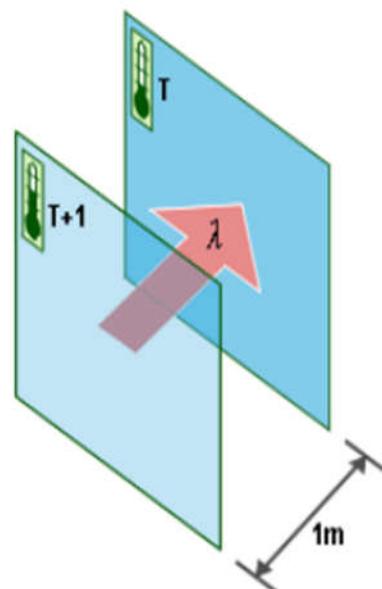
$\lambda$  : la conductivité thermique du matériau exprimé en W/m.°C.



**Figure 6. Transfert de chaleur par conduction [5]**

### **Conductivité thermique $\lambda$**

Tous les matériaux de construction possèdent une conductivité thermique  $\lambda$ , on utilise ce coefficient  $\lambda$  pour classer les matériaux il est exprimé en (W/m.K ou W/m.°C) elle représente la quantité de chaleur qui se propage à travers 1 m<sup>2</sup> d'un matériau, épais d'un 1 m, lorsque la différence de température entre les deux faces est de 1 K (1 °C), dans un instant donné. C'est une caractéristique propre à chaque



**Figure 7. Conductivité thermique [7]**

matériau plus la valeur de  $\lambda$  est importante plus le matériau est conducteur et inversement plus  $\lambda$  est faible plus le matériau est isolant. Un matériau est considéré isolant si son coefficient de conductivité thermique  $\lambda$  est inférieur à 0,06 W/m<sup>2</sup>.K. La valeur de  $\lambda$  varie en fonction de l'humidité, un matériau isolant en contact avec une fuite ou une infiltration perdre un très grand parti de sa capacité d'isolation.

Matériaux	Conductivité thermique $\lambda$ (W/m.K)
Cuivre	380
Acier	50
Granite	3,5
Calcaire	1,7
Béton	1,4
Verre	1,16
Terre cuite	1,15
Plâtre	0,46
PVC	0,17
Polystyrène expansé	0,04 à 0,032
Laine minérale	0,04 à 0,032
Air non ventilé	0,025
Vide	0,0022

**Tableau 2. Conductivité thermique de divers matériaux [8]**

### **Résistance thermique**

Elle est la capacité d'un matériau à ralentir le transfert de chaleur, la résistance thermique d'un matériau est le rapport entre son épaisseur  $e$  en (m) et sa conductivité thermique  $\lambda$  tel que  $R = e/\lambda$  exprimé en m<sup>2</sup>.K/W, donc la résistance thermique R d'un matériau dépend d'une manière directe avec son épaisseur puisque la conductivité thermique est constante. Dans la pratique elle caractérise la capacité d'une paroi à s'opposer au passage de chaleur. La résistance thermique d'une paroi hétérogène est la somme des résistances de chaque matériau. Tous isolant à une résistance thermique supérieure ou égale 0,5 m<sup>2</sup>.K/W.

## I.4. INERTIE THERMIQUE

### I.4.1. Définition

L'inertie thermique c'est la vitesse avec laquelle le bâtiment réagit aux perturbations thermiques de son environnement. La réponse du bâtiment face aux sollicitations environnementales dépend au surtout aux propriétés thermiques des matériaux qu'ils le constituent. Les bâtiments réagissent différemment en fonction de leurs capacités à stocker et véhiculer la chaleur ce qui conduit au deux phénomènes la diffusivité et l'effusivité thermique.

### I.4.2. Diffusivité thermique

La propagation de chaleur dans un matériau dépend de sa diffusivité thermique, elle se traduit par le rapport entre la conductivité thermique  $\lambda$  en  $W/(m.K)$  et la capacité calorifique volumique :

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho c}$$

$\rho$  : La masse volumique en  $kg/m^3$ .

$c$  : La capacité calorifique en  $J/(kg.K)$ .

$\rho c$  : La capacité calorifique volumique exprimé en  $J/(m^3.K)$ .

$\alpha$  : La diffusivité exprimé en  $m^2/s$  et détermine la vitesse avec laquelle la chaleur se propage dans un matériau.

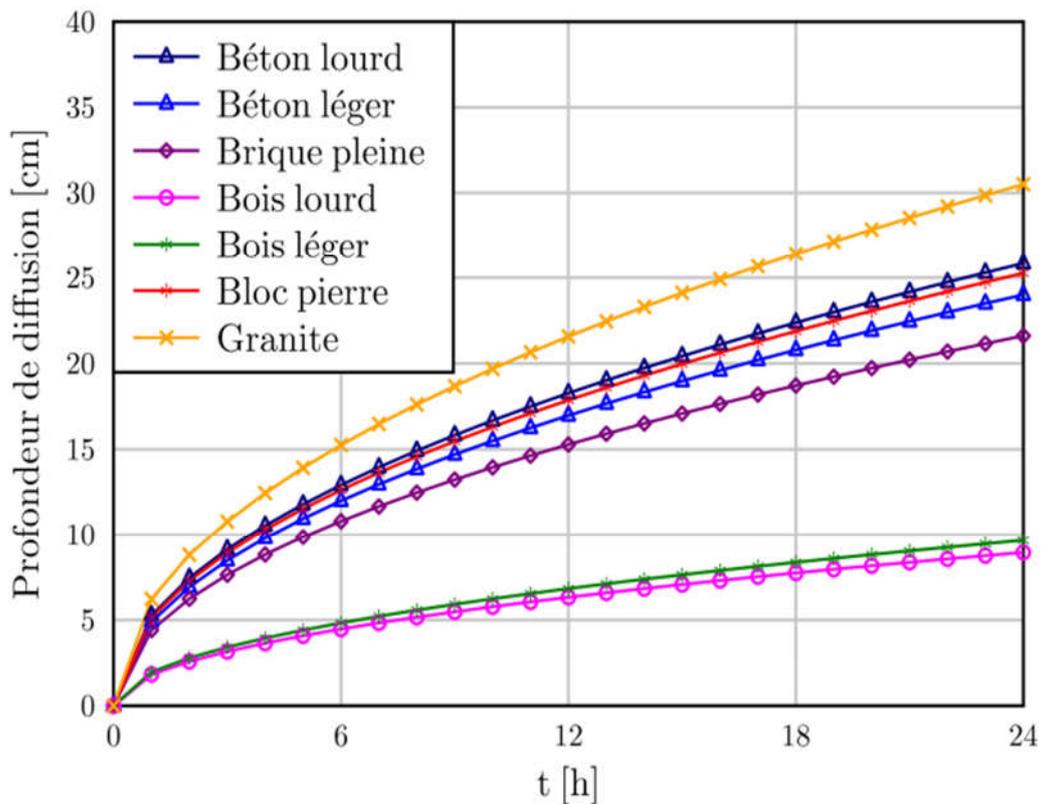
Matériaux de construction	$\rho$ ( $kg/m^3$ )	$c$ ( $J/kg.K$ )	$\alpha$ ( $m^2/s$ )
Béton lourd	2200	1000	$7,72.10^{-7}$
Béton léger	1500	1000	$6,77.10^{-7}$
Brique pleine	1850	1000	$5,4.10^{-7}$
Acier	7850	2700	$1,4.10^{-7}$
Aluminium	2700	921	$9,88.10^{-7}$
Air	1,290	1004	$1,94.10^{-5}$
Granite	2600	1000	$1,07.10^{-6}$
Verre	2300	837	$5,43.10^{-6}$
Polystyrène	38	1130	$7,65.10^{-7}$

**Tableau 3. Conductivité thermique de divers matériaux [9]**

Dans une période du temps  $t$ , la chaleur pénètre dans un matériau avec une profondeur bien définie en fonction de la diffusivité thermique du matériau.

Par exemple, en supposant une durée d'ensoleillement sur un cycle journalier égale à 12 h, l'épaisseur caractéristique atteinte est de 18 cm pour le béton lourd, de 6.7 cm pour le bois lourd et de 21.6 cm pour le granite.

Alors en conclue que la diffusivité thermique est dépendue des caractéristiques thermiques du matériau (la conductivité thermique  $\lambda$ , la masse volumique  $\rho$ , l'épaisseur, la capacité calorifique  $c$  et la quantité de chaleur).



**Figure 8. Propagation de la chaleur pour différents matériaux en fonction du temps [10]**

#### I.4.3. Diffusivité thermique [10]

L'effusivité est la capacité d'un matériau à absorber l'énergie et la restituer. Elle évolue en fonction de la conductivité thermique et de la capacité calorifique et s'exprime en  $W \cdot s^{1/2} / (m^2 \cdot K)$ . Elle est calculée par la formule :

$$b = \sqrt{\lambda \rho c}$$

Le comportement ou la réaction des couches superficielles des parois, en particulier au niveau des surfaces à l'intérieur de la pièce est caractérisé par l'effusivité du matériau qui les constitue.

À la différence de la diffusivité thermique qui décrit la rapidité du déplacement de la chaleur à travers la masse d'un matériau, l'effusivité décrit la rapidité avec laquelle un matériau absorbe la chaleur. Ainsi une effusivité élevée limite les valeurs du gradient de température.

La diffusivité et l'effusivité thermiques donnent une information importante sur la transmission de la chaleur à l'échelle d'un matériau. Lorsqu'on passe à l'échelle des parois multicouches, l'assemblage des matériaux a aussi une influence non négligeable qui modifie totalement le comportement énergétique global de celles-ci. On introduit alors d'autres paramètres servant à les caractériser comme l'admittance, le déphasage, la constante de temps et la capacité calorifique.

#### **I.4.4. Amélioration de l'inertie thermique**

L'isolation par l'intérieur annule les effets bénéfiques de l'inertie, donc on peut opter à des contre cloisons en brique, en carreaux en plâtre ou en béton cellulaire d'une épaisseur minimal de 5 cm.

Les éléments de construction intérieures jouent également un rôle important dans l'inertie d'absorption du fait que leur superficie d'échange importante (deux faces pour une cloison ou un mur de refend au lieu d'une seule face pour un mur extérieur). Il est donc possible d'améliorer l'inertie grâce aux cloisons, aux murs de refend et aux

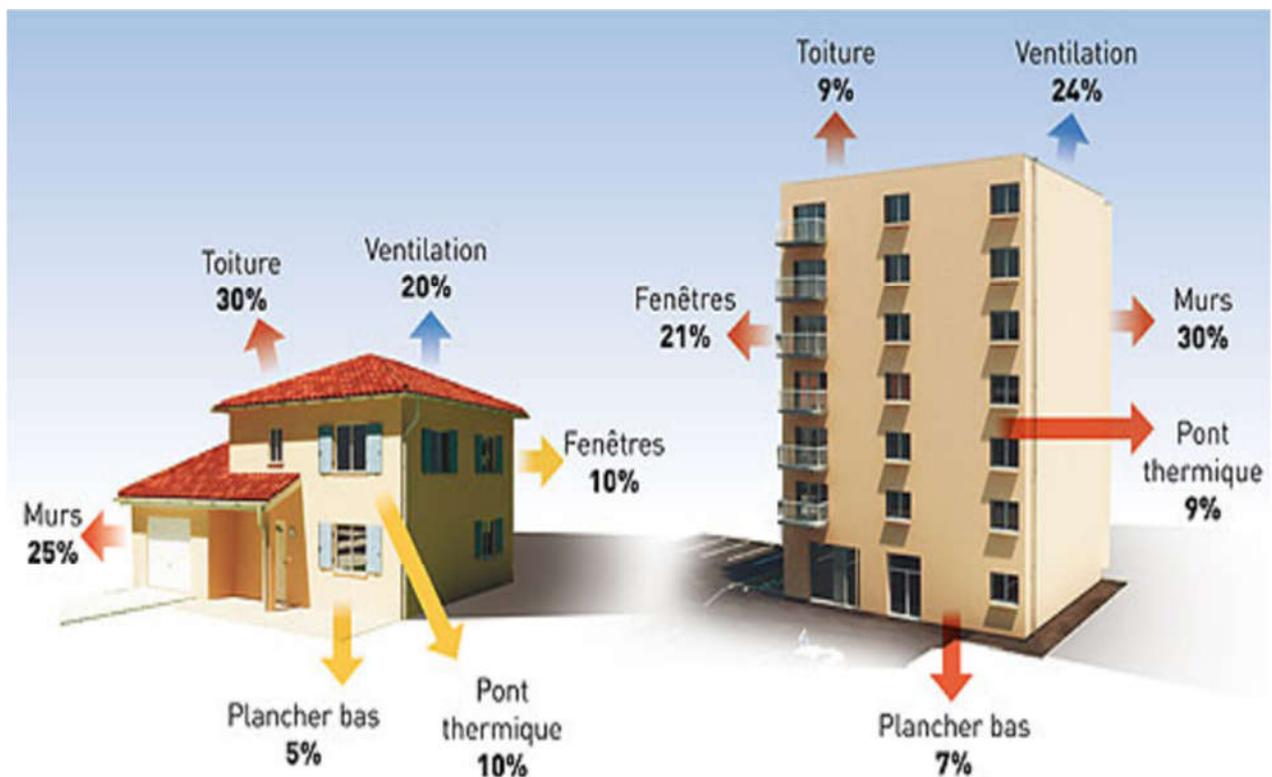
**CHAPITRE II**  
**DEPERDITIONS THERMIQUES**

## II.1. DEPERDITIONS THERMIQUES

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

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.



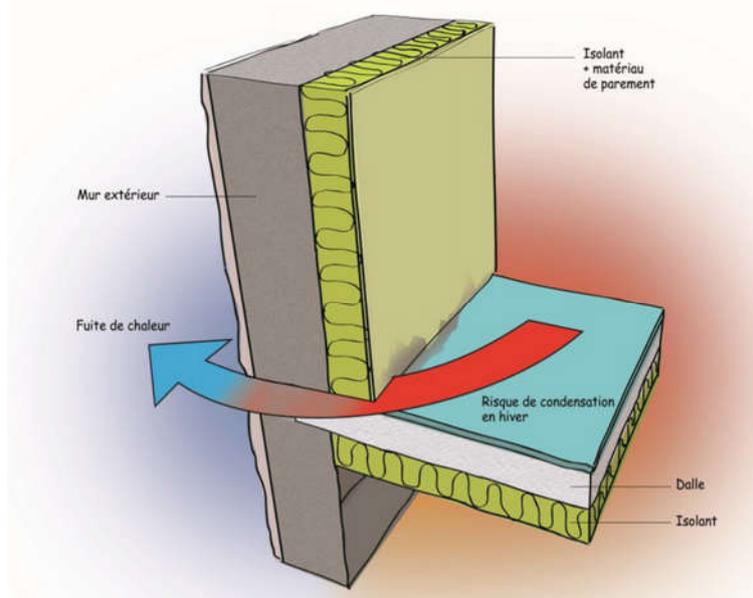
**Figure 9. Répartition en % des déperditions pour une maison et un immeuble [11]**

### II.1.1. Ponts thermiques :

Un pont thermique est une partie de l'enveloppe du bâtiment où il y a une variation de la résistance thermique (une modification sensible par une absence ou une réduction locale de l'isolation thermique), sont généralement des déperditions provoquées par des liaisons d'éléments constructifs entre eux (dalle, mur, menuiserie,

poutres...). Les ponts thermiques sont caractérisés dans la plupart des cas par une valeur linéique  $\psi$  et exprimée en (W/m K). Certains ponts thermiques dits ponctuels, comme les poteaux, ont une valeur unitaire nommée  $\chi$  qui est exprimée en W/K.

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. [1].

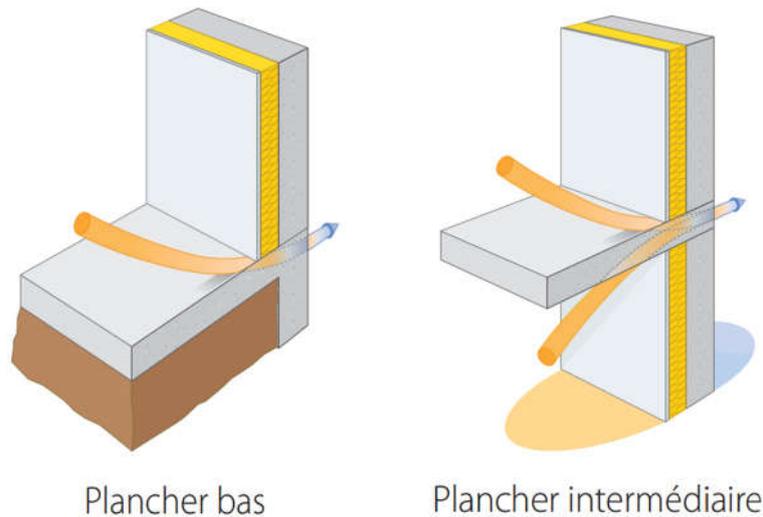


**Figure 10. Perte de chaleur à travers un pont thermique [33]**

#### II.1.1.1. Types des ponts thermiques :

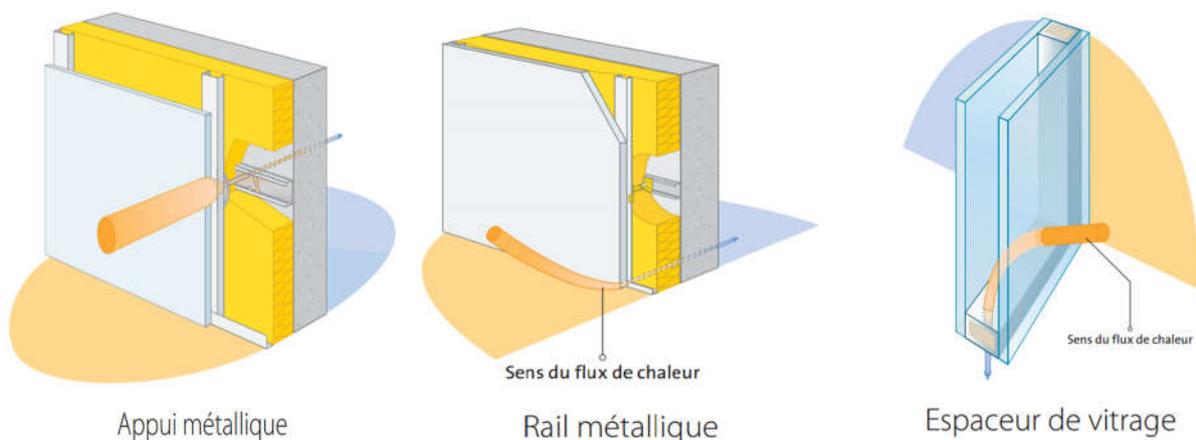
Il existe deux grands types de ponts thermiques :

- **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 11. Ponts thermiques de liaisons [5]**

- **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 12. Ponts thermiques intégrés [5]**

#### II.1.1.2. Traitement des ponts thermiques

Il est possible de combattre les ponts thermiques malgré qu'ils ne sont pas une fatalité pour limiter au maximum leurs effets voir les éliminer. Les solutions pour lutter contre les ponts thermiques sont les suivantes :

- **Efforts à la conception** : lors de la conception des la construction, on prévoit des solutions techniques afin d'empêcher les ponts thermiques. On peut éliminer une bonne partie des déperditions sur ce poste.

- **Choix des matériaux et le recours à l'isolation répartie** : les matériaux à isolation répartie sont des matériaux qui remplissent à la fois la fonction de structure porteuse et d'isolation. A titre d'exemple, les structures à ossature bois sont également considérées comme des matériaux à isolation répartie. En effet, ce mode constructif permet de s'affranchir des ponts thermiques.
- **Isolation par l'extérieur** : elle permet de minimiser les ponts thermiques (surtout en collectif ou sur les maisons à étage) pour les refends et les planchers intermédiaires. De plus ce procédé permet de conserver l'inertie.
- **Utilisation de rupteur de ponts thermiques** : en assurant la continuité verticale de l'isolation au niveau des liaisons entre dalles, refends, balcons et la façade. Ils permettent d'éliminer une grande partie des déperditions sur ces jonctions.

### I.1.2. Déperditions thermiques dans une paroi opaque $DP_{paroi}$ :

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.

Les déperditions thermiques d'une paroi opaque est calculer par la formule suivante :

$$DP_{paroi} = \sum b_i \times S_{mur\ i} \times U_{mur\ i} + \sum \Psi_i \cdot l_i \cdot b_i + \sum \chi_i \cdot b_i$$

$b_i$  : Coefficient de réduction des déperditions.

$S_{mur\ i}$  : Surface de l'élément considéré exprimée en  $m^2$ .

$l_i$  : Longueur de la liaison (longueur du pont thermique) exprimée en m.

$\Psi_i$  : Coefficient de déperdition thermique linéique exprimé en  $w/m\ K$ .

$\chi_i$  : Coefficient de déperdition thermique ponctuel exprimé en  $w/ K$ .

$U_{mur\ i}$  : Coefficient de transmission thermique surfacique exprimé en  $w/m^2\ K$ .

Le coefficient de transmission thermique  $U_p$  d'une paroi désigne la quantité de chaleur s'échappant au travers une paroi (inclue les ponts thermique) de  $1m^2$  pour un différentiel de  $1^\circ$  exprimé en  $W/(m^2 \cdot K)$ .

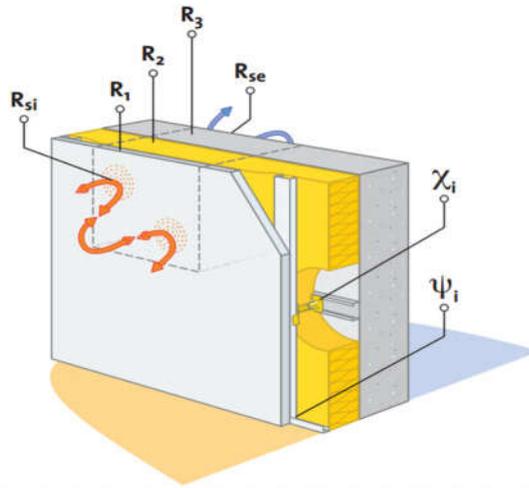
Le coefficient de transmission thermique  $U_p$  est la somme des coefficients des murs homogènes  $U_{mur\ i}$  et les fuites thermiques dues aux ponts thermiques (linéaires ou ponctuels) sur la surface de la paroi.

$$U_p = \frac{1}{\sum R_{paroi} + R_s} + \frac{\sum \text{ponts thermiques ponctuel} + \sum \text{ponts thermiques linéiques}}{\text{surface de la paroi}}$$

Donc :

$$U_p = U_{mur\ i} + \frac{\sum \Psi_i \cdot l_i + \sum \chi_i}{S}$$

$R_i$ : La résistance thermique des matériaux.



**Figure 13. Coefficient de transmission thermique  $U_p$  d'une paroi [5]**

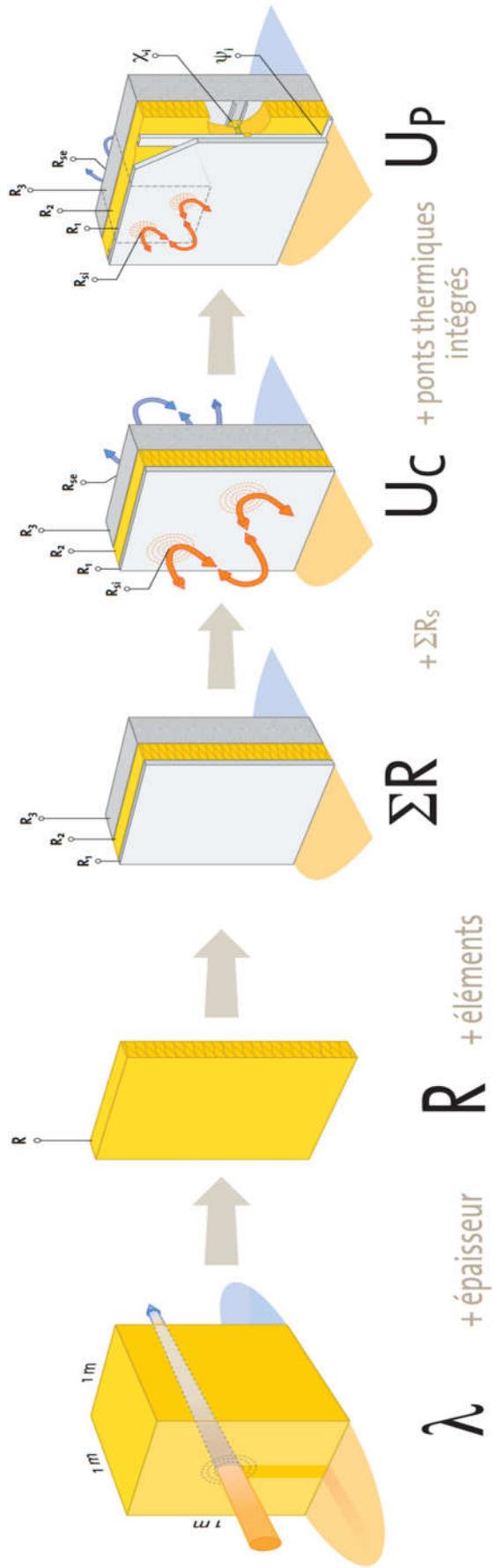
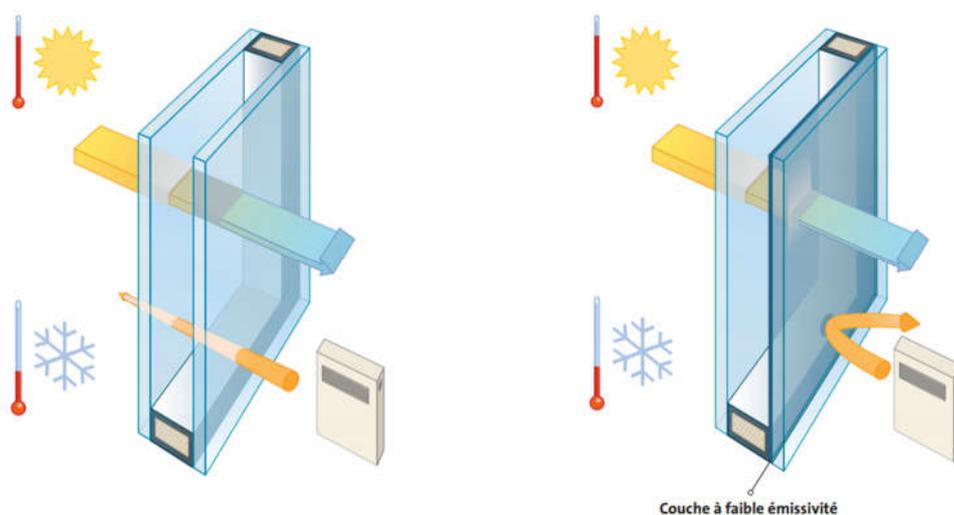


Figure 14. Résumé des principales valeurs qui permettent de caractériser les performances thermiques d'une paroi opaque [5]

### II.1.3. Déperditions thermiques à travers les ouvertures

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 :

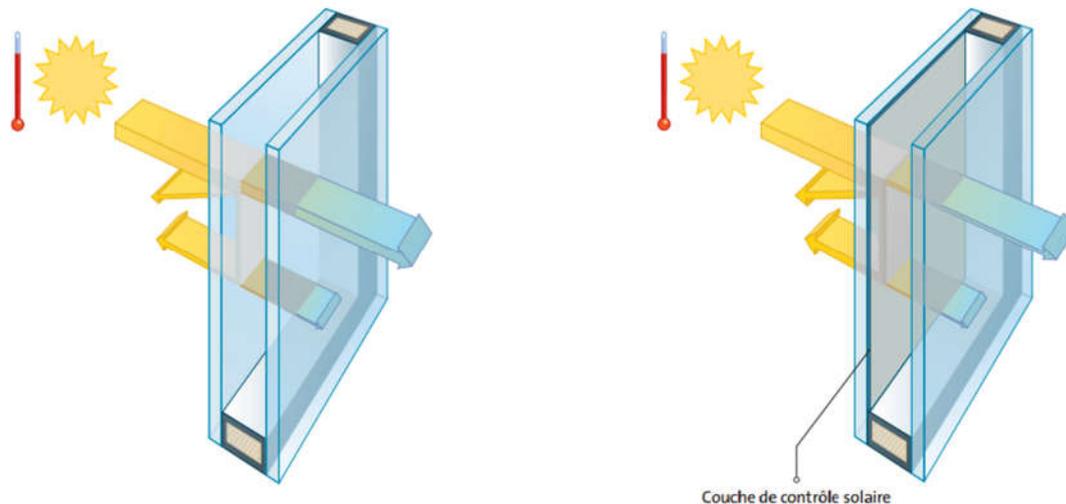
- **Emissivité des vitrages** : L'émissivité  $\varepsilon$  caractérise la capacité d'un vitrage à absorber puis à réémettre de la chaleur par rayonnement. Les vitrages à un faible facteur d'émission à des transferts de chaleur est limité est par conséquent vitrage plus performant.



**Figure 15. Facteur d'émission  $\varepsilon$  des vitrages [5]**

La figure 15 c'est une comparaison entre deux doubles vitrages du transfert par rayonnement avec deux facteurs d'émission différents.

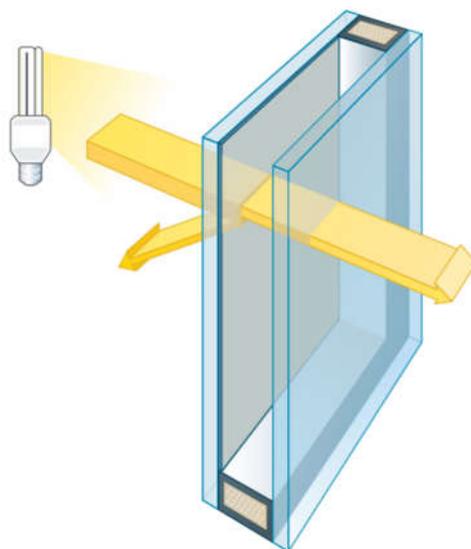
- **Éviter les menuiseries métalliques** : le métal est un bon conducteur thermique. Privilégiez le bois ou la menuisiers en PVC...
- **Facteur solaire g** : Le facteur solaire g est le rapport entre l'ensoleillement reçu et la somme des énergies transmise par le vitrage. En effet plus le vitrage à un coefficient solaire plus élevé plus le vitrage capable à transmettre du l'énergie solaire au bâtiment.



**Figure 16. Facteur solaire  $g$  des vitrages [5]**

La figure 16 c'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  $T_l$**  : La transmission lumineuse c'est la fraction de rayonnement solaire transmettre par le vitrage (la lumière), donc plus la transmission lumineuse est importante plus le vitrage laisse passer la lumière et par conséquent confort visuel plus performant.

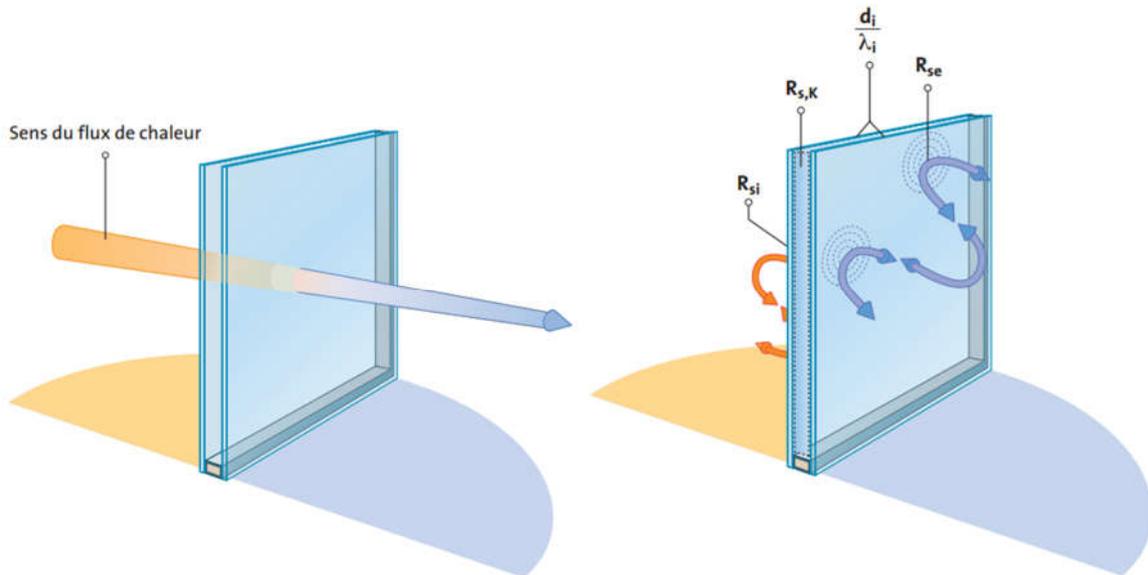


**Figure 17. Transmission lumineuse  $T_l$  des vitrages [5]**

- **Coefficient de transmission thermique de vitrage  $U_g$**  : Le coefficient de transmission thermique  $U_g$  d'un vitrage désigne la quantité de chaleur

s'échappant au travers la surface de vitrage de 1 m<sup>2</sup> pour une différence de 1° exprimé en W/m<sup>2</sup>.K.

Plus le coefficient de transmission thermique  $U_g$  est faible plus les échanges de chaleur sont moins plus les déperditions sont faible alors plus le vitrage est thermiquement performant.



**Figure 18. Le coefficient de transmission thermique de vitrage  $U_g$  [5]**

Le coefficient de transmission thermique de vitrage  $U_g$  ce calcul à partir de la somme des défèrent constituent (la résistance superficielle du vitrage, l'âme d'air ou du gaz, ... ) :

$$U_g = \frac{1}{\sum \frac{d_i}{\lambda_i} + \sum R_{s,k} + R_{se} + R_{si}}$$

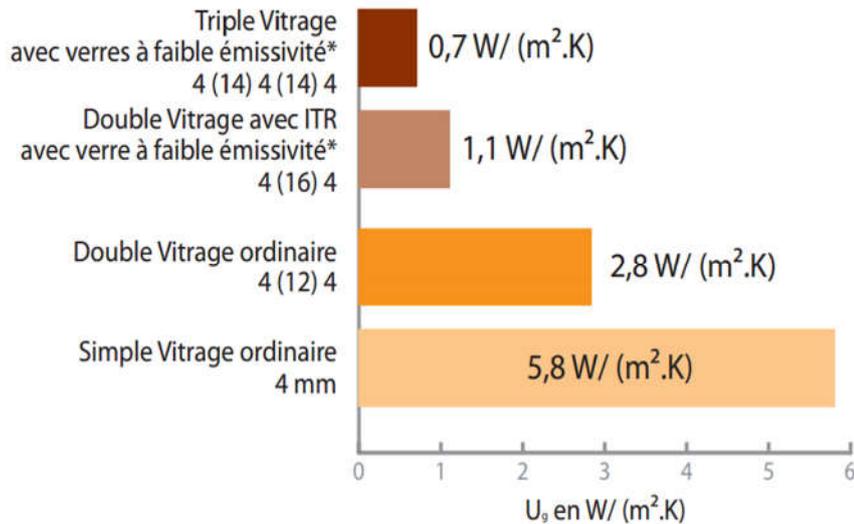
$d_i$  : épaisseur du verre en m.

$\lambda_i$  : conductivité thermique du verre en W/(m.K).

$R_{s,k}$  : La résistance thermique de lame d'air ou de gaz exprimée en m<sup>2</sup>.K/W

$R_{se}$  et  $R_{si}$  : la résistance thermique superficielles exprimée en m<sup>2</sup>.K/W.

Donc le coefficient de transmission thermique de vitrage  $U_g$  dépend de plusieurs paramètres tel que l'épaisseur et la conductivité thermique du verre et la résistance thermique de lame d'air (cas de double vitrage)



**Figure 19. Exemple de  $U_g$  pour différents types de vitrages [5]**

- **L'épaisseur de la lame d'air** : le double vitrage est constitué de 2 vitres de verre entre lesquels est enfermée une lame d'air. C'est la lame d'air qui rend ce type de vitrage plus performant que le simple vitrage. C'est pourquoi le triple vitrage (3 vitres, 2 lames d'air) est encore plus performant. La lame d'air peut être en air sec comme en gaz rare : l'argon ou le krypton qui sont moins conducteurs que l'air.
- **Coefficient surfacique moyen de la menuiserie  $U_f$**  : Le coefficient de transmission thermique moyen  $U_f$  désigne la quantité de chaleur s'échappant à partir d'un cadre de menuiserie (métal, bois, PVC, ...).
- **Coefficient de transmission thermique des fenêtres  $U_w$**  : Le coefficient de transmission thermique  $U_w$  d'une fenêtre désigne la quantité de chaleur s'échappant au travers une fenêtre (inclue les ponts thermiques intégré de la liaison  $\Psi_g$ , le vitrage  $U_g$ , la menuiserie-le cadre- $U_f$ ) il s'exprime en  $W/(m^2.K)$ . Pour des faibles coefficients de  $U_w$  on a des fenêtres performant thermiquement.

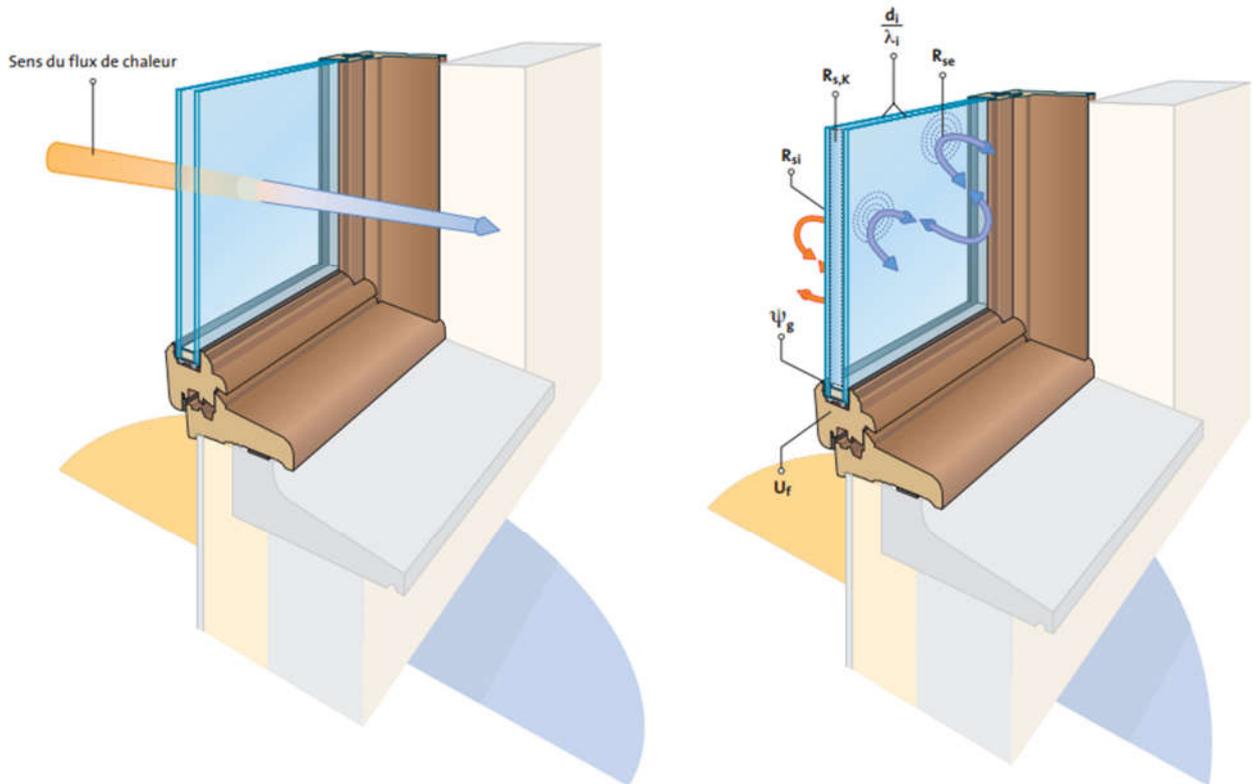
$$U_w = \frac{U_g \times \text{surface de vitrage} + U_f \times \text{surface de cadre} + \Psi_g \times \text{périmètre de vitrage}}{\text{Surface totale fenêtre}}$$

Avec :

$U_g$  : coefficient de transmission thermique au centre de vitrage (g pour glass) exprimé en  $W/(m^2.K)$ .

$U_f$ : Le coefficient de transmission thermique moyen du cadre de la fenêtre (f pour frame) exprimé en  $W/(m^2 \cdot K)$ .

$\Psi_g$ : coefficient de transmission thermique linéique de la liaison vitrage/cadre de la fenêtre qui combine les déperditions de l'intercalaire a le périphérique de vitrage l'isolant et de profilé.



**Figure 20. Le coefficient  $U_w$  d'une fenêtre à double vitrage [5]**

- **Coefficient des fenêtres avec fermeture extérieurs  $U_{wf}$** : Le coefficient de transmission thermique  $U_{wf}$  désigne la quantité de chaleur s'échappant au travers une fenêtre équipée d'une fermeture extérieur mobile (volet roulant, volet mobile, jalousie accordéon, ...).  $U_{wf}$  se calcul à partir du coefficient de transmission thermique  $U_w$  et la valeur de résistance thermique additionnelle  $\Delta R$  apportée par le mécanisme de fermeture. La résistance thermique additionnelle  $\Delta R$  d'une fermeture caractérise l'opposition au transfert de chaleur apportée par l'ensemble fermeture-lame d'air. Elle s'exprime en  $m^2 \cdot K/W$ .

$$U_{wf} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R}$$

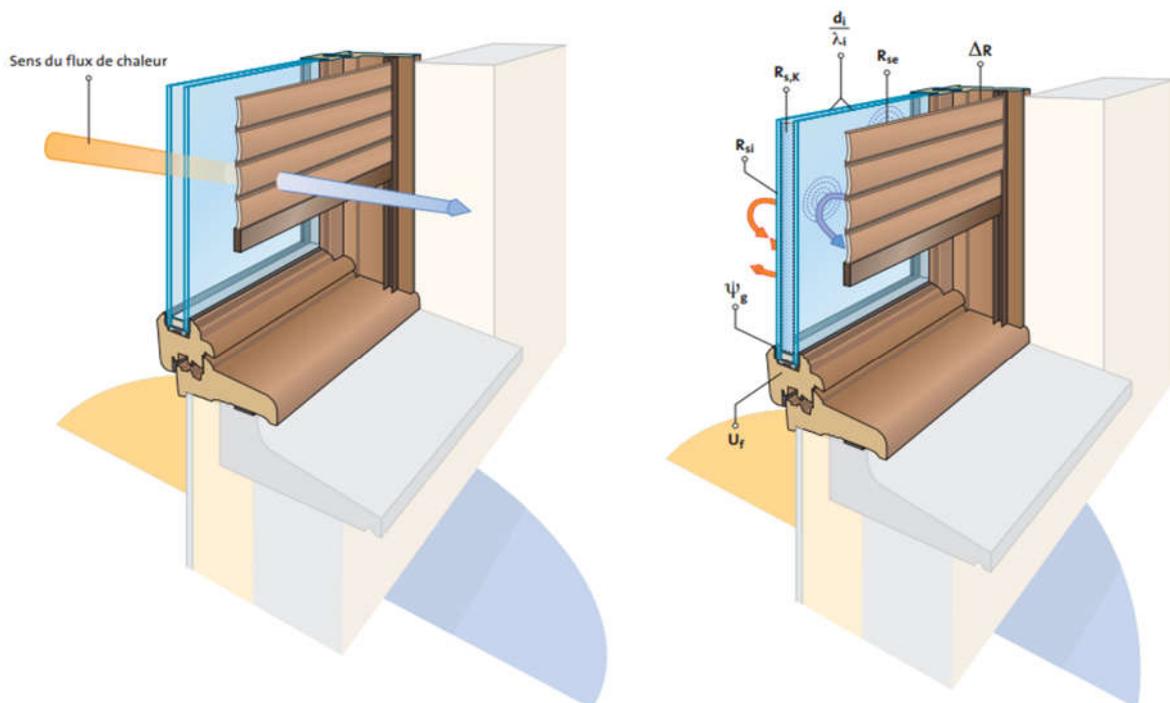
$U_{wf}$ : coefficient des fenêtres avec fermeture extérieurs.

$U_w$  : coefficient de transmission thermique des fenêtres.

$\Delta R$  : La résistance thermique additionnelle par la fermeture.

Fermeture	$\Delta R$ en $m^2.K/W$
Jalousie accordéon, fermeture à lame orientable y compris les vénitiens extérieurs tout métal, Volets battants ou persiennes avec ajouts fixes.	0,08
Fermeture sans ajours en position déployée, volets roulants en aluminium	0,14
Volet roulant PVC ( $e \leq 12mm$ ) Persienne coulissante ou Volet battant PVC, volet battant bois ( $e \leq 22mm$ )	0,19
Persienne coulissante PVC et volet bois ( $e > 22mm$ ) Volet roulant PVC ( $e > 12mm$ )	0,25

**Tableau 4.  $\Delta R$  en fonction de fermeture (règle Th-U fascicule 3)**



**Figure 21. Coefficient  $U_{wf}$  d'une fenêtre + fermeture extérieure [5]**

**Coefficient de transmission thermique moyen jour-nuit d'une fenêtre avec fermeture  $U_{jn}$**  : il désigne la quantité de chaleur s'échappant au travers une fenêtre combiné pour une journée (24 heures c'est-à-dire jour/nuit). Il s'exprime en  $W/m^2.K$ .

Pour des coefficients de fermeture assez faible alors l'ensemble fenêtre+fermeture plus performant thermiquement.  $U_{jn} = \frac{U_w + U_{wf}}{2}$

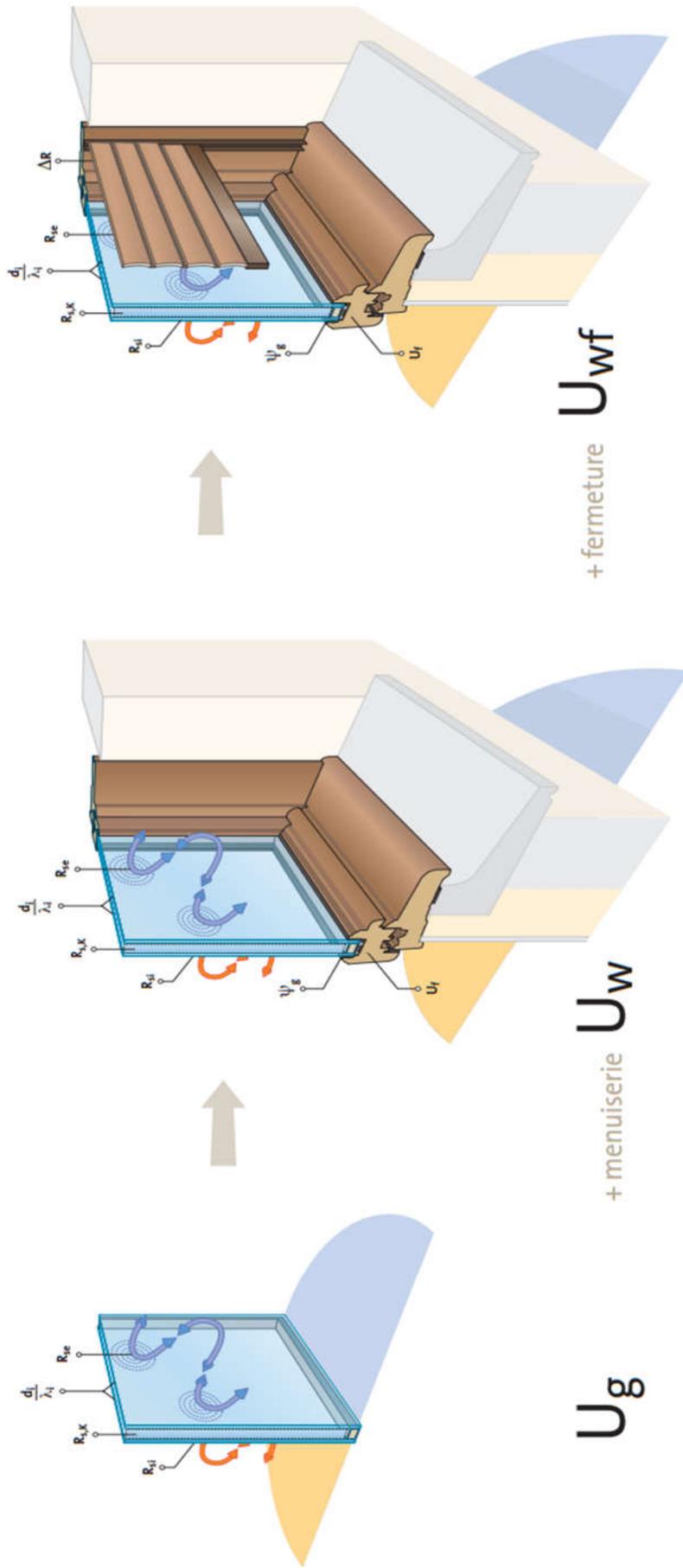
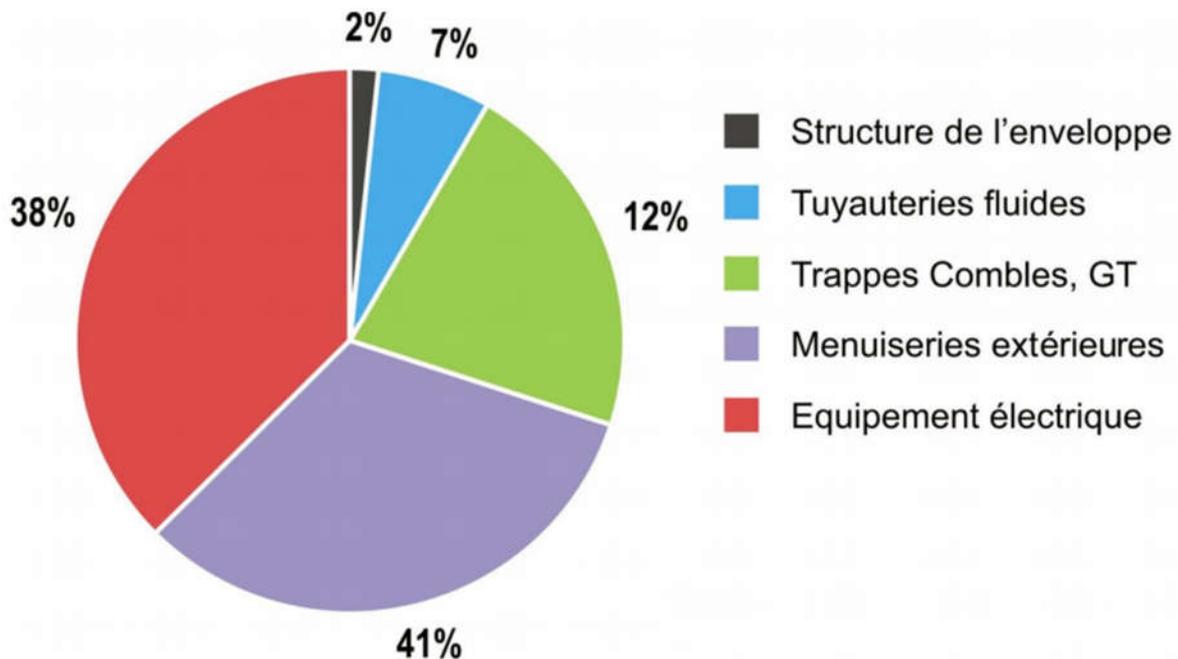


Figure 22. Résumé des principaux coefficients qui permettent de caractériser les performances thermiques d'une paroi vitrée et sa fermeture [5]

#### II.1.4. Déperditions par renouvellement d'air

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 23. 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).

Les déperditions thermiques par renouvellement d'air sont calculées par la relation suivante :

$$DR = q_v \cdot \rho \cdot C_p$$

$DR$ : déperditions thermiques par renouvellement d'air exprimées en W/K.

$q_v$ : débit volumique d'air dans l'espace chauffé exprimé en m<sup>3</sup>/s.

$\rho$ : masse volumique de l'air = 1,2 kg/m<sup>3</sup>.

$C_p$ : capacité calorifique massique de l'air à la pression constante = 1006 J/kg.k.

Or  $\rho \cdot C_p = 0,34$  Wh/m<sup>3</sup>K est la capacité thermique volumique de l'air. La relation devient alors :

$$DR = 0,34 \cdot q_v$$

Le calcul du débit d'air dans l'espace chauffé  $q_v$  se fait en fonction du système de ventilation installée dans la structure.

Le type de ventilation la plus utiliser en Algérie c'est la ventilation naturelle (Par ouverture des fenêtres) le calcul des autres modes de ventilation (Ventilation mécanique auto réglable, Ventilation mécanique à extraction hygroréglable, Ventilation hybride, ventilation double flux avec échangeur, ...) est données les D.T.U règles Th D.

#### ▪ Ventilation naturelle [1]

On suppose que l'air introduit a les caractéristiques thermiques de l'air extérieur. Dans le calcul, on va prendre la plus grande des deux valeurs suivantes :

- ✓  $q_{v\ inf}$ : le débit d'infiltration d'air dû au passage d'air à travers les fissures et les joints de l'enveloppe du bâtiment exprimé en m<sup>3</sup>/h.
- ✓  $q_{v\ min}$ : le débit d'air minimal requis pour des raisons hygiéniques exprimé en m<sup>3</sup>/h.

$$q_v = \max(q_{v\ inf} ; q_{v\ min})$$

$$q_{v\ inf} = \eta_{min} \cdot V_l$$

$\eta_{min}$ : le taux de renouvellement en air extérieur exprimé en h<sup>-1</sup> donné dans le table en fonction du type du local.

Type du local	$\eta_{min}$ en h <sup>-1</sup>
Pièce habitable (par défaut)	0,5
Cuisine ou salle de bains avec fenêtre	1,5
Bureau	1,0
Salle de réunion, salle de classe	2,0

**Tableau 5. Les valeurs de  $\eta_{min}$  en fonction du type de local [1]**

- $V_l$  : volume du local exprimé en  $m^3$ .
- $q_{v\ inf}$  : débit d'infiltration introduit par le vent et le tirage thermique sur l'enveloppe du bâtiment calculé par la relation suivante :

$$q_{v\ inf} = 2 \cdot V_l \cdot \eta_{50} \cdot e \cdot \varepsilon$$

- $\eta_{50}$  : taux horaire de renouvellement d'air résultant d'une différence de pression de 50 Pa entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment, y compris l'effet des entrées de l'air.
- $e$  : coefficient d'exposition du local chauffé.
- $\varepsilon$  : facteur correctif de hauteur.

Construction	$\eta_{50}$ en fonction du degré d'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment (qualité des joints de fenêtre et porte)		
	Élevé (Joints de haute qualité)	Moyen (Fenêtre à double vitrage, joints normaux)	Bas Fenêtre à simple vitrage, pas de joints)
Maisons individuelles	<4	4—10	>10
Autres logements ou bâtiments	<2	2—5	>5

**Tableau 6. Taux horaire de renouvellement d'air  $\eta_{50}$  [1]**

Hauteur de l'espace chauffé au-dessus du sol (du centre du local au niveau du sol)	$\varepsilon$
0—10m	1,0
>10—30m	1,2
>30m	1,5

**Tableau 7. Facteur correctif de hauteur  $\varepsilon$  [1]**

Classe d'exposition	e		
Site non abrité (bâtiments en zone ventrée, bâtiments de grande hauteur en centre-ville)	0	0,03	0,05
Site modérément abrité (bâtiments en compagnie protégés par des arbres ou par d'autres bâtiments, banlieues)	0	0,02	0,03
Site très abrité (bâtiments de taille moyenne en centre-ville, bâtiments en forêt)	0	0,01	0,02

**Tableau 8. Coefficient d'exposition e du local chauffé [1]**

### II.1.5. Puissance de chauffage :

La puissance de chauffage est la quantité d'énergie par unité du temps (Kcal/h) nécessaire à fournir par un système de chauffage pour assurer une température de confort, elle exprimé en watt (W).

1 Kcal/h = 1,163 W

La puissance de l'installation du chauffage ne doit pas être inférieure aux déperditions globales du bâtiment pour assurer le confort thermique à l'intérieur.

La puissance de chauffage Q est calculé par la formule suivante :

$$Q = (T_{bi} - T_{be}) \times ((1 + \max(c_r; c_{in})) \times DT) + ((1 + c_r) \times DR)$$

$T_{bi}$  : la température intérieure de base (°C).

$T_{be}$  : la température extérieure de base (°C).

$DT$  : les déperditions par transmission du logement (W/°C).

$DR$  : les déperditions par renouvellement d'air du logement (W/°C).

$c_r$  : un ratio pour estimer les pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel (sans dimension).

$c_{in}$  : coefficient de surpuissance (sans dimension).

Pour un immeuble pourvu d'un chauffage commun, la puissance Q est calculée en effectuant la somme des puissances à fournir pour chaque appartement.

Le coefficient  $c_{in}$  prend les valeurs suivantes :

- 0,10 en cas de chauffage continu.
- 0,15 en cas de chauffage discontinu, et dans le cas d'une construction dont la classe d'inertie est « faible » ou « moyenne ».
- 0,20 en cas de chauffage discontinu, et dans le cas d'une construction dont la classe d'inertie est « forte ».

## II.2. CLIMAT ALGERIENNE :

### II.2.1. Zones climatiques de l'Algérie :

On définit pour l'Algérie les zones suivantes [CNERIB] :

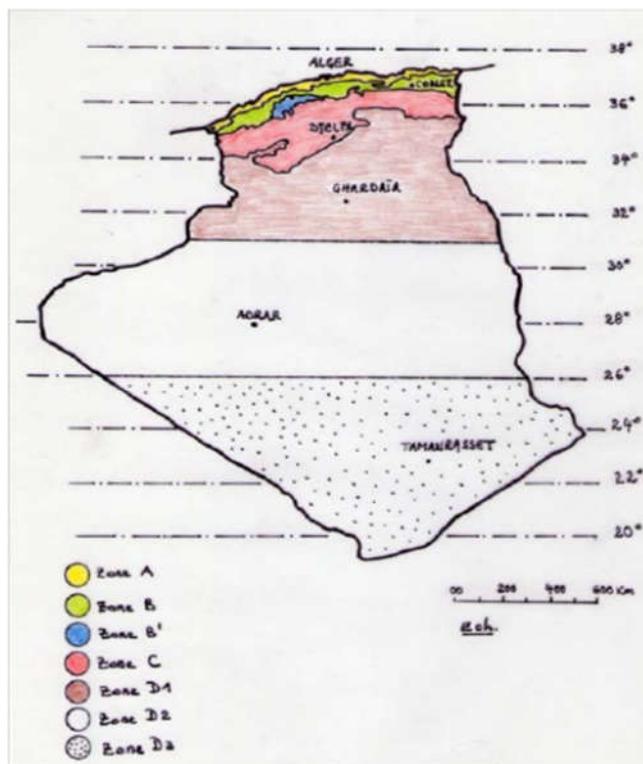
4 zones climatiques et une sous zone au Nord.

3 zones climatiques au Sud. Pour chaque zone, on distingue les sites d'altitude inférieure à 500 m, comprise entre 500 et 1000 m et supérieure à 1000 m.

- **La zone A** : Elle comprend le littoral et une partie du versant Nord des chaînes côtières (climat méditerranéen maritime).
- **La zone B** : Elle comprend la plaine et les vallées comprises entre les chaînes côtières et l'Atlas Tellien, autre que celle de Chlef (climat méditerranéen continental).
- **La zone B'** : C'est une sous-zone de la zone B. Elle comprend la vallée de Chlef, comprise entre la chaîne de l'Ouarsenis et les montagnes du Dahra et des Braz.
- **La zone C** : Elle comprend les hauts plateaux entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien, avec des altitudes supérieures à 500 m (climat méditerranéen de montagne).
- **La zone D1** : Elle comprend le Sahara au-delà de l'Atlas Saharien jusqu'à la latitude 31°.
- **La zone D2** : Elle comprend le Sahara au-delà de la latitude 31° jusqu'à la latitude 26°.
- **La zone D3** : Elle comprend le Sahara au-delà de la latitude 26° jusqu'aux frontières Sud.

Dans les zones de l'Algérie on distingue les sites d'altitude inférieure à 500 m, les sites compris entre 500 et 1000 m, et ceux de 1000 m [13].

L'influence de l'altitude ne se fait vraiment sentir qu'à partir de 500 m. En hiver comme en été, la diminution de la température est la même, elle est d'environ de 0,5°C par 100 m. Les étés sont moins chauds et les hivers plus rigoureux avec des besoins de chauffage accrus.



**Figure 24. Carte des zones climatique de l'Algérie [CNERIB]**

## II.2.2. Conditions de climat :

### II.2.2.1. Conditions intérieures de base :

#### ❖ Confort d'hiver :

- La température intérieure de base est la température de l'air que l'on a avoir besoin obtenir au centre de la pièce à 1,25m de hauteur en absence de tout source de chaleur autre que celui fourni par l'installation de chauffage.

Type de local		Température intérieure de base (°C)
Immeuble d'habitation Maison individuelle	Pièce principale, pièce de service	21
	Cage d'escalier chauffée, circulation chauffée en continu	18
Bureau chauffé en continu	Bureau chauffé en continu	21
Magasin chauffé en continu	Magasin chauffé en continu	21
Local artisanal chauffé en continu	Local artisanal chauffé en continu	21

**Tableau 9. Températures intérieures de base [DTR C 4.2]**

- L'humidité relative intérieure doit être en tous les cas entre 40 et 60%.
- La vitesse de circulation de l'air à l'intérieur ne doit pas dépasser 0,5 m/s pour des températures de confort entre 18 et 21°C.

#### ❖ Confort d'été

Les conditions intérieures de bases sont définies par :

- La température sèche de base de l'air intérieur (en °C) et l'humidité relative de base de l'air intérieur (en %).
- L'accroissement (toléré) de la température sèche de base de l'air intérieur.

Deux niveaux de confort sont prévus par le présent **DTR** :

- Un niveau de confort dit « **normal** » qui concerne les applications courantes.
- Un niveau de confort dit « **amélioré** » lorsque le confort est privilégié par rapport à l'aspect économique.

### II.2.2.2. Conditions extérieures de bases

#### ❖ Confort d'hiver

- **Température extérieure de base** : c'est une température telle que les températures minimales quotidiennes ne lui sont inférieures que cinq jours par an. La température extérieure de base est en fonction de l'altitude et de la zone climatique.
- **Nombre de degré-jours (ou heure)** : C'est une valeur qui représente l'écart entre la température dans un intervalle de temps (chaque heure, chaque trois heures, chaque jour, ...) et un seuil de température (température de confort d'hiver ou d'été), Le calcul consiste à additionner, jour après jour, les écarts de température existant entre l'intérieur et l'extérieur.
- **Humidité relative (degré hygrométrique)** : Pour une température fixe la quantité de vapeur d'eau contenu dans un volume d'air est limité par une valeur dite limite de saturation, au-delà, l'excès de vapeur d'eau se condense, des gouttelettes apparaissent dans les endroits les plus froids à l'intérieur du bâtiment. Elle est utilisée pour les calculs de diffusion à travers les parois, ce paramètre est donné par la valeur moyenne pendant la période de condensation (d'hiver).

Elle se calcule par la relation suivante :

$$HR = \frac{m_r}{m_s} \times 100\%$$

Où :

$m_r$  : la masse d'eau réellement existante dans 1 Kg d'air sec exprimé en g.

$m_s$  : la masse maximale d'eau pouvant être présente dans 1 Kg d'air sec exprimé en g.

ZONE	Altitude (m)	Température extérieure de base (°C)	ZONE	Altitude (m)	Température extérieure de base (°C)
<b>A</b>	< 300	6	<b>C</b>	500 à 1000	-2
	300 à 500	3		≥ 1000	-4
	500 à 1000	1			
	≥ 1000	-1			
<b>B</b>	< 500	2	<b>D</b>	< 1000	5
	500 à 1000	1		≥ 1000	4
	≥ 1000	-1			
<b>B'</b>	< 500	0	<b>D'</b>	< 1000	5
	≥ 500	Voir zone B			

**Tableau 10. Les températures extérieures de base en fonction de l'altitude [DTR C3.2]**

❖ **Confort d'été**

- **Température sèche** : La température sèche de base de l'air extérieur est une température qui n'est dépassée que pendant 2,5 % des heures de Juin, de Juillet, d'Août et de Septembre, c'est la température de calcul pour l'isolation thermique et l'installation des systèmes de climatisation. C'est fonction de la zone climatique et l'altitude.
- **Humidité spécifique  $HS_{b,e}$**  : C'est le rapport de la masse d'eau dans l'air sur la masse d'air humide exprimé en ( $g_{vap}/Kg_{as}$ ), alors c'est la moyenne mensuelle durant le mois le plus chaud de l'humidité spécifique à 15 heures, elle est aussi une fonction de la zone et l'altitude.

Altitude et zone climatique	Température sèche (°C)	L'humidité spécifique $HS_{b,e}$ ( $g_{vap}/Kg_{as}$ )
<b>A</b>		
< 500 m	34	14,5
500 m à 1000 m	33,5	13
≥ 1000 m	30,5	13

Altitude et zone climatique	Température sèche (°C)	L'humidité spécifique HS <sub>b,e</sub> (g <sub>vap</sub> /Kg <sub>as</sub> )
<b>B</b> < 500 m 500 m à 1000 m ≥ 1000 m	38 37 35	12,5 11 10
<b>B'</b> < 500 m ≥ 500 m	41 Voir zone B	11 Voir zone B
<b>C</b> < 1000 m ≥ 1000 m	39,5 36	8,5 8,5
<b>D1</b>	44	6,5
<b>D2</b>	48	6,5
<b>D3</b>	39	5,0

Tableau 11. Conditions extérieures de base d'été [DTR C 3.4]

Application	Niveau de confort amélioré		Niveau de confort normal		
	Température sèche (°C)	Humidité relative (%)	Température sèche (°C)	Humidité relative (%)	Accroissement tolérer de la température (°C)
Séjour de durée limitée avec gain latents important Amphithéâtre, salle de spectacle, lieu de culte, salle de restauration, ...	24	50	27	60	1

Application	Niveau de confort amélioré		Niveau de confort normal		
	Température sèche (°C)	Humidité relative (%)	Température sèche (°C)	Humidité relative (%)	Accroissement tolérer de la température (°C)
<b>Séjour de longue durée</b> Logement, hôtel, bureaux, hôpital, école, ...	24	45	27	50	2
<b>Séjour de courte durée</b> Magasin, bureau de poste, ...	24	45	27	50	2

**Tableau 12. Les conditions intérieures (confort d'été) [DTR C 3.4]**

# **CHAPITR III**

## **ISOLATION THERMIQUE**

### **III.1. ISOLATION THERMIQUES**

Dans les années 1990 l'Algérie avait développé plusieurs règlements pour améliorer la performance énergétique des bâtiments. En 1997 le ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme met en place des documents techniques réglementaires « **DTR** » concernant les consommations énergétiques des bâtiments et les déperditions de l'enveloppe.

Les exigences réglementaires de ces documents consiste a limité les déperditions calorifiques des logements avec la définition d'un seul à ne pas dépasser (appeler déperdition de référence). Le respect de ce seuil devrait permettre une économie de 20 à 30% sur la consommation d'énergie pour le chauffage des logements, et par conséquent l'amélioration du confort thermique des usagers **[D.T.RC3-2]**.

L'amélioration du confort thermique des bâtiments existants ou neufs est liée avec plusieurs paramètres tel que l'état de l'isolation, le type d'installation de chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, le système d'aération, l'orientation du logement, la situation géographique et le niveau d'ensoleillement. Une étude thermique permet de définir avec précision les caractéristiques de l'isolant à mettre en œuvre pour rendre le logement thermiquement performant, cette étude intervient aussi lors du calcul des puissances de chauffage à installer et contribue à réaliser des économies d'énergie **[14]**.

#### **III.2.1. Historique**

Isolation est un mot qui veut dire « séparé ». Depuis la nuit des temps, les êtres humains se sont protégés contre la rudesse du climat. Ils se sont servis de matières organiques comme prototype naturel pour l'isolation thermique puis des fourrures des animaux, les plumes des oiseaux, le coton, la paille. Depuis des milliers d'années les maisons ont été conçues pour être le mieux adaptées au climat de leur emplacement, dans les climats froids on se contentait d'une zone chaude dans la maison constituée par la pièce à vivre autour du feu. Il a fallu attendre l'arrivée de la révolution industrielle de la fin du XIXe siècle pour voir naître l'application commerciale de la thermique des isolants. Outre le rôle structurel et protecteur, les parois d'un bâtiment sont une interface entre un climat extérieur en fluctuation et une ambiance intérieure souhaitée la plus proche possible des conditions de confort.

Aujourd'hui, l'isolation thermique devient une nécessité vu les changements climatiques et la hausse du prix d'énergie dans le monde

En effet, les matériaux d'isolations apparaissent aux U.S.A au début de XX<sup>e</sup> siècle, et quelques années plus tard en Europe, mais leurs exploitations à grand échelle n'ont vu le jour qu'à partir les débuts des années 70 (premier choc pétrolier) **[15]**.

### III.2.2. Définitions

Isoler thermiquement une structure c'est-à-dire concevoir et exécuter la forme du bâtiment et tous les constituants de l'enveloppe extérieure (façades, toit, fenêtres, portes fenêtrées, portes, plancher inférieure) pour que la résistance thermique et l'inertie thermique soit acceptables aux pertes et aux apports de chaleur.

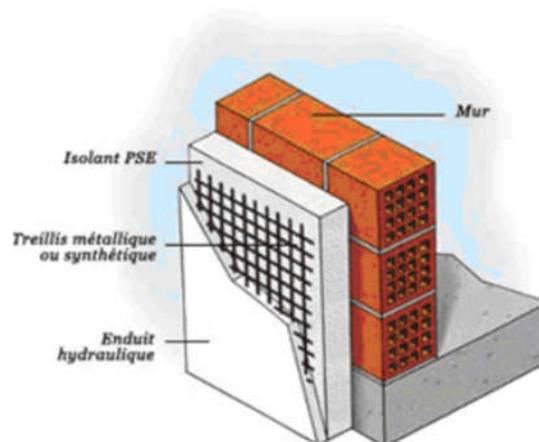
Un isolant est un matériau caractériser par une mauvaise conductivité thermique  $\lambda$  (mauvais conducteur thermique) la plus basse possible, tel que  $\lambda$  doit être inférieur ou égale 0,065 W/m.K, équivalent à une résistance thermique supérieur ou égale 0,05 m<sup>2</sup>.K/W.

L'isolation thermique assure la durabilité et la pérennité des constructions. Elle permet de mieux protéger la forme du bâtiment contre les variations brutales de température. Elle supprime les condensations, source de vieillissement prématuré dans les bâtiments [15].

### III.2.3. Isolation extérieure « ITE »

La terrasse et les murs extérieur d'une maison, d'un appartement, voire de tout autre type de logement, sont en règle générale les premiers points noirs sur le plan des déperditions thermique. Ces fuites de chaleur peuvent représenter plus de 50 % de déperditions pour une habitat non isolée (mal isolée), alors des économies énormes sont possibles en repensant et en améliorant l'isolation thermique des murs et toit.

L'isolation extérieur (ITE) appeler aussi « mur manteau », comprend plusieurs éléments : la paroi porteuse vertical en maçonnerie ou en béton banché, l'isolation thermique, à l'extérieur, le revêtement de protection et de finition et les menuisiers rapporté à la paroi [8], l'ITE demande des connaissances et une expertise réelle du métier dans son ensemble (impact sur la ventilation par exemple, modification des menuiseries, ...).



**Figure 25. Isolation d'une paroi par l'extérieur « ITE » [16]**

### **III.2.3.1. Avantages de l'isolation extérieur**

- Haute performance énergétique grâce à la protection de l'enveloppe thermiquement.
- Finition par extérieur (pas d'installation électrique ou de chauffage).
- Aucune perte de la surface habitable, l'épaisseur de l'isolant peut donc être importante.
- Traitement de la majorité des ponts thermiques et de leurs désagréments (parois froides, humidités, échange thermique)
- Travaux en extérieur, pas de salissure.
- Protection durable de l'enveloppe.
- Pas de gêne occasionnée pour les occupants au cours de la réalisation des travaux rénovations.

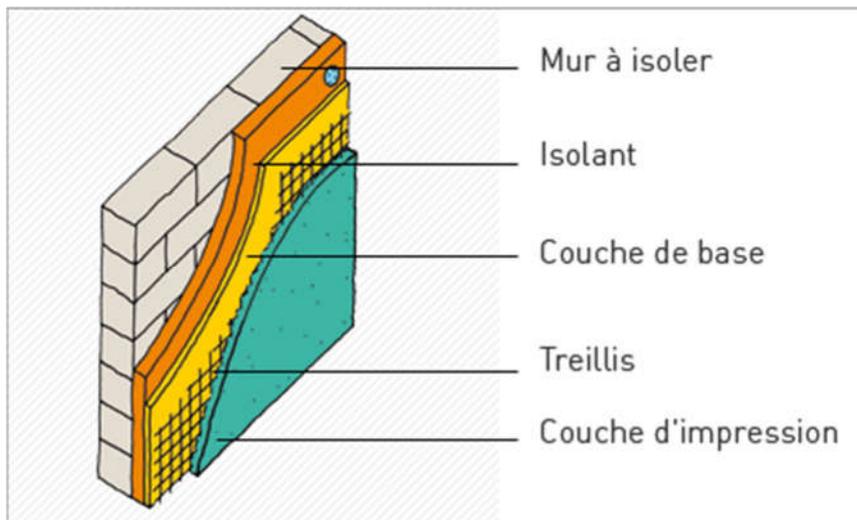
### **III.2.3.2. Inconvénients de l'isolation extérieur**

- Mise en œuvre compliquée voire impossible sur certaines façades (patrimoine préservé par exemple).
- Investissement de départ important.
- Nécessite parfois une amélioration du système de ventilation.
- Il est possible de réduire légèrement l'entrée de lumière au niveau des ouvrants.
- L'inconvénient majeur reste le coût élevé de mise en place par rapport à l'isolation par l'intérieur.

### **III.2.4. Isolation intérieur « ITI »**

L'isolation thermique par intérieur (ITI), ne nécessitant pas une grande technicité, elle est à la portée au bricoleur moyen, son faible coût et sa mise en œuvre relativement rapide et facile va faire une technique appréciée pour les futures rénovations des maisons et appartements en Algérie.

L'isolation par l'intérieur n'est pas efficace pour éliminer les déperditions thermiques, mais elle reste une solution faisable et applicable pour limiter les fuites énergétiques, malgré qu'elle ne supprime pas les problèmes des ponts thermiques mais elle permet d'en limiter d'une façon importante.



**Figure 26. Isolation d'une paroi par l'intérieur « ITI » [17]**

#### **III.2.4.1. Avantages de l'isolation intérieure**

- Faible coût de mise en œuvre (Moindre coût par rapport à l'isolation par l'extérieur).
- Mise en œuvre assez facile et rapide.
- Réalisation sans échafaudages.
- Grande diversité de choix des isolants.
- Permet de rénover rapidement et facilement une paroi en mauvais état.
- Réalisation par phase (pièce par pièce).

#### **III.2.4.2. Inconvénients de l'isolation intérieure**

- Diminution de la surface habitable.
- Ponts thermiques difficiles à résoudre.
- Diminution de la surface habitable plus ou moins importante en fonction de l'isolant.
- Finitions par l'intérieures (et par conséquent installations électriques ou de chauffage) à déplacer ou remplacer.

#### **III.2.5. Isolation répartie « ITR » [8]**

Pour but de simplifier les phases de construction (matériaux de construction + les isolants) il est intéressant d'employer des matériaux qui assure les deux fonctions : assurer la solidité du bâtiment à partir des éléments porteurs qui garantissent la stabilité des murs et la portance des planchers et toit d'une part et d'une autre part assurer l'isolation thermique. C'est ce que permet l'isolation répartie. Elle consiste à construire un bâtiment avec un matériau qui est à la fois porteur et isolant.

Il existe plusieurs matériaux de construction pour l'isolation répartie :

### ***Le béton cellulaire***

Le béton cellulaire est un matériau fabriqué à partir de ressources naturelles il est composé de sable blanc (64%), pur contenant 95% de silice, de chaux (15%), de ciment (20%) et gypse (1%) et d'un agent d'expansion comme la poudre d'aluminium (0,05%). Les proportions peuvent changées en fonction de la masse volumique recherchées et la quantité d'eau utilisé.

Le béton cellulaire procède un coefficient de conductivité thermique entre 0,09 et 0,13 W/m.K, cela est suffisant d'obtenir un coefficient de transmission thermique U de paroi de 0,18 W/m<sup>2</sup>.K pour une épaisseur de 50 cm



***Figure 27. Le béton cellulaire [18]***

### ***Les blocs bimatières***

Ce sont des blocs de construction monolithiques composés de deux matériaux collés, chacun choisie pour compléter une mission. La partie intérieure des blocs est composée de silicocalcaire ou de béton cellulaire (pour supporter la charge). La partie extérieure est composé de blocs cellulaires allégé (contenant plus de vide) pour améliorer les performances thermiques.

Il existe deux types de blocs légers pour la réalisation des maisons individuelles (béton cellulaire / béton cellulaire allégé) et lourd (silicocalcaire / béton cellulaire) pour les immeubles collectifs. Il présente un coefficient de conductivité thermique à l'ordre de 0,064 W/m.K.



**Figure 28. Bloc bimatières [8]**

### ***Les blocs monomurs en pierre ponce***

La pierre ponce est une roche volcanique elle est caractérisée par sa grande porosité (85% d'air) et une faible densité. Ses nombreux pores et cellules fermées assure une meilleure performance thermique. Pour la fabrication des blocs de construction en pierre ponce on utilise un minerai naturel épuré mélangé avec l'eau et de ciment. Pour un mètre cube de mélange il faut 400Kg de pierre ponce, 120Kg de ciment et 350 litres d'eau. Un bloc de pierre ponce présente un coefficient de conductivité thermique varie entre 0,09 et 0,11 W/m.K.



**Figure 29. Bloc monomurs en pierre ponce [19]**

### ***Les blocs monomurs en billes d'argile expansée***

Elles sont fabriquées à partir des billes d'argile expansées, cuite dans un four à 1200°C elles sont avec du ciment. Un bloc d'argile expansée se compose de granulés d'argile 0/4, de granulés 4/8, granulés 8/16, de ciment et d'eau.

Ce matériau est incombustible et inflammable, il ne dégage pas de fumé en cas de l'incendie. Un mur fini d'épaisseur de 30 cm réalisé avec ce type de matériau, présente un coefficient U de 0,38 à 0,47 W/m<sup>2</sup>.K, les performances acoustiques sont acceptables.

### ***Les blocs monomurs en terre cuite***

Les briques pleines ou mulots ne sont plus très utiliser, elles sont lourdes compliqué à mettre en œuvre et très peut performantes thermiquement.

Les briques à alvéole horizontales sont des matériaux porteurs ou de remplissage, leurs performances thermiques pour l'isolation thermique répartie est reste insuffisante.

Les briques à alvéole verticales multiples ou monomurs en terre cuite sont beaucoup plus performant que ce soit pour l'isolation thermique ou pour l'isolation acoustique. La masse volumique des monomurs est comprise entre 650 et 850 Kg/m<sup>3</sup>, et son coefficient de conductivité thermique est à l'ordre de 0,12W/m.K.



***Figure 30. Bloc monomurs en terre cuite [20]***

### **III.2.5. Caractéristiques des isolants**

Le rôle principal d'un isolant est en toute évidence d'achever sa fonction. Un isolant thermique devra offrir une bonne résistance à la transmission de chaleur.

Indépendamment de ses propriétés spécifiques on demande aux isolants des qualités complémentaires fonction des impératifs de mise en œuvre.

Les principales des ces qualités sont [21] :

- La réaction au feu (l'incombustibilité ou à tout le moins la non inflammabilité).

- Le comportement mécanique (une bonne résistance mécanique, il ne doit pas se tasser sous son poids propre ou sous les effets des vibrations, souplesse ou rigidité selon la structure porteuse).
- Le comportement à l'eau (il doit résister l'humidité).
- L'absence de propriétés corrosive pour les matériaux avec lesquels l'isolant serait en contact.
- Une stabilité physique et chimique : absence de dilatation excessive à la chaleur, résistance au divers agent destruction : humidité ou rougeur.
- Esthétique si le produit reste apparent.
- Prix en rapport avec le service rendu.

### III.2.6. Classification des isolants

Les isolants peuvent être classer suivant plusieurs paramètres :

- Suivant leurs origines : végétale, minérale, ...
- Suivant leurs structures : granulaire, fibreuse, ...
- Suivant leurs résistances aux déférentes plage de températures.

On peut classer les isolants dans des catégories suivant leurs origines, on distingue les catégories suivantes [3], [8], [15], [21] :

#### III.2.6.1. Les isolants minéraux

On entend par isolants minéraux les matériau ou produits isolants dont l'origine est totalement ou partiellement (l'un des composants) minéral (naturelle). Ces isolants sont issus de matières premières minérales (silice, argile, roches volcaniques...)

Ils comprennent les laines de verre, le verre cellulaire, la perlite, la vermiculite et l'argile expansée.

La laine de verre : (conductivité thermique comprise entre 0,030 et 0,045 W/m.K) la laine de verre est élaborée à partir de silice (sable) et/ou de verre de récupération, par fusion, fibrage et polymérisation, Elle est symbolisée par GW (glass wool). La laine de verre est un matériau léger dont la masse volumique est comprise entre 15 et 25 Kg/m<sup>3</sup>, Elles existent en panneaux, rouleaux ou en vrac et sont utilisées dans toutes les situations qui ne nécessitent pas une forte résistance à la compression. Les laines minérales ne sont pas un bon choix en construction écologique.



La laine de roche : (conductivité thermique comprise entre 0,032 et 0,040 W/m.K) La laine de roche est élaborée à partir d'une roche naturel issu de l'activité volcanique (le basalte), elle est fondue à 1500°C et ensuite elle est traitée industriellement. C'est un matériau léger d'une masse volumique de 40Kg/m<sup>3</sup>. Elles peuvent utiliser pour l'isolation thermique comme l'isolation phonique et en même temps pour la protection contre l'incendie. La laine de roche est disponible en rouleaux, panneaux, flocons ou complexe isolant, elle peut être utilisée comme isolant acoustique de qualité contre les bruits aériens et les bruits d'impact. Le choix de la laine de verre est un choix écologique car elle est résiliable.



Le verre cellulaire : (conductivité thermique comprise entre 0,038 et 0,055 W/m.K) il est obtenu à partir des matières premières de verre ou de verre calcin (verre recyclé) fondues à haute température auxquelles est ajoutée de la poudre de carbone (il est composé de million de cellules fermées de gaz inerte). C'est un matériau assez léger dont la masse volumique est comprise entre 120 et 175Kg/m<sup>3</sup>. Le verre cellulaire est totalement étanche à l'eau et à la vapeur, c'est un matériau totalement incombustible (résistance parfaite au feu) il résiste à des températures jusqu'au 430°C, il se ramolli à partir de 730°C. Il est disponible sous forme de panneaux de différentes épaisseurs suivant l'emploi.



La perlite : (conductivité thermique comprise entre 0,05 et 0,06 W/m.K) la perlite est une roche volcanique siliceuse donc elle abondante. Le minerai est concassé et chauffé à 1200°C dans des fours spéciaux fixes ou rotatifs. Elle est expansée grâce à la vapeur d'eau, aucun aditif ou produit chimique n'est ajouté. La masse volumique de la perlite est comprise entre 90 et 165Kg/m<sup>3</sup> en fonction de la façon dont la quelle elles présentée (sou forme de granules ou des panneaux), elle a une bonne inertie qui permet d'améliorer la performance thermique des bâtiments. Elle carin l'eau si elle n'est pas traitée d'une capacité d'absorption à l'ordre de 300% de sa masse, elles peuvent être utiliser en même temps comme étant un isolant acoustique. La stabilité dimensionnelle de ce matériau est bonne ainsi que sa résistance à la compression. La matière première de la perlite est totalement naturelle et neutre donc il n'y pas de risque sur la santé ou l'environnement.



La vermiculite : (conductivité thermique comprise entre 0,06 et 0,08 W/m.K) la vermiculite est produite à partir d'une ressource naturel abondante, le silicate de magnésie, c'est un matériau assez léger dont la masse volumique est comprise entre 65 et 160Kg/m<sup>3</sup>, il a le pouvoir de s'expansé ou s'exfolier sous l'effet de la chaleur (1000°C) et de la vapeur d'eau, donc il peut augmenter son poids jusqu'au 15 fois. Sa température de fusion est de 1300°C. Elle est hydrophile, c'est pour sa elle est enrobée de silicone ou de bitume, sa performance thermique est moyenne, et consternent l'acoustique elle est bonne. C'est un matériau naturel inerte qui ne présente pas de danger pour la santé et pour l'environnement durant le cycle de vie de produit ou à l'état de déchet donc c'est un matériau écologique



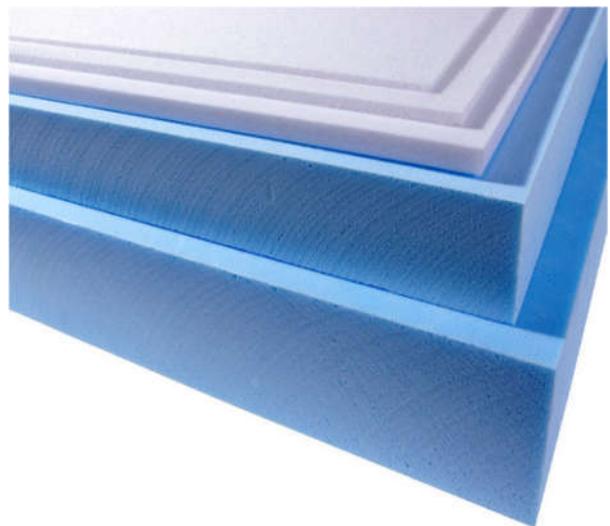
L'argile expansée : (conductivité thermique comprise entre 0,1 et 0,16 W/m.K) l'argile expansé issu de l'argile naturel brute, qui est séché puis concasser broyer en poudre puis mélangé avec l'eau. Le mélange est chauffé jusqu'au 1200°C. L'extraction de gaz des billes (de 1 à 10 mm de diamètre) produit leur expansion. C'est isolant assez lourd de masse volumique comprise entre 350 et 700 Kg/m<sup>3</sup>, offre une bonne inertie thermique. Il est incombustible et une excellente résistance au feu, il ne présente aucun danger sur la santé ou l'environnement car c'est un matériau naturel. L'argile expansée existe en vrac pour épandage ou pour la réalisation de béton allégés, Il existe également des blocs de construction à base de billes d'argile expansée



#### I.7.6.2. Les isolants synthétiques :

Ce sont des matériaux de synthèse plus souvent produit alvéolaire rigide, les matières plastique forme une partie importante du matériau (sont obtenus à partir de la transformation du pétrole brut).

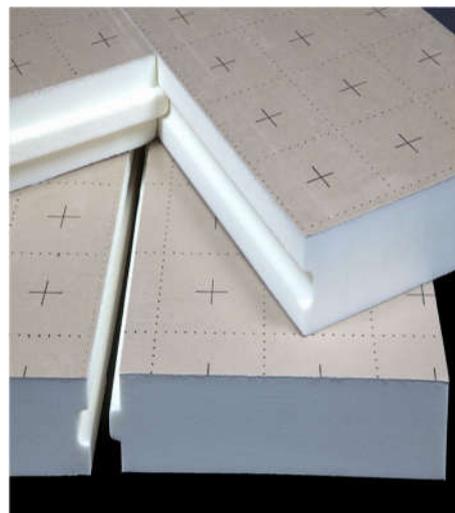
Le polystyrène extrudé : (conductivité thermique comprise entre 0,029 et 0,037 W/m.K) le polystyrène extrudé est issu du naphta comme le PSE. Il est étanche à l'eau et à la vapeur d'eau, il a une bonne résistance mécanique qui lui confère une excellente tenue dans le temps, il résiste parfaitement au gel dégel. Le polystyrène extrudé (XPS) c'est un matériau léger avec une masse volumique comprise entre (30 et 40 Kg/m<sup>3</sup>). Il est commercialisé dans défèrent couleurs sous forme de panneaux à bords lisses ou bouvetés. Il doit être séparer de l'habitation par un matériau incombustible comme le plâtre.



Le polystyrène expansé : (conductivité thermique comprise entre 0,032 et 0,038 W/m.K) Le polystyrène expansé est obtenu d'un dérivé de raffinage du pétrole, le naphta (d'hydrocarbures expansés à la vapeur d'eau et au pentane), il est composé essentiellement d'air (à 98%) donc c'est un matériau très léger avec une masse volumique comprise entre 10 et 30 Kg/m<sup>3</sup>. Il ne présente aucun risque sur la santé. En cas d'incendie (il commence à ramollir a 95°C), le polystyrène expansé (PSE) libère du gaz carbonique, de la vapeur d'eau, de monoxyde de carbone ... Utiliser comme isolant il est généralement associé à un autre matériau incombustible tel que le plâtre. Le PSE peut être utiliser pour l'isolation des murs par l'intérieur ou l'extérieur, des sols ou de la toiture, il est recyclable.



Les polyuréthanes : (conductivité thermique comprise entre 0,022 et 0,025 W/m.K pour les panneaux 0,028 et 0,030 W/m.K) les mousses de polyuréthanes (PUR) (ont des mousses dures peu compressibles et ayant de bonnes qualités isolantes) sont fabriqués par le mélange des trois composants : le polyol, l'isocyanate et l'agent d'expansion (HFC ou CO<sub>2</sub>) en présence de catalyseurs. C'est matériau léger avec une masse volumique de 40 Kg/m<sup>3</sup>, dans le cas de l'incendie il devient très dangereux puisque sont dégagés des isocyanates, de monoxyde de carbone et de l'acide cyanhydrique. Les isolants en polyuréthanes commercialisé sous forme de panneaux moussés entre deux feuilles de divers matériaux (kraft, aluminium, voile de verre, ...) qui assurent l'étanchéité a l'air.



### I.7.6.3. Les isolants végétaux

Plusieurs végétaux produisent des fibres qui peuvent être mise à profit pour fabriquer des isolants efficaces, ces isolants présente beaucoup d'avantages car ils sont des matériaux naturels et ils sont plus adapté à la construction écologique.

Le chanvre : (conductivité thermique comprise entre 0,039 et 0,042 W/m.K) Le chanvre est une plante donnant des fibres qui peuvent être utilisées en vrac (chènevotte en vrac) ou en panneaux ou rouleaux (laine de chanvre). Le chanvre est naturellement imputrescible, Il est perméable à la vapeur d'eau et constitue un bon régulateur hygrométrique : il absorbe l'humidité et la rejette quand le temps est sec. Il s'agit d'un isolant moyenne des isolants thermiques fibreux. Le chanvre est inflammable et sensible a l'humidité.



La chènevotte : (conductivité thermique comprise entre 0,039 et 0,042 W/m.K) la chènevotte est le cœur de la tige de chanvre. Elle peut être utilisée comme isolant en vrac ou être mélangée avec la chaux naturelle, elle est assez légère avec une masse volumique comprise entre 100 et 115Kg/m<sup>3</sup>. Elle utilise pour l'isolation thermique comme pour l'isolation acoustique, elle est utilisée pour la fabrication de mortier de bétons ou de blocs de construction allégés isolants. Les bétons de chanvre possèdent de bonne performance thermique et acoustique avec une amélioration sensible de l'inertie thermique. La chènevotte est perméable à l'eau et elle est très hydrophile (400 à 500% de pouvoir d'absorption de sa masse), c'est pour sa elle est souvent enrobée de bitume, elle est inflammable et devient une source potentielle de gaz natif en cas d'incendie.



Le lin : Le lin (*Linum usitatissimum* ou lin cultivé) est une Plante herbacée à feuilles simples, à fleurs colorées, à cinq pétales, très fugaces. Il est utilisé pour la fabrication des isolants, on utilise des fibres courtes de bas de la tige, ces fibres sont thermoliées avec du polyester pour constituer un matériau. Les laines de lin sont assez légères de masse volumique varie entre 20 et 60  $\text{Kg/m}^3$ , les feutres de lin ont une masse volumique d'environ 150  $\text{Kg/m}^3$ . Les performances thermiques des laines de lin sont moyennes avec une conductivité thermique comprise entre 0,037 et 0,040  $\text{W/m.K}$ , le feutre de lin offre une performance thermique légèrement moindre avec une conductivité thermique de 0,047  $\text{W/m.K}$ . Les propriétés acoustiques sont bonnes donc il peut être utilisé aussi comme étant un isolant acoustique.



Le liège : Le liège provient de l'écorce du chêne-liège qui pousse dans les régions méditerranéennes. Il présente d'excellentes qualités techniques mais son prix relativement élevé et la limitation de la ressource incitent à le réserver aux emplois pour lesquels les autres isolants « écologiques » sont techniquement inadaptés (isolation enterrée ou en sols).



La laine de coton : La laine de coton en isolant est généralement composée de coton naturel et de cotons recyclés, alors c'est un matériau écologique. Le coefficient de conductivité thermique de la laine de coton est varié entre 0,037 et 0,042  $\text{W/m.K}$ . La laine de coton est caractérisée par une mauvaise conductivité thermique alors il est déconseillé d'être utilisé comme isolant vertical car elle tasse. Elle est très perméable à la vapeur d'air donc elle a une bonne régulation de l'hygrométrie.



#### I.7.6.4. Les isolants animale

Nombreux animaux qui ont su développer des systèmes efficaces pour assurer leur propre isolation thermique et résisté à des bases températures, donc tous les poils et plumes des animaux pourraient être utilisés comme isolants

La laine de mouton : (conductivité thermique comprise entre 0,035 et 0,044 W/m.K) Après la tonte, la laine du mouton nécessite un lavage complet en plusieurs étapes : trempage, dégraissage, lavage, rinçage, traitement et séchage. Ensuite elle est tirée, cardée, pour retirer les impuretés, puis napper pour former un matelas. La laine de mouton est légère avec une masse volumique comprise entre 12 et 35 Kg/m<sup>3</sup>, si elle assure une bonne isolation l'hiver, sa faible inertie la rend inadapté pour le confort d'été, elle est très perméable a la vapeur d'eau, elle peut absorber le tière de son poids en eau.



La plume de canard : (conductivité thermique comprise entre 0,033 et 0,042 W/m.K) la plume de canard est reconnue depuis longtemps pour ses performances thermiques, sa capacité thermique est incontestable (Cet isolant se compose de 70% de plumes, 10% de laine de mouton et 20% de fibres thermo-fusibles). La masse volumique des isolants a base de plumes est comprise entre 26 et 34 Kg/m<sup>3</sup>, elle offre une bonne inertie ce qui améliore les performances thermiques des bâtiments. Elle offre également une bonne isolation acoustique.



***CHAPITRE IV***  
***METHODE DE DIAGNOSTIC DE***  
***PERFORMANCE ENERGETIQUE 3CL***

## IV.1. DEFINITION

La méthode de calcul 3CL (calcul des consommations conventionnels des logements) c'est une méthode qui nous permet de faire une évaluation des consommations du chauffage, production d'eau chaude sanitaire, ventilation et la climatisation. La performance énergétique des logements et bâtiments est indiquée par l'utilisation de deux étiquettes. L'une mentionne la consommation et l'autre permet de connaître l'impact de la consommation énergétique sur les émissions des gaz à effet de serre.

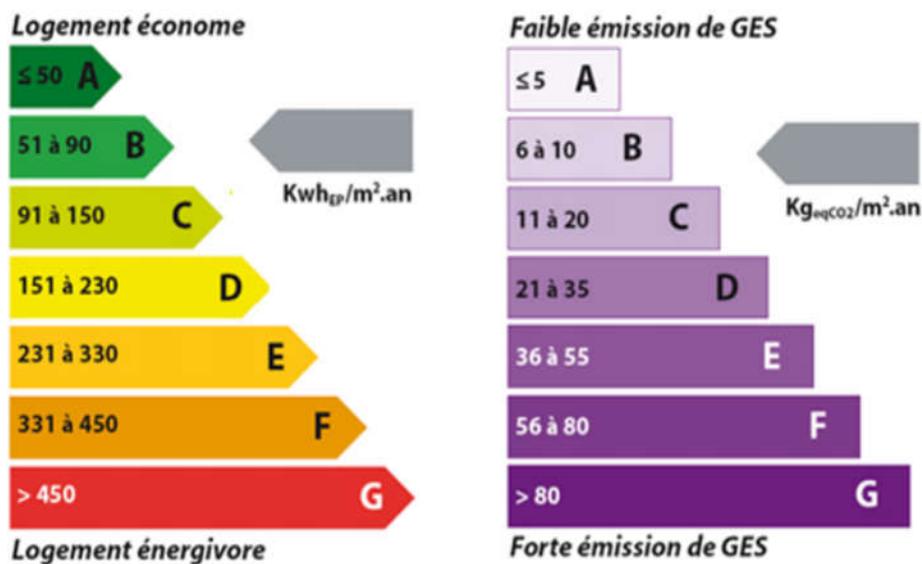
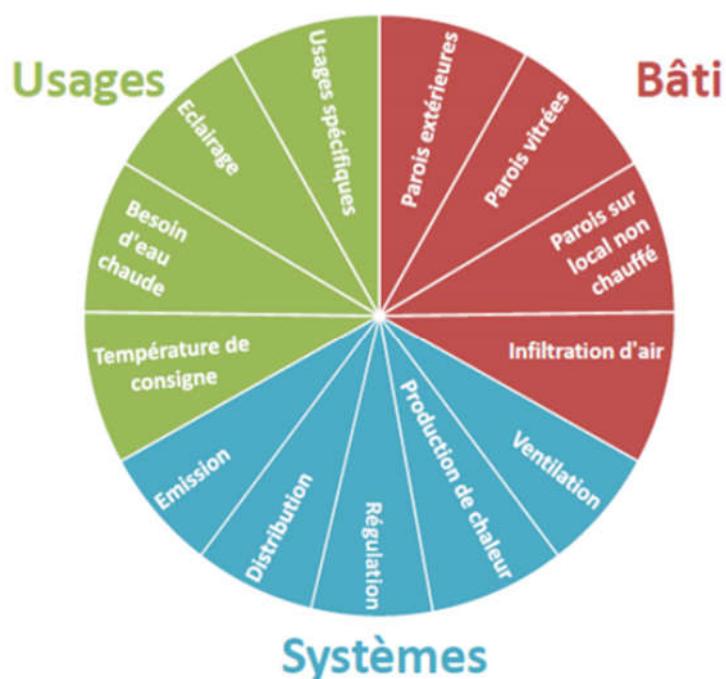


Figure 31. Etiquettes énergie du DPE

## IV.2. PLAGES D'APPLICATION DE LA METHODE 3CL

La méthode de calcul «3CL-DPE » est applicable dans les bâtiments à usage résidentiel, administratifs, commerciaux, ... et pour les bâtiments neufs ou existants.

- En résidentiel : le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, le refroidissement du logement. Certaines consommations comme l'éclairage, la cuisson ou l'électroménager ne sont pas comptabilisées dans les étiquettes énergie et climat des bâtiments.
- En non résidentiels : on prend l'ensemble des consommations sans exception.



**Figure 32. Les consommations d'énergie prise en compte dans la méthode 3CL**

### IV.3. DONNEES D'ENTREE DE LA METHODE 3CL

Pour faire une évaluation des consommations énergétique à partir de la méthode 3CL nous avons besoin de collecter des données sur place concernant la description du bâti.

Ces données sont :

- Date de construction.
- Emplacement.
- Surface habitable.
- Périmètre.
- Nombre d'étages.
- Description des murs :
  - Type de matériau (béton, pierre, brique, inconnu, ...).
  - Etat d'isolation (isolé, non isolé, inconnu).
  - Niveau d'isolation (épaisseur, résistance, année d'isolation, année de construction).
- Description de la toiture :
  - Type de plancher haut (terrasse, combles perdus, comble aménager, ...).
  - Configuration de plancher (poutrelles hourdis, dalle béton, ...).
  - Etat d'isolation (isolé, non isolé, inconnu).
  - Niveau d'isolation (épaisseur, résistance, année d'isolation, année de construction).

- Description du plancher bas :
  - Type de plancher bas (terre-plein, vide sanitaire, ...).
  - Configuration de plancher (poutrelles hourdis, dalle béton, ...).
  - Etat d'isolation (isolé, non isolé, inconnu).
  - Niveau d'isolation (épaisseur, résistance, année d'isolation, année de construction).
  - Type de chauffage (effet joule, autres).
  - Surface de plancher sur terre-plein.
  - Périmètre de plancher sur terre-plein.
- Description parois vitrés (fenêtres, portes fenêtres, ...) :
  - Inclinaison des parois (verticales, horizontales).
  - Type de vitrage (simple vitrage, double vitrage, survitrage, ...).
  - Niveau d'isolation (épaisseur lame d'air, isolation renforcée, remplissage gaz rare, ...).
  - Nature de menuiserie (bois, PVC, métal, ...).
  - Type de menuiserie (battante, coulissante).
  - Type de baie (fenêtre, porte-fenêtre sans soubassement, porte-fenêtre avec soubassement).
  - Type de volet (jalousie, volet roulant, ...).
- Description des portes :
  - Type de porte (opaque pleine, avec 30% de vitrage, ...).
  - Type de menuiserie (bois, PVC, ...).
- Description des ponts thermiques :
  - Type d'isolation (ITI, ITE, ITR).
  - Nombre de niveaux.
  - Nombre d'appartements.
  - Retour d'isolation autour des menuiseries (avec ou sans).
  - Position des menuiseries (nu extérieur, nu intérieur, tunnel).
  - Largeur des dormants.
- Détermination des sollicitations environnementales :
  - Wilayas.
  - Altitude (m)
  - Degrés-heures de chauffage corrigé (DHcor).
  - Facteurs de correction de l'altitude et de la position par rapport à la mer (C2, C3).
  - Degrés heure de référence pendant la période de chauffage (Dhref).
  - Apports internes dans le logement (Ai).
  - Nombre d'heures de la période de chauffage (Nref).
  - Apports solaires (As).
  - Surface transparente Sud équivalente (Sse).
  - Ensoleillement reçu (E).
  - Zone climatique (HI, HII, HIII, HIV).

- Inclinaison des baies (verticale, pente, horizontale).
- Orientation des baies (Nord, Sud, Est, Ouest).
- Position des baies en flanc de loggias.
- Positionnement de la menuiserie (tunnel, nu intérieur...).
- Type de masque : proche (balcon, loggias, ...) ou lointain.
- Profondeur des masques proches (profondeur balcon). Largeur des baies.
- Proportion d'énergie solaire incidente qui pénètre dans le logement par la paroi(Fts).
- Facteur d'ensoleillement (Fe).
- Coefficient d'orientation et d'inclinaison pour la paroi (C1).
- Description d'installation des équipements de chauffages :
  - Type de bâtiment.
  - Type de chauffage (divisé, central).
  - Type de régulation (par pièce ou non).
  - Equipement d'intermittence (absent, central sans minimum de température, ...). Type d'émetteur (air soufflé, convecteurs, ...).
  - Hauteur moyenne sous plafond.
  - Présence d'un comptage.
- Consommation de chauffage :
  - Rendements de génération, d'émission, de distribution et de régulation Rg, Re, Rd, Rr (sans dimension).
  - Coefficient de performance des pompes à chaleur (PAC) : COP (sans dimension).
  - Type d'installation de chauffage : avec ou sans solaire, base + appoint...
  - Puissance nominale de tous les générateurs.
  - Type de production d'ECS (instantanée, accumulation).
  - Type de générateur d'ECS (chauffe-bain, chaudière mixte, ...).
  - Inertie du bâtiment.
  - Facteur de couverture solaire pour le chauffage.
  - Besoin de chauffage (BCH).
  - Degrés-heures corrigés de chauffage (DHcor).
  - Pertes récupérables des systèmes (Pr).
  - Rendement de récupération des pertes (Rrp).
  - Consommation de chauffage (Cch).
  - Inverse du rendement de l'installation (Ich).

## IV.5. MODELES

### IV.5.1. Expression du besoin de chauffage

BV : besoins annuels de chauffage d'un logement par degré d'écart entre l'intérieur et l'extérieur durant la période de chauffage.

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

F : est la fraction des besoins de chauffage couverts par les apports gratuits.

GV : somme des déperditions par les parois et par le renouvellement d'air par degré d'écart entre l'intérieur et l'extérieur.

### IV.5.2. Calcul des déperditions de l'enveloppe GV

$$GV = DP_{murs} + DP_{Plafond} + DP_{Planchers} + DP_{Baies} + DP_{Portes} + PT + DR$$

$$DP_{murs} = b_1 \times S_{mur1} \times U_{mur1} + b_2 \times S_{mur2} \times U_{mur2} + b_3 \times S_{mur3} \times U_{mur3} + \dots$$

$$DP_{Plafonds} = b_1 \times S_{Plafond1} \times U_{Plafond1} + b_2 \times S_{Plafond2} \times U_{Plafond2} \\ + b_3 \times S_{Plafond3} \times U_{Plafond3} + \dots$$

$$DP_{Planchers} = b_1 \times S_{Plancher1} \times U_{Plancher1} + b_2 \times S_{Plancher2} \times U_{Plancher2} \\ + b_3 \times S_{Plancher3} \times U_{Plancher3} + \dots$$

$$DP_{Baies} = b_1 \times S_{Baie1} \times U_{Baie1} + b_2 \times S_{Baie2} \times U_{Baie2} + b_3 \times S_{Baie3} \times U_{Baie3} + \dots$$

$$DP_{Portes} = b_1 \times S_{Porte1} \times U_{Porte1} + b_2 \times S_{Porte2} \times U_{Porte2} + b_3 \times S_{Porte3} \times U_{Porte3} + \dots$$

GV : somme des déperditions par les parois et par le renouvellement d'air par degré d'écart entre l'intérieur et l'extérieur (W/K).

DPi : déperdition par la paroi i par degré d'écart entre l'intérieur et l'extérieur (W/K)

Si : surface de la paroi déprédative i (m<sup>2</sup>).

Ui : coefficient de transmission thermique surfacique de la paroi i par degré d'écart entre l'intérieur et l'extérieur (W/m<sup>2</sup>. K).

PT : déperdition par les ponts thermiques par degré d'écart entre l'intérieur et l'extérieur (W/K).

DR : déperditions par le renouvellement d'air par degré d'écart entre l'intérieur et l'extérieur (W/K).

bi : coefficient de réduction des déperditions pour la paroi i.

### IV.5.2 Coefficient de réduction des déperditions b

Pour une paroi donnant sur l'extérieur,  $b=1$ .

Pour une paroi enterrée ou un plancher sur vide sanitaire,  $b=0,8$ .

Pour les bâtiments adjacents autres que d'habitation,  $b=0,2$ .

Dans les autres cas, la méthode de calcul qui suit doit être utilisée :

Des valeurs du coefficient  $b$  sont données dans des tableaux (Annexe - Méthode 3CL-DPE v1.3) et ceci en fonction du rapport des surfaces  $A_{iu}/A_{ue}$  et du coefficient surfacique équivalent  $UV_{ue}$ . Dans le cas de locaux non chauffés non accessibles, une estimation des surfaces  $A_{iu}$  et  $A_{ue}$  peut être réalisée. Elle devra être signifiée et justifiée dans le rapport.

$A_{iu}$  ( $m^2$ ) : Surface des parois séparant l'espace non chauffé des espaces chauffés.

$A_{ue}$  ( $m^2$ ) : Surface des parois séparant le local non chauffé de l'extérieur, du sol ou d'un autre local non chauffé.

### IV.5.3. Coefficients U

Le coefficient de transmission thermique est un coefficient quantifiant le flux d'énergie traversant un milieu, par unité de surface (les parois, les planchers, les ouvertures), par unité de volume (ventilation) ou par unité de longueur (les ponts thermiques). L'inverse de coefficient de transfert thermique est la résistance thermique.

Le calcul du coefficient de transmission thermique des parois s'effectue en pondérant les caractéristiques thermiques des composants par leurs surfaces ou linéaires correspondants par rapport à la surface totale de la paroi.

Pour déterminer les coefficients de la transmission thermique des parois verticales, plafonds, planchers et ouvrants les données des règles TH-U peuvent être utilisées.

### IV.5.4. Déperditions par les ponts thermiques

$$PT = \sum_{i,j} b_{pb\_i/m\_j} \cdot k_{pb\_i/m\_j} \cdot l_{pb\_i/m\_j} + \sum_{i,j} b_{pi\_i/m\_j} \cdot k_{pi\_i/m\_j} \cdot l_{pi\_i/m\_j} \\ + \sum_{i,j} b_{ph\_i/m\_j} \cdot k_{ph\_i/m\_j} \cdot l_{ph\_i/m\_j} + \sum_{i,j} b_{rf\_i/m\_j} \cdot k_{rf\_i/m\_j} \cdot l_{rf\_i/m\_j} \\ + \sum_{i,j} b_{men\_i/m\_j} \cdot k_{men\_i/m\_j} \cdot l_{men\_i/m\_j}$$

- $l_{pb\_i/m\_j}$  : longueur du pont thermique plancher bas i mur j.
- $l_{pi\_i/m\_j}$  : longueur du pont thermique plancher intermédiaire i mur j.
- $l_{ph\_i/m\_j}$  : longueur du pont thermique plancher haut i mur j.

- $l_{rf\_i/m\_j}$  : longueur du pont thermique refend i mur j. Pour un DPE réalisé à l'immeuble,  $l_{rf\_i/m\_j}=2.hsp.(N-niv)$  avec hsp : hauteur moyenne sous plafond, N : nombre d'appartements et niv : nombre de niveaux. En présence de plusieurs types de mur, le linéaire du pont thermique refend / mur est supposé réparti au prorata de la surface de chaque mur. Les combles aménagés sont considérés comme des demi-niveaux.
- $l_{men\_i/m\_j}$  : longueur du pont thermique menuiserie i mur j.
- ITI, ITE, ITR : respectivement isolation thermique intérieure, extérieure et répartie.
- $k_{pb\_i/m\_j}$  : valeur du pont thermique de la liaison Plancher bas i/Mur j.
- $k_{pi\_i/m\_j}$  : valeur du pont thermique de la liaison Plancher intermédiaire i/Mur j.
- $k_{ph\_i/m\_j}$  : valeur du pont thermique de la liaison Plancher haut lourd i/Mur j.
- $k_{rf\_i/m\_j}$  : valeur du pont thermique de la liaison Refend i/Mur j.
- $k_{men\_i/m\_j}$  : valeur du pont thermique de la liaison Menuiserie i/Mur j.

#### IV.5.5. Déperditions par renouvellement d'air :

$$DR = H_{vent} + H_{perm}$$

- DR : déperditions par le renouvellement d'air par degré d'écart entre l'intérieur et l'extérieur (W/K).
- $H_{vent}$  : déperdition thermique par le renouvellement d'air du au système de ventilation par degré d'écart entre l'intérieur et l'extérieur (W/K).
- $H_{perm}$  : Déperdition thermique par le renouvellement d'air dû à la perméabilité à l'air du bâtiment par degré d'écart entre l'intérieur et l'extérieur (W/K).

$$H_{vent} = 34,0 \times Q_{varepconv} \times Sh$$

- $Q_{varepconv}$  : débit d'air extrait conventionnel par unité de surface habitable ( $m^3/h/m^2$ ).
- $Sh$  : Surface habitable ( $m^2$ ).

$$H_{perm} = 34,0 \times Q_{vinf}$$

- $Q_{vinf}$  : débit d'air dû aux infiltrations (provoquées par le tirage thermique, l'impact du vent étant négligé) ( $m^3/h$ ).

$$Q_{vinf} = 0,0164 \times Q_{4PA} \times (0,7 \times |19 - T_{ext_{moy}}|)^{0,667}$$

- $T_{ext_{moy}}$  : température extérieure moyenne du site ( $^{\circ}C$ ).

Zone climatique	$Text_{moy}$
A	3
B	2
C	-3
D	4

**Tableau 13. Conditions intérieures (confort d'été) [DTR C 3.4]**

$$Q_{4Pa} = Q_{4Pa_{env}} + 0,45 \times Smea_{conv} \times Sh$$

- $Q_{4Pa}$ : perméabilité sous 4 Pa de la zone (m<sup>3</sup>/h).
- $Q_{4Pa_{env}}$ : perméabilité de l'enveloppe (m<sup>3</sup>/h).

$$Q_{4Pa_{env}} = Q_{4Pa_{env/m^2}} \times Sdep$$

- $Q_{4Pa_{env/m^2}}$ : Valeur conventionnelle de la perméabilité sous 4 Pa (m<sup>3</sup>/h).
- Pour une ventilation double flux avec échangeur :

$$Hvent = 0,136 \times Qvarep_{conc} \times Sh$$

- Pour puit climatique (canadien ou provençal) :

$$Hvent = 0,2142 \times Qvar ep_{conv} \times Sh$$

- Sdep : surface des parois déprédatives hors plancher bas.
- $Smea_{conv}$  : valeur conventionnelle de la somme des modules d'entrée d'air sous 20 Pa par unité de surface habitable (m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>).

#### IV.5.6. Sollicitations environnementales :

$$X = \frac{A_s + A_i}{GV \times DHcor}$$

- DHcor : degrés-heures de chauffage corrigé (°Ch).

$$DHcor = Dhref + \left( \frac{Nref}{C2} + 5 \right) \times C3 \times alt$$

- alt : altitude du site où est situé le logement (m).
- C2, C3 : facteurs de correction de l'altitude et de la position par rapport à la mer.
- Dhref : degrés heure de référence pendant la période de chauffage (°C).

- $A_i$  : apports internes dans le logement (kWh).

$$A_i = 4,17 \times Sh \times N_{ref}$$

- 4,17 représente les apports internes dissipés dans le logement en  $W/m^2$ . Cette valeur correspondant à une énergie dissipée égale à  $100 \text{ Wh}/(\text{jour} \cdot m^2 \cdot Sh_{hab})$  et est une valeur conventionnelle représentative du comportement et de l'équipement moyens des occupants de logements en France.
- $Sh$  : surface habitable du logement ( $m^2$ ).
- $N_{ref}$  : nombre d'heures de la période de chauffage.
- $A_s$  : apports solaires (kWh).

$$A_s = 1000 \times E \times S_{se}$$

- $S_{se}$  : « surface transparente Sud équivalente » du logement, c'est-à-dire la surface de paroi, fictive, exposée au Sud, totalement transparente et sans ombrage, qui provoquerait les mêmes apports solaires que les parois du logement ( $m^2$ ).
- $E$  : ensoleillement reçu, pendant la période de chauffage, par une paroi verticale orientée au Sud en l'absence d'ombrage ( $kWh/m^2$ ).

Régions	Littoral	Hauts Plateaux	Sahara
Ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue E ( $kWh/m^2/an$ )	1700	1900	2650

**Tableau 14. Ensoleillement reçu en Algérie par région climatique**

#### IV.5.7. Surface Sud équivalente :

$$S_{se} = \sum_i A_i \times F_{ts_i} \times F_{e_i} \times C_{1_i}$$

- $A_i$  : surface de la baie  $i$  ( $m^2$ ).
- $F_{ts_i}$  : proportion d'énergie solaire incidente qui pénètre dans le logement par la paroi  $i$ .
- $F_{e_i}$  : facteur d'ensoleillement, qui traduit la réduction d'énergie solaire reçue par une paroi du fait des masques.
- $C_{1_i}$  : coefficient d'orientation et d'inclinaison pour la paroi  $i$ .

➤ **Coefficient d'orientation et du facteur solaire :**

- Si Fts est connu pour la baie, saisir directement sa valeur.
- Pour les parois en polycarbonate : Fts=0.4.
- Pour les parois en brique de verre pleine ou creuse : Fts=0.4.
- Pour les doubles-fenêtres composées de fenêtres de facteur solaire Fts1 et Fts2, le facteur solaire de la double fenêtre. est : Fts = Fts1 × Fts2.

➤ **Facteur d'ensoleillement :**

On considère successivement les obstacles liés au bâtiment (balcons, loggias, avancées, ...), appelés masques proches, et les obstacles liés à l'environnement (autres bâtiments, reliefs, végétation, ...), appelés masques lointains. On obtient ainsi deux coefficients, Fe1 et Fe2, dont on fait le produit, soit :

$$Fe = Fe1 \times Fe2$$

- En l'absence de masque proche Fe1 = 1.
- En l'absence de masque lointain Fe2 = 1.

Conventionnellement, les orientations Nord, Sud, Est et Ouest correspondent aux secteurs situés de part et d'autre de ces orientations dans un angle de 45°. Pour respectivement le Nord et le Sud, les orientations incluent les limites Nord-est, Nord-Ouest et Sud-Est, Sud-Ouest.

#### **IV.5.8. Facteur d'intermittence INT :**

Le facteur d'intermittence traduit les baisses temporaires de température réalisées pour différentes raisons (absence, ralenti de nuit) et éventuellement de façon inégale dans les pièces.

Il est égal au rapport entre les besoins réels, compte tenu d'un comportement moyen des occupants, et les besoins théoriques.

$$INT = \frac{I_0}{1 + 0,1 \times (G - 1)}$$

Avec  $G = \frac{GV}{hsp \times Sh}$

- hsp est la hauteur moyenne sous plafond. En présence de plusieurs surfaces habitables avec des hauteurs sous plafond différentes, une pondération peut être faite par les surfaces habitables affectées à chaque hauteur sous plafond.

**Remarque :** Dans la prise en compte de l'intermittence, en maison individuelle comme en appartement en immeuble collectif, c'est le système principal couvrant

la plus importante surface habitable qui est considéré. Une maison individuelle branchée sur un réseau collectif de fourniture d'énergie pour le chauffage sera traitée comme une maison individuelle avec un chauffage individuel central.

- L'équipement d'intermittence peut être :
  - En chauffage individuel :
    - ✓ Absent : pas d'équipement permettant de programmer des réduits de température.
    - ✓ Central sans minimum de température : équipement permettant une programmation seulement de la fonction marche / arrêt et donc ne garantissant pas un minimum de température.
    - ✓ Central avec un minimum de température : équipement pouvant assurer :
      - \*centralement un ralenti ou un abaissement de température fixe, non modifiable par l'occupant, ainsi que la fonction hors gel.
      - \*centralement un ralenti ou un abaissement de température au choix de l'occupant.
    - ✓ Pièce par pièce avec minimum de température : équipement permettant d'obtenir par pièce un ralenti ou un abaissement de température fixe, non modifiable par l'occupant.
  - En chauffage collectif :
    - ✓ Absent : pas de réduit de nuit.
    - ✓ Central collectif : possibilité de ralenti de nuit.

Un système de chauffage divisé est un système pour lequel la génération et l'émission sont confondues. C'est le cas des convecteurs électriques, planchers chauffants électriques, etc. Un système de chauffage central comporte un générateur central, individuel ou collectif, et une distribution par fluide chauffant : air ou eau.

➤ **La consommation de chauffage :**

$$Cch = Bch \times Ich \times INT$$

Avec :

- Cch : consommation de chauffage (kWh PCI).
- Ich : inverse du rendement de l'installation.
- INT : facteur d'intermittence.

$$Ich = \frac{1}{Rg \times Re \times Rd \times Rr}$$

- Rg : le rendement conventionnel du générateur ou le coefficient de performance des pompes à chaleur (COP).
- Re : le rendement d'émission.
- Rd : le rendement de distribution.

- Rr : le rendement de régulation.

$$Bch' = Bch \times INT$$

- **Installation de chauffage :**

$$Cch = Bch' \times Ich$$

Avec

$$Bch' = Bch \times INT$$

#### IV.5.11. Consommations de refroidissement (climatisation)

$$Cclim = Rclim \times Sclim$$

- Cclim : la consommation de refroidissement (climatisation).
- Sclim : la surface climatisée.

$$Sclim = \alpha \times Sh$$

- $\alpha$  : Pourcentage de surface habitable climatisée.

#### IV.5.12. Besoin d'eau chaude sanitaire :

- Surface habitable  $\leq 27m^2$  :

- Maison ou appartement :

$$Becs = 0,0558 \times (40 - \theta_{cw}) \times Sh$$

- Immeuble de N appartements :

$$Becs = N \times 0,0558 \times (40 - \theta_{cw}) \times Sh_{moy}$$

- Surface habitable  $> 27m^2$

- Maison ou appartement :

$$Becs = 0,988 \times (470,9 \times \ln(Sh) - 1075) \times (40 - \theta_{cw})$$

- Immeuble de N appartements :

$$Becs = N \times 0,988 \times (470,9 \times \ln(Sh_{moy}) - 1075) \times (40 - \theta_{cw})$$

Becs : Besoin de chauffage (KWh)

$\theta_{cw}$  : température de l'eau froide entrant dans le système de préparation d'eau chaude.

Sh : surface habitable des maisons et appartements ( $m^2$ )

$Sh_{moy}$  : surface habitable moyenne d'un appartement dans un immeuble collectif ( $m^2$ )

N : nombre d'appartements dans un immeuble collectif d'habitation.

#### IV.5.13. Consommation d'eau chaude sanitaire :

$$Cecs = Becs \times Iecs$$

Avec :

$$Iecs = \frac{1}{Rs \times Rd \times Rg}$$

Cecs : consommation liée au système de production d'ECS (kWh PCI).  
Becs : besoin d'ECS (kWh).

***CHAPITRE V***  
***SIMULATION AVEC OAPEC***

## V.1. À PROPOS DU LOGICIEL

Le **OAPEC** « Outil d'Aide aux Performances Energétique des Constructions » c'est un logiciel « Software » de calcul énergétique des bâtiments. Ce logiciel a été spécialement développé pour répondre à l'obligation de fournir un diagnostic de performance énergétique, pour but d'évaluer les consommations des logements, donc c'est un outil de détermination des performances thermique pour les maisons individuelles, les appartements et les immeubles collectifs, il est applicable pour les structures neufs comme existants.

**OAPEC** convient pour les Diagnostiqueurs « auditeurs », les Bureaux d'études techniques, les entreprises et même pour les chercheurs dans le domaine de la thermique du bâtiment.

La méthode de calcul **3CL-DPE V1.3** utilisée par **OAPEC** est issue du bulletin officiel du 17 octobre 2012. Cette méthode fait donc partie des méthodes officielles proposées et mises à disposition des diagnostiqueurs par les pouvoirs publics (France). Pour l'utilisateur averti **OAPEC** permettra un gain de temps appréciable pour produire rapidement des DPE. Les résultats obtenus lors du DPE sont fonction des données introduit dans le logiciel. Ces résultats se sont :

- Les consommations de chauffage, ECS et climatisation en KWh.
- Les consommations conventionnelles en KWh/m<sup>2</sup>/an.
- Etiquette énergétique.
- L'impact de ces consommations sur les émissions des gaz à effet de serre en KgequCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/an avec leur étiquète climatique.
- Déperditions des éléments de l'enveloppe ainsi que leurs répartitions en pourcentages.

L'utilisation du logiciel ne nécessite aucune manipulation spécifique par l'utilisateur pour son installation donc il suffit juste d'exécuter l'icône **OAPEC.exe**. Il est possible d'utiliser cet outil à partir d'un DVD-ROM, Clé USB, ... Ce logiciel fonctionne sur PC (bureau ou portable) Il est compatible avec tous les versions de Windows (XP, VISTA, WINDOWS 7, 8, 10). OAPEC ne fonctionne pas sur Mac OS.

Pour la configuration minimum : Processeur PIII 600 MHz et 256 Mo de mémoire vive.

L'utilisation de **OAPEC** ne disposer pas des droits administrateurs parce qu'il est **100 % gratuit**, donc il est à la porter de tout le monde.

## V.2. Présentation du projet

Nous allons traiter à titre d'exemple un projet de maison individuelle

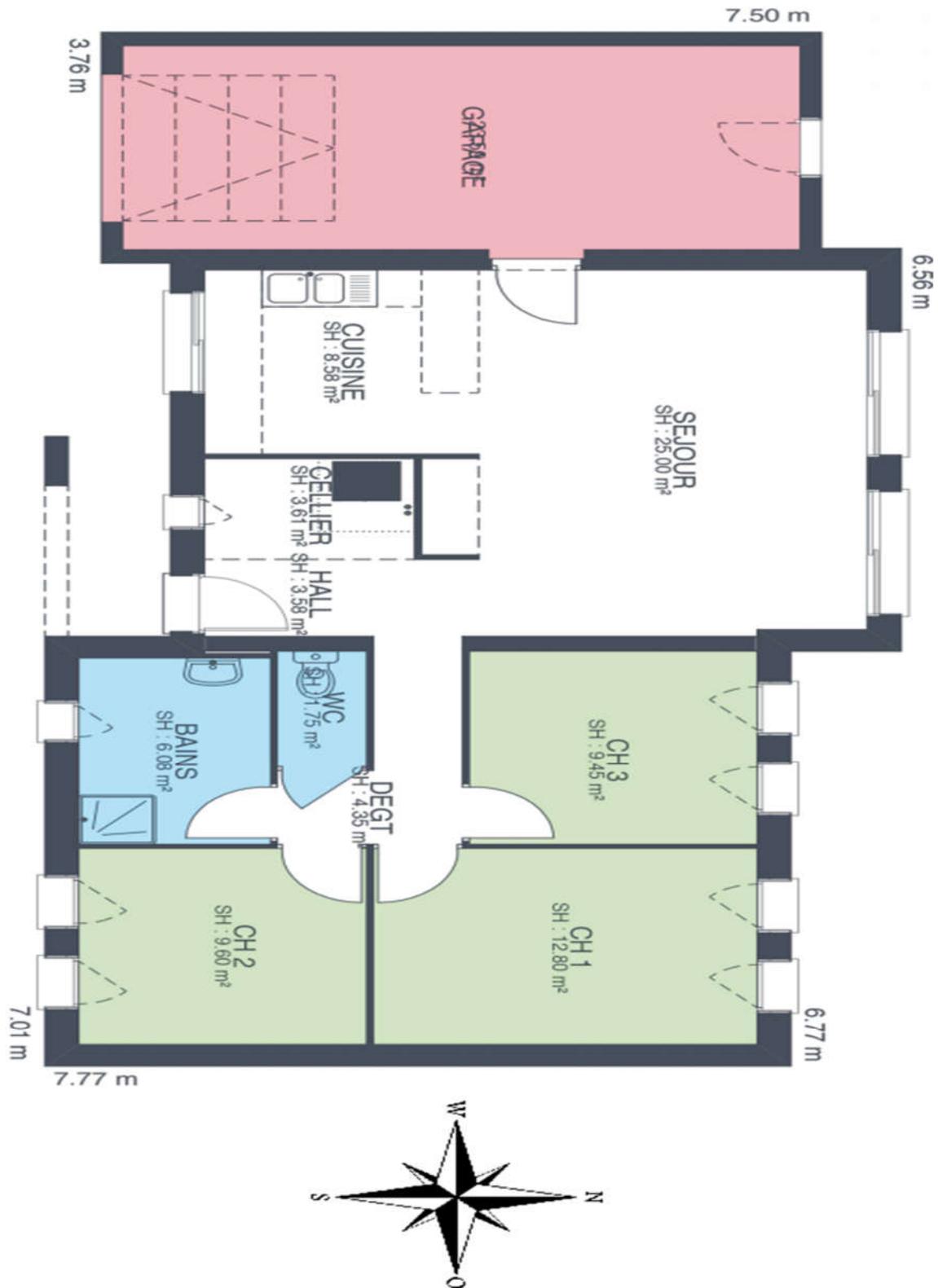


Figure 33. Vu en plan



**Figure 34. Ve en 3D**

### V.3. DONNEES D'ENTRER

Surface Habitable	85m <sup>2</sup>	
Périmètre	44.47m	
Fenêtres Côté Nord	16 m <sup>2</sup> (surface totale)	Bois avec volets (ép. : 22mm) en bois
Fenêtres Côté Sud	5.94 m <sup>2</sup> x4 (surface totale)	Bois avec volets (ép. : 22mm) en bois
Porte	2.64 m <sup>2</sup>	Bois opaque plein en métal
Murs	épaisseur 20cm	briques creuses non isolé
Murs	Type 1 : 21m <sup>2</sup>	Donne vers le garage
Murs	Type 2 : 106.6 m <sup>2</sup>	Donne vers l'extérieur
Plancher Haut	85 m <sup>2</sup>	Dalle en béton – Terrasse non isolée – non chauffé sur l'extérieur
Plancher Bas	85 m	Sur terre-plein
Ponts thermiques	38.07 m	Planche bas/mur non isolé
Ponts thermiques	38.07 m	Planche haut/mur non isolé
Ponts thermiques « Refend / Mur »	15.27 m	
Ponts thermiques « Menuiserie »	63 m	
Equipements		Maison Ind. avec chauffage individuel
Système de chauffage		Chaudière Gaz installée en 1997 – Central sans robinets thermostatiques – effet de joule - instantané

Programmateur		Non
Emetteur		autre
ECS		Chaudière Gaz installée en 1997 (mixte) sans veilleuse
Ventilation	Surface 103.8 m <sup>2</sup>	Avec ouverture des fenêtres (menuiserie sans joints)
Climatisation	73.56 m <sup>2</sup>	Autre système

**Tableau 15. Données DPE**

## V.4. SIMULATION

### V.4.1. Interface de logiciel



**Figure 35. Interface de logiciel**

## V.4.2. La description du bâti

The screenshot shows a software window titled "DESCRIPTION DU BATIMENT" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The window contains a form with the following fields:

Field	Value
Ville	Tlemcen (13)
Zone d'hiver	II
Périmètre	44,47 m
Hauteur sous plafond	2,8 m
Année de construction	de 1989 à 200
Altitude	850 m
Zone d'été	Eb
Surface habitable	85 m <sup>2</sup>
Nombre de niveaux	1
Inertie	Lourde

At the bottom center of the window is a blue button labeled "CONFIRMER".

Figure 36. Description du bâtiment

### V.4.3. Description des murs

**DESCRIPTION DES MURS**

Umur

Type de murs

Epaisseur des murs

Le mur est isolée

Umur

Type de murs

Type 1

Surface du murs  b1=0,95

Local non chauffés

Type 2

Surface du murs  b2=1

Local non chauffés

Figure 37. Description des murs

- Les locaux non chauffés

The screenshot shows a software window titled "Local non chauffé". It contains the following elements:

- Type de bien:** A dropdown menu with the value "Maison individuelle".
- Type de local non chauffé:** A dropdown menu with the value "Garage".
- Aiu:** A text input field containing the value "21".
- Aue:** A text input field containing the value "40,18".
- Non isolée:** A dropdown menu with the value "Non isolée".
- calculer b:** A button located at the bottom right of the form area.

**Figure 38. Locaux non chauffés**

#### V.4.4. Description du plancher haut

DESCRIPTION DU PLAFOND HAUT

Surface de plafond 85 m<sup>2</sup>

Uplafond Non ▾

Type de couverture Dalle béton ▾

La nature du plafond Terrasse ▾

Le plafond est isolé Non ▾

Locaux non chauffés Sur l'extérieur ▾

b=1

Uph 2

CONFIRMER

Figure 39. Description du plancher haut

#### V.4.5. Description du plancher bas

The screenshot shows a software window titled "DESCRIPTION DU PLANCHER BAS". The window contains the following fields and controls:

- Surface de plancher:** A text input field containing the value "85" followed by the unit "m<sup>2</sup>".
- Uplancher:** A dropdown menu with the selected option "Non".
- Type de plancher:** A dropdown menu with the selected option "Sur terre-plein".
- b=** A text input field containing the value "1".
- Code:** A text input field containing the value "Upb", with "0,35" displayed below it.
- CONFIRMER:** A button located at the bottom left of the window.

The window has standard Windows-style window controls (minimize, maximize, close) in the top right corner.

**Figure 40. Description du plancher bas**

## V.4.6. Description des ouvertures

### V.4.6.1. Façade Nord

The screenshot shows a software interface for describing openings on the North facade. The interface is titled "Nord" and contains several input fields and dropdown menus for parameters:

- Surface de fenêtres:** 16 m<sup>2</sup>
- Inclinaison de la paroi:** >75
- Uw vitrage:** Non
- Type de vitrage:** Simple vitrage
- Etat de vitrage:** Vitrage non traité
- Épaisseur lame:** (empty field)
- Ug:** 5,8 W/m<sup>2</sup>.K
- Type de menuiserie:** Menuiserie bois ou bois métal
- Type de la paroi vitré:** Fenêtre battante
- Uw:** 4,7 W/m<sup>2</sup>.K
- Type volets:** Volet battant bois (e < 22 mm)
- Ujn:** 3,5 W/m<sup>2</sup>.K

A "confirmer" button is located at the bottom right of the form.

Figure 41. Les ouvertures du façade Nord

### V.4.6.2. Façade Sud

Surface de fenêtres 5,94 m<sup>2</sup>

Inclinaison de la paroi >75

Uw vitrage Non

Type de vitrage Simple vitrage

Etat de vitrage Vitrage non traité

Épaisseur lame

Ug 5,8 W/m<sup>2</sup>.K

Type de menuiserie Menuiserie bois ou bois métal

Type de la paroi vitré Fenêtre battante

Uw 4,7 W/m<sup>2</sup>.K

Type volets Persienne coulissante PVC (e < 22 mm)

Ujn 3,5 W/m<sup>2</sup>.K

VALIDER

Figure 42. Les ouvertures de la façade Sud

### V.4.6.3. Description des portes

**DESCRIPTION DES OUVERTURES**

**DESCRIPTION DES FENETRES**

Orientation de la paroi ▾

**DESCRIPTION PORTES**

Nombre de portes de caractéristiques différentes **1** ▾

Surfaces des portes **2,64** m<sup>2</sup>

U porte **Non** ▾

Nature de la menuiserie **Porte simple en métal** ▾

Type de portes **Porte opaque pleine** ▾

**Uporte** **5,8** W/m<sup>2</sup>.K

**CONFIRMER**

Figure 43. Description des portes

## V.4.7. Description des ponts thermiques

**Les ponts thermiques**

**Plancher bas / mur**

Mur: Non isolé

Plancher bas: Non isolé

Longueur du pont thermique: 38,07 m

Quantité: 1

**Plancher haut / mur**

Mur: Non isolé

Plancher haut: Non isolé

Longueur du pont thermique: 38,07 m

Quantité: 1

**Plancher intermédiaire / mur**

Mur: [ ]

Longueur du pont thermique: [ ] m

Quantité: 1

**Refend / mur**

Mur: Non isolé

Longueur du pont thermique: 2,8 m

Quantité: 4

**Menuiserie / mur**

Mur: Non isolé

Menuiserie: Au nu extérieur

Lp: 5

Longueur du pont thermique: 63 m

Quantité: 1

**VALIDER**

Figure 44. Description des ponts thermiques

## V.4.8. Description des équipements

### V.4.8.1. Chauffage

**DESCRIPTION DES EQUIPEMENTS**

### LE CHAUFFAGE

Catégorie du logement chauffée: Maison individuelle avec chauffage individuel ▼

Système de chauffage: Chaudière gaz installée entre 1989 et 2000 ▼

Il ya un programmateur: Non ▼

Type d'émetteur: Autres systèmes ▼

Type de chauffage: Central ▼

robinets thermostatiques: Non ▼

Equipement d'intermittence: Absent ▼

Effet Joule: Oui ▼

Type de production: Instantanée ▼

Figure 45. Chauffage

#### V.4.8.2. Eau chaude sanitaire

**LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE**

Système d'eau chaude sanitaire

Chaudière gaz ou fioul installée entre 1988 et 2000 et ECS instantanée

Système

Chaudière mixte

Il y a une veilleuse

Non

**Figure 46. Eau chaude sanitaire**

### V.4.8.3. Ventilation

**LA VENTILATION**

Surface des parois déperditives hors plancher bas

Système de ventilation

Menuiseries avec ou sans joint

191,6

Ventilation par ouverture des fenêtres

Fenêtres sans joint et cheminée sans trappe de fermeture

**Figure 47. Ventilation**

#### V.4.8.4. Climatisation

**CLIMATISATION**

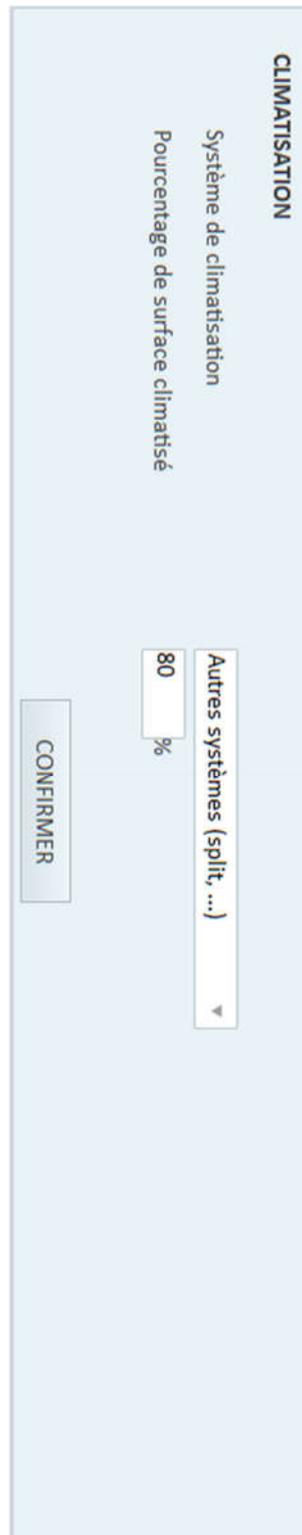
Système de climatisation

Pourcentage de surface climatisé

Autres systèmes (split, ...) ▾

80 %

CONFIRMER



**Figure 48. Climatisation**

## V.4.9. Résultats

### V.4.9.1. Consommation d'énergie finale

Diagnostic de performance énergétique	
Chauffage	14051,14 KWh
Eau chaude sanitaire	215,89 KWh
climatisation	7616 KWh
Consommation d'énergie finale	24883,03 KWh

**Figure 49. Consommation d'énergie**

## V.4.9.2. Étiquettes énergétique et climatique

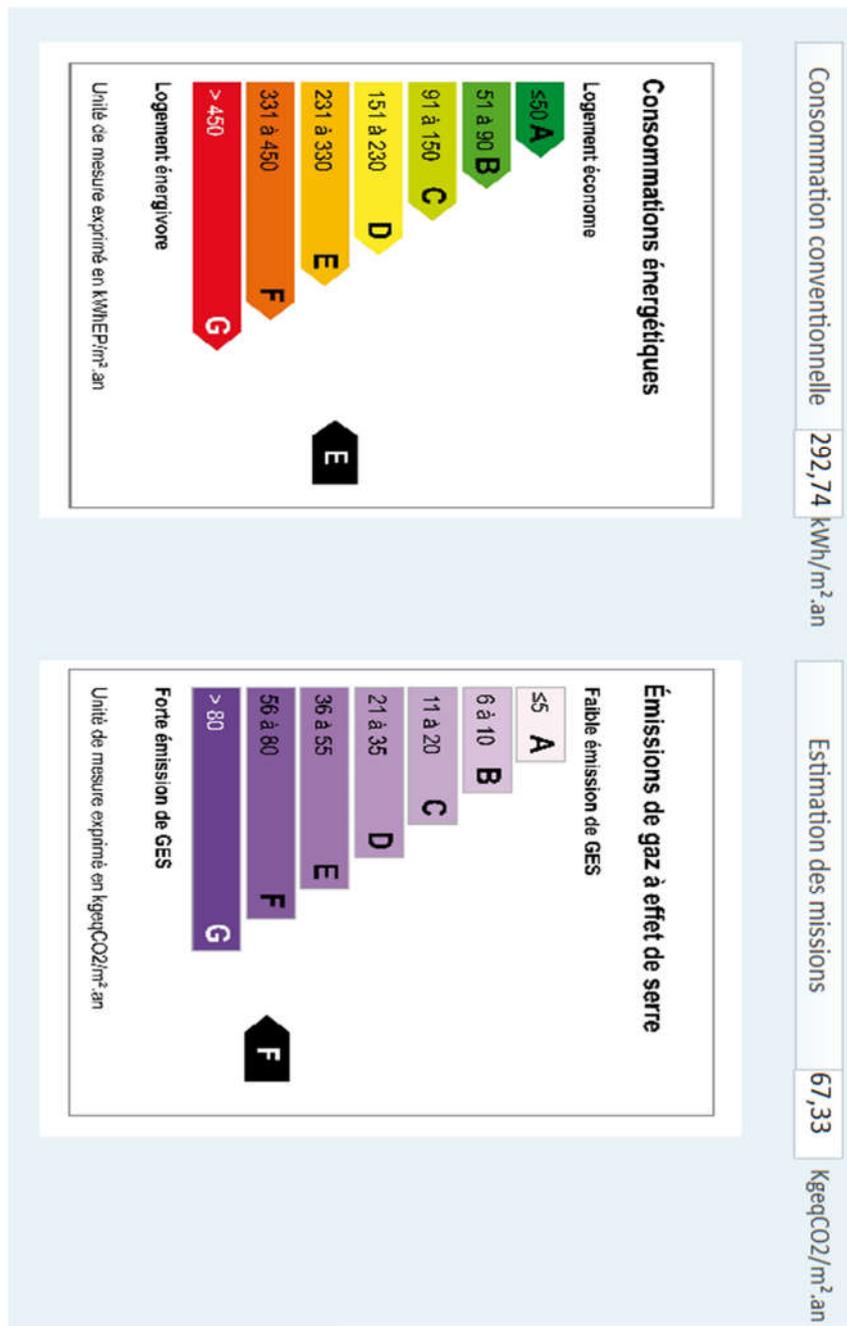


Figure 50. Étiquettes énergétique et climatique

### V.4.9.3. Déperditions

Déperditions		Représentation en %	
Murs	202,48 W/K	28,213	
Plancher bas	29,75 W/K	4,1454	
Plancher haut	136 W/K	18,950	
Ouvertures	92,102 W/K	12,833	
Ventilation	222,3465 W/K	30,982	
Ponts thermiques	46,15072 W/K	6,4307	

Figure 51. Déperditions

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La consommation de l'énergie est entrain de grimper en Algérie et il faut absolument intégrer l'efficacité énergétique dans toute sa dimension dans la conception de nos maisons. Il est temps de développer de nouveaux matériaux contribuant à l'efficacité énergétique, revoir nos systèmes constructifs et enfin mettre en place un système spécifiant la catégorie des équipements en fonction de leur consommation afin d'informer le consommateur des équipements « énergivores ».

L'outil de calcul élaboré selon la méthode 3CL et adapté aux spécificités Algérienne nous permet aujourd'hui de connaitre les déperditions de nos habitations afin de remédier aux consommations excessives.

C'est ainsi que cet outil baptisé **OAPEC** « Outil d'Aide aux Performances Energétique des Constructions » est né. Il nous permet d'effectuer le bilan énergétique d'une construction tout en ayant les informations sur les caractéristiques géométriques, l'isolation des parois et la qualité des équipements quels soient de chauffage ou de climatisation.

La connaissance de ce bilan énergétique nous permettra d'identifier les points faibles de notre construction par rapport à la consommation d'énergie liée à son enveloppe et à son système de chauffage et/ou de climatisation afin de la réduire substantiellement.

Des difficultés ont été rencontrées lors de la faisabilité de ce logiciel. Non seulement qu'il fallait apprendre et maîtriser un langage de programmation « Delphi » et surtout récolter des informations « données typiques à notre pays ».

En perspectives, il faut récolter certaines informations sur des paramètres pour bien estimer la consommation annuelle d'une construction en énergie « kWh/m<sup>2</sup>/an » et le coût afin de mieux évaluer la facture à payer. L'habitation se classe sur une échelle allant de A « économe en énergie » à G « énergivore » afin d'alerter le citoyen à modifier sa façon de construire.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

La méthode 3CL disponible sur le site :

[http://www.rtbatiment.fr/fileadmin/documents/RT\\_existant/DPE/DPE\\_outils/Annexe\\_methode\\_de\\_calcul\\_3CL-DPE\\_V1.3.pdf](http://www.rtbatiment.fr/fileadmin/documents/RT_existant/DPE/DPE_outils/Annexe_methode_de_calcul_3CL-DPE_V1.3.pdf)

---

[1] JEDIDI, Mlek ; BENJEDDOU, Omrane. 2016. *La thermique du bâtiment*. Paris : DUNOD. 208p.

---

[2] MOUJALLED, Bassam, 2007. Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés [En ligne] Thèse de doctorat. Génie Civil. Lyon : Ecole doctorale : MEGA. Disponible sur : <http://theses.insa-lyon.fr/publication/2007ISAL0005/these.pdf>

---

[3] SASSINE, Emilio, 2013. ANALYSE TYPOLOGIQUE ET THERMIQUE DES MAISONS ANCIENNES DE LILLE. ETUDE EXPERIMENTALE ET NUMERIQUE DES PAROIS VERTICALES [En ligne] Thèse de doctorat. Génie Civil. Lille. Université d'Artois. Disponible sur : <http://www.theses.fr/2013ARTO0213>.

---

[4] MARILYEN, Andersen. *Introduction to Building Technology*, 2006.

---

[5] Les essentiels de l'habitat (Page consultée le 09/07/2016). Site de Saint-Gobain, [en ligne], <http://www.construireavecsaint-gobain.fr/>

---

[6] HACHEMAOUI, Mohammed (Page consultée le 09/07/2016). Cours\_DPE\_Mars\_2013, [en ligne], [www.wordcep.com](http://www.wordcep.com).

---

[7] Energ@tic (Page consultée le 09/07/2016). A virtual laboratory for sustainable energy education, [en ligne], <http://www.labo-energetic.eu/en/index.php>.

---

[8] GALLAUZIAUX, Thierry ; FEDULLO, David, 2011. *Le grand livre de l'isolation*. 3<sup>ème</sup> Edition. Paris : édition EYROLLES, 677p

---

[9] PassivAct (Page consultée le 09/07/2016). Les concepts des maison passives, [en ligne], [www.passivact.com](http://www.passivact.com).

---

[10] CHAHWANE, Loyal, 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.

---

[11] Zolpan (Page consultée le 09/07/2016). Site de de Zolpan société spécialisé dans la rénovation thermique des bâtiments, [en ligne], <http://www.zolpan-isolation-ite.fr>.

---

[12] Info Énergie (Page consultée le 09/07/2016). Info Énergie en France-Compte, [en ligne], <http://www.info-energie-fc.org>.

---

[13] EUGENE, Dumitriu-Valcea, 1986, *Isolation thermique des constructions en Algérie*. N° Edition 998/81. Alger : Entreprise nationale du livre, 232p

---

[14] GALLAUZIAUX, Thierry ; FEDULLO, David, 2000. *Le chauffage électrique et l'isolation thermique*. Paris : édition EYROLLES. Chapitre 1 : Définissez vos besoins en isolation.

---

[15] BLOCH-LAINE, Jean-Michel, 1977, *Guide pratique de l'isolation thermique des bâtiments*. Paris : édition EYROLLES, 365p

---

[16] Logiseco (Page consultée le 09/07/2016). Les systèmes constructifs pour maison BBC en Bretagne, [en ligne], <http://www.logiseco.com>.

---

[17] Coté Maison (Page consultée le 09/07/2016). Energie, Chauffage, Clim, [En ligne], <http://www.cotemaison.fr>.

---

[18] Maison brico (Page consultée le 09/07/2016). Le béton cellulaire, [en ligne], <http://www.maisonbrico.com>.

---

[19] Provence Matériaux (Page consultée le 09/07/2016). Agglos isolants en pierre ponce, [en ligne], <http://www.provencemateriaux.com>.

---

[20] Ecoconstruction (Page consultée le 09/07/2016). Construction, gros œuvre, façades : Des murs extérieurs isolants et respirant, [en ligne], <http://www.ecoconstructionauvergne.fr>.

---

[21] ROUGERON, Claude, 1979. *L'isolation thermique et acoustique des bâtiments*. 3<sup>ème</sup> édition. Paris : édition EYROLLES, 308p

---

## **Règlements et Arrete Ministériel**

- Arrêté du 15 septembre 2006 relatif au diagnostic de performance énergétique pour les bâtiments existants proposés à la vente en France métropolitaine.
- Décret n°87-234 du 03 Novembre 1987 modifiant le décret n°82-319 du 23 Octobre 1982 portant transformation de l'Institut National d'Etudes et de Recherches du Bâtiment (INERBA) en Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du bâtiment (CNERIB).
- RT2012 et RT2005 réglementation thermique « France ».
- C3.1.1 Isolation acoustique des parois aux bruits aériens en 2004.
- C3.2 Réglementation thermique des bâtiments d'habitation, règles de calcul des déperditions calorifiques 2ème édition en 2007.
- C3.4 Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments "Climatisation" 2ème édition en 2005.
- C3.31 Ventilation naturelle des locaux à usage d'habitation en 2006.
- C.3 Règlement thermique du bâtiment en cours.
- C.4.2 Conception et calcul des installations de gaz dans les locaux d'habitation en cours.

## **Organismes**

- ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.
- APRUE : Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie.
- CNERIB : Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment.
- CDER : Centre de Développement des Energies Renouvelables.

Site officiel de l'ADEME : <http://www.ademe.fr>

Site officiel de l'APRUE : [http:// www.aprue.org.dz](http://www.aprue.org.dz)

Site officiel de CNERIB : <http://www.cnerib.edu.dz>

Site officiel de CDER : <http://www.cder.dz>

Site officiel de sonelgaz <http://www.sonelgaz.dz>