

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



## Mémoire de Master

Présenté à l'Université de Guelma  
Faculté des Sciences et de la technologie  
Département de : Génie Civil et Hydraulique  
Spécialité : Génie Civil

Option : Conception et Calcul des Constructions

Présenté par :

 Soudani Widad  
 Khirouni Aicha

---

---

**Thème : Une etude bibliographique sur optimisation  
thermique cas : un batiment réhabiliter R+2**

---

---

Sous la direction de : **Dr. Boudjahem hocine**

Juin2015

## *Remerciement*

*En terminant notre mémoire de fin d'études, il nous est agréable d'adresser nos vifs remerciements à tous personnes qui ont apportées sont soutient et son aide à la réalisation de notre mémoire de près. ou de loin Nous remercions en particulier nos encadreurs :*

*Mr Dr Boudjahem Hocine pour sa gentillesse, sa disponibilité et sa contribution générale à l'élaboration de ce travail.*

*Ainsi que tous nos professeurs qui nous ont enseigné durant nos études à la faculté des sciences et technologie.*

*Nos profonds remerciements pour les membres de jury qui ont accepté d'évaluer ce travail.*

*Aicha et Widad*





# *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire de fin d'études*

*A*

*Mon très cher père et ma très chère mère*

*En témoignage de ma reconnaissance envers le soutien, les sacrifices et tous les efforts  
qu'ils ont fait pour mon éducation ainsi que ma formation*

*A*

*Mon beau frère khayredinne*

*A*

*Ma grande sœur selma et nada*

*A*

*Mes belles sœurs nihad pour leur affection, compréhension et patience*

*A*

*A mes meilleurs amis Méri Ema icha*

*A*

*Toute ma famille du grand au petit, Ma grand mère et a tous ceux qui ont une  
relation de proche ou de lion avec la réalisation du présent rapport.*

*Widad douadi*





*Dédicace*



*Je dédie ce mémoire à ma chère mère, qui m'a encouragé à aller de l'avant et qui m'a donné tout son amour pour reprendre mes études. A la mémoire de mon père qui nous a quittés voilà 14 ans.*

*A mes oncles Djamel et Taher qui sans lequel je n'aurais jamais repris mes études.*

*A ma tante Dalila*

*A mes frères : Ali Hamza Banounou. Mes sœurs Mériem Hasna Nébras*

*A mon petit cœur Pocef*

*A mes meilleurs amis Méri Ema Doudita*

*Une spéciale dédicace à une Personne qui a été très proche à moi : Mourad Khirouni*

*A ma famille et toutes les personnes que j'aime*

*Aicha*





# SOMMAIRE

<b>I.GENERALITES .....</b>	<b>01</b>
<b>I.1. INTRODUCTION .....</b>	<b>01</b>
1.1. OPTIMISATION THERMIQUE .....	03
1.1.1. Définition du Optimisation thermique .....	04
1.1.2. L'optimisation de l'intermittence .....	04
1.1.3. L'optimisation du chauffage électrique .....	04
1.1.4. L'optimisation des systèmes avec stockage de chaleur .....	05
1.2. ISOLATION THERMIQUE DU BATIMENT .....	05
1.2.1. Histoire .....	05
1.2.2. Définition de l'isolation thermique .....	06
1.2.2.1. Les raisons d'isoler .....	06
1.2.2.2. La gestion de l'humidité intérieure, la ventilation .....	07
1.2.2.3. Conséquences .....	08
1.2.2.4. Notions physiques et calcul .....	09
* 1.2.2.4.1. Déperdition thermique .....	09
* 1.2.2.4.2. Pour les murs .....	10
* 1.2.2.4.3. Pour les fenêtres .....	10
* 1.2.2.4.4. Pour la toiture .....	10
* 1.2.2.4.5. Pour le plancher .....	10
* 1.2.2.4.6. Conductivité thermique .....	10
* 1.2.2.4.7. Résistance thermique .....	12
* 1.2.2.4.8. Transmission calorifique .....	12
* 1.2.2.4.9. Déperdition thermique d'une paroi .....	12
* 1.2.2.4.10. Isoler une paroi .....	14
* 1.2.2.4.11. Niveau d'isolation thermique d'un bâtiment .....	14
* 1.2.2.4.12. L'inertie thermique .....	14
1.2.3. Les sources de déperdition de chaleur .....	15

1.2.4. Principes d'isolation des murs .....	16
1.2.4.1. L'isolation intérieure et les cloisons de doublage .....	17
1.2.4.2. L'isolation intégrée au matériau porteur .....	17
* 1.2.4.2.1. Le cas particulier de la structure bois .....	18
1.2.4.3. L'isolation extérieure sous enduit, les parements et les bardages .....	18
*1.2.4.3.1. Techniques .....	20
*1.2.4.3.2. Avantages de l'isolation thermique par l'extérieur .....	21
*1.2.4.3.3. Inconvénients de l'isolation thermique par l'extérieur .....	22
1.2.5. Isolation des planchers .....	23
1.2.6. Isolation sous les toitures et terrasses .....	24
1.2.7. Isolation des portes et fenêtres .....	25
1.2.8. Isolation des ponts thermiques .....	27
1.2.9. Composants .....	30
1.2.9.1. Le pare-vapeur/coupe-vent .....	30
1.2.9.2. Les isolants .....	31
1.2.10. La pose de l'isolant .....	32
1.2.11. La sur-isolation .....	33
1.3. DEFINITION DE L'ISOLANT THERMIQUE .....	35
1.3.1. Principaux isolants thermiques .....	36
1.3.2. Isolation, et inertie .....	38
1.3.3. Isolation thermique pour le bâtiment .....	39
1.3.4. Recherche et prospective .....	41
1.4. DEFINITION DU CONFORT THERMIQUE .....	43
1.4.1. Les 6 paramètres traditionnels du confort thermique .....	44
1.4.2. Confort et température .....	45
1.4.3. Confort et humidité .....	46
1.4.3.1. L'incidence sur la transpiration .....	47
1.4.3.2. L'impact de l'humidité relative dans un bâtiment .....	47
1.4.3.3. La plage de confort température-humidité.....	49
1.4.4. Confort et vitesse de l'air .....	50

1.4.4.1. Condition hivernale .....	51
1.4.4.2. Conditions estivales .....	52
1.4.5. Confort, activité, habillement .....	54
1.4.5.1. L'estimation du niveau d'habillement .....	54
1.4.5.2. L'évaluation du niveau d'activité .....	55
1.4.6. Indicateurs et plages de confort .....	55
1.4.6.1. Détermination traditionnelle des zones de confort thermique .....	55
1.4.6.2. Le calcul du niveau de confort .....	57
1.4.6.3. Partons d'un exemple de mesures .....	60
1.4.6.4. Cherchons le confort optimal .....	60
1.4.6.5. Le confort thermique restera toujours variable en fonction des individus .....	61
1.4.6.6. Confort au niveau du pied .....	61
1.4.6.7. Zones de confort adaptatif .....	63
<b>I.2. BASE DE CALCUL ET EXGENCES .....</b>	<b>66</b>
2.1. Principes généraux .....	66
2.1.1. Méthodologie .....	66
2.1.2. Définitions .....	66
<b>I.3. EXPRESSION GENERALE DES DEPERDITIONS .....</b>	<b>66</b>
3.1. Déperdition thermique d'un logement .....	66
3.2. Déperdition thermique d'un volume .....	67
3.3. Déperditions par transmission d'un volume .....	67
3.4. Déperditions par renouvellement d'air d'un volume .....	67
3.5. Relation entre les déperditions du logement et les déperditions des volumes .....	68
<b>I.4. VERIFICATION ET DEPERDITIONS DE REFERENCE .....</b>	<b>68</b>
4.1. Vérification réglementaire .....	68

4.2. Calcul des déperditions de référence .....	68
<b>I.5. CALCUL DES DEPERDITIONS DE BASE .....</b>	<b>69</b>
5.2. Calcul des déperditions .....	69
5.3. Déperditions de base par transmission .....	70
5.4. Déperditions de base par transmission à travers les parois pour un local donné.....	70
5.4.1. Exemple de calcul de déperditions d'un projet sur Excel .....	71
5.5. Les déperditions thermiques .....	72
5.5.1. Température intérieure de base .....	72
5.5.2. Température extérieure de base .....	72
<b>I.6. PUISSANCE DE CHAUFFAGE A INSTALLER .....</b>	<b>74</b>
6.1. Calcul de la puissance de chauffage .....	74
6.2. Répartition de la puissance de chauffage .....	75
<b>○ LES CAS DE CALCUL</b>	
❖ <b>Plan 2<sup>ème</sup> étage .....</b>	<b>76</b>
❖ <b>Plan de façade .....</b>	<b>77</b>
<b>II. CALCUL DES DEPERDITIONS THERMIQUES .....</b>	<b>78</b>
<b>II.1. CALCUL DES TERMES INTERVENANT DANS LE .....</b>	<b>78</b>
<b>CALCUL THERMIQUE .....</b>	<b>78</b>
1.1. Principe de calcul .....	78
1.2. Calcul de La résistance thermique d'échange superficiel ( $R_{si}$ et $R_{se}$ ) .....	78
1.3. Calcul de coefficient de transmission thermique k .....	80
1.4. Définition des volumes thermiques .....	81
1.5. Coefficient de conductance K pour les ouvrants .....	81
1.6. Coefficient de conductance K pour le plancher étage vers l'extérieur .....	82
<b>II.2. PRESENTATION DES VARIANTES DES MURS .....</b>	<b>82</b>
1) LA VARIANTE « A » .....	83
2) LA VARIANTE « B » .....	83
3) LA VARIANTE « C » .....	84
<b>II.3. CALCUL DES DEPERDITIONS DE REFERENCE .....</b>	<b>84</b>

3.1. Calcul bureau de secrétaire .....	84
<b>II.4-CALCUL DES DEPERDITIONS PAR TRANSMISSION <math>D_T</math> .....</b>	<b>85</b>
1) LA VARIANTE « A » .....	85
2) LA VARIANTE « B » .....	87
3) LA VARIANTE « C » .....	88
<b>II.5- CALCUL DES DEPERDITIONS PAR RENOUVELLEMENT D'AIR .....</b>	<b>89</b>
<b>II.6- CALCUL DES DEPERDITIONS DE BASE .....</b>	<b>91</b>
<b>II.7- CALCUL DE LA PUISSANCE DE CHAUFFAGE .....</b>	<b>91</b>
<b>II.8- INTERPRETATIONS ET RESULTATS .....</b>	<b>92</b>
3.2 Calcul bureau 1.....	92
1) LA VARIANTE « A » .....	93
2) LA VARIANTE « B » .....	95
3) LA VARIANTE « C » .....	95
3.3 Calcul bureau 2 .....	98
1) LA VARIANTE « A » .....	99
2) LA VARIANTE « B » .....	100
3) LA VARIANTE « C » .....	101
3.4 Calcul bureau 3.....	104
1) LA VARIANTE « A » .....	104
2) LA VARIANTE « B » .....	106
3) LA VARIANTE « C » .....	107
3.5 Calcul la bibliothèque .....	109
1) LA VARIANTE « A » .....	110
2) LA VARIANTE « B » .....	111
3) LA VARIANTE « C » .....	112
3.6 Calcul classe .....	115
1) LA VARIANTE « A » .....	116

2) LA VARIANTE « B » .....	117
3) LA VARIANTE « C » .....	118
<b>III .CONCLUSION .....</b>	<b>122</b>

## LISTE DES ABREVIATIONS

$0.34$  : La chaleur volumique de l'air.

$\lambda$  : La conductivité thermique.

$\Delta T$  : La différence de température.

$A$  : Surface intérieure de chaque élément de paroi.

$A_j$  : Surface de l'ouvrant  $j$ .

$c_{in}$  : Représente un coefficient de surpuissance.

$c_r$  : Est un ratio estimé des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel.

$DBP$  : Déperditions de base par transmission de chaleur à travers les parois.

$DBR$  : Déperditions de base par renouvellement d'air.

$D_i$  : Déperditions totales du volume.

$D_{li}$  : Déperditions à travers les liaisons.

$D_{Li}$  : Représente les déperditions à travers les liaisons.

$D_{lnc}$  : Déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés.

$DR$  : Déperdition par renouvellement d'air du volume.

$D_{ref}$  : Déperditions de référence.

$D_{Rs}$  : Déperditions supplémentaires dues au vent.

$D_{Rv}$  : Déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation.

$D_s$  : Déperditions surfaciques par transmission à travers une paroi.

$D_s$  : Déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieure.

$D_{sol}$  : Déperditions à travers les parois en contact avec le sol.

$D_T$  : Déperditions par transmission du logement.

$DT$  : Déperdition par transmission du volume.

$e$  : L'épaisseur.

ECS : Eau chaude sanitaire.

$e_{vi}$  : Le coefficient d'exposition au vent affecté à la paroi  $i$ .

$H_i$  : La distance entre la mi-hauteur de l'ouverture et la surface libre du sol.

HR : Humidité relative de l'air.

ITE : Isolation Thermique par l'Extérieur.

$K$  : Coefficient de transmission surfacique.

$L$  : Longueur intérieure de chaque liaison.

PIV : Panneaux isolants sous vide.

PMV : Prévisible moyen de vote.

$P_{oj}$  : La perméabilité surfacique de l'ouvrant  $j$ .

PPD : Pourcentage prévisible d'insatisfaits.

$P_{pi}$  : La perméabilité à l'air de la paroi  $i$ .

QAI : Qualité d'air intérieure.

$Q_s$  : Le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent.

$Q_{v\text{réf}}$  : Le débit extrait de référence.

$Q_v$  : Le débit spécifique de ventilation.

$R_{cor}$  : Le facteur de correction.

$R_i$  : La résistance thermique de chaque couche  $i$  constituant la construction.

$R_{se}$  : La résistance thermique d'échange de la surface extérieure.

$R_{si}$  : La résistance thermique d'échange de la surface intérieure.

$R_T$  : La résistance thermique totale de l'ensemble de la construction.

RT : Résistance thermique.

$S$  : La surface d'échange.

$T_a$  : Température ambiante de l'air.

$t_e$  : Température extérieure exprimée.

$t_i$  : Température intérieure de base exprimée.

$T_p$  : Température moyenne des parois.

$U$  : Coefficient de transmission surfacique.

$V_h$  : Le volume habitable.

$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$  : watt par mètre-kelvin.

$Y$  : Coefficient de transmission linéique des liaisons d'éléments de parois donnant sur l'extérieur.

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1 :</b> .....	P03
<b>Figure 2 :</b> Isolation thermique dans le bâtiment. Ici les bâtiments sont isolés par l'extérieur afin de limiter les ponts thermiques.....	P06
<b>Figure 3 :</b> L'isolation thermique peut interférer avec l'isolation phonique, de plusieurs manières, notamment selon que l'isolation soit extérieure ou intérieure, et selon que le bâtiment soit isolé mitoyen.....	P07
<b>Figure 4 :</b> Déperditions thermiques d'un bâtiment.....	P09
<b>Figure 5 :</b> ITE sous enduit mince.....	P19
<b>Figure 6 :</b> Schéma d'un bardage ventilé.....	P19
<b>Figure 7 :</b> Réalisation en ITE panachant une finition en enduit mince sur isolant et une finition en bardage ventilé.....	P22
<b>Figure 8 :</b> En climat tempéré, la première source de déperdition thermique des maisons est la toiture (jusqu'à 30 %, voire plus). La fonte de la neige sur les toitures montre ici les défauts d'isolation de certaines maisons, se traduisant par un gaspillage d'énergie et des dépenses accrues, ainsi que des impacts sur l'environnement. En l'absence de neige, une thermographie rend visible ces pertes de chaleur.....	P25
<b>Figure 9 :</b> Coupe d'un cadre de fenêtre en PVC montrant les espaces creux améliorant l'isolation.....	P26
<b>Figure 10 :</b> Jonction planché bas/mur extérieur.....	P28
<b>Figure 11 :</b> Jonction plancher intermédiaire/mur extérieur.....	P28
<b>Figure 12 :</b> Jonction planché haut/mur extérieur.....	P28
<b>Figure 13 :</b> Jonction plancher/balcon.....	P28
<b>Figure 14 :</b> Jonction mur de refend/mur extérieur.....	P29
<b>Figure 15 :</b> Solant thermique sur la sonde spatiale Huygens.....	P35
<b>Figure 16 :</b> Laine de roche – grossissement.....	P37
<b>Figure 17 :</b> Laine de roche - grossissement plus fort.....	P38

<b>Figure 18 :</b> .....	P43
<b>Figure 19 :</b> ci-contre considère le sentiment de confort thermique exprimé par les sujets eux-mêmes. Il s'agit de pourcentages prévisibles d'insatisfaits (PPD), exprimés sur l'axe vertical, pour des personnes au repos en position assise (celle qui font la sieste au bureau, par exemple !), ou pour des personnes effectuant un travail léger (travail de bureau).....	P45
<b>Figure 20 :</b> .....	P46
<b>Figure 21 :</b> .....	P47
<b>Figure 22 :</b> la plage de taux d'humidité ambiante optimale d'un point de vue hygiénique.....	P49
<b>Figure 23 :</b> .....	P50
<b>Figure 24 :</b> Plages de confort pour une activité de bureau et un habillement d'été ou d'hiver, selon l'ASHRAE Handbook of Fundamentals Comfort Model, 2005 superposées au climat de Bruxelles.....	P56
<b>Figure 25 :</b> .....	P57
<b>Figure 26 :</b> .....	P58
<b>Figure 27 :</b> Autrement dit, en hiver, dans un bureau bien isolé ( $T^{\circ}$ parois élevées), on admettra un confort basé sur une température d'air de 20,5°C. Mais si la température des parois est faible (simples vitrages, par exemple), il faudra apporter un air à 21, voire 22°C pour assurer le confort.....	P61
<b>Figure 28:</b> Températures opératives correspondantes aux différentes plages de confort définies par la norme NBN EN 15251.....	P64
<b>Figure 29 :</b> Profil des occupants, inspire d'Adaptive temperature limites.....	P65
<b>Figure 30 :</b> les déperditions de base.....	P69
<b>Figure 31 :</b> .....	P79
<b>Figure 32 :</b> .....	P81

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1 :</b> matériaux fréquemment de bâtiment et conductivités thermiques varient.....	P40
<b>Tableau 2 :</b> .....	P51
<b>Tableau 3 :</b> .....	P53
<b>Tableau 4 :</b> la vitesse de vent en km/h et en m/s.....	p54
<b>Tableau 5 :</b> Le niveau d'habillement des occupants est caractérisé par une valeur relative, exprimée en "clo", l'unité d'habillement.....	P54.55
<b>Tableau 6 :</b> Diverses valeurs du métabolisme sont indiquées ci-après pour diverses activités.....	P55
<b>Tableau 7 :</b> la zone de confort thermique pour un indice PMV situé entre - 0,5 et + 0,5, c'est-à-dire pour 10 %d'insatisfaits.....	P59
<b>Tableau 8 :</b> .....	P62
<b>Tableau 9 :</b> Température intérieure de base.....	P72
<b>Tableau 10 :</b> Température constatées au minimum 5 jours dans l'année sur une période de 30 ans.....	P73
<b>Tableau 11 :</b> Résistances thermiques d'échange $R_{si}$ et $R_{se}$ (en $m^2K/W$ ).....	P80
<b>Tableau II.1 :</b> .....	P82
<b>Tableau II.2 :</b> .....	P83
<b>Tableau II.3 :</b> .....	P83
<b>Tableau II.4 :</b> .....	P84
<b>Tableau II.5 :</b> .....	P84
<b>Tableau II.6 :</b> .....	P85
<b>Tableau II.7 :</b> .....	P86

<b>Tableau II.8 :</b> .....	P87
<b>Tableau II.9 :</b> .....	P88
<b>Tableau II.10 :</b> Vérification des déperditions par transmission DT.....	P88
<b>Tableau II.11 :</b> .....	P90
<b>Tableau II.12 :</b> résultats des déperditions de base pour chaque variante.....	P91
<b>Tableau II.13 :</b> .....	P92
<b>Tableau II.14 :</b> .....	P93
<b>Tableau II.15 :</b> .....	P93
<b>Tableau II.16 :</b> .....	P95
<b>Tableau II.17 :</b> .....	P95
<b>Tableau II.18 :</b> Vérification des déperditions par transmission DT.....	P96
<b>Tableau II.19 :</b> .....	P97
<b>Tableau II.20 :</b> résultats des déperditions de base pour chaque variante....	P97
<b>Tableau II.21 :</b> .....	P98
<b>Tableau II.22 :</b> .....	P98
<b>Tableau II.23 :</b> .....	P99
<b>Tableau II.24 :</b> .....	P100
<b>Tableau II.25 :</b> .....	P101
<b>Tableau II.26 :</b> Vérification des déperditions par transmission DT.....	P102
<b>Tableau II.27 :</b> .....	P102

<b>Tableau II.28 : résultats des déperditions de base pour chaque variante....</b>	<b>P103</b>
<b>Tableau II.29 : .....</b>	<b>P103</b>
<b>Tableau II.30 : .....</b>	<b>P104</b>
<b>Tableau II.31 : .....</b>	<b>P104</b>
<b>Tableau II.32 : .....</b>	<b>P106</b>
<b>Tableau II.33 : .....</b>	<b>P107</b>
<b>Tableau II.34 : Vérification des déperditions par transmission DT .....</b>	<b>P107</b>
<b>Tableau II.35 : .....</b>	<b>P108</b>
<b>Tableau II.36 : résultats des déperditions de base pour chaque variante... </b>	<b>P109</b>
<b>Tableau II.37 : .....</b>	<b>P109</b>
<b>Tableau II.38 : .....</b>	<b>P110</b>
<b>Tableau II.39 : .....</b>	<b>P110</b>
<b>Tableau II.40 : .....</b>	<b>P112</b>
<b>Tableau II.41 : .....</b>	<b>P112</b>
<b>Tableau II.42 : Vérification des déperditions par transmission DT.....</b>	<b>P113</b>
<b>Tableau II.43 : .....</b>	<b>P114</b>
<b>Tableau II.44 : résultats des déperditions de base pour chaque variante... </b>	<b>P114</b>
<b>Tableau II.45 : .....</b>	<b>P115</b>
<b>Tableau II.46 : .....</b>	<b>P116</b>
<b>Tableau II.47 : .....</b>	<b>P116</b>

<b>Tableau II.48 :</b> .....	P117
<b>Tableau II.49 :</b> .....	P118
<b>Tableau II.50 :</b> Vérification des déperditions par transmission DT.....	P119
<b>Tableau II.51 :</b> .....	P119
<b>Tableau II.52 :</b> résultats des déperditions de base pour chaque variante...	P120
<b>Tableau II.53 :</b> .....	P121

## RESUME

Un bâtiment d'étudier ses échanges thermiques avec le milieu extérieur et ceci en vue d'assurer le confort thermique à ses occupants d'où l'intérêt de faire une étude thermique détaillée.

Pour tenir compte de ces deux facteurs à la fois (caractéristiques thermiques et coût) il est impératif de faire une optimisation des remplissages pour différentes variantes de murs de remplissage.

**Mots clés :** extérieur, confort thermique, optimisation des remplissages, caractéristique thermique.

## SUMMARY

A building study its heat exchange with the outside environment and this in order to ensure the thermal comfort of its occupants when the interest of a detailed thermal study.

To take account of these two factors at once (thermal characteristics and cost) it is imperative to optimize fillings for different infill walls variants.

**Keywords:** outdoor, thermal comfort, optimization of fillings, thermal characteristic.

## الملخص

دراسة بناء التبادل الحراري مع البيئة الخارجية وذلك من أجل ضمان الراحة الحرارية للإنسان وهذه هي الفائدة من دراسة مفصلة الحرارية. لمراعاة هذين العاملين في (الخصائص الحرارية والتكلفة) مرة واحدة لا بد من تحسين حشوات للجدران وبدأ أعمال الحفر مختلفة المتغيرات.

**كلمات مفتاحية :** في الهواء الطلق، الراحة الحرارية، والتحسين من الحشوات،.خاصية الحرارية.

## I.GENERALITES

### I.1. INTRODUCTION :

Isoler thermiquement un bâtiment signifie concevoir et exécuter la structure du bâtiment et tous les éléments de l'enveloppe extérieure (façades ; toit ; portes ; plancher inférieur ; fenêtres) de tel façon qu'ils aient la résistance thermique et une inertie thermique aussi que convenables aux pertes et aux apports de chaleur.

Pour obtenir un résultat valable et permanent, il faut établir des données optimales pour ces deux caractéristique thermiques du bâtiment, vu la croissance continue du prix et de la pénurie de l'énergie.

Dans le secteur domestique (habitations) et assimilé (bureaux, magasins, bâtiment public etc.....) la consommation d'énergie est peu près de 27% et dans l'industrie de 34%, donc en total de 60%. Dans une habitation normale, le chauffage et la distribution absorbent 79 à 85% de l'énergie consommée.

Les nécessaire de chaleur pour l'installation de chauffage, répartisses en fonction des différentes parois d'une construction d'habitation modérément ou mal isolée, représentent les pourcentages suivants :

- 35 à 26% par les murs extérieurs ;
- 14 à 26% par le toit ;
- 10 à 15% par le plancher en contact avec le sol ;
- 16 à 20% par les fenêtres ;
- 25 à 13% par la ventilation.

Les premiers chiffres correspondent à un immeuble moyen à appartements, les deuxièmes à une maison unifamiliale moyenne.

Pour des constructions améliorées de point de vue isolation thermique (double vitrage, isolation forte du toit et des murs), on a obtenu des grandes économies

de combustible (40%) ; ça démontre que l'économie d'énergie dans le secteur d'habitation est une nécessité et qui peut être réalisée par les mesures suivantes :

Pour les constructions nouvelles :

- concevoir une habitation compacte, à un rapport enveloppe extérieure :
- volume habitable aussi faible que possible ;
- concevoir à l'intérieur des murs de séparation ;
- saisir une température intérieure non exagérée (ex, jusqu'à 20°C à hiver) ;
- réaliser une isolation thermique optimal ;
- obtenir un bilan thermique avantageux par la forme compacte, orientation favorable, isolation et inertie thermique des éléments de constructions bonnes ;
- limiter les pertes de chaleur par infiltration ;
- assurer le rendement optimal de l'installation de chauffage ;

Pour les bâtiments existants :

- ne pas exagérer la température de confort ;
- améliorer l'isolation thermique dans la mesure possible jusqu'à la valeur optimale ;
- mettre au point l'installation de chauffage ;
- limiter les pertes importantes par infiltration,

Ces mesures pour les conditions d'hiver des constructions chauffées restent valables aussi pour les conditions d'été, climatisées.

## 1.1. OPTIMISATION THERMIQUE :

Dans un bâtiment, l'optimisation thermique passe par différents axes et notamment par :

- Son enveloppe, avec les différentes technologies dites « passives » qui portent essentiellement sur l'orientation et la compacité du bâtiment mais aussi sur le choix des modes de construction, des types d'isolants, de la disposition et des caractéristiques des vitrages,
- Les matériels de chauffage, de ventilation et de production d'eau chaude sanitaire, des systèmes actifs.

Leur efficacité et les ressources énergétiques qu'ils utilisent sont prépondérantes.

Or différents systèmes de récupération énergétique existent avec une pertinence à adapter au projet.

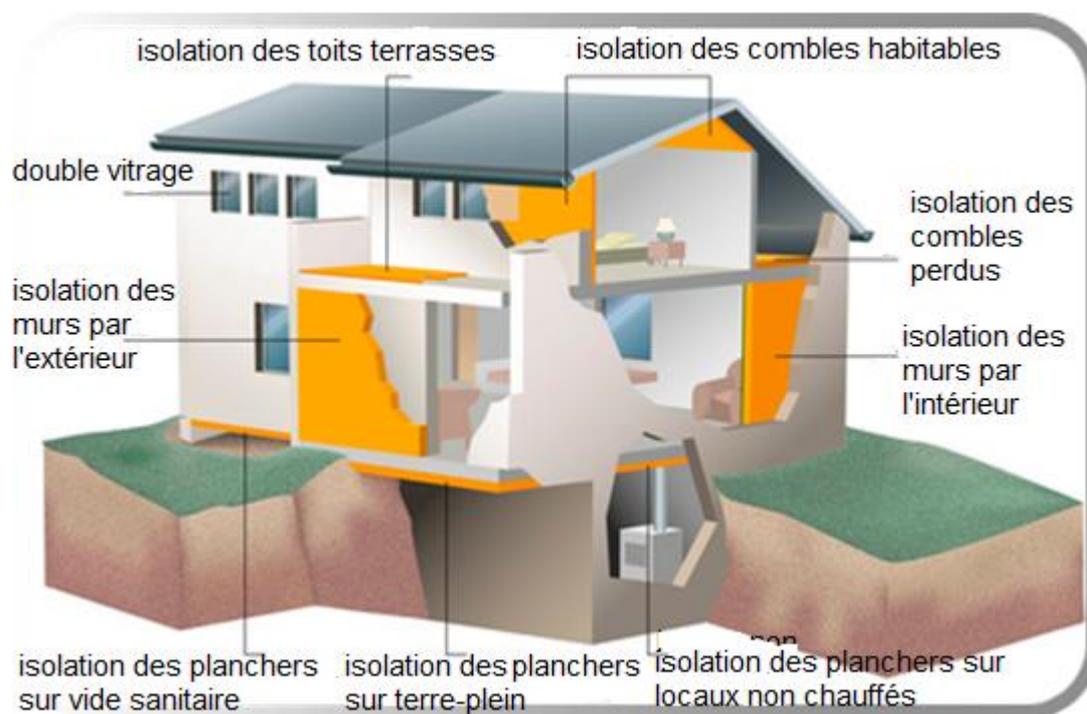


Figure 1.

### **1.1.1. Définition du Optimisation thermique :**

La recherche d'un optimum soit une optimisation thermique consiste à minimiser un coût. Le calcul du coût peut faire intervenir d'autres éléments que ceux qui concernent strictement les énergies : comme la durée de vie des équipements, le confort des usagers, pour autant que ces éléments puissent être chiffrés. Cette fonction est du ressort des appareils dotés de moyens de calcul.

Cette définition de la fonction optimisation est très générale. De fait, elle s'applique plus spécialement aux automatismes qui élaborent par calculs des commandes en fonction de plusieurs paramètres, mesurés ou introduits initialement et qui élaborent ces commandes en fonction d'un avenir prévisible.

### **1.1.2. L'optimisation de l'intermittence :**

Il s'agit de calculer durant la période de ralenti ou d'arrêt du chauffage l'heure à laquelle il doit être remis en marche, afin que la température désirée dans les locaux soit atteinte juste au moment voulu : à l'heure d'entrée dans les bureaux, par exemple. Il tient compte pour cela, outre de cette heure prévue, de la température extérieure et des températures ambiantes, de la durée durant laquelle le ralenti ou l'arrêt a été fait.

Les optimiseurs d'intermittence sont généralement auto adaptatifs : ils tiennent compte des expériences des jours passés pour reconnaître le comportement dynamique de l'installation de chauffage, du bâtiment, de la puissance disponible, pour adapter leurs commandes.

### **1.1.3. L'optimisation du chauffage électrique :**

Il consiste, de plus, à tenir compte de la tarification. L'utilisation de l'électricité en heures de pointe coûte cher. Il est judicieux de profiter de l'inertie thermique du bâtiment pour passer cette période sans chauffage, quitte à emmagasiner la chaleur avec l'électricité disponible aux heures creuses.

#### **1.1.4. L'optimisation des systèmes avec stockage de chaleur :**

Les énergies renouvelables comme le solaire ont généralement le défaut de ne pas être disponibles au moment où apparaissent les besoins ; il faut donc les stocker.

L'électricité est utilisée à meilleur compte si l'énergie est stockée en heures creuses sous forme de chaleur. Un chauffage de pointe est souvent nécessaire.

La conduite optimale de telles installations doit donc tenir compte de l'état du stock, des besoins de chaleur prévisibles à court terme, des fournitures de chaleur prévisibles pour le stock, afin d'élaborer la commande du chargement et du déchargement du stock, visant à minimiser l'usage de l'appoint tout en conservant un confort satisfaisant.

### **1.2. ISOLATION THERMIQUE DU BATIMENT :**

#### **1.2.1. Histoire :**

Le premier choc pétrolier en 1973 aboutit dans les climats froids et tempérés, et surtout dans les pays occidentaux, à un nouveau type de construction faisant un usage intensif de l'isolation thermique. Sa mise en pratique impose de telles contraintes constructives que sa mise en œuvre ne se fait pas immédiatement de manière rigoureuse.

Avec le Protocole de Kyoto en 1997, visant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, les états s'arment d'une batterie de règlements visant à améliorer la performance énergétique des bâtiments ainsi que leur dépendance aux sources d'énergies fossiles. La conception des bâtiments prend en considération désormais les caractéristiques thermiques, et l'étanchéité à l'air du bâtiment, les équipements de chauffage et d'approvisionnement en eau chaude ; les installations de climatisation, la ventilation, ainsi que dans l'implantation la compacité et l'orientation du bâtiment, les systèmes solaires passifs et les

protections solaires, l'éclairage naturel etc. La paroi devient un objet de haute technicité.

### 1.2.2. Définition de l'isolation thermique :

L'isolation thermique désigne l'ensemble des techniques mises en œuvre pour limiter les transferts de chaleur entre un milieu chaud et un milieu froid. L'isolation thermique est utilisée dans nombreux domaines incluant notamment : le bâtiment (maintien d'une température de confort à l'intérieur des habitations), l'industrie, l'automobile, et le textile.

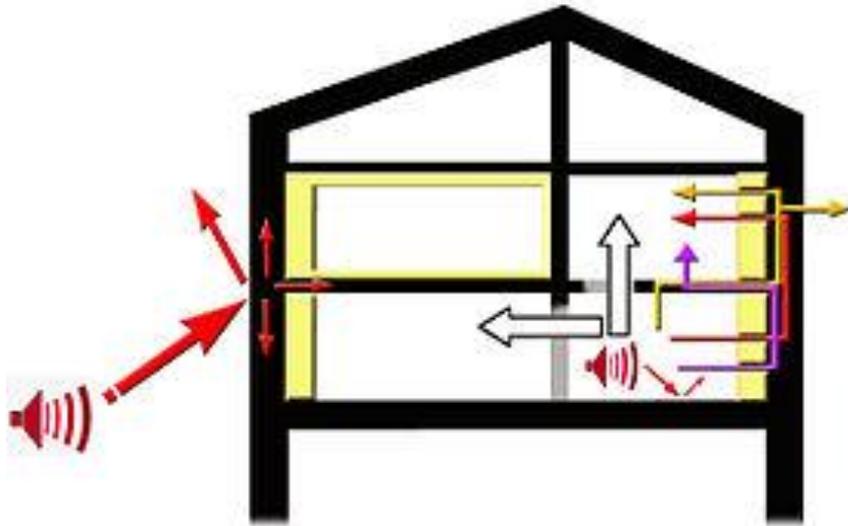


**Figure 2 :** Isolation thermique dans le bâtiment. Ici les bâtiments sont isolés par l'extérieur afin de limiter les ponts thermiques.

#### 1.2.2.1. Les raisons d'isoler :

- Isoler, en augmentant la température des surfaces intérieure des parois, limite la déperdition thermique du corps par rayonnement et permet d'augmenter ce qu'on appelle le confort thermique.
- Isoler permet de:
  - diminuer la facture de chauffage
  - diminuer la dépendance aux énergies fossiles et de cette manière réduire les émissions de gaz à effet de serre
  - diminuer la dépendance aux énergies nucléaires et de cette manière réduire les déchets radioactifs.

- Isoler est aussi un moyen de créer des emplois, au moins en partie financés par les économies de chauffage.



**Figure 3 :** L'isolation thermique peut interférer avec l'isolation phonique, de plusieurs manières, notamment selon que l'isolation soit extérieure ou intérieure, et selon que le bâtiment soit isolé mitoyen.

#### 1.2.2.2. La gestion de l'humidité intérieure, la ventilation :

À proximité d'un mur non isolé, la température chute brutalement et l'air pour cette température doit condenser une partie de la vapeur d'eau qu'il contient pour retourner à un état d'équilibre (L'air chaud peut contenir plus de vapeur d'eau que l'air froid). Cette condensation sous forme de gouttelette est source d'humidité. Augmenter la température des surfaces intérieure des parois par l'isolation évite que l'air ne se condense. Toutefois l'isolation implique que cette humidité doit être gérée de manière stricte:

- Les ponts thermiques sont à proscrire. Ils déplacent en un point, ce qu'une paroi non isolée réalisait sur toute sa surface, l'humidité se condense et peut cette fois être la cause de dégâts importants.
- L'humidité, traversant le mur (Dans le cas d'une isolation par l'extérieur), peut trouver à se condenser, à son point de rosée, à

l'intérieur de l'isolant, ce qui peut provoquer la destruction de l'isolant. La mise en œuvre d'un isolant ne va pas sans la pose de membranes pare-vapeur continues qui évitent tout contact de l'isolant avec cette humidité.

- La mise en place d'une ventilation naturelle ou mécanique est obligatoire pour éliminer toute humidité excédentaire.

### 1.2.2.3. Conséquences :

- Généralement, dans les murs en contact avec l'extérieur, un isolant est placé entre une couche intérieure qui peut être porteuse et une couche extérieure qui sert de parement. C'est une aberration technologique que ne manqueront pas de souligner certains ingénieurs: les deux couches de matériaux subissent des dilatations thermiques différentes, ce qui mène éventuellement à la fissuration des parois.
- Les couches situées au-delà de l'isolant vers l'extérieur deviennent à la limite superflue en termes d'isolation et de sécurité d'usage tout du moins. Hormis le cas des enduits qui s'appliquent sur l'isolant, elles démultiplient les fixations et les agrafes.
- Pour les bâtiments isolés qui s'appliquent à perpétuer une esthétique héritée du passé, dans l'utilisation d'une lame de pierre de faible épaisseur placée en parement, les éléments d'ornementation (corniche, bandeau, pilastre, etc.) augmentent les sources de problèmes, d'étanchéité notamment et le coût du mètre carré de façade. Conséquence: dans certains bâtiments la peau extérieure devient lisse. Pour répondre à cette nouvelle gageure de l'isolation, l'industrie a fabriqué de nouveaux produits: plaques de pierre de 15 mm d'épaisseur, méthodes constructives d'assemblage avec des parements de 6 mm d'épaisseur, etc. D'autres matériaux sont envisagés comme solution de bardage. Le bois employé en bardage extérieur pourrait être une solution performante, de même que le verre ou les panneaux de fibre ciment.

#### 1.2.2.4. Notions physiques et calcul :

##### 1.2.2.4.1. Déperdition thermique :

Un échange de chaleur se produit entre deux milieux lorsqu'il existe une différence de température entre ces deux milieux. La chaleur se propage d'un milieu chaud vers le milieu froid par conduction, rayonnement et convection.

L'« enveloppe thermique » d'un bâtiment est la surface qui sépare le volume intérieur chauffé du bâtiment de l'environnement extérieur. Elle est définie par les parois extérieures du bâtiment. C'est autour de cette enveloppe qu'opèrent les échanges de chaleur, appelés aussi transferts thermiques, qui influenceront sur les besoins de chauffage ou de rafraîchissement du bâtiment.

De manière générale, depuis le milieu intérieur, les calories atteignent les parois extérieures par convection et rayonnement, passent au travers de celle-ci par conduction, et s'échappent à nouveau par convection et rayonnement.

Déterminer les déperditions thermiques d'un bâtiment revient à calculer les flux thermique additionnés qui traversent ses parois:

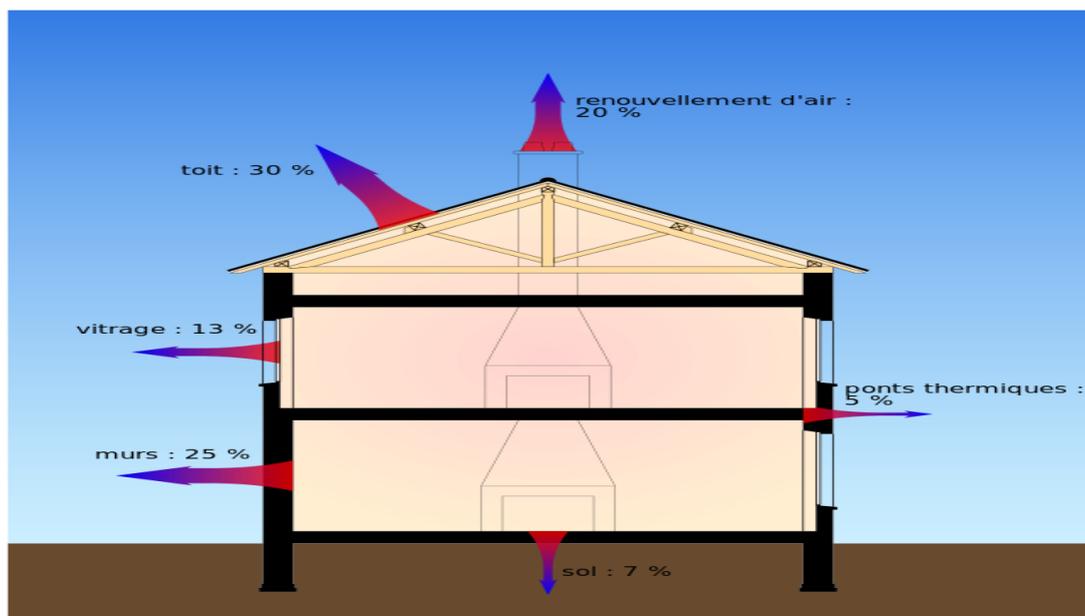


Figure 4 : Déperditions thermiques d'un bâtiment.

**1.2.2.4.2. Pour les murs :**

Le mur transmet la chaleur par conduction dans son épaisseur entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Le vent accélère l'échange thermique à la surface extérieure du mur par convection. Le Soleil chauffe le mur par rayonnement. Le mur chaud rayonne aussi la nuit vers le ciel.

**1.2.2.4.3. Pour les fenêtres :**

La vitre transmet la chaleur par conduction dans son épaisseur entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Le vent refroidit la vitre par convection. Le Soleil chauffe l'intérieur de la pièce à travers la surface transparente. L'intérieur de la pièce lui-même perd une partie de son énergie par rayonnement vers l'extérieur. Mais la vitre bloque une grande partie du rayonnement infrarouge émis (principe de l'effet de serre).

**1.2.2.4.4. Pour la toiture :**

Le Soleil réchauffe le toit par rayonnement. La chaleur du Soleil est transmise à travers le toit au reste du bâtiment. Le vent refroidit le toit avec un vent frais.

**1.2.2.4.5. Pour le plancher :**

La chaleur est échangée entre le bâtiment et le sol à travers l'épaisseur de la dalle par conduction. Les échanges convectifs n'interviennent que si la dalle est située sur un vide sanitaire ventilé. Il n'y a pas d'échange par rayonnement.

**1.2.2.4.6. Conductivité thermique :**

Notée  $\lambda$  (ou  $k$  en anglais), la « conductivité thermique » ou Conductibilité thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction. C'est le flux de chaleur qui traverse 1 mètre carré d'une paroi de 1 mètre d'épaisseur lorsque la différence de température entre les deux faces de cette paroi est de 1 degré.

Dans le système international d'unités, la conductivité thermique est exprimée en watt par mètre-kelvin, ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ).

Plus  $\lambda$  est petit plus le matériau est isolant.

$\lambda$  augmente en proportion négligeable avec la température mais surtout avec l'humidité contenue dans le matériau. L'eau a une conductivité thermique 25 fois supérieure à celle de l'air: si l'eau vient à remplacer l'air dans les pores du matériau, la performance de celui-ci s'en trouve gravement amoindrie<sup>2</sup>. La pose d'un isolant dans les règles de l'art va donc souvent de pair avec le soin apporté à l'étanchéité et la connaissance en isolation thermique avec la connaissance des habituels problèmes d'humidité dans la construction.

Comme le coefficient de conductivité thermique d'un matériau varie en fonction de la température et de l'humidité de celui-ci, les documentations technico-commerciales des matériaux doivent préciser avec la valeur du  $\lambda$ , les conditions dans lesquelles cette valeur est obtenue. Cette valeur lambda déclarée doit être éventuellement certifiée par un agrément technique.

D'autre part on opère une distinction entre  $\lambda_i$ , la conductivité thermique d'un matériau dans une paroi intérieure ou dans une paroi extérieure à condition que le matériau soit protégé contre l'humidité due à la pluie ou à la condensation et d'autre part  $\lambda_e$ , la conductivité thermique du même matériau non protégé contre l'humidité due à la pluie ou à la condensation.

Pour les matériaux anisotropes, c'est-à-dire présentant des propriétés différentes selon les directions du fait qu'ils ne sont pas homogènes (c'est le cas pour une maçonnerie de blocs creux), il n'est pas possible de donner une valeur de conductivité thermique exploitable dans les calculs. On leur donne donc une valeur de résistance thermique (RT), issue d'une expérimentation en laboratoire.

**1.2.2.4.7. Résistance thermique :**

Le flux de chaleur traversant un matériau paroi dépend de son épaisseur et de sa conductivité thermique  $\lambda$ . La résistance thermique met en relation l'épaisseur et la conductivité thermique:

$$R_T = \frac{e}{\lambda}$$

Où :

- $e$  : est l'épaisseur en m.
- $\lambda$  : est la conductivité thermique en  $W K^{-1} m^{-1}$ .
- $R_T$  (ou simplement  $R$ ) : est la résistance thermique en mètre carré-kelvin par watt ( $m^2.K.W^{-1}$ ).

Plus  $R_T$  est grand plus la paroi est isolante.

**1.2.2.4.8. Transmission calorifique :**

Le coefficient de transfert thermique  $U$ , anciennement appelé  $k$ , est l'inverse de  $R$ .

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Plus  $U$  est faible plus la paroi est isolante.

Ce n'est que par commodité de calcul qu'il faut d'abord déterminer  $R$ , avant de connaître  $U$ .

**1.2.2.4.9. Déperdition thermique d'une paroi :**

Calculer la déperdition thermique d'une paroi revient à calculer le flux thermique qui la traverse.

En pratique une paroi est constituée de plusieurs couches de matériaux d'épaisseurs et de conductivités différentes. La résistance thermique totale d'une paroi est la somme des résistances thermiques de chacune de ses couches, à savoir:

- La résistance de chacune des couches
- À la surface intérieure et extérieure de la paroi, deux résistances supplémentaires qui sont dues à une mince couche d'air quasi-immobile dans lesquelles la transmission de chaleur se fait par convection et par rayonnement. La valeur « R superficiel », (ou Résistance thermique d'échange superficiel) dépend de l'inclinaison de la paroi et est donnée par les textes officiels de chaque pays. R intérieur est toujours plus grand que R extérieur du fait que les mouvements d'air sont plus importants à l'extérieur qu'à l'intérieur.
- La résistance thermique des couches d'air et coulisses ventilées, qui donnent lieu à diverse interprétation, selon qu'elles sont fortement ou faiblement ventilées.
- Un éventuel facteur de correction lié à la mise en œuvre des matériaux

Ainsi pour un mur constitué de n couches:

$$R_T = R_{si} + \sum_{i=1}^n R_i + R_{se} + R_{cor}$$

Où :

- $R_T$  : est la résistance thermique totale de l'ensemble de la construction;
- $R_i$  : est la résistance thermique de chaque couche i constituant la construction;
- $R_{si}$  : est la résistance thermique d'échange de la surface intérieure;
- $R_{se}$  : est la résistance thermique d'échange de la surface extérieure;
- $R_{cor}$  : est le facteur de correction;

Toutes exprimées en mètre carré-kelvin par watt ( $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ).

Le coefficient de transmission thermique de la paroi s'obtient par la formule :

$$U = \frac{1}{R_T}$$

La densité de flux thermique  $\varphi$ , exprimée en watt par mètre carré s'obtient par la formule :

$$\varphi = U \Delta T$$

Le flux thermique  $\Phi$  exprimé en watt s'obtient par la formule :  $\Phi = \varphi S$

- $\Delta T$  : est la différence de température en °C ou en K.
- $S$  : est la surface d'échange en mètre carré.

#### 1.2.2.4.10. Isoler une paroi :

L'isolation thermique vise donc à diminuer les échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur par interposition d'un matériau ayant la capacité de conduction la plus faible possible. L'isolation thermique peut avoir pour but de garder la chaleur présente dans le bâtiment en hiver, ou d'éviter le réchauffement pendant l'été.

#### 1.2.2.4.11. Niveau d'isolation thermique d'un bâtiment :

Le niveau d'isolation thermique d'un bâtiment est une grandeur qui détermine le niveau d'isolation thermique d'un bâtiment.

#### 1.2.2.4.12. L'inertie thermique :

L'inertie thermique, est quantifiée par deux grandeurs physiques essentielles, la diffusivité thermique et l'effusivité thermique. Celles-ci sont fonction de :

- la conductivité thermique du matériau ( $\lambda$ )
- la capacité thermique massique du matériau ( $c$ )

- la masse volumique ( $\rho$ )

(Et éventuellement la capacité thermique volumique, produit des deux derniers)

Appliquée à un matériau de construction, une paroi, un local ou un bâtiment, la capacité thermique représente la quantité de chaleur que ceux-ci emmagasinent lorsque leur température augmente d'un degré. Cette quantité est généralement liée à la masse volumique.

D'une manière générale :

- Un matériau dense aura une meilleure inertie thermique.
- Un matériau léger aura une inertie thermique moindre.

Dans une pièce revêtue intérieurement d'une couche d'isolant ou une cloison de doublage légère, l'inertie thermique est faible. Il suffit de peu de temps pour réchauffer l'air de la pièce, ce qui est un avantage. Par contre, en été, le moindre rayon de soleil fait monter la température brutalement et cette dernière baisse aussi vite qu'elle a montée lorsque le soleil disparaît. La sensation d'inconfort est nette.

L'utilisation de murs massifs intérieurs et une isolation extérieure permettent d'augmenter l'inertie thermique et de réduire les variations de température.

La capacité thermique volumique et la masse volumique sont renseignées dans les spécifications techniques des matériaux entrant dans la construction des bâtiments.

### **1.2.3. Les sources de déperdition de chaleur :**

L'isolation thermique vise généralement à se prémunir du refroidissement des espaces intérieurs, mais aussi des éléments structurels du bâtiment. Toutefois l'isolation peut aussi avoir pour but d'éviter le réchauffement pendant l'été. La

chaleur se propage d'un milieu chaud vers le milieu froid par conduction, rayonnement et convection ;

Le but de l'isolation thermique est de diminuer les échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur par interposition d'un matériau ayant la capacité de conduction la plus faible possible.

Dans une maison individuelle non isolée, les valeurs moyennes des sources de déperdition de chaleur ou déperdition thermique sont les suivantes:

- le toit 25 à 30 % ;
- les murs 20 à 25 % ;
- le renouvellement d'air 20 à 25 % ;
- les fenêtres et portes extérieures 10 à 15 % ;
- le plancher 7 à 10 % ;
- les ponts thermiques 5 à 10 %.

Dans une maison isolée selon la norme française RT 2005, la toiture et les murs ayant fait l'objet d'une isolation spécifique, et les vitrages étant systématiquement doublés, la part résiduelle des ponts thermiques devient beaucoup plus importante. Le bilan de déperdition thermique est alors typiquement le suivant:

- le toit 10 % ;
- les murs 20 % ;
- le renouvellement d'air 15 % ;
- les fenêtres et portes extérieures 15 % ;
- le plancher 20 % ;
- les ponts thermiques 20 %.

#### **1.2.4. Principes d'isolation des murs :**

Il existe 3 principes pour réaliser l'isolation thermique d'un mur.

**1.2.4.1. L'isolation intérieure et les cloisons de doublage :**

Cette solution, répandue en France, est facile à mettre en œuvre. L'isolation intérieure est choisie pour les cas de rénovation dans les appartements (car il est difficile d'intervenir sur l'extérieur du bâtiment) et pour les résidences secondaires. Dans ce dernier cas, l'occupation intermittente ne permet pas de chauffer durablement la masse thermique des murs. L'isolation intérieure laisse donc le mur à l'extérieur de la zone isolée et permet une montée en chauffe rapide adaptée à un usage temporaire. Elle a le désavantage (qui est aussi un avantage dans certains cas) de ne pas présenter d'inertie thermique. L'isolation intérieure, lorsque l'isolation était inexistante, présente le désavantage d'une réduction de l'espace intérieur. Autre désavantage, la présence de nombreux ponts thermiques difficiles à traiter. La qualité d'une isolation intérieure peut diminuer avec le temps (tassement des laines derrière les plaques de plâtre, trous de souris dans le polystyrène, etc.)

**1.2.4.2. L'isolation intégrée au matériau porteur :**

Cette solution utilise des matériaux qui intègrent un isolant dans leur structure : béton cellulaire, brique de chanvre, brique de terre cuite avec âme isolante, etc. L'isolation intégrée est généralement utilisée en construction neuve. Cette solution est performante et durable. On trouve aussi maintenant des briques multi-alvéolaires communément appelé MONOMUR ayant tous les avantages de la brique, étant mur porteur et apportant une isolation supérieure à l'isolation traditionnelle par doublage des murs, évite ainsi l'ajout de main d'œuvre et de matériaux supplémentaires. Ces briques existent de 24 cm jusqu'à 49 cm d'épaisseur. L'assemblage se fait généralement à l'aide de colle et non de mortier de ciment.

**1.2.4.2.1. Le cas particulier de la structure bois :****1.2.4.3. L'isolation extérieure sous enduit, les parements et les bardages :**

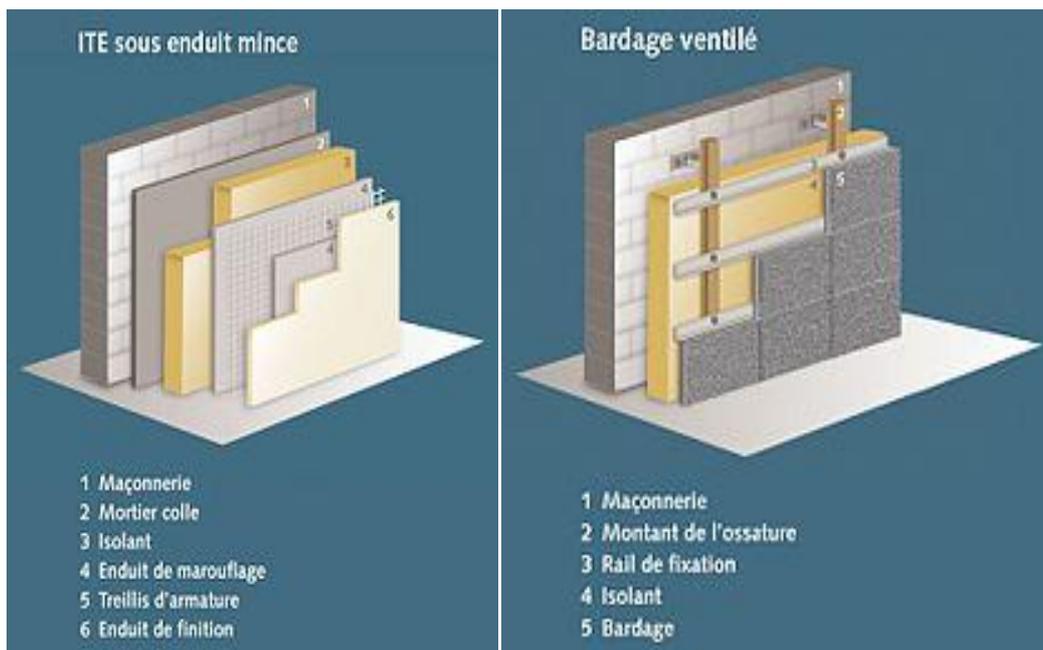
Appelée aussi mur manteau ou I.T.E. / ITE dans sa forme abrégée, cette solution, plus coûteuse à l'installation, est beaucoup utilisée en Belgique, au Luxembourg, et plus encore en Allemagne, en Suisse, en Autriche et en Pologne.

Elle nécessite généralement une épaisseur d'isolant plus faible. L'isolation extérieure est plus adaptée à l'isolation des résidences principales. Elle permet de conserver la masse thermique du mur à l'intérieur de l'enveloppe isolée. L'habitation, chauffée en continu, monte en température lentement dans toute sa masse mais se refroidit faiblement lorsqu'elle est inoccupée. L'isolation extérieure est en revanche difficile à mettre en œuvre sur certains édifices anciens (façades protégées) et nécessite presque toujours l'intervention de professionnels qualifiés. Dans le cas d'une transformation, on choisit cette dernière solution si les dépenses de chauffage sont importantes car l'isolation obtenue est plus performante. Une isolation extérieure dans le cas où l'isolation est inexistante est intéressante, car elle n'empiète pas sur le domaine habitable et peut être installée sur un bâtiment habité. Son épaisseur peut aller jusqu'à 20 cm et elle supprime facilement les ponts thermiques (abouts de planchers, ...), sauf au niveau des fondations. Une épaisseur de 10 cm d'isolant extérieur équivaut à 20 à 25 cm du même isolant intérieur sur le total des consommations lorsqu'il y a beaucoup de ponts thermiques.

Pour les bâtiments isolés par l'extérieur qui s'appliquent à perpétuer une esthétique héritée du passé, dans l'utilisation d'une lame de pierre de faible épaisseur placée en parement, les éléments d'ornementation – les modénatures dans le langage de la profession – (corniche, bandeau, pilastre, etc.) augmentent les sources de problèmes car les systèmes de fixations qui traversent l'isolant, sophistiqués et coûteux, doivent éviter les ponts thermiques et les problèmes d'étanchéité. Il existe des systèmes de fixation spécifiques

pour ne pas créer de pont thermique. La tendance est à des enduits légers, couvrant l'isolant ou des bardages légers.

30 % de la chaleur d'un bâtiment est perdue via les murs mal isolés, l'ITE (Isolation Thermique par l'Extérieur) est plus efficace que l'isolation par l'intérieur. Elle a d'abord été utilisée en France pour les bâtiments collectifs (HLM notamment) et de plus en plus pour les maisons particulières. Le « manteau isolant » augmente l'inertie thermique de tout le bâtiment et règle tout ou partie des problèmes de ponts-thermiques, ce qui présente un avantage important en régime transitoire. À qualité d'isolant égale, elle diminue beaucoup les pertes de chaleur l'hiver et conserve la fraîcheur de la nuit dans la maison pendant l'été.



**Figure 5 :** ITE sous enduit mince. **Figure 6 :** Schéma d'un bardage ventilé.

#### 1.2.4.3.1. Techniques :

L'ITE se conçoit sur des murs plans et verticaux : maçonneries de parpaings, briques, blocs de béton cellulaire, revêtues ou non d'un enduit ciment ; des parois en béton banché ou préfabriqué ; des maçonneries de pierre.

L'isolant (panneaux d'isolants divers (éco matériaux éventuellement), briques de polystyrène expansé collées... est fixé sur le mur à l'extérieur de l'habitation et protégé par un enduit ou lambris, éventuellement lors d'une démarche de rénovation de façade.

Pour l'étanchéité, une des solutions est une première couche ou sous-enduit avec armature en fibre de verre marouflée dans son épaisseur est généralement apposée pour satisfaire aux principales fonctions mécaniques. Dans un second temps, une deuxième couche ou enduit de finition est appliquée pour les fonctions décoratives d'aspect.

Les systèmes d'ITE sous enduit, les plus répandus, car moins onéreux que les parements, bardages ventilés, vêtages et vêtures, sont aussi appelés ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems. Cette dénomination met l'accent sur le principe de système composite : colle + isolant + fixation mécanique (selon le cas) + treillis d'armature + enduit de marouflage + enduit de finition. À l'intérieur de ce système, chaque composant est dûment spécifié. Le respect de ces spécifications est essentiel pour atteindre effectivement les performances visées, offrir les garanties de longévité requises et éviter des désordres ultérieurs.

Un usage mixte est possible (ex. ITE en façade arrière uniquement pour un immeuble dont la façade est patrimoniallement intéressante), mais avec une légère perte d'isolation. Par ailleurs, on voit de plus en plus souvent des réalisations qui panachent les bardages et les finitions en enduit pour élargir les possibilités esthétiques. De systèmes d'isolation de toitures par l'extérieur

existent aussi, faciles à combiner avec une rénovation de toiture et de réfection de combles ou pose de panneaux solaires.

#### **1.2.4.3.2. Avantages de l'isolation thermique par l'extérieur :**

- suppression de tous les ponts thermiques des dalles de plancher, des murs de refend et autres cloisons ;
- jusqu'à 80 % d'économie d'énergie pour les bâtiments les plus énergivores en limitant de façon importante la déperdition de chaleur par la façade et en limitant les ponts thermiques ;
- utilisation de l'inertie des murs pour récupérer les apports extérieurs, les apports ménagers, et qui deviennent avec un chauffage adéquat de véritables radiateurs basse température ;
- un meilleur confort thermique du fait que les murs lourds et donc conducteurs thermiques absorbent mieux la chaleur rayonnée par les occupants des lieux ;
- pas de condensation dans les murs qui sont à la même température que l'air ambiant intérieur ;
- utilisation possible de la chaufferie la nuit en période hivernale uniquement pour la production ECS (eau chaude sanitaire) en coupant le chauffage deux à trois heures sans perte de température significative, ce qui simplifie la régulation dans le cas d'une chaufferie à base de pompe à chaleur aquathermique ;
- pas d'émanation de gaz nocif de polystyrène et colle dans l'air du logement, pas de problème d'accrochage des meubles de cuisine et de salle de bain, et des tringles à rideaux, pas d'apparition des bandes de collage ;
- la surface habitable n'est pas diminuée ;
- elle peut se faire sans interrompre l'occupation du logement dans le cas d'une rénovation.



**Figure 7 :** Réalisation en ITE panachant une finition en enduit mince sur isolant et une finition en bardage ventilé.

#### 1.2.4.3.3. Inconvénients de l'isolation thermique par l'extérieur :

- coût souvent plus élevé (en raison du coût d'installation de l'échafaudage) à résistance thermique égale (variable selon la complexité des formes extérieures du bâti. Des solutions préfabriquées pourraient dans certains cas réduire ces coûts) ;
- quelques difficultés de réflexion à la conception pour l'implantation des combles et du garage ou sous-sol ;
- une technique moins abordable pour l'auto constructeur mais néanmoins réalisable ;
- elle modifie l'aspect extérieur du bâtiment ce qui, dans le cas de rénovations en zone patrimoniale, peut poser problème.

### 1.2.5. Isolation des planchers :

Par plancher, on entend le sol sur lequel on circule : dalle en béton, ou plancher sur solives. Le plafond d'un niveau correspond évidemment au plancher de l'étage supérieur. L'isolation thermique des planchers est importante pour le confort (en gardant les pieds au chaud) et pour l'économie d'énergie dans le cas d'une dalle chauffante.

L'isolation des planchers combat deux causes de déperditions thermiques :

- pertes vers l'étage inférieur non chauffé (sous-sol, vide sanitaire, terre-plein...);
- pertes par ponts thermiques.

Du fait que l'air chaud a tendance à s'accumuler au plafond et que la différence de température entre sous-sol et volume habitable est moins importante en hiver qu'entre l'extérieur et volume habitable, l'épaisseur de l'isolation nécessaire est plus faible (de l'ordre de 6 cm en plancher par rapport à 10 à 20 cm dans les combles).

Pour isoler un plancher on peut :

- soit isoler la sous-face de celui-ci en fixant des panneaux isolants au plafond du niveau inférieur ou en utilisant une dalle avec hourdis isolants ;
- soit réaliser une chape isolante (béton avec granulats isolants), une dalle flottante sur polystyrène expansé à haute densité (cas de la dalle chauffante), un plancher sur lambourdes séparées par de la laine
- soit isoler avec de la ouate de cellulose en vrac, par l'étage du dessus ou du dessous ; dans le premier cas on procède par bourrage lâche dans le plancher ouvert et, dans le deuxième cas, en soufflant le produit à travers une membrane brochée. On peut aussi souffler la ouate de

cellulose à travers un plafond fermé en soufflant le produit à travers des trous de deux pouces de diamètre dans lesquels on insère le boyau.

### **1.2.6. Isolation sous les toitures et terrasses :**

Comme l'air chaud monte par convection, la température est plus élevée au plafond et il est donc logique de placer une couche d'isolant plus épaisse dans les combles que sur les murs. Sous le toit les entrées d'air doivent être plus spécialement traitées, car il n'y a pas d'étanchéité des murs. La couche d'isolant doit être protégée contre les intrusions de la fouine ou des rongeurs, en fermant à l'aide d'un grillage solidement fixé l'espace entre les chevrons au niveau de la sablière.

Plusieurs solutions sont possibles pour l'isolation sous le toit, en fonction de la résistance thermique souhaitée et de l'espace disponible :

- peu d'espace et isolation faible — film réfléchissant fixé sous les chevrons, coûteux et de faible efficacité en pratique ;
- peu d'espace et isolation moyenne — isolant entre les chevrons, de mise en œuvre délicate, car l'espacement entre chevrons est rarement régulier ;
- espace disponible et isolation forte — double épaisseur de panneaux isolants fixés à l'intérieur d'une structure en caissons, entre les pannes ou encore soufflage d'un isolant en vrac (par exemple : ouate de cellulose ou laine de roche) après avoir installé les déflecteurs de ventilation entre les chevrons. La structure supporte aussi les plaques de plâtre, des panneaux d'aggloméré, de la frise de pin.

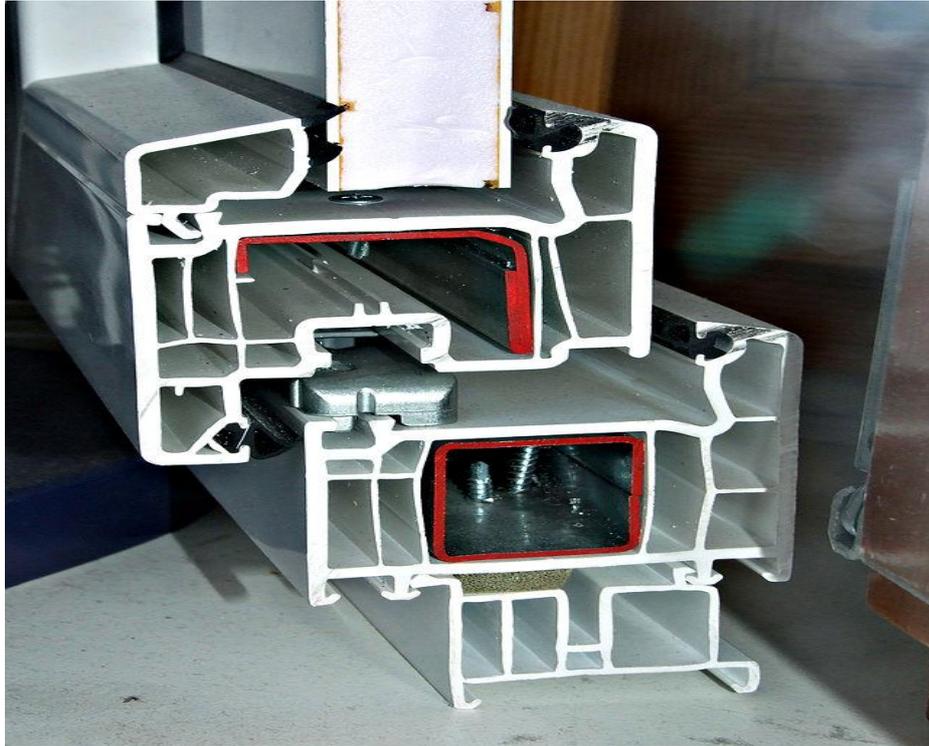
L'isolation est mise en place après la pose des conduits de fumée et des fenêtres de toit. Prévoir le passage des gaines de ventilation, des câbles de télévision, des gaines électriques.



**Figure 8 :** En climat tempéré, la première source de déperdition thermique des maisons est la toiture (jusqu'à 30 %, voire plus). La fonte de la neige sur les toitures montre ici les défauts d'isolation de certaines maisons, se traduisant par un gaspillage d'énergie et des dépenses accrues, ainsi que des impacts sur l'environnement. En l'absence de neige, une thermographie rend visible ces pertes de chaleur.

### 1.2.7. Isolation des portes et fenêtres :

Les ouvertures vitrées sont les points faibles de l'isolation globale de la construction. Limiter la surface de ces ouvertures est une solution pour réduire les déperditions, éviter les ouvertures au nord et côté du vent (souvent à l'ouest). Cette solution entraîne cependant une réduction de l'éclairage des pièces, une diminution des apports solaires (sources d'économies d'énergie en confort d'hiver) et une dégradation du confort. Un calcul de performance énergétique s'impose pour déterminer la bonne surface qui réalise le bon arbitrage entre gain en apports solaires et lumineux et pertes en isolation thermique.



**Figure 9 :** Coupe d'un cadre de fenêtre en PVC montrant les espaces creux améliorant l'isolation.

On choisira donc de préférence les solutions suivantes :

- utiliser le double-vitrage à faible émissivité de 24 mm d'épaisseur totale minimum (RT 2005),
- choisir des huisseries épaisses en bois ou PVC de bonne qualité ou en aluminium avec rupture de pont thermique (offre standard depuis la RT 2000),
- vérifier l'étanchéité des joints, y compris en bas de portes,
- installer des volets étanches, si possible au droit de la façade pour limiter les effets du vent. Les volets roulants en PVC à double parois et caisson extérieur (dans l'épaisseur du mur) sont une des bonnes solutions. Par contre les volets roulants à lames aluminium double parois même injectées de mousse polyuréthane présentent une moins bonne isolation thermique. En effet, les lames aluminium favorisent les échanges thermiques avec l'extérieur contrairement aux lames PVC.

- installer des doubles-rideaux épais devant portes et fenêtres,
- supprimer les ponts thermiques au niveau des seuils et appuis de fenêtres.

La pose de doubles-fenêtres est une excellente solution contre :

- le bruit ;
- les entrées d'air (caissons de volets roulants, huisserie anciennes déformées, difficulté de poser des joints).

Par contre, la manœuvre et l'entretien des doubles-fenêtres est malaisée, leur esthétique discutable et leur coût élevé.

La pose de survitrages est généralement une solution bon marché et peu efficace mais qui peut rendre service en rénovation

Pour réduire le rayonnement infrarouge pénétrant par les vitrages sud en été, il est possible de coller un film réfléchissant. Cette solution est assez efficace mais onéreuse. En plein jour, elle protège également des regards indiscrets (cas des rez-de-chaussée) sinon opter pour des doubles vitrages avec les fonctions de contrôle solaire.

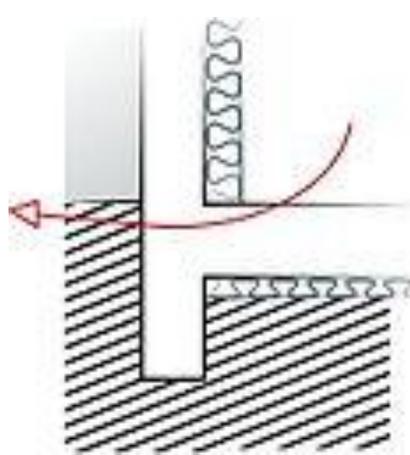
En ce qui concerne le confort d'hiver, il faut compter avec les apports solaires. Il peut s'avérer optimal de préférer des fenêtres aluminium à des fenêtres PVC : les premières sont moins isolantes que les secondes mais, du fait de la finesse des profilés, l'aluminium maximise le clair de vitrage et procure de fait une meilleure performance énergétique.

#### **1.2.8. Isolation des ponts thermiques :**

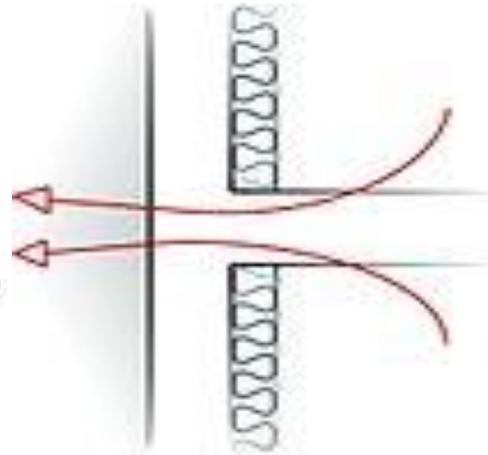
Les ponts thermiques, sortes de courts-circuits dans l'isolation intérieure, doivent être réduits au maximum. Pour ce faire, on peut agir dès la conception en préférant un plancher sur solives, une ferme intérieure plutôt qu'un mur de refend ou plus simplement en construisant son mur avec un matériau isolant

(béton cellulaire, brique monomur, etc.). Une autre solution consiste à isoler par l'extérieur avec l'inconvénient de laisser un pont thermique au niveau des fondations.

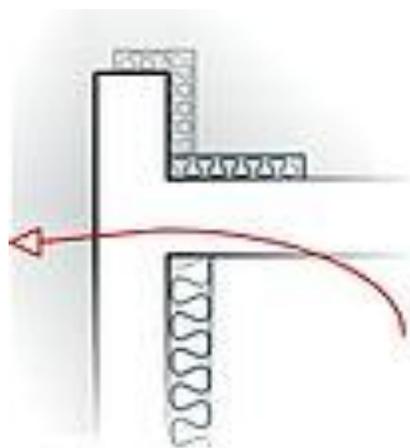
### Les principaux ponts thermiques



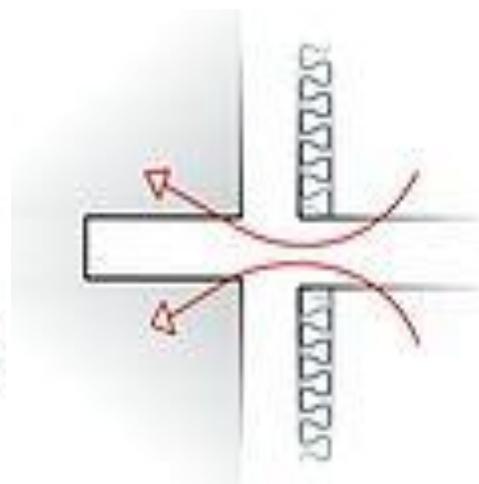
**Figure 10 :** Jonction planché bas/mur extérieur.



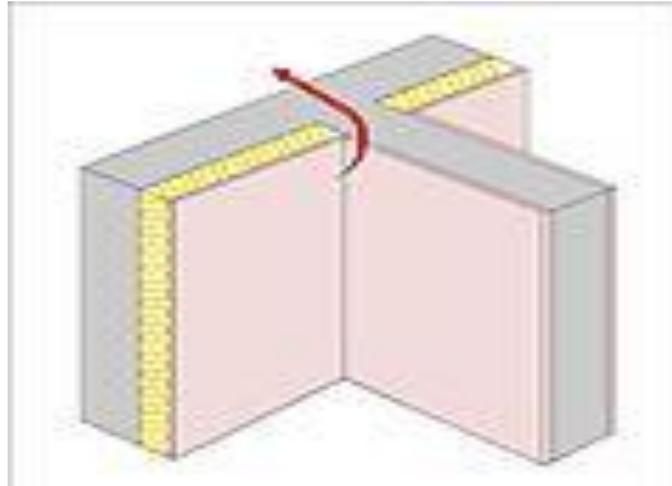
**Figure 11 :** Jonction plancher intermédiaire/mur extérieur.



**Figure 12 :** Jonction planché haut/mur extérieur.



**Figure 13 :** Jonction plancher/balcon.



**Figure 14 :** Jonction mur de refend/mur extérieur.

Lors de la réalisation on pourra appliquer différentes solutions :

- mettre en place des rupteurs de pont thermique en pourtour de dalle et à l'extrémité des murs de refend ;
- isoler le tour de dalle à l'aide d'une brique creuse ou d'une planelle en béton cellulaire ;
- doubler les murs de refend avec une couche d'isolant de quelques centimètres ;
- poser un faux plafond isolé ou isoler les planchers en sous-face ;
- réaliser des dalles flottantes.

Le développement de moisissures sur les parois trahit la présence de condensation, donc d'une zone froide provoquée par un pont thermique. Comme il est difficile de traiter un pont thermique a posteriori, on peut essayer de tapisser les murs concernés à l'aide d'une couche mince d'isolant (quelques millimètres) recouverte d'un papier peint ou d'un revêtement mural (tissus...). Dans un bâtiment non isolé, les ponts thermiques représentent de faibles déperditions (en général inférieures à 20 %) car les pertes globales de chaleur par les parois sont très importantes. En revanche, lorsque les parois sont isolées de manière importante, le pourcentage de déperditions causées par les ponts

thermiques devient élevé (plus de 30 %) mais les déperditions globales sont très faibles. C'est pour cette raison que dans des bâtiments à faible consommation énergétique, il est primordial d'avoir de très fortes résistances thermiques pour les parois et de s'assurer d'avoir de faibles pertes de chaleur au niveau des jonctions.

Parmi ces solutions de traitement des ponts thermiques, la plus efficace en isolation thermique par l'intérieur est probablement la mise en place de rupteurs de ponts thermiques. Le rupteur de pont thermique est un dispositif structurel permettant d'offrir une complète isolation à une structure. Il est composé d'un boîtier isolant et de barres en acier qui reprennent les sollicitations de la structure.

### **1.2.9. Composants :**

#### **1.2.9.1. Le pare-vapeur/coupe-vent :**

La face intérieure de l'isolation (côté chaud) doit être munie d'un film étanche à l'air qui remplit deux fonctions : celle de pare-vapeur et celle de coupe-vent. Ce film étanche fonctionne donc dans les deux sens :

- interdire à l'air chaud et chargé de vapeur d'eau de pénétrer dans l'isolant et d'y provoquer de la condensation ;
- empêcher le vent de s'infiltrer, au travers de l'isolation, dans le volume chauffé.

Les canalisations électriques et autres gaines qui traversent l'isolation ne doivent pas favoriser le passage des courants d'air, il faut les immobiliser fermement, les entourer d'isolant et les boucher aux extrémités (un morceau de papier ou un peu d'enduit, facilement retirable en cas de besoin) pour éviter la circulation d'air parasite par celles-ci entre les différentes pièces, les combles, les vides sanitaires et les pièces non chauffées. Idéalement, entre la finition

intérieure et le pare-vapeur, on laisse un passage technique pour l'électricité et la plomberie, ainsi, on ne troue pas le pare-vapeur.

L'utilisation du frein vapeur hygrovariable permet de garantir la durabilité de votre isolation en évitant la surcharge d'humidité dans le bâti. Le frein vapeur hygrovariable (ouvert à la diffusion de la vapeur d'eau) fonctionne selon le principe de la membrane régulée par les conditions climatiques : en hiver il protège contre l'humidité, en été sa structure moléculaire s'ouvre et permet un séchage sûr.

Contrairement au pare-vapeur, le frein vapeur hygro-variable vous garantit une construction qui respire, donc plus saine.

#### **1.2.9.2. Les isolants :**

Les isolants utilisent les propriétés de l'air et des gaz.

Le vide est le meilleur isolant thermique mais ne peut pas être utilisé de façon pratique pour l'isolation des habitations (il est utilisé plus facilement pour de petits récipients comme les bouteilles thermos dont la paroi peut être sous vide).

Les gaz et l'air en particulier, maintenus immobiles, sont les meilleurs isolants. En effet, les transferts thermiques par un gaz ou un liquide ne se font pas seulement par conduction thermique, mais aussi par convection thermique : c'est pourquoi l'air enfermé dans les combles d'une toiture n'empêche pas les transferts thermiques (la convection thermique est d'autant plus forte que la différence de température entre la toiture et le plancher des combles est élevée, accélérant la circulation de l'air). Les isolants vont donc réaliser dans la mesure du possible cette immobilité de l'air.

La résistance thermique d'un matériau isolant est donc assurée par l'air ou un autre gaz enfermé dans des bulles (verre cellulaire et mousses synthétiques) ou

freiné par les fibres du matériau (laine de roche, laine de chanvre, blocs de chanvre, fibre de bois, ouate de cellulose...).

On va préférer un isolant en panneau dont la tenue mécanique est meilleure, voire l'insufflation en vrac, technique moins coûteuse et qui évite les ponts thermiques.

Les critères d'un matériau isolant sont les suivants :

- Son conditionnement commercial (panneau rigide ou semi-rigide) ;
- matériau, origine, énergie grise, conditions de fabrication, polluant, durabilité ;
- Conductivité thermique, valeur lambda ( $\lambda$ );
- Résilience (capacité à emmagasiner la température) ;
- comportement à l'eau, capillarité, hygroscopicité ;
- comportement à la vapeur d'eau, facteur de diffusion de la vapeur d'eau ;
- perméabilité à l'air ;
- résistance aux nuisibles, à la vermine ;
- évolution dans le temps ;
- réaction au feu (émissions de polluants éventuels) ;
- résistance mécanique ;
- facilité de mise en œuvre.

#### **1.2.10. La pose de l'isolant :**

Les matériaux isolants à base de fibre de verre ou fibre de roche sont désagréables à poser. Utiliser des gants, un masque à poussière, des lunettes de sécurité et une combinaison de travail au col et aux poignets serrés. Essayer de ventiler le local.

L'isolation des sous-pentes peut se faire à l'aide de laine en rouleau munis d'un pare-vapeur que l'on agrafe sur les chevrons. Cette solution n'est possible que si l'écartement des chevrons correspond exactement à la largeur des rouleaux.

En pratique l'épaisseur d'isolant ne dépassera guère 8 cm, ce qui est insuffisant dans la plupart des régions. Il est certainement plus pratique d'utiliser des panneaux découpés à l'écartement des chevrons ou de placer l'isolant en sous-face.

Dans le cas d'un isolant à bourrage lâche comme la ouate de cellulose, l'isolant est soufflé uniformément dans le grenier à la suite de l'installation de déflecteurs de ventilation. Pour les murs, une membrane est brochée à l'ossature de la structure avant d'y souffler l'isolant à haute densité.

Vérifier que les recoins sont comblés d'isolant, si nécessaire bourrer de la laine isolante dans les moindres trous. Condamner tous les orifices où des rongeurs pourraient pénétrer. On peut utiliser de la mousse de polyuréthane pour reboucher les trous ou remplir des alvéoles.

#### **1.2.11. La sur-isolation :**

On peut être tenté de doubler l'épaisseur de l'isolation des murs. Ce n'est pas une mauvaise chose mais il faut tenir compte des points suivants :

- doubler l'épaisseur de l'isolant ne coûte pas 2 fois plus cher (la main d'œuvre est la même) mais diminue (théoriquement) les déperditions de moitié. Car le coefficient d'isolation thermique (dénommé R) sera doublé. Par exemple, 10 cm de laine de verre apportent un coefficient R de 2.5, donc 2 fois 10 cm apporteront un coefficient R de 5. Une pose croisée des deux couches permettra aussi de limiter les déperditions.
- l'épaisseur de l'isolant intérieur est autant de place perdue pour l'espace habitable : 10 cm d'isolant sur un pourtour de 40 mètres (étage de 10×10 m) correspond à 4 m<sup>2</sup> de surface perdue soit 4 %.
- une isolation performante nécessite un soin particulier : traiter les embrasures, ne pas créer de ponts thermiques, rendre l'enveloppe étanche à l'air, prévoir un pare-vapeur, prévoir une ventilation efficace.

- l'isolant extérieur (en rénovation) résout ce problème. À partir des matériaux renouvelables (ouate de cellulose, bois, déchet agricole...chanvre, paille, liège) il est possible de réduire l'énergie grise vis-à-vis d'un isolant classique (laine de roche, verre ou plastique)<sup>7</sup>
- En respectant la norme Passivhaus (ép. environ 35 cm), vous économisez sur le système de chauffage et investissez dans la sur-isolation. Le retour sur investissement est fonction des économies d'énergies réalisées (Calcul en fonction de l'évolution du coût de cette énergie).
- pour être optimisée, l'isolation doit être cohérente. Les efforts pour isoler doivent être identiques pour les murs, la ventilation et les portes et fenêtres.

### 1.3. DEFINITION DE L'ISOLANT THERMIQUE :

Un isolant thermique est un matériau qui permet d'empêcher la chaleur ou le froid de s'échapper d'une enceinte close. Son contraire est un conducteur thermique.

L'isolation thermique permet de minimiser la consommation d'énergie nécessaire à maintenir la température requise. Les isolants thermiques sont essentiellement caractérisés par leur résistance thermique et leur inertie thermique. Ils permettent d'éviter les déperditions ainsi que le phénomène de pont thermique.

Les isolants thermiques sont caractérisés par une valeur R de résistance thermique du produit isolant (en  $\text{m}^2\text{C}/\text{W}$ ) en établissant le rapport entre l'épaisseur du matériau en mètres et son coefficient lambda de conductibilité (en  $\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$ ).

Pour qu'un produit soit qualifié isolant, il faut que le coefficient R soit au moins égal à  $0,5 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$ , soit 2 cm d'isolation avec des produits standards de type polystyrène ou laine minérale.



**Figure 15 :** Solant thermique sur la sonde spatiale Huygens.

### 1.3.1. Principaux isolants thermiques :

Les principaux isolants thermiques utilisés pour l'isolation des murs, planchers et toitures sont :

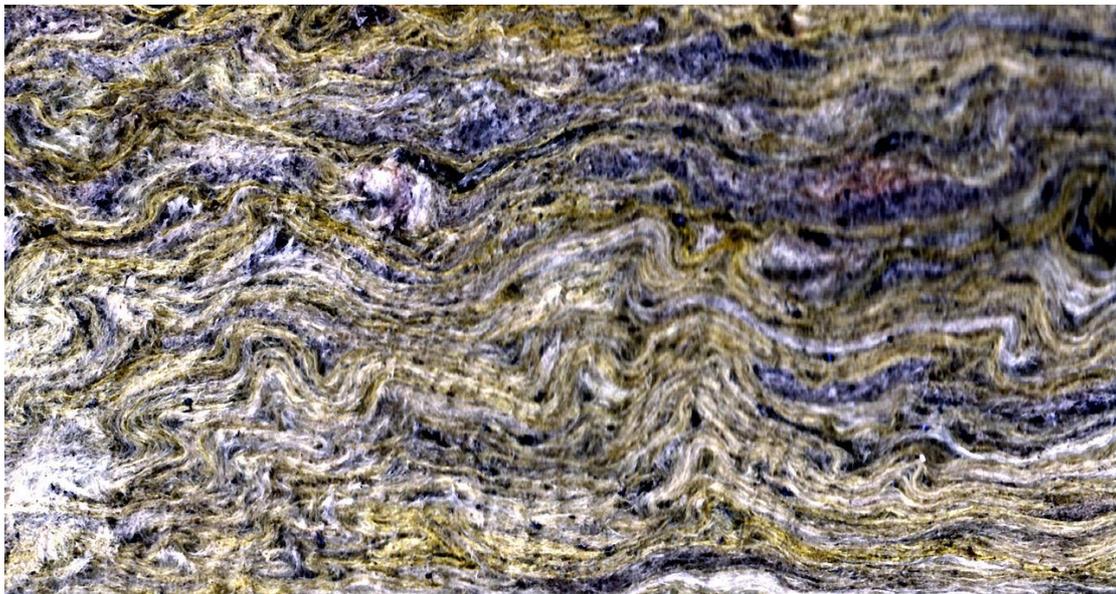
- le chanvre, le béton de chanvre, la brique de chanvre
- la laine de mouton
- la laine de verre : bon marché, irritante pour la peau lors de la pose, dégradation de la valeur thermique au fil des années, proposée en panneaux ou en rouleaux, adhésifs de formaldéhyde
- la laine de roche : laine minérale, elle ne fond pas au contact de la flamme; la laine de roche provoque des fibroses pulmonaires (prouvé chez l'animal)
- la fibre de bois : laine de bois, sous forme flexible à rigide.
- la ouate de cellulose : fabriqué à partir de journaux recyclés, bon déphasage, prix inférieur aux laines minérales
- la paille
- la perlite : Roche d'origine volcanique.
- Les mousses de polymère :
  - polyuréthane : faible conductivité thermique initiale, chère, elle est moins stable dans le temps que ses concurrents et très inflammable.
  - polyisocyanurate : faible conductivité thermique, elle est stable dans le temps, résiste très bien au feu et est recyclable avec récupération d'énergie.
  - polystyrène expansé : il présente les avantages des polymères et de l'air. Léger, rigide, fragile, facile à découper, il doit être protégé des rongeurs, ne nécessite pas de pare-vapeur. Existe en plaques incompressibles pour l'isolation des dalles flottantes.
  - polystyrène extrudé (styrodur, depron)
  - mousse phénolique: mousse polymère dont la conductivité thermique initiale est la plus faible parmi les mousses

commerciales les plus courantes, résiste très bien au feu mais engendre des problèmes non négligeables de corrosion dus à l'acide qu'elle contient

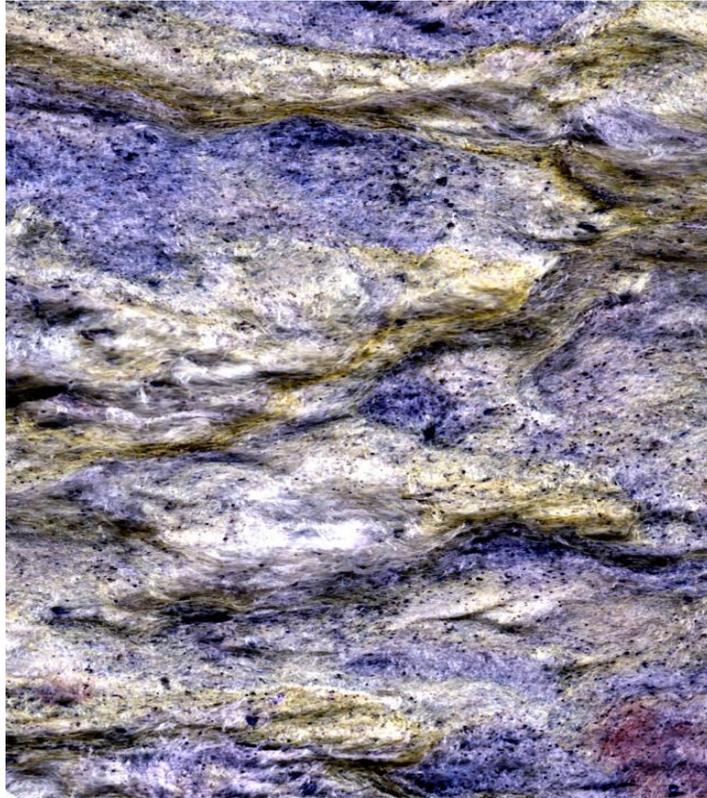
- les polymères : plastique, caoutchouc...
- l'air emprisonné : dans les fils d'un vêtement, des fibres non tissées, les plumes ou poils d'un animal, un double vitrage...
- les aérogels : conductivité thermique très faible entre 12 et 18 mW/(m.K) et très cher
- les panneaux isolants sous vide (PIV): conductivité thermique extrêmement faible (entre 4 et 8 mW/(m.K)) mais très chers

Pour les applications à hautes températures, on utilise en général des isolants céramiques.

On trouve dans le commerce divers produits (pas toujours nouveaux) présentés comme ayant des résistances thermiques très supérieures aux isolants listés ci-dessus. Leur efficacité ou durabilité n'est généralement pas prouvée, pour un prix souvent très élevé.



**Figure 16 :** Laine de roche – grossissement.



**Figure 17 :** Laine de roche - grossissement plus fort.

### 1.3.2. Isolation, et inertie :

L'isolation d'un bâtiment doit être envisagée selon :

- la résistance thermique ou le coefficient de transfert thermique
- son déphasage thermique ; c'est-à-dire la capacité des matériaux composant l'enveloppe de l'habitation à ralentir les transferts de chaleur notamment du rayonnement solaire estival (déphasage thermique, utile par exemple en été pour empêcher la pénétration de l'énergie du rayonnement solaire le jour et la rejeter la nuit).

Ce déphasage thermique est en rapport avec la diffusivité thermique des matériaux. Elle existe même pour la laine de verre, qui à haute densité aura une diffusivité thermique plus grande qu'à basse densité. Quoi de plus logique en théorie mais pensons-y lors de la construction ou de la rénovation d'une habitation (hors habitat bioclimatique qui valorise fortement le déphasage

thermique). Pour ce qui est des murs, le déphasage thermique pose quelques problèmes selon la diffusivité des matériaux utilisés (hormis pour le cas d'une isolation par l'extérieur avec isolants à bonne diffusivité) que dans le cas de l'isolation des combles. Pour les combles, comme la couverture ne freine que peu le transfert de chaleur, la diffusivité thermique des matériaux isolants est dès lors beaucoup plus importante. Toutefois, cet avantage est complètement réduit dès que les combles sont munis de fenêtres

### **1.3.3. Isolation thermique pour le bâtiment :**

Ci-dessous sont comparés plusieurs matériaux fréquemment utilisés dans le bâtiment et dont les conductivités thermiques varient. Pour chaque matériau on indique l'épaisseur nécessaire pour obtenir une résistance thermique surfacique de  $3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

Matériau	Épaisseur (en cm) pour R=3 m <sup>2</sup> .K/W	Diffusivité en m <sup>2</sup> /s
aérogel	0,24	
Isolant sous vide	2,4	
Polyuréthane	7 – 9	
Polyisocyanurate	7	
Laine de verre	9 – 12	
Polystyrène expansé	9 – 12	
Polystyrène extrudé (depron)	10 – 12	
Laine de roche	10 – 12	
Ouate de cellulose	11 - 12,5	
Laine de lin	11 - 12,5	
Bois expansé ou laine de bois	12 - 13,5	
Chanvre en vrac	12	
Liège expansé	13,5	
Paille	16,5 - 22,5 [r2 au 2.5 cm] testé en laboratoire!	
Panneau de particules	33	
Brique mono mur	33	
Brique de chanvre 400 kg/m <sup>3</sup>	36	
Béton cellulaire	42 – 70	
Bois lourd	60	
Parpaings creux	280	
Briques pleines	300	
Pierre calcaire	420	
Granit	840	

**Tableau 1** : matériaux fréquemment de bâtiment et conductivités thermiques varient.

### 1.3.4. Recherche et prospective :

La recherche est très active dans le domaine de l'architecture bioclimatique, HQE et des éco matériaux (briques mono murs, bétons isolants utilisant des matériaux naturels et renouvelables, matériaux à bonne diffusivité thermique avec ou sans isolation par l'extérieur.), bien que ne bénéficiant que de peu de subsides publics.

Côté industriels, on a réussi à produire des panneaux isolants solides et de grande taille (murs et toitures de hangars industriels) mais difficiles à recycler et dont les isolants peuvent poser problème pour l'environnement ou de toxicité en cas d'incendie.

On cherche par ailleurs à réduire l'épaisseur des isolants au moyen de stratégies ou de matériaux technologiques nouveaux.

On cherche par exemple à imiter les capacités isolantes de fourrures ou plumages d'animaux, ou à réduire l'air ou le gaz isolant en l'emprisonnant mieux dans un matériau nano poreux et isolant, de manière à piéger l'air ou un gaz encore moins conducteur, dans des cavités plus petites que celles permettant sa libre circulation (ouvertures entre pores inférieures à 70 nanomètres s'il s'agit d'air). Ces matériaux sont parfois fragiles ou sensibles à l'humidité (micro capillarité). On teste des poudres de silice. Les aérogels forment des isolants exceptionnels, mais encore trop fragiles.

En particulier des isolants nanostructures et conservant un vide d'air sont à l'étude, d'autres sont emplis de gaz rares thermiquement plus neutres que l'air. Une solution intermédiaire consiste à piéger un gaz à basse pression dans un matériau nano poreux. Mais ces matériaux sont encore des produits récents ou de laboratoires, ne bénéficiant pas encore d'un retour d'expériences suffisant pour garantir leur durabilité. Leurs écobilans nécessitent aussi d'être approfondis et comparés à ceux d'autres isolants plus classiques.

Les fabricants d'isolants industriels cherchent aussi à rendre leurs matériaux moins nocifs pour l'environnement. Ainsi les CFC autrefois utilisés (HFC, HFA) dans certaines mousses isolantes (polyuréthanes) pourraient peu à peu être remplacés par du pentane, voire du CO<sub>2</sub>, comme le krypton et l'argon ont commencé à remplacer l'air des doubles vitrages, dont le coefficient d'isolation peut être encore renforcé en les remplaçant par des triples ou quadruples vitrages, dont les verres peuvent ne pas être tout à fait parallèles (meilleure isolation phonique). Des vitrages et panneaux rigides où l'air est remplacé par du vide ou quasi-vide sont testés, mais on ignore encore leur capacité à maintenir ce vide à long-terme.

La recherche a aussi progressé dans l'isolation des grands froids et en matière de substituts à l'amiante contre les très hautes températures, avec par exemple des parois de (vermiculite noyée dans un liant, des fibres minérales, dont des tissus mono- ou multicouches isolants, utilisant du feutre de fibres aiguilleté de silice en sandwich entre des couches de tissu de silice), protégeant efficacement contre des températures de plus de 1000°C.

## 1.4. DEFINITION DU CONFORT THERMIQUE :

Le confort thermique est une sensation de bien être lorsqu'on est exposé à une ambiance intérieure. Le confort thermique ne dépend pas exclusivement de la température, mais également des conditions d'humidité de l'air intérieur, des éventuels courants d'air, du niveau de respirabilité de l'air ou de qualité d'air intérieure (QAI). La température à elle seule dépend d'une température résultante sèche, sorte de moyenne des températures intérieures et rayonnées par les différents corps et parois. A titre d'exemple, le confort thermique ne peut être atteint à 22°C de température sèche intérieure avec des murs froids alors qu'à 18°C soit 4 degrés en moins, il est atteint et de plus de manière plus satisfaisante, avec un rayonnement homogène des corps en présence, y compris l'individu qui ressent les différents rayonnements. Autre sensation analogue, en montagne alors que l'air est à +10°C, avec un bon rayonnement du soleil, le confort thermique peut être atteint facilement.

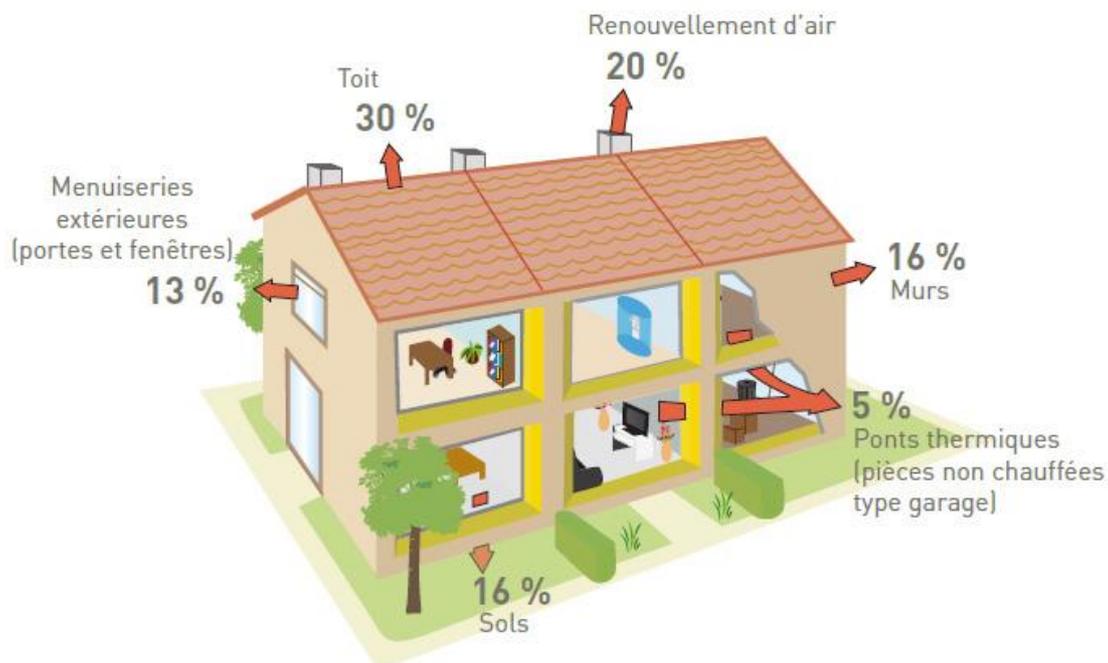


Figure 18.

### 1.4.1. Les 6 paramètres traditionnels du confort thermique :

Le confort thermique est traditionnellement lié à 6 paramètres :

1. Le métabolisme, qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36,7°C. Un métabolisme de travail correspondant à une activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos.
2. L'habillement, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.
3. La température ambiante de l'air  $T_a$ .
4. La température moyenne des parois  $T_p$ .
5. L'humidité relative de l'air (HR), qui est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température  $t_a$  et la quantité maximale d'eau contenue à la même température.
6. La vitesse de l'air, qui influence les échanges de chaleur par convection. Dans le bâtiment, les vitesses de l'air ne dépassent généralement pas 0,2 m/s.

Notez que de façon simplifiée, on définit une température de confort ressentie (appelée aussi "température opérative" ou "température résultante sèche") :

$$T^{\circ}\text{opérative} = (T^{\circ}\text{air} + T^{\circ}\text{parois}) / 2$$

Cette relation simple s'applique pour autant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0,2 m/s.

Ainsi, le lundi matin, la température des parois est encore basse et le confort thermique risque de ne pas être atteint malgré la température de l'air de 20 ou 21°C.

### 1.4.2. Confort et température :

#### Confort = équilibre entre l'homme et l'ambiance

Dans les conditions habituelles, l'homme assure le maintien de sa température corporelle autour de  $36,7^{\circ}\text{C}$ . Cette température est en permanence supérieure à la température d'ambiance, aussi un équilibre doit-il être trouvé afin d'assurer le bien-être de l'individu.



**Figure 19 :** ci-contre considère le sentiment de confort thermique exprimé par les sujets eux-mêmes. Il s'agit de pourcentages prévisibles d'insatisfaits (PPD), exprimés sur l'axe vertical, pour des personnes au repos en position assise (celle qui font la sieste au bureau, par exemple !), ou pour des personnes effectuant un travail léger (travail de bureau).

Il est impossible de définir une température qui convienne à tous : il reste au mieux 5 % d'insatisfaits !

Il est intéressant de constater que la courbe des sujets au repos est centrée sur  $26^{\circ}\text{C}$ , et qu'elle est plus resserrée : ces personnes sont plus sensibles à de faibles variations de température.

La courbe représentant le travail léger glisse vers les basses températures : les personnes ayant plus de chaleur à perdre préfèrent des températures plus basses.

La diffusion de chaleur entre l'individu et l'ambiance s'effectue selon divers mécanismes :

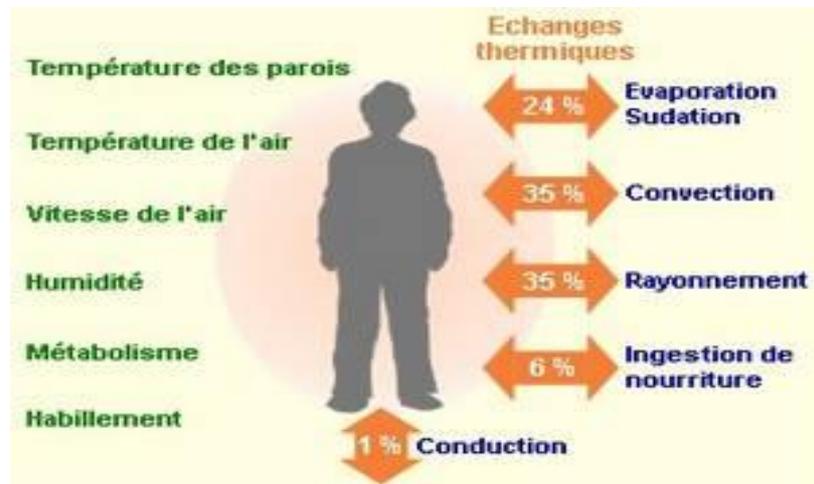


Figure 20.

- Plus de 50 % des pertes de chaleur du corps humain se font par convection avec l'air ambiant (convection et évaporation par la respiration ou à la surface de la peau).
- Les échanges par rayonnement à la surface de la peau représentent jusqu'à 35 % du bilan alors que les pertes par contact (conduction) sont négligeables (< 1 %).
- Le corps perd également 6 % de sa chaleur à réchauffer la nourriture ingérée.

Cette importance de nos échanges par rayonnement explique que nous sommes très sensibles à la température des parois qui nous environnent, ... et explique l'inconfort dans les anciennes églises, malgré l'allumage de l'aérotherme deux heures avant l'entrée des fidèles !

### 1.4.3. Confort et humidité :

### 1.4.3.1. L'incidence sur la transpiration :

L'humidité relative ambiante influence la capacité de notre corps à éliminer une chaleur excédentaire.

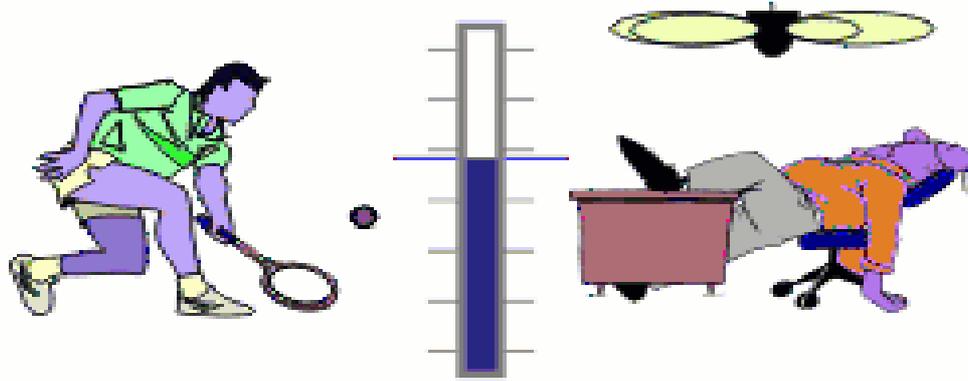


Figure 21.

Ainsi, une température extérieure de 24°C et une humidité relative de 82 % (après une pluie en période de forte chaleur), entraînent une forte impression de moiteur, due à l'impossibilité pour la peau d'évaporer l'eau de transpiration et donc de se rafraîchir.

Par contre, une température de 24°C conjointe à une humidité relative de 18 % (climat estival méditerranéen) permet de refroidir la peau par l'évaporation de l'eau de transpiration. La chaleur nous paraît " très supportable ".

### 1.4.3.2. L'impact de l'humidité relative dans un bâtiment

L'humidité a relativement peu d'impact sur la sensation de confort d'un individu dans un bâtiment. Ainsi, un individu peut difficilement ressentir s'il fait 40 % ou 60 % d'humidité relative dans son bureau.

L'inconfort n'apparaît que lorsque :

- L'humidité relative est inférieure à 30 % ,
- L'humidité relative est supérieure à 70 %

De faibles niveaux d'humidité (en deçà de 30 %) donnent lieu à certains problèmes :

- Augmentation de l'électricité statique (petites décharges lors du contact avec des objets métalliques),

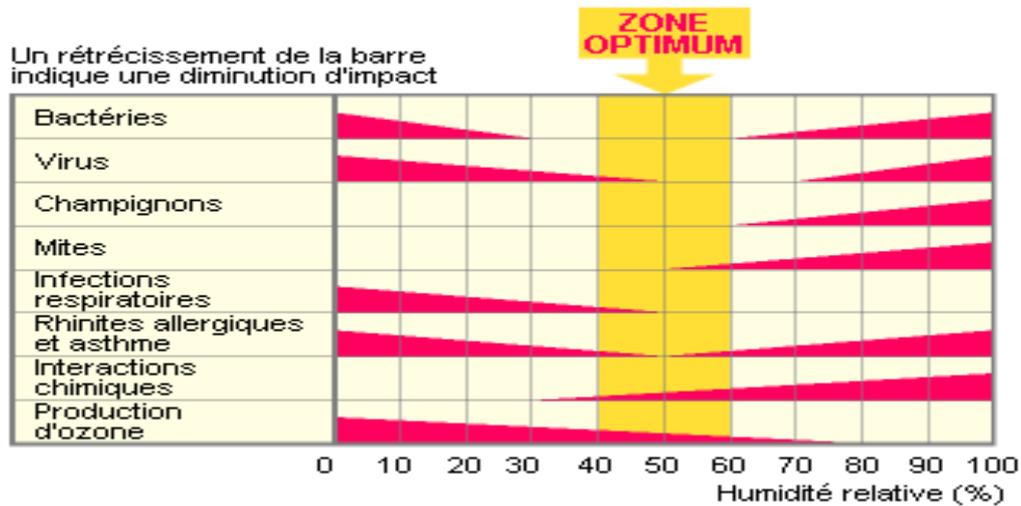
A noter que la présence de décharges électrostatiques n'est pas forcément imputable à la sécheresse de l'air (un tapis non traité à l'antistatique peut également provoquer ce type de problème), mais l'air sec (peu conducteur) renforce ce phénomène.

- Gêne et irritation accrue à la fumée de tabac (du fait d'un abaissement du seuil de perception des odeurs).
- Augmentation de la concentration en poussières dans l'air (diminution de la taille des particules) et donc de leur vitesse de sédimentation et dès lors du nombre de bactéries aéroportées, ce qui serait susceptible d'induire une augmentation de la fréquence de maladies respiratoires en hiver lorsque l'humidité de l'air est faible.

Les gains énergétiques entraînés par une diminution drastique de l'humidification de l'air doivent être comparés aux pertes entraînés par un absentéisme accru...

De hauts niveaux d'humidité (au-delà 70 % HR) donnent lieu à une croissance microbienne importante et à des condensations sur les surfaces froides :

C'est ce qu'indique le diagramme ci-dessous, précisant la plage de taux d'humidité ambiante optimale d'un point de vue hygiénique (d'après Scofield et Sterling) (Doc.Dri-Steem/Pacare).



**Figure 22** : la plage de taux d'humidité ambiante optimale d'un point de vue hygiénique.

#### 1.4.3.3. La plage de confort température-humidité

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 %.

Plus précisément, on peut définir une plage de confort hygrothermique dans le diagramme suivant (extrait de l'article de R. Fauconnier L'action de l'humidité de l'air sur la santé dans les bâtiments tertiaires parut dans le numéro 10/1992 de la revue Chauffage Ventilation Conditionnement).

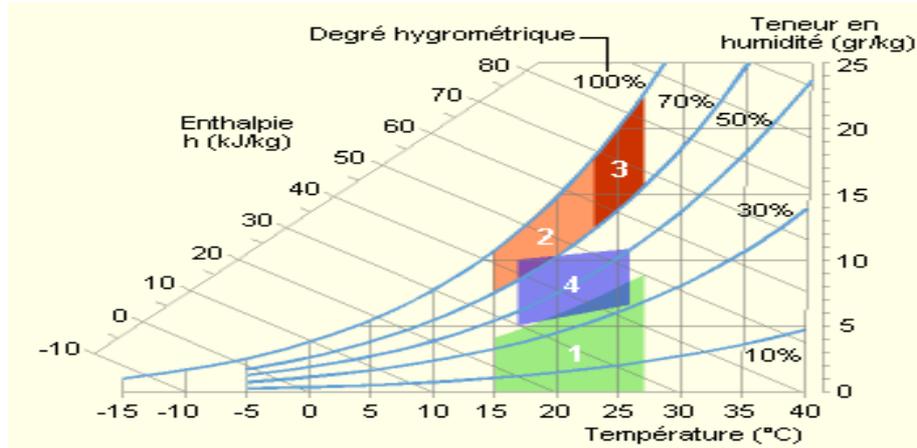


Figure 23.

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.

A noter enfin que les limites d'humidité imposées en Suisse par la SIA V382/1 sont beaucoup moins exigeantes : on admet une humidité située en permanence entre 30 et 65 % HR, avec des pointes entre 20 et 75 % HR durant quelques jours par an. De tels taux momentanés sont supportables physiologiquement, sans qu'il ne soit nécessaire de recourir à une humidification artificielle.

Pour plus d'informations sur l'impact du taux d'humidité sur la santé, on consultera l'ouvrage Manuel de l'humidification de l'air.

#### 1.4.4. Confort et vitesse de l'air :

La vitesse de l'air (et plus précisément la vitesse relative de l'air par rapport à l'individu) est un paramètre à prendre en considération, car elle influence les échanges de chaleur par convection et augmente l'évaporation à la surface de la peau.

A l'intérieur des bâtiments, on considère généralement que l'impact sur le confort des occupants est négligeable tant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0,2 m/s.

A titre de comparaison : se promener à la vitesse de 1 km/h produit sur le corps un déplacement de l'air de 0,3 m/s.

Le mouvement de l'air abaisse la température du corps, facteur recherché en été, mais pouvant être gênant en hiver (courants d'air).

#### 1.4.4.1. Condition hivernale :

De façon plus précise :

Vitesses résiduelles	Réactions	Situation
0 à 0,08 m/s	Plaintes quant à la stagnation de l'air.	Aucune.
0,13 m/s	Situation idéale.	Installation de grand confort.
0,13 à 0,25 m/s	Situation agréable, mais à la limite du confort pour les personnes assises en permanence.	Installation de confort.
0,33 m/s	Inconfortable, les papiers légers bougent sur les bureaux.	Grandes surfaces et magasins.
0,38 m/s	Limite supérieure pour les personnes se déplaçant lentement.	Grandes surfaces et magasins.
0,38 à 0,5 m/s	Sensation de déplacement d'air important.	Installations industrielles et usines où l'ouvrier est en mouvement.

**Tableau 2**

La fourniture d'air frais pour la ventilation d'un local n'entraîne en principe qu'un mouvement très faible de l'air.

Exemple.

Local dont l'air est renouvelé toutes les 10 minutes (soit un taux de renouvellement de 6) par circulation transversale :

- volume local :  $10 \times 5 \times 15 = 750 \text{ m}^3$
- débit d'air :  $750 \times 6 = 4\,500 \text{ m}^3/\text{h}$
- section déplacement :  $10 \times 5 = 50 \text{ m}^2$
- vitesse de l'air :  $4\,500 \times 1/50 = 90 \text{ m/h} = 0,025 \text{ m/s} !$

Mais ce calcul sous-entend un déplacement uniforme de l'air dans la pièce.

En réalité, ce débit est fourni généralement par des bouches de pulsion de section nettement plus faible où la vitesse est beaucoup plus rapide. De plus, en climatisation, cet air peut être pulsé à une température nettement plus faible que l'ambiance...

Le confort est donc directement lié à la qualité de la diffusion de l'air dans la pièce, afin d'assurer une vitesse réelle inférieure à 0,25 m/s au droit des occupants.

#### **1.4.4.2. Conditions estivales :**

Pour les températures de locaux comprises entre 21 et 24°C, un déplacement d'air à la vitesse de 0,5 à 1 m/s donne une sensation rafraîchissante confortable à des personnes assises n'ayant que de faibles activités. Mais lorsqu'on fournit un travail musculaire dans des endroits chauds, des vitesses d'air de 1,25 à 2,5 m/s sont nécessaires pour apporter un soulagement. On produit parfois des

vitesse plus élevées lorsque des hommes sont soumis pour de courtes périodes à une chaleur rayonnante intense. Ce mouvement d'air sera obtenu à l'aide de ventilateurs.

L'effet rafraîchissant est ressenti peut-être exprimé en fonction de la diminution de la température de l'air qui donnerait le même effet rafraîchissant en air calme.

Voici les valeurs extraites du Guide pratique de ventilation, valables pour des conditions moyennes d'humidité et d'habillement :

Vitesse de l'air [m/s]	Refroidissement équivalent [°C]
0,1	0
0,3	1
0,7	2
1,0	3
1,6	4
2,2	5
3,0	6
4,5	7
6,5	8

**Tableau 3.**

L'importance du mouvement d'air nécessaire pour obtenir un effet rafraîchissant peut être évaluée dans une certaine mesure par l'expérience personnelle des vitesses extérieures de l'air. La sensation de fraîcheur produite par un vent léger soufflant par une fenêtre par une chaude journée est familière à chacun. La vitesse généralement désignée par "brise légère" est de l'ordre de 2,5 m/s. L'échelle de Beaufort des vents reproduite sur le tableau ci-dessous donne des vitesses des vents en km/h et en m/s.

Force du vent à l'échelle Beaufort n°	Nature du vent	Vitesse en m/s	Vitesse en km/h
0	Calme	-	-
1	Air léger	1.5	5.4
2	Brise légère	3	10.8
3	Brise douce	5	18
4	Brise modérée	7	25
5	Brise fraîche	9	32.4
6	Brise forte	11	39.6
7	Vent modéré	13	47
8	Vent frais	15	54
9	Vent fort	18	65
10	Grand vent	21	76
11	Tempête	28	100
12	Ouragan	45	160

**Tableau 4 :** la vitesse de vent en km/h et en m/s.

**1.4.5. Confort, activité, habillement :**

**1.4.5.1. L'estimation du niveau d'habillement :**

Tenue vestimentaire	Habillement
Nu.	0
Short.	0,1
Tenue tropicale type (short, chemise à col ouvert et à manches courtes, chaussettes légères et sandales).	0,3
Tenue d'été légère (pantalon léger, chemise à col ouvert et à manches courtes, chaussettes légères et chaussures).	<b>0,5</b>
Tenue de travail légère (chemise de travail en coton à manches longues, pantalon de travail, chaussettes de laine et chaussures).	<b>0,7</b>
Tenue d'intérieur pour l'hiver (chemise à manches longues, pantalon, pull-over à manches longues, chaussettes épaisses et chaussures).	1,0

Tenue de ville traditionnelle (complet avec pantalon, gilet et veston, chemise, chaussettes de laine et grosses chaussures.	1,5
---	-----

**Tableau 5 :** Le niveau d'habillement des occupants est caractérisé par une valeur relative, exprimée en "clo", l'unité d'habillement.

#### 1.4.5.2. L'évaluation du niveau d'activité :

Activité	W/m <sup>2</sup>	met
Repos, couché	45	0,8
Repos, assis	58	1
Activité légère, assis (bureau, école)	70	1,2
Activité légère, debout (laboratoire, industrie légère)	95	1,6
Activité moyenne, debout (travail sur machine)	115	2,0
Activité soutenue (travail lourd sur machine)	175	3,0

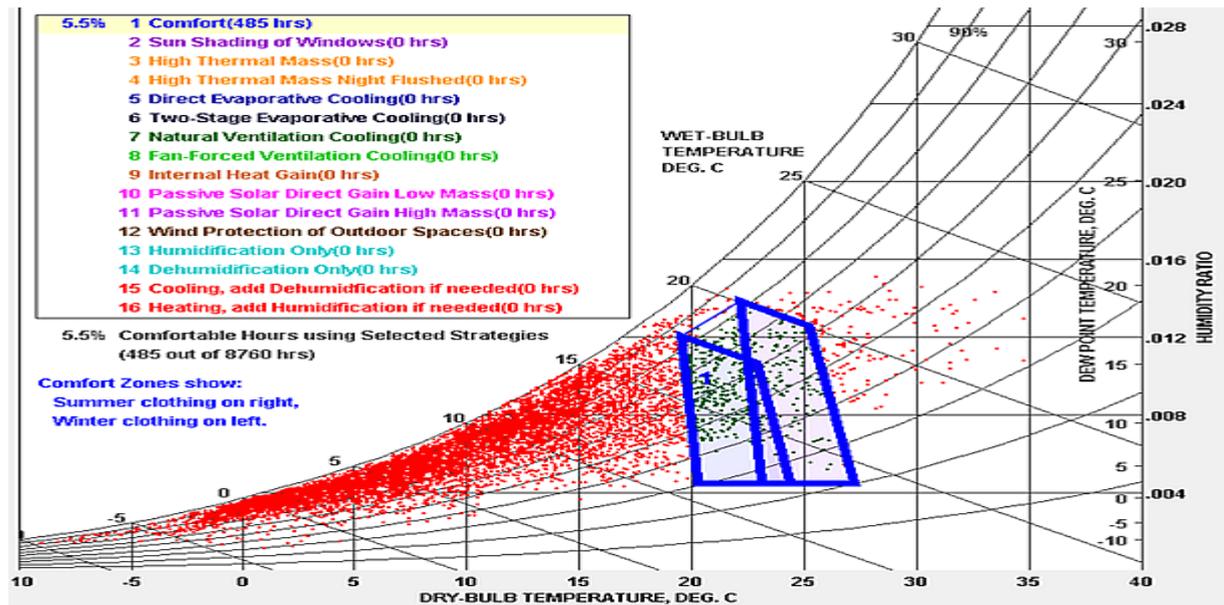
**Tableau 6 :** Diverses valeurs du métabolisme sont indiquées ci-après pour diverses activités.

#### 1.4.6. Indicateurs et plages de confort :

##### 1.4.6.1. Détermination traditionnelle des zones de confort thermique :

Le corps humain possède un mécanisme de régulation qui adapte ses pertes de chaleur aux conditions thermiques de l'ambiance.

Ce mécanisme d'autorégulation laisse apparaître une zone où la variation de sensation de confort thermique est faible : c'est la zone dite de confort thermique. Il existe donc pour chaque situation une plage de conditions confortables. Cette plage se représente soit graphiquement sur des diagrammes psychrométriques, soit au moyen d'un indicateur unique regroupant les 6 paramètres cités plus haut. A cet effet l'indice de vote moyen prévisible (PMV) est utilisé et le pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD) est calculé.



**Figure 24 :** Plages de confort pour une activité de bureau et un habillement d’été ou d’hiver, selon l’ASHRAE Handbook of Fundamentals Comfort Model, 2005 superposées au climat de Bruxelles.

L'indice de vote moyen prévisible donne l'avis moyen d'un groupe important de personnes qui exprimeraient un vote de sensation de confort thermique en se référant à l'échelle suivante :

- Une valeur de PMV de zéro exprime une sensation de confort thermique optimale.
- Une valeur de PMV négative signifie que la température est plus basse que la température idéale.
- Réciproquement, une valeur positive signale qu'elle est plus élevée.

On considère que la zone de confort thermique s'étale de la sensation de légère fraîcheur (- 1) à la sensation de légère chaleur (+ 1), soit de -1 à + 1.	<b>+3 Chaud</b>
	<b>+2 Tiède</b>
	<b>+1 légèrement tiède</b>
	<b>0 Neutre</b>
	<b>-1 légèrement frais</b>
	<b>-2 Frais</b>
	<b>-3 Froid</b>

Le pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD) donne, en fonction de l'indice PMV d'une situation thermique précise, le pourcentage de personnes insatisfaites par rapport à la situation.

Connaissant PMV, la figure ci-après permet d'évaluer directement PPD. Si par exemple, le PMV est de - 1 ou + 1, l'indice PPD montre que près de 25 % de la population n'est pas satisfaite. Pour ramener le PPD à une valeur maximale de 10 % (ce qui est généralement l'objectif à atteindre dans un bâtiment), le PMV doit se situer entre - 0,5 et + 0,5. Et pour une valeur 0 de PMV, soit un état de confort thermique optimal, il y a encore 5 % d'insatisfaits.

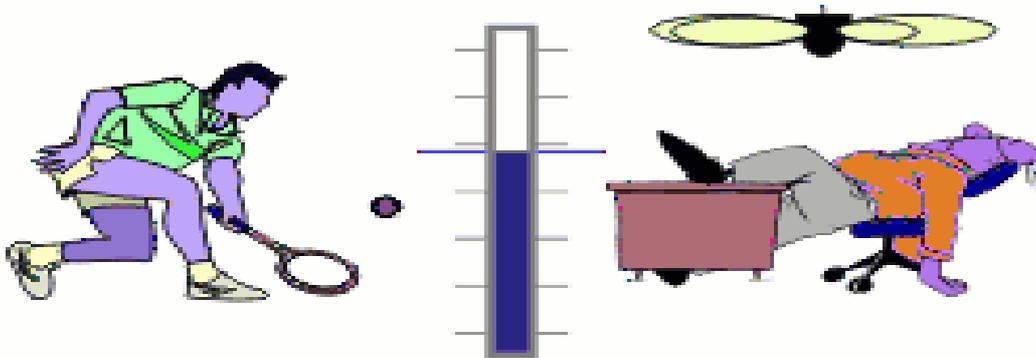


Figure 25.

#### 1.4.6.2. Le calcul du niveau de confort :

Les mesures étant réalisées, le niveau d'habillement et le niveau d'activités étant connus, il est alors possible de déterminer où se situe la température opérative effective par rapport à l'optimum de confort.

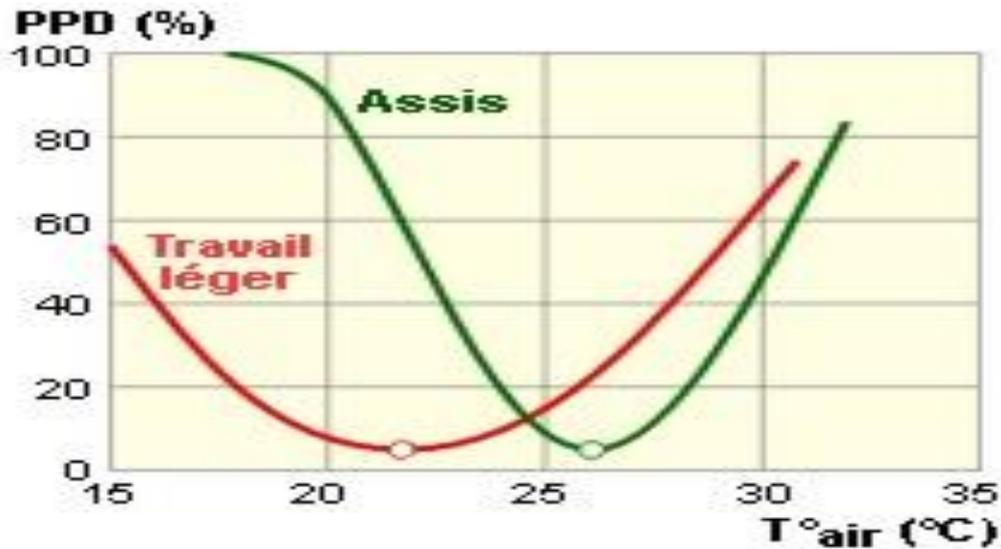


Figure 26.

De façon plus précise, des tableaux repris dans la norme donnent l'indice PMV en fonction de la vitesse relative de l'air pour un habillement et une température opérative donnés, lorsque l'humidité relative est de 50 %. Nous reprenons ci-dessous un exemplaire de ces tableaux pour la situation la plus fréquente en hiver. Dans celui-ci est mise en évidence (zone colorée) la zone de confort thermique pour un indice PMV situé entre - 0,5 et + 0,5, c'est-à-dire pour 10 % d'insatisfaits.

Hab. H (clo)	Temp. opér. to (°C)	PMV suivant la vitesse relative de l'air (m/s)								
		Niveau d'activité M = 70 W/m <sup>2</sup>								
		<0,10	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00	1,50
0,5  (été)	18	-2,01	-	-	-	-	-	-	-	-
			2,01	2,17	2,38	2,70				
	20	-1,41	-	-	-	-	-	-	-	-
			1,41	1,58	1,76	2,04	2,25	2,42		
	22	-0,79	-	-	-	-	-	-	-	-2,46
			0,79	0,97	1,13	1,36	1,54	1,69	2,17	
	24	-0,17	-	-	-	-	-	-	-	-1,59
			0,20	0,36	0,48	0,68	0,83	0,95	1,35	
26	0,44	0,39	0,26	0,16	-	-	-	-	-0,71	
					0,01	0,11	0,21	0,52		
28	1,05	0,96	0,88	0,81	0,70	0,61	0,54	-	-0,16	
								0,31		
30	1,64	1,57	1,51	1,46	1,39	1,33	1,29	1,14	1,04	
32	2,25	2,20	2,17	2,15	2,11	2,09	2,07	1,99	1,95	
1,0  (hiver)	16	-1,18	-	-	-	-	-	-	-	-2,29
			1,18	1,31	1,43	1,59	1,72	1,82	2,12	
	18	-0,75	-	-	-	-	-	-	-	-1,75
			0,75	0,88	0,98	1,13	1,24	1,33	1,59	
	20	-0,32	-	-	-	-	-	-	-	-1,20
			0,33	0,45	0,54	0,67	0,76	0,83	1,07	
	22	0,13	0,10	0,00	-	-	-	-	-	-0,64
					0,07	0,18	0,26	0,32	0,52	
24	0,58	0,54	0,46	0,40	0,31	0,24	0,19	0,02	-0,07	
26	1,03	0,98	0,91	0,86	0,79	0,74	0,70	0,57	0,50	
28	1,47	1,42	1,37	1,34	1,28	1,24	1,21	1,12	1,06	
30	1,91	1,86	1,83	1,81	1,78	1,75	1,73	1,67	1,63	

**Tableau 7 :** la zone de confort thermique pour un indice PMV situé entre - 0,5 et + 0,5, c'est-à-dire pour 10 % d'insatisfaits.

**1.4.6.3. Partons d'un exemple de mesures :**

Dans un local de bureau où l'activité est légère et s'effectue en position assise, le métabolisme est de  $70 \text{ W/m}^2$  ou  $1,2 \text{ met}$ . Supposons être en présence d'une personne en tenue d'intérieur pour l'hiver correspondant à un habillement de 1 clo. Les différentes mesures des paramètres physiques de l'ambiance donnent  $20^\circ\text{C}$  pour la température de l'air,  $19^\circ\text{C}$  pour la température moyenne de surface des parois, une humidité relative de 50 % et une vitesse de l'air de  $0,15 \text{ m/s}$ .

La température opérative est donc de  $19,5^\circ\text{C}$ . En se référant au tableau de la norme ci-dessous, on en déduit que l'indice  $\text{PMV} = -0,56$ . Pour cette dernière valeur, le graphe  $\text{PPD}/\text{PMV}$  donne une prévision de 12 % de personnes insatisfaites par rapport à l'ambiance thermique du local.

**1.4.6.4. Cherchons le confort optimal :**

Dans le cas de la détermination de la température d'ambiance optimale, l'objectif est de déterminer la température opérative optimale qui correspond à l'indice  $\text{PMV} = 0$ . Ensuite, la zone de confort thermique peut alors être établie pour un pourcentage de personnes insatisfaites donné.

En reprenant les mêmes hypothèses que l'exemple ci-dessus, la norme donne un indice  $\text{PMV} = 0$  pour une température opérative optimale de  $22^\circ\text{C}$ . En admettant un écart de  $1^\circ\text{C}$  entre  $T^\circ\text{air}$  et  $T^\circ\text{parois}$  (ce qui n'est pas beaucoup), la température de l'air sera optimale pour  $22,5^\circ\text{C}$  !

En admettant 10 % d'insatisfaits ( $\text{PMV}$  compris entre  $-0,5$  et  $+0,5$ ), la température opérative varie de  $19,8^\circ\text{C}$  et  $24,2^\circ\text{C}$ . Soit pour la température de l'air : une zone de confort thermique de  $4,4^\circ\text{C}$ , allant de  $20,3^\circ\text{C}$  à  $24,7^\circ\text{C}$ .



**Figure 27 :** Autrement dit, en hiver, dans un bureau bien isolé ( $T^{\circ}$ parois élevées), on admettra un confort basé sur une température d'air de  $20,5^{\circ}\text{C}$ . Mais si la température des parois est faible (simples vitrages, par exemple), il faudra apporter un air à  $21$ , voire  $22^{\circ}\text{C}$  pour assurer le confort.

#### 1.4.6.5. Le confort thermique restera toujours variable en fonction des individus :

La zone théorique de confort étant déterminée, la sensation de confort peut aussi être influencée par d'autres éléments comme l'état de santé, l'âge ou l'état psychologique de l'individu. Dans chacun de ces cas, il faudra admettre une température d'ambiance différente qui peut être située hors de la zone de confort thermique. De plus, la qualité ou "chaleur" humaine qui entoure l'individu participe à la sensation de confort ou d'inconfort. Enfin, la possibilité d'une intervention personnelle sur les caractéristiques de l'ambiance de son lieu d'activité est importante si on veut éviter tout sentiment de frustration ou d'enfermement et donc d'inconfort.

#### 1.4.6.6. Confort au niveau du pied :

Le texte ci-dessous est extrait de la brochure du FFC : Technologie de la construction - Méthodes de construction - Isolation thermique - Généralités.

Bien que dans les échanges thermiques, les pertes par contact (conduction) soient négligeables ( $< 1\%$ ), une problématique courante réside dans le fait

qu'avec certains types de plancher, on aura froid aux pieds et non avec d'autres. On admet en général que, pour un pied non chaussé, une température de contact inférieure à 26°C soit désagréable.

Lorsqu'un objet à une température  $\theta_1$  est mis en contact avec un objet à une température  $\theta_2$ , la surface de contact se mettra à une température comprise entre les deux précitées.

Les relations ci-après permettent de calculer la température de contact ( $\theta_c$ ) entre le corps humain et quelques matériaux :

Acier :	$\theta_c$	=	$2,1 + 0,93 \theta$
Béton :	$\theta_c$	=	$10,6 + 0,65 \theta$
Bois :	$\theta_c$	=	$19,4 + 0,35 \theta$
Tapis :	$\theta_c$	=	$27,5 + 0,08 \theta$
$\theta$ est la température initiale du matériau.			

**Tableau 8.**

Ainsi, si on touche un objet en acier dont la température est inférieure à -2,2°C, la température de contact sera inférieure à 0°C. Ceci explique pourquoi, si en période de gel, des enfants touchent avec la langue un garde-corps de pont en acier par exemple, celle-ci adhérerait par le gel.

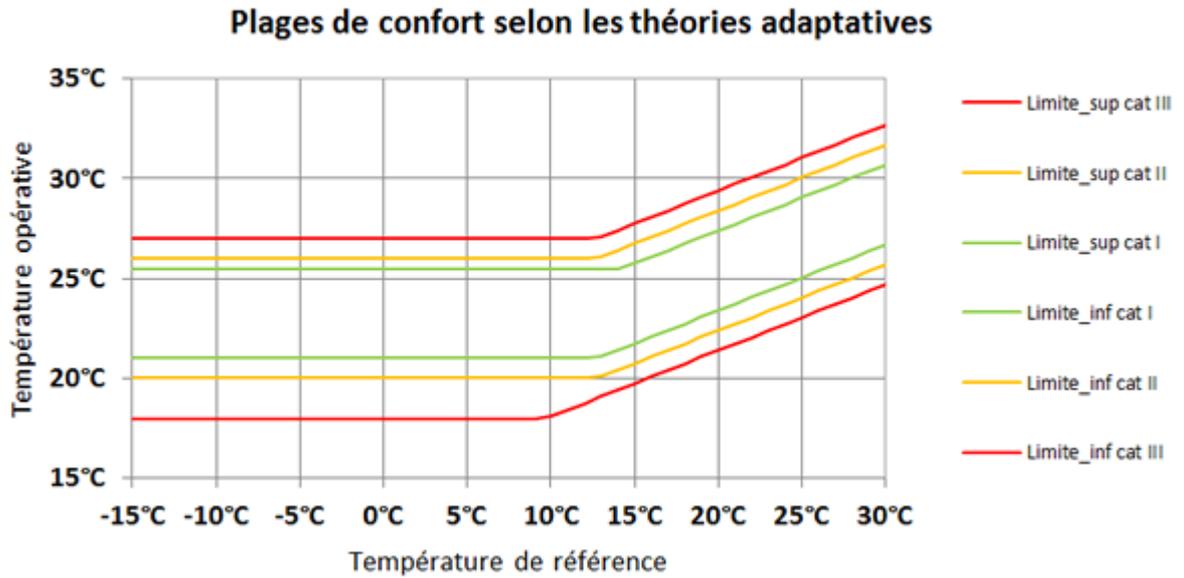
Il ressort de la relation  $\theta_c = 27,5 + 0,08 \theta$ , que pour toutes les températures courantes, un tapis est suffisamment chaud aux pieds. De même, un plancher en bois ne fera généralement pas l'objet de plaintes pour autant que la température de surface ne descende pas sous 19°C. Par contre, un revêtement de sol en béton ou en dalles ne sera chaud aux pieds que si la température est au moins de 24°C. C'est pourquoi ces types de planchers font souvent l'objet de plaintes auxquelles on ne peut remédier que par la pose d'un tapis ou l'installation d'un système de chauffage par le sol. Conseiller d'isoler, à sa face inférieure, un plancher en matériau pierreux afin

d'augmenter le confort du pied est généralement peu judicieux. Quelle que soit l'isolation, des températures superficielles de 24°C ou plus ne peuvent être atteintes qu'avec une température de l'air de 27 °C, ce qui crée par ailleurs un certain inconfort.

#### **1.4.6.7. Zones de confort adaptatif :**

Comme l'a montré la théorie du confort adaptatif, les plages de confort ne devraient pas être vues comme des valeurs statiques, définies une fois pour toutes. En réalité, elles sont susceptibles de varier selon la capacité d'action de l'occupant, l'historique météorologique, etc. C'est déjà partiellement reflété par l'intégration de l'habillement et de l'activité dans les représentations traditionnelles, mais cela reste trop partiel.

Il faut reconnaître qu'il est difficile de représenter clairement une zone de confort définie sur base de six paramètres, en intégrant en plus la variabilité de ceux-ci. Heureusement, les recherches ont montré que parmi ces 6 paramètres, la température opérative était prédominante, et que la plupart des facteurs d'adaptation sont liés à la température moyenne extérieure. Les développeurs des théories du confort adaptatif ont donc pu simplifier la représentation de leurs résultats. On trouve aujourd'hui dans la littérature des figures donnant des plages de confort intérieur, exprimées uniquement sur base de la température opérative, en fonction d'une température de référence, généralement définie comme une moyenne des températures relevées sur quelques jours. Certains auteurs font cependant remarquer que ces représentations sont trop simplistes et font oublier les autres paramètres du confort thermique, notamment l'humidité.



**Figure 28:** Températures opératives correspondantes aux différentes plages de confort définies par la norme NBN EN 15251.

En outre, ces plages de références ne sont utilisables que pour certains ‘profils de bâtiment’, et surtout d’occupants. Les théories du confort adaptatif l’on montré, la capacité d’action de l’occupant sur son environnement est un paramètre fondamental du confort. Il est donc nécessaire d’en tenir compte lorsque l’on choisit des systèmes techniques : va-t-on privilégier une gestion automatisée et centralisée, pour éviter « des mauvaises gestions » (oh, le méchant occupant qui dérègle ma belle machine !), ou au contraire choisir un système laissant à l’occupant la totalité du contrôle ? Bien entendu des solutions intermédiaires existent.

La capacité d’action de l’occupant ne dépend pas uniquement des dispositifs techniques. Elle est aussi liée à son activité ou à l’organisation du travail. Par exemple, on imaginera assez facilement un employé de bureau passant 8 heures continues à son poste de travail contrôlé l’ouverture de la fenêtre située juste à côté de lui. Ce sera plus difficile pour quelqu’un qui saute d’une réunion à l’autre et n’a pas de poste de travail fixe.

On parlera d'un occupant actif s'il est capable et motivé à prendre en charge une partie de la gestion de l'ambiance, et d'un occupant passif dans le cas contraire. L'organigramme ci-dessous aide à identifier le type d'occupant auquel on a affaire.

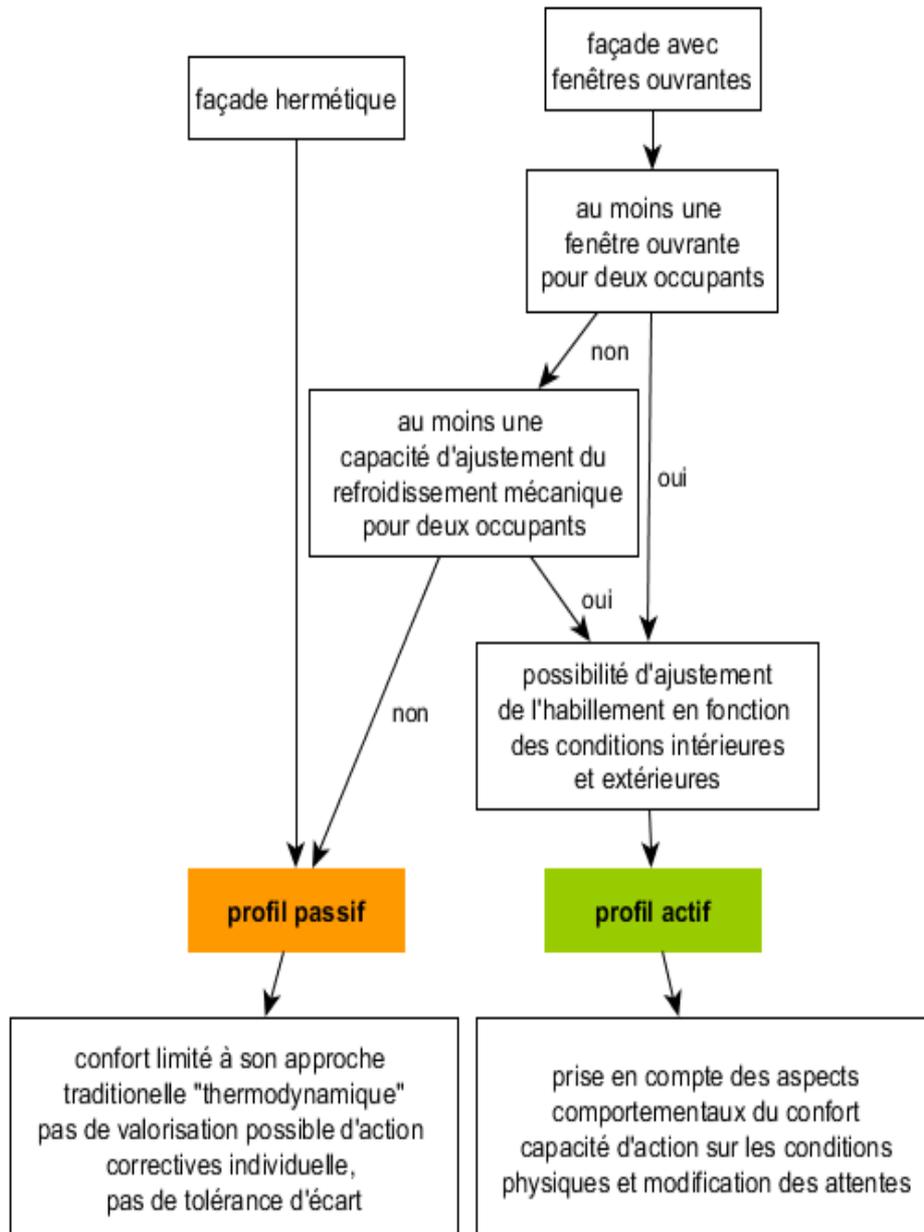


Figure 29 : Profil des occupants, inspire d' Adaptive temperature limites.

## **I.2. BASE DE CALCUL ET EXGENCES :**

### **2.1. Principes généraux :**

#### **2.1.1. Méthodologie :**

Sur la base du dossier technique, le concepteur doit effectuer les opérations suivantes:

- définir les volumes thermiques,
- calculer pour chaque volume thermique les pertes par transmission et les pertes par renouvellement d'air,
- vérifier que les déperditions par transmission du logement sont inférieures aux déperditions de référence,
- calculer éventuellement les déperditions de base qui expriment les besoins de chauffage.

#### **2.1.2. Définitions :**

C'est le volume de l'ensemble des locaux du bâtiment (y compris les dégagements) que l'on souhaite protéger des déperditions thermiques. Il comprend bien sûr les locaux chauffés mais également ceux chauffés indirectement (sans présence de corps de chauffe prévus mais où un minimum de chaleur est souhaité grâce aux gains thermiques des locaux attenants).

Ce volume est toujours calculé sur base des dimensions extérieures. Il ne comprend donc pas seulement le volume d'air enfermé mais également celui de toutes les parois intérieures et extérieures.

## **I.3. EXPRESSION GENERALE DES DEPERDITIONS :**

### **3.1. Déperdition thermique d'un logement :**

Les déperditions totales  $D$  pour un logement, contenant plusieurs volumes thermiques, sont données par :

$$D = \sum D_i \quad [W/^\circ C].$$

- **D<sub>i</sub>** : les déperditions totales du volume [W/°C].

### 3.2. Déperdition thermique d'un volume :

Les déperditions totales  $D_i$  d'un volume sont données par :

$$D_i = (DT)_i + (DR)_i \quad [W/^\circ C].$$

- **DT** : déperdition par transmission du volume [W/°C].

- **DR** : déperdition par renouvellement d'air du volume [W/°C].

### 3.3. Déperditions par transmission d'un volume :

Les déperditions par transmission  $(D_T)_i$  sont données par :

$$(D_T)_i = (D_S)_i + (D_{li})_i + (D_{sol})_i + (D_{lnc})_i \quad [W/^\circ C]$$

Où

- $D_s$  (en W/°C) représente les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieure.
- $D_{li}$  (en W/°C) représente les déperditions à travers les liaisons.
- $D_{sol}$  (en W/°C) représente les déperditions à travers les parois en contact avec le sol.
- $D_{lnc}$  (en W/°C) représente les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés.

### 3.4. Déperditions par renouvellement d'air d'un volume :

Les déperditions par renouvellement d'air d'un volume  $(DR)_i$  sont données par :

$$(DR)_i = (DR_v)_i + (DR_s)_i \quad [W/^\circ C].$$

- $(D_{Rv})_i$  : les déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation  $[W/°C]$ .
- $(D_{Rs})_i$  : les déperditions supplémentaires dues au vent  $[W/°C]$ .

### 3.5. Relation entre les déperditions du logement et les déperditions des volumes :

Les déperditions thermiques d'un logement sont données par :

- déperdition par transmission du volume :  $D_T = \sum (DT)_i \quad [W/°C]$ .
- déperdition par renouvellement d'air du volume :  $DR = \sum (DR)_i \quad [W/°C]$ .

## I.4. VERIFICATION ET DEPERDITIONS DE REFERENCE :

### 4.1. Vérification réglementaire :

Les déperditions par transmission  $D_T$  du logement doivent vérifier:

$$D_T < 1,05 \times D_{ref} \quad [W/°C].$$

Où :

- $D_T$  (en  $W/°C$ ) représente les déperditions par transmission du logement.
- $D_{ref}$  (en  $W/°C$ ) représente les déperditions de référence.

### 4.2. Calcul des déperditions de référence :

Les déperditions de référence  $D_{ref}$  sont calculées par la formule suivante :

$$D_{ref} = a \times S_1 + b \times S_2 + c \times S_3 + d \times S_A + e \times S_5 \quad [W/°C].$$

Où :

Les  $S_i$  (en  $m^2$ ) représentent les surfaces des parois en contact avec l'extérieur, un comble, un vide sanitaire, un local non chauffé ou le sol. Elles concernent respectivement  $S_1$  la toiture,  $S_2$  le plancher bas, y compris les planchers bas sur

locaux non chauffés,  $S_3$  les murs,  $S_4$  les portes,  $S_5$  les fenêtres et les portes-fenêtres.  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  sont comptées de l'intérieur des locaux,  $S_4$  et  $S_5$  sont comptées en prenant les dimensions du pourtour de l'ouverture dans le mur ;

Les coefficients a, b, c, d et e, (en  $W/m^2\text{°C}$ ), sont donnés dans le tableau II.5. Ils dépendent de la nature du logement et de la zone climatique.

### I.5. CALCUL DES DEPERDITIONS DE BASE :

Le mode de calcul est détaillé dans les règles de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois de construction.

Ceci n'est qu'un résumé des points importants concernant le calcul des déperditions.

#### 5.2. Calcul des déperditions :

Les déperditions de base sont calculées en régime continu et indépendamment du système de chauffage.

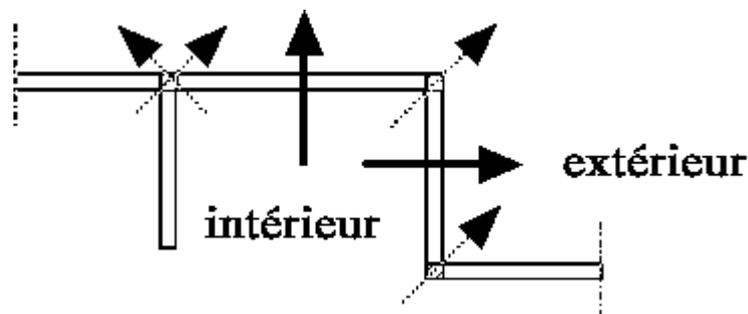


Figure 30 : les déperditions de base.

Les déperditions de base d'un local comprennent :

$$DB = DBP + DBR \dots \text{ en Watt/°C}$$

- Les déperditions de base par transmission de chaleur à travers les parois **DBP**
- Les déperditions de base par renouvellement d'air **DBR**

### 5.3. Déperditions de base par transmission :

Les déperditions par transmission à travers une paroi, pour une différence de température de 1 °C entre les ambiances que sépare cette paroi, sont données par la formule suivante :

$$DP = \Sigma(U.A) + \Sigma(Y.L) \dots\dots \text{en Watt/}^{\circ}\text{C}$$

- U (ou anciennement K) = Coefficient de transmission surfacique en  $\text{W/m}^2\text{}^{\circ}\text{C}$
- A = Surface intérieure de chaque élément de paroi ; si la paroi est composée d'un seul élément, S (U A) s'écrit U A ; U est exprimé en  $\text{W/m}^2.\text{K}$  et A en  $\text{m}^2$ .
- Y = Coefficient de transmission linéique en  $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$  des liaisons d'éléments de parois donnant sur l'extérieur.
- L = longueur intérieure de chaque liaison en m.

### 5.4. Déperditions de base par transmission à travers les parois pour un local donné :

Les déperditions de base d'un local par transmission à travers les parois sont calculées par la formule suivante :

$$DBP = \Sigma . DP (t_i - t_e) \dots\dots\text{en Watt}$$

- $t_i$  = est la température intérieure de base exprimée en °C
- $t_e$  = est une température extérieure exprimée en °C



## 5.5. Les déperditions thermiques :

### 5.5.1. Température intérieure de base :

Sauf indications contraires données dans les pièces du marché, on prend les valeurs fixées dans le Code de la Construction et de l'Habitation.

A la date de mise à jour des présentes règles, le décret 88-319 du 5 avril 1988 en vigueur fixe à 18 °C la température résultante que les équipements de chauffage doivent permettre de maintenir au centre des pièces des logements.

Toute fois, les pièces du marché peuvent fixer des températures différentes d'une pièce à l'autre.

<i>Locaux types</i>	<i>t°int de base</i>
- Hôpitaux (en général, et locaux analogues) ..... - Salons d'habillement ..... - Salles d'eau, salles de douches .....	21°C
- Locaux d'habitation courants, chambres d'hôtels ..... - Bureaux ..... - Classes, salles de cours et de conférence ..... - Cafés, cafétérias, restaurants .....	19°C
- Magasins, musées (vêtements d'extérieur conservés) .....	17°C
- Eglises, cultes (vêtements d'extérieur conservés) ..... - Cuisines professionnelles ..... - Gymnases ..... - Ateliers d'activité physique modérée .....	15°C
- Ateliers d'activité physique assez intense .....	12°C
- Locaux de manutention lourde .....	10°C
- Garages chauffés (vêtements extérieurs conservés) .....	5°C

**Tableau 9 :** Température intérieure de base.

### 5.5.2. Température extérieure de base :

Valeurs de températures utilisées pour le dimensionnement des installations de chauffage ou de conditionnement d'air. Elles dépendent du site de calcul correspondant à la zone climatique et à l'altitude du lieu. En chauffage elles sont utilisées dans le calcul des déperditions. Les valeurs proposées sont réglementaires et correspondent à un minimum nocturne dont la fréquence cumulée annuelle représente un pourcentage défini d'occurrence. En conditionnement elles sont utilisées dans le calcul des charges. Les valeurs proposées sont des valeurs recommandées et correspondent à un maximum diurne.

altitude	Zone (voir carte des zones)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
0 à 200m	-2	-4	-5	-7	-8	-9	-10	-12	-15
201 à 400m	-4	-5	-6	-8	-9	-10	-11	-13	-15
401 à 600m	-6	-6	-7	-9	-11	-11	-13	-15	-19
601 à 800m	-8	-7	-8	-11	-13	-12	-14	-17	-21
801 à 1000m	-10	-8	-9	-13	-15	-13	-17	-19	-23
1001 à 1200m	-12	-9	-10	-14	-17		-19	-21	-24
1201 à 1400m	-14	-10	-11	-15	-19		-21	-23	-25
1401 à 1600m	-16		-12		-21		-23	-24	
1601 à 1800m	-18		-13		-23		-24		
1801 à 2000m	-20		-14		-25		-25		
2001 à 2200m			-15		-27		-29		

**Tableau 10 :** Température constatées au minimum 5 jours dans l'année sur une période de 30 ans.

Les déperditions calorifiques se calculent par rapport aux températures extrêmes dites températures de bases constatées minimum 5 jours dans l'année sur une période de 30 ans. Ces températures négatives sont en général atteintes la nuit donc pendant la période d'abaissement de la régulation ce qui réduit le DeltaT. Il serait donc possible de prendre les températures du tableau ci dessus et de leurs retrancher la différence entre la température de jour souhaitée dans la pièce et celle de la période d'abaissement mais dans la

pratique ceci ne ce fait pas. Les résultats trouvés pour chaque pièce sont les émissions thermiques que doit produire le chauffage pour couvrir les déperditions quand la température extérieure atteint la température de base.

## 1.6. PUISSANCE DE CHAUFFAGE A INSTALLER :

### 6.1. Calcul de la puissance de chauffage :

. La puissance de chauffage Q nécessaire pour un logement est donnée par :

$$Q = [t_{bi} - t_{be}] \times [(1 + \text{Max}(c_r ; c_{in})) DT] + [(1 + c_r) \times DR] [W]$$

-  $t_{bi}$  : la température intérieure de base °C

-  $t_{be}$  : la température extérieure de base °C

-  $D_T$  : les déperditions par transmission du logement W/°C

-  $D_R$  : les déperditions par renouvellement d'air du logement W/°C

-  $c_r$  : est un ratio estimé des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel,

-  $c_{in}$  : représente un coefficient de surpuissance.

Le coefficient  $c_{in}$  est appliqué aux seules déperditions par transmission. Il est introduit pour diminuer le temps nécessaire à l'obtention de la température désirée lors d'une mise en route ou d'une relance.

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

La puissance de chauffage Q; nécessaire pour un volume thermique s'obtient en utilisant la formole (15 - a) et en remplaçant les termes  $D_T$  par  $(D_T)i$  et  $D_R$  par  $(D_R)i$ .

b) Le coefficient *C<sub>in</sub>* 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".

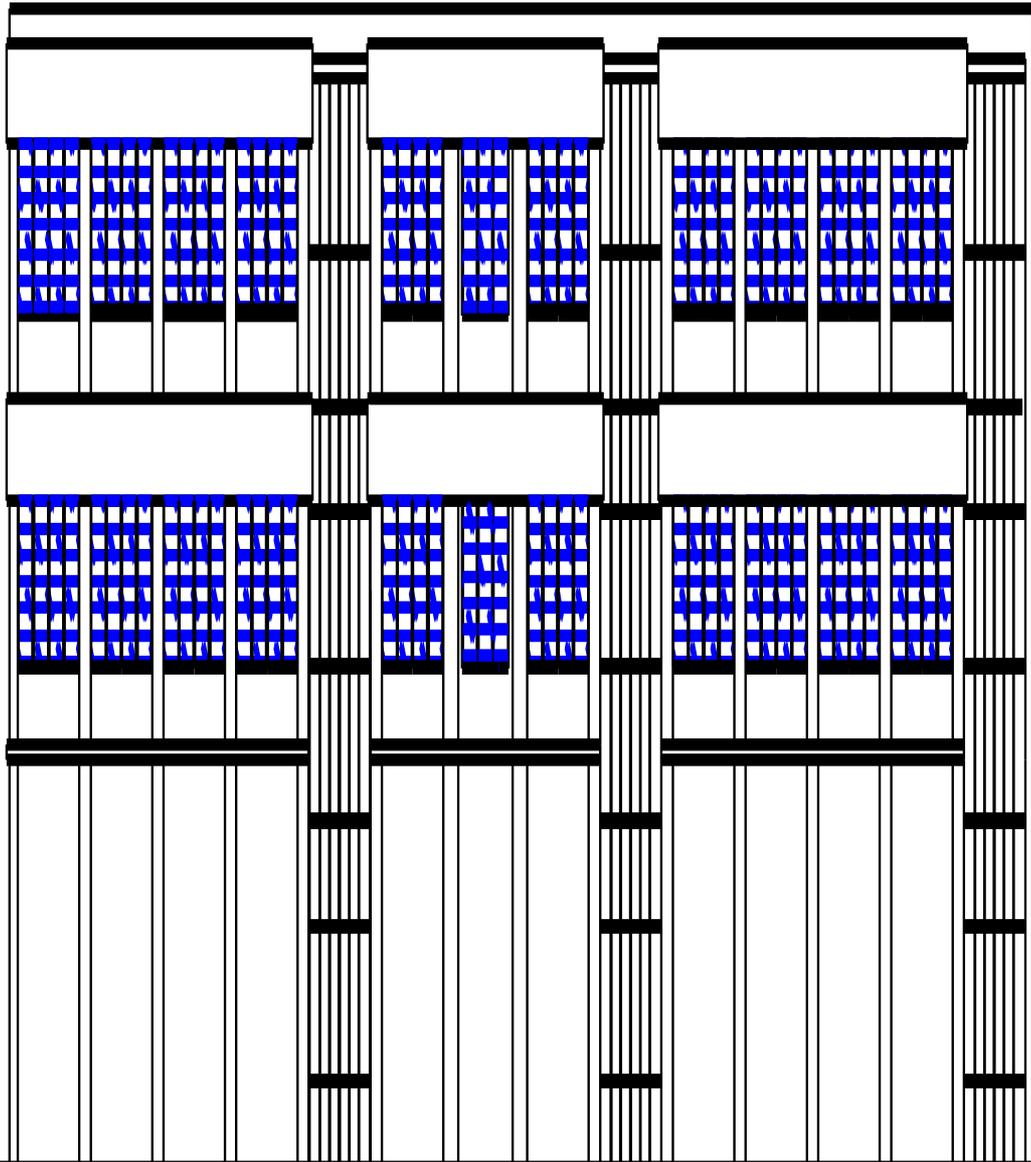
c) Le coefficient *C<sub>r</sub>* prend les valeurs suivantes :

- 0 pour les installations de type "chauffages individuel",
- 0,05 pour les installations de type "chauffage central" dans lesquelles toutes les tuyauteries sont calorifugées,
- 0,10 pour les installations de type "chauffage central" dans lesquelles les tuyauteries sont calorifugées seulement dans les zones non chauffées,
- 0,20 pour les installations de pipe "chauffage central" dont le réseau de tuyauteries n'est pas calorifugé.

## **6.2. Répartition de la puissance de chauffage :**

Le surplus de puissance provenant des coefficients *C<sub>in</sub>* et *C<sub>r</sub>* devra être réparti au niveau des déferents volumes thermiques proportionnellement aux déperditions de base ( $D_b$ )<sub>i</sub> calculer pour chacun des volumes.





**Plan de Façade**

## II.CALCUL DES DEPERDITIONS THERMIQUES

### II.1. CALCUL DES TERMES INTERVENANT DANS LE CALCUL THERMIQUE :

Le calcul des déperditions et des puissances de chauffage se faisant par appartement, nous choisissons d'étudier un des appartements du 2<sup>ème</sup> étage car il s'agit du cas le plus défavorable.

#### 1.1. Principe de calcul :

Le flux de chaleur traversant une paroi dépend de son épaisseur et de sa conductivité thermique  $\lambda$  La résistance thermique met en relation l'épaisseur et la conductivité thermique :

$$R_T = \frac{e}{\lambda}$$

- $e$  : est l'épaisseur en mètres.
- $\lambda$  : est la conductivité thermique en ( $\text{W K}^{-1} \text{m}^{-1}$ ).
- $R_T$  : (ou simplement  $R$ ) est la résistance thermique en mètre carré-kelvin par watt ( $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ).

#### 1.2. Calcul de La résistance thermique d'échange superficiel ( $R_{si}$ et $R_{se}$ ) :

La transmission de la chaleur de l'air ambiant à une paroi et vice versa se fait à la fois par rayonnement et par convection.

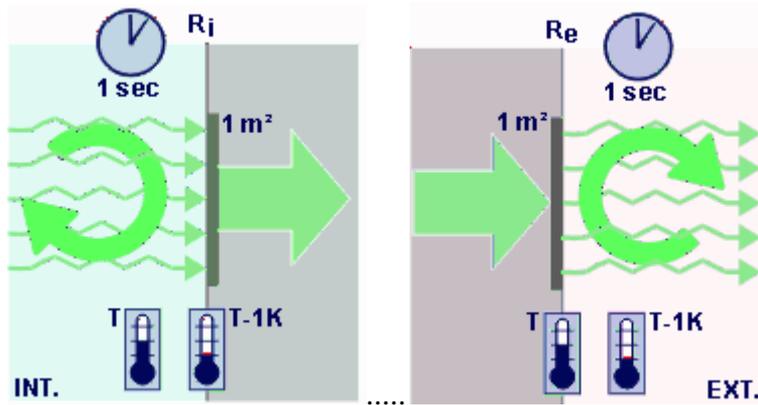


Figure 31.

Le coefficient d'échange thermique superficiel entre une ambiance intérieure ( $h_i$ ) et une paroi est la somme des quantités de chaleur transmise entre une ambiance intérieure et la face intérieure d'une paroi, par convection et par rayonnement, par unité de temps, par unité de surface de la paroi, et pour un écart de 1 K entre la température de la résultante sèche de l'ambiance et la température de surface.

>  $h_i$  s'exprime en  $W/m^2K$ .

La résistance thermique d'échange d'une surface intérieure ( $R_{si}$ ) est égale à l'inverse du coefficient d'échange thermique de surface intérieure  $h_i$ .

$$R_{si} = 1/h_i$$

>  $R_{sj}$  s'exprime en  $m^2K/W$ .

Le coefficient d'échange thermique superficiel entre une paroi et une ambiance extérieure ( $h_e$ ) est la somme des quantités de chaleur transmise entre la face extérieure d'une paroi et une ambiance extérieure, par convection et par rayonnement, par unité de temps, par unité de surface de la paroi, et pour un écart de 1 K entre la température de la résultante sèche de l'ambiance et la température de surface.

>  $h_e$  s'exprime en  $W/m^2K$ .

La résistance thermique d'échange d'une surface extérieure ( $R_{se}$ ) est égale à l'inverse du coefficient d'échange thermique de surface extérieure  $h_e$ .

$$R_{se} = 1/h_e$$

>  $R_{se}$  s'exprime en  $m^2K/W$ .

Les différences de valeur entre  $R_{si}$  et  $R_{se}$  ne proviennent pas de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur mais bien des mouvements d'air plus importants à l'extérieur qu'à l'intérieur, ce qui influence le transfert de chaleur par convection.

Les valeurs des résistances thermiques d'échange superficiel  $R_i$  et  $R_e$  sont données dans un tableau extrait de la réglementation thermique.

Direction du flux de chaleur			
	Ascendant	horizontal <sup>(1)</sup>	descendant
$R_{si}$ [ $m^2K/W$ ]	0,10	0,13	0,17
$R_{se}$ [ $m^2K/W$ ]	0,04	0,04	0,04
<sup>(1)</sup> valable pour une direction du flux de chaleur qui ne dévie pas de plus de 30° du plan horizontal.			

**Tableau 11** : Résistances thermiques d'échange  $R_{si}$  et  $R_{se}$  (en  $m^2K/W$ ).

### 1.3. Calcul de coefficient de transmission thermique $k$ :

Le coefficient de transfert thermique ou coefficient de transmission thermique est un coefficient quantifiant le flux d'énergie traversant un milieu, par unité de surface, de volume ou de longueur. L'inverse de coefficient de transfert thermique est la résistance thermique. C'est un terme important dans l'équation

d'un transfert thermique et permet d'indiquer la facilité avec laquelle l'énergie thermique passe un obstacle ou un milieu.

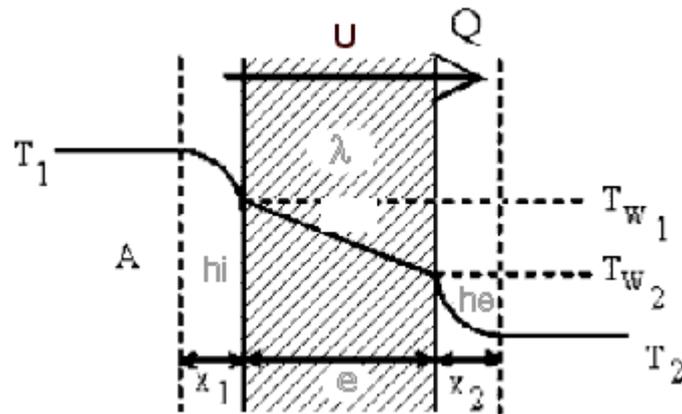


Figure 32.

Le mur est constitué généralement de plusieurs couches de matériaux d'épaisseurs et de conductivités thermiques différentes, l'équation de calcul devient :

$$\frac{1}{k} = \sum \frac{e}{\lambda} + \left( \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right) \quad \text{Où} \quad \frac{1}{K} = \sum R + \left( \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right)$$

**K** : Coefficient de transmission thermique ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).

#### 1.4. Définition des volumes thermiques :

Pour notre bâtiment on a choisi de faire les calculs pour un des logements du 1er étage qui représente un seul volume thermique à étudier, car on considère que toutes les chambres sont chauffées à la même température.

-La hauteur d'étage  $h_e = 4\text{m}$ .

- Le seul local non chauffé est bien la cage d'escalier.

#### 1.5. Coefficient de conductance **K** pour les ouvrants :

- ❖ Porte vitrée en bois donnant vers l'extérieur  $K = 4.5 \text{ W}/\text{m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$ .
- ❖ Porte opaque de bois donnant vers un local non chauffé:  $K = 2 \text{ W}/\text{m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$ .

- ❖ Porte avec une proportion de vitrage < 30% donnant vers l'extérieur:

$$K = 4 \text{ W/m}^2\text{°C.}$$

- ❖ Parois vitrées nues  $K_{vn} = 5 \text{ W/m}^2\text{°C.}$

- ❖ Pour une fenêtre :

$$\frac{1}{K_f} = \frac{1}{K_{vn}} + R_v + R_{rid} + R_{occ}$$

$$K_f = 1,94 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C.} \quad \text{Avec:}$$

$$R_{rid} = 0.030 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

$$R_v = 0.025 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

### 1.6. Coefficient de conductance K pour le plancher étage vers l'extérieur :

Éléments constitutifs	Epaisseur e[m]	Conductivité	Résistance thermique
		Thermique $\lambda$ [W/m. °C]	R [m °C/W]
Protection en gravillon	0.05	1,20	0.041
Roulés			
Étanchéité multicouches	0.02	0.23	0.087
Béton de pente	0.1	1,75	0.057
Polystyrène expansé	0.04	0,046	0.87
Dalle en béton arme	0.1	1,75	0.057
TN40	-	52	0
Faux plafond	0,02	0,35	0.057
Résistance d'échange Superficiel	-	-	0.14
			$\Sigma R = 1,252 [\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}]$

$$K = 1/R = 1/1.252 = 0,8 \text{ [W/m. °C]}$$

**Tableau II.1**

## II.2- PRESENTATION DES VARIANTES DES MURS:

Nous avons étudié 3 variantes pour les murs :

- 1. Un double cloison en brique.
- 2. Brique + (5cm) de polystyrène expansé + Carreaux de plâtre.
- 3. parpaing + (5cm) de polystyrène expansé + plaque de plâtre.

Les variantes choisit pour les murs de remplissages sont :

1) LA VARIANTE « A » :

Eléments constitutifs	Epaisseur e [m]	Conductivité thermique $\lambda$ [W/m. °C]	Résistance thermique R [m <sup>2</sup> . °C/W]
Mortier	0.02	1.15	0.017
Brique	0.10	0.20	0.500
Lame d'air	0.05	-	0.11
Brique	0.10	0.20	0.500
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.087
Résistance d'échange superficiel	-	-	0.170
			$\Sigma R=1.384$ [m <sup>2</sup> . °C/W]

$K = 1/R = 1/1.384 = 0,722$  [W/m. °C]

**Tableau II.2**

2) LA VARIANTE « B » :

Eléments constitutifs	Epaisseur e [m]	Conductivité thermique $\lambda$ [W/m. °C]	Résistance thermique R [m <sup>2</sup> . °C/W]
Mortier	0.02	1.15	0.017
Brique	0.10	0.20	0.500
polystyrène expansé	0.05	0,046	1.087
Carreaux de plâtre	0.07	0.35	0.200
Résistance d'échange superficiel	-	-	0.170
			$\Sigma R=1,974$ [m <sup>2</sup> . °C/W]

$K = 0,5$  [W/m. °C]

**Tableau II.3**

1) LA VARIANTE « C » :

Eléments constitutifs	Epaisseur e [m]	Conductivité thermique λ [W/m. °C]	Résistance thermique R [m <sup>2</sup> . °C/W]
Parpaing	0.15	1,05	0,143
Polystyrène expansé	0.03	0,046	0,652
Plaque de plâtre	0.013	0.35	0.037
Résistance d'échange superficiel	-	-	0.170
			ΣR=1,00 [m <sup>2</sup> . °C/W]

$K = 1$  [W/m. °C]

Tableau II.4

II.3- CALCUL DES DEPERDITIONS DE REFERENCE :

$Dréf = a \times S_1 + b \times S_2 + c \times S_3 + d \times S_4 + e \times S_5$  [W/°C]

Le projet est implantée à Guelma (zone climatique A) on à donc:

Zone	A	b	C	D	E
A	1,10	2,40	1,20	3,50	4,50

Tableau II.5

3.1. Calcul bureau de secrétaire:

$S_1 = A_{TERRASSE} = 63.3 \times 21 = 1329.3 \text{ m}^2$

$S_2 = A_{PLANCHER \text{ BAS}} = 0 \text{ m}^2$

$S_{SECRETARE}$ :

$S = 4.3 \times 9 = 38.7 \text{ m}^2$

$S_3 = A_{MUR} = 38.7 - (8.74 + 3) = 26.96 \text{ m}^2$

$S_4 = A_{PORTE} = 1.5 \times 2 = 3 \text{ m}^2$

$S_5 = A_{FENETRE} = 3.8 \times 2.3 = 8.74 \text{ m}^2$

Désignation	La toiture	Plancher bas	Les murs	Les portes	Les fenêtres
Surfaces	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
Valeurs (m <sup>2</sup> )	1329.3	0	26.96	3	8.74

Tableau II.6

$$Dréf = (1329.3 \times 1.10) + 0 + (26.96 \times 1.2) + (3 \times 3.5) + (8.74 \times 4.5)$$

$$= 1544.41 \text{ [W/°C]}$$

$$\Rightarrow 1.05 Dréf = 1.05 \times 1544.41 = 1621.63 \text{ [W/°C]}$$

#### II.4.CALCUL DES DEPERDITIONS PAR TRANSMISSION D<sub>T</sub> :

##### ➤ VARIANTE « A »

Car les planchers courants séparent deux niveaux chauffés à la même température les déperditions par transmission à travers ce plancher sont confédérés nulles.

Les déperditions par transmission D<sub>T</sub> pour un local, sont données par:

$$DT = Ds + DLi + DSOL + DLNC \quad (\text{W/°C})$$

a) Calcul de déperdition surfacique à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur (Ds): Les déperditions surfaciques par transmission à travers une paroi, pour une différence de température de 1°C entre les ambiances que sépare cette paroi, sont données par la formule:

$$Ds = K \times A \quad \text{Ou :}$$

K (w/m.°C) : est le coefficient de transmission surfacique (appelé aussi conductance).

A(en m2) : est la surface intérieure de la paroi.

$$D_s = K_{MURS} \times A_{MURS} + K_{VIT} \times A_{VIT} + K_{PORT} \times A_{PORT} + A_{TERRASSE} \times K_{TERRASSE}$$

	Murs	Portes	Vitres	Toiture
Surface	26.96	3	8.74	1329.3
K (w/m.°C)	0,722	4,5	1,94	0,8

Tableau II.7

$$\begin{aligned} \Rightarrow D_s &= (26.96 \times 0.722) + (3 \times 4.5) + (8.74 \times 1.94) + (1329.3 \times 0.8) \\ &= 1113.36 \text{ [W/°C]}. \end{aligned}$$

b)  $(D_{Li})_i$  (en W/°C) : représente les déperditions à travers les liaisons.

$$\Rightarrow D_{LIN} = 0,2 \times D_s = 222.67 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow D_{SOL} = 0$$

c) Calcul de la déperdition a paroi en contact avec un local non chauffé:

$$S_{ESCALIER} = 9 \times 4.2 = 37.8 \text{ m}^2$$

$$S_{WC F1} :$$

$$S_{FENETRE} = 0.5 \times 0.5 = 0.25 \text{ m}^2$$

$$S_{PORTE} = 0.65 \times 2 = 1.3 \text{ m}^2$$

$$S = 3 \times 4.20 = 12.6 \text{ m}^2$$

$$S_{MUR} = 12.6 - (0.25 + 1.3) = 11.05 \text{ m}^2$$

$$S_{WC F2} :$$

$$S = 5.7 \times 3 = 17.1 \text{ m}^2$$

$$S_{MUR} = 17.1 - (0.25 + 1.3) = 15.55 \text{ m}^2$$

$$D_{LNC} = \sum (K \times A).$$

$$D_{LNC} = 0.5 \times (11.05 + 15.55 + 37.8) = 32.02 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow DLNC = 32.02 \text{ [ W/°C]}.$$

$$\text{Alors : } D_T = D_S + 0,2 D_S + D_{LNC} = 1,2 D_S + D_{LNC}$$

$$D_T = 1,2(1113.36) + 32.02 = 1368.05 \text{ [W/°C]}.$$

✓ **Vérification :**

$$D_T = 1368.05 \text{ W/°C} < 1,05 D_{REF} = 1621.63 \text{ W/°C}.$$

✓ **Donc la condition réglementaire dans ce logement est vérifiée pour la variante A.**

➤ **VARIANTE « B » :**

$$D_T = D_S + D_{LI} + D_{SOL} + D_{LNC} \quad (\text{W/°C})$$

a) Pour  $D_S$  on a :

	Murs	Portes	Vitres	Toiture
Surface	26.96	3	8.74	1329.3
K (w/m.°C)	0,5	4,5	1,94	0,8

**Tableau II.8**

$$\Rightarrow D_S = 1107.37 \text{ [W/°C]}.$$

b) Pour  $D_{LIN}$  on a :

$$\Rightarrow D_{LIN} = 0,2 \times D_S = 221.47 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow D_{SOL} = 0$$

c) Pour  $D_{LNC}$  :

$$\Rightarrow D_{LNC} = 0,5 \times (11.05 + 15.55 + 37.8) = 32.02 \text{ [ W/°C]}.$$

$$\text{Alors : } D_T = D_S + 0,2 D_S + D_{LNC} = 1,2 D_S + D_{LNC}$$

$$D_T = 1,2(1107.37) + 32.02 = 1360.86 \text{ [W/°C]}.$$

✓ **Vérification :**

$$D_T = 1360.86 \text{ W/°C} < 1,05 D_{REF} = 1621.63 \text{ W/°C}.$$

✓ Pour la variante B la condition réglementaire est vérifiée.

➤ VARIANTE « C »:

$$D_T = D_s + D_{LI} + D_{SOL} + D_{LNC} \text{ (W/°C)}.$$

	Murs	Portes	Vitres	Toiture
Surface	26.96	3	8.74	1329.3
K (w/m.°C)	1	4,5	1,94	0,8

**Tableau II.9**

$$\Rightarrow D_s = 1120.85 \text{ [W/°C]}.$$

d) Pour  $D_{LIN}$  on a :

$$\Rightarrow D_{LIN} = 0,2 \times D_s = 224.17 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow D_{SOL} = 0$$

e) Pour  $D_{LNC}$  :

$$D_{LNC} = 0,5 \times (11.05 + 15.55 + 37.8) = 32.02 \text{ [W/°C]}.$$

$$\text{Alors : } D_T = D_s + 0,2 D_s + D_{LNC} = 1,2 D_s + D_{LNC}$$

$$D_T = 1,2(1120.85) + 32.02 = 1377.04 \text{ [W/°C]}.$$

✓ **Vérification :**

$$D_T = 1377.04 \text{ W/°C} < 1,05 D_{REF} = 1621.63 \text{ W/°C}.$$

✓ Pour la variante C la condition réglementaire est aussi vérifiée.

Variante	DT (W/°C)	1.05×D <sub>REF</sub>	Vérification
A	1368.05	1621.63	Vérifié
B	1360.86	1621.63	Vérifié
C	1377.04	1621.63	Vérifié

**Tableau II.10** : Vérification des déperditions par transmission DT.

## II.5- CALCUL DES DEPERDITIONS PAR RENOUVELLEMENT D'AIR:

Les déperditions par renouvellement d'air sont données par la formule suivant:

$$D_R = 0.34 \times (Q_V + Q_S) \quad (\text{W}^\circ\text{C})$$

Avec :

0.34 : [W. h/m<sup>3</sup>. °C] est la chaleur volumique de l'air.

Q<sub>V</sub> : [m<sup>3</sup>/h] est le débit spécifique de ventilation.

Q<sub>S</sub> : [m<sup>3</sup>/h] est le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent.

- ❖ Le débit spécifique de ventilation Q<sub>V</sub> est donné par la formule suivante:

$$Q_V = \text{Max} [0.6 \times V_h; Q_{\text{vref}}] \quad (\text{m}^3/\text{h}) \text{ Avec}$$

V<sub>h</sub>: [m<sup>3</sup>] désigne le volume habitable.

Q<sub>vref</sub> : Le débit extrait de référence.

$$V_h = 63.3 \times 21 \times 4 = 5317.2 \text{ m}^3 \Rightarrow 0.6 \times V_h = 3190.32 \text{ m}^3$$

$$Q_{\text{vref}} = (5 \times Q_{\text{vmin}} + Q_{\text{vmax}})/6 \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

$$Q_{\text{vmin}} = 100 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (Nombre des pièces principales) (annexe 6)}$$

$$Q_{\text{vmax}} = 120 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (annexe 7)} \Rightarrow Q_{\text{vref}} = 103,33$$

$$Q_V = \text{Max} [0.6 \times V_h; Q_{\text{vref}}] = 3190.32 \quad (\text{m}^3/\text{h}).$$

- ❖ Le débit spécifique supplémentaire par infiltrations dues au vent Q<sub>S</sub> est donné par la formule suivante:

$$Q_S = \Sigma (P_{pi} \times e_{vi}) \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

P<sub>pi</sub> : [m<sup>3</sup>/h] Sous : ΔP = 1 Pa] est la perméabilité à l'air de la paroi i;

evi: [sans dimension] est le coefficient d'exposition au vent affecté a la paroi i;

❖ La perméabilité à l'air Ppi est donnée par la formule :

$$P_{pi} = \sum (P_{oj} \times A_j) \quad [m^3/h \text{ sous } : \Delta P = 1 \text{ Pa}]$$

Poj: [m/h Sous : ΔP = 1 Pa] est la perméabilité surfacique de l'ouvrant j;

Aj : [m<sup>2</sup>] Surface de l'ouvrant j;

On définit aussi :

Hi : [m] La distance entre la mi-hauteur de l'ouverture et la surface libre du sol.

Les ouvertures vers l'extérieur ou un L.N.C:

Parois	Aj	evi	Hi[m]	Poj[m/h]	Ppi	Qsi
Porte vers l'extérieur	3	4,8	18	8.74	26.22	125.85
Porte vers LNC	3	4,8	18	6	18	86.4
	8.74	4,8	18,1		52.44	251.71

Tableau II.11

$$Q_s = \sum (P_{pi} \times e_{vi}) = 463.96 \quad (m^3/h).$$

$$Q_{si} = 463.96 \quad [m^3/h]$$

$$D_R = 0.34 \times (Q_v + Q_s) \quad (W/^\circ C)$$

$$D_R = 0.34 \times (3190.32 + 463.96) = 1242.45 \quad (W/^\circ C).$$

**II.6- CALCUL DES DEPERDITIONS DE BASE :**

Les déperditions de base pour un volume thermique( $D_B$ )  $i$  ont pour expression :

$$(D_B)_i = D_i \times (t_{bi} - t_{be}) \quad [W]$$

Où :

-  $D_i$  (en  $W/^\circ C$ ) : représente les déperditions totales du volume thermique  $i$ .

-  $t_{bi}$  (en  $^\circ C$ ) : est la température intérieure de base du volume considéré.

-  $t_{be}$  (en  $^\circ C$ ) : est la température extérieure de base du lieu d'implantation de la construction.

Dans notre cas on a :  $\left. \begin{array}{l} t_{bi} = 21^\circ C \\ t_{be} = 6^\circ C \end{array} \right\} \Rightarrow (D_B)_i = 15 \times D_i; \quad [W]$

$$D_i = D_T + D_R$$

Variante	$D_T$	$D_R$	$D_i$ [W]	$D_B$ [W]
A	1368.05	1242.45	2610.50	39157.50
B	1360.86	1242.45	2603.31	39049.65
C	1377.04	1242.45	2619.49	39292.35

**Tableau II.12** : résultats des déperditions de base pour chaque variante.

**II.7- CALCUL DE LA PUISSANCE DE CHAUFFAGE :**

a) La puissance de chauffage  $Q$  nécessaire pour un logement est donnée par :

$$Q = [t_{bi} - t_{be}] \times [(1 + \text{Max}(C_r; C_{in})) D_T] + [(1 + C_r) \times D_R] \quad [W].$$

Où :

-  $t_{bi}$  (en  $^\circ C$ ) : représente la température intérieure de base.

-  $t_{be}$  (en  $^\circ C$ ) : représente la température extérieure de base.

-  $D_T$  (en  $W/^\circ C$ ) : représente les déperditions par transmission du logement.

-  $D_R$  (en  $W/^\circ C$ ) : représente les déperditions par renouvellement d'air du logement.

- Cr (sans dimension) : est un ratio estimé des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel.

- Cin (sans dimension) : représente un coefficient de surpuissance.

On a 
$$\begin{cases} t_{bi} = 21^{\circ}\text{C} \\ t_{be} = 6^{\circ}\text{C} \end{cases}$$

b) La valeur adoptée pour le coefficient Cin est :

- 0,15 en cas de classe d'inertie faible ou moyenne (structure métallique)

c) La valeur adoptée pour le coefficient Cr est :

- 0,05 pour les installations de type "chauffage central" dans lesquelles toutes les tuyauteries sont calorifugées,

$$\begin{cases} \text{Cin} = 0,15 \\ \text{Cr} = 0,10 \end{cases}$$

$$Q = [t_{bi} - t_{be}] \times [(1 + \text{Max}(\text{Cr} ; \text{Cin})) D_T] + [(1 + \text{Cr}) \times D_R]$$

$$\Rightarrow Q = 17,25 \times D_T + 1.10 \times D_R \quad [\text{W}]$$

## II.8- INTERPRETATIONS ET RESULTATS :

Variante	D <sub>T</sub> [W]	D <sub>R</sub> [W]	Q [W]	D <sub>B</sub> [W]
A	1368.05	1242.45	24965.55	39157.5
B	1360.86	1242.45	24841.53	39049.65
C	1377.04	1242.45	25120.63	39292.35

Tableau II.13

### 3.2. Calcul bureau 1:

$$S_1 = A_{\text{TERRASSE}} = 63.3 \times 21 = 1329.3 \text{ m}^2$$

$$S_2 = A_{\text{PLANCHER BAS}} = 0 \text{ m}^2$$

S<sub>BUREAU 1</sub>:

$$S = 66.6 - 3.5 = 63.1 \text{ m}^2$$

$$S_3 = A_{MUR} = 63.1 - [(8.74 \times 2) + 3] = 42.62 \text{ m}^2$$

$$S_4 = A_{PORTE} = 1.5 \times 2 = 3 \text{ m}^2$$

$$S_5 = A_{FENETRE} = 3.8 \times 2.3 = 8.74 \text{ m}^2$$

Désignation	La toiture	Plancher bas	Les murs	Les portes	Les fenêtres
Surfaces	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
Valeurs (m <sup>2</sup> )	1329.3	0	42.62	3	8.74

Tableau II.14

$$Dréf = (1329.3 \times 1.10) + 0 + (42.62 \times 1.2) + (3 \times 3.5) + (8.74 \times 4.5)$$

$$= 1563.20 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow 1.05 Dréf = 1.05 \times 1563.20 = 2344.8 \text{ [W/°C]}.$$

➤ **VARIANTE « A »**

Les déperditions par transmission D<sub>T</sub> pour un local, sont données par:

$$DT = Ds + DLi + DSOL + DLNC \quad (\text{W/°C})$$

$$Ds = KMURS \times AMURS + KVIT \times AVIT + KPORT \times APORT + ATERRASSE \times KTERRASSE$$

	Murs	Portes	Vitres	Toiture
Surface	42.62	3	8.74	1329.3
K (w/m.°C)	0,722	4,5	1,94	0,8

Tableau II.15

$$\Rightarrow Ds = (42.62 \times 0.722) + (3 \times 4.5) + (8.74 \times 1.94) + (1329.3 \times 0.8)$$

$$= 1124.66 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow D_{LIN} = 0,2 \times Ds = 224.93 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow D_{SOL} = 0$$

a) Calcul de la déperdition a paroi en contact avec un local non chauffé:

$$S_{\text{ESCALIER}} = 9 \times 4.2 = 37.8 \text{ m}^2$$

$S_{\text{WC F1}}$  :

$$S_{\text{FENETRE}} = 0.5 \times 0.5 = 0.25 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{PORTE}} = 0.65 \times 2 = 1.3 \text{ m}^2$$

$$S = 3 \times 4.20 = 12.6 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{MUR}} = 12.6 - (0.25 + 1.3) = 11.05 \text{ m}^2$$

$S_{\text{WC F2}}$  :

$$S = 5.7 \times 3 = 17.1 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{MUR}} = 17.1 - (0.25 + 1.3) = 15.55 \text{ m}^2$$

$$D_{\text{LNC}} = \sum (K \times A).$$

$$D_{\text{LNC}} = 0.5 \times (11.05 + 15.55 + 37.8) = 32.02 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow D_{\text{LNC}} = 32.02 \text{ [W/°C]}.$$

$$\text{Alors : } D_{\text{T}} = D_{\text{S}} + 0,2 D_{\text{S}} + D_{\text{LNC}} = 1,2 D_{\text{S}} + D_{\text{LNC}}$$

$$D_{\text{T}} = 1,2(1124.66) + 32.02 = 1381.61 \text{ [W/°C]}.$$

✓ **Vérification :**

$$D_{\text{T}} = 1381.61 \text{ W/°C} < 1,05 D_{\text{REF}} = 2344.8 \text{ W/°C}.$$

✓ **Donc la condition réglementaire dans ce logement est vérifiée pour la variante A.**

➤ **VARIANTE « B » :**

$$D_T = D_s + D_{LI} + D_{SOL} + D_{LNC} \quad (W/°C)$$

1) Pour  $D_s$  on a :

	Murs	Portes	Vitres	Toiture
Surface	42.62	3	8.74	1329.3
K (w/m.°C)	0,5	4,5	1,94	0,8

**Tableau II.16**

$$\Rightarrow D_s = 1115.20 \quad [W/°C].$$

2) Pour  $D_{LIN}$  on a :

$$\Rightarrow D_{LIN} = 0,2 \times D_s = 223.04 \quad [W/°C].$$

$$\Rightarrow D_{SOL} = 0$$

3) Pour  $D_{LNC}$  :

$$\Rightarrow D_{LNC} = 0,5 \times (11.05 + 15.55 + 37.8) = 32.02 \quad [W/°C].$$

$$\text{Alors : } D_T = D_s + 0,2 D_s + D_{LNC} = 1,2 D_s + D_{LNC}$$

$$D_T = 1,2(1115.20) + 32.02 = 1370.26 \quad [W/°C].$$

✓ **Vérification :**

$$D_T = 1370.26 \quad W/°C < 1,05 D_{REF} = 2344.8 \quad W/°C.$$

✓ **Pour la variante B la condition réglementaire est vérifiée.**

➤ **VARIANTE « C » :**

$$D_T = D_s + D_{LI} + D_{SOL} + D_{LNC} \quad (W/°C)$$

	Murs	Portes	Vitres	Toiture
Surface	42.62	3	8.74	1329.3
K (w/m.°C)	1	4,5	1,94	0,8

**Tableau II.17**

$$\Rightarrow D_s = 1136.51 \quad [W/°C].$$

4) Pour  $D_{LIN}$  on a :

$$\Rightarrow D_{LIN} = 0,2 \times D_s = 227.30 \text{ [W/}^\circ\text{C]}.$$

$$\Rightarrow D_{SOL} = 0$$

5) Pour  $D_{LNC}$  :

$$D_{LNC} = 0,5 \times (11.05 + 15.55 + 37.8) = 32.02 \text{ [W/}^\circ\text{C]}.$$

$$\text{Alors : } D_T = D_s + 0,2 D_s + D_{LNC} = 1,2 D_s + D_{LNC}$$

$$D_T = 1,2(1136.51) + 32.02 = 1395.83 \text{ [W/}^\circ\text{C]}.$$

✓ **Vérification :**

$$D_T = 1395.83 \text{ W/}^\circ\text{C} < 1,05 D_{REF} = 2344.8 \text{ W/}^\circ\text{C}.$$

✓ **Pour la variante C la condition réglementaire est aussi vérifiée.**

Variante	DT (W/°C)	1.05×D <sub>REF</sub>	Vérification
A	1381.61	2344.80	Vérifié
B	1370.26	2344.80	Vérifié
C	1395.83	2344.80	Vérifié

**Tableau II.18 :** Vérification des déperditions par transmission DT.

Les déperditions par renouvellement d'air sont données par la formule suivant:

$$D_R = 0.34 \times (Q_v + Q_s) \quad (\text{W/}^\circ\text{C}).$$

$$V_h = 63.3 \times 21 \times 4 = 5317.2 \text{ m}^3 \Rightarrow 0.6 \times V_h = 3190.32 \text{ m}^3$$

$$Q_{v\text{réf}} = (5 \times Q_{v\text{min}} + Q_{v\text{max}}) / 6 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

$$Q_{v\text{min}} = 100 \text{ m}^3\text{/h (Nombre des pièces principales) (annexe 6)}$$

$$Q_{v\text{max}} = 120 \text{ m}^3\text{/h (annexe 7) } \Rightarrow Q_{v\text{réf}} = 103,33$$

$$Q_v = \text{Max} [0.6 \times V_h; Q_{v\text{réf}}] = 3190.32 \text{ (m}^3\text{/h)}.$$

Les ouvertures vers l'extérieur ou un L.N.C:

Parois	Aj	evi	Hi[m]	Poj[m/h]	Ppi	Qsi
Porte vers l'extérieur	3	4,8	18	8.74	26.22	125.85
Porte vers LNC	3	4,8	18	6	18	86.4
	8.74	4,8	18,1		52.44	251.71

Tableau II.19

$$Q_s = \Sigma (P_{pi} \times e_{vi}) = 463.96 \text{ (m}^3/\text{h)}.$$

$$Q_{si} = 463.96 \text{ [m}^3/\text{h]}$$

$$D_R = 0.34 \times (Q_v + Q_s) \text{ (W/}^\circ\text{C)}$$

$$D_R = 0.34 \times (3190.32 + 463.96) = 1242.45 \text{ (W/}^\circ\text{C)}.$$

Les déperditions de base pour un volume thermique( $D_B$ ) i ont pour expression :

$$(D_B)_i = D_i \times (t_{bi} - t_{be}) \text{ [W]}.$$

Dans notre cas on a :

$$\left. \begin{array}{l} t_{bi} = 21^\circ\text{C} \\ t_{be} = 6^\circ\text{C} \end{array} \right\} \Rightarrow (D_B)_i = 15 \times D_i; \text{ [W]}$$

$$D_i = D_T + D_R$$

Variante	$D_T$	$D_R$	$D_i$ [W]	$D_B$ [W]
A	1381.61	1242.45	2624.06	39360.90
B	1370.26	1242.45	2612.71	39190.65
C	1395.83	1242.45	2638.28	39574.20

Tableau II.20 : résultats des déperditions de base pour chaque variante.

- b) La puissance de chauffage Q nécessaire pour un logement est donnée par :

$$Q = [t_{bi} - t_{be}] \times [(1 + \text{Max}(Cr; Cin))] D_T + [(1 + Cr) \times D_R] \text{ [W]}.$$

On a  $\begin{cases} t_{bi} = 21^{\circ}\text{C} \\ t_{be} = 6^{\circ}\text{C} \end{cases}$

$\begin{cases} C_{in} = 0,15 \\ C_r = 0,10 \end{cases}$

$Q = [t_{bi} - t_{be}] \times [(1 + \text{Max}(C_r ; C_{in})) D_T] + [(1 + C_r) \times D_R]$

$\Rightarrow Q = 17,25 \times D_T + 1.10 \times D_R \quad [\text{W}]$

Variante	D <sub>T</sub> [W]	D <sub>R</sub> [W]	Q [W]	D <sub>B</sub> [W]
A	1381.61	1242.45	25199.46	39360.90
B	1370.26	1242.45	25003.68	39190.65
C	1395.83	1242.45	25444.76	39574.20

**Tableau II.21**

**3.3. Calcul bureau 2 :**

$S_1 = A_{\text{TERRASSE}} = 63.3 \times 21 = 1329.3 \text{ m}^2$

$S_2 = A_{\text{PLANCHER BAS}} = 0 \text{ m}^2$

S<sub>BUREAU 2</sub> :

$S = 4.2 \times 9 = 37.8 \text{ m}^2$

$S_3 = A_{\text{MUR}} = 37.8 - (8.74 + 3) = 26.06 \text{ m}^2$

$S_4 = A_{\text{PORTE}} = 1.5 \times 2 = 3 \text{ m}^2$

$S_5 = A_{\text{FENETRE}} = 3.8 \times 2.3 = 8.74 \text{ m}^2$

Désignation	La toiture	Plancher bas	Les murs	Les portes	Les fenêtres
Surfaces	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
Valeurs (m <sup>2</sup> )	1329.3	0	26.06	3	8.74

**Tableau II.22**

$$\begin{aligned} \text{Dréf} &= (1329.3 \times 1.10) + 0 + (26.06 \times 1.2) + (3 \times 3.5) + (8.74 \times 4.5) \\ &= 1543.33 \text{ [W/°C]}. \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 1.05 \text{ Dréf} = 1.05 \times 1583.60 = 1620.49 \text{ [W/°C]}.$$

➤ **VARIANTE « A »**

Les déperditions par transmission  $D_T$  pour un local, sont données par:

$$D_T = D_s + D_{Li} + D_{SOL} + D_{LNC} \quad (\text{W/°C})$$

$$D_s = K_{MURS} \times A_{MURS} + K_{VIT} \times A_{VIT} + K_{PORT} \times A_{PORT} + A_{TERRASSE} \times K_{TERRASSE}$$

	Murs	Portes	Vitres	Toiture
Surface	26.06	3	8.74	1329.3
K (w/m.°C)	0,722	4,5	1,94	0,8

**Tableau II.23**

$$\begin{aligned} \Rightarrow D_s &= (26.06 \times 0.722) + (3 \times 4.5) + (8.74 \times 1.94) + (1329.3 \times 0.8) \\ &= 1112.71 \text{ [W/°C]}. \end{aligned}$$

$$\Rightarrow D_{LIN} = 0,2 \times D_s = 222.5 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow D_{SOL} = 0$$

a) Calcul de la déperdition a paroi en contact avec un local non chauffé:

$$S_{\text{ESCALIER}} = 9 \times 4.2 = 37.8 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{WC FI}} :$$

$$S_{\text{FENETRE}} = 0.5 \times 0.5 = 0.25 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{PORTE}} = 0.65 \times 2 = 1.3 \text{ m}^2$$

$$S = 3 \times 4.20 = 12.6 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{MUR}} = 12.6 - (0.25 + 1.3) = 11.05 \text{ m}^2$$

$S_{WC F2}$  :

$$S = 5.7 \times 3 = 17.1 \text{ m}^2$$

$$S_{MUR} = 17.1 - (0.25 + 1.3) = 15.55 \text{ m}^2$$

$$D_{LNC} = \sum (K \times A).$$

$$D_{LNC} = 0.5 \times (11.05 + 15.55 + 37.8) = 32.02 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow D_{LNC} = 32.02 \text{ [W/°C]}.$$

$$\text{Alors : } D_T = D_S + 0,2 D_S + D_{LNC} = 1,2 D_S + D_{LNC}$$

$$D_T = 1,2(1112.71) + 32.02 = 1367.27 \text{ [W/°C]}.$$

✓ **Vérification :**

$$D_T = 1367.27 \text{ W/°C} < 1,05 D_{REF} = 1620.49 \text{ W/°C}.$$

✓ **Donc la condition réglementaire dans ce logement est vérifiée pour la variante A.**

➤ **VARIANTE « B » :**

$$D_T = D_S + D_{LI} + D_{SOL} + D_{LNC} \quad (\text{W/°C})$$

1) Pour  $D_S$  on a :

	Murs	Portes	Vitres	Toiture
Surface	26.06	3	8.74	1329.3
K (w/m.°C)	0,5	4,5	1,94	0,8

**Tableau II.24**

$$\Rightarrow D_S = 1106.92 \text{ [W/°C]}.$$

2) Pour  $D_{LIN}$  on a :

$$\Rightarrow D_{LIN} = 0,2 \times D_S = 221.38 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow D_{SOL} = 0$$

3) Pour  $D_{LNC}$  :

$$\Rightarrow DLNC = 0,5 \times (11.05 + 15.55 + 37.8) = 32.02 \text{ [W/°C]}.$$

$$\text{Alors : } D_T = D_S + 0,2 D_S + D_{LNC} = 1,2 D_S + D_{LNC}$$

$$D_T = 1,2(1106.92) + 32.02 = 1360.32 \text{ [W/°C]}.$$

✓ **Vérification :**

$$D_T = 1360.32 \text{ W/°C} < 1,05 D_{REF} = 1620.49 \text{ W/°C}.$$

✓ **Pour la variante B la condition réglementaire est vérifiée.**

➤ **VARIANTE « C »:**

$$D_T = D_S + D_{LI} + D_{SOL} + D_{LNC} \text{ (W/°C)}$$

	Murs	Portes	Vitres	Toiture
Surface	26.06	3	8.74	1329.3
K (w/m.°C)	1	4,5	1,94	0,8

**Tableau II.25**

$$\Rightarrow D_S = 1119.95 \text{ [W/°C]}.$$

4) Pour  $D_{LIN}$  on a :

$$\Rightarrow D_{LIN} = 0,2 \times D_S = 223.99 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow D_{SOL} = 0$$

5) Pour  $D_{LNC}$  :

$$D_{LNC} = 0,5 \times (11.05 + 15.55 + 37.8) = 32.02 \text{ [W/°C]}.$$

$$\text{Alors : } D_T = D_S + 0,2 D_S + D_{LNC} = 1,2 D_S + D_{LNC}$$

$$D_T = 1,2(1119.95) + 32.02 = 1375.96 \text{ [W/°C]}.$$

✓ **Vérification :**

$$D_T = 1375.96 \text{ W/°C} < 1,05 D_{REF} = 1620.49 \text{ W/°C}.$$

✓ **Pour la variante C la condition réglementaire est aussi vérifiée.**

Variante	DT (W/°C)	1.05×D <sub>REF</sub>	Vérification
A	1367.27	1620.49	Vérifié
B	1360.32	1620.49	Vérifié
C	1375.96	1620.49	Vérifié

**Tableau II.26 :** Vérification des déperditions par transmission DT.

Les déperditions par renouvellement d'air sont données par la formule suivant:

$$D_R = 0.34 \times (Q_v + Q_s) \quad (W/°C).$$

$$V_h = 63.3 \times 21 \times 4 = 5317.2 \text{ m}^3 \Rightarrow 0.6 \times V_h = 3190.32 \text{ m}^3$$

$$Q_{v\text{réf}} = (5 \times Q_{v\text{min}} + Q_{v\text{max}}) / 6 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$$Q_{v\text{min}} = 100 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (Nombre des pièces principales) (annexe 6)}$$

$$Q_{v\text{max}} = 120 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (annexe 7)} \Rightarrow Q_{v\text{réf}} = 103,33$$

$$Q_v = \text{Max} [0.6 \times V_h; Q_{v\text{réf}}] = 3190.32 \text{ (m}^3/\text{h)}.$$

Les ouvertures vers l'extérieur ou un L.N.C:

Parois	Aj	evi	Hi[m]	Poj[m/h]	Ppi	Qsi
Porte vers l'extérieur	3	4,8	18	8.74	26.22	125.85
Porte vers LNC	3	4,8	18	6	18	86.4
	8.74	4,8	18,1		52.44	251.71

**Tableau II.27**

$$Q_s = \Sigma (P_{pi} \times e_{vi}) = 463.96 \text{ (m}^3/\text{h)}.$$

$$Q_{si} = 463.96 \text{ [m}^3/\text{h]}$$

$$D_R = 0.34 \times (Q_v + Q_s) \quad (W/°C)$$

$$D_R = 0.34 \times (3190.32 + 463.96) = 1242.45 \text{ (W/°C)}.$$

Les déperditions de base pour un volume thermique( $D_B$ ) i ont pour expression :

$$(D_B)_i = D_i \times (t_{bi} - t_{be}) \quad [W]$$

Dans notre cas on a :

$$\left. \begin{array}{l} t_{bi} = 21^\circ C \\ t_{be} = 6^\circ C \end{array} \right\} \Rightarrow (D_B)_i = 15 \times D_i; \quad [W]$$

$$D_i = D_T + D_R$$

Variante	$D_T$	$D_R$	$D_i$ [W]	$D_B$ [W]
A	1367.27	1242.45	2609.72	39145.80
B	1360.32	1242.45	2602.77	39041.55
C	1375.96	1242.45	2618.41	39276.15

**Tableau II.28** : résultats des déperditions de base pour chaque variante.

b) La puissance de chauffage Q nécessaire pour un logement est donnée par:

$$Q = [t_{bi} - t_{be}] \times [[1 + \text{Max} (Cr ; Cin)] D_T] + [(1 + Cr) \times D_R] \quad [W]$$

On a

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{bi} = 21^\circ C \\ t_{be} = 6^\circ C \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Cin = 0,15 \\ Cr = 0,10 \end{array} \right.$$

$$Q = [t_{bi} - t_{be}] \times [[1 + \text{Max} (Cr ; Cin)] D_T] + [(1 + Cr) \times D_R]$$

$$\Rightarrow Q = 17,25 \times D_T + 1.10 \times D_R \quad [W]$$

Variante	$D_T$ [W]	$D_R$ [W]	Q [W]	$D_B$ [W]
A	1367.27	1242.45	24952.10	39145.8
B	1360.32	1242.45	24832.21	39041.55
C	1375.96	1242.45	25102.00	39276.15

**Tableau II.29**

**3.4. Calcul bureau 3 :**

$$S_1 = A_{\text{TERRASSE}} = 63.3 \times 21 = 1329.3 \text{ m}^2$$

$$S_2 = A_{\text{PLANCHER BAS}} = 0 \text{ m}^2$$

$S_{\text{BUREAU 3}}$  :

$$S = 5.8 \times 4.3 = 24.94 \text{ m}^2$$

$$S_3 = A_{\text{MUR}} = 24.94 - (8.74 + 3) = 13.2 \text{ m}^2$$

$$S_4 = A_{\text{PORTE}} = 1.5 \times 2 = 3 \text{ m}^2$$

$$S_5 = A_{\text{FENETRE}} = 3.8 \times 2.3 = 8.74 \text{ m}^2$$

Désignation	La toiture	Plancher bas	Les murs	Les portes	Les fenêtres
Surfaces	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
Valeurs ( $\text{m}^2$ )	1329.3	0	13.2	3	8.74

**Tableau II.30**

$$\begin{aligned} \text{Dréf} &= (1329.3 \times 1.10) + 0 + (13.2 \times 1.2) + (3 \times 3.5) + (8.74 \times 4.5) \\ &= 1527.09 \text{ [W/}^\circ\text{C]}. \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 1.05 \text{ Dréf} = 1.05 \times 1527.09 = 1604.29 \text{ [W/}^\circ\text{C]}.$$

➤ **VARIANTE « A »**

Les déperditions par transmission  $D_T$  pour un local, sont données par:

$$D_T = D_s + D_{Li} + D_{SOL} + D_{LNC} \quad (\text{W/}^\circ\text{C})$$

$$D_s = K_{\text{MURS}} \times A_{\text{MURS}} + K_{\text{VIT}} \times A_{\text{VIT}} + K_{\text{PORT}} \times A_{\text{PORT}} + A_{\text{TERRASSE}} \times K_{\text{TERRASSE}}$$

	Murs	Portes	Vitres	Toiture
Surface	13.2	3	8.74	1329.3
K ( $\text{w/m.}^\circ\text{C}$ )	0,722	4,5	1,94	0,8

**Tableau II.31**

$$\begin{aligned}\Rightarrow D_s &= (13.2 \times 0.722) + (3 \times 4.5) + (8.74 \times 1.94) + (1329.3 \times 0.8) \\ &= 1103.42 \text{ [W/}^\circ\text{C]}.\end{aligned}$$

$$\Rightarrow D_{\text{LIN}} = 0,2 \times D_s = 220.68 \text{ [W/}^\circ\text{C]}.$$

$$\Rightarrow D_{\text{SOL}} = 0$$

a) Calcul de la déperdition a paroi en contact avec un local non chauffé:

$$S_{\text{ESCALIER}} = 9 \times 4.2 = 37.8 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{WC F1}} :$$

$$S_{\text{FENETRE}} = 0.5 \times 0.5 = 0.25 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{PORTE}} = 0.65 \times 2 = 1.3 \text{ m}^2$$

$$S = 3 \times 4.20 = 12.6 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{MUR}} = 12.6 - (0.25 + 1.3) = 11.05 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{WC F2}} :$$

$$S = 5.7 \times 3 = 17.1 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{MUR}} = 17.1 - (0.25 + 1.3) = 15.55 \text{ m}^2$$

$$D_{\text{LNC}} = \sum (K \times A).$$

$$D_{\text{LNC}} = 0.5 \times (11.05 + 15.55 + 37.8) = 32.02 \text{ [W/}^\circ\text{C]}.$$

$$\Rightarrow D_{\text{LNC}} = 32.02 \text{ [W/}^\circ\text{C]}.$$

$$\text{Alors : } D_T = D_s + 0,2 D_s + D_{\text{LNC}} = 1,2 D_s + D_{\text{LNC}}$$

$$D_T = 1,2(1103.42) + 32.02 = 1356.12 \text{ [W/}^\circ\text{C]}.$$

✓ **Vérification :**

$$D_T = 1356.12 \text{ W/}^\circ\text{C} < 1,05 D_{\text{REF}} = 1604.29 \text{ W/}^\circ\text{C}.$$

- ✓ **Donc la condition réglementaire dans ce logement est vérifiée pour la variante A.**

➤ **VARIANTE « B » :**

$$D_T = D_s + D_{LI} + D_{SOL} + D_{LNC} \quad (W/°C).$$

1) Pour  $D_s$  on a :

	Murs	Portes	Vitres	Toiture
Surface	13.2	3	8.74	1329.3
K (w/m.°C)	0,5	4,5	1,94	0,8

**Tableau II.32**

$$\Rightarrow D_s = 1100.49 \text{ [W/°C]}.$$

2) Pour  $D_{LIN}$  on a :

$$\Rightarrow D_{LIN} = 0,2 \times D_s = 220.09 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow D_{SOL} = 0$$

3) Pour  $D_{LNC}$  :

$$\Rightarrow D_{LNC} = 0,5 \times (11.05 + 15.55 + 37.8) = 32.02 \text{ [W/°C]}.$$

$$\text{Alors : } D_T = D_s + 0,2 D_s + D_{LNC} = 1,2 D_s + D_{LNC}$$

$$D_T = 1,2(1100.49) + 32.02 = 1352.60 \text{ [W/°C]}.$$

✓ **Vérification :**

$$D_T = 1352.60 \text{ W/°C} < 1,05 D_{REF} = 1604.29 \text{ W/°C}.$$

- ✓ **Pour la variante B la condition réglementaire est vérifiée.**

➤ **VARIANTE « C »:**

$$D_T = D_s + D_{LI} + D_{SOL} + D_{LNC} \quad (W/°C)$$

	Murs	Portes	Vitres	Toiture
Surface	13.2	3	8.74	1329.3
K (w/m.°C)	1	4,5	1,94	0,8

**Tableau II.33**

$$\Rightarrow D_s = 1107.09 \quad [W/°C].$$

4) Pour  $D_{LIN}$  on a :

$$\Rightarrow D_{LIN} = 0,2 \times D_s = 221.41 \quad [W/°C].$$

$$\Rightarrow D_{SOL} = 0$$

5) Pour  $D_{LNC}$  :

$$D_{LNC} = 0,5 \times (11.05 + 15.55 + 37.8) = 32.02 \quad [W/°C].$$

$$\text{Alors : } D_T = D_s + 0,2 D_s + D_{LNC} = 1,2 D_s + D_{LNC}$$

$$D_T = 1,2(1107.09) + 32.02 = 1360.52 \quad [W/°C].$$

✓ **Vérification :**

$$D_T = 1360.52 \quad W/°C < 1,05 D_{REF} = 1604.29 \quad W/°C.$$

✓ **Pour la variante C la condition réglementaire est aussi vérifiée.**

Variante	DT (W/°C)	1.05×D <sub>REF</sub>	Vérification
A	1356.12	1604.29	Vérifié
B	1352.60	1604.29	Vérifié
C	1360.52	1604.29	Vérifié

**Tableau II.34 :** Vérification des déperditions par transmission DT.

Les déperditions par renouvellement d'air sont données par la formule suivant:

$$D_R = 0.34 \times (Q_V + Q_S) \quad (W/°C).$$

$$V_h = 63.3 \times 21 \times 4 = 5317.2 \text{ m}^3 \Rightarrow 0.6 \times V_h = 3190.32 \text{ m}^3$$

$$Q_{v\text{réf}} = (5 \times Q_{v\text{min}} + Q_{v\text{max}}) / 6 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$$Q_{v\text{min}} = 100 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (Nombre des pièces principales) (annexe 6)}$$

$$Q_{v\text{max}} = 120 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (annexe 7)} \Rightarrow Q_{v\text{réf}} = 103,33$$

$$Q_v = \text{Max} [0.6 \times V_h; Q_{v\text{réf}}] = 3190.32 \text{ (m}^3/\text{h)}.$$

Les ouvertures vers l'extérieur ou un L.N.C:

Parois	Aj	evi	Hi[m]	Poj[m/h]	Ppi	Qsi
Porte vers l'extérieur	3	4,8	18	8.74	26.22	125.85
Porte vers LNC	3	4,8	18	6	18	86.4
	8.74	4,8	18,1		52.44	251.71

Tableau II.35

$$Q_s = \Sigma (P_{pi} \times e_{vi}) = 463.96 \text{ (m}^3/\text{h)}.$$

$$Q_{si} = 463.96 \text{ [m}^3/\text{h]}$$

$$D_R = 0.34 \times (Q_v + Q_s) \text{ (W/}^\circ\text{C)}$$

$$D_R = 0.34 \times (3190.32 + 463.96) = 1242.45 \text{ (W/}^\circ\text{C)}.$$

Les déperditions de base pour un volume thermique  $(D_B)_i$  ont pour expression :

$$(D_B)_i = D_i \times (t_{bi} - t_{be}) \text{ [W]}$$

$$\text{Dans notre cas on a } \left\{ \begin{array}{l} t_{bi} = 21^\circ\text{C} \\ t_{be} = 6^\circ\text{C} \end{array} \right. \Rightarrow (D_B)_i = 15 \times D_i; \text{ [W]}$$

$$D_i = D_T + D_R$$

Variante	D <sub>T</sub>	D <sub>R</sub>	D <sub>i</sub> [W]	D <sub>B</sub> [W]
A	1356.12	1242.45	2598.57	38978.55
B	1352.60	1242.45	2595.05	38925.75
C	1360.52	1242.45	2602.97	39044.55

**Tableau II.36 :** résultats des déperditions de base pour chaque variante.

b) La puissance de chauffage Q nécessaire pour un logement est donnée par:

$$Q = [t_{bi} - t_{be}] \times [[1 + \text{Max} (Cr ; Cin)] D_T] + [(1 + Cr) \times D_R] \quad [W].$$

On a

$$\begin{cases} t_{bi} = 21^\circ\text{C} \\ t_{be} = 6^\circ\text{C} \end{cases}$$

$$\begin{cases} Cin = 0,15 \\ Cr = 0,10 \end{cases}$$

$$Q = [t_{bi} - t_{be}] \times [[1 + \text{Max} (Cr ; Cin)] D_T] + [(1 + Cr) \times D_R]$$

$$\Rightarrow Q = 17,25 \times D_T + 1.10 \times D_R \quad [W]$$

Variante	D <sub>T</sub> [W]	D <sub>R</sub> [W]	Q [W]	D <sub>B</sub> [W]
A	1356.12	1242.45	24759.76	38978.55
B	1352.60	1242.45	24699.04	38925.55
C	1360.52	1242.45	24835.66	39044.55

**Tableau II.37**

### 3.5. Calcul la bibliothèque :

$$S_1 = A_{\text{TERRASSE}} = 63.3 \times 21 = 1329.3 \text{ m}^2$$

$$S_2 = A_{\text{PLANCHER BAS}} = 0 \text{ m}^2$$

S<sub>BIBLIOTHEQUE</sub> :

$$S = 11.8 \times 17.9 = 221.22 \text{ m}^2$$

$$S_3 = A_{\text{MUR}} = 221.22 - [(8.74 \times 4) + (3 \times 4)] = 164.26 \text{ m}^2$$

$$S_4 = A_{\text{PORTE}} = 1.5 \times 2 = 3 \text{ m}^2$$

$$S_5 = A_{\text{FENETRE}} = 3.8 \times 2.3 = 8.74 \text{ m}^2$$

Désignation	La toiture	Plancher bas	Les murs	Les portes	Les fenêtres
Surfaces	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
Valeurs (m <sup>2</sup> )	1329.3	0	164.26	3	8.74

**Tableau II.38**

$$\text{Dréf} = (1329.3 \times 1.10) + 0 + (164.26 \times 1.2) + (3 \times 3.5) + (8.74 \times 4.5)$$

$$= 1709.17 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow 1.05 \text{ Dréf} = 1.05 \times 1709.17 = 1794.62 \text{ [W/°C]}.$$

➤ **VARIANTE « A »**

Les déperditions par transmission D<sub>T</sub> pour un local, sont données par:

$$D_T = D_s + D_{Li} + D_{SOL} + D_{LNC} \quad (\text{W/°C})$$

$$D_s = K_{\text{MURS}} \times A_{\text{MURS}} + K_{\text{VIT}} \times A_{\text{VIT}} + K_{\text{PORT}} \times A_{\text{PORT}} + A_{\text{TERRASSE}} \times K_{\text{TERRASSE}}$$

	Murs	Portes	Vitres	Toiture
Surface	164.26	3	8.74	1329.3
K (w/m.°C)	0,722	4,5	1,94	0,8

**Tableau II.39**

$$\Rightarrow D_s = (164.26 \times 0.722) + (3 \times 4.5) + (8.74 \times 1.94) + (1329.3 \times 0.8)$$

$$= 1212.49 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow D_{\text{LIN}} = 0,2 \times D_s = 242.49 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow D_{\text{SOL}} = 0$$

a) Calcul de la déperdition a paroi en contact avec un local non chauffé:

$$S_{\text{ESCALIER}} = 9 \times 4.2 = 37.8 \text{ m}^2$$

$S_{\text{WC F1}}$  :

$$S_{\text{FENETRE}} = 0.5 \times 0.5 = 0.25 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{PORTE}} = 0.65 \times 2 = 1.3 \text{ m}^2$$

$$S = 3 \times 4.20 = 12.6 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{MUR}} = 12.6 - (0.25 + 1.3) = 11.05 \text{ m}^2$$

$S_{\text{WC F2}}$  :

$$S = 5.7 \times 3 = 17.1 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{MUR}} = 17.1 - (0.25 + 1.3) = 15.55 \text{ m}^2$$

$$D_{\text{LNC}} = \sum (K \times A).$$

$$D_{\text{LNC}} = 0.5 \times (11.05 + 15.55 + 37.8) = 32.02 \text{ [W/}^\circ\text{C]}.$$

$$\Rightarrow D_{\text{LNC}} = 32.02 \text{ [ W/}^\circ\text{C]}.$$

$$\text{Alors : } D_{\text{T}} = D_{\text{S}} + 0,2 D_{\text{S}} + D_{\text{LNC}} = 1,2 D_{\text{S}} + D_{\text{LNC}}$$

$$D_{\text{T}} = 1,2(1212.49) + 32.02 = 1487 \text{ [W/}^\circ\text{C]}.$$

✓ **Vérification :**

$$D_{\text{T}} = 1487 \text{ W/}^\circ\text{C} < 1,05 D_{\text{REF}} = 1794.62 \text{ W/}^\circ\text{C}.$$

✓ **Donc la condition réglementaire dans ce logement est vérifiée pour la variante A.**

➤ **VARIANTE « B » :**

$$D_{\text{T}} = D_{\text{S}} + D_{\text{LI}} + D_{\text{SOL}} + D_{\text{LNC}} \quad (\text{W/}^\circ\text{C})$$

1) Pour  $D_s$  on a :

	Murs	Portes	Vitres	Toiture
Surface	164.26	3	8.74	1329.3
K (w/m.°C)	0,5	4,5	1,94	0,8

**Tableau II.40**

$$\Rightarrow D_s = 1176.02 \text{ [W/°C]}.$$

2) Pour  $D_{LIN}$  on a :

$$\Rightarrow D_{LIN} = 0,2 \times D_s = 235.20 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow D_{SOL} = 0$$

3) Pour  $D_{LNC}$  :

$$\Rightarrow D_{LNC} = 0,5 \times (11.05 + 15.55 + 37.8) = 32.02 \text{ [W/°C]}.$$

$$\text{Alors : } D_T = D_s + 0,2 D_s + D_{LNC} = 1,2 D_s + D_{LNC}$$

$$D_T = 1,2(1176.02) + 32.02 = 1443.24 \text{ [W/°C]}.$$

✓ **Vérification :**

$$D_T = 1443.24 \text{ W/°C} < 1,05 D_{REF} = 1794.62 \text{ W/°C}.$$

✓ **Pour la variante B la condition réglementaire est vérifiée.**

➤ **VARIANTE « C »:**

$$D_T = D_s + D_{LI} + D_{SOL} + D_{LNC} \text{ (W/°C)}$$

	Murs	Portes	Vitres	Toiture
Surface	164.26	3	8.74	1329.3
K (w/m.°C)	1	4,5	1,94	0,8

**Tableau II.41**

$$\Rightarrow D_s = 1258.15 \text{ [W/°C]}.$$

4) Pour  $D_{LIN}$  on a :

$$\Rightarrow D_{LIN} = 0,2 \times D_s = 251.63 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow D_{SOL} = 0$$

5) Pour  $D_{LNC}$  :

$$D_{LNC} = 0,5 \times (11.05 + 15.55 + 37.8) = 32.02 \text{ [W/}^\circ\text{C]}.$$

$$\text{Alors : } D_T = D_S + 0,2 D_S + D_{LNC} = 1,2 D_S + D_{LNC}$$

$$D_T = 1,2(1258.15) + 32.02 = 1541.8 \text{ [W/}^\circ\text{C]}.$$

✓ **Vérification :**

$$D_T = 1541.8 \text{ W/}^\circ\text{C} < 1,05 D_{REF} = 1794.62 \text{ W/}^\circ\text{C}.$$

✓ **Pour la variante C la condition réglementaire est aussi vérifiée.**

Variante	DT (W/°C)	1.05×D <sub>REF</sub>	Vérification
A	1487	1794.62	Vérifié
B	1443.24	1794.62	Vérifié
C	1541.8	1794.62	Vérifié

**Tableau II.42 :** Vérification des déperditions par transmission DT.

Les déperditions par renouvellement d'air sont données par la formule suivant:

$$D_R = 0.34 \times (Q_V + Q_S) \quad (\text{W/}^\circ\text{C}).$$

$$V_h = 63.3 \times 21 \times 4 = 5317.2 \text{ m}^3 \Rightarrow 0.6 \times V_h = 3190.32 \text{ m}^3$$

$$Q_{v\text{réf}} = (5 \times Q_{v\text{min}} + Q_{v\text{max}}) / 6 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

$$Q_{v\text{min}} = 100 \text{ m}^3\text{/h (Nombre des pièces principales) (annexe 6)}$$

$$Q_{v\text{max}} = 120 \text{ m}^3\text{/h (annexe 7) } \Rightarrow Q_{v\text{réf}} = 103,33$$

$$Q_V = \text{Max} [0.6 \times V_h; Q_{v\text{réf}}] = 3190.32 \text{ (m}^3\text{/h)}.$$

Les ouvertures vers l'extérieur ou un L.N.C:

Parois	Aj	evi	Hi[m]	Poj[m/h]	Ppi	Qsi
Porte vers l'extérieur	3	4,8	18	8.74	26.22	125.85
Porte vers LNC	3	4,8	18	6	18	86.4
	8.74	4,8	18,1		52.44	251.71

Tableau II.43

$$Q_s = \Sigma (P_{pi} \times e_{vi}) = 463.96 \text{ (m}^3/\text{h)}.$$

$$Q_{si} = 463.96 \text{ [m}^3/\text{h]}$$

$$D_R = 0.34 \times (Q_v + Q_s) \text{ (W/}^\circ\text{C)}$$

$$D_R = 0.34 \times (3190.32 + 463.96) = 1242.45 \text{ (W/}^\circ\text{C)}.$$

Les déperditions de base pour un volume thermique( $D_B$ ) i ont pour expression :

$$(D_B)_i = D_i \times (t_{bi} - t_{be}) \text{ [W]}$$

Dans notre cas on a :

$$\left. \begin{array}{l} t_{bi} = 21^\circ\text{C} \\ t_{be} = 6^\circ\text{C} \end{array} \right\} \Rightarrow (D_B)_i = 15 \times D_i; \text{ [W]}$$

$$D_i = D_T + D_R$$

Variante	$D_T$	$D_R$	$D_i$ [W]	$D_B$ [W]
A	1487	1242.45	2729.45	40941.75
B	1443.24	1242.45	2685.69	40285.35
C	1541.8	1242.45	2784.25	41763.75

Tableau II.44 : résultats des déperditions de base pour chaque variante.

b) La puissance de chauffage Q nécessaire pour un logement est donnée par :

$$Q = [t_{bi} - t_{be}] \times [[1 + \text{Max} (Cr ; Cin)] D_T] + [(1 + Cr) \times D_R] \quad [W]$$

On a  $\left\{ \begin{array}{l} t_{bi} = 21^\circ\text{C} \\ t_{be} = 6^\circ\text{C} \end{array} \right.$

$$\left\{ \begin{array}{l} Cin = 0,15 \\ Cr = 0,10 \end{array} \right.$$

$$Q = [t_{bi} - t_{be}] \times [[1 + \text{Max} (Cr ; Cin)] D_T] + [(1 + Cr) \times D_R]$$

$$\Rightarrow Q = 17,25 \times D_T + 1.10 \times D_R \quad [W].$$

Variante	D <sub>T</sub> [W]	D <sub>R</sub> [W]	Q [W]	D <sub>B</sub> [W]
A	1487	1242.45	27017.44	40941.75
B	1443.24	1242.45	26262.58	40285.35
C	1541.8	1242.45	27962.74	41763.75

Tableau II.45

**3.6. Calcul classe :**

$$S_1 = A_{TERRASSE} = 63.3 \times 21 = 1329.3 \text{ m}^2$$

$$S_2 = A_{PLANCHER \text{ BAS}} = 0 \text{ m}^2$$

S<sub>CLASSE</sub> :

$$S = 9 \times 6.01 = 54.09 \text{ m}^2$$

$$S_3 = A_{MUR} = 54.09 - (8.74 + 3) = 42.35 \text{ m}^2$$

$$S_4 = A_{PORTE} = 1.5 \times 2 = 3 \text{ m}^2$$

$$S_5 = A_{FENETRE} = 3.8 \times 2.3 = 8.74 \text{ m}^2$$

Désignation	La toiture	Plancher bas	Les murs	Les portes	Les fenêtres
Surfaces	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
Valeurs (m <sup>2</sup> )	1329.3	0	42.35	3	8.74

**Tableau II.46**

$$\begin{aligned} \text{Dréf} &= (1329.3 \times 1.10) + 0 + (42.35 \times 1.2) + (3 \times 3.5) + (8.74 \times 4.5) \\ &= 1562.88 \text{ [W/°C]}. \end{aligned}$$

$$\Rightarrow 1.05 \text{ Dréf} = 1.05 \times 1562.88 = 1641.02 \text{ [W/°C]}.$$

➤ **VARIANTE « A »**

Les déperditions par transmission D<sub>T</sub> pour un local, sont données par:

$$D_T = D_s + D_{Li} + D_{SOL} + D_{LNC} \quad (\text{W/°C}).$$

$$D_s = K_{MURS} \times A_{MURS} + K_{VIT} \times A_{VIT} + K_{PORT} \times A_{PORT} + A_{TERRASSE} \times K_{TERRASSE}$$

	Murs	Portes	Vitres	Toiture
Surface	42.35	3	8.74	1329.3
K (w/m.°C)	0,722	4,5	1,94	0,8

**Tableau II.47**

$$\begin{aligned} \Rightarrow D_s &= (42.35 \times 0.722) + (3 \times 4.5) + (8.74 \times 1.94) + (1329.3 \times 0.8) \\ &= 1124.47 \text{ [W/°C]}. \end{aligned}$$

$$\Rightarrow D_{LIN} = 0,2 \times D_s = 224.89 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow D_{SOL} = 0$$

a) Calcul de la déperdition a paroi en contact avec un local non chauffé:

$$S_{ESCALIER} = 9 \times 4.2 = 37.8 \text{ m}^2$$

$$S_{WC\ FI} :$$

$$S_{FENETRE} = 0.5 \times 0.5 = 0.25 \text{ m}^2$$

$$S_{PORTE} = 0.65 \times 2 = 1.3 \text{ m}^2$$

$$S = 3 \times 4.20 = 12.6 \text{ m}^2$$

$$S_{MUR} = 12.6 - (0.25 + 1.3) = 11.05 \text{ m}^2$$

$S_{WC F2}$  :

$$S = 5.7 \times 3 = 17.1 \text{ m}^2$$

$$S_{MUR} = 17.1 - (0.25 + 1.3) = 15.55 \text{ m}^2$$

$$D_{LNC} = \sum (K \times A).$$

$$D_{LNC} = 0.5 \times (11.05 + 15.55 + 37.8) = 32.02 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow DLNC = 32.02 \text{ [ W/°C]}.$$

Alors :  $D_T = D_S + 0,2 D_S + D_{LNC} = 1,2 D_S + D_{LNC}$

$$D_T = 1,2(1124.47) + 32.02 = 1381.38 \text{ [W/°C]}.$$

✓ **Vérification :**

$$D_T = 1381.38 \text{ W/°C} < 1,05 D_{REF} = 1641.02 \text{ W/°C}.$$

✓ **Donc la condition réglementaire dans ce logement est vérifiée pour la variante A.**

➤ **VARIANTE « B » :**

$$D_T = D_s + D_{LI} + D_{SOL} + D_{LNC} \quad (\text{W/°C})$$

1) Pour  $D_s$  on a :

	Murs	Portes	Vitres	Toiture
Surface	42.35	3	8.74	1329.3
K (w/m.°C)	0,5	4,5	1,94	0,8

**Tableau II.48**

$$\Rightarrow D_s = 1115.07 \text{ [W/°C]}.$$

2) Pour  $D_{LIN}$  on a :

$$\Rightarrow D_{LIN} = 0,2 \times D_s = 223.01 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow D_{SOL} = 0$$

3) Pour  $D_{LNC}$  :

$$\Rightarrow D_{LNC} = 0,5 \times (11.05 + 15.55 + 37.8) = 32.02 \text{ [ W/°C]}.$$

$$\text{Alors : } D_T = D_s + 0,2 D_s + D_{LNC} = 1,2 D_s + D_{LNC}$$

$$D_T = 1,2(1115.07) + 32.02 = 1370.1 \text{ [W/°C]}.$$

✓ **Vérification :**

$$D_T = 1370.1 \text{ W/°C} < 1,05 D_{REF} = 1641.02 \text{ W/°C}.$$

✓ **Pour la variante B la condition réglementaire est vérifiée.**

➤ **VARIANTE « C »:**

$$D_T = D_s + D_{LI} + D_{SOL} + D_{LNC} \text{ (W/°C)}$$

	Murs	Portes	Vitres	Toiture
Surface	42.35	3	8.74	1329.3
K (w/m.°C)	1	4,5	1,94	0,8

**Tableau II.49**

$$\Rightarrow D_s = 1136.24 \text{ [W/°C]}.$$

4) Pour  $D_{LIN}$  on a :

$$\Rightarrow D_{LIN} = 0,2 \times D_s = 227.24 \text{ [W/°C]}.$$

$$\Rightarrow D_{SOL} = 0$$

5) Pour  $D_{LNC}$  :

$$D_{LNC} = 0,5 \times (11.05 + 15.55 + 37.8) = 32.02 \text{ [W/°C]}.$$

$$\text{Alors : } D_T = D_s + 0,2 D_s + D_{LNC} = 1,2 D_s + D_{LNC}$$

$$D_T = 1,2(1136.24) + 32.02 = 1395.5 \text{ [W/°C]}.$$

✓ **Vérification :**

$$D_T = 1395.5 \text{ W/}^\circ\text{C} < 1,05 D_{REF} = 1641.02 \text{ W/}^\circ\text{C}.$$

✓ **Pour la variante C la condition réglementaire est aussi vérifiée.**

Variante	DT (W/°C)	1.05×D <sub>REF</sub>	Vérification
A	1381.38	1641.02	Vérifié
B	1370.10	1641.02	Vérifié
C	1395.50	1641.02	Vérifié

**Tableau II.50 :** Vérification des déperditions par transmission DT.

Les déperditions par renouvellement d'air sont données par la formule suivant:

$$D_R = 0.34 \times (Q_v + Q_s) \quad (\text{W/}^\circ\text{C})$$

$$V_h = 63.3 \times 21 \times 4 = 5317.2 \text{ m}^3 \Rightarrow 0.6 \times V_h = 3190.32 \text{ m}^3$$

$$Q_{v\text{réf}} = (5 \times Q_{v\text{min}} + Q_{v\text{max}}) / 6 \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$$Q_{v\text{min}} = 100 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (Nombre des pièces principales) (annexe 6)}$$

$$Q_{v\text{max}} = 120 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (annexe 7)} \Rightarrow Q_{v\text{réf}} = 103,33$$

$$Q_v = \text{Max} [0.6 \times V_h; Q_{v\text{réf}}] = 3190.32 \text{ (m}^3/\text{h)}.$$

Les ouvertures vers l'extérieur ou un L.N.C:

Parois	Aj	evi	Hi[m]	Poj[m/h]	Ppi	Qsi
<b>Porte vers l'extérieur</b>	3	4,8	18	8.74	26.22	125.85
<b>Porte vers LNC</b>	8.74	4,8	18,1	6	18	86.4
					52.44	251.71

**Tableau II.51**

$$Q_s = \Sigma (P_{pi} \times e_{vi}) = 463.96 \text{ (m}^3/\text{h)}.$$

$$Q_{si} = 463.96 \text{ [m}^3/\text{h]}$$

$$D_R = 0.34 \times (Q_v + Q_s) \text{ (W/}^\circ\text{C)}$$

$$D_R = 0.34 \times (3190.32 + 463.96) = 1242.45 \text{ (W/}^\circ\text{C)}.$$

Les déperditions de base pour un volume thermique ( $D_B$ ) i ont pour expression :

$$(D_B)_i = D_i \times (t_{bi} - t_{be}) \text{ [W]}.$$

Dans notre cas on a :

$$\left. \begin{array}{l} t_{bi} = 21^\circ\text{C} \\ t_{be} = 6^\circ\text{C} \end{array} \right\} \Rightarrow (D_B)_i = 15 \times D_i; \text{ [W]}$$

$$D_i = D_T + D_R$$

Variante	$D_T$	$D_R$	$D_i$ [W]	$D_B$ [W]
A	1381.38	1242.45	2623.83	39357.45
B	1370.10	1242.45	2612.55	39188.25
C	1395.50	1242.45	2637.95	39569.25

**Tableau II.52 :** résultats des déperditions de base pour chaque variante.

b) La puissance de chauffage Q nécessaire pour un logement est donnée par :

$$Q = [t_{bi} - t_{be}] \times [[1 + \text{Max} (Cr ; Cin)] D_T] + [(1 + Cr) \times D_R] \text{ [W]}$$

On a

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{bi} = 21^\circ\text{C} \\ t_{be} = 6^\circ\text{C} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Cin = 0,15 \\ Cr = 0,10 \end{array} \right.$$

$$Q = [t_{bi} - t_{be}] \times [[1 + \text{Max} (Cr ; Cin)] D_T] + [(1 + Cr) \times D_R]$$

$$\Rightarrow Q = 17,25 \times D_T + 1.10 \times D_R \text{ [W]}.$$

Variante	$D_T$ [W]	$D_R$ [W]	Q [W]	$D_B$ [W]
A	1381.38	1242.45	25195.50	39357.45
B	1370.10	1242.45	25000.92	39188.25
C	1395.50	1242.45	25439.07	39569.25

**Tableau II.53**

Après avoir fait une comparaison entre les variantes on peut dire que la variante B donne la meilleure isolation thermique par rapport aux deux autres. C'est-à-dire que les constituants de cette variante ont des caractéristiques thermiques qui permettent de minimiser les déperditions calorifiques, et donc d'économiser l'énergie de chauffage.

D'après cette étude et les résultats calculés, on a vu l'intérêt de faire une étude thermique, pour des variantes de murs, ceci pour économiser les besoins de chauffage.

### III.CONCLUSION

Le bâtiment sur lequel on a réalisé notre étude optimisation thermique c'est à hangar en charpente métallique (laboratoire de Génie civil) réhabiliter en un bâtiment R+2.

Dans la réalisation de ce projet on a remarqué l'intérêt de faire une étude thermique.

« B » associant (briques creuse et polystyrène expansé), pour les murs de remplissage donne une isolation thermique importante. Elle minimise les déperditions calorifiques ; et permet donc d'économiser l'énergie de chauffage.

Dans ce projet. L'étude d'optimisation est faite uniquement sur les mur.il reste encore à faire une étude thermique détaillée puisqu'elle influence les objectifs qu'on a fixés ; qui sont le confort des occupants et l'économie de l'énergie de chauffage. Cette étude détaillée doit porter sur l'optimisation de des autres paramètres intervenant dans l'isolation thermique telle que l'isolation des toitures, menuiseries, ect .....

# BIBLIOGRAPHIE

## LES LIVRES

- **André bonhomme.**isolation thermique des batiments.
- **Anah a élargi.2013.**le programme Habiter mieux de l'Agence nationale de l'habitat.
- **Bati-actu & AFP.2013.** Rénovation thermique : 75 000 emplois pourraient être créés dans le bâtiment.
- **Eugene dimitriu-valacea.1986.**isolation thermique des constructions en algérie, p.1.
- **L'Ademe rend son avis.2011.** Isolants minces.
- **Manfred Hegger., Volker Auch-Schwelk., Matthias Fuchs.2009.** Construire: atlas des matériaux. PPUR Presses polytechniques.
- **Philippe Samyn., Pierre Loze. ; Devenir moderne. 1999.** entretiens sur l'art de construire. Éditions Mardaga.
- **Sophie Fabrégeat., Actu-Environnement.2013.**Rénovation thermique : le nombre de ménages éligibles aux aides de l'Anah est doubléEnergies.
- **Thierry Gallauziaux., David Fedullo.2009.** Le grand livre de l'isolation, Eyrolles, (ISBN 978-2-212-12404-0), p. 34.

## Logiciels

- [1] : Auto CAD 2009
- [2] : Word 2007
- [3] : Paint

## Les sites

- [1] : <https://phare.ac-rennes.fr/.../D-%20Les%20déperditions%20thermiques.p...>
- [2] : [www.acr-regulation.com/lexique/optimisation-thermique.](http://www.acr-regulation.com/lexique/optimisation-thermique)
- [3] : [www.xpair.com/lexique/definition/confort\\_thermique.htm.](http://www.xpair.com/lexique/definition/confort_thermique.htm)
- [4] : [www.climamaison.com/lexique/isolant-thermique.htm.](http://www.climamaison.com/lexique/isolant-thermique.htm)
- [5] : [www.energieplus-lesite.be](http://www.energieplus-lesite.be) › Menu principal › Théories › Le confort.
- [6] : [fr.wikipedia.org/wiki/Isolation\\_thermique.](http://fr.wikipedia.org/wiki/Isolation_thermique)
- [7] : [fr.wikipedia.org/wiki/Isolant\\_thermique.](http://fr.wikipedia.org/wiki/Isolant_thermique)

**Annexe 1 : Coefficient de conductance K pour le plancher étage vers l'extérieur.**

Eléments constitutifs	Epaisseur	Conductivité	Résistance thermique
	e[m]	Thermique $\lambda$ [W/m. °C]	R [m °C/W]
Protection en gravillon	0.05	1,20	0.041
Roulés			
Etanchéité multicouches	0.02	0.23	0.087
Béton de pente	0.1	1,75	0.057
Polystyrène expansé	0.04	0,046	0.87
Dalle en béton arme	0.1	1,75	0.057
TN40	-	52	0
Faux plafond	0,02	0,35	0.057
Résistance d'échange	-	-	0.14
Superficiel			
			$\Sigma R=1,252[m^2. °C/W]$

$$K = 0,8 \text{ [W/m. °C]}$$

Les variantes choisissent pour les murs de remplissages :

**Annexe 2 : LA VARIANTE « A ».**

Eléments constitutifs	Epaisseur e [m]	Conductivité thermique $\lambda$ [W/m. °C]	Résistance thermique
			R [m <sup>2</sup> . °C/W]
Mortier	0.02	1.15	0.017
Brique	0.10	0.20	0.500
Lame d'air	0.05	-	0.11
Brique	0.10	0.20	0.500
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.087
Résistance d'échange superficiel	-	-	0.170
			$\Sigma R=1.384 [m^2. °C/W]$

$$K = 0,722 \text{ [W/m. °C]}$$

### Annexe 3 : LA VARIANTE « B ».

Éléments constitutifs	Epaisseur e [m]	Conductivité thermique $\lambda$ [W/m. °C]	Résistance thermique R [m <sup>2</sup> . °C/W]
Mortier	0.02	1.15	0.017
Brique	0.10	0.20	0.500
polystyrène expansé	0.05	0,046	1.087
Carreaux de plâtre	0.07	0.35	0.200
Résistance d'échange superficiel	-	-	0.170
			$\Sigma R=1,974$ [m <sup>2</sup> . °C/W]

$$K = 0,5 \text{ [W/m. °C]}$$

### Annexe 4 : LA VARIANTE « C ».

Éléments constitutifs	Epaisseur e [m]	Conductivité thermique $\lambda$ [W/m. °C]	Résistance thermique R [m <sup>2</sup> . °C/W]
Parpaing	0.15	1,05	0,143
Polystyrène expansé	0.03	0,046	0,652
Plaque de plâtre	0.013	0.35	0.037
Résistance d'échange superficiel	-	-	0.170
			$\Sigma R=1,00$ [m <sup>2</sup> . °C/W]

$$K = 1 \text{ [W/m. °C]}$$

**Annexe 5 :** Le projet est implantée à Guelma (zone climatique A).

Zone	A	b	C	D	E
A	1,10	2,40	1,20	3,50	4,50

**Annexe 6 :** Les valeurs du débit extrait minimal de référence  $Q_{vmin}$ , en fonction du nombre de pièces principales du logement.

Nombre de pièces principales	1	2	3	4	5	> 5
$Q_{vmin}$ (en $m^3/h$ )	25	50	75	100	110	On ajoute 10 $m^3/h$ par pièce supplémentaire

**Annexe 7:**Le débit extrait maximal de référence  $Q_{vmax}$  est la somme des débits extraits de chaque pièce de service du logement.

Nombre de pièces principales par logement	$Q_{vmax}$ (en $m^3/h$ )			
	Cuisine	Salle de bains	Autre salle d'eau	Cabinet d'aisance
1	75	15	15	15
2	90	15	15	15
3	105	30	15	15
4	120	30	15	30
5 et plus	135	30	15	30