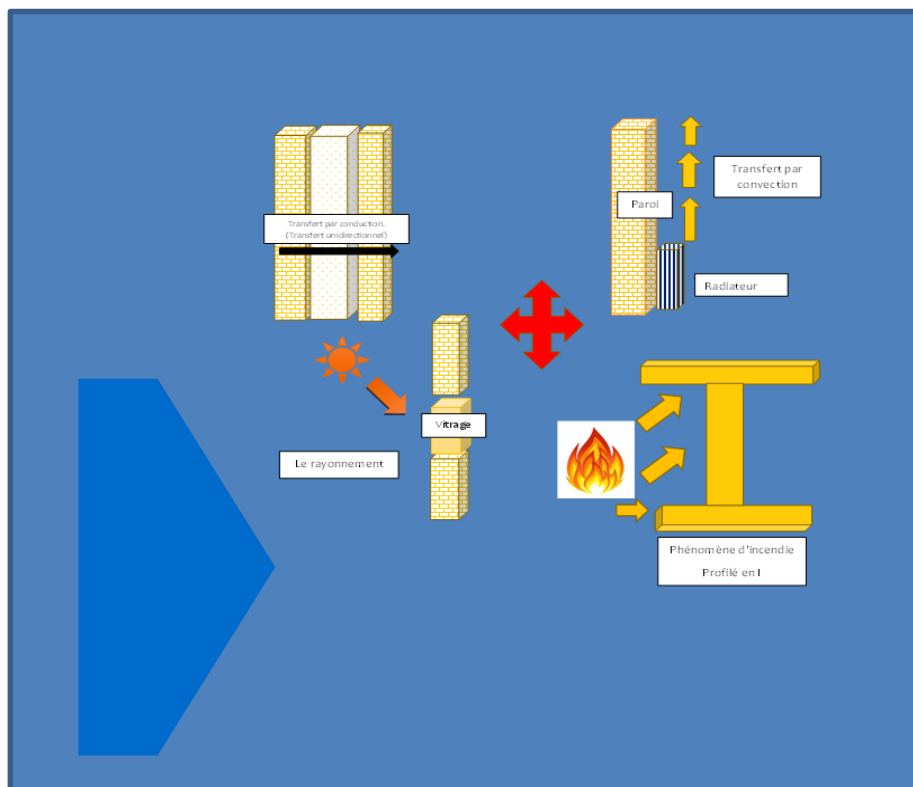




## Thermique du Bâtiment. Polycopié



## **PREFACE**

Le cours de la thermique permet aux ingénieurs d'aboutir à un choix judicieux des matériaux qui auront pour but soit d'isoler un élément structural, apporter du confort à l'intérieur d'un local ou de créer un refroidissement de ce dernier dans un but bien précis envisagé par l'usage de l'habitat.

Néanmoins afin d'acquérir le bon choix et de permettre tout à la fois d'alléger la structure, un gain de temps et le respect environnemental qui pourront avoir un impact sur notre vie.

## Table des matières

PREFACE.....	i
Table des matières .....	i
I. Introduction.....	1
II. PARTIE I: NOTION SUR LA THERMIQUE DU BÂTIMENT .....	2
I. But de la thermique.....	2
II. Disposition architecturale .....	3
III. Le confort thermique .....	4
IV. L'efficacité énergétique .....	5
V. L'enveloppe du bâtiment .....	6
VI. Mode de transfert de la chaleur.....	7
VII. Les déperditions thermiques .....	8
VIII. Les apports d'énergie sur l'enveloppe du bâtiment .....	9
Les apports intérieurs .....	10
Les apports extérieurs .....	10
IX. Les ponts thermiques .....	10
X. L'isolation thermique .....	11
L'isolation intérieure .....	12
L'isolation extérieure.....	13
XI. Les joints de dilatation et l'isolation thermique.....	14
XII. L'évaluation des déperditions thermiques .....	16
La méthode de calcul réglementaire .....	16
La méthode de thermographie infrarouge.....	17
La méthode de mesure des flux de chaleur.....	17
La méthode de simulation thermique dynamique.....	17
XIII. Le bilan thermique.....	18
XIV. Document Technique Réglementaire Algérien.....	19
XV. Déperditions d'une enveloppe :(Organigramme).....	20
XVI. Le logiciel RETA V2.0 .....	21
XVII. Structure et étapes de calcul par le RETA V2.0: .....	22
XVIII. Le flux thermique .....	22

XIX.	Flux de chaleur .....	23
XX.	Résistance thermique.....	23
	<b>Résistance thermique d'une couche homogène .....</b>	<b>23</b>
XXI.	Inertie thermique .....	24
XXII.	Eléments de thermique de bâtiment .....	25
XXIII.	Dynamique des bâtiments.....	25
XXIV.	Propriétés physiques des matériaux .....	26
XXV.	IMPACT ENERGETIQUE DE DIVERSES MESURES D'AMELIORATIONS .....	27
XXVI.	Conclusion.....	28
III.	<b>PARTIE II : TRANSFERT DE CHALEUR PAR CONDUCTION.....</b>	<b>29</b>
XXVII.	Les trois modes de transfert de chaleur.....	29
XXVIII.	1-La conduction.....	30
XXIX.	La convection .....	36
	<b>Convection forcée.....</b>	<b>37</b>
	<b>Ecoulement sur un plan .....</b>	<b>37</b>
	<b>Ecoulement turbulent .....</b>	<b>37</b>
	<b>Ecoulement laminaire .....</b>	<b>37</b>
	<b>Ecoulement dans un tube :.....</b>	<b>38</b>
XXX.	Le rayonnement .....	40
	<i>Introduction.....</i>	<i>46</i>
	<i>Présentation du projet.....</i>	<i>46</i>
	<i>Implantation.....</i>	<i>46</i>
	<i>Données architecturales de la maison .....</i>	<i>46</i>
	<i>Données géographiques de la maison.....</i>	<i>47</i>
	<i>L'orientation .....</i>	<i>47</i>
	<i>Le climat de Tlemcen .....</i>	<i>47</i>
	<b>Solution 01 : Isolation des parois avec le brique et mortier en PEHD.....</b>	<b>51</b>
	<i>Résultat.....</i>	<i>52</i>
	<b>Solution 2 : Isolation du plancher avec polystyrène expansé et mortier en PEHD .....</b>	<b>53</b>

<i>Résultats</i> .....	53
<b>Efficacité des solutions proposées</b> .....	54
<i>Discussion des résultats</i> .....	55
IV. Conclusion .....	56
V. Référence .....	57
VI.....	58
VII. À propos de l’auteur.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## Nomenclature :

$\frac{\partial T}{\partial t}$  : Le gradient de température

$\phi$  : la densité du flux

$\Phi_{\text{cond}}$  : flux conductif

$\Phi_{\text{conv}}$  : flux convectif

$\Phi_{\text{ray}}$  : flux de rayonnement

$\Phi_{\text{tot}}$  : flux total

$P$  : source interne

$a$  : étant diffusivité thermique

$\lambda$  : conductivité thermique (W/m.°C)

$\sigma$  : constante de Stephan –Boltzmann

$R$  : résistance thermique

$K$  : coefficient de transmission thermique

$C_p$  : chaleur massique

$\rho$  : masse volumique du matériau

$P$  : masse volumique du matériau

$Re$  : nombre de Reynolds

$Pr$  : nombre de Prandtl

$\mu$  : vitesse cinématique du liquide

$F$  : Coefficient de forme (m)

## I. Introduction

La consommation énergétique dans le bâtiment offre une nouvelle alternative aux concepteurs du bâtiment à ériger des structures obéissant à la fois aux critères techniques et au confort thermique

La question énergétique est devenue un champ d'investigation des scientifiques et de la population, pour y remédier plusieurs facteurs ont un impact sur lesquels nous portons notre intérêt.

Afin de réduire la consommation mondiale des énergies fossiles la tendance actuelle dans la conception environnementale est l'insertion d'une nouvelle technologie éco-responsable.

Cette science est influencée par plusieurs paramètres dont : la forme de la construction, le choix des matériaux, sa position par rapport au plan de masse et son orientation

Un des premiers objectifs est de pouvoir interpréter les transferts thermiques dans la matière à l'échelle microscopique, exploiter la relation entre le flux thermique à travers une paroi plane et l'écart de température entre ses deux faces.

Lors de la construction ou de la rénovation d'une maison, il est important de ne pas oublier que l'air a besoin de continuer à circuler. L'idée de limiter la consommation d'énergie (chauffage principalement), il est donc courant de chercher à rendre la maison étanche. Ainsi, l'air ne circule plus et doit se renouveler. C'est à ce moment-là que les problèmes apparaissent car les simples activités humaines (cuisiner, machine à laver, ordinateur climatisé, ...) produisent des déperditions.

Étanchéifier une bâtisse (isolation, changement d' huisseries, ...), en mettant en place un système de ventilation efficace est source de gros problèmes d'humidité et de pollution de l'air intérieur. Par ailleurs en tenant compte de certaines pathologies de construction et éventuellement celles qui sont déclenchées par les murs de cave ne sont conçus à être pas protégés de l'humidité extérieure. La température et le taux d'humidité (hygrométrie) sont généralement créent des problèmes dans la microstructure des matériaux et paradoxalement régule naturellement via une ventilation naturelle, d'où l'importance de ne pas l'obstruer.

Afin d'acquérir un acquis du comportement structural à l'échelle microscopique et macroscopique, ce polycopié sera un support pour toutes les spécialités afin de mieux concevoir une structure

## **II. PARTIE I: NOTION SUR LA THERMIQUE DU BÂTIMENT**

### **I. But de la thermique**

Le but de la thermique du bâtiment, également connue sous le nom de performance thermique du bâtiment, est d'optimiser la gestion de la chaleur à l'intérieur d'un bâtiment afin de créer un environnement intérieur confortable tout en minimisant la consommation d'énergie. Plus précisément, les objectifs de la thermique du bâtiment sont les suivants :

1. Confort des occupants : Assurer un environnement intérieur qui est agréable et sain pour les occupants en maintenant des températures adéquates et en évitant les variations de température inconfortables.

2. Efficacité énergétique : Réduire la consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation en minimisant les pertes de chaleur en hiver et les gains de chaleur en été.

3. Durabilité : Contribuer à la durabilité environnementale en réduisant l'empreinte carbone des bâtiments grâce à une utilisation plus efficace de l'énergie.

4. Conformité réglementaire : Respecter les réglementations et les normes locales, nationales et internationales en matière d'efficacité énergétique et de performance thermique.

5. Santé et bien-être : Promouvoir la santé et le bien-être des occupants en veillant à ce que la qualité de l'air intérieur soit maintenue à des niveaux acceptables et en évitant les problèmes liés à l'humidité, à la condensation et à la moisissure.

6. Réduction des coûts : Réduire les coûts de chauffage, de refroidissement et d'exploitation des systèmes mécaniques grâce à une conception thermique efficace.

7. Adaptation au climat : Concevoir des bâtiments qui sont adaptés au climat local, en prenant en compte les variations saisonnières et les conditions climatiques extrêmes.

Pour atteindre ces objectifs, la thermique du bâtiment implique une conception architecturale soignée, l'utilisation de matériaux d'isolation de haute qualité, la mise en œuvre de systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation efficaces, ainsi que l'intégration de technologies modernes, telles que la modélisation thermique, pour optimiser la performance thermique. Elle repose également sur une compréhension approfondie des principes de la science de la thermique, de la conduction de la chaleur, de la convection, de la radiation, de



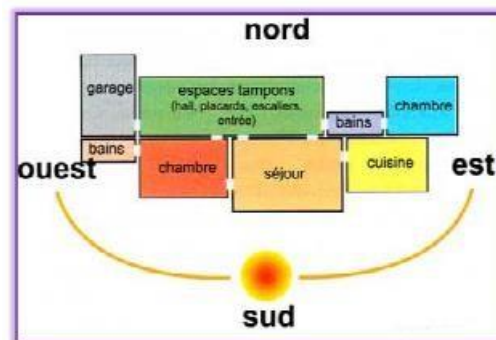
l'humidité, de la ventilation, et d'autres facteurs qui influent sur le comportement thermique d'un bâtiment.

## II. Disposition architecturale

La disposition architecturale d'un bâtiment est bien plus qu'une simple question d'esthétique. Elle joue un rôle essentiel dans la création d'un environnement intérieur confortable et économe en énergie. Lorsqu'il s'agit de maximiser le confort thermique d'un bâtiment, la manière dont il est conçu et agencé revêt une importance cruciale. Dans cet article, nous examinerons les principes clés de la disposition architecturale pour atteindre un confort thermique optimal.

### 1. Orientation Stratégique

L'orientation du bâtiment par rapport au soleil est l'un des facteurs les plus fondamentaux à prendre en compte. Dans les régions à climat froid, une orientation vers le sud peut permettre de capter la chaleur solaire en hiver, tandis que dans les régions chaudes, une orientation qui limite l'exposition directe au soleil peut réduire la surchauffe estivale.



L'orientation des espaces Source : (ADEME)

### 2. Isolation Thermique de Haute Qualité

L'isolation thermique efficace est essentielle pour minimiser les pertes de chaleur en hiver et les gains de chaleur en été. L'utilisation de matériaux d'isolation de haute qualité pour les murs, le toit et les planchers est une pratique courante.

### 3. Protection Solaire Réfléchie

L'intégration de dispositifs de protection solaire, tels que des auvents, des stores ou des volets, peut aider à bloquer le soleil direct en été tout en laissant entrer la lumière naturelle en hiver. Cette approche contribue à maintenir une température intérieure confortable tout au long de l'année.

### 4. Ventilation Naturelle Bien Conçue

Une ventilation adéquate est essentielle pour évacuer la chaleur excessive et maintenir un environnement frais en été. La disposition architecturale doit permettre une circulation d'air naturelle grâce à des ouvertures stratégiques et à une conception bien pensée.



**Un vitrage, l'aération et l'éclairage d'un local**

### **5. Masse Thermique pour la Stabilité**

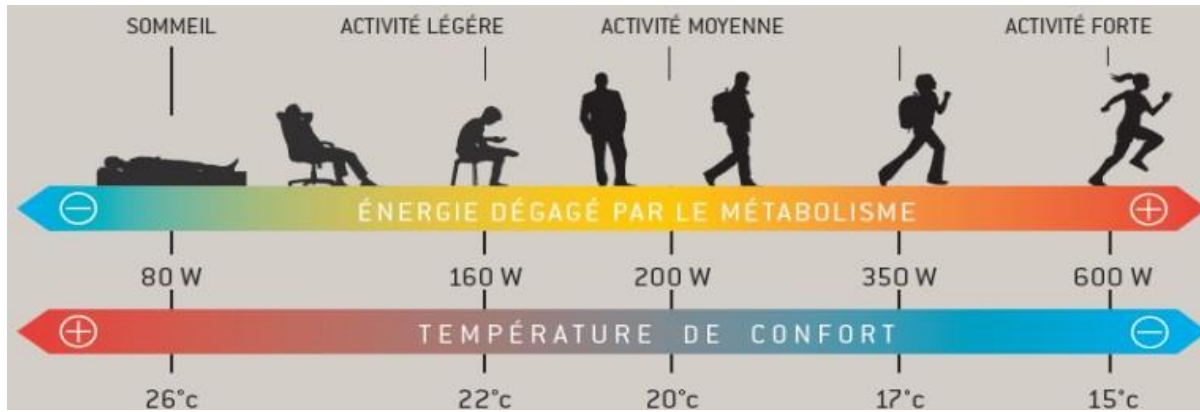
L'utilisation de matériaux à forte capacité thermique, tels que la brique, le béton ou la pierre, à l'intérieur du bâtiment peut contribuer à stabiliser la température intérieure en absorbant la chaleur pendant la journée et en la restituant progressivement la nuit.

### **Conclusion**

La disposition architecturale d'un bâtiment est un élément clé pour atteindre un confort thermique optimal tout en réduisant la dépendance aux systèmes de chauffage et de climatisation. En appliquant ces principes d'orientation, d'isolation, de protection solaire, de ventilation et d'utilisation de la masse thermique, les architectes et les concepteurs peuvent créer des environnements intérieurs qui sont à la fois agréables à vivre et écoénergétiques. Pour des références spécifiques et approfondies, il est recommandé de consulter des ouvrages spécialisés en architecture durable et en efficacité énergétique dans la conception architecturale

## **III. Le confort thermique :**

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



Températures de confort correspondant à l'énergie dégagée pour chaque type d'activité métabolique d'un individu.<sup>1</sup>

Le confort thermique est un concept important dans la conception de bâtiments, car il a un impact sur le bien-être et la productivité des occupants. Le confort thermique est défini comme la sensation de chaleur ou de fraîcheur ressentie par les occupants d'un bâtiment, et est influencé par de nombreux facteurs tels que la température de l'air, la vitesse de l'air, l'humidité relative et le rayonnement thermique.<sup>1</sup>

#### IV. L'efficacité énergétique :

La lutte contre le changement climatique a placé l'efficacité énergétique au centre des préoccupations. Considérée comme l'un des moyens les plus efficaces pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et atteindre les objectifs de l'Accord de Paris sur le climat, elle consiste à utiliser l'énergie de manière efficace et à éviter les pertes d'énergie inutiles. Cette amélioration peut être réalisée dans les bâtiments, les appareils électroménagers, les systèmes de chauffage, de ventilation, de climatisation, les transports et l'industrie.<sup>2</sup>

Les avantages de l'efficacité énergétique sont multiples, tels que la réduction des coûts énergétiques, l'amélioration de la sécurité énergétique, la création d'emplois verts, la réduction de la dépendance aux combustibles fossiles et l'amélioration de la qualité de l'air intérieur. En outre, elle peut contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et atteindre les objectifs de l'Accord de Paris sur le climat.

Cependant, l'efficacité énergétique est souvent négligée en raison de coûts initiaux élevés, de bénéfices à long terme pas évidents et d'obstacles réglementaires, techniques ou institutionnels à la mise en œuvre de mesures d'efficacité énergétique. Cependant, des

<sup>1</sup> RIANTSOA Donatien René. « ÉTUDE DE CONFORT THERMIQUE D'UN BÂTIMENT EN BRIQUES ARTISANALES D'ARGILE CUITE NATURELLEMENT VENTILÉ : DÉTERMINATION DE L'ORIENTATION OPTIMALE » THÈSE En vue de l'obtention du DIPLÔME DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ D'ANTANANARIVO Spécialité : TECHNOLOGIE DES POUDRES DIVISÉES ET ÉCOBÂTIMENTS.2020

<sup>2</sup> International Energy Agency. (2019). Energy Efficiency 2019. Paris, France: OECD/IEA.

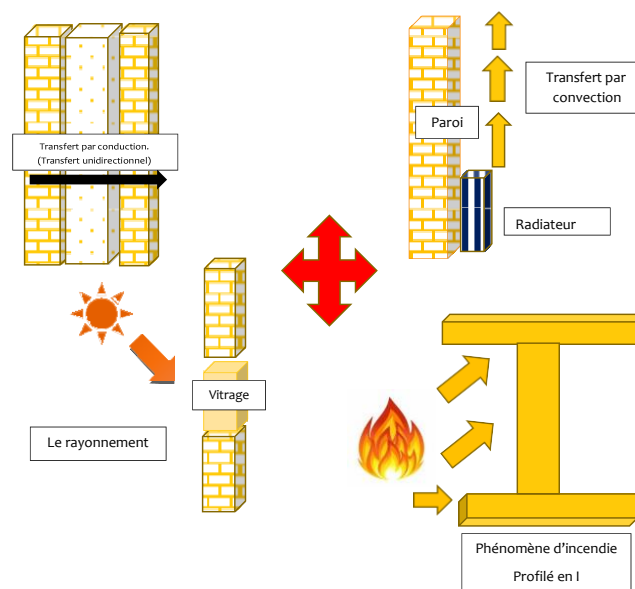
politiques énergétiques efficaces peuvent encourager sa mise en place, telles que des incitations financières, des normes et des codes de construction, des programmes de sensibilisation et d'éducation, des règles de tarification de l'énergie, des réglementations sur l'efficacité énergétique, des subventions et des programmes de financement.<sup>3</sup>

En outre, les innovations technologiques peuvent également contribuer à améliorer l'efficacité énergétique, telles que les avancées dans les domaines de l'énergie renouvelable, du stockage de l'énergie, de l'électronique de puissance, des matériaux, de l'éclairage et de la domotique.

En somme, l'efficacité énergétique est une solution clé pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et atteindre les objectifs de l'Accord de Paris sur le climat. Des politiques énergétiques efficaces et des innovations technologiques peuvent encourager la mise en œuvre de mesures d'efficacité énergétique et aider à créer un avenir plus durable.<sup>3</sup>

## V. L'enveloppe du bâtiment :

L'enveloppe du bâtiment, également appelée "mur-rideau", est un élément crucial pour améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment. Elle assure une protection contre les conditions extérieures telles que la pluie, le vent et le froid, tout en permettant la circulation de l'air et de la vapeur d'eau pour prévenir les problèmes de moisissures et de qualité de l'air intérieur.[08]



Il existe plusieurs types d'enveloppes de bâtiments, chacun ayant ses avantages et inconvénients en termes d'efficacité énergétique. Les murs en béton épais offrent une bonne isolation thermique mais peuvent être coûteux à construire, tandis que les murs en bois sont plus légers et moins chers, mais nécessitent une isolation supplémentaire. Les fenêtres sont

<sup>3</sup> International Energy Agency. (2019). Energy Efficiency 2019. Paris, France: OECD/IEA.

également importantes pour l'efficacité énergétique et les fenêtres à double vitrage sont couramment utilisées pour réduire les pertes de chaleur.<sup>4</sup>

D'autres options pour améliorer l'efficacité énergétique incluent l'utilisation de matériaux isolants tels que la laine de verre, la mousse de polyuréthane et le polystyrène expansé, ainsi que les systèmes de récupération de chaleur pour récupérer la chaleur de l'air sortant et l'utiliser pour chauffer l'air entrant.

En somme, l'enveloppe du bâtiment joue un rôle essentiel dans la réduction des coûts énergétiques, l'amélioration de la qualité de l'air intérieur et la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Il est donc important de choisir des options efficaces et adaptées pour optimiser l'efficacité énergétique de l'enveloppe du bâtiment.<sup>4</sup>

## **VI. Mode de transfert de la chaleur :**

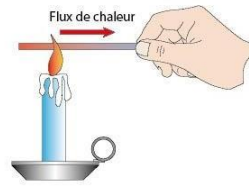
Le transfert de chaleur est le processus par lequel l'énergie thermique se déplace d'un objet ou d'un endroit à un autre en raison d'une différence de température. Il existe trois modes principaux de transfert de chaleur, chacun étant responsable de la manière dont la chaleur se propage à travers différents matériaux ou systèmes :

La conduction se produit principalement dans les solides, la convection se produit dans les fluides (liquides et gaz), et le rayonnement est le mode de transfert de chaleur qui peut se produire dans le vide et à travers des espaces remplis d'air. Comprendre ces modes de transfert de chaleur est essentiel pour la conception efficace des systèmes de chauffage, de refroidissement et de gestion thermique dans diverses applications industrielles et domestiques.

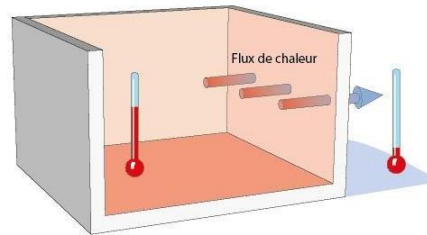
---

<sup>4</sup> "Building Envelope." ENERGY STAR, U.S. Environmental Protection Agency,

**La conduction**  
Principe

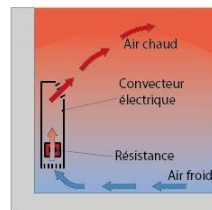


**Au niveau d'une paroi**

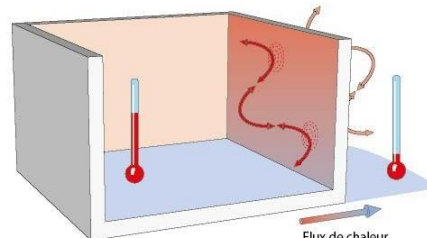


Flux de chaleur à travers une paroi d'un local chauffé vers l'extérieur

**La convection**  
Principe



**Au niveau d'une paroi**

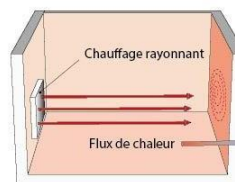


Échange thermique au niveau d'une paroi de température différente de celle de la pièce

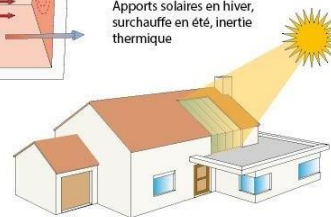
**Le rayonnement**  
Principe



**Au niveau d'une paroi**



**Au niveau d'une habitation**  
Apports solaires en hiver, surchauffe en été, inertie thermique



Reproduction interdite © DFTG

## VII. Les déperditions thermiques :

Les problèmes de déperdition thermique sont très courants dans les bâtiments mal isolés, et peuvent entraîner une augmentation des coûts de chauffage et de climatisation, une diminution du confort thermique et des problèmes de qualité de l'air intérieur.

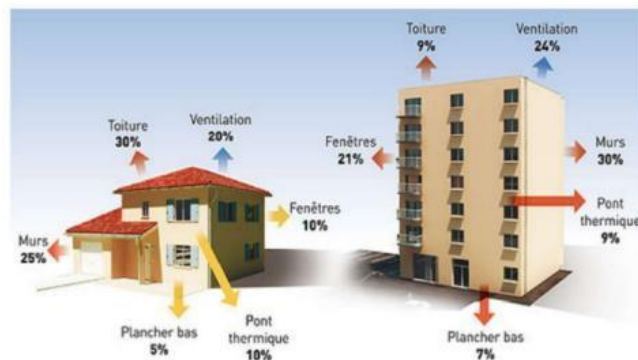
Les déperditions thermiques se produisent lorsque la chaleur s'échappe d'un bâtiment par des moyens tels que les murs, les toits, les fenêtres, les portes, les planchers et les systèmes de ventilation. Ces éléments peuvent ne pas être suffisamment isolés, ce qui permet à la chaleur de s'échapper ou de pénétrer dans le bâtiment, selon les saisons et les conditions météorologiques.

Pour résoudre les problèmes de déperdition thermique, il est important d'identifier les zones où les pertes de chaleur sont les plus importantes. Cela peut être réalisé à l'aide d'une inspection énergétique, qui peut déterminer les endroits où l'isolation est insuffisante ou les systèmes de chauffage et de ventilation ne sont pas efficaces.

Une fois les zones problématiques identifiées, il est possible de mettre en place des solutions d'isolation pour réduire les pertes de chaleur. Cela peut inclure l'installation de fenêtres à double vitrage, l'ajout d'isolant dans les murs et les toits, la réparation des fuites d'air et l'utilisation de matériaux d'isolation de haute qualité.

En plus des solutions d'isolation, il est également important de s'assurer que les systèmes de chauffage et de ventilation sont bien entretenus et fonctionnent efficacement. Les systèmes de récupération de chaleur peuvent également être installés pour récupérer la chaleur perdue et la réutiliser pour chauffer l'air entrant.

En somme, résoudre les problèmes de déperdition thermique est essentiel pour améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment, réduire les coûts de chauffage et de climatisation, améliorer le confort thermique et la qualité de l'air intérieur, et réduire les émissions de gaz à effet de serre.



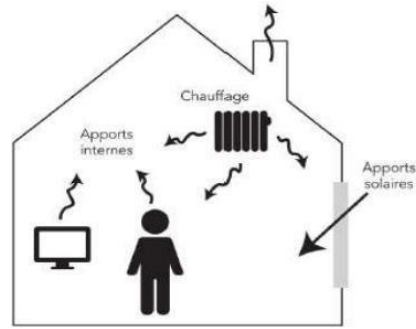
Répartition en % des déperditions thermiques pour un maison et un bâtiment <sup>5</sup>

## VIII. Les apports d'énergie sur l'enveloppe du bâtiment :

Lorsqu'on conçoit et construit un bâtiment économe en énergie, il est important de tenir compte des apports d'énergie, qui peuvent être classés en deux catégories : les apports intérieurs et les apports extérieurs.

---

<sup>5</sup> CHAHWANE, LAYAL, 2011. VALORISATION DE L'INERTIE THERMIQUE POUR LA PERFORMANCE ENERGETIQUE DES BATIMENTS [EN LIGNE] THESE DE DOCTORAT. GENIE CIVIL ET SCIENCES DE L'HABITAT. GRENOBLE. UNIVERSITÉ DE GRENOBLE.



Apports d'énergie dans les bâtiments <sup>6</sup>

### **Les apports intérieurs :**

Comprennent le chauffage, la respiration et le rayonnement humain, ainsi que les appareils électroménagers et électroniques. Pour minimiser ces apports, il est crucial de choisir des appareils économes en énergie et de veiller au rendement énergétique du système de chauffage.

### **Les apports extérieurs :**

Sont principalement liés au rayonnement solaire, et l'orientation du bâtiment ainsi que le choix des menuiseries sont des éléments clés pour les gérer efficacement. Il existe différents types d'apports solaires, tels que les apports solaires directs et les apports solaires indirects qui peuvent pénétrer par les murs extérieurs et les ponts thermiques, ces derniers étant des zones où la résistance thermique est faible et qui peuvent entraîner des pertes de chaleur importantes, ainsi que des problèmes de moisissures et de taches de poussière.

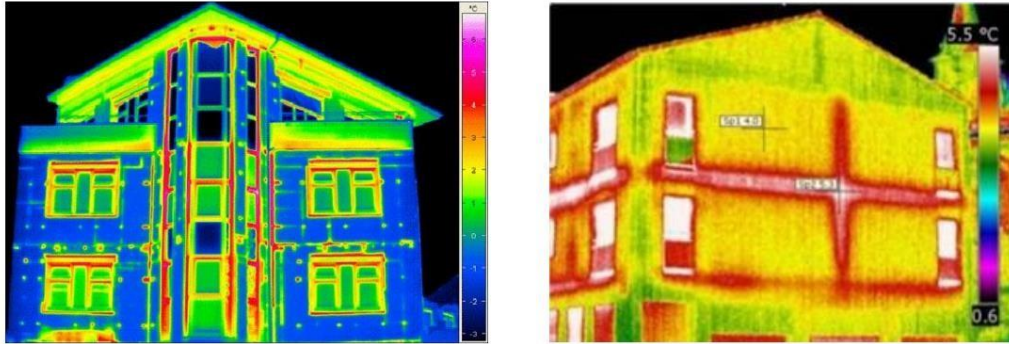
## **IX. Les ponts thermiques**

Les ponts thermiques correspondent à des endroits où la continuité de l'isolation est rompue, entraînant une baisse de la résistance thermique et des pertes de chaleur significatives. Ces zones peuvent également engendrer des problèmes de moisissures et de taches de poussière. Par conséquent, il est primordial de garantir une isolation thermique ininterrompue sur l'ensemble des éléments composant l'enveloppe du bâtiment, à savoir les murs, les plafonds, les planchers, les fenêtres et les portes.

---

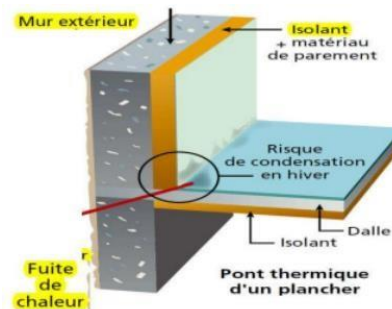
<sup>6</sup> JDIDI, M.ET BENJEDDOU, O. La thermique du bâtiment du confort thermique au choix des équipement de chauffage et de climatisation





Photos infrarouges montrant différents ponts thermiques <sup>7</sup>

Pour éviter ces problèmes, il est important d'assurer une isolation thermique continue sur tous les composants de l'enveloppe du bâtiment, tels que les murs, les plafonds et les planchers, ainsi que les fenêtres et les portes. En résumé, pour construire un bâtiment économe en énergie, il est essentiel de prendre en compte les apports d'énergie intérieurs et extérieurs, les ponts thermiques et de garantir une isolation thermique continue sur tous les composants de l'enveloppe du bâtiment. <sup>8</sup>



Les ponts thermiques <sup>9</sup>

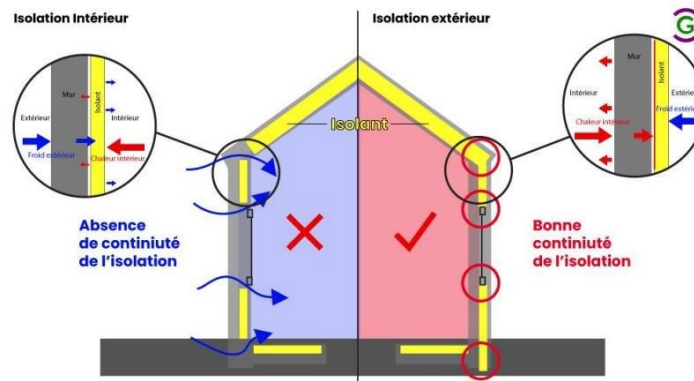
## X. L'isolation thermique :

L'isolation thermique est un élément clé de la construction durable qui permet de réduire la consommation d'énergie, d'améliorer le confort intérieur et de préserver l'environnement. Il existe deux principales méthodes d'isolation thermique : l'isolation intérieure et l'isolation extérieure. Cet article se concentre sur les différents matériaux utilisés pour l'isolation thermique et les avantages et inconvénients de chaque matériau.

<sup>7</sup> BELARBI MONCIF NAZIH, BENMANSOUR MOHAMMED. ETUDE DU TRANSFERT THERMIQUE DANS LE BATIMENT, MEMOIRE Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER En : Génie Civil, Université Aboubakar Belkaïd– Tlemcen –, juin2022

<sup>8</sup> Holman, J.P. (2010). Heat Transfer (10th ed.). New York: McGraw-Hill.

<sup>9</sup> ASTRID DENKER, DR S.M K EL HASSAR, SAAD BARADIY.2014. GUIDE POUR LA CONSTRUCTION ECO-ENERGETIQUE EN ALGERIE.



Isolation extérieure et intérieure [24]

## L'isolation intérieure :

L'isolation intérieure est couramment utilisée pour les bâtiments existants où l'isolation extérieure n'est pas possible. Les matériaux les plus utilisés pour l'isolation intérieure sont la laine de verre, la laine de roche, le polystyrène expansé (PSE), le polyuréthane (PU) et le liège. Ces matériaux sont simples à installer et peuvent être utilisés pour isoler les murs, les plafonds et les planchers.

### *La laine de verre :*

Est légère, durable, résistante à l'eau et possède une bonne performance thermique. Elle est souvent utilisée pour l'isolation des murs intérieurs, des planchers et des plafonds.

### *La laine de roche :*

Est également légère, résistante à l'eau, ininflammable et possède une bonne performance thermique. Elle est souvent utilisée pour l'isolation des murs intérieurs, des planchers et des plafonds.

### *Le PSE (Le polystyrène expansé) :*

Est un matériau isolant en mousse rigide, léger, résistant à l'eau, facile à installer et avec une bonne performance thermique.

### *Le PU (Le polyuréthane) :*

Également en mousse rigide, est léger, résistant à l'eau, facile à installer et possède une excellente performance thermique.

### *Le liège :*

Est un matériau isolant naturel, léger, résistant à l'eau, ininflammable et possède une bonne performance thermique. Il est souvent utilisé pour l'isolation des murs intérieurs et des planchers.

L'isolation thermique peut être effectuée de deux manières principales : intérieure ou extérieure. L'isolation intérieure consiste à installer des matériaux isolants à l'intérieur du bâtiment, entre les murs intérieurs et les revêtements de sol, les plafonds ou les cloisons. Cela est courant pour les bâtiments existants car c'est une méthode relativement simple et peu coûteuse. Cependant, elle peut réduire l'espace habitable et peut entraîner des problèmes de condensation si elle est mal exécutée.

### **L'isolation extérieure :<sup>10</sup>**

L'isolation extérieure consiste à installer des matériaux isolants sur les murs extérieurs du bâtiment. Cela peut être fait lors de la construction d'un nouveau bâtiment ou pendant une rénovation majeure. L'avantage de l'isolation extérieure est qu'elle n'affecte pas l'espace habitable et améliore l'apparence du bâtiment. Cependant, elle est plus coûteuse que l'isolation intérieure et peut nécessiter des autorisations de construction spéciales.

Il existe plusieurs types de matériaux d'isolation thermique pour l'extérieur, chacun avec ses avantages et ses inconvénients. Voici quelques exemples :

#### ***La laine de roche :***

Elle est souvent utilisée pour l'isolation thermique de l'extérieur car elle est résistante au feu et à l'eau, et elle a une excellente performance thermique.

#### ***Le polystyrène expansé :***

C'est un matériau léger et facile à installer, qui offre une bonne isolation thermique. Il est également résistant à l'eau et aux moisissures.

#### ***Le polyuréthane :***

C'est un matériau qui offre une excellente isolation thermique, mais qui est plus cher que d'autres matériaux d'isolation.

#### ***La fibre de bois :***

Elle est écologique et offre une bonne performance thermique. Elle est également résistante à l'eau et à la moisissure.

#### ***Les panneaux de mousse phénolique :***

Ce sont des panneaux légers qui offrent une excellente isolation thermique. Ils sont également résistants au feu et à l'eau.

Ces matériaux peuvent être utilisés seuls ou en combinaison les uns avec les autres pour optimiser les performances d'isolation thermique de votre bâtiment. Le choix dépendra de différents facteurs, tels que les conditions climatiques, les réglementations locales, les coûts, etc. Il est important de faire appel à un professionnel pour vous conseiller sur le choix des matériaux et leur installation.<sup>11</sup>

---

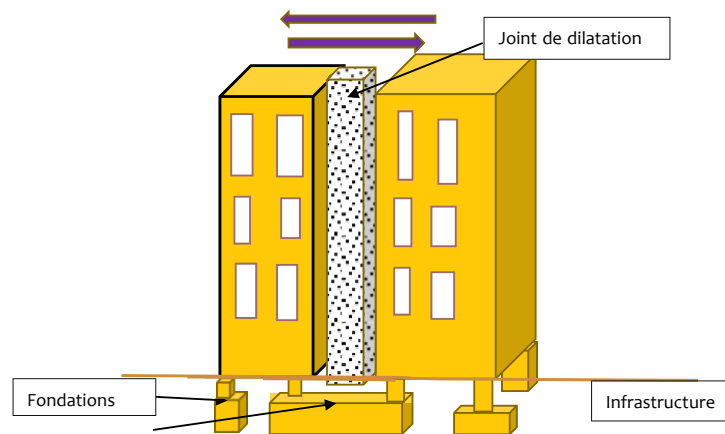
<sup>10</sup> <https://www.ademe.fr/particuliers-eco-citoyens/habitation/isolation/les-materiaux-d'isolation>

<sup>11</sup> <https://www.economie.gouv.fr/particuliers/isolation-thermique-des-batiments>

En fin de compte, le choix du matériau d'isolation thermique dépendra des exigences spécifiques du projet, telles que le budget, les performances thermiques requises et les préférences en matière d'écologie et de durabilité. Il est important de faire des recherches approfondies et de consulter des professionnels pour garantir que l'isolation thermique est réalisée de manière efficace et conforme aux normes de construction en vigueur.

**Protection incendie** Les matériaux isolants sont aussi utilisés pour protéger la structure du bâtiment contre le feu, et pour améliorer les performances de parois coupe-feu. Les matériaux utilisés dans ce cas sont toujours inorganiques : fibres de verre et de pierre, mousse de verre, et anciennement amiante. En tout état de cause, les matériaux facilement inflammables ne sont pas admis dans le bâtiment. On ajoute donc un agent pare-feu aux isolants fabriqués de matériau inflammable (polystyrène par exemple).<sup>12</sup>

## **XI. Les joints de dilatation et l'isolation thermique :**



Les joints de dilatation et l'isolation thermique sont deux aspects importants à considérer lors de la conception et de la construction de bâtiments et de structures, en particulier dans le contexte de la gestion des variations de température et de l'efficacité énergétique.



### Joint de dilatation



#### 1. Joints de dilatation et gestion des variations de température :

- Les joints de dilatation sont utilisés pour permettre la dilatation et la contraction thermique des matériaux de construction en réponse aux variations de température. Ils sont essentiels pour éviter les contraintes excessives qui pourraient endommager la structure.

- Lorsque la température augmente, les matériaux ont tendance à se dilater, tandis qu'ils se contractent lorsqu'elle diminue. Les joints de dilatation permettent à la structure de s'adapter à ces changements dimensionnels sans créer de contraintes indésirables.

- Les joints de dilatation peuvent être constitués de divers matériaux, tels que le caoutchouc, le métal expansible ou le béton armé, en fonction des exigences spécifiques du projet. Ils doivent être conçus avec soin pour garantir leur efficacité dans la gestion des variations de température.

#### 2. Isolation thermique et efficacité énergétique :

- L'isolation thermique est la capacité d'un matériau ou d'une structure à réduire la perte de chaleur par conduction thermique, convection et rayonnement.

- Une isolation thermique adéquate est cruciale pour minimiser la perte d'énergie thermique d'un bâtiment et pour maintenir un environnement intérieur confortable et écoénergétique.

- Les matériaux d'isolation thermique, tels que la laine de verre, la mousse de polyuréthane, le polystyrène expansé, etc., sont utilisés pour réduire les transferts de chaleur à travers les parois du bâtiment, notamment les murs, le toit et les planchers.

Relation entre joints de dilatation et isolation thermique :

- Les joints de dilatation et l'isolation thermique peuvent être intégrés dans la conception d'un bâtiment de manière complémentaire. Par exemple, des matériaux d'isolation thermique peuvent être utilisés autour des joints de dilatation pour maintenir une continuité de l'efficacité énergétique de la structure.

- L'isolation thermique peut également être pertinente dans les zones proches des joints de dilatation pour éviter les pertes de chaleur excessives.

- Il est essentiel de prendre en compte à la fois les aspects de gestion des variations de température (joints de dilatation) et d'efficacité énergétique (isolation thermique) dans la conception d'un bâtiment pour assurer sa performance à long terme, le confort des occupants et la réduction de la consommation d'énergie.

En résumé, les joints de dilatation sont essentiels pour gérer les variations dimensionnelles dues à la température, tandis que l'isolation thermique est cruciale pour réduire les pertes de chaleur dans un bâtiment. Les deux aspects doivent être considérés dans la conception et la construction pour assurer la durabilité, le confort et l'efficacité énergétique d'une structure.

## **XII. L'évaluation des déperditions thermiques :**

L'évaluation des déperditions thermiques est un processus important dans la conception, la construction et la rénovation des bâtiments. Elle permet de mesurer les pertes de chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment (murs, toiture, planchers, fenêtres, portes, etc.) et d'identifier les sources de pertes de chaleur. Cette évaluation est essentielle pour réduire les besoins en chauffage et en refroidissement des bâtiments et pour améliorer leur efficacité énergétique.<sup>13</sup>

Il existe différentes méthodes pour évaluer les déperditions thermiques d'un bâtiment, telles que la méthode des coefficients de transmission thermique (U-Value), la méthode du Bilan Thermique Réglementaire (BTR) ou encore la méthode de la thermographie infrarouge. Ces méthodes permettent d'estimer les pertes de chaleur à travers les parois du bâtiment, les ponts thermiques, les infiltrations d'air, etc.

### **La méthode de calcul réglementaire :**

Cette méthode est utilisée pour évaluer la performance énergétique d'un bâtiment selon la réglementation en vigueur. Elle permet d'estimer les déperditions thermiques et les apports

---

<sup>13</sup> "Guide pratique pour la rénovation énergétique des bâtiments existants", ADEME.

énergétiques de l'enveloppe d'un bâtiment en fonction des matériaux de construction, de l'isolation, de l'étanchéité à l'air, des ponts thermiques, etc.

### La méthode de thermographie infrarouge :

Cette méthode consiste à utiliser une caméra thermique pour visualiser les pertes de chaleur de l'enveloppe d'un bâtiment. Elle permet d'identifier les zones où les déperditions thermiques sont les plus importantes, ce qui peut aider à cibler les travaux d'isolation.



14

### La méthode de mesure des flux de chaleur :

Cette méthode consiste à mesurer les flux de chaleur à travers les parois de l'enveloppe d'un bâtiment à l'aide d'un dispositif de mesure appelé "fluxmètre". Elle permet d'obtenir des mesures précises des déperditions thermiques et des apports énergétiques de l'enveloppe d'un bâtiment.

### La méthode de simulation thermique dynamique :

Cette méthode consiste à modéliser numériquement l'enveloppe d'un bâtiment et à simuler son comportement thermique en fonction des conditions climatiques extérieures, des apports solaires, de l'occupation du bâtiment, etc. Elle permet d'obtenir des prévisions précises des déperditions thermiques et des apports énergétiques de l'enveloppe d'un bâtiment et de tester l'efficacité de différentes solutions d'isolation ou d'étanchéité.



15

<sup>14</sup>[https:// calfeutragemjm.ca](https://calfeutragemjm.ca)

<sup>15</sup> [http://si.lycee-desfontaines.eu/sequences-1s/rt2012/co/module\\_\\_26.html](http://si.lycee-desfontaines.eu/sequences-1s/rt2012/co/module__26.html)

### **XIII. Le bilan thermique :**

Le bilan thermique est un calcul qui permet de déterminer les échanges thermiques entre un bâtiment et son environnement, ainsi que les pertes et les gains de chaleur dans le bâtiment. Il prend en compte différents paramètres tels que l'isolation thermique du bâtiment, les apports solaires, les apports intérieurs et extérieurs d'air, les systèmes de ventilation et de climatisation, ainsi que les sources de chaleur internes.<sup>16</sup>

Le but du bilan thermique est de déterminer la performance énergétique du bâtiment, c'est-à-dire la quantité d'énergie nécessaire pour maintenir une température confortable à l'intérieur du bâtiment. Il permet également de déterminer les zones de pertes thermiques et les points à améliorer pour réduire la consommation d'énergie et les coûts de chauffage ou de climatisation.

Le bilan thermique est un outil pour mesurer l'efficacité énergétique d'un bâtiment. Il implique une analyse détaillée des flux de chaleur entrants et sortants du bâtiment, permettant ainsi de déterminer les pertes et gains thermiques. Le bilan thermique est utilisé pour évaluer l'efficacité énergétique d'un bâtiment existant ou pour optimiser la conception d'un nouveau bâtiment.

Le bilan thermique aide également à identifier les zones où les pertes de chaleur sont les plus importantes, permettant ainsi de cibler les travaux d'isolation et d'améliorer les performances énergétiques du bâtiment. Il est important de réaliser un bilan thermique régulièrement pour surveiller les performances énergétiques du bâtiment et détecter les éventuels problèmes.

---

<sup>16</sup> "Bilan thermique : définition et enjeux" sur le site du Ministère de la Transition écologique. Disponible sur <https://www.ecologie.gouv.fr/bilan-thermique-definition-et-enjeux>



## **XIV. Document Technique Réglementaire Algérien :**

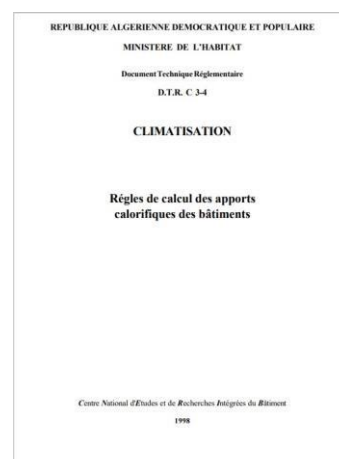
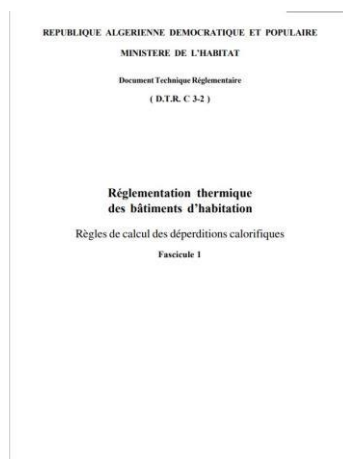
Le DTR (Document Technique Réglementaire) est une réglementation thermique algérienne qui définit les exigences minimales de performance énergétique des bâtiments neufs et existants en Algérie. Le DTR est un document qui a été élaboré en 2013, en collaboration avec l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE).

Le DTR algérien définit des exigences de performance énergétique pour les bâtiments en termes de consommation d'énergie et de confort thermique. Il impose également des méthodes de calcul des déperditions thermiques et des apports énergétiques de l'enveloppe du bâtiment, ainsi que des systèmes de ventilation, de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire.

Les exigences de performance énergétique du DTR algérien dépendent de la zone climatique dans laquelle se trouve le bâtiment. Le DTR distingue cinq zones climatiques en Algérie, chacune ayant ses propres exigences de performance énergétique.

Le DTR algérien impose également des exigences pour les équipements de chauffage, de climatisation et d'eau chaude sanitaire installés dans les bâtiments. Ces exigences portent sur les performances énergétiques de ces équipements ainsi que sur leur entretien et leur maintenance.

En conclusion, le DTR algérien est une réglementation thermique importante en Algérie qui définit les exigences minimales de performance énergétique des bâtiments neufs et existants. Il vise à réduire la consommation d'énergie des bâtiments et à améliorer le confort thermique des occupants. Les exigences du DTR dépendent de la zone climatique dans laquelle se trouve le bâtiment et imposent également des exigences pour les équipements de chauffage, de climatisation et d'eau chaude sanitaire.



## XV. Déperditions d'une enveloppe :(Organigramme)

### Déperditions totales d'un volume :

Le calcul des déperditions par totales  $D$  d'une enveloppe est fait par la réglementation thermique algérienne sont données par :

$$D = \sum Di \text{ [W/°C]}$$

Où :  $Di$  représente les déperditions totales du volume

Ces déperditions du volume sont données par :

$$Di = DT + DR \text{ [W/°C]}$$

Où  $DT$  représente les déperditions de transmission du volume

Et  $DR$  sont les déperditions par renouvellement d'air du volume

### Déperditions par transmission d'un volume :

Les déperditions par transmission d'un volume sont données par :

$$DT = DS + Dli + Dsol + DInc \text{ [W/°C]}$$

Dont :  $Ds$  représente les déperditions surfaciques des parois en contacts avec l'extérieur,

- $Dli$  qui représente les déperditions à travers les liaisons ou le pont thermique
- $Dsol$  : ce sont les déperditions des parois en contacts avec le sol.
- $DInc$  : représente les déperditions à travers les parois en contacts avec des locaux non chauffés.

Vérification et les déperditions de référence :

#### II.4.1. Vérification réglementaire :

Les déperditions par transmission  $DT$  de la maison doit être vérifiées :

$$DT \leq 1.05 \times Dréf \text{ [W/°C]}$$

- $DT$  représente les déperditions par transmission de la maison
- $DR$  représente les déperditions de référence.

#### Vérification d'hiver (DTR C3-2)

Les déperditions calorifiques par transmission à Travers les parois calculées pour la période d'hiver doivent être inférieures à une limite appelée « Déperdition de Référence » ;

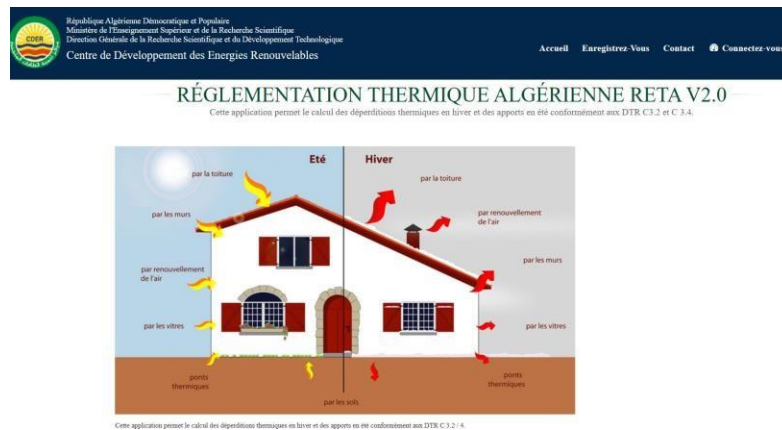
$$DT \leq 1.05 Dréf$$

#### Vérification d'été (DTR C3-4)

Les apports caloriques à travers les parois (opaques et vitrées) calculés pour la période d'été (15h TSV D'un mois de juillet) doivent être inférieurs à une limite appelée « Apport de Référence ».

$$APO (15 h) + AV (15 h) \leq 1.05. \text{ Aréf} (15 h)$$

## XVI. Le logiciel RETA V2.0



Le logiciel RETA (Réglementation Thermique Algérienne) est un outil développé en Algérie pour aider à la conception de bâtiments économes en énergie conformément à la réglementation thermique algérienne. Ce logiciel permet de réaliser des simulations thermiques dynamiques des bâtiments pour évaluer leur performance énergétique et déterminer leur conformité avec les exigences de la réglementation thermique.

Le logiciel RETA prend en compte de nombreux paramètres tels que la forme et l'orientation du bâtiment, les caractéristiques des matériaux de construction, les systèmes de ventilation, les systèmes de chauffage et de climatisation, les apports solaires et les pertes de chaleur, etc.

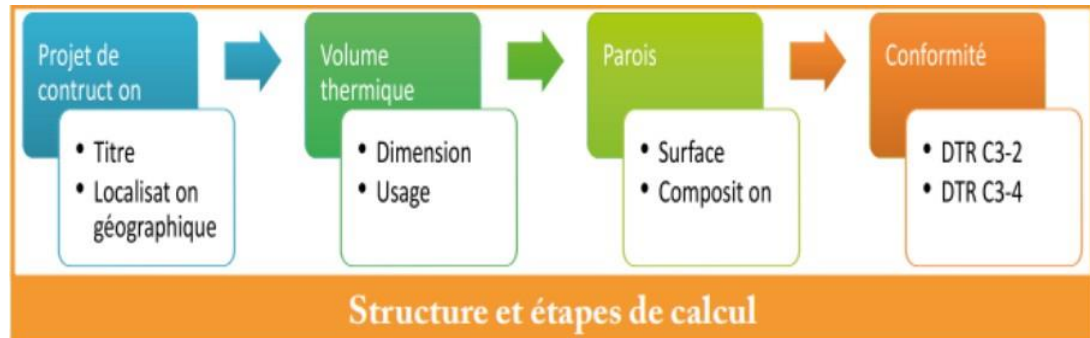
En utilisant RETA, les concepteurs de bâtiments peuvent simuler différents scénarios et optimiser la conception pour améliorer la performance énergétique du bâtiment. Le logiciel fournit également des recommandations pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, telles que l'utilisation de matériaux d'isolation thermique appropriés ou l'installation de systèmes de ventilation efficaces.

La réglementation thermique algérienne exige que les nouveaux bâtiments soient conformes aux exigences de performance énergétique définies par la réglementation. Le logiciel RETA est donc un outil important pour les professionnels de la construction en Algérie qui cherchent à concevoir des bâtiments économes en énergie et conformes à la réglementation thermique.

## XVII. Structure et étapes de calcul par le RETA V2.0:

L'entité principale de RETA est le projet. Il détaille les données de base communes à toutes les autres entités. Il s'agit principalement des données géographiques : altitude, latitude, wilaya, commune.

Une fois le projet défini, la deuxième étape sera de créer les volumes thermiques conformément aux définitions du DTR. A chaque enveloppe ou volume thermique il faut alors définir les parois qui le composent de façon à créer un espace fermé.



Structure et étapes de calcul

## XVIII. Le flux thermique :

Le flux thermique, également connu sous le nom de flux de chaleur, mesure la quantité de chaleur qui se déplace à travers un matériau ou une surface, exprimée en watts par mètre carré ( $W/m^2$ ). Le flux thermique est mesuré à l'aide d'un fluxmètre thermique, qui prend en compte la différence de température entre deux surfaces et leur conductivité thermique. Cette méthode est couramment utilisée pour mesurer le flux thermique à travers des matériaux d'isolation, des fenêtres, des murs et des toits.

Plusieurs facteurs influencent le flux thermique, notamment la différence de température entre les deux surfaces, l'épaisseur et la conductivité thermique du matériau, ainsi que la présence de ponts thermiques ou de fuites d'air. Une bonne isolation thermique peut réduire le flux thermique à travers les surfaces, ce qui améliore l'efficacité énergétique d'un bâtiment. Le flux thermique est également un paramètre essentiel pour calculer les pertes thermiques d'un bâtiment, c'est-à-dire la quantité de chaleur perdue par un bâtiment en raison de la transmission de chaleur à travers son enveloppe. Une bonne isolation thermique peut réduire les pertes thermiques et ainsi réduire les coûts de chauffage et de refroidissement.

En somme, le flux thermique est une mesure cruciale pour comprendre les transferts de chaleur à travers les matériaux et les surfaces, évaluer l'efficacité énergétique d'un bâtiment et concevoir des systèmes d'isolation thermique efficaces.<sup>17</sup>

<sup>17</sup> CHAHWANE, LAYAL, 2011. VALORISATION DE L'INERTIE THERMIQUE POUR LA PERFORMANCE ENERGETIQUE DES BATIMENTS [EN LIGNE] THESE DE DOCTORAT. GENIE CIVIL ET SCIENCES DE L'HABITAT. GRENOBLE. UNIVERSITÉ DE GRENOBLE.

## XIX. Flux de chaleur :

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température par conduction des hautes vers les basses températures. La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'aire de la surface isotherme est appelée densité de flux de chaleur, elle est exprimée en :

$$\phi = \frac{1}{S} \frac{dQ}{dt} \quad (\text{W m}^{-2})$$

S : est l'aire de la surface m<sup>2</sup>

On appelle le flux thermique la quantité de chaleur transmise sur la surface S par unité de temps, elle est exprimée en W :

$$\varphi = \frac{dQ}{dt}$$

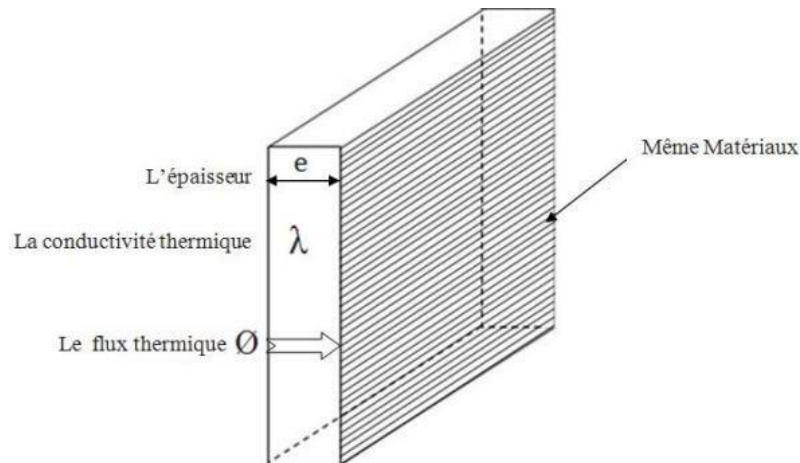
## XX. Résistance thermique :

La résistance thermique (r) [en m<sup>2</sup>.k/w] exprime la résistance d'un matériau au passage de la chaleur. Elle s'établit comme le rapport entre l'épaisseur et la conductivité du matériau : R=épaisseur (en mètre) / λ (lambda). Plus la résistance thermique est grande plus le matériau est isolant. Elle conditionne enfin l'obtention des aides financières pour l'isolation des parois opaques (toit, mur, sol).

### Résistance thermique d'une couche homogène

La résistance thermique d'une couche homogène est donnée par la formule suivante :

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



Résistance thermique d'une couche homogène<sup>18</sup>

- $R_i$  (en  $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ) représente la résistance thermique de la couche  $i$ ,
- $e_i$  (en m) représente l'épaisseur de la couche de matériau,
- $\lambda_i$  (en  $W/m \cdot ^\circ C$ ) représente la conductivité thermique du matériau, les valeurs numériques sont Fourier par le document d'avis Technique, ou à défaut par le fabricant. <sup>18</sup>

**Résistance thermique en série par analogie électrique :**

- $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$
- $R_{eq} = \sum_{i=1}^{n=a} R = \sum_{i=1}^{n=\infty} \frac{e_i}{\lambda_i s}$
- $R_{eq} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n=\infty}}$
- $R = \frac{1}{\frac{e_1}{\lambda_1 s}} + \frac{1}{\frac{e_2}{\lambda_2 s}} + \dots + \frac{1}{\frac{e_n}{\lambda_n s}}$

**XXI. Inertie thermique**

L'inertie thermique est la capacité d'un matériau à stocker et à restituer la chaleur ou la fraîcheur. Elle est fonction à la fois de sa masse volumique, de sa conductivité thermique et de sa capacité thermique. A l'échelle du bâtiment d'autres paramètres viennent s'ajouter comme l'épaisseur des matériaux et la surface d'échange avec l'ambiance.[15]

<sup>18</sup> IGHOUBRIOUEN Mouloud. Mémoire de fin d'études en Génie Mécanique Spécialité : énergétique  
thème du nouveau système de climatisation de l'établissement hôtelier AMRAOUA de TIZI OUZOU.2017

## Energétique

$$\Phi_{\text{tot}} = \varphi_{\text{convectif}} + \varphi_{\text{conductif}} + \varphi_{\text{convectif}} (w)^{19}$$

## XXII. Eléments de thermique de bâtiment

### Introduction

L'abord simplifié de la thermique du bâtiment n'est pas compatible avec la compréhension de l'outil d'observation et de contrôle. L'approche des phénomènes complexes dont le bâtiment est le siège, véritable machine thermique, devrait être scientifique.

### La température

La température de la matière est liée à l'agitation de ses atomes et de ses molécules ; laquelle est l'une des formes de « stockage » d'énergie dans la matière : l'énergie interne. Cette énergie reste disponible et se manifeste par l'émission électromagnétique : le rayonnement thermique. Elle s'exprime en deux unités de mesure équivalentes : en degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) ou en kelvins (K)

L'échelle des K part de « zéro absolu » = 0 K = -273 ; 15 $^{\circ}\text{C}$ .

On peut mesurer la température de la matière au moyen de capteurs fonctionnant selon l'un des trois modes de transfert de chaleur entre cette matière et le capteur :

- par conduction (contact entre le capteur et la matière solide),
- par convection (immersion du capteur dans la matière fluide),
- par rayonnement (détection, par le capteur, du rayonnement émis par la matière)

Les deux premiers modes conduisent à la température dite « vraie », c'est la température au sens commun du terme. Le mode indique la température « apparente ».<sup>20</sup>

## XXIII. Dynamique des bâtiments

Les caractéristiques thermiques dynamiques d'un composant de bâtiment décrivent son comportement thermique lorsqu'il est soumis à des conditions limites variables, à savoir flux thermique variable ou température opérative (intérieure ou extérieure) variable sur l'une de ses faces ou sur les deux.

La notion d'inertie thermique dans le bâtiment est complexe du fait qu'elle est différente selon la nature de l'action thermique.

Si elle est d'origine extérieure (variation rapide de la température opérative extérieure) ; l'inertie concerne essentiellement l'enveloppe des bâtiments, le phénomène réduit se traduit par une constante de temps plus ou moins longue, mais peu d'influence sur la consommation ou le confort des occupants. Si elle est d'origine intérieure (apports gratuits tels que l'éclairage, les

---

<sup>19</sup>L'isolation thermique du bâtiment ENERSENS

<sup>20</sup>La thermographie du bâtiment Principes et applications du diagnostic thermographique, groupe Eyrolles, 2010, ISBN : 978-2-212-133391-2



occupants, les ordinateurs.) ; l'inertie concerne principalement la structure interne du bâtiment (y compris le mobilier), elle amortit plus ou moins bien les variations de température.

L'inertie thermique est liée aux matériaux et à la manière dont ils sont repartis dans le bâtiment. Les principales propriétés physiques des matériaux, regroupées sous le terme d'inertie thermique, participent au bon rendement, à la bonne utilisation et au confort de la machine thermique qu'est l'habitat.



Figure moyens énergétiques exemple de chauffage

## XXIV. Propriétés physiques des matériaux

### Conductivité

La conductivité thermique  $\lambda$ , en  $W.M^{-1}.K^{-1}$ , est une donnée intrinsèque du matériau. Elle caractérise uniquement ses performances isolantes.

### Capacité

La capacité thermique volumique  $C_{th}$ , en  $J.K.m^{-3}$ , est le produit de ...de sa masse volumique ; en  $kg.m^{-3}$ , par sa capacité thermique massique  $C_p$ , en  $J.kg^{-1}.K^{-1}$ . C'est la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer de  $1^{\circ}C$   $1m^3$  de matériau.

Pour qu'un matériau accumule beaucoup de chaleur, il doit avoir :

- une conductivité thermique élevée, pour que la chaleur puisse facilement pénétrer dans le matériau
- une capacité thermique élevée, de façon à avoir une grande quantité de chaleur mise en jeu (stocker) pour élever sa température.

### Diffusivité

La diffusivité thermique « a », en  $m^2.s^{-1}$ , exprime la « vitesse » avec laquelle la chaleur pénètre dans le matériau. Plus elle est faible, plus le front de chaleur met du temps à traverser l'épaisseur

du matériau, et donc, plus le temps entre le moment où la chaleur arrive sur une face de la paroi et le moment où elle atteint l'autre face est important. Cette diffusivité s'exprime par :  $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$

### Effusivité

L'effusivité « b »  $b = (\lambda \cdot \rho \cdot c_p)^{1/2}$ , en  $J \cdot s^{-1/2} \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ , caractérise la capacité des matériaux à absorber (ou restituer) une énergie thermique.

## **XXV. IMPACT ENERGETIQUE DE DIVERSES MESURES D'AMELIORATIONS**

### 1. Eclairage

- Diminution de la puissance
- Gestion de l'utilisation

### 2. Ventilation

- Température de l'air pulsé
- Humidité de l'air pulse

### 3. Consigne de climatisation

### 4. Enveloppe de bâtiment

- Etanchéité
- Diminution de la surface vitrée
- Meilleur vitrage
- Protections solaires mobiles

### 5. Caractéristiques géométriques du bâtiment

- Orientation
- Inertie
- Bâtiment amélioré

L'impact que peuvent avoir certains choix effectués lors de la conception d'un bâtiment sur son bilan énergétique.

Les analyses se font généralement sur

-La demande d'énergie thermique (demande de chaud et de froid, préparation de l'air de pulsion)

-la consommation thermique : consommation des équipements qui fournissent cette demande d'un bâtiment, tient compte de coefficients de rendement de ces équipements :

-la consommation totale : consommation des équipements thermiques plus autres équipements du bâtiment pour l'éclairage, la ventilation, la bureautique.

-la consommation d'énergie primaire (thermique ou totale) qui tient compte d'un rendement moyen des centrales électriques

-l'émission de CO2 (thermique ou totale)

-le cout des consommations (thermiques ou totales).<sup>21</sup>

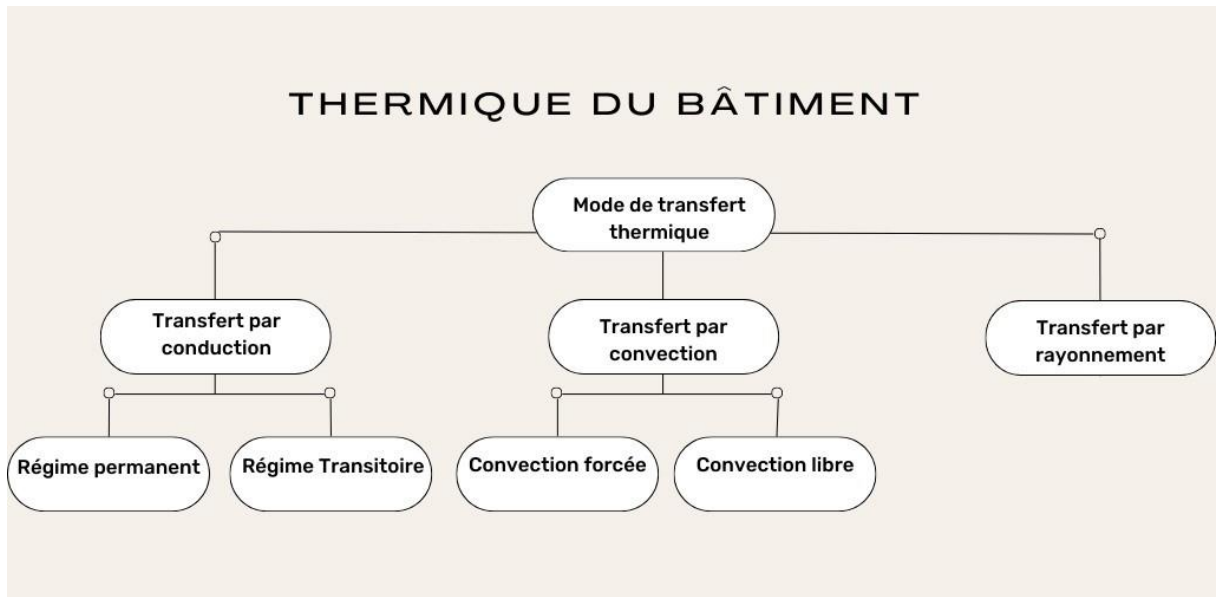
## **XXVI. Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons passé en revue les éléments de base et les notions liées au transfert de chaleur. L'ensemble des parties d'un bâtiment est soumis aux transferts thermiques. La connaissance et la maîtrise de ses notions permettent d'évaluer les déperditions et connaître les besoins énergétiques nécessaire pour assurer un confort thermique dans l'enveloppe d'un bâtiment.

---

<sup>21</sup> Architecture et climat, DGTRE

### III. PARTIE II : TRANSFERT DE CHALEUR PAR CONDUCTION



#### Les trois modes de transfert de chaleur

Dans un bâtiment, les transferts d'énergie prennent principalement la forme de transferts de chaleur. Ceux –ci ont pour origine la tendance naturelle de la chaleur à transiter des zones chaudes vers les zones froides en utilisant trois modes de transport :

- la conduction correspond à la transmission de proche en proche de l'agitation moléculaire par chocs entre les molécules au sein de la matière solide,

- la convection correspond au flux de chaleur échangé entre la surface d'un solide et la couche de fluide adjacente,

- le rayonnement correspond au transport de chaleur par émission et absorption de rayonnement électromagnétique par les surfaces des corps.

On distingue le rayonnement grande longueur d'onde (GLO) et le rayonnement courte longueur d'onde (CLO). Le rayonnement GLO est l'échange de chaleur sans contact entre les deux surfaces de solides à des températures différentes et pour des longueurs d'onde du domaine infrarouge du spectre de rayonnement, donc à des températures usuelles rencontrées dans le bâtiment.

Le rayonnement CLO provient essentiellement du soleil, soit directement lorsqu'il est diffus par l'atmosphère ou réfléchi par les surfaces proches du bâtiment. Il se situe dans les domaines de l'ultraviolet et du visible du spectre de rayonnement.

Un bâtiment est un ensemble de volumes d'air séparés par des parois, sièges de transferts thermiques couplage des différents flux de chaleur-conductif, convectif, radiatif-en provenance des environnements extérieur et intérieur.

La connaissance du comportement en réponse à des sollicitations est donc utile à la compréhension thermique d'un bâtiment.

Ces bilans thermiques peuvent être appréhendés en régime variable soit en régime permanent. Le régime variable est évidemment le cas le plus général, et son étude nécessite l'utilisation de l'ordinateur.

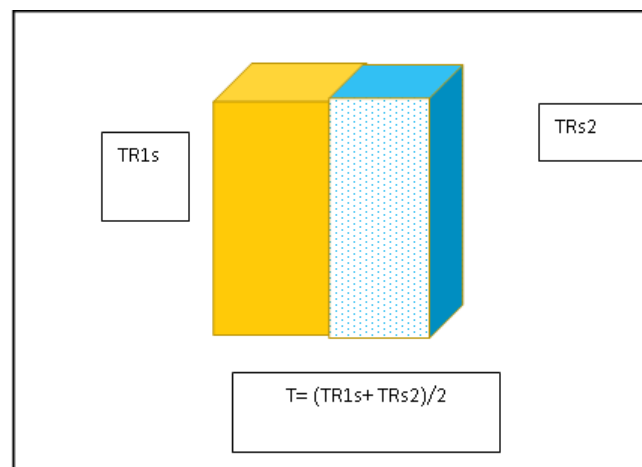
La paroi plane homogène

Une paroi homogène séparant deux volumes d'air thermiquement différents est le siège des trois modes de transferts de chaleur : conduction dans la paroi, rayonnement et convection sur les deux faces.

En thermique du bâtiment simplifiée, on s'intéresse quasiment toujours à des parois planes séparant un volume intérieur et un milieu extérieur, et on considère que le régime est permanent. En régime permanent, les températures et les flux de chaleur sont invariants en tout point d'une paroi plane. Et le flux thermique se conserve : le flux thermique entrant par la surface intérieure est égal au flux qui traverse la paroi et est égal au flux sortant par la surface extérieure.

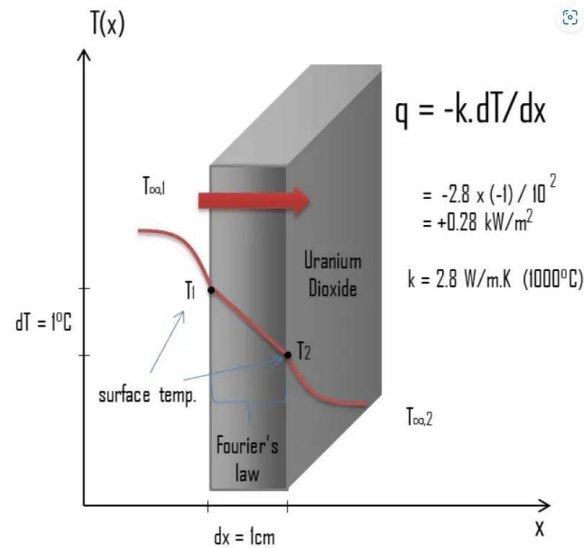
## I. La conduction

La conduction est un transfert de chaleur de la partie la plus chaude vers la partie la plus froide, ce phénomène est un transfert de masse qui confère au matériau la propagation de la chaleur si cette dernière subit une différence ou une chute de température qui est illustré par la figure de ci-dessous



**Illustration de la température de surface**

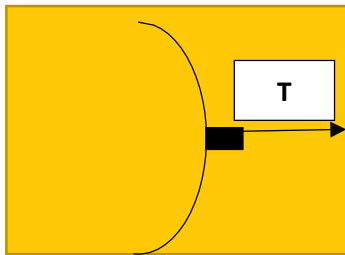
La conduction est un transfert qui est défini par la loi de Fourier :



Lois de Fourier<sup>22</sup>

**Gradient de température :**

Si l'on réunit tous les points de l'espace qui ont la même température, on obtient une surface dite libre isotherme. La variation de température par unité de longueur est maximale le long de la normale à la surface isotherme. Cette variation est caractérisée par le gradient de température.



$$\text{grad}(T) = \vec{n} \frac{\partial T}{\partial n}$$

Avec  $\vec{n}$  est le vecteur de la normale

$\frac{\partial T}{\partial n}$  Dérivée de la température le long de normale.

$$\Phi = \frac{1}{s} \frac{d\phi}{dt}$$

$$\varphi = \frac{d\phi}{dt}$$

**Définition**

La résistance superficielle d'une paroi caractérise la part des échanges thermiques qui se réalise à la surface des parois par convection et rayonnement. Elle dépend du sens du flux de chaleur et de l'orientation de la paroi ; Rsi pour les échanges sur la surface de paroi interne et Rse pour les échanges sur la surface de paroi externe. Elle s'exprime en m<sup>2</sup>.K/w.

<sup>22</sup> <https://www.thermal-engineering.org/what-is-thermal-conductivity-formula-equation-definition/>

**Méthode de coefficient de forme**

Le flux de chaleur peut se mettre sous cette forme

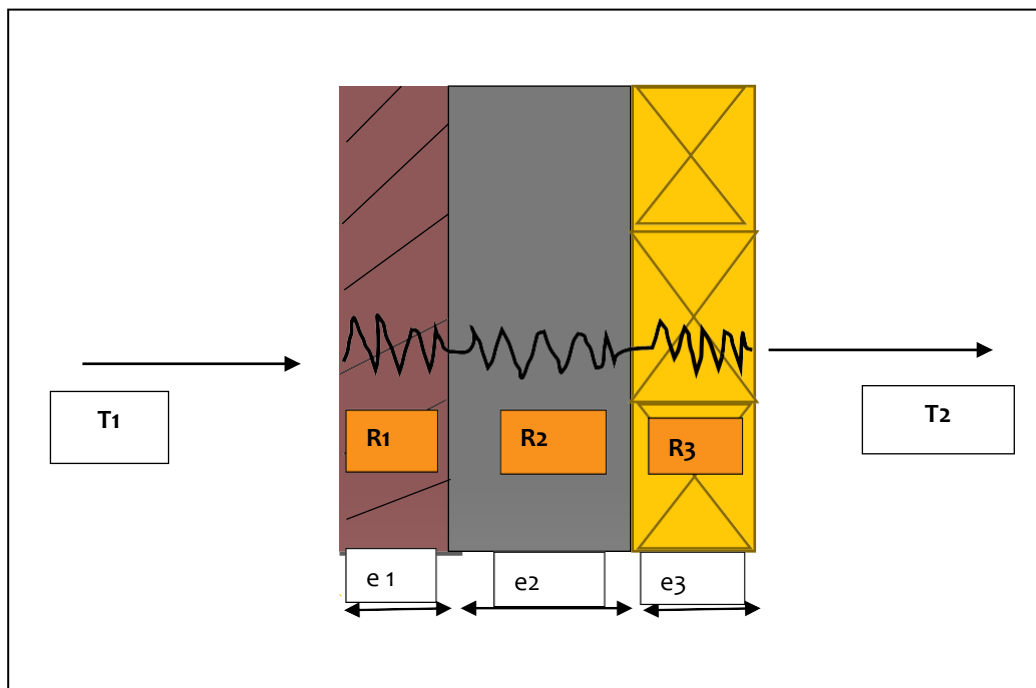
$$\varphi = \lambda F(T_1 - T_2)$$

$\varphi$  Le flux de chaleur en (W)

$\lambda$  Conductivité thermique du milieu séparant les surfaces S1 et S2 ( $W.m^{-1}C^{-1}$ )

$F$  Coefficient de forme (m)

$(T_1 - T_2)$  La différence de température des deux surfaces ( $^{\circ}C$ )



Mode de transfert conduction

**RAPPELS MATHÉMATIQUES**

En coordonnées rectangulaires (x, y, z)

$$\nabla = \hat{x} \frac{\partial}{\partial x} + \hat{y} \frac{\partial}{\partial y} + \hat{z} \frac{\partial}{\partial z}$$

En coordonnées cylindriques (r,  $\varphi$ , z)

$$\nabla = \hat{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r} \hat{\varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} + \hat{z} \frac{\partial}{\partial z}$$

En coordonnées sphériques (r,  $\varphi$ ,  $\theta$ )



$$\nabla = \mathbf{e}_r \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r} \mathbf{e}_\theta \frac{\partial}{\partial \theta} + \mathbf{e}_\phi \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \phi}$$

### Remarque

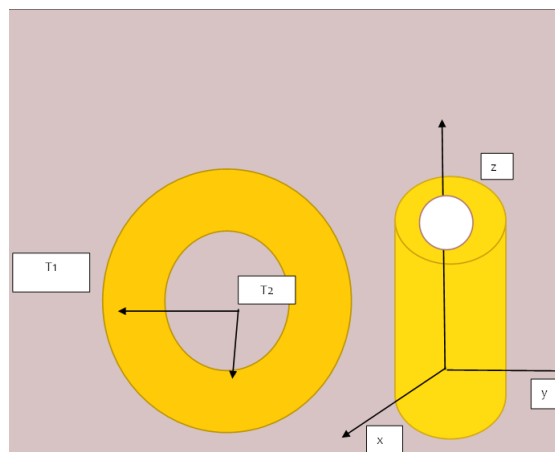
Il est à constater que les valeurs de la conductivité thermique sont plus élevées pour les matériaux conducteurs, de ce fait l'ingénieur optera pour un choix optimal en tenant compte du marché (Coût-destination de la structure). Par ailleurs ce choix devra avoir un impact sur la structure en faisant un choix judicieux sur le volet structural et énergétique de cette dernière.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{P}{\lambda} = 0$$

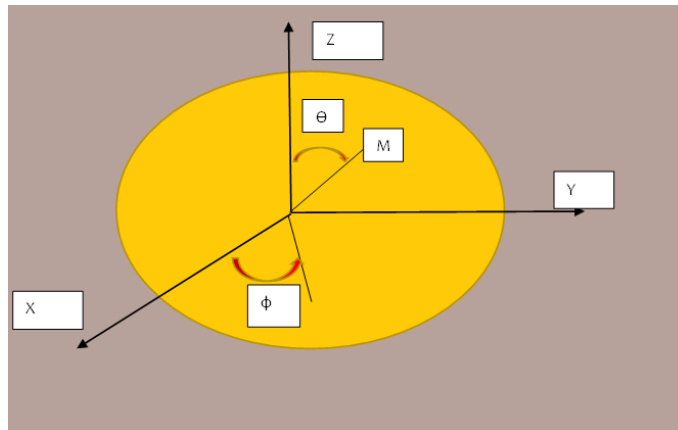
$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$$

Coordonnées cylindriques : régime stationnaire

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \cdot \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$$



**Transfert par conduction dans un cylindre creux**



**Transfert thermique par conduction en coordonnees spheriques.**

Coordonnées spheriques : en régime stationnaire

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \phi} \left( \lambda \sin \theta \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + P = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

**Application**

-D'une façon plus simplifiée nous avons l'équation de fourier qui s'écrit

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \Delta T + \frac{P}{\rho \cdot c_p}$$

Dans l'espace l'équation de fourier aura la forme suivante

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{P}{\lambda} = 0$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} - \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{P}{\lambda} = 0$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} - \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{P}{\lambda} = 0$$

$$\Delta T + \frac{p}{\lambda} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t}$$

**Application :**

Soit un mur soumis à un transfert de chaleur unidirectionnel et isotherme étant donné que cette paroi n'est pas soumise à une source interne, déterminer :

- L'équation de chaleur qui régit ce mur d'épaisseur  $e$ . ( $T_1 \gg T_2$ )
- L'équation de chaleur qui régit ce mur d'épaisseur  $e$
- Déterminer la densité du flux.
- En déduire le flux thermique traversant une surface de  $1\text{m}^2$  de ce mur.

Plus la résistance thermique est élevée plus le matériau est isolant

## II. La convection

Est un transfert de chaleur qui se produit lorsque de l'air ou un liquide se déplace. Lorsqu'un fluide est chauffé, il devient moins dense et commence à monter, créant ainsi un courant de fluide qui transfère la chaleur à d'autres parties du fluide. Les transferts de chaleur par convection sont souvent utilisés dans les radiateurs de chauffage domestique, où l'eau chaude est utilisée pour chauffer l'air ambiant.

Régimes d'écoulement

a. Régime laminaire

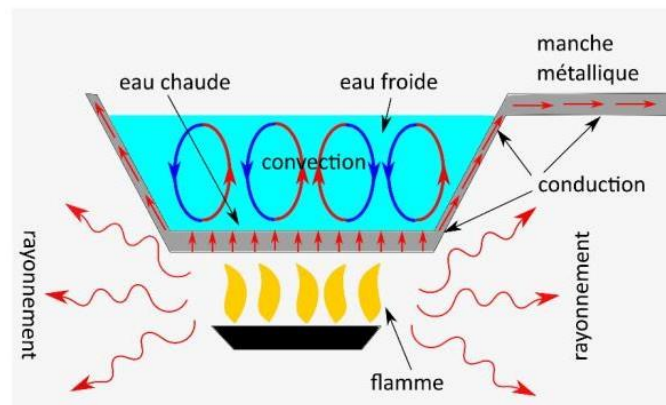
Lignes de courants parallèles aux parois du tuyau (faible vitesse, forte viscosité)

b. Régime transitoire

(Vitesse augmente, apparition d'instabilités)

c. Régime turbulent

Lignes de courant aléatoires (forte vitesse, faible viscosité)



Types de transfert thermique [24]

La convection est un phénomène de transfert thermique qui est subdivisée en deux parties :

La convection forcée et libre, ce mode de transfert se déroule par support matériel : air, gaz est-il est caractérisé par la perte de masse dont cette dernière doit régénérer à chaque fois que c'est nécessaire, cette partie sera étudiée dans la section de la convection forcée.

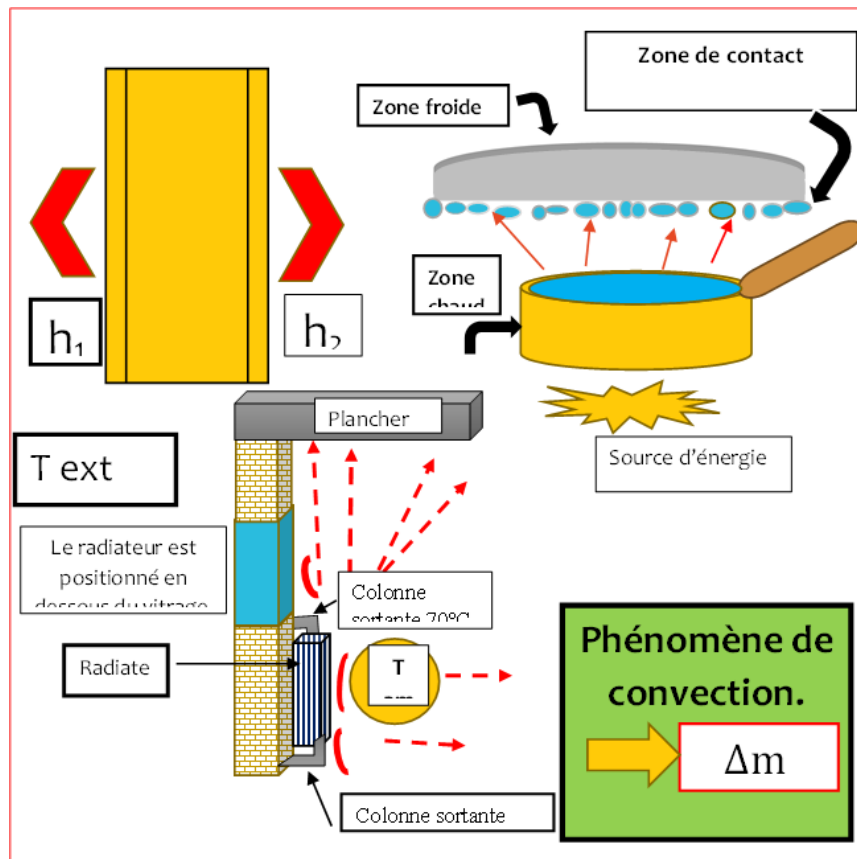
$$\Phi = h \cdot s \cdot (T_1 - T_2)$$

**h** : coefficient d'échange par convection

**s** : surface traversée par le flux convectif

**(T1-T2)** : différence de température.

$$\phi = h \cdot s \cdot (T_p - T_\infty)$$



### Convection forcée

Ce type de transfert se déroule selon la géométrie de la paroi et le régime qui sollicite cette surface

- Régime transitoire
- Régime permanent

### Ecoulement sur un plan

$Nu(x)$  à la distance  $x$  du bord du plan

$\bar{N}_L$   $Nu$  moyen sur la longueur  $L$  du plan

### Ecoulement turbulent

$$Nu(x) = 0.0288 \cdot Re(x)^{0.8} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad Re > 5 \cdot 10^5 \text{ et } Pr \geq 0.5$$

$$\bar{N}_L = 0.035 Re L(x)^{0.8} \cdot Pr^{\frac{1}{3}}$$

### Ecoulement laminaire

$$Nu(x) = 0.324 Re(x)^{0.5} \cdot Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$\overline{N}_L = 0.628 Re(x)^{0.5} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \quad Re < 5 \cdot 10^5 \text{ et } 10 \geq Pr \geq 0.5$$

**Ecoulement dans un tube :**

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^n$$

✓  $n=0.3$  si  $\Theta_{\text{fluide}} > \Theta_{\text{paroi}}$   $Re > 5000$  et  $0.6 < Pr < 100$

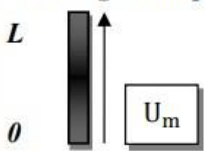
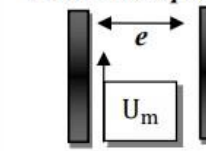
✓  $n=0.4$  si  $\Theta_{\text{fluide}} < \Theta_{\text{paroi}}$

Ecoulement laminaire  $Nu = 1.8 (Re \cdot Pr)^{\frac{1}{3}} \left( \frac{D}{L} \right)^{0.14}$

Valable pour  $Re \cdot Pr \cdot D/L \geq 10$ ,  $\mu_p$  calculé  $\Theta_p$

**Coefficient de convection entre un fluide et une plaque verticale ou horizontale :**

$X_{\text{ref}} = L$  (longueur de la plaque) ou  $2e$  ( $D_h$ ) entre deux plaques

	<i>Régime laminaire</i>	<i>Régime turbulent</i>
<p><i>Le long d'une plaque</i></p> 	$Nu = \frac{2}{3} \cdot Re^{0.5} \cdot Pr^{0.33}$	$Nu = \frac{0.036 \cdot Re^{0.3} \cdot Pr}{1 + 0.83(Pr^{0.6} - 1)}$
<p><i>Entre deux plaques</i></p> 	$Nu = 3.4$	$Nu = 2.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{1/3}$

**Ecoulement sur un perpendiculaire à un cylindre circulaire**

$$Nu = C Re^n Pr^{1/3}, \text{ vitesse } U_{\infty} \text{ calculée en amont du tube}$$

**Ecoulement sur un plan perpendiculaire à un cylindre non circulaire**

<b>Re</b>	<b>C</b>	<b>n</b>
<b>0.4-4</b>	<b>0.989</b>	<b>0.330</b>
<b>4-40</b>	<b>0.911</b>	<b>0.385</b>
<b>40-4000</b>	<b>0.683</b>	<b>0.466</b>
<b>4000-40000</b>	<b>0.193</b>	<b>0.618</b>
<b>40000-250000</b>	<b>0.0266</b>	<b>0.805</b>

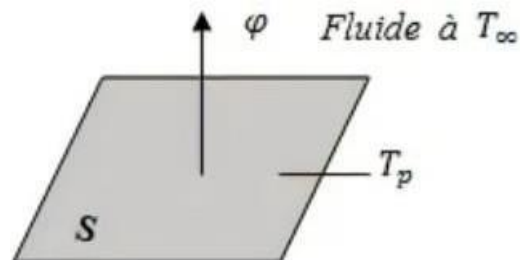
### III. Le rayonnement :

Est un transfert de chaleur qui se produit par émission et absorption de rayonnements électromagnétiques. Les corps chauds émettent des radiations thermiques dans toutes les directions, qui peuvent être absorbées par des corps plus froids. Les transferts de chaleur par rayonnement sont importants dans les applications telles que les fours industriels, les panneaux solaires et les radiateurs infrarouges.



La façade face au soleil

$$\varphi = hS(T_p - T_\infty)$$

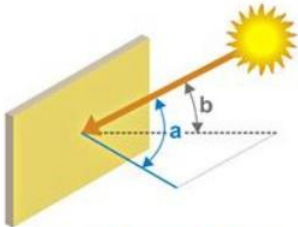


Définition d'un élément de surface d'échange [16]

Avec :

- $\varphi$  : Flux de chaleur transmis par convection(W)
- $h$  : Coefficient de transfert de chaleur par convection ( $Wm^2C^{-1}$ )
- $T_p$  : Température de la surface( $^{\circ}C$ )
- $T_\infty$  : Température du milieu environnant la surface( $^{\circ}C$ )
- $S$  : Aire de la surface de contact solide / fluide( $m^2$ )



Angle d'incidence (°)	Rayonnement intercepté (%)	Illustration
0	100,0	 <p>a : angle d'incidence b : hauteur angulaire</p>
5	99,6	
10	98,5	
15	96,5	
20	94,0	
25	90,6	
30	86,6	
35	81,9	
40	76,6	
45	70,7	
50	64,3	
55	75,4	
60	50,0	
65	42,3	
70	34,2	
75	25,8	
80	17,4	
85	8,7	
90	0,0	

Pourcentage du rayonnement intercepté par une paroi<sup>23</sup>

En somme, la transmission de chaleur est un phénomène crucial dans de nombreux domaines. La compréhension des trois modes de transfert de chaleur - conduction, convection et rayonnement - est essentielle pour concevoir des systèmes de refroidissement efficaces, comprendre les processus physiques et chimiques, et bien plus encore [13].

### Loi de Rayonnement :

$$\varphi = h \cdot s \cdot (T_p - T_\infty)$$

$$\varphi = \sigma \varepsilon_p s (T_p^4 - T_\infty^4)$$

$$M_{o_T} = \sigma \cdot T^4 \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (\text{La loi de Stephan-Boltzmann}) \quad ^{24}$$

- Rayonnement des corps noirs

<sup>23</sup> ISO 7730:2005, Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.

<sup>24</sup> Yves jeannot transferts thermiques 2003

$$\varepsilon_{\lambda T} = \frac{M_{\lambda T}}{M_{0\lambda T}} \quad \text{et} \quad \varepsilon_T = \frac{M_T}{M_T}$$

- Cas des corps gris

Ils sont caractérisés par  $\alpha_{\lambda T} = \varepsilon_{\lambda T}$  soit d'après ce qui précède :  $\varepsilon_{\lambda T} = \varepsilon_T$

$$M_T = \varepsilon_T \cdot \sigma \cdot T^4$$

$$a_{\lambda T} = \varepsilon_{\lambda T}$$

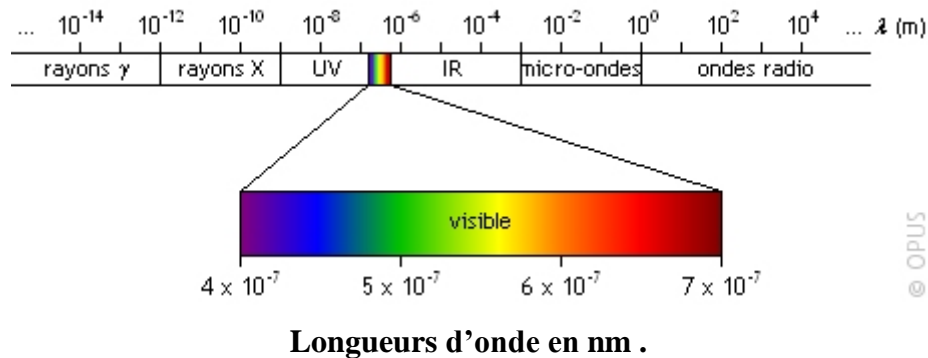
$$\Phi = a \cdot \sigma \cdot T^4$$

$\Phi$  = quantité de chaleur en watt

$a$  = facteur d'absorption ou d'émission de la surface émettrice

$\sigma_0$  (Coefficient de Boltzmann) =  $5.675 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ .

$T$  = Température absolue en  $\text{K}^2$



Longueurs d'onde en nm .

### Remarque :

Bien qu'il soit avantageux de rapporter les grandeurs monochromatiques à la fréquence qui est indépendante du milieu matériel transparent où l'onde se propage, l'habitude est de se référer à la longueur d'onde  $\lambda$  qui dépend de l'indice  $n$  du milieu avec  $\lambda = \lambda_0/n$ . Ou  $\lambda_0$  est la longueur d'onde dans le vide (pour l'air  $n=1$ ).<sup>25</sup>

Un point matériel chauffé émet un rayonnement dans toutes les directions situées d'un même côté du plan tangent du matériel. Lorsque ce rayonnement frappe un corps quelconque, la partie peut être réfléchi, une autre transmise à travers le corps (dit diathermique si tout est transmis à, et le reste est quantitativement absorbé sous forme de chaleur.

**Exemple :** si on place dans une enceinte deux corps capables d'émettre un rayonnement thermique, il existe entre ces deux corps à température différentes un échange de chaleur dû à l'absorption et à l'émission de ces rayonnements thermiques. Cet échange est désigné

<sup>25</sup> TRANSFERT DE CHALEUR, S. BENSADA ET M. TBOUZIANE

habituellement sous le nom de rayonnement. Ce « Les transferts par rayonnement se poursuivent même lorsque l'équilibre thermique est atteint, mais le débit net de chaleur échange est nul » (aucun support matériel).

Remarque lorsque l'on nous confronte à des  $T_{amb}$  = rayonnement est négligeable, il devient notable et prépondérant lorsque le niveau de température augmente.

Conclusion : tout corps, à la température  $T$  différente de zéro émet des ondes on parle de rayonnement thermique.

-A l'inverse, de même qu'il émet, un corps absorbe un rayonnement incident.

-Les deux phénomènes, émission et absorption, interviennent simultanément.

### La loi de WIEN

$$\lambda = \frac{2.9 \cdot 10^{-3}}{T} \quad , T \text{ en Kelvin}$$

-rôle symétriques de l'absorption et de l'émission

-émission et absorption sont des phénomènes de fréquences émises

-comme par ailleurs les ondes électromagnétiques se propagent en l'absence de matière.

## 2-ECHANGE DE CHALEUR PAR RAYONNEMENT ENTRE DEUX FACES (CHAUFFAGE PAR RAYONNEMENT)

$$\phi = \sigma(T_1^4 - T_2^4) \cdot \cdot s$$

Où

$\phi$  : quantité de chaleur en watt

$\sigma \cdot \mu \cdot s$  = coefficient mutuel de rayonnement entre deux surfaces  $W/m^2.K^4$

$T_1$  et  $T_2$  = températures absolues des deux surfaces en K

$S$  = facteur d'angle ou facteur de forme des surfaces

### 3-Composition spectrale du rayonnement

Composition spectrale du rayonnement

-si la grandeur est relative à l'ensemble du spectre est dite totale

-si elle concerne un intervalle spectrale étroit  $d\lambda$ , autour d'une longueur d'onde  $\lambda$  elle est dite monochromatique :  $G_\lambda$

La distribution spatiale du rayonnement

-si la grandeur est relative à l'ensemble de l'espace elle est dite hémisphérique

-si elle caractérise une direction donnée de propagation elle est dite directionnelle ;  $G_\lambda$

5- Définitions relatives aux sources

On appelle flux d'une source S la puissance rayonnée notée  $\phi$  par dans tout l'espace qui l'entoure sur toutes les longueurs d'onde. Le flux s'exprime en W.

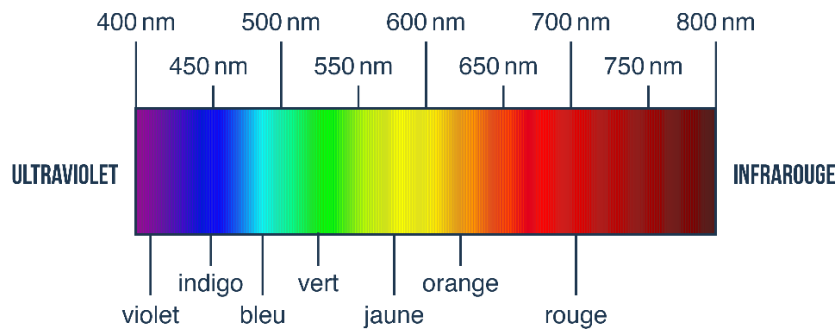
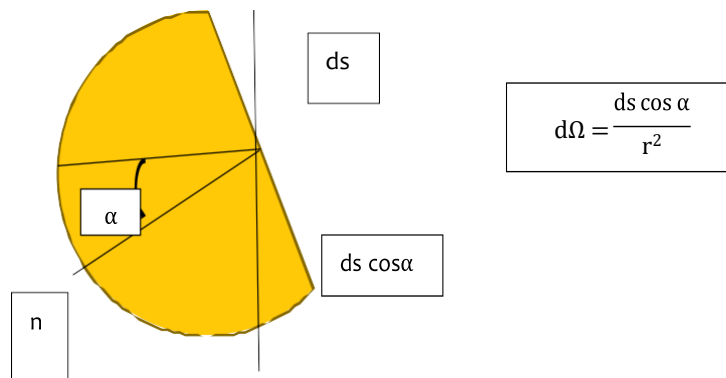
1-le flux envoyé par un élément de surface dans un angle solide élémentaire  $d\Omega$  est noté  $d^2\phi$

2-le flux envoyé dans tout l'espace par une surface élémentaire  $dS$  et note  $d\phi$

3-Le flux envoyé par une surface S dans l'angle solide  $d\Omega$  entourant la direction Ox est noté  $d\phi_x$

-nous avons donc les relations suivantes

$$d\phi = \int_{\Omega} d^2\Omega \quad \text{et} \quad \phi = \int_s d\phi = \int_{\Omega} d\phi_x$$



### La couleur de la lumière diffusée

#### EMITTANCE ENERGETIQUE

##### a-Monochromatique

Un élément de surface  $dS$  émet dans toutes les directions du  $\frac{1}{2}$  espace un certain flux d'énergie par rayonnement. Ce flux est reparti sur un intervalle de longueurs d'ondes. Si l'on

considère le flux d'énergie  $d\phi_{\lambda}^{\lambda+d\lambda}$  émis entre les deux longueurs d'ondes  $\lambda$  et  $\lambda+d\lambda$ , on définit l'émittance monochromatique d'une source à la température T par

$$\mathbf{M}_{\lambda T} = \frac{d\phi_{\lambda}^{\lambda+d\lambda}}{ds d\lambda}$$

$$\mathbf{M}_T = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \mathbf{M} d\lambda = \frac{d\phi}{ds}$$

## **I. Exemple d'étude Technique par le logiciel RETA :26**

### **I. Introduction :**

La construction d'une habitation peut présenter de nombreuses faiblesses en termes d'isolation thermique. Cela peut s'expliquer en partie par le manque d'engagement des constructeurs à assurer une isolation optimale dans leurs constructions. Cela peut également être dû à un manque d'exigences de la part des maîtres d'ouvrage ou à une maîtrise insuffisante de la part des entreprises, voire à une mauvaise définition des besoins énergétiques de la structure par les concepteurs. Afin de remédier aux problèmes liés à la thermique des bâtiments, des méthodes d'évaluation thermique ont été mises en place.

Ce chapitre a pour objectif de présenter le processus de calcul thermique d'un bâtiment. Conformément au document technique réglementaire C3-2, différentes opérations doivent être effectuées. Tout d'abord, il convient de définir les volumes thermiques, puis de calculer les pertes de chaleur pour chacun de ces volumes et de les comparer aux pertes de référence. Les étapes de ce processus sont énumérées ci-dessous.

### **II. Présentation du projet :**

Dans le cadre de ce projet, nous allons étudier une maison à usage d'habitation, et qui est composée d'un RDC plus un étage avec une terrasse accessible (niveaux 9.2 m).

Le RDC contient un logement, qui est constitué d'une chambre, W.C, S.D.B, une cuisine, un garage, un hall et une cage d'escalier menant au 1er étage qui est constitué d'un séjour et une chambre et une terrasse et une cage d'escalier menant à la terrasse.

### **III. Implantation**

Cette maison est implantée dans la wilaya de Tlemcen, la daïra de MANSOURAH classé comme Zone climatique A et de groupe de communes 1, selon le document technique réglementaire (D.T.R.C 3-2).

### **IV. Données architecturales de la maison :**

Hauteur de la maison **9.2m**

Une hauteur de RDC **3m**

Une hauteur de 1er étage **6m**

Surface de la maison **251.24m<sup>2</sup>**

Volume de la maison **275.7m<sup>3</sup>**

---

<sup>26</sup> KHETTAB Samah/ Etude des déperditions thermiques attribuables aux apports énergétiques de l'enveloppe d'un bâti, Projet de fin d'étude 2023.

## V. Données géographiques de la maison :

Latitude  $\varphi$  34.52°

Longitude L -1.33°

L'altitude 1125 m

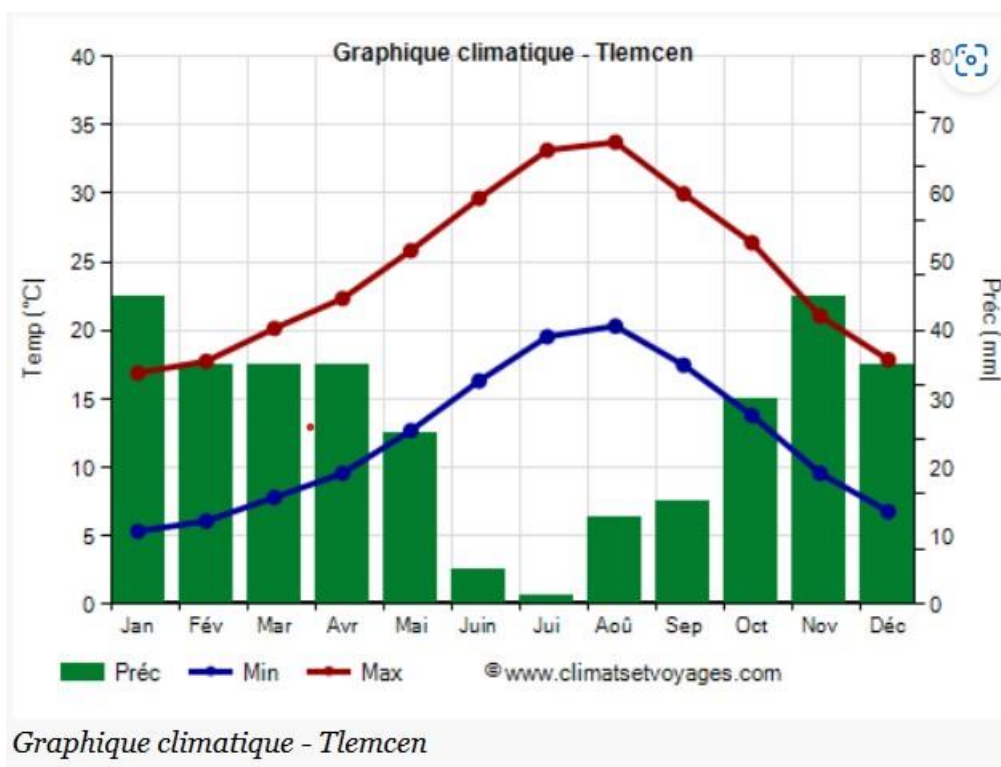
ZONE CLIMATIQUE « B »

## VI. L'orientation :

La maison étudiée se trouvant à la commune de Mansourah. L'axe de façade principale orientée vers le Sud-Est.

## VII. Le climat de Tlemcen

Le climat de Tlemcen est méditerranéen de transition, avec quelques caractéristiques continentales, et semi-aride. L'hiver est assez froid, tandis que l'été est très chaud. De plus, en hiver, la ville est exposée aux vagues de froid et aux chutes de neige. La ville est située au nord-ouest d'Algérie, à une altitude de 800 mètres. La station météorologique est située à 250 mètres, près de Zenâta, elle fournit donc des températures de quelques degrés supérieures à celles enregistrées dans la ville (en fait, elles ne donnent pas une indication correcte du climat de la ville).



### Données climatiques de Tlemcen :

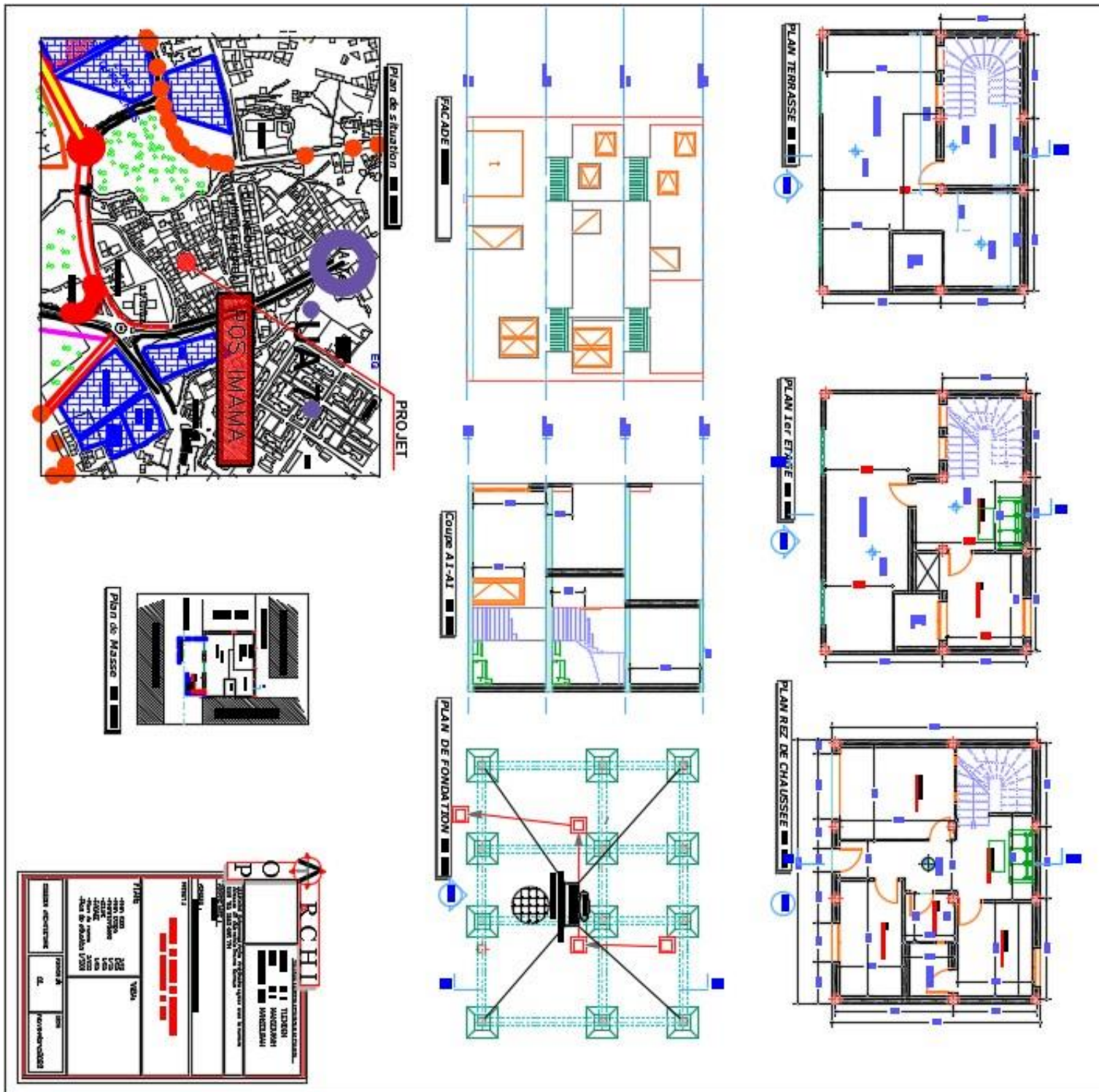
À Tlemcen, la **température moyenne** du mois le plus froid (janvier) est de 11,1 °C, celle du mois le plus chaud (août) est de 27,0 °C. Et les **précipitations** totalisent 320 millimètres par

an : elles sont donc faibles. Au mois le moins pluvieux (juillet) elles s'élèvent à 1 mm, dans les mois les plus pluvieux (janvier, novembre) elles s'élèvent à 45 mm. Voici les températures moyennes et la moyenne des précipitations.

<b>Tlemcen - Températures moyennes (1991-2020)</b>			
<b>Mois</b>	<b>Min (°C)</b>	<b>Max (°C)</b>	<b>Moyenne (°C)</b>
<b>Janvier</b>	5,3	16,9	11,1
<b>Février</b>	6	17,7	11,9
<b>Mars</b>	7,8	20,1	14
<b>Avril</b>	9,5	22,3	15,9
<b>Mai</b>	12,7	25,8	19,2
<b>Juin</b>	16,3	29,6	23
<b>Juillet</b>	19,5	33,2	26,3
<b>Août</b>	20,3	33,8	27
<b>Septembre</b>	17,4	30	23,7
<b>Octobre</b>	13,8	26,4	20,1
<b>Novembre</b>	9,5	21	15,3
<b>Décembre</b>	6,7	17,8	12,3
<b>An</b>	12,1	24,6	18,3

<b>Tlemcen - Précipitations moyennes</b>		
<b>Mois</b>	<b>Quantité (mm)</b>	<b>Jours</b>
<b>Janvier</b>	45	8
<b>Février</b>	35	7
<b>Mars</b>	35	7
<b>Avril</b>	35	7
<b>Mai</b>	25	5
<b>Juin</b>	5	2
<b>Juillet</b>	1	1
<b>Août</b>	13	2
<b>Septembre</b>	15	4
<b>Octobre</b>	30	5
<b>Novembre</b>	45	7
<b>Décembre</b>	35	7
<b>An</b>	320	62





Plan d'architecture<sup>27</sup>

<sup>27</sup> BOUKHARI Mohammed Amin ; Architecte agréé.48 cité IMAMA Tlemcen 0550548714

L'approche que nous avons adoptée dans la réalisation de notre étude sur les mesures et les techniques de mise en conformité de la résidence modèle que nous avons choisie, est basée sur l'examen de deux cas, à savoir l'analyse de la résidence en question, sans et avec une isolation. Ce travail a été conduit suivant les deux étapes suivantes :

- 1ère étape :

La démarche initiale consiste à vérifier la conformité avec la réglementation thermique algérienne (DTR C3-2 et DTR C3-4), de l'appartement dans le cas que nous appelons « Classique », c'est-à-dire (sans isolation).

### **VIII. Interprétation des résultats :**

Les données collectées de la simulation du cas classique, montrent que les valeurs obtenues de la Déperdition Thermique sont supérieures à 1.05 fois la Déperdition de référence ( $DT > 1.05 \times Dréf$ ) et que celles de la somme des apports caloriques des parois opaques à 15h d'un mois de juillet (considéré comme le mois le plus chaud) et des parois vitrées pour la même période sont supérieures à 1.05 x les apports de référence ( $APO(15\text{ h}) + AV(15\text{ h}) > 1.05 \times Aréf(15\text{ h})$ ), contrairement à ce qui est prescrit par la réglementation algérienne. En effet, les résultats obtenus selon la période de l'année sont comme suit :

Résultats de la simulation	Vérification de la prescription de la réglementation Algérienne	Conformité
$DT = 229.03 \text{ (W/°C)}$	$Dréf = 312.45 \text{ (W/°C)}$	Vérification C-3.2 Conforme 0,73
$\Sigma APO + \Sigma AV = 3345.41 \text{ (W)}$	$\Sigma APO_{réf} + \Sigma AV_{réf} = 943.19 \text{ W}$	Vérification C-3.4 Non conforme 3.55

**Les résultats obtenus de la simulation (RDC)**

Résultats de la simulation	Vérification de la prescription de la réglementation Algérienne	Conformité
$DT = 248.79 \text{ (W/°C)}$	$Dréf = 201.229 \text{ (W/°C)}$	Vérification C-3.2 Non conforme 1.23
$\Sigma APO + \Sigma AV = 2104.07 \text{ (W)}$	$\Sigma APO_{réf} + \Sigma AV_{réf} = 1281.56 \text{ W}$	Vérification C-3.4 Non conforme 1.64

**Les résultats obtenus de la simulation (1<sup>er</sup> étage)**

# Solutions Proposées et Efficacités

## Solution 01 : Isolation des parois avec le brique et

### mortier en PEHD :

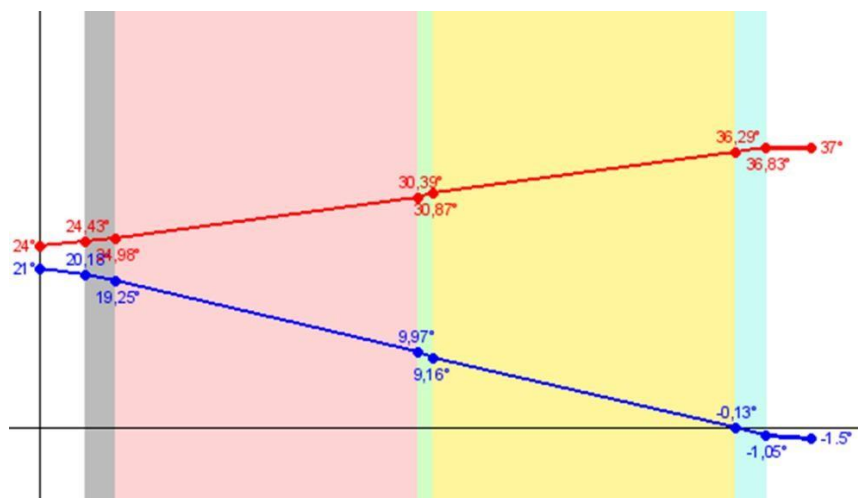
La solution que nous proposons pour mettre en conformité la résidence étudiée, avec la réglementation thermique Algérienne, porte sur l'isolation des parois avec le brique en PEHD et l'enduit de mortier en PEHD. (Pour obtenir le  $\lambda=0.1547 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$  de brique et de mortier en PEHD, on sélectionne la case du -Béton cellulaire autoclavé  $\lambda=0.16 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$ -).

### Composition du parois extérieur (de l'extérieur vers l'intérieur) :

Matériau	Cond. $\lambda$	Epaisseur	Résistance	
Béton cellulaire autoclavé dit béton « gaz »	0,16 W/m.°C	0,02 m	0,13 (m <sup>2</sup> .°C)/W	
Béton cellulaire autoclavé dit béton « gaz »	0,16 W/m.°C	0,20 m	1,25 (m <sup>2</sup> .°C)/W	
Lame d'air pour mur de 5 à 7 mm	0,00 W/m.°C	0,01 m	0,11 (m <sup>2</sup> .°C)/W	
Béton cellulaire autoclavé dit béton « gaz »	0,16 W/m.°C	0,20 m	1,25 (m <sup>2</sup> .°C)/W	
Béton cellulaire autoclavé dit béton « gaz »	0,16 W/m.°C	0,02 m	0,13 (m <sup>2</sup> .°C)/W	
Polystyrène expansé	0,04 W/m.°C	0,20 m	5,26 (m <sup>2</sup> .°C)/W	
<b>Total</b>			0,65 m	8,12 (m <sup>2</sup> .°C)/W

### Profile de température :

De l'intérieur vers l'extérieur+



**Résultat :****Vérification réglementaire en été :**

APO non Aériennes	APO Aériennes	APOréf	AV	AVréf	Vérification C-3.4	
43 W	1566 W	795 W	82 W	148 W	2	Non conforme

**Solution 2 : Isolation du plancher avec polystyrène****expansé et mortier en PEHD :**

La deuxième solution que nous proposons pour mettre en conformité la résidence étudiée, avec la réglementation thermique Algérienne, consiste à rajouter une isolation de polystyrène expansé de 20 cm et de l'enduit de mortier en PEHD au niveau de la toiture, et ce afin de réduire les pertes thermiques et les infiltrations à partir de la toiture.

Composition du plancher (de l'extérieur vers l'intérieur) :

Matériau	Cond. $\lambda$	Epaisseur	Résistance
Produits en céramique carreaux et dalles	1,00 W/m.°C	0,10 m	0,10 (m <sup>2</sup> .°C)/W
Blocs creux en béton de granulats lourds 15cm	0,00 W/m.°C	0,15 m	0,12 (m <sup>2</sup> .°C)/W
Béton cellulaire autoclavé dit béton « gaz »	0,16 W/m.°C	0,02 m	0,13 (m <sup>2</sup> .°C)/W
Polystyrène expansé	0,04 W/m.°C	0,20 m	5,26 (m <sup>2</sup> .°C)/W
	<b>Total</b>	0,47 m	5,61 (m <sup>2</sup> .°C)/W

**Résultats :**

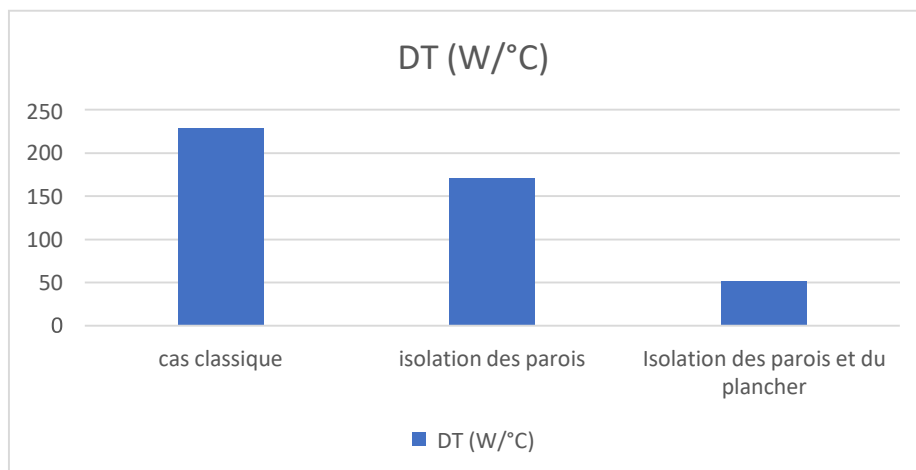
Vérification réglementaire :

$\Sigma$ DT	$\Sigma$ Dréf	Vérification C-3.2	$\Sigma$ APO + $\Sigma$ AV	$\Sigma$ APOréf + $\Sigma$ AVréf	Vérification C-3.4
51,93 W/°C	201,77 W/°C	0,26 	506,00 W	1 278,97 W	0,40 

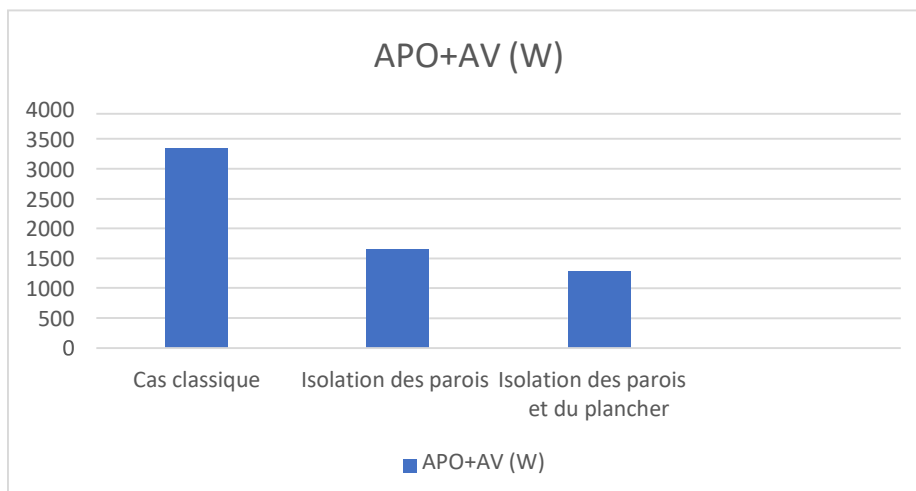
## Efficacité des solutions proposées :

Dans le cadre de notre étude et afin de juger de l'efficacité des solutions proposées, nous avons calculé les pertes thermiques (DT) et les apports calorifiques (APO), pour chacune des deux solutions, en prenant comme référence le cas classique. Les résultats sont rapportés sur le tableau suivant et les données sont utilisées pour tracer des histogrammes qui nous permettent de faire ressortir l'impact de l'implémentation des solutions d'isolation des éléments de construction de la résidence étudiée.

	DT (W/°C)	APO+AV (W)
Cas Classique	229.03	3345.41
Isolation des parois	170.00	1649.00
Isolation des parois et du plancher	051.93	1278.97



Distribution pour chaque cas de figure, de la déperdition thermique (DT) en hiver



Distribution pour chaque cas de figure, des apports calorifiques (APO) en été

***Discussion des résultats :***

Les graphes ci-dessus, représentent sous forme d'histogrammes les distributions des déperditions thermiques et des apports calorifiques de la résidence étudiée, et ce pour les trois cas de figures considérés. Il en ressort les faits suivants :

- L'isolation des éléments de construction de la résidence entraîne une réduction remarquable des déperditions thermiques et des apports calorifiques, c'est notamment le cas de la solution 2 ;
- La solution 2 qui consiste à isoler le plancher et les parois de la résidence a pour effet de réduire respectivement les déperditions thermiques en période d'hiver et les apports calorifique total en été, de 3345.41 (W/°C) et 229.03 (W) par rapport au cas classique et de 1278.97 (W/°C) et 051.93 (W) par rapport à la solution 1 qui comprend seulement l'isolation des parois.

## **II. Conclusion**

En conclusion, le polycopié "Thermique du Bâtiment" se révèle être une ressource avantageuse pour les étudiants en génie civil et en architecture. À travers ses pages, il offre une compréhension approfondie et pratique des principes fondamentaux de la thermique appliquée aux bâtiments. Grâce à des explications claires, des exemples concrets et des conseils pratiques, ce livre guide les futurs ingénieurs et architectes dans la conception et la gestion efficace de structures écoénergétiques et confortables.

La maîtrise de la thermique du bâtiment est essentielle dans un monde où la durabilité et l'efficacité énergétique sont de plus en plus importantes. Ce polycopié offre non seulement des connaissances théoriques solides, mais il encourage également une réflexion critique sur les défis actuels liés à la thermique des bâtiments. En fin de compte, il prépare les étudiants à devenir des professionnels capables de concevoir des bâtiments respectueux de l'environnement, confortables pour leurs occupants, et économiquement viables.

En parcourant ce polycopié, les étudiants ont acquis une base solide pour leur future carrière dans le génie civil et l'architecture, et sont prêts à contribuer de manière significative à la création d'un environnement bâti plus durable et plus efficace sur le plan énergétique.



### III. Référence

- Riantsoa Donatien René. « etude de confort thermique d'un bâtiment en briques artisanales d'argile cuite naturellement ventilé : détermination de l'orientation optimale » ,Thèse en vue de l'obtention du diplôme de doctorat de l'université d'antananarivospécialité : technologie des poudres divisées et écobâtiments.2020
- International Energy Agency. (2019). Energy Efficiency 2019. Paris, France: OECD/IEA.
- "Building Envelope." ENERGY STAR, U.S. Environmental Protection Agency,
- Chahwane, layal, 2011. valorisation de l'inertie thermique pour la performance energetique des batiments [en ligne] these de doctorat. genie civil et sciences de l'habitat. grenoble. université de grenoble.
- JDIDI, M.ET BENJEDDOU, O. La thermique du bâtiment du confort thermique au choix des équipement de chauffage et de climatisation
- Belarbi Moncif Nazih, Benmansour Mohammed. Etude du transfert thermique dans le batiment, memoire Présenté pour l'obtention du diplôme de Master en : Génie Civil, Université Aboubakar Belkaïd– Tlemcen –, juin2022
- Holman, J.P. (2010). Heat Transfer (10th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Astrid denker, dr s.m k el hassar, saad baradiy.2014. guide pour la construction eco-energetique en algerie.
- <https://www.ademe.fr/particuliers-eco-citoyens/habitation/isolation/les-materiaux-d'isolation>
- <https://www.economie.gouv.fr/particuliers/isolation-thermique-des-batiments>
- Claude-Alain Roulet. Thermique du Bâtiment - Tout le confort avec peu d'énergie. LIVRE · Jan 2000
- "Guide pratique pour la rénovation énergétique des bâtiments existants", ADEME.
- [https:// calfeutragemjm.ca](https://calfeutragemjm.ca)
- [http://si.lycee-desfontaines.eu/sequences-1s/rt2012/co/module\\_26.html](http://si.lycee-desfontaines.eu/sequences-1s/rt2012/co/module_26.html)

- "Bilan thermique : définition et enjeux" sur le site du Ministère de la Transition écologique. Disponible sur <https://www.ecologie.gouv.fr/bilan-thermique-definition-et-enjeux>
- Chahwane, layal, 2011. valorisation de l'inertie thermique pour la performance energetique des batiments [en ligne] these de doctorat. genie civil et sciences de l'habitat. grenoble. université de grenoble.
- Ighobriouen Mouloud. Mémoire de fin d'études en Génie Mécanique Spécialité : énergétique thème du nouveau système de climatisation de l'établissement hôtelier AMRAOUA de TIZI OUZOU.2017
- L'isolation thermique du bâtiment ENERSENS
- La thermographie du bâtiment Principes et applications du diagnostic thermographique, groupe Eyrolles,2010, ISBN :978-2-212-133391-2
- Architecture et climat, DGTRE
- <https://www.thermal-engineering.org/what-is-thermal-conductivity-formula-equation-definition/>
- ISO 7730:2005, Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- Yves Jeannot transferts thermiques 2003.
- Khettab Samah/ Etude des déperditions thermiques attribuables aux apports énergétiques de l'enveloppe d'un bâti, Projet de fin d'étude 2023.

## IV. À propos de l'auteur

**Dr. Lynda Amel BOUAYED née CHAABANE**

Maitre de conférences Classe A

Laboratoire Physico-chimie des matériaux avancés (LPCMA)

89 Cité Ben MHidi, 22000 Sidi Bel Abbés

+213 771411360

chaabane25@hotmail.com / <http://www.univ-sba.dz>

