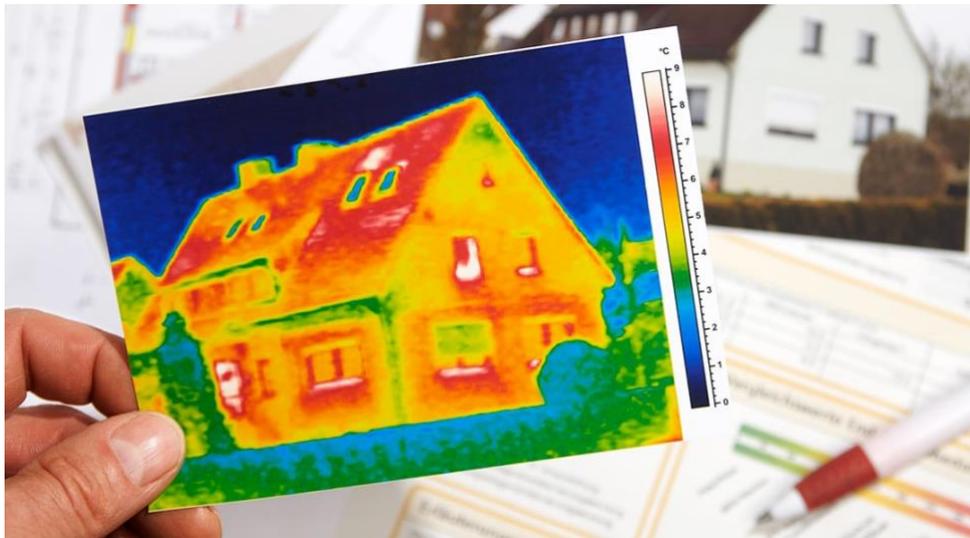


Optimisation des besoins thermiques du bâtiment



Étudiants :

Lisa PHAM

Marion JACOPE

Paul LENAIN

Pauline OLIERIC

Romane SARRAZIN

Salah BOUGUETTAOUI

Enseignant-responsable du projet :

Mohamed Amine ZAININE

Date de remise du rapport : **11/06/2022**

Référence du projet : **STPI/P6/2022 – #34**

Intitulé du projet : **Optimisation des besoins thermiques du bâtiment**

Type de projet : **Recherches bibliographiques et modélisation à l'aide du logiciel CYPE**

Objectifs du projet :

- **Travail bibliographique**
- **Simulation numérique avec le logiciel CYPE**

Mots-clefs du projet (4 maxi) :

Isolation thermique, Performances thermiques, Modélisation

REMERCIEMENTS

Il nous a semblé important de commencer ce rapport par quelques remerciements, car nous n'aurions pas pu réussir ce projet sans aide.

Nous tenons à remercier en premier lieu notre professeur responsable M. Mohamed ZAININE pour nous avoir encadré tout au long de ce projet. Son aide et ses conseils nous ont permis d'acquérir une vision précise des objectifs du projet, et d'en tirer des connaissances approfondies utiles pour notre cursus ingénieur.

Nous remercions aussi M. Carpentier pour son aide précieuse dans la découverte du logiciel CYPE.

Pour finir, nous remercions également l'INSA Rouen Normandie pour nous avoir offert la possibilité de réaliser ce projet qui nous permet de voir une application concrète des connaissances théoriques apprises en cours.

La réalisation de ce projet fut pour nous une expérience très enrichissante.

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	6
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	6
3. Travail réalisé et résultats.....	7
3.1. Théorie des transferts thermiques à travers différentes surfaces	7
3.1.1. Définitions.....	7
3.1.2. Équations appliquées à un exemple.....	9
3.1.3. Ombrage.....	13
3.2. Bibliographie	14
3.2.1. Généralités et définitions.....	14
3.2.2. Les principaux matériaux de construction	16
4. Modélisation d'un bâtiment sur le logiciel CYPE	19
5. Conclusions et perspectives.....	21
6. Bibliographie	22
7. Annexes.....	23
7.1. Tableau résumant le temps de déphasage thermique pour différents matériaux....	23
7.2. Tableau présentant la capacité thermique massique de certains matériaux	23
7.3. Tableau présentant la conductivité thermique de plusieurs matériaux	24
7.4. Tableau résumant la masse volumique de plusieurs matériaux	25
7.5. Tableaux récapitulatifs des isolants pour la première modélisation CYPE	26
7.6. Rapport CYPE des besoins énergétiques d'un bâtiment bien isolé.....	27
7.7. Rapport CYPE des besoins énergétiques d'un bâtiment non isolé.....	33

NOTATIONS, ACRONYMES

cond : Conduction

conv : Convection

ray : Rayonnement

ext : Extérieur

int : Intérieure

TSV : Temps Solaire Vrai

e : Épaisseur

S : Surface

T : Température

R : Résistance thermique

k : Coefficient de conduction thermique

h : Coefficient de convection thermique

σ : Constante de Stefan-Boltzmann

ε : Émissivité

H : Hauteur solaire

δ : Déclinaison

φ : Latitude

ω : Angle horaire

1. INTRODUCTION

Le réchauffement climatique, dû en partie à l'utilisation d'énergies fossiles, mène les scientifiques à s'intéresser aux moyens de réduire notre empreinte énergétique. D'autre part, la hausse du coût de l'énergie poussent les ménages à surveiller leur consommation énergétique dans l'optique de la réduire au maximum. Cette volonté commune fait de l'optimisation de la consommation énergétique des bâtiments un enjeu majeur du XXI^{ème} siècle.

Dans un bâtiment, la part la plus importante de la consommation d'énergie réside dans le chauffage. Pour réduire cette consommation, il est possible de jouer sur deux éléments : le système de production d'énergie et l'enveloppe thermique du bâtiment. C'est sur ce dernier élément que se concentrera notre projet.

Lors de l'étude de la construction d'un bâtiment, il est utile de pouvoir estimer sa dépense énergétique moyenne en fonction de l'activité du bâtiment et de son nombre d'occupants. Pour cela, les professionnels peuvent utiliser le logiciel CYPE qui permet d'étudier la consommation énergétique d'un bâtiment en modifiant des paramètres comme les matériaux qui le composent. Il est également possible de jouer sur l'orientation du bâtiment.

Nous pouvons alors nous demander quels sont les paramètres à modifier sur l'enveloppe thermique d'un bâtiment afin de réduire sa consommation énergétique.

Pour répondre à cette question, nous allons concevoir un bâtiment grâce au logiciel CYPE que nous pourrons ensuite étudier dans différents cas grâce au choix de divers matériaux.

L'objectif de notre projet est double : prendre en main le logiciel CYPE, plus précisément ses deux modules IFC Builder et CYPE Therm, et approfondir nos connaissances sur les transferts thermiques.

2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Les premières séances de ce projet ont constitué une phase de mise au clair des différentes attentes et objectifs de ce projet et d'organiser le calendrier de travail du groupe. Ces séances nous ont également permis d'essayer de cerner et de déterminer les limites du projet afin de ne pas se perdre dans le très vaste domaine d'étude des transferts thermiques.

Une fois ce travail effectué et après avoir déterminé sur quel type de bâtiment portera notre étude, nous avons décidé de séparer le groupe en deux sous-groupes de trois personnes.

Un premier groupe travailla sur la partie 1 du projet en s'intéressant à l'étude de la théorie des transferts thermiques pendant que le deuxième groupe avançait la recherche bibliographique. Pour finir, la prise en main du logiciel CYPE a été réalisée par le groupe au complet. Le travail de modélisation du bâtiment sur CYPE fut l'œuvre de trois élèves pendant que les autres avançaient la rédaction du rapport et de l'affiche.

Cette répartition du travail nous a permis de gagner en efficacité en pouvant travailler seul, à deux ou trois depuis l'INSA et d'avancer le projet chez nous.

Les séances avec le professeur était l'occasion de faire le point sur l'avancement du projet tous ensemble, de lui poser nos questions, de mettre en commun les découvertes et de régler les éventuels points de désaccord.

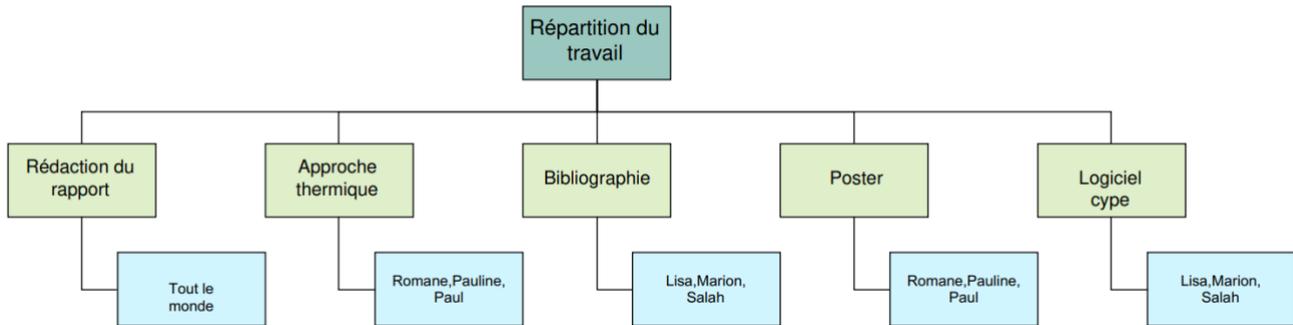


Figure 1 : Diagramme de répartition des tâches

3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

3.1. Théorie des transferts thermiques à travers différentes surfaces

3.1.1. Définitions

a) Définition transfert thermique

Un transfert thermique est un transit d'énergie entre deux systèmes de températures différentes.

Si deux corps ont la même température alors ils sont dits en équilibre thermique. Si leur température est différente, le système le plus chaud cède de l'énergie au système le plus froid : il y a alors un transfert thermique. Plusieurs procédés industriels fonctionnent à partir d'un transfert thermique : le moteur thermique, la centrale électrique au fuel...

Le chauffage domestique fonctionne également grâce aux transferts thermiques.

Il existe trois modes de transferts thermiques : la conduction, la convection et le rayonnement.

b) Les trois modes de transfert thermique

- La conduction

La conduction est un transfert thermique au sein d'un milieu solide sans déplacement de matière. On peut voir la conduction comme un transfert d'énergie des particules les plus énergétiques (les particules chaudes) vers les particules les moins énergétiques (les particules froides) grâce à une collision des molécules.

Le flux conductif à travers une surface S s'écrit :

$$\vec{\varphi} = -k_{tr} \frac{\partial T}{\partial x} \vec{n} \quad (1)$$

Avec :

- φ Flux de chaleur conductif en W
- k_{tr} Coefficient de conductivité thermique du milieu en W/K/m²
- $\frac{\partial T}{\partial x}$ Variation spatiale de T
- \vec{n} Vecteur unitaire orienté vers l'extérieur

Remarque : On trouve sur Internet des abaques des valeurs de k_{tr} selon le matériau. Par exemple, le béton a une conductivité thermique de 1,4 W/m/K et le verre a une conductivité thermique de 1,0 W/m/K.

- La convection

La convection est un mode de transfert thermique avec déplacement de matière. C'est un mode de transfert spécifique aux fluides (gaz et liquide). La convection peut être forcée (circulation artificielle d'air).

Le flux convectif à travers une surface S s'écrit :

$$\vec{\varphi} = h (T_p - T_\infty) \vec{n} \quad (2)$$

Avec :

- φ Flux de chaleur convectif en W
- h Coefficient de transfert de chaleur par convection en W/m²/K
- T_p Température de surface en K
- T_∞ Température du fluide loin de la surface du solide en K
- \vec{n} Vecteur unitaire orienté vers l'extérieur

Remarque : Le coefficient h dépend des caractéristiques propres au fluide comme la nature du fluide considéré, sa température, sa vitesse...

- Le rayonnement

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces. C'est le seul mode de transfert thermique qui peut se propager dans le vide.

Le flux de rayonnement à travers une surface S s'écrit :

$$\vec{\varphi} = \sigma \varepsilon T^4 \vec{n} \quad (3)$$

Avec :

- φ Flux de chaleur par rayonnement en W
- σ Constante de Stefan ($5,67 \cdot 10^{-8}$ W/m²/K⁴)
- ε Facteur d'émission de la surface
- T Température de la surface en K
- \vec{n} Vecteur unitaire orienté vers l'extérieur

Remarque :

Dans certains calculs, en prenant en compte le rayonnement de la surface et celui de l'environnement extérieur, on peut se retrouver avec cette équation $\vec{\varphi} = \sigma \varepsilon (T_p^4 - T_\infty^4) \vec{n}$

On peut linéariser cette expression du flux en la factorisant par $(T_p - T_\infty)$.

On obtient alors, $\vec{\varphi} = \sigma \varepsilon (T_p - T_\infty) (4 T_\infty^3) \vec{n}$.

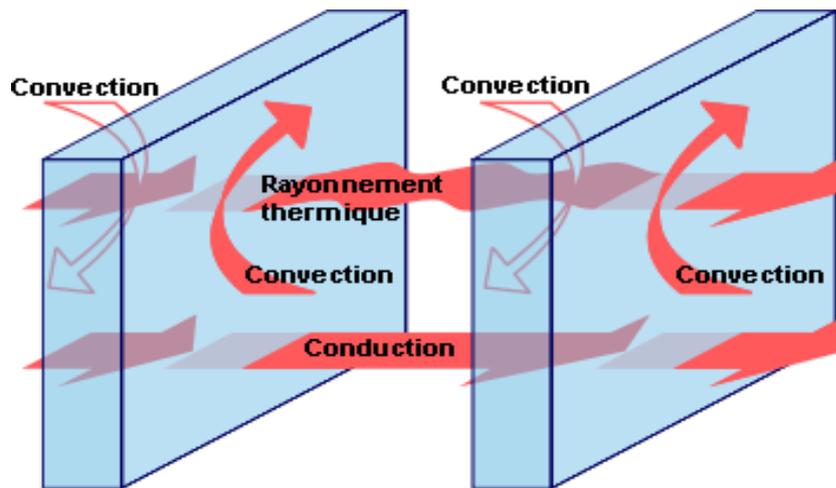


Figure 2 : Schéma récapitulatif des différents modes de transferts thermiques traversant une surface

- Bilan énergétique du bâtiment

Équation du bilan énergétique d'un système :

$$\Phi_{\text{production}} = \Phi_{\text{échange}} + \Phi_{\text{stockage}} \quad (4)$$

Avec :

- $\Phi_{\text{prod}} = \iiint_V \rho \, dV$ (ρ la masse volumique d'apport thermique local en kg/m^3)
- $\Phi_{\text{éch}} = \iint_S \vec{\varphi} \cdot \vec{n} \, dS$
- $\Phi_{\text{stc}} = \iiint_V \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \, dV$ (C la capacité thermique du matériau en J/K/kg)

Remarque : Le flux de stockage dépend du déphasage thermique du matériau (cf. 3.2.1. *Déphasage thermique* pour de plus amples informations)

3.1.2. Équations appliquées à un exemple

Pour exprimer les équations de flux thermique, considérons un bâtiment simple composé d'une seule pièce avec une porte, une fenêtre et un toit plat.

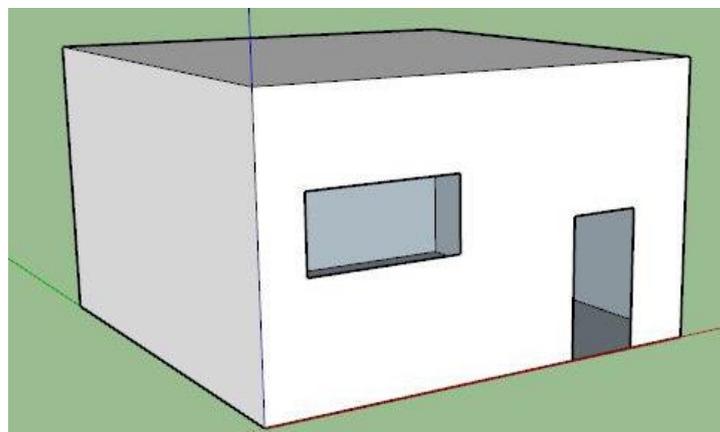


Figure 3 : Modélisation du bâtiment simple

On effectue alors un bilan sur chaque face du bâtiment. Nous faisons l'hypothèse que les matériaux composant notre bâtiment sont uniformes. Nous faisons également l'hypothèse que notre système est stationnaire : la température ne varie pas en fonction du temps.

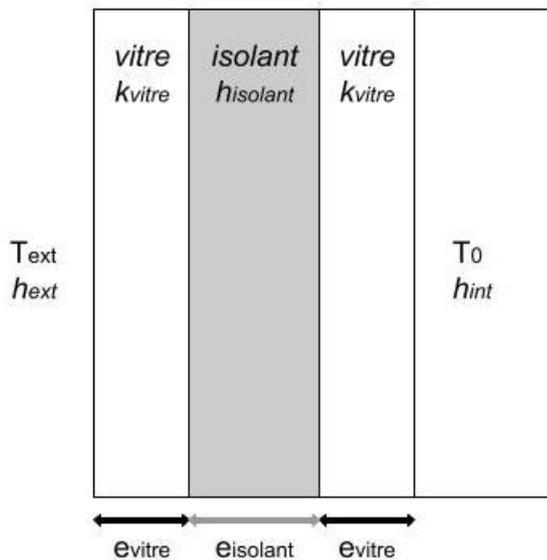
Le bâtiment étant entouré d'air, nous prendrons $\varepsilon = 1$ pour toutes les résistances thermiques liées au rayonnement.

On note T_0 la température à l'intérieur du bâtiment.

On peut, en effectuant une analogie avec la loi d'Ohm en électricité, exprimer le flux à l'aide de résistances thermiques où la différence de température fait écho à la tension et le flux au courant.

On obtient alors pour la fenêtre double vitrage :

$$\Phi_{fen\hat{e}tre} = \frac{T_0 - T_{ext}}{R_{vitre} + R_{isolant} + R_{conv\ int} + R_{conv\ ext} + R_{ray}} \quad (5)$$



Avec :

$$R_{vitre} = \frac{2 \cdot e_{vitre}}{k_{vitre} \cdot S_{fen\hat{e}tre}}$$

$$R_{isolant} = \frac{1}{h_{isolant} \cdot S_{fen\hat{e}tre}}$$

$$R_{conv\ int} = \frac{1}{h_{int} \cdot S_{fen\hat{e}tre}}$$

$$R_{conv\ ext} = \frac{1}{h_{ext} \cdot S_{fen\hat{e}tre}}$$

$$R_{ray} = 4\sigma \cdot T_{ext}^3$$

Figure 4 : Schéma des flux à travers le double vitrage

On considère ici l'épaisseur des deux vitres comme étant la même.

Pour un simple vitrage, le flux ne dépend que des résistances convectives, du rayonnement, et la résistance conductive du vitrage.

Pour le mur, la couche isolante n'est pas un gaz mais un solide dans lequel il y a de la conduction, alors :

$$\Phi_{mur} = \frac{T_0 - T_{ext}}{R_{mur} + R_{isolant} + R_{conv\ int} + R_{conv\ ext} + R_{ray}} \quad (6)$$

Avec :

$$R_{mur} = \frac{2 \cdot e_{mur}}{k_{mur} \cdot S_{mur}}$$

$$R_{isolant} = \frac{e_{isolant}}{k_{isolant} \cdot S_{mur}}$$

$$R_{conv\ int} = \frac{1}{h_{int} \cdot S_{mur}}$$

$$R_{conv\ ext} = \frac{1}{h_{ext} \cdot S_{mur}}$$

$$R_{ray} = 4\sigma \cdot T_{ext}^3$$

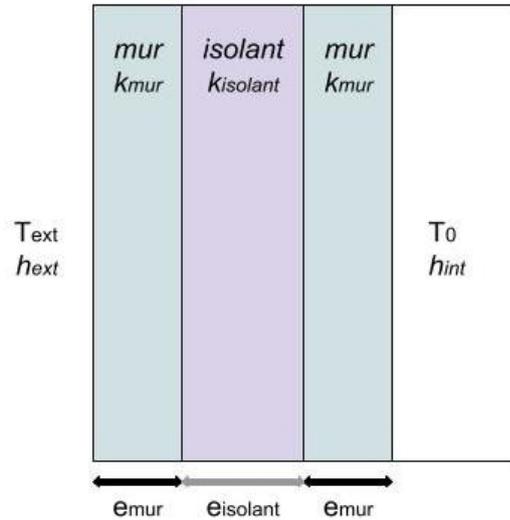
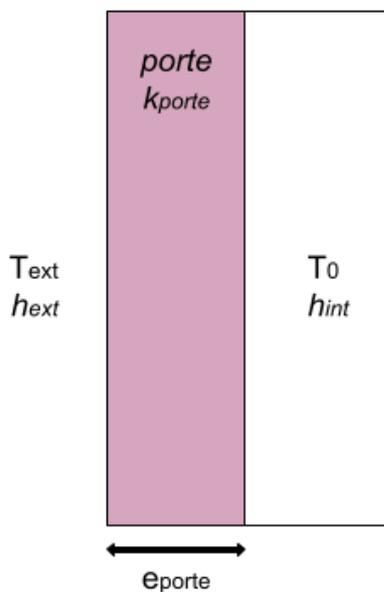


Figure 5 : Schéma des flux à travers le mur

Comme pour la fenêtre, on considère que les deux parties du mur sont composées du même matériau et sont de même épaisseur. Il faut différencier chaque mur de la maison pour le calcul du flux puisqu'ils sont tous orientés différemment et donc pas soumis au même rayonnement (cf. 3.1.3. Ombrage).

Pour la porte, on procède de la même manière que pour le mur :

$$\Phi_{mur} = \frac{T_0 - T_{ext}}{R_{cond} + R_{conv\ int} + R_{conv\ ext} + R_{ray}} \quad (7)$$



Avec :

$$R_{conv\ int} = \frac{1}{h_{int} \cdot S_{porte}}$$

$$R_{cond} = \frac{e_{porte}}{k_{porte} \cdot S_{porte}}$$

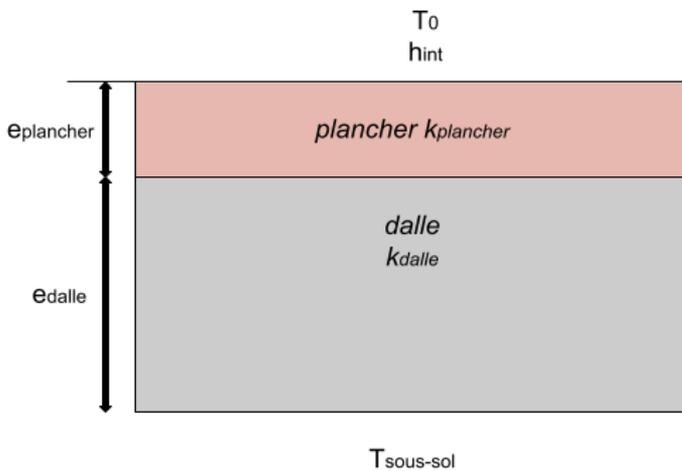
$$R_{ray} = 4\sigma \cdot T_{ext}^3$$

$$R_{conv\ ext} = \frac{1}{h_{ext} \cdot S_{porte}}$$

Figure 6 : Schéma des flux à travers la porte

Pour le sol il n'y a pas de rayonnement et seulement de la convection à l'intérieur du bâtiment. On considère que le dessous du bâtiment est à la température $T_{\text{sous-sol}}$.

$$\Phi_{\text{sol}} = \frac{T_0 - T_{\text{sous-sol}}}{R_{\text{conv int}} + R_{\text{plancher}} + R_{\text{dalle}}} \quad (7)$$



Avec :

$$R_{\text{conv int}} = \frac{1}{h_{\text{int}} \cdot S_{\text{sol}}}$$

$$R_{\text{plancher}} = \frac{e_{\text{plancher}}}{k_{\text{plancher}} \cdot S_{\text{sol}}}$$

$$R_{\text{dalle}} = \frac{e_{\text{dalle}}}{k_{\text{dalle}} \cdot S_{\text{sol}}}$$

Figure 7 : Schéma des flux à travers le plancher

Pour le toit on obtient :

$$\Phi_{\text{toit}} = \frac{T_0 - T_{\text{ext}}}{R_{\text{conv int}} + R_{\text{conv ext}} + R_{\text{revêtement}} + R_{\text{placo}} + R_{\text{isolant}} + R_{\text{ray}}} \quad (8)$$

Avec :

$$R_{\text{conv int}} = \frac{1}{h_{\text{int}} \cdot S_{\text{toit}}}$$

$$R_{\text{conv ext}} = \frac{1}{h_{\text{ext}} \cdot S_{\text{toit}}}$$

$$R_{\text{revêtement}} = \frac{e_{\text{revêtement}}}{k_{\text{revêtement}} \cdot S_{\text{toit}}}$$

$$R_{\text{placo}} = \frac{e_{\text{placo}}}{k_{\text{placo}} \cdot S_{\text{toit}}}$$

$$R_{\text{isolant}} = \frac{e_{\text{isolant}}}{k_{\text{isolant}} \cdot S_{\text{toit}}}$$

$$R_{\text{ray}} = 4\sigma \cdot T_{\text{ext}}^3$$

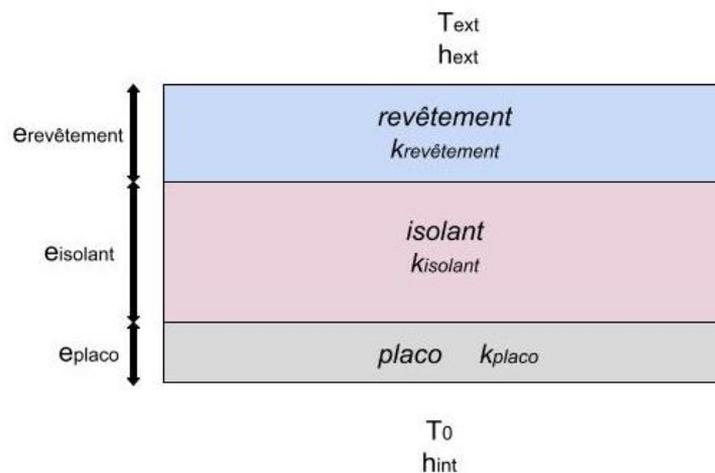


Figure 8 : Schéma des flux à travers le toit

Nous constatons alors que plus le bâtiment est isolé au niveau des fenêtres, des murs et de la porte, plus la somme des résistances est importante et donc plus le flux thermique se dégageant du bâtiment est faible.

3.1.3. Ombrage

Lors de la construction d'un bâtiment, il faut prêter attention à un grand nombre de paramètres, notamment l'ombrage. En effet, celui-ci a un impact non négligeable sur l'énergie apportée par les rayonnements solaires sur le bâtiment étudié.

Ainsi, il est possible de calculer la hauteur du soleil à différents moments de la journée (façade sud, ouest, est) et à différents moments de l'année (selon la saison). Tous ces paramètres font partie du calcul de l'ombrage d'un bâtiment.

Voici les différentes formules utilisées pour le calcul de l'ombrage :

- Hauteur H du soleil en degré

$$H = \arcsin(\cos(\varphi)\cos(\gamma)\cos(\omega) + \sin(\varphi)\sin(\gamma)) \quad (9)$$

- Angle horaire ω

$$\omega = \frac{(TSV - 12) \cdot 360}{24} \quad (10)$$

Avec TSV qui correspond à l'heure de la journée où le rayonnement solaire est le plus fort en fonction de l'orientation de la façade (en heure) :

- TSV=12h côté sud
- TSV=9h côté est
- TSV=15h côté ouest

- La déclinaison γ (l'angle formé par la direction du Soleil avec le plan équatorial)

$$\gamma = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{360}{365}(n - 81)\right) \quad (11)$$

Avec n le numéro du jour de l'année considéré ($n=172$ pour l'été et $n=355$ pour l'hiver, correspond aux solstices respectifs).

- La latitude φ (choix arbitraire de celle du pays de Caux (Normandie))

$$\varphi = 49,6667 \quad (12)$$

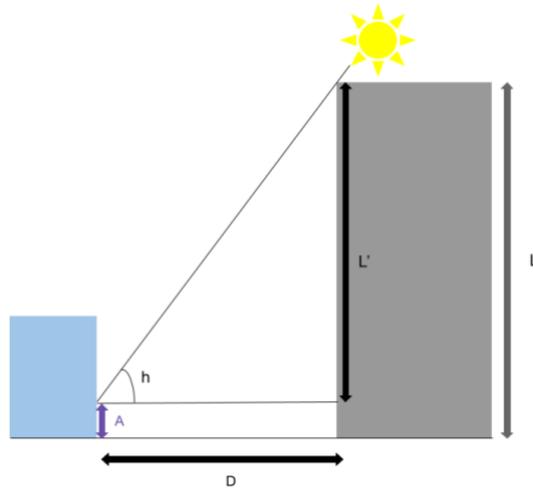


Figure 9 : Schéma correspondant au calcul de l'ombrage d'un immeuble

Ainsi, pour calculer l'ombrage du bâtiment bleu, il suffit d'utiliser la formule suivante :

$$A = L - L' = L - D \cdot \tan(H) \quad (13)$$

Pour l'été, le jour du solstice d'été ($n=172$) a été choisi. En appliquant ces formules sur les trois côtés du mur où le soleil passe durant une journée (ouest, est, sud), on obtient les valeurs de H (hauteur du soleil) suivantes :

Sud: $H=63,7833^\circ$; Est: $H=46,32^\circ$; Ouest: $H=46,32^\circ$

Pour l'hiver, le jour du solstice d'hiver ($n=355$) a été choisi.

En appliquant ces formules sur les trois côtés du mur où le soleil passe durant une journée (ouest, est, sud), on obtient les valeurs de H (hauteur du soleil) suivantes:

Sud: $H=16,8833^\circ$; Est: $H=6,69^\circ$; Ouest : $H=6,69^\circ$

3.2. Bibliographie

3.2.1. Généralités et définitions

L'optimisation des besoins thermiques du bâtiment passe principalement par une bonne isolation de l'édifice. En quelques mots, l'isolation thermique du bâtiment consiste à limiter les transferts de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur de l'habitat. Pour cela, il existe différents critères caractérisant la qualité d'une isolation. En voici les quatre principaux :

- Le déphasage thermique :

Le déphasage thermique est la capacité des matériaux composant l'enveloppe du bâtiment à ralentir les transferts de chaleur, en particulier du rayonnement solaire. Fondamentalement, cela correspond au temps que va mettre la chaleur pour pénétrer dans un bâtiment. Il s'exprime en heure (h). Ainsi, plus ce temps est long, plus le bâtiment sera isolé (en effet, un isolant avec un long déphasage va faire barrage à la chaleur).

Sur l'annexe 7.1, on remarque donc que les panneaux de fibres de bois et de liège expansé ont le meilleur temps de déphasage (entre 13 et 14h), contrairement à la laine de verre et le polystyrène expansé (4h).

- La capacité thermique massique :

La capacité thermique massique ou chaleur massique est la capacité thermique d'un matériau rapportée à sa masse. Elle représente la capacité d'un matériau à accumuler de l'énergie sous forme thermique, pour une masse donnée, quand sa température augmente. Elle se note 'c' et s'exprime en $J.K^{-1}.kg^{-1}$.

Une grande capacité thermique signifie qu'une grande quantité d'énergie peut être stockée. Elle est en lien avec le déphasage thermique. Ainsi, plus la capacité thermique d'un matériau sera élevée, plus il améliorera les performances thermiques du bâtiment car cette grandeur augmente le temps de déphasage (cf. annexe 7.2).

- La conductivité thermique :

La conductivité thermique d'un matériau est sa capacité à laisser passer la chaleur ou, au contraire, à l'isoler.

Plus la conductivité est élevée, plus le matériau laisse passer la chaleur. A l'inverse, plus la conductivité est faible, plus le matériau est isolant. Elle se note ' λ ' et s'exprime en $W.m^{-1}.K^{-1}$.

A partir de l'annexe 7.3, on remarque que le polyuréthane et la fibre de bois sont les meilleurs isolants lorsqu'il est question de conductivité thermique. Le cuivre quant à lui possède une conductivité thermique s'élevant à $380 W.m^{-1}.K^{-1}$, il ne sera pas à privilégier pour optimiser l'isolation d'un bâtiment.

- La masse volumique :

La masse volumique d'un matériau, aussi appelée densité volumique de masse, est une grandeur qui caractérise la masse de ce matériau par unité de volume. Il se note ' ρ ' (rho) et s'exprime en $kg.m^{-3}$.

Plus la masse volumique sera élevée, plus le matériau sera isolant. En effet, cette grandeur a son importance dans la formule de la capacité thermique totale qui est : $Q = m \times c = \rho \times V \times c$. Avec m la masse : $m = \rho \times V$ (V : volume). Donc plus la masse volumique du matériau sera importante, plus m sera élevé donc Q également.

Ainsi, plus la masse volumique d'un matériau sera élevée, plus il améliorera les performances thermiques du bâtiment.

A partir de l'annexe 7.4, on peut observer que les matériaux à privilégier pour optimiser les performances thermiques d'un bâtiment sont le béton, l'ardoise, ou encore la brique pleine.

3.2.2. Les principaux matériaux de construction

Après avoir étudié les critères d'isolation des matériaux, nous allons à présent voir quelques matériaux de construction optimisant les besoins thermiques du bâtiment. Nous avons vu par exemple que le bois, le béton, le liège, la brique et l'ardoise offraient une meilleure isolation thermique.

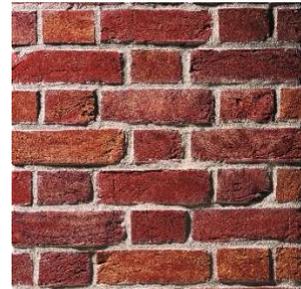
- La brique pleine :

Comme vu précédemment, la brique pleine possède des caractéristiques intéressantes favorisant l'isolation d'un bâtiment. En particulier, sa masse volumique fait d'elle un choix pertinent pour la construction d'un édifice. La brique se constitue d'argile, un matériau très léger composé de plusieurs types de roches.

Il existe quatre types de brique : la brique perforée, pleine, alvéolaire et creuse chacune ayant sa particularité.

Par exemple, les briques alvéolaires et perforées offrent toutes deux une très bonne isolation thermique quasi identique à celle de la brique pleine, voire meilleure.

Notons que la brique est un des matériaux de construction les plus utilisés dans le monde pour sa résistance et ses capacités d'isolation thermique.



- Le béton :

Le béton constitue un choix judicieux lorsqu'il est question d'optimiser les performances thermiques de l'édifice. En effet, comme vu précédemment, il possède une masse volumique et une capacité thermique importantes. Il existe différents types de bétons :

- Le béton armé est un matériau composite qui est constitué de béton et de sections d'acier qui allient les résistances à la compression du béton. Le béton est un matériau très résistant à la compression, mais faible à la traction et au cisaillement. Pour compenser ce déséquilibre, des barres d'armature sont intégrées dans le bloc de béton pour absorber ces efforts.
- Le béton fibré est un béton dans lequel sont intégrés des fibres synthétiques ou métalliques. Comme pour le béton armé, les fibres renforcent le béton.
- Le béton haute performances est constitué d'éléments qui lui confèrent une meilleure résistance à la compression, une grande fluidité, et des besoins en eau plus faibles.

Nous pouvons aussi citer le béton projeté et le béton précontraint. Selon l'utilisation, il existe une classification de la base du béton.

- Le bois :

Les bois de construction moderne sont légers et solides.

L'épicéa, par exemple, a une masse volumique comprise entre 430 et 470 kg.m⁻³ lorsqu'il est sec. C'est cinq fois moins que le béton mais il possède une capacité thermique massique environ deux fois plus élevée que celle du béton. La résistance des bois tendres par rapport à leur poids les rend très attractifs pour des réalisations légères. En termes d'isolation, la

conductivité thermique de l'épicéa par exemple, est plutôt moyenne ($\lambda = 0,11 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) comparée à d'autres bois, mais tout de même quinze fois plus faible que celle du béton et quatre cents fois plus faible que celle de l'acier. Notons ainsi que l'épicéa est 6 fois plus isolant que la brique. C'est pourquoi le bois arrive en 3^{ème} place du classement dans le choix de matériaux de construction.

En particulier, la fibre de bois est souvent utilisée pour l'isolation thermique et acoustique d'un logement. La fibre de bois est idéale pour assurer les performances thermiques d'un édifice car elle offre un réel confort en hiver comme en été. De plus, cet isolant naturel est fabriqué à partir de matériaux écologiques et est respectueux de l'environnement. D'une manière générale, la fibre de bois se constitue d'un mélange d'au moins 80% de fibres de bois et d'un liant. Le liant utilisé varie en fonction de la rigidité et de la souplesse recherchées. Les plus fréquents sont le polyuréthane, le polyester, le coton et le maïs. Souvenez-vous, nous avons vu précédemment que le polyuréthane possède des caractéristiques remarquables lorsqu'il est question d'isolation (conductivité thermique la plus faible : $0,022 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$). C'est pourquoi les panneaux de fibres de bois sont très fréquemment utilisés pour optimiser l'isolation d'un logement.

- La pierre :

Les principales roches utilisées en construction sont le granite, le calcaire, la marne, l'ardoise, le marbre,... L'ardoise par exemple, est reconnue pour ses qualités en termes d'isolation, de résistance et de durabilité. Elle est très résistante au gel et aux rayons de soleil. En effet, il s'agit d'une roche naturelle, d'un schiste à la fois utilisé pour son esthétique et pour ses performances en matière d'isolation thermique et phonique. L'ardoise est utilisée pour la réalisation de toitures. Il existe deux types d'ardoise, l'ardoise naturelle et l'ardoise synthétique. L'ardoise synthétique présente plus ou moins les mêmes caractéristiques que l'ardoise naturelle mais reste tout de même moins durable.

- Le liège :

Le liège est un matériau naturel qui possède de nombreuses propriétés qui font de lui l'un des meilleurs matériaux dans la construction d'une maison écologique. Il existe deux types de lièges lorsque ce dernier est destiné à l'isolation : le liège expansé et le liège naturel. La différence se trouve dans le processus de transformation. Le liège naturel a besoin d'ajouts d'additifs pour le liant et le liège expansé, quant à lui, nécessite de la résine naturelle qui est chauffée à très haute température afin de remplir son rôle de liant. Le liège sert principalement d'isolant thermique mais on l'utilise également pour ses capacités en isolation acoustique. En effet, c'est un matériau durable avec un excellent déphasage thermique comme vu précédemment (13h).



Enfin, le tableau ci-dessous résume les caractéristiques générales (isolation, technique, utilisation) de plusieurs isolants.

Comparatif global

Types isolants			Utilisation					Caractéristiques isolantes			Caractéristiques techniques				Bilan environnemental ^(a)			
			Mur	Plancher / comble perdu	Rampant	Support de couverture	Sol - Sous chape	Lambda en W/m.K	Épaisseur pour R=5 en cm	Prix TTC indicatif pour R=5	Capacité hygroscopique	Réactance à la vapeur d'eau (μ)	Classement au feu	Temps de déphasage thermique pour 20 cm	Énergie primaire (kWh Ep/Df) ^(b)	Effet de serre (CO2 e. eq/Df) ^(b)		
Origine	Isolants	Conditionnement																
Isolants synthétiques	Polystyrène expansé PSE	Panneaux	●	●	●	●	●	0,037 à 0,040	18 à 20	15 à 20 €	Non	30 à 100	B	6	142,6	☹️	16,9	☹️
		Laines minérales	Laine de verre	Rouleaux	●	●	●	●	●	0,035	17	6 à 16 €	Non	1	A à B	6	59,4	☹️
	Laine de roche HD	Rouleaux		●	●	●	●	●	0,040	20	6 à 10 €	Non	1	A à B	6	184	☹️	46,8
Isolants d'origine végétale	Fibre de bois	Panneaux souples	●	●	●			0,038 à 0,040	19 à 20	24 à 38 €	Faible	1 à 2	E	7,5	51,5	☹️	-5,5	😊
		Panneaux denses	●	●	●	●	●	0,037 à 0,046	18 à 23	36 à 75 €	Faible	3 à 8	E	15	173,3	☹️	-18,6	😊😊
	Ouate de cellulose	Vrac insufflé	●	●	●			0,038 à 0,044	19 à 22	10 à 15 €	Moyenne	1 à 2	B à E	10	17,1	😊	-4,4	😊
		Vrac déversé		●				0,037 à 0,040	18 à 20	10 à 15 €	Moyenne	1 à 2	B à E	10	17,1	😊	-4,4	😊
		Panneaux	●	●	●			0,039	20	38 à 42 €	Moyenne	2	E	12	50,8	☹️	-3,5	😊
	Liège	Vrac	●	●			⊙	0,040 à 0,045	20 à 22	28 à 42 €	Faible	5 à 30	E	9	41,4	☹️	-25,6	😊😊
		Panneaux	●	●	●	●	●	0,036 à 0,042*	18 à 21	45 à 71 €		5 à 30	E	13	41,4	☹️	-25,6	😊😊
	Laine de chanvre	Rouleaux	●	●	●			0,038 à 0,042	19 à 21	25 à 36 €	Moyenne	1 à 2	E	7	60,8	☹️	5,1	☹️
		Panneaux	●	●	●			0,038 à 0,042	19 à 21	20 à 40 €	Moyenne	1 à 2	E	7	60,8	☹️	5,1	☹️
	Chênevotte	Vrac	⊙	●	●		⊙	0,048	24	17 à 30 €	Moyenne	1 à 2	E	8,5	15,5	😊	-48,9	😊😊
Laine de lin	Rouleaux	●	●	●			0,037	19	35 à 40 €	Moyenne	1 à 2	C à D	6	56,7	☹️	0,7	😊	
	Panneaux	●	●	●			0,037 à 0,047	18 à 23	22 à 25 €	Moyenne	1 à 2	C à D	6	56,7	☹️	0,7	😊	
Isolants d'origine animale	Laine de mouton	Rouleaux	●	●	●			0,035 à 0,042	17 à 21	20 à 28 €	Forte	1 à 2	C	5	24,5	😊	0,2	😊
		Panneaux	●	●	●			0,035 à 0,040	17 à 20	28 à 36 €	Forte	1 à 2	C	5	24,5	😊	0,2	😊

Figure 10 : Tableau comparatif des caractéristiques générales de plusieurs isolants

Ce tableau synthétise très bien les spécificités de chaque matériau en termes de performances thermiques car on peut retrouver les valeurs de déphasage thermique et de conductivité thermique. Ainsi, pour le choix du matériau le plus performant on comparera la conductivité thermique et la capacité thermique totale pour un même volume.

4. MODELISATION D'UN BATIMENT SUR LE LOGICIEL CYPE

En ce qui concerne la partie simulation de notre projet, nous avons décidé de modéliser deux cas de figure via le logiciel CYPE.

Tout d'abord, un bâtiment simplifié de 18,90 m² a été modélisé via le logiciel IFCBULDER. Dans un premier temps, une étude de ses caractéristiques thermiques avec de bons matériaux isolants et une orientation Sud est réalisée. Puis, dans un second temps, cette étude est réalisée sans isolant et avec une orientation Nord.

Cette étude est menée via le logiciel CYP THERM COMETH et étudie les besoins et la consommation thermique des deux bâtiments urbains. On utilisera les données météorologiques d'une ville de région Parisienne (Trappes) puisque ce climat semble relativement similaire à celui de Rouen. La simulation se fait ainsi sur une durée de six mois, de Janvier à Juin.

Cette comparaison a pour but de déterminer les meilleurs matériaux à utiliser pour réduire les pertes thermiques d'une maison.

Les deux rapports complets de ces simulations sont consultables en annexe 7.6 et 7.7.

- Bâtiment isolé

Dans ce premier cas, les meilleurs matériaux isolants ont été utilisé pour la simulation (cf. annexe 7.5).

Voici les résultats obtenus : sur la période étudiée, le bâtiment enregistre un besoin en chauffage de 135,90 kWh/m².

Besoin total	135.90 kWh/m²
Besoin chauffage	135.90 kWh/m²

Figure 11 : Extrait du rapport en annexe 7.6

Le graphique ci-dessous résume plus précisément les besoins mensuels en chauffage.

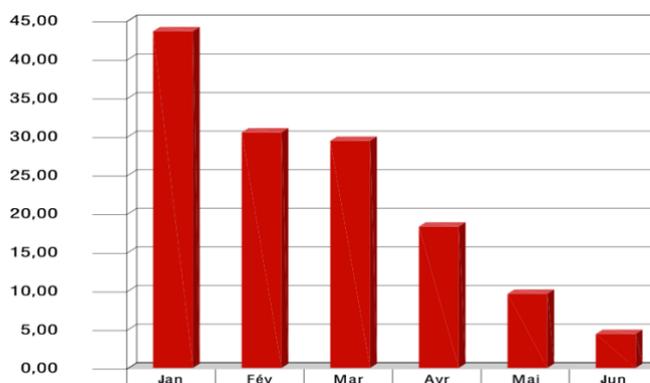


Figure 12 : Diagramme des besoins annuels en chauffage tiré du rapport en annexe 7.6

On remarque que les besoins sont plus importants pendant la période hivernale (mois de Janvier/Février) que pendant la période de fin-printemps/début-été (mois de Juin).

Ces résultats paraissent cohérents puisque les besoins en chauffage augmentent avec les températures froides d'hiver.

- Bâtiment non isolé

Dans ce second cas, la simulation a été réalisée sans isolation et avec une orientation du bâtiment plein Nord.

Voici les résultats obtenus : sur la période étudiée, le bâtiment enregistre un besoin en chauffage de 228.40 kWh/m².

Besoin total	228.40 kWh/m²
Besoin chauffage	228.40 kWh/m²

Figure 13 : Extrait du rapport en annexe 7.7

De même, le graphique ci-dessous résume plus précisément les besoins mensuels en chauffage.

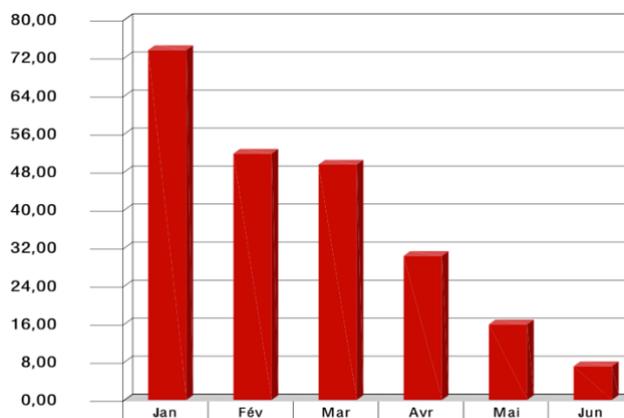


Figure 14 : Diagramme des besoins annuels en chauffage tiré du rapport en annexe 7.7

Comme dit précédemment, le besoin plus important de chauffage en hiver est cohérent.

On peut alors réaliser une comparaison des deux simulations.

On observe une nette différence entre les deux cas : un calcul d'écart relatif estime cette différence à environ 40%. L'écart entre les deux simulations est donc conséquent et ne peut s'expliquer que par la variable isolante.

Isoler sa maison est non seulement un acte écologique (réduire sa consommation) mais également économique. En effet, si l'on prend les prix actuels du kWh, la facture serait de 23,60€ pour le bâtiment isolé et de 39,70€ pour le bâtiment non isolé. Une différence non négligeable, surtout si l'on considère le fait que notre bâtiment possède une surface relativement réduite et est exposé plein sud. Cette différence serait donc beaucoup plus importante pour une grande superficie et une orientation différente.

Une dernière valeur intéressante à étudier dans cette comparaison est le coefficient moyen de déperdition. La déperdition correspond aux pertes de chaleur subies par un bâtiment. Ces pertes thermiques sont souvent causées par une isolation insuffisante ou par le renouvellement de l'air.

$$U_{\text{bât}} = \frac{\sum_i A_i \cdot U_i \cdot (b_i) + \sum_j l_j \cdot \psi_j \cdot (b_j) + \sum_k \chi_k \cdot (b_k)}{\sum_i A_i}$$

Figure 15 : Formule permettant de calculer le coefficient moyen de déperdition

Le calcul du coefficient de déperdition nous donne une valeur de 1.93 W/(m²K) pour le bâtiment isolé et une valeur de 3.16 W/(m²K) pour le bâtiment non isolé.

$\sum A_i \cdot U_i \cdot b_i$	$\sum l_j \cdot \psi_j \cdot b_j$	$\sum A_i$	$U_{\text{bât}}$
100.69 W/K	21.64 W/K	63.50 m²	1.93 W/(m²K)

Figure 16 : Détail du calcul du coefficient moyen de déperdition pour le bâtiment isolé

Une différence de plus de 38% en écart relatif est donc observée entre les deux simulations : la maison non isolée laisse donc s'échapper la chaleur de manière plus conséquente que la maison isolée.

Ainsi, cette simulation confirme l'importance du choix des isolants et de l'orientation des bâtiments dans l'optimisation des besoins thermiques d'un bâtiment.

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Durant ce projet, nous avons tout d'abord approfondi nos connaissances sur les transferts thermiques en écrivant les équations liées au flux thermique d'une maison simple. Cette étude théorique nous a permis de redécouvrir le cours sous une autre approche. Puis, un travail d'étude des différents matériaux de construction et d'isolation a également été mené afin de découvrir leurs caractéristiques. Pour finir, nous avons étudié, via le logiciel CYPE, et après l'avoir modélisé, les déperditions thermiques d'un bâtiment dans le cas où il est isolé et dans le cas où il ne l'est pas. Ce projet nous a donc permis de travailler sur plusieurs supports allant des équations jusqu'au logiciel CYPE en passant par la recherche bibliographique.

Ce travail a donc été l'occasion d'approfondir nos connaissances sur les transferts thermiques pour certains, voire de découvrir complètement la notion pour d'autres, mais également d'apprendre à travailler en groupe, à cerner des attentes, à respecter des délais et à communiquer entre nous pour résoudre des éventuelles difficultés. En effet, tous les élèves du groupe n'ayant pas choisi l'option physique, les différences de connaissances au début du projet ont constitué un challenge.

Réduire les déperditions thermiques, améliorer les performances énergétiques des bâtiments sont autant de défis d'actualité dans lesquels s'inscrivent notre projet. Ceci a donc rendu notre travail très concret et particulièrement intéressant.

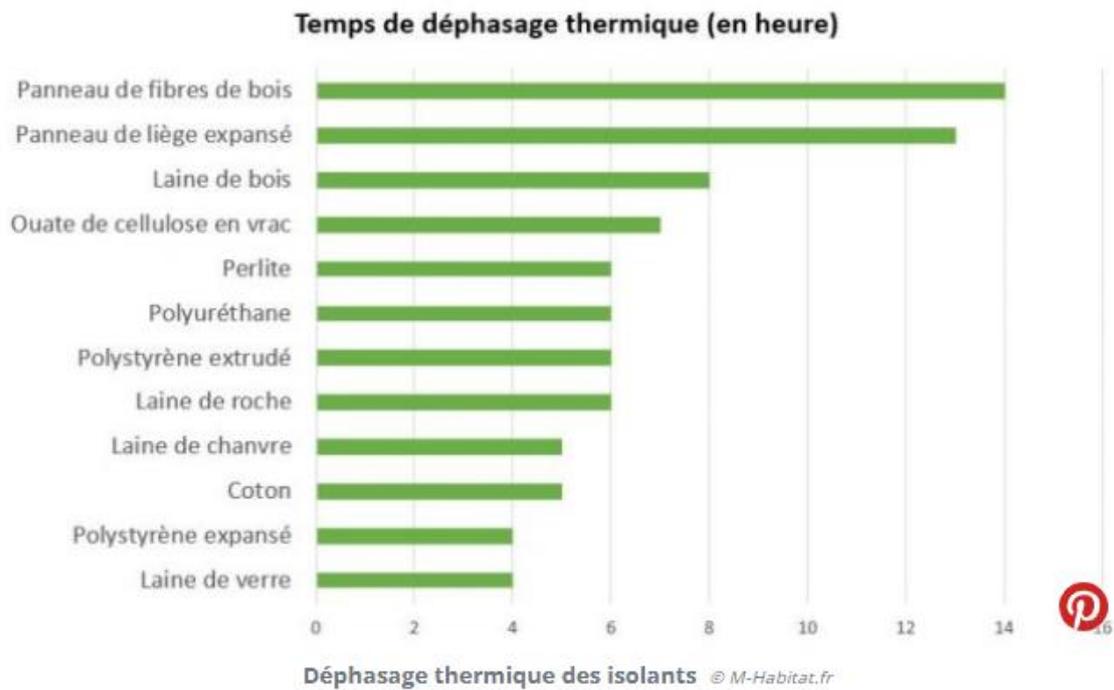
Modéliser les déperditions thermiques de bâtiments plus complexes et grands, et complexifier les équations de flux constituent l'étape suivante de ce projet.

6. BIBLIOGRAPHIE

- [1] M.Yon, Cours sur les transferts thermiques, INSA Rouen Normandie, Année 2021/2022
- [2] <https://www.m-habitat.fr/terrassment-et-fondation/> (valide à la date du 09/06/2022)
- [3] <https://www.ecoconso.be/fr/content/quel-materiau-disolation-utiliser-pour-quoi> (valide à la date du 09/06/2022)
- [4] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Convection.html> (valide à la date du 09/06/2022)
- [5] <https://www.m-habitat.fr/isolation/materiaux-isolants/> (valide à la date du 09/06/2022)
- [6] <https://www.constructeur.pro/differents-styles-de-batiments-batiment-industriel-> (valide à la date du 09/06/2022)
- [7] http://www.bilan-thermique-28.fr/coef_thermiques-1.html (valide à la date du 09/06/2022)
- [8] <http://www.cype.fr> (valide à la date du 09/06/2022)
- [9] <http://eesab-a2d-materiaux.blogspot.com/2014/11/linoleum.html> (valide à la date du 09/06/2022)
- [10] <https://alliance-aluminium.fr/calcul-poids-vitrage-cannes.html> (valide à la date du 09/06/2022)

7. ANNEXES

7.1. Tableau résumant le temps de déphasage thermique pour différents matériaux



7.2. Tableau présentant la capacité thermique massique de certains matériaux

Solide	Capacité thermique massique J/kg. °C
Béton	880
Bois	1200-2700
Graphite	720
Verre	720
Aluminium	897
Cuivre	385

7.3. Tableau présentant la conductivité thermique de plusieurs matériaux

Rang	Matériau	Conductivité W/mK
1	Polyuréthane	0,022
2	Fibre de bois SteicoTherm	0,04
3	PSE extrudé	0,04
4	Laine de verre	0,04
5	PSE expansé	0,04
6	Laine de roche	0,044
7	Liège	0,05
8	Béton cellulaire	0,09
9	Laine de bois	0,1
10	Panneau OSB	0,12
11	Bois Sapin	0,15
12	Plaque de plâtre	0,25
13	Plâtre carreaux	0,25
14	Bois Chêne	0,29
15	Brique pleine	0,74
16	Pierre	1,7
17	Béton plein	1,8
18	Acier	50
19	Aluminium	230
20	Cuivre	380

7.4. Tableau résumant la masse volumique de plusieurs matériaux

Masses volumiques (kg/m ³)	
Bétons	
Béton	2400
Béton armé	2500
Béton cellulaire	300 – 650
Béton bitumeux (enrobés)	2350
Produits isolants	
Laine minérale en rouleau	18
Polystyrène expansé	18
Mousse de polyuréthane	34
Matériaux de construction	
Ardoise	2900
Brique pleine	2300
Verre	2500
Moellons durs	2500
Blocs béton creux (agglos)	1300 – 1700
Monomur 37 cm	740
Plaque plâtre BA 13	825
Carreau de plâtre	957
Métaux	
Acier – Fer	7800
Aluminium	2700
Fonte	7400
Laiton	8600
Plomb	11300
Zinc	7100
Cuivre	8900
Bois	
Acajou	660
Chêne	600 – 900
Pin blanc	350 – 500
Hêtre	800
Bois lamellé collé	500
Panneau de particules	500 – 800
MDF	750
Contreplaqué CTBX feuillu	500
Contreplaqué CTBX résineux	650
Terres et roches	
Calcaire compact	2700
Craie	1250
Granite	2700
Grès	2200 – 2600
Marbre	2800
Sable sec	1600
Gravier	1900
Argile	1800 – 2600
Terre végétale	1250

7.5. Tableaux récapitulatifs des isolants pour la première modélisation CYPE

<u>Couche</u>	<u>Épaisseur</u> (cm)	<u>Conductivité</u> (W/(m*K))	<u>Résistance thermique</u> (m ² K/W)	<u>Densité</u> (kg/m ³)	<u>Chaleur spécifique</u> (J/Kg*K)
<u>Bétons</u>	20	2,00	0,100	2450,0	1000
<u>Liège comprimé</u>	3	0,100	0,3	250	1560

<u>Plâtre</u>	7	0,560	0,125	1350	1000
---------------	---	-------	-------	------	------

	<u>Coefficient de transmission de transmission thermique</u> (W/(m ² K))	<u>Coefficient d'absorption</u>
<u>Porte</u>	1,6	foncée

	<u>Facteur Solaire</u>	<u>Coefficient de transmission (U)</u> (W/(m ² K))	<u>Taux de transmission lumineuse</u>
<u>Fenêtre</u>	0,760	2,800	0,760

7.6. Rapport CYPE des besoins énergétiques d'un bâtiment bien isolé

INDEX

1. DONNÉES GÉNÉRALES.....	2
2. RÉSULTATS PRINCIPAUX.....	2
2.1. Besoin en énergie du bâtiment.....	2
3. INDICATEURS PÉDAGOGIQUES.....	2
3.1. Répartition des déperditions.....	2
3.2. Répartition des baies.....	3
3.3. Besoins du bâtiment.....	3
4. DONNÉES DE CALCUL.....	4
4.1. Décomposition des caractéristiques de l'enveloppe.....	4
4.1.1. Coefficient moyen de déperdition par transmission à travers les parois du bâtiment.....	4
4.1.2. Répartition des déperditions thermiques de l'enveloppe du bâtiment.....	5
4.2. Décomposition des baies du bâtiment.....	5
4.3. Décomposition des besoins.....	5
4.3.1. Décomposition des besoins du bâtiment.....	5
4.3.2. Décomposition des besoins Local.....	5
4.4. Décomposition des consommations d'énergie finale.....	6
4.4.1. Consommations en énergie finale du bâtiment.....	6
4.4.2. Consommations en énergie finale Local.....	6
4.5. Autres résultats.....	6
4.5.1. Compacité du bâtiment.....	6
4.5.2. Local.....	6

1. DONNÉES GÉNÉRALES

Performances énergétiques	
Nom du bâtiment	Bâtiment 1
Ville d'opération/Code postal	-/-
Altitude (m)	60
SRT totale (m ²)	18.90
SHAB totale (m ²) (pour logements)	0.00
Date du permis de construire	En cours
Classe d'exposition au bruit	BR1

2. RÉSULTATS PRINCIPAUX

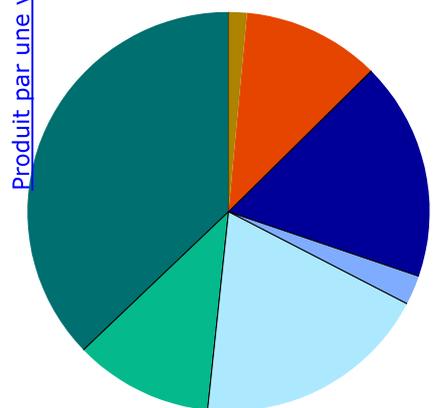
2.1. Besoin en énergie du bâtiment

Besoin total	135.90 kWh/m²/an
Besoin chauffage	135.90 kWh/m²/an

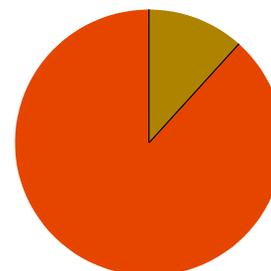
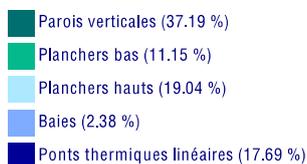
Besoin: Besoin bioclimatique en énergie du bâtiment pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage artificiel.

3. INDICATEURS PÉDAGOGIQUES

3.1. Répartition des déperditions



Éléments en contact avec l'extérieur ou avec le sol (87.45 %)

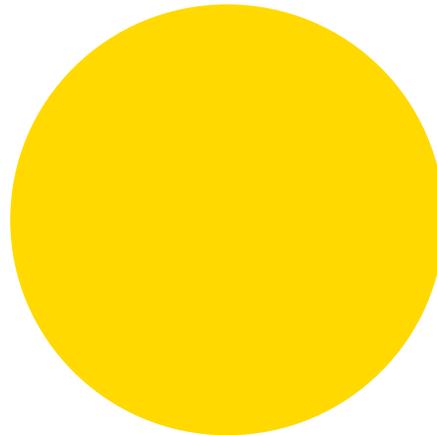


Éléments en contact avec des locaux non chauffés (12.55 %)



>> Voir tableau source

3.2. Répartition des baies



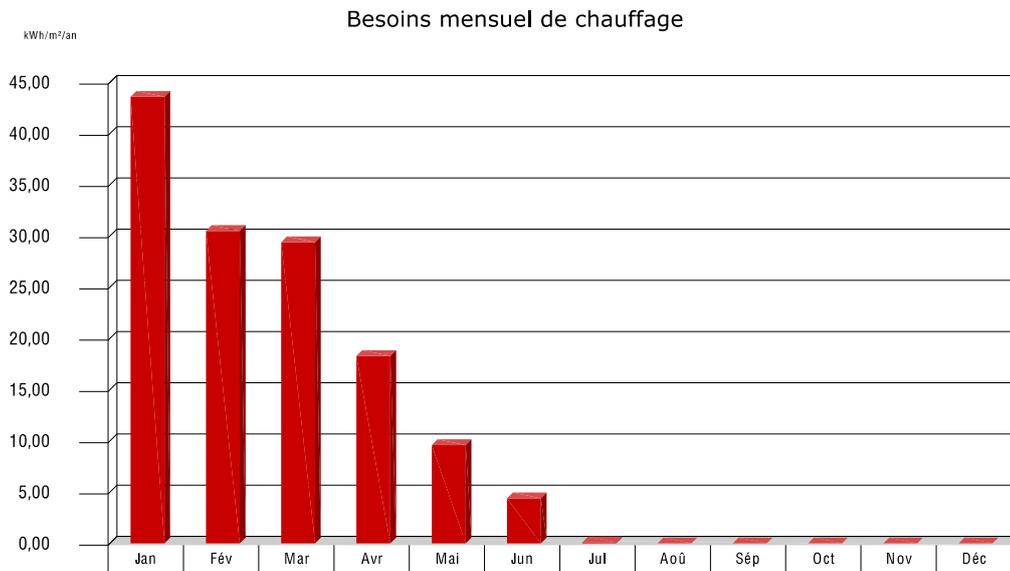
Répartition des baies du bâtiment (100.00 %)

■ Sud (100.00 %)

>> Voir tableau source

3.3. Besoins du bâtiment

Produit par une version éducative de CYPE



>> Voir tableau source

4. DONNÉES DE CALCUL

4.1. Décomposition des caractéristiques de l'enveloppe

4.1.1. Coefficient moyen de déperdition par transmission à travers les parois du bâtiment

Parois verticales	U (W/(m ² K))	b Coefficient	A Surface (m ²)	U·b·A (W/K)
En contact avec l'extérieur ou avec le sol				
Mur ext	1.62	1.00	28.12	45.49
En contact avec des locaux non chauffés				
Mur int	2.60	0.69	7.56	13.56
		TOTAL	35.68	59.05

Planchers bas	U (W/(m ² K))	b Coefficient	A Surface (m ²)	U·b·A (W/K)
En contact avec l'extérieur ou avec le sol				
Sol	1.08	1.00	12.58	13.63
		TOTAL	12.58	13.63

Planchers hauts	U (W/(m ² K))	b Coefficient	A Surface (m ²)	U·b·A (W/K)
En contact avec l'extérieur				
TOIT	1.85	1.00	12.58	23.30
		TOTAL	12.58	23.30

Baies	U (W/(m ² K))	b Coefficient	A Surface (m ²)	U·b·A (W/K)
En contact avec l'extérieur				
Fenetre	2.80	1.00	1.04	2.91
En contact avec des locaux non chauffés				
Porte entrée	1.60	0.69	1.62	1.80
		TOTAL	2.66	4.71

Ponts thermiques linéaires	γ (W/(m·K))	b Coefficient	l Longueur (m)	$\gamma \cdot b \cdot l$ W/K
En contact avec l'extérieur				
LFi [E]Sol-[B]Mur ext(90)	0.50	1.00	10.80	5.40
LFs [G]TOIT-[B]Mur ext(90)	0.50	1.00	10.80	5.40
TFs [G]TOIT-[G]TOIT(180)-[C]Mur int(90)	0.50	1.00	3.40	1.70
LWo [B]Mur ext-[B]Mur ext(90)	0.50	1.00	5.40	2.70
TFi [E]Sol-[E]Sol(180)-[C]Mur int(90)	0.50	1.00	3.40	1.70
TW [B]Mur ext-[B]Mur ext(180)-[C]Mur int(90)	0.50	1.00	5.40	2.70
Wi [K]Fenetre-[B]Mur ext	0.50	1.00	1.02	0.51
Wl [K]Fenetre-[B]Mur ext	0.50	1.00	2.04	1.02
Ws [K]Fenetre-[B]Mur ext	0.50	1.00	1.02	0.51
		TOTAL	43.28	21.64

Le coefficient $U_{bât}$ se calcule d'après la formule suivante:

$$U_{\text{bât}} = \frac{\sum_i A_i \cdot U_i \cdot (b_i) + \sum_j I_j \cdot \psi_j \cdot (b_j) + \sum_k \chi_k \cdot (b_k)}{\sum_i A_i}$$

Calcul du coefficient moyen de déperdition par transmission à travers les parois du bâtiment:

$\sum_i A_i \cdot U_i \cdot b_i$	$\sum_j I_j \cdot \psi_j \cdot b_j$	$\sum_k \chi_k$	$U_{\text{bât}}$
100.69 W/K	21.64 W/K	63.50 m ²	1.93 W/(m²K)

4.1.2. Répartition des déperditions thermiques de l'enveloppe du bâtiment

	Déperdition	
	W/K	%
Éléments en contact avec l'extérieur ou avec le sol		
Parois verticales	45.49	37.19
Planchers bas	13.63	11.15
Planchers hauts	23.30	19.04
Baies	2.91	2.38
Ponts thermiques linéaires	21.64	17.69
Partiel	106.97	87.45
Éléments en contact avec des locaux non chauffés		
Parois verticales	13.56	11.08
Planchers bas	-	-
Planchers hauts	-	-
Baies	1.80	1.47
Ponts thermiques linéaires	-	-
Partiel	15.35	12.55
TOTAL	122.33	100

4.2. Décomposition des baies du bâtiment

	Surface (m ²)
	Bâtiment
Sud	1.04
TOTAL	1.04

4.3. Décomposition des besoins

4.3.1. Décomposition des besoins du bâtiment

	Unités	Mois												Annuel	
		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Sép	Oct	Nov	Déc		
Besoins chauffage	kWh/m ²	43.60	30.50	29.40	18.30	9.60	4.40	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	135.90
TOTAL														135.90	

4.3.2. Décomposition des besoins Local

	Unités	Mois												Annuel	
		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Sép	Oct	Nov	Déc		
Besoins chauffage	kWh/m ²	43.60	30.50	29.40	18.30	9.60	4.40	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	135.90
TOTAL														135.90	

4.4. Décomposition des consommations d'énergie finale

4.4.1. Consommations en énergie finale du bâtiment

Unités	Mois												Annuel
	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Sép	Oct	Nov	Déc	
TOTAL												0.00	

4.4.2. Consommations en énergie finale Local

Unités	Mois												Annuel
	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Sép	Oct	Nov	Déc	
TOTAL												0.00	

Unités	Gaz	Combustible	Charbon	Bois	Électricité	Annuel
TOTAL						0.00

4.5. Autres résultats

4.5.1. Compacité du bâtiment

Surface déperditive	63.50 m²
SRT	18.90 m²
Compacité de l'enveloppe	3.36

4.5.2. Local

Perméabilité à l'air de l'enveloppe sous 4Pa	1.70 m³/(h·m²)
Somme des surfaces climatisées de la zone	0.00 m²
Facteur de transmission thermique global pour l'ensemble des baies	2.91 W/(m²K)
Facteur de transmission thermique global de l'ensemble des parois opaques	104.65 W/(m²K)

7.7. Rapport CYPE des besoins énergétiques d'un bâtiment non isolé

INDEX

1. DONNÉES GÉNÉRALES	2
2. RÉSULTATS PRINCIPAUX	2
2.1. Besoin en énergie du bâtiment	2
3. INDICATEURS PÉDAGOGIQUES	2
3.1. Répartition des déperditions	2
3.2. Répartition des baies	3
3.3. Besoins du bâtiment	3
4. DONNÉES DE CALCUL	4
4.1. Décomposition des caractéristiques de l'enveloppe	4
4.1.1. Coefficient moyen de déperdition par transmission à travers les parois du bâtiment.....	4
4.1.2. Répartition des déperditions thermiques de l'enveloppe du bâtiment.....	5
4.2. Décomposition des baies du bâtiment	5
4.3. Décomposition des besoins	5
4.3.1. Décomposition des besoins du bâtiment.....	5
4.3.2. Décomposition des besoins Local.....	5
4.4. Décomposition des consommations d'énergie finale	6
4.4.1. Consommations en énergie finale du bâtiment.....	6
4.4.2. Consommations en énergie finale Local.....	6
4.5. Autres résultats	6
4.5.1. Compacité du bâtiment.....	6
4.5.2. Local.....	6

1. DONNÉES GÉNÉRALES

Performances énergétiques	
Nom du bâtiment	Bâtiment 1
Ville d'opération/Code postal	-/-
Altitude (m)	60
SRT totale (m ²)	18.90
SHAB totale (m ²) (pour logements)	0.00
Date du permis de construire	En cours
Classe d'exposition au bruit	BR1

2. RÉSULTATS PRINCIPAUX

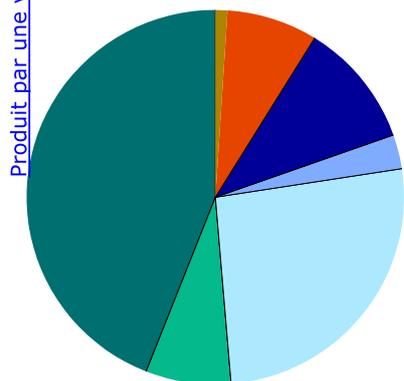
2.1. Besoin en énergie du bâtiment

Besoin total	228.40 kWh/m²/an
Besoin chauffage	228.40 kWh/m²/an

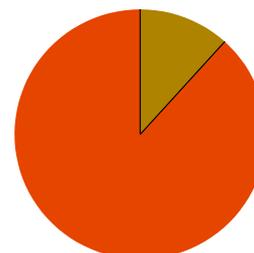
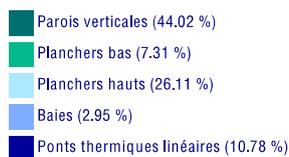
Besoin: Besoin bioclimatique en énergie du bâtiment pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage artificiel.

3. INDICATEURS PÉDAGOGIQUES

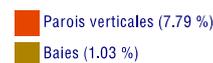
3.1. Répartition des déperditions



Éléments en contact avec l'extérieur ou avec le sol (91.17 %)

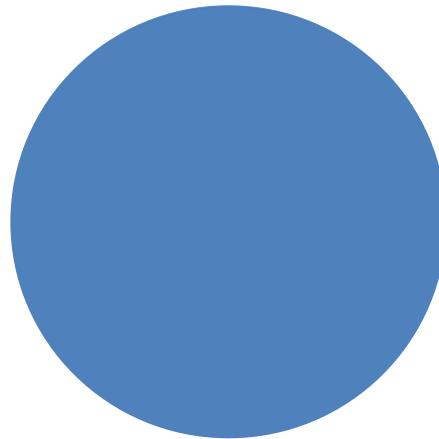


Éléments en contact avec des locaux non chauffés (8.83 %)



>> Voir tableau source

3.2. Répartition des baies



Répartition des baies du bâtiment (100.00 %)

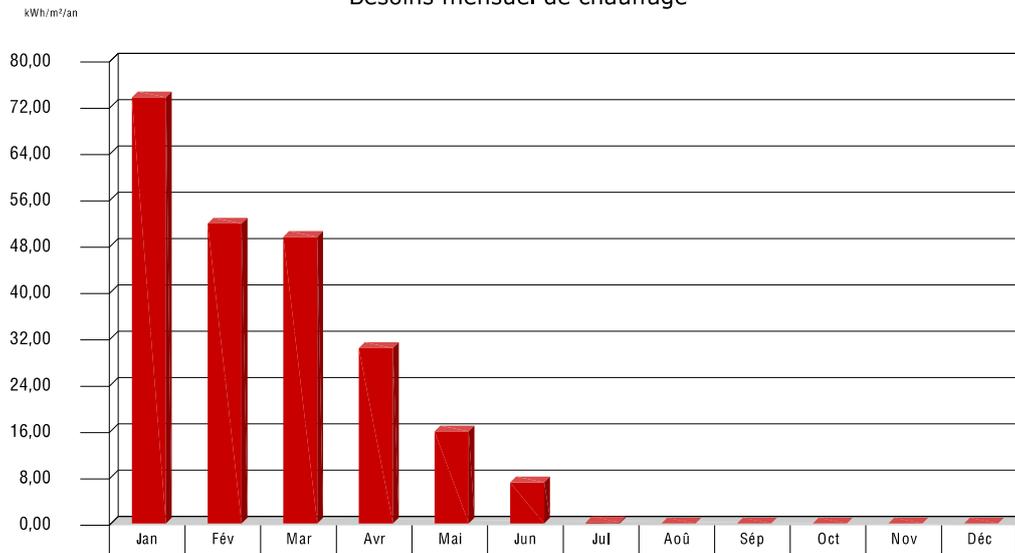
■ Nord (100.00 %)

>> Voir tableau source

Produit par une version éducative de CYPE

3.3. Besoins du bâtiment

Besoins mensuel de chauffage



>> Voir tableau source

4. DONNÉES DE CALCUL

4.1. Décomposition des caractéristiques de l'enveloppe

4.1.1. Coefficient moyen de déperdition par transmission à travers les parois du bâtiment

Parois verticales	U (W/(m ² K))	b Coefficient	A Surface (m ²)	U·b·A (W/K)
En contact avec l'extérieur ou avec le sol				
Mur ext	3.14	1.00	28.12	88.39
En contact avec des locaux non chauffés				
Mur int	2.60	0.80	7.56	15.65
TOTAL			35.68	104.03

Planchers bas	U (W/(m ² K))	b Coefficient	A Surface (m ²)	U·b·A (W/K)
En contact avec l'extérieur ou avec le sol				
Sol	1.17	1.00	12.58	14.68
TOTAL			12.58	14.68

Planchers hauts	U (W/(m ² K))	b Coefficient	A Surface (m ²)	U·b·A (W/K)
En contact avec l'extérieur				
TOIT	4.17	1.00	12.58	52.42
TOTAL			12.58	52.42

Baies	U (W/(m ² K))	b Coefficient	A Surface (m ²)	U·b·A (W/K)
En contact avec l'extérieur				
Fenetre	5.70	1.00	1.04	5.93
En contact avec des locaux non chauffés				
Porte entrée	1.60	0.80	1.62	2.07
TOTAL			2.66	8.00

Ponts thermiques linéaires	γ (W/(m·K))	b Coefficient	l Longueur (m)	$\gamma \cdot b \cdot l$ W/K
En contact avec l'extérieur				
Lfi [E]Sol-[B]Mur ext(90)	0.50	1.00	10.80	5.40
Lfs [G]TOIT-[B]Mur ext(90)	0.50	1.00	10.80	5.40
Tfs [G]TOIT-[G]TOIT(180)-[C]Mur int(90)	0.50	1.00	3.40	1.70
Lwo [B]Mur ext-[B]Mur ext(90)	0.50	1.00	5.40	2.70
Tfi [E]Sol-[E]Sol(180)-[C]Mur int(90)	0.50	1.00	3.40	1.70
TW [B]Mur ext-[B]Mur ext(180)-[C]Mur int(90)	0.50	1.00	5.40	2.70
Wi [K]Fenetre-[B]Mur ext	0.50	1.00	1.02	0.51
Wl [K]Fenetre-[B]Mur ext	0.50	1.00	2.04	1.02
Ws [K]Fenetre-[B]Mur ext	0.50	1.00	1.02	0.51
TOTAL			43.28	21.64

Le coefficient $U_{bât}$ se calcule d'après la formule suivante:

$$U_{bât} = \frac{\sum_i A_i \cdot U_i \cdot (b_i) + \sum_j l_j \cdot \psi_j \cdot (b_j) + \sum_k \chi_k \cdot (b_k)}{\sum_i A_i}$$

Calcul du coefficient moyen de déperdition par transmission à travers les parois du bâtiment:

$\sum_i A_i \cdot U_i \cdot b_i$	$\sum_j l_j \cdot \psi_j \cdot b_j$	$\sum_k \chi_k$	$U_{bât}$
179.13 W/K	21.64 W/K	63.50 m ²	3.16 W/(m²K)

4.1.2. Répartition des déperditions thermiques de l'enveloppe du bâtiment

	Déperdition	
	W/K	%
Éléments en contact avec l'extérieur ou avec le sol		
Parois verticales	88.39	44.02
Planchers bas	14.68	7.31
Planchers hauts	52.42	26.11
Baies	5.93	2.95
Ponts thermiques linéaires	21.64	10.78
Partiel	183.05	91.17
Éléments en contact avec des locaux non chauffés		
Parois verticales	15.65	7.79
Planchers bas	-	-
Planchers hauts	-	-
Baies	2.07	1.03
Ponts thermiques linéaires	-	-
Partiel	17.72	8.83
TOTAL	200.77	100

4.2. Décomposition des baies du bâtiment

	Surface (m ²)
	Bâtiment
Nord	1.04
TOTAL	1.04

4.3. Décomposition des besoins

4.3.1. Décomposition des besoins du bâtiment

	Unités	Mois												Annuel	
		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Sép	Oct	Nov	Déc		
Besoins chauffage	kWh/m ²	73.60	51.80	49.50	30.30	15.90	7.10	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	228.40
TOTAL														228.40	

4.3.2. Décomposition des besoins Local

	Unités	Mois												Annuel
		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Sép	Oct	Nov	Déc	
Besoins chauffage	kWh/m ²	73.60	51.80	49.50	30.30	15.90	7.10	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	228.40
TOTAL														228.40

4.4. Décomposition des consommations d'énergie finale

4.4.1. Consommations en énergie finale du bâtiment

Unités	Mois												Annuel
	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Sép	Oct	Nov	Déc	
TOTAL												0.00	

4.4.2. Consommations en énergie finale Local

Unités	Mois												Annuel
	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Sép	Oct	Nov	Déc	
TOTAL												0.00	

Unités	Gaz	Combustible	Charbon	Bois	Électricité	Annuel
TOTAL						0.00

4.5. Autres résultats

4.5.1. Compacité du bâtiment

Surface déperditive	63.50 m²
RT	18.90 m²
Compacité de l'enveloppe	3.36

4.5.2. Local

Perméabilité à l'air de l'enveloppe sous 4Pa	1.70 m³/(h·m²)
Somme des surfaces climatisées de la zone	0.00 m²
Coefficient de transmission thermique global pour l'ensemble des baies	5.93 W/(m²K)
Coefficient de transmission thermique global de l'ensemble des parois opaques	177.70 W/(m²K)