

Efficacité énergétique et isolation thermique



Etudiants :

Ichrak BOUAMAMA

Mathieu DEGONDE

Hassan MADKOUR

Louis-Marie ZELLER

Alexia DE ROBILLARD

Morgane LEGROS

Cédric MARONGIN

Enseignant-responsable du projet :

M. Jamil ABDUL AZIZ

Date de remise du rapport : **12/06/2015**

Référence du projet : **STPI/P6/2015-n°38**

Intitulé du projet : ***Efficacité énergétique et isolation thermique***

Type de projet : ***Bibliographie, calculs, expériences (maquette)***

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

- ***Développer ses connaissances sur l'isolation thermique et l'efficacité énergétique***
- ***Travailler en groupe***
- ***Appliquer la théorie et réaliser une maquette et faire des mesures***
- ***Comprendre les enjeux d'un problème actuel aussi bien sur le plan énergétique qu'économique et légal.***
- ***Prendre contact avec des professionnels***

Mots-clefs du projet (4 maxi) :

- ***Efficacité énergétique,***
- ***Isolation***
- ***Avenir***
- ***Réglementation thermique***

Remerciements

Avant de commencer la présentation de ce travail, nous profitons de l'occasion pour remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de P6.

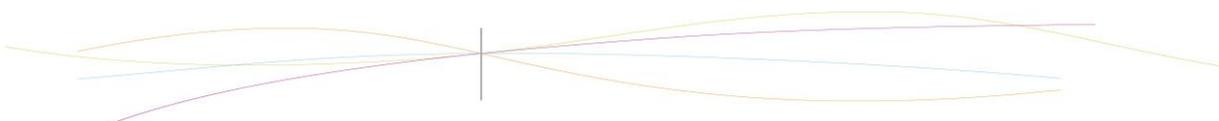
Nous tenons premièrement à exprimer nos remerciements à notre professeur M. Jamil ABDULAZIZ de nous avoir encadré tout au long de ce semestre pour le projet, ainsi que pour son soutien, ses remarques pertinentes et ses conseils. Nous tenons aussi à le remercier pour avoir pris le temps de nous accompagner pendant la visite de chantier.

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à M. Bruno MARONGIN, qui a pu nous prêter du matériel de mesure thermique professionnel ainsi qu'une caméra thermique.

Nos remerciements vont aussi à Messieurs Stéphane LEGOSLES, Ingénieur des travaux principal, et Ronan LEBOUTELLIER, Ingénieur INSA, pour nous avoir permis de visiter le chantier de rénovation thermique de l'île Lacroix et nous avoir accompagnés tout le long de la visite.

TABLE DES MATIERES

1.	Introduction	6
2.	Méthodologie / Organisation du travail	6
3.	Travail réalisé et résultats	8
3.1.	Partie théorique	8
3.1.1.	Transfert de chaleur et isolation au sein d’une paroi	8
3.1.2.	Les ponts thermiques	10
3.2.	Normes, labels et réglementations françaises et européennes	13
3.3.	Performances thermiques	13
3.3.1.	Pouvoir isolant des différents matériaux	13
3.3.2.	Enjeux économiques et environnementaux.....	16
3.3.3.	Innovation, nouveautés, R&D dans le domaine de l’isolation thermique.	19
3.4.	Partie Expérimentale	24
3.4.1.	Avancée du projet :	24
3.4.2.	Expériences.....	25
3.4.3.	Etude de cas	30
4.	Conclusions et perspectives	32
4.1.	Conclusions sur le travail réalisé et l’apport personnel de cet E.C. projet.....	32
4.2.	Perspectives pour la poursuite de ce projet	33
5.	Bibliographie	34
6.	Annexes	37
6.1.	Documentation technique	37
6.1.1.	Réglementations et normes:	37
6.1.2.	Labels et certifications : Labels et certifications en France.....	38
6.1.3.	Tableau comparatif des différents isolants.....	41
6.2.	Schémas de montages, plans de conception, photos	42
6.3.	Propositions de sujets de projets (en lien ou pas avec le projet réalisé).....	43



1. INTRODUCTION

Il existe de nombreuses raisons d'améliorer l'efficacité énergétique du parc immobilier français et européen. La consommation énergétique des ménages est de plus en plus croissante. L'énergie utilisée dans les bâtiments en France utilise une part de plus de 43% avec 62% d'énergie pour la consommation de chauffage selon l'ADEME.

Ainsi dans, un but de préserver les ressources naturelles le plus longtemps possible, protéger l'environnement tout en diminuant ses factures, il est de notre devoir d'assurer une transition énergétique pour s'orienter vers une consommation quasi-nulle dans les années futures.

Pour satisfaire nos besoins d'énergie dans une optique durable, une solution s'impose : il faut réduire notre consommation en diminuant le gaspillage et en utilisant efficacement l'énergie, surtout grâce à des équipements et des bâtiments performants ; il s'agit de l'efficacité énergétique. Il en existe deux sortes: L'efficacité énergétique passive, qui s'intéresse à l'isolation, la ventilation et aux équipements de chauffage tandis que l'active se rapporte plus à la régulation, la gestion de l'énergie et la domotique. Ce sujet étant très vaste, nous axerons notre sujet principalement sur l'isolation thermique et pouvons extraire la problématique suivante :

Est-il encore possible aujourd'hui d'améliorer nos méthodes d'isolation en utilisant une énergie de plus en plus propre et efficace afin d'atteindre les objectifs de la réglementation européenne ?

Dans un premier temps, nous mettrons en évidence les différentes sortes de transferts de chaleur dans une paroi.

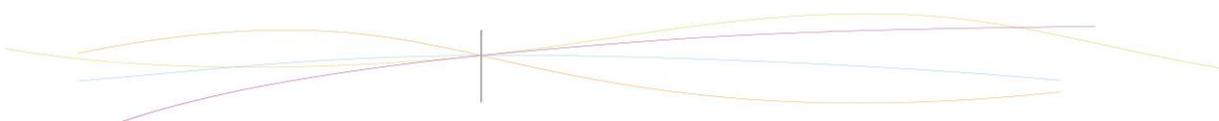
Puis, dans un second temps, nous détaillerons les différentes normes, labels, et réglementations européennes. Ensuite, nous présenterons le pouvoir isolant des matériaux ainsi que les enjeux économiques et environnementaux qui existent pour pouvoir apporter des solutions viables d'isolation et de rénovation thermique.

Dans un dernier temps, les innovations dans le domaine de la Recherche et Développement sur l'isolation thermique seront développées.

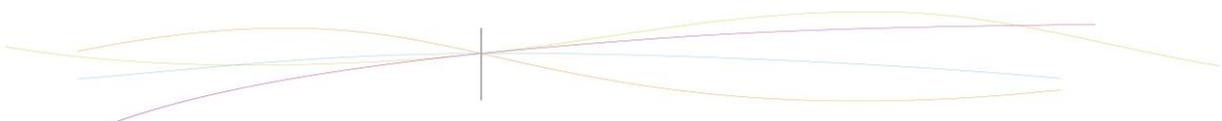
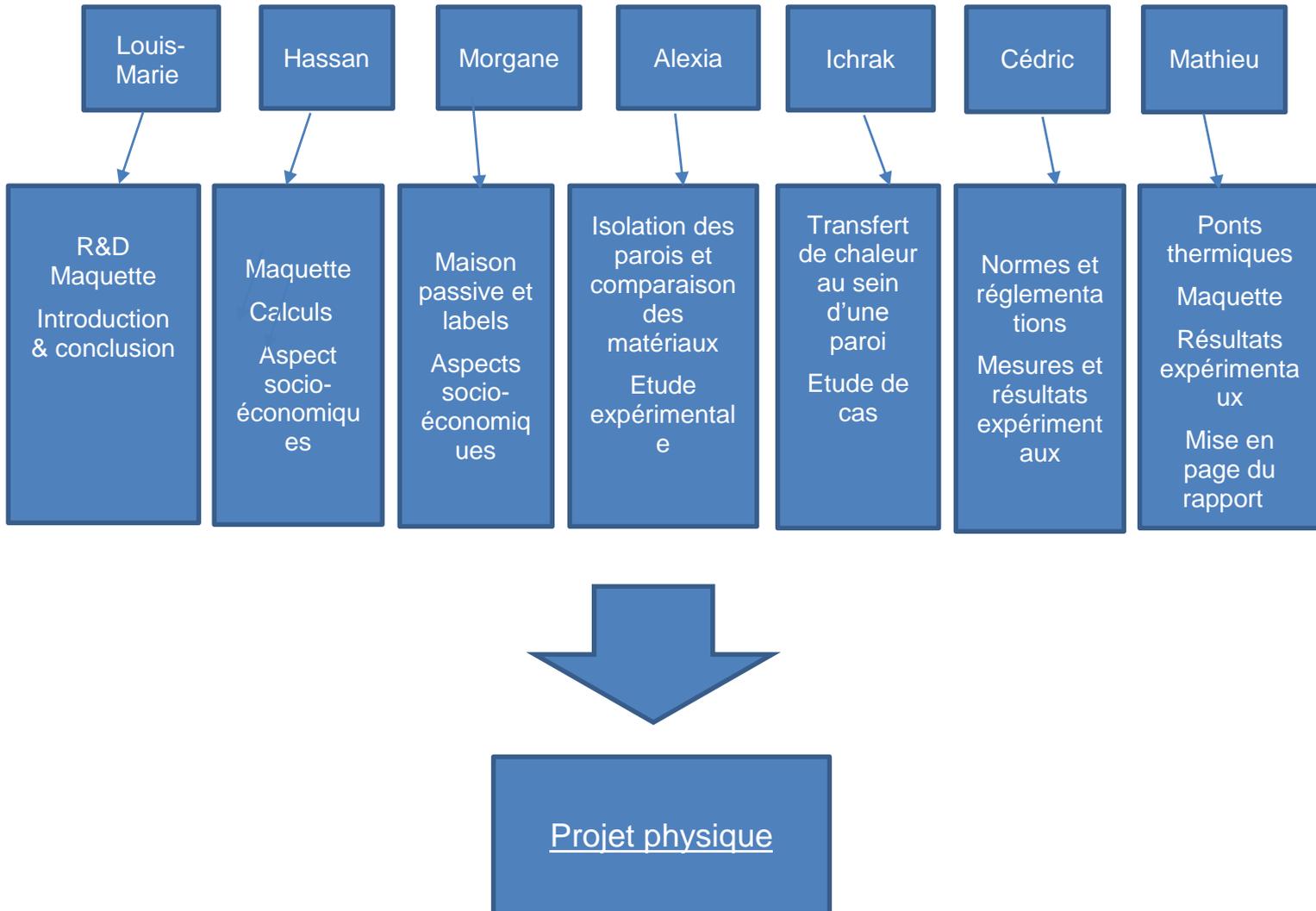
Enfin, durant tout le projet, nous appuierons notre modèle théorique avec une étude expérimentale grâce à notre maquette ainsi que la visite d'un chantier de rénovation thermique.

2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Nous avons, dans un premier temps effectué des recherches, nous nous sommes documentés sur le sujet, pour cerner le sujet et ses notions. Nous avons ensuite mis en place une problématique et construit un plan autour de cette dernière. Le travail bibliographique a alors commencé, nous avons rédigé une partie théorique avec les formules, les notions, les définitions importantes et nécessaires au projet. Dans un second temps, nous avons hésité entre faire une nouvelle maquette ou améliorer celle de l'année précédente qui constituait déjà une bonne base. Nous avons donc opté pour la deuxième option, nous avons donc réfléchi aux améliorations possibles, puis nous avons réalisé des esquisses sur papier et nous avons procédé aux améliorations. Ensuite, nous avons effectué des expériences et des mesures. Entre temps, nous sommes allés visiter un chantier de rénovation thermique pour voir une application plus concrète des notions appréhendées et nous rendre compte des enjeux socio-économiques qui se cachent derrière l'isolation thermique. Enfin, nous avons élaboré le diaporama pour la soutenance orale.



Organigramme des tâches réalisées et des étudiants concernés



3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

3.1. Partie théorique

3.1.1. *Transfert de chaleur et isolation au sein d'une paroi*

3.1.1.1. *La résistance thermique R des matériaux*

On ne peut pas stopper les transferts thermiques mais on peut les diminuer. La résistance thermique traduit sa capacité à réduire le transfert de chaleur réalisé au niveau de la paroi. Plus le matériau est résistant, plus son pouvoir isolant est fort.

$$R = e/\lambda$$

R = résistance thermique exprimée en $m^2 \cdot K/W$

e = épaisseur du matériau exprimée en m

λ en $W/(m.k)$

3.1.1.2. *La conduction de la chaleur dans les matériaux*

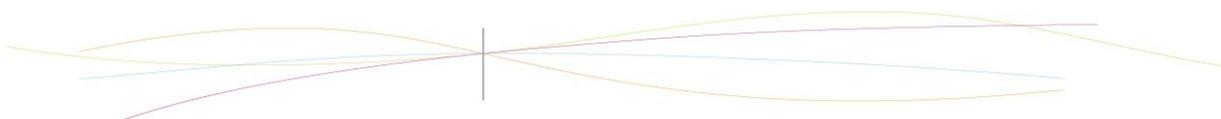
La conduction, ou coefficient de conductivité thermique, est exprimée en $W/(m.K)$ et représente la quantité d'énergie traversant 1 m^2 de paroi pour un mètre d'épaisseur de matériau et pour une différence de température de 1 K entre les deux faces, pendant l'unité de temps. Elle est dénommée (λ), valeur normalisée. Elle est conventionnellement mesurée pour une température moyenne du matériau de 10 °C. Plus la conductivité est faible, plus le matériau est isolant. La conductivité thermique est une caractéristique constante, intrinsèque et propre à chaque matériau. Elle permet d'évaluer l'aptitude du matériau en question à plus ou moins laisser passer un flux de chaleur.

On considère qu'un matériau est bon isolant lorsque sa conductivité est inférieure à 0.060 $W/(m.K)$. Pour isoler un mur, on peut procéder en 2 méthodes : soit déposer l'isolant vers l'extérieur ou vers l'intérieur de la paroi. En effet, l'isolant est installé à l'intérieur des parois du mur au début des constructions.

L'isolation extérieure se fait si l'isolation intérieure ne peut plus assurer son rôle.

Isolant	Coefficient conductivité thermique
Polyuréthane	0,025
Polystyrène expansé	0,038
Polystyrène extrudé	0,03
Laine de mouton	0,039
Lin	0,037
Verre cellulaire	0,035 à 0,048
Liège	0,037 à 0,04
Chanvre en rouleau	0,04
Laine de coton	0,04
La cellulose	0,04
La laine de bois	0,04
Laine de verre ou de roche (rouleau ou plaques)	0,04
Laine de verre ou de roche (flocons)	0,045
Chanvre en vrac	0,048
Perlite	0,06
Vermiculite	0,058 à 0,065
Bois	0,15

Figure 1: Tableau des différentes conductivités thermiques des isolants



3.1.1.3. Isolation extérieure ou intérieure ?

Avantages de l'isolation intérieure :

- Mise en chauffe rapide du bâtiment
- Faible coût
- Rapidité de la mise en œuvre.

Inconvénient

-Peu inertie thermique lorsque la chaleur provient de l'intérieur (chauffage en hiver) (L'inertie thermique d'un bâtiment est à sa capacité à emmagasiner de la chaleur et à la restituer par la suite).

Avantage isolation par l'extérieur :

- Aucun pont thermique
- Très bonne résistance à la perméabilité à l'eau, il y a donc peu de risques de moisissures des murs.
- Inertie intéressante en hiver et en été (meilleur confort et économies d'énergie).

Inconvénient

- Prix élevé
- Peu d'installateurs

L'isolation extérieure semble donc plus avantageuse.

Isolation intérieure :

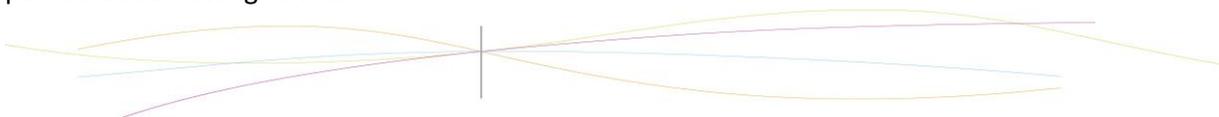
Il est primordial de créer une paroi étanche à l'air pour atteindre de bonnes performances énergétiques, c'est à dire respecter la continuité d'isolation entre les différentes parois, sans ponts thermiques, sans risques de dégradations (murs, plancher, toit) car la moindre fuite d'air peut avoir de lourdes conséquences. Il suffit donc d'installer un pare-vapeur du côté du mur chaud, qui est un régulateur d'humidité, il est plus ferme à la diffusion de la vapeur que le frein-vapeur. On peut aussi poser un pare-pluie entre l'isolant et l'extérieur qui laisse passer la vapeur d'eau mais pas les gouttes d'eau.

3.1.1.4. Nécessité de ventilation

La ventilation est nécessaire pour une bonne isolation thermique. En effet, la vapeur d'eau est produite en moyenne par jour par une famille de 4 personnes est de l'ordre de 12 L d'eau. La vapeur de vapeur peut produire de la moisissure et de l'humidité. La ventilation est donc indispensable dans un logement. L'aération est complémentaire à la ventilation.

Quelles sont les différents systèmes d'aération?

- **Avec un extracteur:** Il est installé dans les salles humide, tels que la salle de bain, WC, etc. Il a quelques inconvénients : bruyant, le débit d'air n'est pas maîtrisé. Il n'assainit pas et ne protège donc pas le bâti sur le long terme.



- **Par tirage naturel** : La ventilation se fait de manière naturelle: la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur et la pression du vent sur les façades du bâtiment permettent une circulation de l'air au sein du logement. La ventilation est donc provoquée par un tirage thermique. Les logements comportent des entrées d'air rattaché à des conduits d'évacuation. Les sorties d'air sont fixes ou réglables manuellement. Ce système présente aussi des inconvénients: le grillage en bas et en haut du mur, le débit d'air n'est pas maîtrisé, cela peut provoquer une surconsommation du chauffage pendant l'hiver et absence de ventilation l'été.

-Ventilation mécanique :

Pour que la ventilation reste permanente au sein d'un logement, la ventilation mécanique semble indispensable, ses systèmes de ventilation s'appellent des VMC (ventilation mécanique contrôlée).

Le principe de la VMC simple flux:

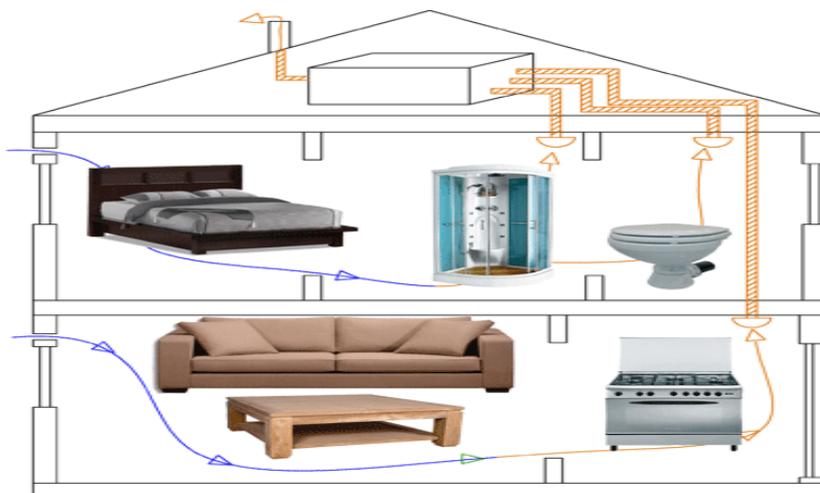


Figure 2: schéma illustrant la VMC simple flux

L'extracteur électrique est présent dans toutes les pièces, il aspire l'air et génère une dépression, l'air s'introduit dans les pièces via les entrées d'air, qui se trouvent au-dessus des fenêtres.

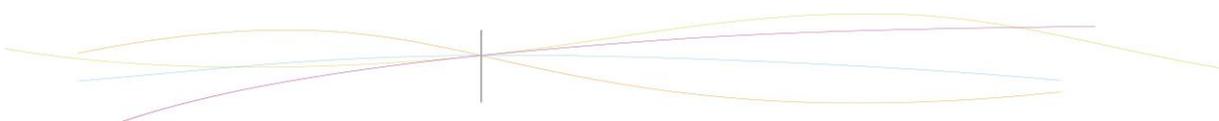
3.1.2. Les ponts thermiques

3.1.3.1 Définitions et caractéristiques

Un pont thermique est un manque local d'isolation, qui dévalue la performance thermique d'une paroi. C'est une zone ponctuelle ou linéaire qui, dans l'enveloppe d'un bâtiment, présente une variation de résistance thermique. Il s'agit d'un point de la construction où la barrière isolante est rompue. Un pont thermique peut être dû à :

- Une mauvaise application de l'isolant (Point de jonction où l'isolation n'est pas continue).
- La perforation de l'isolant : lors de travaux, pour le passage de gaines électriques par exemple.
- Un isolant ayant subi des dégradations telles que rongeurs ou fuite d'eau.

On trouve fréquemment des ponts thermiques aux niveaux des souches de cheminées, des trappes d'accès, au niveau des jonctions entre les murs et la toiture, au niveau des angles et des jonctions entre les murs et les fenêtres.



Les ponts thermiques représentaient 10 à 20% des déperditions totales d'un bâtiment avant qu'on ne commence à les isoler. Les ponts thermiques constituent donc des zones de fortes déperditions thermiques. Il est important de les limiter pour améliorer l'efficacité énergétique et thermique d'un bâtiment.

3.1.2.2. Conséquences et effets

Les ponts thermiques entraînent de nombreuses conséquences à plusieurs endroits. L'inconfort thermique induit par ce phénomène va se ressentir rapidement mais ce n'est, cependant pas le seul désagrément car un pont thermique impacte sur la qualité du logement, sur les dépenses en chauffage, etc.

Effets sur le confort thermique :

Les ponts thermiques ont des conséquences directes sur l'environnement intérieur : des sensations de froid ou de chaud en fonction de la saison. L'hiver, la désagréable sensation de froid se fait ressentir alors que le chauffage tourne. L'été, l'inverse se produit et les parois donnent l'impression d'être de véritables radiateurs qui continuent de diffuser la chaleur même bien après que le soleil soit couché. Comment expliquer un tel phénomène ?

Pour cela, il nous faut comprendre la notion de déphasage thermique ou inertie thermique qui est indispensable pour une bonne isolation des parois. Le déphasage thermique correspond au temps de latence entre l'instant où l'on envoie un flux à travers une paroi et l'instant où ce flux est réémis, c'est-à-dire le temps de restitution de la chaleur par le mur. Cette grandeur est directement liée à la capacité thermique du mur. Par conséquent, plus le déphasage est élevé, plus les échanges sont retardés, ce qui permet une meilleure isolation.

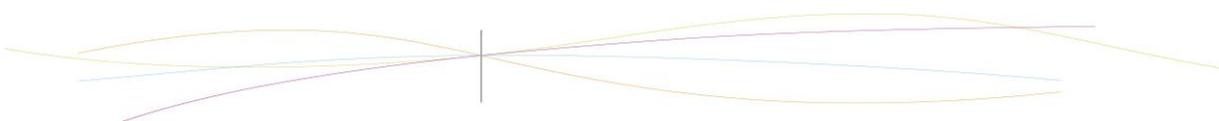
Le déphasage thermique ou inertie thermique est la propriété d'un matériau à limiter la pénétration et surtout les transferts de température (froide ou chaude). Au niveau de l'habitat, un matériau avec un bon déphasage thermique utilisé pour l'isolation limitera les désagréments, tels que « l'effet radiateur » de certaines surfaces. C'est sur ce même principe que reposent les radiateurs de dernière génération : l'inertie thermique. Le radiateur diffuse de la chaleur pendant le temps de chauffe et en profite pour en accumuler un maximum. Cette accumulation permet ensuite de continuer la diffusion même une fois le chauffage coupé.

Conséquences sur le confort de la maison :

Les sensations de parois froides et de courant d'air ne sont pas les seules conséquences sur le confort. Dans bien des cas, lorsque les ponts thermiques sont associés à une mauvaise ventilation de la maison, ils peuvent être à l'origine de problèmes d'humidité. En effet et plus particulièrement l'hiver, une paroi froide (par exemple, un plafond) aura tendance à attirer l'humidité. Cette humidité sous forme de vapeur va alors se condenser au contact du froid et se répandre sur les parois froides. Les conséquences sont en général, désagréables : moisissures, champignons qui vont rapidement venir dégrader la qualité de l'air de la pièce, tout comme les murs.

Conséquences financières :

Le confort intérieur dégradé n'est pas la seule conséquence. Des ponts thermiques importants auront des impacts sérieux sur les finances d'un foyer, car en effet il faudra chauffer ou refroidir de façon beaucoup plus élevée qu'un bâtiment bien isolé. Il est donc important d'améliorer



l'isolation de l'habitat pour réduire sa facture énergétique. L'énergie la moins chère est celle qui n'est pas utilisée ou du moins, pas gaspillée.

3.1.2.3. Comment traiter et combattre les ponts thermiques

Isolation par l'intérieur

L'isolation par l'intérieur est une solution peu coûteuse pour réduire les désagréments occasionnés par les ponts thermiques et autres parois froides. On place un isolant sur le pont thermique à isoler (mur, plafond, etc.).

Ce type d'isolation peut se mettre en place rapidement mais sera inefficace pour lutter contre l'origine du pont thermique.

L'isolation intérieure n'est efficace que si elle est associée à une membrane qui permet l'étanchéité à l'air. Cela s'explique du fait que si elle n'est pas présente, il y aura plus de risques d'infiltrations d'air ou de condensation au sein de l'isolant.

La membrane d'étanchéité à air est généralement posée entre l'isolant et la cloison, elle doit impérativement couvrir l'ensemble de la paroi sans interruptions ou être reliées avec des rubans adhésifs ou des colles spécifiques afin d'éviter les déperditions ou les ponts thermiques.

Il est donc recommandé d'installer un frein vapeur du côté intérieur qui permet d'éviter l'infiltration de l'humidité à l'intérieur du mur, il peut être plus efficace de poser un pare-vapeur qui au contraire est complètement étanche à la vapeur d'eau.

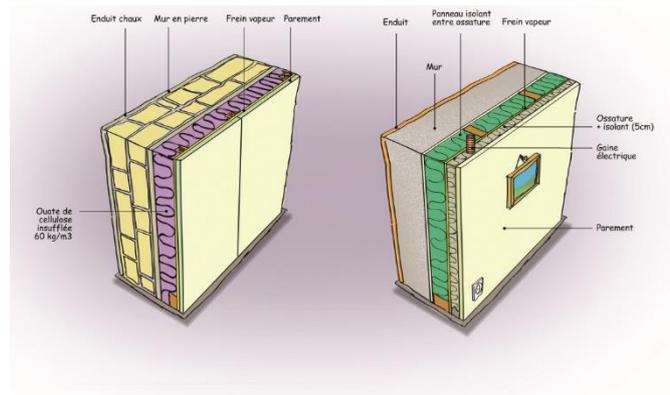


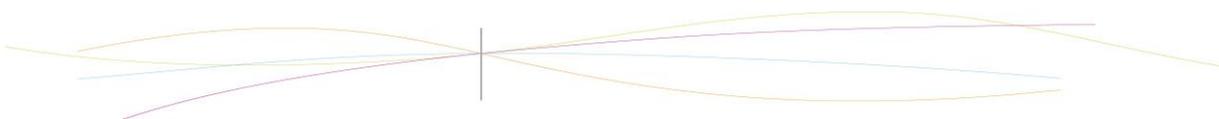
Figure 3: Schéma de principes d'isolation

Rupture de pont thermique

Les phénomènes de rupture de pont thermique se rencontrent fréquemment au niveau de la jonction entre un mur extérieur et une dalle (sol, plafond). Le froid ou le chaud se transmet alors du mur jusqu'à la dalle par conduction. Pour limiter ces effets de bord, il est possible d'utiliser des rupteurs de pont thermique, venant créer une véritable séparation mécanique entre murs extérieurs et dalle. C'est une technique utilisable mais qui reste encore moins efficace que l'isolation thermique par l'extérieure (ITE).

Isolation thermique par l'extérieure (ITE)

L'isolation thermique par l'extérieure est aujourd'hui une des solutions les plus efficaces et complètes pour réduire considérablement les effets néfastes des ponts thermiques. Le principe est simple et permet bien souvent un gain de place intérieur puisque l'isolation des murs sensibles est réalisée par l'extérieure (ce qui n'est pas incompatible avec une bonne isolation intérieure, les résultats n'en seront que meilleurs). Avec l'ITE, le problème d'isolation est traité à la source et réduit donc considérablement les déperditions énergétiques.



Les panneaux d'isolant sont collés ou vissés sur les murs extérieurs puis recouvert d'un enduit ou de parements comme du bardage.

Comme nous avons eu l'occasion de le voir lors de la visite du chantier, il existe trois techniques, l'isolation par panneaux enduits où les panneaux sont collés, l'isolation protégée par du bardage monté sur une ossature généralement en bois, et l'isolation par enduit isolant.

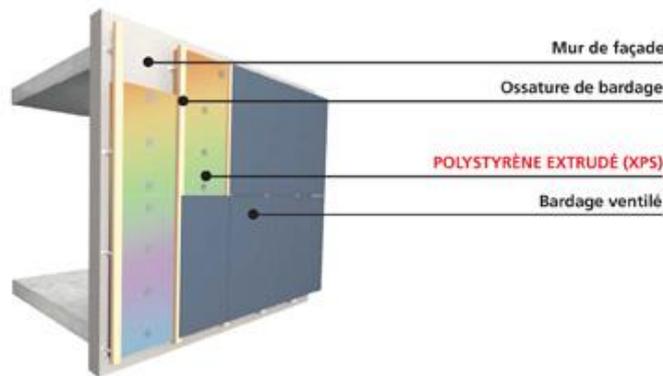


Figure 4: Schéma de l'ITE

3.2. Normes, labels et réglementations françaises et européennes

Il existe toute une série de normes, de labels et de réglementation thermique en France et en Europe que nous avons listée en annexe.

3.3. Performances thermiques

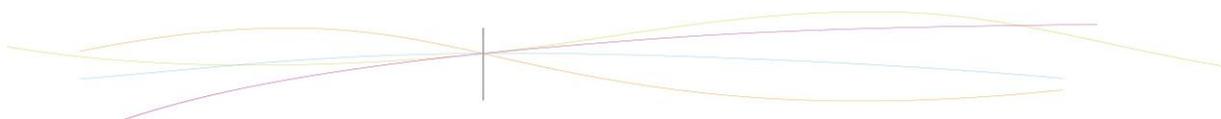
3.3.1. Pouvoir isolant des différents matériaux

3.3.1.1. Les qualités d'un bon isolant thermique :

L'isolation permet de réduire les consommations énergétiques d'un bâtiment. L'isolation thermique d'un bâtiment sera performante si celle-ci couvre l'ensemble du bâti : isolation des murs, de la toiture, sols, et par sa mise en œuvre. Lors de l'isolation d'un bâtiment, il faut prendre en compte les caractéristiques suivantes.

L'isolant doit avoir :

- Une bonne conductivité thermique λ (exprimée en $W/m.K$) : plus λ est faible, plus le matériau est performant.
- Une bonne résistance thermique R (exprimée en $m^2.K/W$) : plus R est élevé, plus le matériau n'est isolant.
- Peu d'effets sur la santé : certains matériaux tels que la laine de verre peuvent s'avérer irritants lors de la pose. On a également pu constater que la ouate de cellulose est



- allergène dans certains cas, et les isolants à base de polystyrène peuvent émaner des polluants.
- Un prix raisonnable : selon la taille du bâtiment, il peut s'agir d'un facteur majeur de décision.
 - Des qualités mécaniques telles qu'une bonne longévité, une résistance à l'humidité et à l'eau, une résistance à la compression, des dimensions stables (par exemple, les laines ont tendance à se tasser avec le temps), une découpe et pose simples et rapides. Certains matériaux sont également garantis imputrescibles et ininflammables.
 - Un conditionnement adapté à l'espace à isoler : On utilisera le format en rouleaux pour l'isolation des plafonds, des murs et des cloisons, le format en panneaux semi rigide est habituellement utilisé pour l'isolation des sous pentes de toitures, les sacs à épandre manuellement (matériau en « vrac ») sont utilisés pour les endroits difficiles d'accès tels que les combles.
 - Une certaine perméabilité à la vapeur d'eau : les isolants tels que le polystyrène, le polyuréthane ou la ouate de cellulose sont imperméables à la vapeur d'eau, des moyens d'aération et de ventilation devront être mis en œuvre pour l'évacuer afin d'éviter condensation et humidité.
 - Une grande disponibilité. Certains matériaux tels que le liège, sont très efficaces et présentent de nombreux atouts, mais sont plutôt rares. De ce fait, ils représentent un coût important.

Pour les murs de la maison, on parlera plutôt en termes d'inertie. L'inertie thermique d'un bâtiment est sa capacité à emmagasiner puis à restituer la chaleur de manière diffuse. Plus l'inertie d'un bâtiment est forte, plus il se réchauffe et se refroidit lentement.

L'inertie thermique permet d'obtenir un déphasage thermique (décalage dans le temps) par rapport aux températures extérieures. Ainsi lorsqu'on chauffe une maison, les éléments à forte inertie (principalement les murs) vont accumuler de la chaleur et vont ensuite la restituer pendant des heures, même si on coupe le système de chauffage.

L'inertie thermique d'une maison dépend de la masse des matériaux qui composent son intérieur. Plus ces matériaux sont lourds, plus leur inertie thermique est importante. Il ne faut cependant pas confondre isolation thermique et inertie. L'isolation permet de limiter les déperditions de chaleur tandis que l'inertie permet d'emmagasiner de la chaleur.

Les matériaux les plus couramment utilisés sont le béton cellulaire et la brique en terre-cuite, reconnus pour avoir une bonne inertie, la pierre pour un mur performant avec une très bonne inertie, et enfin le bois, de plus en plus utilisé dans les projets de maisons écologiques, bien que son inertie soit peu élevée, il permet une bonne isolation acoustique et une bonne isolation thermique, il doit néanmoins être complété par des doubles vitrages et matériaux isolant pour une isolation thermique optimale.

3.3.1.2. *Tableau comparatif de matériaux isolants :*

Nous avons effectué un tableau comparatif des principaux matériaux utilisés dans le domaine de l'isolation de nos jours. Ces matériaux présentent tous des avantages au niveau de leur performance et/ou de leur impact écologique. Ce tableau recense l'essentiel de ces



qualités et nous permettra de choisir des matériaux adaptés pour notre maquette. Le tableau se trouve en annexe.

3.3.1.3. La caméra thermique :

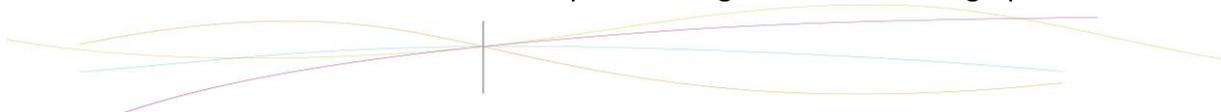
Une caméra thermique est un équipement de mesure qui s'apparente à un appareil photo numérique. Son utilisation est sans contact avec les surfaces mesurées. Les matières dont la température excède 0°K émettent un rayonnement infrarouge lié à leur température de surface. Le capteur de la caméra détecte cette chaleur, la mesure et la quantifie puis la convertit en un signal électronique. Le signal est ensuite traité numériquement pour produire une image thermique.

Les caméras thermiques sont des équipements de mesure très perfectionnés munies d'une lentille au Germanium. Elles disposent d'un écran permettant la visualisation instantanée de la surface inspectée et d'un pointeur permettant de mesurer avec précision la température aux endroits souhaités. La photographie numérique infrarouge utilise une palette de couleurs symbolisant les différentes plages de températures relevées sur le thermogramme. A l'écran, la légende associée permet d'identifier au premier coup d'œil et avec précision la température des éléments présents sur l'image. Les caméras thermiques permettent non seulement de contrôler les performances thermiques d'une surface mais également de vérifier et d'évaluer le degré de sévérité de problèmes liés aux températures.



Figure 5: Thermogramme d'un bâtiment

La thermographie infrarouge est une technologie moderne et précise, un atout indispensable aux études de performances énergétiques. En effet, la thermographie permet de mesurer à un instant t des températures relevées sur des surfaces, elle peut ainsi être employée dans le domaine du bâtiment pour mesurer les émissions thermiques d'une surface. Elle permet alors de détecter des défaillances de température sur une installation électrique, des défauts d'isolation et des fuites thermiques d'un logement. La thermographie est sensible



aux conditions climatiques extérieures : température, humidité, c'est pour cela que les diagnostics thermographiques doivent s'opérer de préférence durant les saisons froides, le matin tôt ou en fin de journée.

Que permet le diagnostic thermographique d'un logement ?

Le diagnostic thermographique d'un logement va permettre :

- De détecter les problèmes ou défauts invisibles à l'œil nu.
- D'inspecter l'état d'une isolation dans un logement neuf ou ancien et ainsi repérer l'absence d'isolant, son vieillissement ou sa dégradation.
- De détecter des problèmes liés à l'infiltration d'eau.
- De mettre en évidence de ponts thermiques sur les menuiseries.
- D'identifier les sources de courant d'air, infiltrations, et d'humidité qui sont sources d'inconfort et de maladies.
- De vérifier le respect des normes (RT2012) après des travaux d'isolation dans le neuf ou l'ancien.
- D'inspecter lors de travaux d'isolation réalisés par une société tiers.

3.3.2. Enjeux économiques et environnementaux

3.3.2.1. Les enjeux de l'isolation des bâtiments

Depuis l'application de la norme RT2012, les bâtiments doivent consommer moins d'énergie qu'ils n'en produisent. Une bonne isolation est donc indispensable pour limiter la consommation énergétique et améliorer le confort.

Cette isolation présente donc de nombreux enjeux socio-économiques et écologiques.

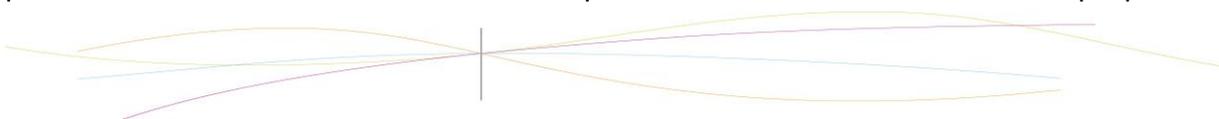
Le chauffage et la climatisation composent 70% de la consommation énergétique d'un logement, donc isoler son logement revient à réduire les besoins énergétiques pour réchauffer ou refroidir un bâtiment.

En ce qui concerne les enjeux écologiques, on l'aura bien compris, l'air que l'on respire sera moins pollué du fait de la diminution de rejets dans l'atmosphère des gaz de combustion, ce qui permet de réduire les gaz à effet de serre et ainsi les émissions polluantes à l'échelle planétaire.

Un autre enjeu de l'isolation est le confort. En effet, elle permet également de conserver le froid dans un bâtiment en été, et évitera que la chaleur ne s'échappe en hiver. L'effet « paroi froide » sur les murs intérieurs est donc réduit, et l'imperméabilité à l'air du bâtiment est donc accrue. Elle permet aussi une isolation acoustique pour limiter les bruits parasites.

3.3.2.2. Bénéfices de l'isolation thermique

Une bonne isolation thermique permet de réduire sa consommation énergétique et donc sa facture, de diminuer les rejets dans la nature de gaz à effet de serre, d'améliorer son confort au quotidien, mais également de protéger un bâtiment contre un vieillissement prématuré. Les intérêts de l'isolation thermique sont nombreux. L'isolation thermique permet



également de réduire les déperditions thermiques à travers les parois, ce qui diminue les besoins de chauffage.

Une maison bien isolée vieillit mieux et nécessite moins de travaux d'entretien. En effet, l'isolation, avec une ventilation efficace, supprime les risques de condensation qui causent souvent de nombreux désordres (peinture, huisserie...). De plus, elle offre un meilleur confort et une meilleure qualité de vie. Certains isolants offrent aussi de l'isolation acoustique et réduisent donc le niveau sonore.

3.3.2.3. Les aides financières

Selon les situations, l'état Français présente certaines aides financières pour les travaux d'éco-rénovation (rénovation énergétique d'un logement). Certaines aides peuvent être même cumulées. Ces aides dépendent également des travaux, et des catégories de travaux réalisés.

Voici quelques-unes de ces aides financières proposées:

- L'éco prêt à taux 0 :

Un prêt de 30 000€ maximum, sans conditions de ressources, et remboursable sur 10 ans qui est accessible aux propriétaires occupants et aux bailleurs. La seule condition est de faire réaliser les travaux par un professionnel reconnu garant de l'environnement.

- Le crédit d'impôt transition énergétique :

Ce crédit permet aux propriétaires occupants, et aux locataires de déduire certaines dépenses de leurs impôts. En effet 30% du montant des dépenses d'équipement ou de main d'œuvre (plafonné à 8000€ par personnes) est déductible des impôts.

Ce crédit présente les mêmes conditions que l'éco prêt.

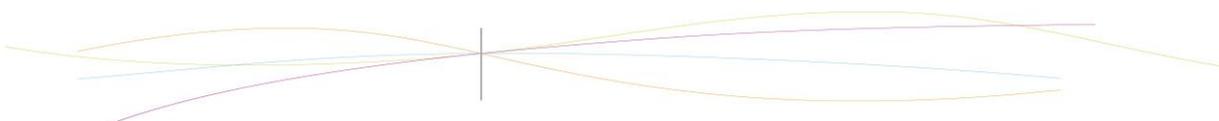
- La Prime Hollande :

Une prime qui est versée une fois les travaux achevés, qui est à demander avant le début des travaux. Le montant s'élève à 1350€ avec une condition de ressource : 25 000€ par personne ou 35 000€ par couple.

3.3.2.4. L'efficacité énergétique des bâtiments

L'efficacité énergétique peut se définir comme le rapport entre la performance délivrée et l'énergie qui y a été consacrée. Son amélioration consiste donc, par rapport à une situation de référence, à augmenter le niveau de la performance rendue à consommation d'énergie constante ou décroissante ou à économiser l'énergie au même service rendu.

Donc les solutions d'efficacité énergétique visent à améliorer la performance délivrée avec une consommation d'énergie minimale.



Le descriptif de performance énergétique est une description du logement et de ses équipements avec une estimation de la consommation annuelle en kWh/m²/an et de son coût pour évaluer la facture énergétique.

Un logement est donc classé sur deux étiquettes : énergie et climat. Allant de A à G

« Sur l'étiquette « énergie », la performance en termes de consommation annuelle d'énergie primaire est indiquée en kWh/m²/an, et en euros. »

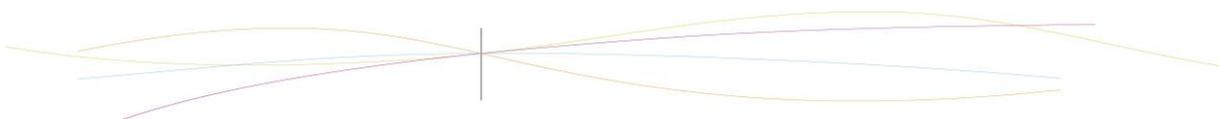
« Sur l'étiquette « climat », la performance en termes d'émission de gaz à effet de serre (GES) est exprimée en kg équivalent CO₂ par m² et par an ».

Dans le cas de la rénovation thermique, les enjeux se multiplient, il faut à la fois améliorer l'isolation thermique, penser à l'environnement et aux propriétaires et habitants des lieux, ce qui se révèle beaucoup plus compliqué. En effet, lors d'une rénovation thermique, il est demandé de réduire considérablement la consommation énergétique du bâtiment, en par exemple changer les fenêtres, ajouter une isolation extérieure ou intérieure, changer le toit, ajouter une ventilation, etc. Ces travaux doivent être mis en adéquation avec l'environnement aux alentours du bâtiment, les projets énergétiques, et les usagers. Les entreprises et propriétaires peuvent souvent être confrontés aux locataires, aux agents de mairie, ainsi qu'aux architectes bâtiments de France par exemple. Enfin, dans certains cas de travaux d'isolations, il est possible de bénéficier d'un crédit d'impôts et de différentes aides régionales et nationales.

3.3.2.5. La maison passive

La maison passive illustre bien tous ces enjeux. Effectivement, une maison passive est une habitation dont la consommation en énergie de chauffage est basse et ne dépasse pas les 15 kWh/m²/an. Le principe est simple, la construction de la maison se base sur une bonne isolation thermique, une ventilation à l'air et de l'énergie solaire.

Le but est de garder la chaleur en isolant bien les parois, surtout au niveau des ponts thermiques qui sont isolés de préférence par l'extérieur, il est nécessaire aussi d'installer des portes et des fenêtres avec un niveau d'isolation supérieur (triple vitrage par exemple). En ce qui concerne la ventilation, l'idée est de récupérer la chaleur de l'air sortant afin de chauffer l'air entrant et d'éviter ainsi les pertes thermiques. Une ventilation "double flux" et un échangeur de chaleur sont donc généralement utilisés, où le flux entrant et le flux sortant passent par le système de ventilation et échangent leur chaleur. Pour être rentable, ce système doit récupérer plus de 75% de la chaleur du flux sortant. Ce système existe aussi maintenant pour récupérer la chaleur des eaux usées pour préchauffer l'eau entrante.



Ainsi, la maison passive peut conserver une température ambiante agréable tout au long de l'année grâce à la chaleur dégagée par l'intérieur de la maison (êtres vivants, appareils électriques, etc.) et celle apportée par l'extérieur. Elle est en général orientée vers le sud et comporte plus de fenêtres et portes sur la façade sud que sur la façade nord afin de collecter le maximum d'énergie solaire et d'éviter les déperditions thermiques.

En général, une maison passive est plus chère de 20% à la construction qu'une maison dite « traditionnelle », mais elle permet de faire des économies d'énergies significatives sur le long terme. Enfin, il existe environ 1 000 maisons passives en France (dont près de 100 sont certifiées "Maison Passive/Passivhaus"), et plusieurs milliers chez nos voisins allemands, de nombreuses en Suède, en Suisse, en Belgique, en Italie et au Danemark.

3.3.3. ***Innovation, nouveautés, R&D dans le domaine de l'isolation thermique.***

De nos jours, les nouveaux matériaux isolants sont présents partout : dans les murs, les fenêtres, les planchers, les toits... Ce développement est assurément lié à la réglementation thermique qui a pour but de sensibiliser les populations aux problèmes environnementaux tels que l'économie d'énergie, les changements climatiques, la réduction d'émission de gaz à effet de serre...

Un isolant doit donc comporter des critères bien précis : il doit être performant, écologique et durable. Les isolants thermiques traditionnels utilisés actuellement sont les suivants : les laines minérales (de verre ou de roche), le polystyrène, le polyuréthane, le verre... Mais existe-t-il des matériaux plus innovants qui pourraient arriver sur le marché ?

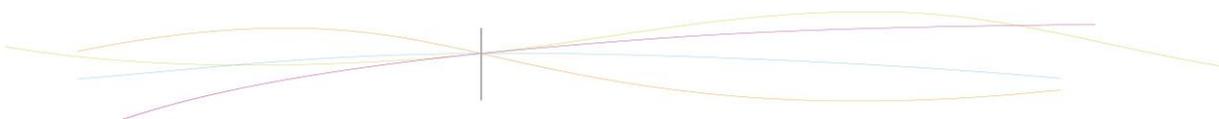
L'isolation est un secteur majeur pour éviter au maximum les déperditions énergétiques. Au salon professionnel BATIMAT, qui existe tous les deux ans à Paris, des experts en construction et isolation ainsi que des équipementiers de l'habitat exposent leurs nouveautés et innovations devant un public très varié avec notamment la présence de 20% d'étrangers intéressés dans ce domaine. Des techniques concernant le secteur de l'isolation ont su se démarquer des autres.

3.3.3.1. ***Le toit***

La toiture est la principale source de perte de chaleur dans une habitation. L'air chaud, plus léger que l'air froid, va remonter au travers des étages pour s'évacuer de l'habitation par le toit.

Sans une bonne isolation, c'est plus de 30% de la chaleur de la maison qui s'évacue par la toiture, cet espace doit donc être isolé en priorité.

Avec un choix d'isolation par l'extérieur, il suffit de placer les panneaux d'isolants entre les poutres de la charpente puis placer le revêtement (tuile ou ardoise par exemple).



3.3.3.2. Les murs

- Un complément d'isolation :

Un matériau, créé par la société ENERGAIN avec l'aide du leader dans l'industrie chimique DUPONT, qui a la capacité de changer de phase en fonction de la température a été mis en avant. Il s'agit d'un panneau, à poser aux murs, contenant en surface une paraffine (ressemblant à de la cire de bougie) qui s'adapte et change d'état en fonction de la température d'une pièce. En effet lorsqu'il fait environ 22°C, dans la salle, la cire fond et va absorber l'excédent de chaleur, et lorsque la température diminue, la paraffine se durcit et va relâcher la chaleur. Ce matériau permettant ainsi de limiter les fluctuations de température au-dessus et en dessous du « niveau de confort ». Les coûts de climatisation et de chauffage seront considérablement abaissés provoquant donc un impact plus faible sur l'environnement. Voici quelques chiffres donnés par le site officiel de l'entreprise : Lors des grandes chaleurs d'été, pour accéder à un meilleur confort, ce matériau réduit les effets de surchauffe intérieure avec un abaissement de la température ambiante allant jusqu'à 7°C. Il contribue donc à abaisser la consommation de climatisation jusqu'à 35% et de chauffage jusqu'à 15% ; des économies d'énergie sont alors réalisées.

Ces panneaux innovants sont très faciles à installer, puisqu'ils se fixent derrière un placo par exemple et donc peuvent s'ajuster sur l'intérieur d'un bâtiment neuf ou rénovation. Il est important de rappeler qu'un des buts majeurs de nos jours est d'apporter l'efficacité énergétique dans les bâtiments déjà existants. De plus, ils sont extraordinairement fins, (5.6 mm) ne réduisant pas la surface habitable.

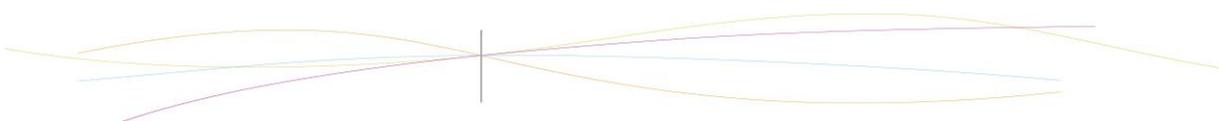
- Un matériau du futur :

Les aérogels de silice ont été utilisés par la NASA dans les années 1970 lors de la conquête spatiale, pendant les missions Apollo, dans le but d'isoler les combinaisons (en particulier les scaphandriers) des astronautes ainsi que les capsules spatiales. Ces appareils sont exposés à des variations thermiques extrêmes et ont donc besoin d'une excellente isolation.

Fortement intéressés par les particularités de ce produit connu depuis les années 1930, le CEP de Mines ParisTech (Centre Energétique et Procédés) et le PCAS entreprise française spécialisée dans la chimie, ont collaboré, créé un laboratoire de recherche puis déposé un brevet. Ils ont mis au point un outil industriel pour cet isolant thermique.

Le CEP, acteur de la recherche française et européenne sur l'efficacité énergétique de demain, travaille depuis environ vingt ans à la conception d'aérogels de silice apportant une solution en matière d'isolation thermique. PCAS, quant à lui, voulait commercialiser cet isolant exceptionnel ; c'est pourquoi l'entreprise a créé en 2010, ENERSENS, filiale dédiée à ce matériau, sur son site de Bourgoin-Jallieu (Isère).

Analysons de plus près les caractéristiques de ce surprenant matériau.



→ Les différents avantages :

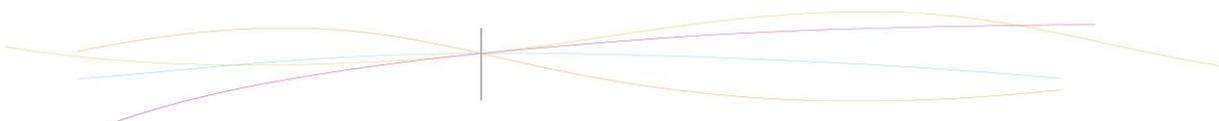
- Plus isolant que l'air : Ces matières sont des solides nanostructurés, peu denses. Mésoporeux (c'est-à-dire avec une porosité de valeur intermédiaire et contrôlée), elles cantonnent l'air dans ses pores, ce qui offre ainsi une conductivité thermique inférieure à celle de l'air au repos. Comparons les aérogels de silice à d'autres matériaux utilisés dans l'isolation : Ils sont trois fois plus efficaces que la laine de verre pour isoler un bâtiment. Quelques chiffres montreront la qualité de ceux-ci produit par l'entreprise ENERSENS, : 1 cm de matelassé équivaut ainsi à plus de 10 cm de bois ou 3 cm d'isolant traditionnel ou encore plus de 200 cm de granite. La conductivité thermique est très faible : $\lambda = 0,0019 \text{ W/(m.K)}$.
- Ce matériau est ignifugé. Il reste stable jusqu'à 200 ou 400°C selon sa forme. Il commencera à se consumer à partir de 1000°C. Par ailleurs, il n'émet pas de fumée toxique en cas d'incendie.
- Ces blocs d'aérogel dont on a retiré le liquide pour le remplacer par des gaz sont donc incroyablement légers. En effet, ils contiennent plus de 95% d'air capturé dans des pores d'un diamètre de 15 à 20 nm.
- Grâce à sa composition minérale (silice amorphe), ressemblant au sable mais non cristalline, son impact écologique serait restreint et donc conforme aux normes et exigences du Grenelle de l'environnement. La silice, principal constituant des roches sédimentaires, représente 27 % de la croûte terrestre. C'est ainsi une ressource en grande quantité sur la terre.
- Translucide, il laisse passer une fraction du spectre solaire et il pourrait permettre d'améliorer l'isolation de certains vitrages, qui comme nous le savons est l'endroit où les pertes énergétiques sont les plus présentes.
- Durable. Des études récentes de vieillissement ont montré une dégradation de la performance d'isolation de moins de 10% alors qu'elle atteint souvent plus de 30% pour les isolants actuels.
- Bon isolant phonique surtout pour les sons plutôt graves (400 Hz).
- Hydrophobe et perméable à la vapeur d'eau, il permet d'empêcher la corrosion et la condensation.

De nos jours, ce produit est l'isolant thermique le plus performant du monde à pression atmosphérique.

→ Les inconvénients :

- Le coût élevé de l'aérogel de silice en fait un matériau difficile à vendre.
- Le matériau se fait encore très rare sur le marché.
- La concurrence est ardue car l'entreprise allemande CABOT et la firme américaine ASPEN produisent cet isolant respectivement à Francfort et dans le Massachusetts. De plus, les fabricants chinois pourraient produire massivement de l'aérogel de silice et immerger le marché du bâtiment dans les années futures.

Un matériau écologique : le liège expansé:



Le liège expansé est un matériau végétal isolant qui est rare par sa provenance (produit par l'écorce des chênes lièges) et par sa récolte tous les 8 ans, temps de renouvellement de l'écorce. Il est néanmoins efficace et possède des caractéristiques qui font de lui le meilleur isolant écologique. Malgré une utilisation depuis 150 ans, ce matériau paraît intéressant d'un point de vue écologique, apportant ainsi un aspect innovant et donnant une réponse aux problèmes environnementaux.

Il est vendu en panneaux rigides qui ont suivi un processus de fabrication particulier : Les granules d'écorces sont chauffées à la vapeur d'eau d'environ 300°C. Cette température va dilater puis agglomérer naturellement les granules grâce à la résine. L'air va être ainsi emprisonné dans les cellules d'écorce qui ajoutera un véritable pouvoir isolant.

→ Les différents avantages :

- Le liège expansé est attirant pour l'isolation car il présente des qualités thermiques non négligeables: Sa conductivité thermique λ varie de 0,032 à 0,040 avec une faible épaisseur. De plus, il résiste bien aux variations de température.
- Il est imputrescible, présente une résistance au feu, aux rongeurs ainsi qu'une grande longévité.
- Ce matériau d'une grande légèreté est 100% recyclable.
- Il possède une efficacité en matière d'isolation acoustique. Il est utilisé par exemple sur les murs des salles de radio ou des studios de musique.

→ Les Inconvénients :

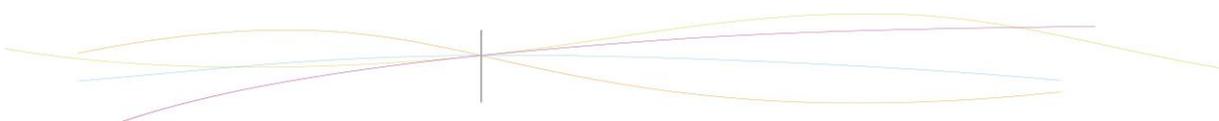
- Il a un coût total d'installation élevé surtout s'il faut rajouter des épaisseurs pour les combles. Ce coût s'explique par sa rareté. Son prix avoisine 50€/m² pour une épaisseur de 15 cm.

3.3.3.3. Les vitrages

Environ 15% des déperditions thermiques se font par les fenêtres (source ADEME), et ce sont des lieux sensibles aux ponts thermiques c'est pourquoi des efforts sont à fournir dans cette zone en matière d'isolation. Mais pourrait-on imaginer dans le futur que ces vitres deviennent l'endroit le plus chaud d'une habitation ?

La recherche et développement est fortement sollicitée pour les vitrages. Des concepts ont été mis en place et s'industrialisent petit à petit sur le marché français malgré un coût particulièrement élevé pour ces technologies innovantes. En effet, ils seraient réservés à des logements ou bureaux très haut de gamme.

Voici tout d'abord le **verre chauffant** : Ce produit très adapté aux régions de grand froid et utilisé depuis longtemps au Canada se présente comme un hybride entre le radiateur et le verre. Une couche métallique en fer non visible est appliquée sur la surface interne de la vitre intérieure et alimentée électriquement. Le vitrage tout entier se transforme alors en résistance électrique reliée à une alimentation. Cette technologie est disponible en double vitrage enfermant un gaz pour le rendre super-isolant et limiter au maximum les déperditions de chaleur vers l'extérieur. Elle diffuse une chaleur par rayonnement grâce à une technologie infrarouge dans la pièce offrant une sensation de confort. Le particulier pourra aussi choisir la



position d'installation de la vitre chauffante, soit en dirigeant la chaleur vers l'intérieur pour éviter la condensation, soit vers l'extérieur pour retirer la neige des carreaux. L'usage d'un miroir chauffant est aussi possible pour les salles de bain par exemple. Il faut compter en moyenne environ 50 W/m^2 , soit 750 W pour chauffer une pièce de 15 m^2 . Ensuite, pour être utilisé comme chauffage principal, il faut un vitrage recouvrant au minimum un tiers de la pièce.

3.3.3.4. *La maison passive*

Une maison passive est une habitation dont la consommation en énergie de chauffage est basse et ne dépasse pas les $15 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$. Le principe est simple, la construction de la maison se base sur une bonne isolation thermique, une ventilation à l'air et de l'énergie solaire.

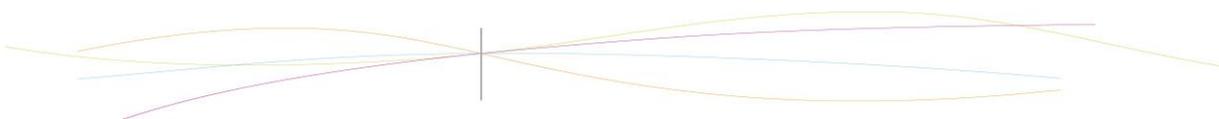
Le but est de garder la chaleur en isolant bien les parois, surtout au niveau des ponts thermiques qui sont isolés de préférence par l'extérieur, il est nécessaire aussi d'installer des portes et des fenêtres avec un niveau d'isolation supérieur (triple vitrage par exemple). En ce qui concerne la ventilation, l'idée est de récupérer la chaleur de l'air sortant afin de chauffer l'air entrant et d'éviter ainsi les pertes thermiques. Une ventilation "double flux" et un échangeur de chaleur sont donc généralement utilisés, où le flux entrant et le flux sortant passent par le système de ventilation et échangent leur chaleur. Pour être rentable, ce système doit récupérer plus de 75% de la chaleur du flux sortant. Ce système existe aussi maintenant pour récupérer la chaleur des eaux usées pour préchauffer l'eau entrante.

Ainsi, la maison passive peut conserver une température ambiante agréable tout au long de l'année grâce à la chaleur dégagée par l'intérieur de la maison (êtres vivants, appareils électriques, etc.) et celle apportée par l'extérieur. Elle est en général orientée vers le sud et comporte plus de fenêtres et portes sur la façade sud que sur la façade nord afin de collecter le maximum d'énergie solaire et d'éviter les déperditions thermiques.

En général, une maison passive est plus chère de 20% à la construction qu'une maison dite « traditionnelle », mais elle permet de faire des économies d'énergies significatives sur le long terme. Enfin, il existe environ 1 000 maisons passives en France (dont près de 100 sont certifiées "Maison Passive/Passivhaus"), et plusieurs milliers chez nos voisins allemands, de nombreuses en Suède, en Suisse, en Belgique, en Italie et au Danemark.

Conclusion

Les matériaux du futur sont des matériaux nanostructurés car ils ont des particularités hors du commun. Les performances thermiques sont déjà au sommet de l'innovation, mais il est possible, toutefois, d'espérer dans l'avenir combiner différentes fonctions, notamment acoustiques, sans dégrader les fonctions thermiques pour améliorer davantage le confort des particuliers.



3.4. Partie Expérimentale

3.4.1. Avancée du projet :

Lors des premières séances de projet, nous avons pris connaissance de notre sujet et de ses enjeux en lisant le rapport effectué par les étudiants de l'année précédente. Nous avons également découvert la maquette réalisée par nos prédécesseurs. La maquette présentait quelques problèmes tels qu'une isolation trop efficace par rapport à une maison réelle, et un manque de réalisme. Nous avons donc consacré les premières séances de projet à effectuer d'une part une liste des modifications à apporter à la maquette en notre possession et d'autre part un projet de construction d'une nouvelle maquette, partagés entre l'idée de rénover la maquette et l'idée d'en refaire une basée sur les conseils des étudiants de l'année précédente. La rédaction du rapport a, quant à elle, démarrée dès la deuxième séance et s'est poursuivie jusque fin mai.

3.4.1.1. La maquette :

Voici une modélisation de la maquette initiale réalisée par les étudiants de l'année précédente.

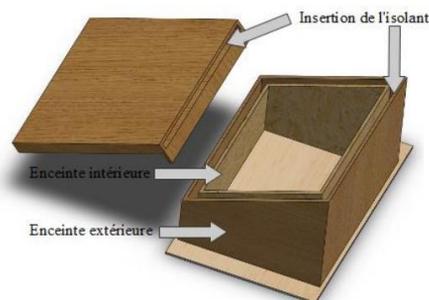
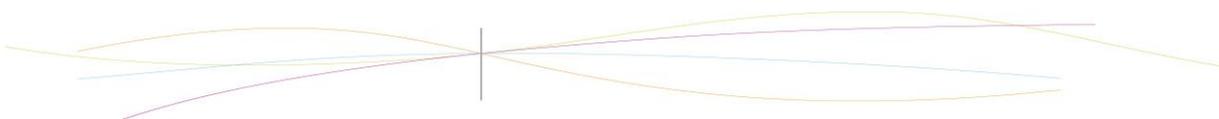


Figure 6: modélisation de la maquette initiale sur SolidWorks

Comme on peut le voir sur l'image, la maquette était composée de deux enceintes en contreplaqué faisant office de mur et séparés par une lame d'air de 2 cm d'épaisseur afin de pouvoir y placer de l'isolant. Le toit était lui aussi fait de contreplaqué et une couche d'isolant pouvait aussi être insérée.

Après réflexion, nous avons décidé de rénover la maquette. On a donc misé sur un rendu plus réaliste afin d'obtenir des mesures plus satisfaisantes lors de nos expériences à venir. Selon nous, les priorités étaient les suivantes :

- Créer des ouvertures.
- Créer plusieurs pièces.
- Améliorer le toit.



3.4.1.2. *Rénovation de la maquette :*

Une fois la décision de rénovation prise, nous nous sommes attaqués aux mesures à effectuer sur la maquette : nous avons choisis les dimensions des fenêtres et les cloisons à placer de façon à obtenir un rendu réaliste. Après cela, nous nous sommes rendus au service menuiserie de l'INSA qui a accepté de nous créer deux ouvertures de part et d'autre de la maquette, une cloison centrale ainsi qu'un plancher servant de mezzanine à la maquette.

La création de ces ouvertures avait pour but de réguler la température interne de la maquette, ainsi que de pouvoir mettre en évidence les déperditions thermiques liées à ces ouvertures lors de nos expériences. Nous avons placé des plaques de plexiglas au niveau des ouvertures pour faire office de fenêtre.

Le choix d'un rajout de parois était quant à lui une volonté de limiter le phénomène de rayonnement lié à l'ampoule utilisée pour chauffer la pièce lors de nos mesures. Nous avons ainsi pu réaliser nos mesures dans une pièce autre que celle dans laquelle se trouvait l'ampoule, afin d'observer uniquement le phénomène de conduction dans la maison.

Enfin, pour le toit, nous avons décidé de placer des tuiles d'ardoise sur le toit initial : comme nous avons pu le constater lors de la rédaction de la partie théorique de notre rapport, une grande partie des déperditions thermiques d'une maison s'effectue par le toit, il nous paraissait donc important d'avoir un rendu réaliste de toit pour observer ce phénomène. Les tuiles d'ardoises ainsi que leur mise en place ont été réalisés par nos soins lors d'une séance de projet.

3.4.2. *Expériences*

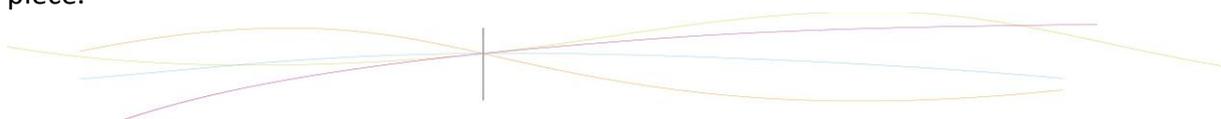
Nous avons réalisé les mesures avec un matériel mis à disposition par un professionnel de l'étude en infiltrométrie. On a choisi de faire trois expériences principales, pour mesurer et mettre en évidence les transferts thermiques d'une maison individuelle en bois.

3.4.2.1. *Première expérience : Étalonnage et orientation des mesures*

La première expérience était de chauffer la maquette pour voir son comportement thermique et isolant et constater les différents changements de température aux différents endroits de la maquette avec les deux panneaux de bois constituant une paroi contenant une lame d'air d'environ 2 cm. Nous disposons de 3 thermocouples (petite sonde qui mesurent la température au contact d'une paroi) et d'une sonde thermique bien plus précise connectée en Wi-Fi à la console d'acquisition des données qui mesurait la température dans la pièce adjacente. Les thermocouples étaient fixés à l'intérieur et à l'extérieur d'une paroi de la pièce adjacente et sur la surface vitrée de cette même pièce.



Figure 7: Montage expérimental



Force était de constater que pendant la chauffe de l'ampoule, la température de la pièce augmente rapidement ainsi que celle de l'intérieur de la paroi, ce qui semble logique cependant le thermocouple situé à l'extérieur de la paroi ne mesure aucune variation de température : la maquette isole trop, malgré le fait qu'on ait enlevé l'épaisseur d'isolant entre les parois et les ouvertures réalisées pour simuler les fenêtres. Cela met en évidence ce qui avait posé problème au groupe précédent, l'efficacité isolante d'une lame d'air au sein d'une paroi à cette échelle est trop conséquente.

3.4.2.2. Deuxième expérience : mise en évidence de la conduction à travers une paroi

Le but de cette expérience fut de mettre en évidence par le biais de mesures expérimentales, la conduction de proche en proche à travers un milieu continu (ici paroi simple).

Protocole :

Nous avons enlevé la paroi extérieure de la maquette de manière à ne laisser qu'une seule paroi de bois de 1cm.

L'expérience a été réalisée de nuit avec une température extérieure entre 15 et 16°C. Trois thermocouples ont été fixés sur des parois de la maquette, mise à température ambiante, dans la configuration suivante :

- un sur le mur de la pièce adjacente à la pièce chauffée par l'ampoule
- un sur l'extérieur de cette paroi
- un à l'extérieur contre la surface vitrée (plexiglas)

La sonde Wi-Fi est posée dans la pièce adjacente à la pièce chauffée.

L'ensemble des mesures des sondes est affiché par une console. Les mesures sont effectuées avec des intervalles de 3 minutes.

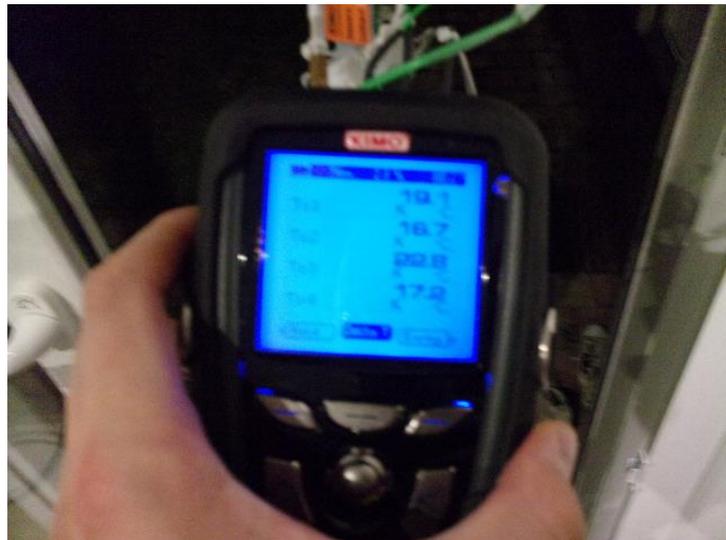
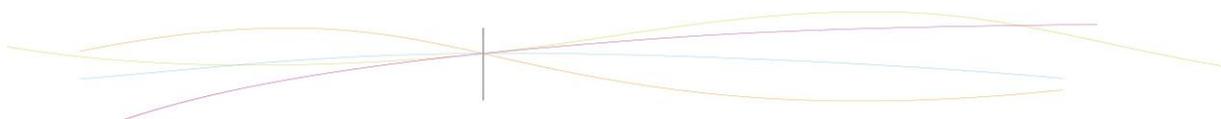
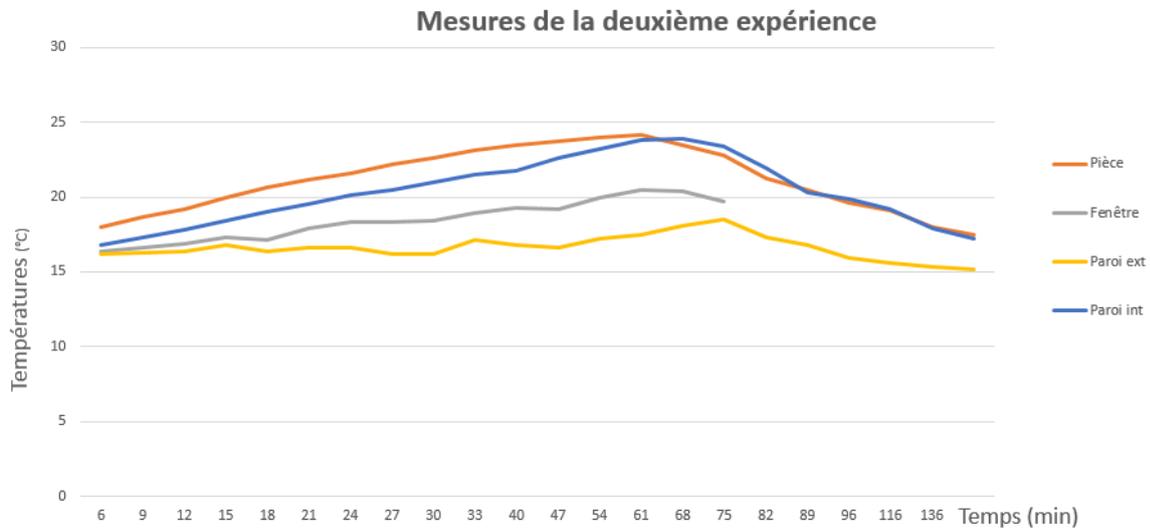


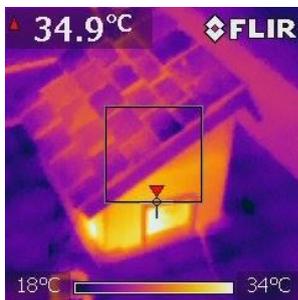
Figure 8: Sonde Wi-Fi utilisée



Résultats :



On constate une chauffe importante de la pièce adjacente, ainsi que de l'intérieur de la paroi. La sonde fixée au plexiglas enregistre également une augmentation marquée de température, qui souligne les déperditions plus importantes à travers surfaces vitrées. Quant au thermocouple fixé à l'extérieur de la paroi, il mesure une augmentation faible de température. Il y a donc une conduction de proche en proche à l'intérieur de la paroi.



Ces thermogrammes montrent bien la diffusion de la chaleur à l'intérieur de la maquette et mettent en évidence les ponts thermiques.

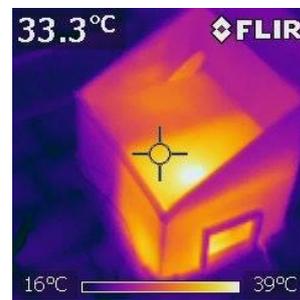


Figure 9 : thermogrammes de la maquette

3.4.2.3. Troisième expérience : Répétition avec différents isolants

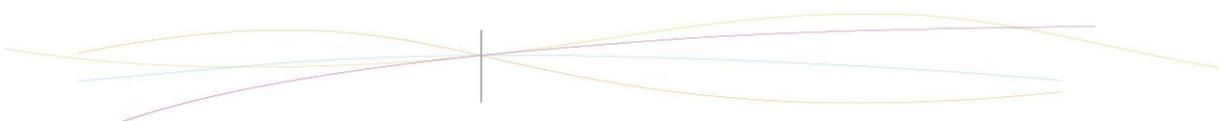
Le but de cette expérience est de mettre en évidence l'efficacité de la pose d'un isolant vis-à-vis des déperditions thermiques.

Protocole : exemple de la laine de verre

La maquette ne comporte toujours qu'une paroi simple, cette fois-ci l'intérieur est coffré avec une épaisseur de laine de verre.

3 thermocouples sont placés dans cette configuration :

- Un dans la pièce adjacente à la pièce chauffée.



- Un au contact de la paroi en bois à l'intérieur, entre le bois et la laine de verre.
- Un à l'extérieur de la paroi.

On branche l'ampoule pour déclencher la chauffe et on effectue des relevés de mesure avec intervalles de 6 minutes.

Une fois l'équilibre atteint, on débranche l'ampoule et laisse la maquette refroidir.

Résultats :

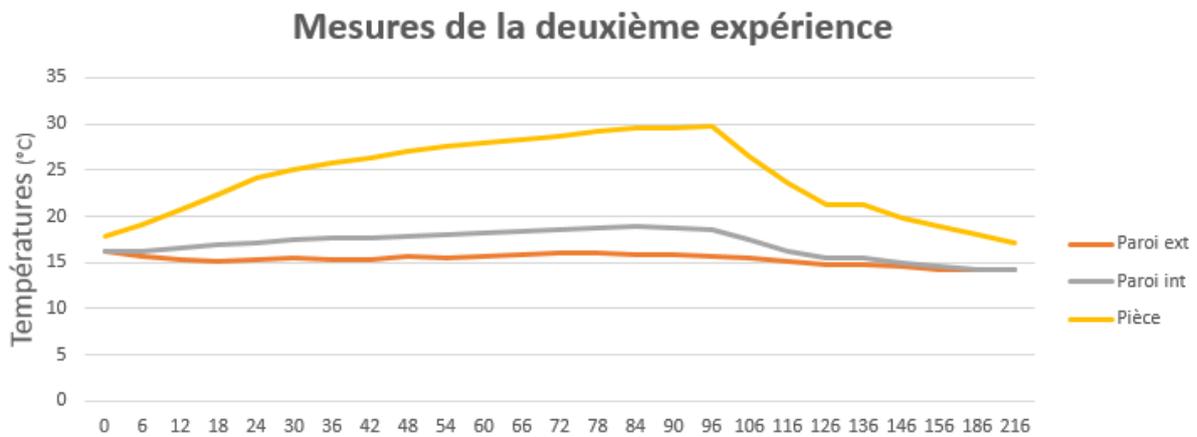


Figure 10: graphique de la deuxième expérience

On constate de nouveau la forte augmentation de température dans la pièce. En revanche la température au niveau de l'intérieur de la paroi varie peu, il en est de même pour la température extérieure de la paroi. Le flux de chaleur et les déperditions à travers la paroi sont donc inférieurs par rapport à la deuxième expérience. Cela met en évidence l'efficacité d'une épaisseur d'isolant vis-à-vis des déperditions thermiques au travers d'une paroi.

3.4.2.4. Calcul de flux au travers des parois

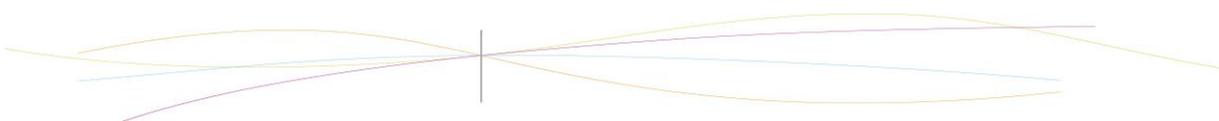
Grâce aux relevés de température effectués lors de la troisième expérience, nous avons pu calculer le flux thermique au travers des parois pour chaque isolant.

Nous avons testé trois isolants : la laine de roche, de verre et de lin, tous les trois très utilisés dans le domaine de l'isolation.

La surface totale de la maquette **Stot=0.730m²**

Pour chaque matériau, nous avons pris une épaisseur d'isolant **e(iso) = 0.01m** et l'épaisseur d'une paroi **e(bois) = 0.01m**

Tableau des données et valeurs relevées lors des mesures :



	Bois contreplaqué seul	Laine de verre	Laine de roche	Laine de lin
T(°C) paroi extérieure	15.9	17.9	18.1	20.1
T(°C) paroi intérieure	18.9	22.6	23.9	26.5
λ matériau (W/m.K)	0.15	0.035	0.037	0.041

$$\Phi_{mur nu} = \left[\frac{e(\text{bois})}{\lambda(\text{bois}) \cdot Stot} \right]^{-1} \cdot \Delta T = 32.9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\Phi_{ldv} = \left[\frac{e(\text{bois})}{\lambda(\text{bois}) \cdot Stot} + \frac{e(\text{iso})}{\lambda(\text{ldv}) \cdot Stot} \right]^{-1} \cdot \Delta T = 9.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\Phi_{ldr} = \left[\frac{e(\text{bois})}{\lambda(\text{bois}) \cdot Stot} + \frac{e(\text{iso})}{\lambda(\text{ldr}) \cdot Stot} \right]^{-1} \cdot \Delta T = 12.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\Phi_{ldl} = \left[\frac{e(\text{bois})}{\lambda(\text{bois}) \cdot Stot} + \frac{e(\text{iso})}{\lambda(\text{ldl}) \cdot Stot} \right]^{-1} \cdot \Delta T = 14.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

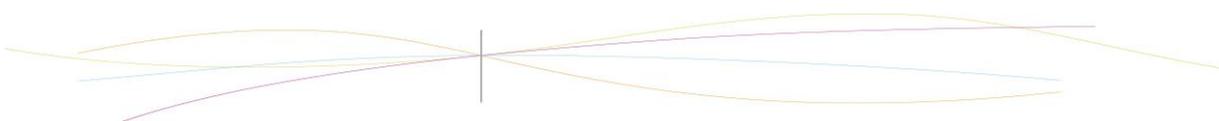
Malgré des conductivités thermiques proches entre les différents isolants testés, nous constatons que, même à l'échelle de la maquette, les flux thermiques diffèrent beaucoup d'un isolant à un autre. Plus le lambda est petit, plus le flux est faible, on a donc moins de déperditions thermiques lors de l'utilisation d'un isolant à conductivité thermique importante. Les isolants sont donc d'une importance cruciale tant pour le confort thermique que pour les économies d'énergie.

Les déperditions thermiques peuvent être mises en évidence avec la qualité des vitrages. Nous n'avons néanmoins pas pu réaliser cette expérience, car nous disposions uniquement de plexiglass.

Problèmes rencontrés lors des expériences :

Le premier problème rencontré a été vis-à-vis de la précision des thermocouples, dont les mesures étaient peu constantes. La manipulation avec les mains de thermocouples avec les mains, notamment lorsqu'on les scotche, causent une empreinte thermique due à notre chaleur corporelle qui peut donner lieu à des mesures fausses.

La sonde Wi-Fi a dysfonctionné et il a fallu la remplacer par un thermocouple dans la pièce. Beaucoup de problèmes étaient d'ordre climatique, la présence de vent pouvant fausser certaines mesures de thermocouples, et plusieurs fois la pluie s'en est mêlé.



Il a aussi fallu étalonner la caméra thermique, attendre longtemps pendant les refroidissements de la maquette à cause de l'inertie du bois et repenser les expériences un et deux en réaction avec les résultats de la première.

3.4.3. Etude de cas

Pour mieux cerner la notion d'isolation thermique, il nous a paru nécessaire de visiter un chantier. On a donc décidé de rentrer en contact avec l'organisation Réavenir. Elle est l'offre de Bouygues Entreprises France-Europe pour la réhabilitation des logements. Cette organisation est en étroite collaboration avec Rouen habitation, et dirige un chantier sur l'île de la croix. Ils nous ont accordé une visite du chantier le 23 avril 2015 de 13h30 à 16h00.



Figure 11 : photos du chantier de rénovation

Le projet

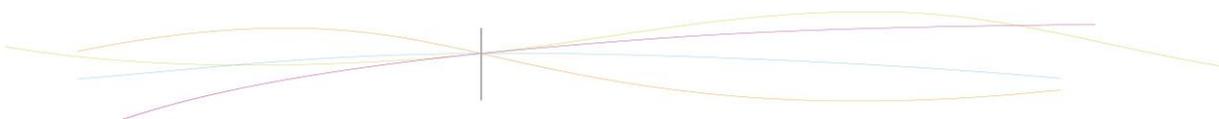
Les habitations sur l'île de la croix ne sont plus conformes aux normes thermique actuelle .Plus de 339 logements (9 bâtiments) de 20 000 m² à rénover. Les travaux doivent être réalisés en présence des locataires. Durée du chantier : 1 an, l'objectif est de finir les rénovations vers mai 2015.

Les habitants déplorent l'isolation thermique des appartements, il faisait très froid en hiver et très chaud en été. Dans les appartements, les fenêtres sont en bois avec de simple vitrage, le chauffage au sol n'est soumis à aucune régulation. Les ingénieurs ont pu constater sur le terrain, que Le bâtiment a été réalisé avec un système de poteaux-poutres en béton armé avec des remplissages pré fait en béton sans aucune isolation. Pour la réhabilitation des toitures terrasses, les ingénieurs doivent déposer l'ancienne étanchéité, ils n'ont cassé que 3 à 4 cm d'isolant (la norme étant de 10 cm environ). De plus, les charges payés sont très élevée (100 à 150€/mois).

Objectif du projet :

Une amélioration de la qualité du bâti

- Remplacement des menuiseries extérieures et pose de volets persiennes



- Remplacement des portes palières, des portes de halls et portes d'accès aux caves
- isolation extérieur
- Mise en place de mitigeurs équipés d'un limiteur de débit et de température

Une amélioration du confort et de la fonctionnalité des logements

- Remplacement de l'ensemble des appareils sanitaires
- Réfection des installations électriques
- Réfection des revêtements de murs et de sols des pièces humides

Une amélioration des installations techniques

- Mise en place d'une ventilation mécanique hygroréglable de type B
- Remplacement du chauffe-eau existant par un chauffe-eau thermodynamique

Financement : Rouen habitat paye la totalité des charges. Les locataires doivent payer 20 à 25€ /mois pendant 15 ans. C'est un investissement rentable pour les habitants, puisque les charges sont devenues trop élevée.

Chauffage : L'entreprise Dalkia s'occupe des chaufferies a prévu de faire des départs par bâtiment avec des régulations en fonction des matériaux utilisées pour éviter ainsi de trop chauffer. L'objectif du client est de baisser de 50 pourcent le cout des charges.

Matériaux et technique d'isolation :

- **Flocage thermique et Coupe-feu**

Consiste à appliquer sous pression des fibres associées à un liant pour isoler des surfaces horizontales. Les produits projetés sont à base de laine minérale. Un fixateur est pulvérisé avant le flocage suivant la nature du support. Diverses finitions (talochées, roulées, brutes...) sont envisageables. La technique du flocage apporte une protection passive contre l'incendie.

- **Isolation extérieur**

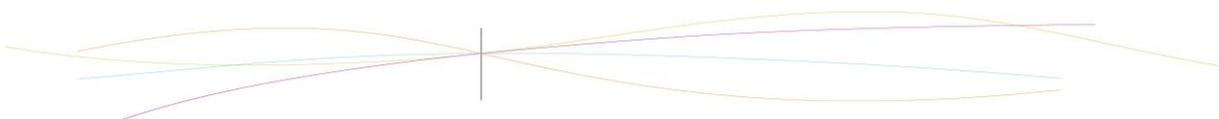
*Le bardage habille la façade et permet de mettre en place une isolation extérieure. Les bardages utilisés sont résineux. Les parois extérieur sont composées de : 6 mm de joint et au niveau de l'ossature métallique pour éviter que l'eau + panneaux OSB en bois + laine de roche en dessous.

*Installation de fenêtre en PVC avec la pose de linteau et bavette en aluminium permet de réduire les ponts thermiques.

- **Ventilation naturelle assistée**

Pour fonctionner la ventilation a besoin de vent, et d'une variation de la température. La ventilation s'estompe, une fois que ces conditions ne sont plus réunies. Afin de se prémunir contre ce problème, on utilise une ventilation naturelle assistée. En effet, l'air circule sous les portes, au niveau des grilles d'extraction dans les pièces humide, avant de s'échapper du toit. La tourelle d'extraction est spécifique à la ventilation naturelle assistée.

La tourelle est constituée d'un ventilateur, de supports et d'un grillage anti-volatile.



Le ventilateur génère une dépression sous le capot, ce qui entraîne une circulation de l'air. Des capteurs (thermomètre et anémomètres) sont situés sur le toit du bâtiment. L'appareil peut savoir si les conditions climatiques sont favorables à une ventilation naturelle. Si c'est le cas, la tourelle est éteinte sinon elle s'allume. Le ventilateur ne tourne donc que lorsque c'est nécessaire.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

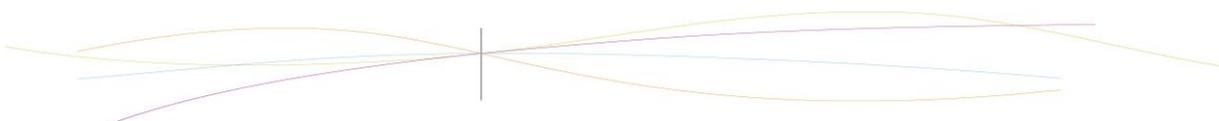
4.1. Conclusions sur le travail réalisé et l'apport personnel de cet E.C. projet

L'efficacité énergétique et isolation thermique est un vaste sujet. Nous avons dû cibler précisément quels points allaient être nos axes majeurs et ainsi, nous avons surtout porté le projet vers l'isolation thermique. Notre dossier s'est partagé avec une partie théorique puis une partie expérimentale. Ont été mis en évidence, un modèle théorique comportant les transferts de chaleur, puis présentant les différentes réglementations de plus en plus drastiques pour atteindre des performances thermiques souhaitées. En effet, l'Etat français insiste sur une construction et une rénovation verte sur son parc immobilier pour protéger l'environnement. De plus, les enjeux économiques et environnementaux ont été développés pour finaliser sur la R&D : quelles innovations se démarquent dans le domaine de l'isolation thermique ? Ensuite, la maquette fut le cœur de l'expérimentation. Les résultats de transfert de chaleur ont été calculés grâce à des sondes thermocouples et nous avons pu remarquer les déperditions à l'aide d'une caméra thermique. L'utilisation de matériel de qualité a été primordiale pour effectuer des calculs adéquats.

Par ailleurs, l'opportunité de visiter un chantier de rénovation sur l'île Lacroix a été exceptionnelle et enrichissante pour chaque membre du groupe. Nous nous sommes enfin immergés dans un univers professionnel, permettant de montrer les enjeux et l'étendue d'un tel projet, les responsabilités des ingénieurs travaillant sur des postes différents...

Ce projet de P6 nous a aussi permis de travailler en groupe, ce qui n'est pas forcément facile lorsque l'on est nombreux mais qui est un bon exercice pour notre vie active future. Chacun doit faire preuve d'écoute et de raisonnement pour finalement arriver à un accord commun (par exemple avec le choix de garder la maquette des années précédentes ou bien d'en reconstruire une). La répartition du travail a été effectuée de manière à ce qu'il y ait une complémentarité, tout en communiquant afin que le projet devienne fiable et concret. Mais le travail fut agréable et fructueux grâce à une bonne cohésion et une entente parfaite de groupe.

Enfin, ce projet nous a donc sensibilisé pleinement sur la transition énergétique et nous a fait comprendre qu'il était majeur de raisonner d'une façon à construire des maisons à très basses consommations voire passives dans les années futures, en Europe. Ainsi pour éviter le réchauffement climatique, il est de notre devoir de diminuer notre consommation personnelle d'énergie et de vivre dans une optique d'utilisation d'énergie verte.



4.2. Perspectives pour la poursuite de ce projet

Tout au long de notre projet, nous avons vu que plusieurs points pourraient être améliorés, et donc nous les mettons dans notre rapport pour pouvoir conseiller nos successeurs pour ce projet.

Premièrement la maquette est à refaire entièrement car les murs sont trop épais, et du fait qu'il y ait une double épaisseur avec une lame d'air entre les deux (lorsqu'il n'y a pas d'isolant), la maquette est trop isolée, et donc quasiment inexploitable. Il serait bien de refaire une maquette avec une seule épaisseur de bois plus fine que celle sur la maquette actuelle, et collez l'isolant par l'intérieur ou l'extérieur.

Vous pouvez essayer de faire une modélisation de la maquette sur Solidworks avant de la faire pour avoir une idée générale de ce à quoi ça pourrait ressembler.

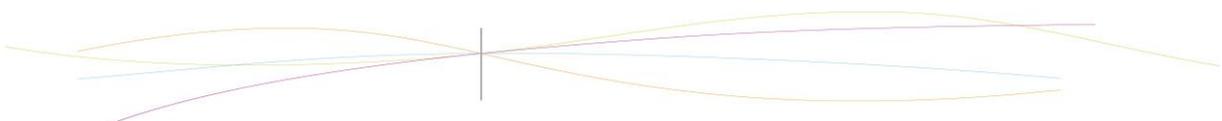
Nous avons aussi remarqué qu'une ampoule comme moyen de chauffage ne montrait pas un chauffage homogène, ce qui est visible sur les photos thermiques lorsqu'il y a la cloison dans la maison : la pièce où il y a l'ampoule chauffe et pas l'autre.

Essayez donc de trouver un moyen de chauffer qui soit homogène dans toute la maison. Une chose qui rendrait la maquette plus proche de la réalité serait de rajouter une ventilation. Un ventilateur d'ordinateur serait idéal pour ça.

Les mesures ont été faites la nuit pour avoir un climat plus froid, et donc prévoyez soit une nuit entière pour les mesures, ou plusieurs nuits, soit faites les mesures avant que le climat se réchauffe.

Vous pouvez aussi essayer de faire une étude comparative du transfert thermique avec un vitrage simple et un vitrage double.

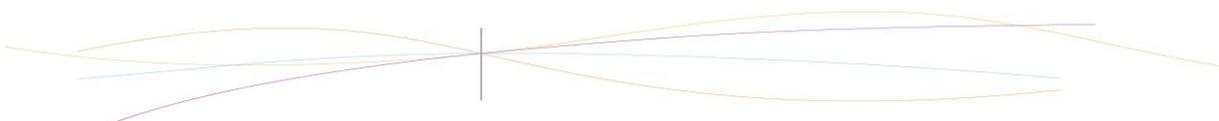
Enfin, nous conseillons vivement de contacter Info Energie de Rouen le plus tôt possible dans l'avancée du projet. Ils se feront un plaisir d'accueillir les prochains étudiants et de les aider.



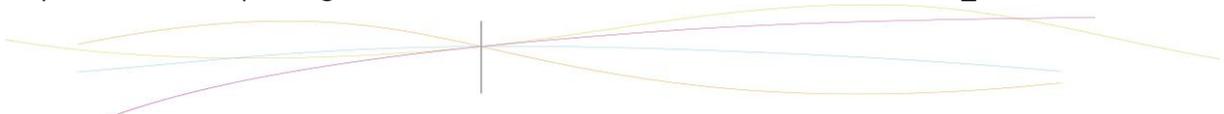
5. BIBLIOGRAPHIE

Liens internet :

<http://www.reavenir.fr/quille-construction/operations?page=2#chantier-98>
http://www.a4.fr/banc-dessai-isolation-thermique_c1453_1819.html
http://www.isover.fr/var/isover/storage/synchronisation/doc/isover/ficheP/Isolation_thermique_guide_%20Isover.pdf
<http://www.isover.fr/Guide-de-l-isolation/Reglementation-labels-et-certifications/Certification-HQE>
<http://www.effinergie.org/index.php/outils-effinergie/faq/963-glossaire-technique>
<http://www.toutsurlisolation.com/Isolation-thermique/Reglementation-thermique>
<http://www.isover.fr/Guide-de-l-isolation/Reglementation-labels-et-certifications>
<http://isolation.comprendrechoisir.com/comprendre/comparatif-isolants>
http://www.isover.fr/var/isover/storage/synchronisation/doc/isover/ficheP/Isolation_thermique_guide_%20Isover.pdf
http://www.a4telechargement.fr/BE-THERM/D-THERM-A_Version_PDF.pdf
http://www.a4telechargement.fr/Realisations_parpaings/D-REAPARP_06.2011.pdf
http://www.a4.fr/banc-dessai-isolation-thermique_c1453_1819.html
http://www.a4.fr/maquettes-realistes-au-110_c686_1686.html
<http://www.plastiquesurmesure.com/personnalisation?id=207>
<http://www.gralon.net/articles/materiel-et-consommables/materiels-industriels/article-isolant-thermique---les-differents-materiaux-et-leurs-caracteristiques-1328.htm>
<http://www.bilans-thermiques.fr/economies/isolants>
http://isolation.comprendrechoisir.com/comprendre/resistance_thermique_r_defin
http://www.cndb.org/?p=qualite_vie_construction_bois
<http://www.deco-travaux.com/murs-et-cloisons/materiaux-choisir-construire-mur.html>
http://www.ecosources.info/dossiers/Inertie_thermique
<http://socialcompare.com/fr/comparison/tableau-comparatif-pour-l-isolation-thermique-d-un-logement-ou-sa-renovation>
<http://www.eco-logis.com/isolat0.htm>
<http://www.toutsurlisolation.com/>
<http://www.isolavie.fr/avec-quoi-isoler/>
<http://www.france-pro-habitat.fr/isolation.htm>
<http://www.bilans-thermiques.fr/thermographie>
<http://www.normert2012.com/>
<http://www.normert2012.com/AppliquerLaNormeRT2012.pdf>
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/La-RT2012-un-saut-energetique-pour.html>



<http://www.rt-batiment.fr/>
http://fr.wikipedia.org/wiki/Grenelle_Environnement
<http://www.rt-batiment.fr/batiments-neufs/reglementation-thermique-2005/presentation.ht>
http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rt2005_version09102006.pdf
<http://www.consoglobe.com/utiliser-camera-thermique-fait-froid-dans-le-dos-cg/2>
<http://youtu.be/Hh78X80L8Ys>
<http://www.aixlesbains.fr/Cadre-de-vie/Logement/Renover-construire/Isolation-thermique-la-thermographie>
http://www.parisespace-eco.com/thermographie_infrarouge.php
http://www.aduhme.org/alpheo/PDF/consommatrice/INFO/info_conso09.pdf
<http://objectif-habitat.com/lisolation-enjeu-economique-ecologique/>
<http://www.toutsurlisolation.com/Isolation-thermique/Benefices-de-l-isolation-thermique>
<http://gw-isolation-ecologique.fr/isolation-vacluse-84-combles-entreprise-devis-gard-bouches-du-rhone-pourquoi-isoler/isolation-vacluse-84-combles-entreprise-devis-gard-bouches-du-rhone-bienfaits>
<http://www.lisolationthermique.fr/avantages-isolation-thermique.html>
<http://www.renovation-info-service.gouv.fr/vos-aides-financieres>
<http://www.immobilierecologique.fr/pages/Rénovation-thermique-%3A-nouvelle-subsvention-de-1-350-euros-et-les-autres-aides>
<http://www.ravalement-facade-isolation-enduiest.com/aides-financieres-subsventions-isolation-thermique-maison-facades.htm>
<http://cofely-gdfsuez.com/solutions/efficacite-energetique-des-batiments>
http://www.fieec.fr/iso_album/dp_fieec_-_efficacite_energetique_des_batiments_-_sept_2011.pdf
<http://www.economie.gouv.fr/daj/guide-relatif-a-lefficacite-energetique-dans-batiment-application-a-etablissement-scolaire>
<http://www.toutsurlisolation.com/Isolation-thermique/Reglementation-thermique>
http://www.grenoble.archi.fr/cours-en-ligne/tixier/L5C_07_Thermique_et_Materiaux.pdf
http://www.construireavecsaint-gobain.fr/wp-content/uploads/2012/10/4_ESS_HAB_INTRODUCTION_THERMIQUE.pdf
http://www.isover.fr/var/isover/storage/synchronisation/doc/isover/ficheP/Isolation_thermique_guide_%20Isover.pdf
<http://lechauffage.blogspot.fr/2011/06/comparer-les-isolants-unites-de-mesure.html>
<http://www.usinenouvelle.com/article/innovation-l-isolant-du-futur-vient-de-la-lune.N194843>
<http://www.lemoniteur.fr/179-innovation-produits/article/actualite/17370554-les-aerogels-de-silice-l-isolant-thermique-de-nouvelle-generation>
<http://www.travaux.com/dossier/isolation/11934/L-isolation:-un-domaine-d-innovation-dans-l-univers-des-travaux.html>
http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/les-materiaux-de-demain-edition_74469/



http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/materiaux-innovants-nano-thematique_6342/l-isolation-nerf-de-la-guerre-article_74493/

http://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/materiaux-innovants-nano-thematique_6342/l-isolation-nerf-de-la-guerre-article_74493/

<http://www.connaissancedesenergies.org/videos-energies/videos-ruptures/l-isolation-thermique-d-un-batiment-enfin-mesuree>

<http://wwwdfrensta.fr/Cours/docs/A3-1/ITI.pdf>

http://www.planbatimentdurable.fr/IMG/pdf/rapport_innovation.pdf

<http://www.quelleenergie.fr/magazine/economies-energie/innovations-chauffage-futur-18347/>

<http://travaux.info/faq/isolation/quels-avantages-et-inconvenients-pour-le-liege-expanse-isolant>

<http://www.eco-logis.com/isolat0.htm>

<http://www.maisonapart.com/edito/construire-renover/portes-fenetres/tout-savoir-sur-le-vitrage-chauffant-8497.php>

<http://www.la-crea.fr/espace-info-energie-de-la-metropole-faq-thermique>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Pont_thermique#En_France.2C_la_r.C3.A9glementation_thermique_2012

<http://www.pont-thermique.fr/>

<http://www.toutsurlisolation.com/Isolation-thermique/Reussir-son-isolation-thermique/Qualite-de-mise-en-aeuvre/Les-ponts-thermiques>

<http://www.schoeck.fr/fr/nos-solutions/combar-connecteur-thermique-159>

<http://www.effnergie.org/index.php/outils-effnergie/faq/963-glossaire-technique>

http://www.isover.fr/var/isover/storage/synchronisation/doc/isover/ficheP/Isolation_thermique_guide_%20Isover.pdf

<http://www.jefaisconstruire.fr/normes-eco-construction/labels-performance-energetiques-2014/>

<http://www.projetvert.fr/labels-energetique/label-minergie/>

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Passivhaus>

<http://www.projetvert.fr/labels-energetique/label-passivhaus/>

<http://www.lamaisonpassive.fr/spip/spip.php?article61>

<http://www.lexpertfenetre.fr/normes-et-labels.html>

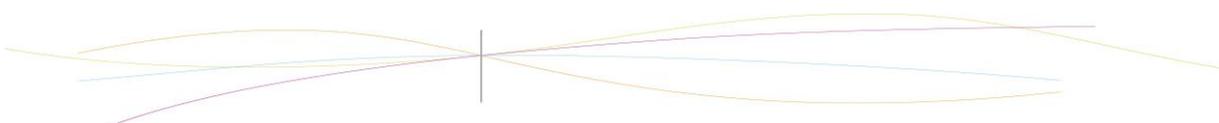
<http://www.k-line.fr/normes-labels-certifications.aspx>

<http://isolation.comprendrechoisir.com/comprendre/labels-certification>

<http://www.lexpertfenetre.fr/normes-et-labels.html>

<http://www.lamaisonpassive.fr/spip/spip.php?article61>

<http://www.info-energie-fc.org/fr/isoler-les-murs-par-l-interieur.html>



6. ANNEXES

6.1. Documentation technique

6.1.1. *Réglementations et normes:*

La réglementation thermique est l'ensemble des normes en vigueur mises en applications sur un chantier de maison individuelle ou de bâtiment tertiaire. Elle a pour objectif de limiter la consommation énergétique du parc français, le domaine du bâtiment étant le plus gros consommateur d'énergie en France. Le premier texte de réglementation thermique a été écrit en 1974.

La réglementation en vigueur de nos jours est la RT 2012, mise en place depuis le 1^{er} janvier 2013 pour tous les bâtiments neufs, elle remplace la RT 2005. La RT 2012 a été imposée par le Grenelle environnement. Il s'agit d'un ensemble de réunions politiques ayant eu lieu en France de septembre à décembre 2007 dans le but de prendre des décisions à long terme concernant l'écologie et le développement durable en France. La RT 2012 s'inscrit dans la lignée de la RT 2005. Les bâtiments aux normes sont labellisés BBC : Bâtiment Basse Consommation.

L'objectif est de diviser par 3 la consommation énergétique des bâtiments d'habitation et tertiaires, ce qui revient à ramener, pour une maison individuelle, la facture annuelle à 300€ et d'améliorer les performances énergétiques et bioclimatiques des bâtiments français.

Dans le cas de l'isolation et de la performance énergétique, les labels et les certifications sont attribués en fonction de la consommation conventionnelle en énergie primaire (Cep) et de la consommation conventionnelle de référence (Cepref).

La Cep correspond à la somme des consommations du bâtiment en chauffage, refroidissement, éclairage, ventilation, auxiliaires et chauffage d'eau chaude sanitaire. Elle est calculée à l'aide des caractéristiques réelles du bâtiment et de ses équipements. Son unité est le kWh/(m².an) en énergie primaire sur une année.

NB : - L'énergie primaire est l'énergie extraite de produits bruts comme le pétrole, le gaz et le bois. L'électricité est une énergie secondaire que l'on peut convertir en énergie primaire à l'aide d'un facteur 2,58 qui correspond à 1 kWh d'électricité produite pour 2,58 kWh d'énergie primaire. L'énergie primaire ne doit pas être confondue avec l'énergie finale, qui est disponible pour l'utilisateur, elle est celle qu'il faut apporter pour l'obtention de cette énergie finale, en prenant en compte les différentes pertes occasionnées.

La Cepref correspond à la consommation qu'aurait un même bâtiment pour des performances imposées, dites de référence. Pour être conforme la Cep doit donc être inférieure à la Cepref.

La « Cepmax » est l'exigence de convention maximale, portant sur les consommations de chauffage, de refroidissement, d'éclairage et de production d'eau chaude sanitaire. L'article 4 de la loi Grenelle 1 impose une valeur du « Cepmax » de 50 kWh/(m².an) d'énergie primaire en moyenne sur un bâtiment neuf de surface moyenne.

L'exigence d'efficacité énergétique minimale du bâti est définie par le coefficient « Bbiomax » (besoins bioclimatiques du bâti). Cette exigence impose une limitation simultanée



On exprime parfois la Cep en kWh/(m²SHON) : La SHON (Surface Hors d'Œuvre Nette) est la surface de référence utilisée en France, elle correspond à la somme des surfaces de plancher de chaque niveau, excluant les surfaces de combles et des surfaces inhabitées non chauffées).

du besoin en énergie pour les composantes liées à la conception du bâti (chauffage, refroidissement et éclairage), imposant ainsi son optimisation indépendamment des systèmes énergétiques mis en œuvre.

A l'instar de la RT 2005, la RT 2012 définit des catégories de bâtiments dans lesquels il est possible d'assurer un bon niveau de confort en été sans avoir à recourir à un système actif de refroidissement. Cela se caractérise par la création d'un seuil de température qui ne peut être dépassé après 5 jours consécutifs de chaleur importante, ce qui permet de réguler l'impact des canicules et le développement de la climatisation. Ainsi sont imposés en fonction des régions, une surface vitrée, des matériaux spécifiques et une orientation du bâtiment.

Une simulation du bâtiment doit être réalisée avec les logiciels adaptés afin qu'une étude thermique soit faite avant toute construction.

Cette réglementation suscite des enjeux tels que la rénovation du parc français quant à une adaptation par rapport à ces normes, et l'ouverture en 2020 sur des bâtiments « zéro consommation »

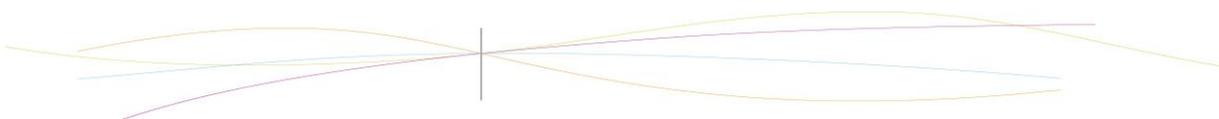
La RT 2020 sera la mise en œuvre du label BEPOS (Bâtiment à énergie positive), sur des bâtiments qui produisent plus de chaleur et d'électricité qu'ils n'en consomment. Les murs et toits seront donc mis à profit dans l'accumulation et la restitution de chaleur. L'objectif de la RT 2020 est que tous les bâtiments construits à partir de 2020 soient à énergie positive.

6.1.2. **Labels et certifications : Labels et certifications en France**

Un label de certification indique que les normes ont été respectées et vérifiées par un organisme privé ou public, alors que la certification prouve à l'acheteur que le vendeur est en conformité avec certaines normes lorsqu'il fournit un produit, ou un service. Ainsi les labels et certifications permettent d'évaluer la qualité, l'efficacité et les performances énergétiques, sanitaires et environnementales d'un bâtiment. Un label permet également de justifier le niveau de consommation d'énergie d'un bâtiment, ce qui peut notamment permettre d'obtenir des aides de la part de l'État ou d'autres organismes de financement.

En ce qui concerne les certifications, par exemple, la certification Acermi (Association pour la certification des matériaux isolants) atteste de la qualité des produits isolants selon des critères de résistance thermique, conductivité thermique, comportement à l'eau et au feu, etc... Il en existe bien d'autres comme Acotherm (portes et fenêtres), Cekal (étanchéité et durabilité des vitrages), etc... Les certifications sont une garantie de qualité et de fiabilité des produits.

La labellisation est une démarche volontaire et non obligatoire qui a pour objectif de valoriser son bâtiment et d'être guidé par des organismes qualifiés lors de la conception. Elle a un coût d'environ 200 euros selon les organismes. Pour obtenir un label, il existe des organismes spécialisés qui sont accrédités par l'unique instance en France autorisée : le COFRAC (Comité Français d'Accréditation).



Il existe cinq niveaux de labels de performance énergétique :

- Le label de haute performance énergétique HPE : la Cep doit être inférieure de 10% à la Cepref de la réglementation RT 2005.
- Le label de haute performance énergétique HPE Enr : des conditions sur l'usage d'énergies renouvelables viennent s'ajouter à celles du label HPE. Par exemple, il est attribué aux bâtiments lorsque que le chauffage est produit au moins à 50% par un générateur biomasse ou par un réseau de chaleur alimenté à 60% par des énergies renouvelables.
- Le label de très haute performance énergétique THPE : la Cep doit être inférieure de 20% à la Cepref de la réglementation RT 2005.
- Le label de très haute performance énergétique THPE Enr : la Cep doit être inférieure de 30% à la Cepref de la réglementation RT 2005 et des conditions sur l'usage d'énergies renouvelables viennent s'ajouter.
- Le label Bâtiment Basse Consommation BBC : il permet de valoriser les constructions consommant très peu d'énergie. La Cep doit être inférieure à 50 kWh/m²SHON/an pour le résidentiel, en accord avec la RT 2012. En ce qui concerne la rénovation, l'objectif de consommation est de 80 kWh/m²SHON/an. Les consommations de références sont modulées selon la zone climatique et l'altitude du bâtiment par des coefficients.

Depuis l'entrée en vigueur de la Réglementation Thermique 2012, les labels ont légèrement été modifiés, de nouveaux labels risquent d'être créés dans les années à venir pour modifier ou remplacer ceux de la RT 2005. Les calculs et pourcentages des différents labels présentés ci-dessus sont maintenant faits à partir des objectifs de la RT 2012. Les labels tentent donc de s'adapter à ces nouveaux objectifs.

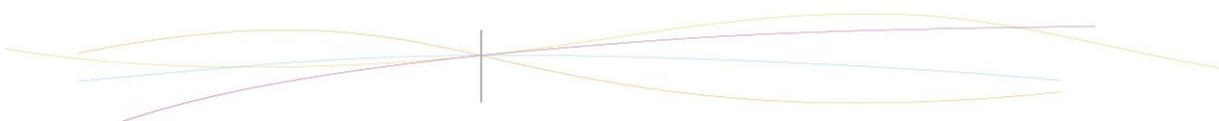
En France, par exemple l'association Effinergie se charge de fournir 4 labels différents : le label BBC qui est similaire aux labels Passivhaus et Minergie (présentés ci-dessous), le label Effinergie+, le label Bepos afin de répondre aux exigences de la RT 2012, le label Effinergie Renovation.

A l'échelle Européenne :

Il existe également de nombreux labels délivrés dans d'autres pays Européens, parmi ceux-là, deux se démarquent et sont aussi utilisés en France.

6.1.2.1. Label Minergie en Suisse :

L'association Suisse Minergie propose le label Minergie qui suit un standard, établi par l'association, sur le principe de la performance énergétique, ce label est principalement utilisé en Suisse et en France. Lors d'une construction suivant ce label, il est aussi possible d'obtenir



des subventions de la part de l'État. Le label propose cinq moyens standards pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire qui sont : la pompe à chaleur avec sonde géothermique, la pompe à chaleur air-eau, le chauffage au bois, le chauffage au bois automatique et l'utilisation des rejets thermiques. Le label Minergie Standard se base sur un objectif de performance de 38 kWh/m²/an dans le neuf, et 60 kWh/m²/an dans la rénovation, alors que le label Minergie Passif se base sur un objectif de performance de 30 kWh/m²/an avec un besoin de chauffage inférieur à 15 kWh/m²/an.

6.1.2.2. Label Passivhaus en Allemagne

Passivhaus est un label allemand de performance énergétique, il est accordé aux logements neufs dont les besoins en chauffage sont inférieurs à 15 kWh/m²/an. Il prend en compte aussi la consommation totale, correspondant à l'énergie primaire consommée par le chauffage, la ventilation, l'éclairage, l'eau chaude sanitaire, les auxiliaires et les équipements électrodomestiques, dans ce cas elle doit être inférieure à 120 kWh/m²/an. Le label Passivhaus se concentre principalement sur la maison passive, c'est-à-dire une maison ne se chauffant pas par un moyen nécessitant des éléments consommant de l'énergie. Dans le cas de la maison passive, ce label et la RT 2012 ne sont pas similaires, il est donc maintenant nécessaire de cumuler les exigences de ces deux réglementations pour obtenir ce label. Ce label est peu répandu en France, l'Allemagne oblige maintenant l'obtention de ce label dans la construction dans certains cantons allemands contrairement à la France qui laisse libres les constructeurs de suivre ces réglementations. En France, c'est l'association Maison Passive Française qui s'occupe de délivrer un label répondant aux mêmes critères. Ces deux labels mettent également l'accent sur l'étanchéité à l'air du bâtiment et l'installation d'aération.

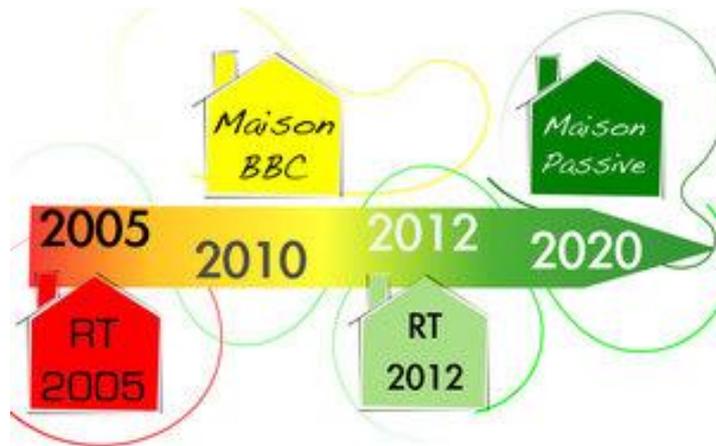
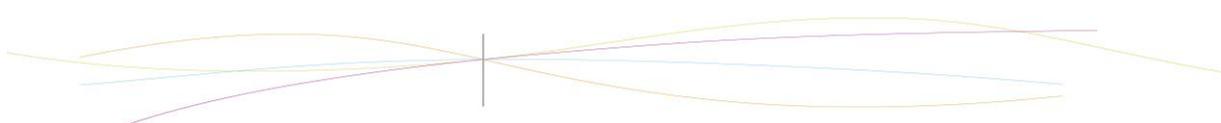


Figure 12 : frise chronologique des différentes normes



6.1.3. Tableau comparatif des différents isolants

	Image	Formats disponibles	Utilisation	Longévité	Conductivité thermique λ	Résistance thermique R _e (épaisseur e = 100 mm)	Avantage(s)/Inconvénient(s)	Avantage(s) écologique(s)
Le verre cellulaire		Panneaux aux Granulés Plaques	Murs Toitures Fondations	Très grande longévité	0.038 - 0.050 W/m.K	2 - 2.6 m ² .K/W	+ Incombustible + Impuressible - Irritant à la pose	Fait de verre recyclé
La laine de roche		Panneaux aux Vrac Rouleaux	Planchers Murs Combles Toitures Cloisons	Peut se tasser avec le temps	0.034 - 0.040 W/m.K	2.35 - 3 m ² .K/W	+ Grande résistance au feu + Isolant acoustique - Irritant à la pose	Difficilement recyclable
La laine de verre		Panneaux aux Vrac Rouleaux	Toitures Murs Cloisons Combles Planchers	Peut se tasser avec le temps	0.030 - 0.040 W/m.K	2.5 - 3.3 m ² .K/W	+ Incombustible + Isolant acoustique	Difficilement recyclable
La laine (mouton ou végétale)		Vrac Feuilles Rouleaux	Planchers Toitures Finitions	Instabilité dans le temps	0.039 - 0.042 W/m.K	~ 2.85 m ² .K/W	+ Isolant acoustique + Régule l'humidité - Inflammable - Autre les mites	Renouvelable Recyclable
La laine ou fibre de bois		Panneaux rigides Panneaux semi-rigides Vrac	Murs Toitures	Grande longévité	0.037-0.049 W/m.K (fibre) 0.039 - 0.050 W/m.K (saune)	~2.60 m ² .K/W	+ Isolant acoustique - Inflammable	Renouvelable Recyclable
La ouate de cellulose		Panneaux aux Vrac	Planchers Murs Toitures	Grande longévité	0.035 - 0.041 W/m.K	~2.4 m ² .K/W	+ Isolant acoustique + Difficilement combustible - Effaiblissant (vraie)	Renouvelable Réutilisable
Le liège		Plaques Vrac Rouleaux	Planchers Murs Toitures	Grande longévité	0.042 W/m.K	~2.5 m ² .K/W	+ Isolant acoustique + Résistant à l'humidité + Impuressible	Recyclable ~ Renouvelable
La laine de lin		Panneaux Rouleaux Vrac Feuilles	Murs Toitures Planchers Combles	Grande longévité	0.038 - 0.042 W/m.K	~2.62 m ² .K/W	+ Régule l'humidité chaude ur. + Inodore - Inflammable	Renouvelable Recyclable
La laine de chanvre		Panneaux Rouleaux Vrac Matelas	Murs Cloisons Combles Toitures	Grande longévité	0.039 - 0.045 W/m.K	~2.62 m ² .K/W	+ Impuressible + Inflammable + Isolant acoustique + Inodore	Renouvelable Recyclable Biodégradable
Le polystyrène (expansé ou extrudé)		Panneaux Rigides Vrac	Planchers Murs Toitures	Instabilité dans le temps	0.029 à 0.038 W/m.K	~3.17 m ² .K/W	- Inflammable - Fumées noires - Pas d'isolation acoustique - Sensible aux rongeurs	Difficilement recyclable
Le polyuréthane		Mousse Panneaux	Toitures Sols Murs	Très grande longévité	0.021-0.028 W/m.K	~4.35 m ² .K/W	+ Résistant à l'humidité + Résistant aux rongeurs	Renouvelable Recyclable

6.2. Schémas de montages, plans de conception, photos

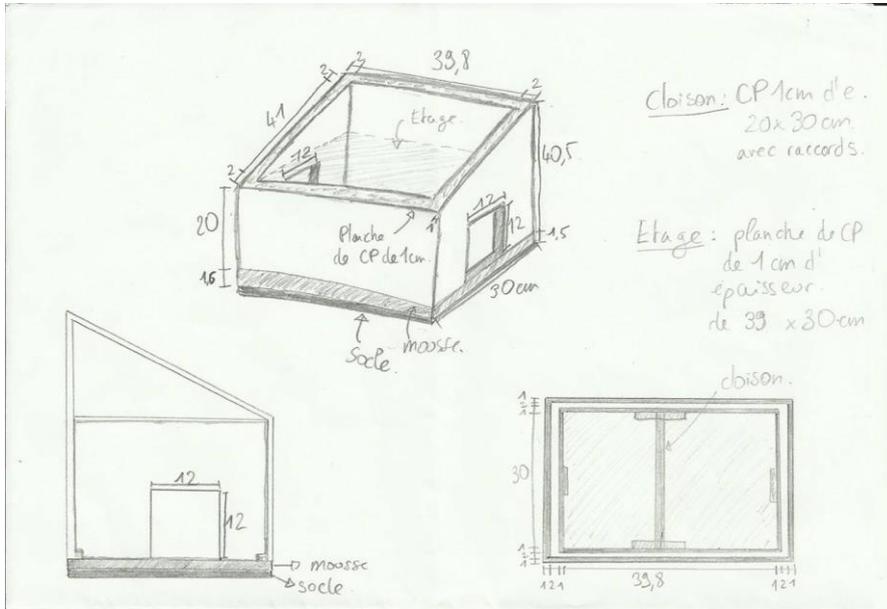


Figure 13: Croquis pour l'élaboration de la maquette



Figure 144 : Photos des travaux réalisés sur la maquette

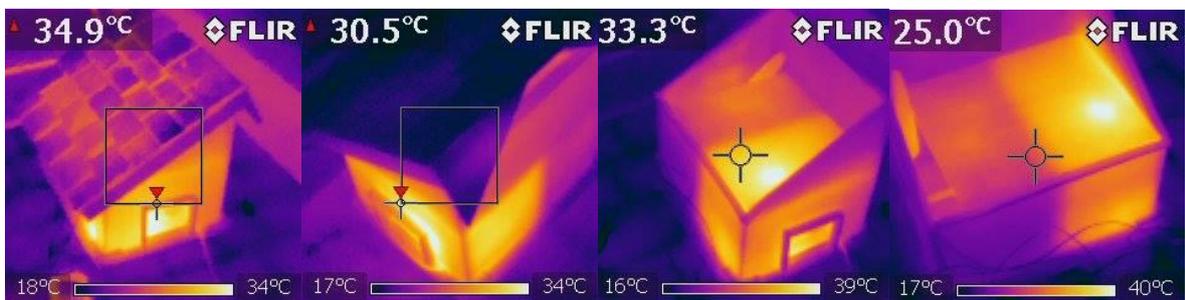


Figure 15 : Photos de la maquette prises à la caméra thermique

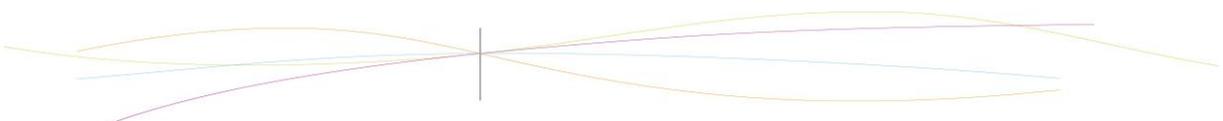
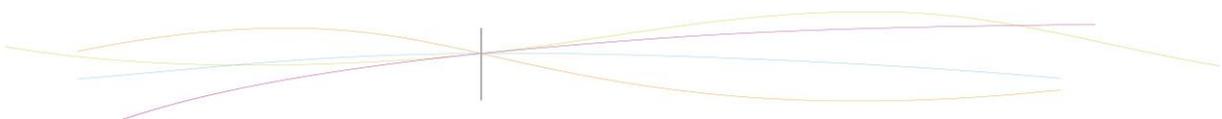




Figure 16: Photo de la maquette après rénovation

6.3. Propositions de sujets de projets (en lien ou pas avec le projet réalisé)

Est-il possible de construire une maison totalement efficace énergétiquement ?



7. CREDITS D'ILLUSTRATIONS

Figure 1: Tableau des différentes conductivités thermiques des isolants	8
Figure 2: schéma illustrant la VMC simple flux	10
Figure 3: Schéma de principes d'isolation.....	12
Figure 4: Schéma de l'ITE.....	13
Figure 5: Thermogramme d'un bâtiment.....	15
Figure 6: modélisation de la maquette initiale sur SolidWorks	24
Figure 7: Montage expérimental.....	25
Figure 8: Sonde Wi-Fi utilisée.....	26
Figure 9 : thermogrammes de la maquette	27
Figure 10: graphique de la deuxième expérience	28
Figure 11 : photos du chantier de rénovation.....	30
Figure 12 : frise chronologique des différentes normes	40
Figure 13: Croquis pour l'élaboration de la maquette	42
Figure 144 : Photos des travaux réalisés sur la maquette	42
Figure 15 : Photos de la maquette prises à la caméra thermique	42
Figure 16: Photo de la maquette après rénovation	43

