

Projet de Physique P6-3
STPI/P6-3/2012 – 9

Efficacité Énergétique dans le bâtiment



Etudiants :

Benoit DE VESTELE

Mélanie CLOZEL

Florian CARON

Alina BOCOLAN

Thomas BERNAUDEAU

Yihuan TANG

Enseignant-responsable du projet :

Jamil ABDULAZIZ

Date de remise du rapport : **18/06/2012**

Référence du projet : **STPI/P6-3/2012 – 9**

Intitulé du projet : ***Efficacité Énergétique dans le bâtiment***

Type de projet : ***(Bibliographie, Expérimentation)***

Objectifs du projet :

L'objectif de ce projet est de définir précisément la définition de l'efficacité énergétique et comment elle se mesure. Notre travail s'est porté sur trois axes principaux : une importante partie théorique sur les stratégies nationales et européennes, puis nous nous sommes intéressés à sa mise en œuvre dans le bâtiment. Enfin nous avons étudié l'efficacité énergétique de manière pragmatique et concrète au travers d'une maquette réalisée par nos soins.

De plus notre objectif est de développer notre capacité de travail en groupe, ainsi que faire les démarches bibliographiques.

Mots-clefs du projet : ***efficacité énergétique, réglementation thermique, isolation thermique***

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|----|
| 1. Introduction..... | 6 |
| 2. Méthodologie / Organisation du travail..... | 7 |
| 3. Travail réalisé et résultats..... | 8 |
| 3.1. Stratégies nationales et européennes pour l'efficacité énergétique..... | 8 |
| 3.1.1. Stratégies européennes..... | 8 |
| 3.1.2. Stratégies nationales..... | 10 |
| 3.2. L'efficacité énergétique dans l'habitat passif..... | 13 |
| 3.2.1. L'isolation thermique..... | 13 |
| 3.2.2. La suppression des ponts thermiques..... | 14 |
| 3.2.3. L'étanchéité à l'air..... | 15 |
| 3.2.4. La ventilation..... | 17 |
| 3.2.5. Le solaire passif..... | 18 |
| 3.2.6. L'électroménager économe..... | 18 |
| 3.3. Le modèle expérimental..... | 19 |
| 3.3.1. Présentation de la maquette..... | 19 |
| 3.3.2. L'expérience..... | 20 |
| 3.3.3. Résultats et interprétations..... | 21 |
| 4. Conclusions et perspectives..... | 28 |
| 5. Bibliographie..... | 29 |
| 6. Annexes..... | 31 |
| 6.1. Documentation technique..... | 31 |
| 6.2. Schémas de montages, plans de conception..... | 32 |
| 6.3. Contacts..... | 34 |

NOTATIONS, ACRONYMES

CEE : Communauté Economique Européenne

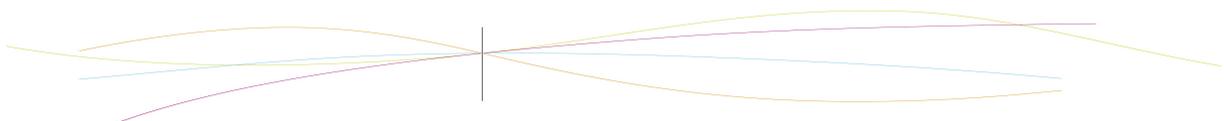
ELENA : European Local ENergy Assistance

VMC : Ventilation Mécanique Contrôlée

RT : Réglementation Thermique

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

CEPHEUS : Cost Efficient Passive Houses as European Standards



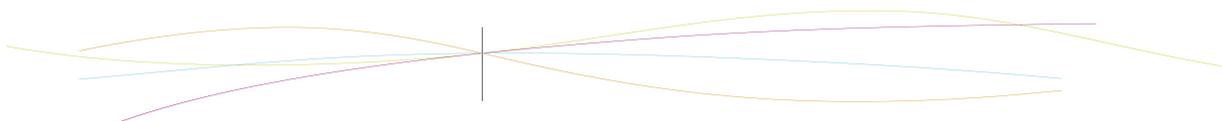
1. INTRODUCTION

On peut trouver trois raisons principales qui poussent les maîtres d'ouvrage à limiter les consommations d'énergie de leurs bâtiments. En premier, il est important de souligner que sans une baisse des émissions de gaz à effet de serre, la France connaîtra une hausse de température importante avec de nombreuses conséquences : canicules, inondations, épidémies, etc. Ensuite, le coût de l'énergie est en constante augmentation. La facture énergétique de la France est ainsi passée de 23 milliards d'euros en 2003 à 46 milliards d'euros en 2006, soit une augmentation de 100% en trois ans. Le coût de l'énergie devrait encore continuer à croître, notamment en raison de la raréfaction des ressources et de la demande croissante des pays émergents. Enfin, sur 25 ans, hors électroménager, la consommation d'énergie d'une maison individuelle respectant la RT 2005 peut encore représenter un tiers du coût de construction.

Notre sujet s'intitule « l'efficacité énergétique dans le bâtiment ». Ce sujet peut aussi bien englober les lampes basses consommations que la consommation des machines pour construire le bâtiment. En accord avec notre maître de projet M. Abdulaziz, nous avons décidé de traiter plus spécifiquement l'isolation dans le bâtiment.

Dans un monde où les énergies fossiles se font de plus en plus rares et où l'énergie coûte de plus en plus chère, l'efficacité énergétique est un réel enjeu. Conscients de cela, tous les pays européens prennent des mesures pour développer leur classification énergétique dans tous les secteurs.

Tout d'abord, nous aborderons les différentes stratégies nationales et européennes mises en place pour l'efficacité énergétique. Puis nous nous intéresserons plus spécifiquement à l'efficacité énergétique dans le bâtiment au sens passif du terme. Enfin, nous vous présenterons la maquette que nous avons réalisé pour ce projet ainsi qu'un résumé de notre entretien avec un ingénieur dans le bâtiment.



2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

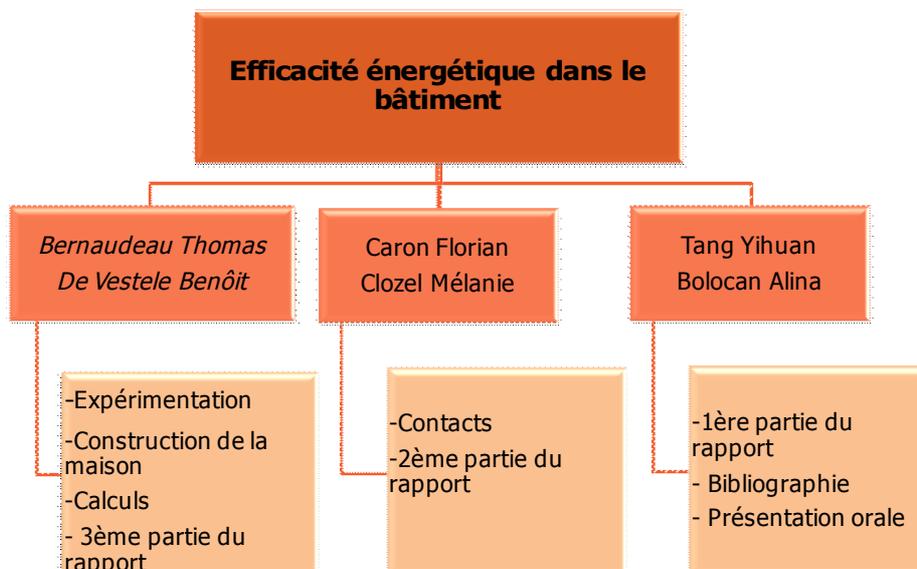
Description de l'organisation adoptée pour le déroulement du travail

Dès les premières séances, nous nous sommes répartis les axes de recherches afin de mieux appréhender les différentes facettes de l'efficacité énergétique et de pouvoir commencer la rédaction du dossier au plus tôt. Dans notre équipe, chaque binôme était chargé de rédiger sa partie du dossier. La dernière séance a consisté en la rédaction des parties communes et en la vérification de certains points du dossier.

Enfin tout a été mis en page selon les critères requis pour le rapport par une seule personne afin de garantir un dossier visuellement homogène. De plus, avant de rendre la version finale du dossier, nous l'avons diffusé sur notre google doc que nous avons créé pour que tous les membres du groupe puissent corriger les erreurs qui auraient pu persister.



Illustration 1: Organigramme de l'équipe



3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

3.1. Stratégies nationales et européennes pour l'efficacité énergétique

3.1.1. Stratégies européennes

Généralités

L'efficacité énergétique est l'élément fondamental pour un avenir énergétique durable. Depuis la révolution industrielle, la demande énergétique continue de croître de façon constante dans le monde. Les deux domaines généralement les plus affectés sont : les émissions de gaz à effet de serre et la pollution atmosphérique locale et régionale.

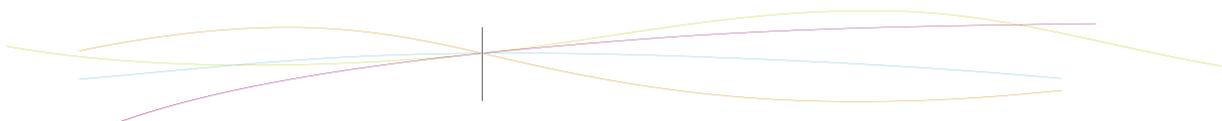
En Europe, le secteur du bâtiment, qui utilise 40% de l'énergie totale consommée, est le plus grand consommateur d'énergie primaire. Il produit également plus de 40% des émissions totales de CO₂. Une amélioration de l'efficacité énergétique de ce secteur représente donc un objectif économique et écologique majeur.

Directive 92/75/CEE

Un premier pas, très important pour l'efficacité énergétique, est la directive 92/75/CEE du 22 septembre 1992. D'après cette directive, tous les appareils domestiques mis en vente doivent être assortis d'une fiche d'information et d'une étiquette mentionnant les données relatives à leur consommation en énergie (électrique ou autre), ou d'autres informations importantes.

Après la directive du 22 septembre 1992 qui a touché une série de produits de consommation courante (réfrigérateurs, lampes, etc.), la commission a décidé de développer son champ d'application de directives sur d'autres produits liés à l'énergie :

- l'efficacité énergétique des bâtiments en 2002 (16 décembre)
- la production locale à haut rendement en 2004 (11 février),
- l'éco-conception des produits consommateurs d'énergie en 2005 (6 juillet)
- les services énergétiques en 2006 (5 avril).



Paquet climat-énergie

Grâce au « paquet climat-énergie » et à l'objectif « 3x20 » (ou « 20/20/20 »), l'Europe promeut l'utilisation d'énergies sûres, propres et renouvelables, de même que les économies d'énergie via le paquet « efficacité énergétique ». Le paquet climat-énergie est un plan d'action officiellement adopté par le Parlement Européen et le Conseil des Ministres en décembre 2008. Il a pour objectif de permettre la réalisation de l'objectif « 3x20 » visant à :

21.10.2010
CLIMAT-ÉNERGIE
COMMENT ATTEINDRE
LES 3X20!



- produire au moins 20% d'énergie par des procédés renouvelables (solaire, éolien, hydraulique),
- réduire les émissions de CO₂ des pays de l'Union de 20 %
- réduire aussi de 20% la consommation globale en Europe d'ici 2020.

Ce paquet a deux priorités: mettre en place une politique européenne commune de l'énergie plus soutenable et durable et lutter contre le changement climatique.

ELENA

Pour faciliter la mobilisation de fonds à investir dans les énergies durables au niveau local (régions et villes), la Commission Européenne et la Banque Européenne d'Investissement ont créé le mécanisme d'assistance technique ELENA, financé via le programme « Énergie intelligente-Europe » pour :

- améliorer l'efficacité énergétique
- développer les énergies renouvelables
- obtenir des financements extérieurs

L'énergie intelligente représente les processus énergétiques contenant des dispositifs de rétro-contrôle ou d'intelligence artificielle afin de minimiser les consommations d'énergie.

Nouvelles directives énergétiques en 2010

En mai 2010, l'Union Européenne a adopté deux nouvelles directives :

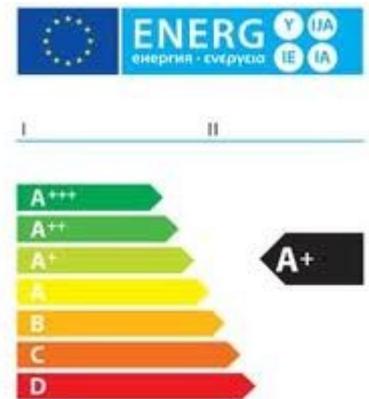
- sur la performance énergétique des bâtiments
- sur l'étiquetage énergétique

Elles ont comme objectif de réduire la consommation et l'utilisation d'énergies produites à partir de sources non renouvelables dans le secteur du bâtiment.



La directive du 19 mai 2010 sur la performance énergétique des bâtiments a comme objectif une consommation d'énergie quasi nulle. Après le 31 décembre 2020, tous les nouveaux bâtiments devront avoir une consommation d'énergie proche du «zéro énergie». Les nouveaux bâtiments occupés et possédés par les autorités publiques devront répondre aux mêmes critères après le 31 décembre 2018. Les États membres seront obligés de fixer des exigences concernant les systèmes de chauffage, la production d'eau chaude, la climatisation, et les grandes installations de ventilation.

La directive du 19 mai 2010 sur l'étiquetage énergétique introduit l'étiquette énergie pour les appareils domestiques tels que les réfrigérateurs, congélateurs, fours, etc. Le système de lettres (A à G) doublé du code couleur (vert-foncé pour classe A à rouge pour classe G) subsistera, mais sera désormais assorti de trois classes supplémentaires : A+, A++ et A+++ pour les produits efficaces sur le plan énergétique, en plus de la classe "A". Au total, le nombre de classes figurant sur l'étiquette devra toujours être limité à sept.



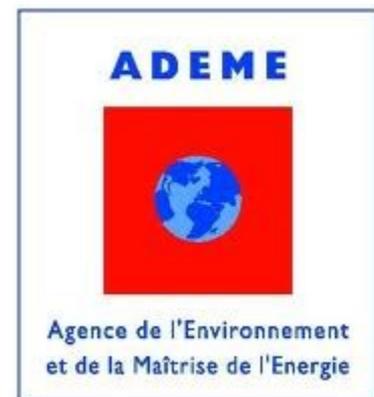
Le nouveau texte prévoit aussi l'étiquetage énergétique des produits qui ne consomment pas d'énergie mais qui "ont un impact significatif direct ou indirect" sur l'économie d'énergie comme les vitres et les châssis de fenêtres ou les portes externes. La directive prévoit également que les publicités contenant des informations ou un prix liés à l'énergie devront inclure une référence à la classe d'efficacité énergétique du produit.

3.1.2. Stratégies nationales

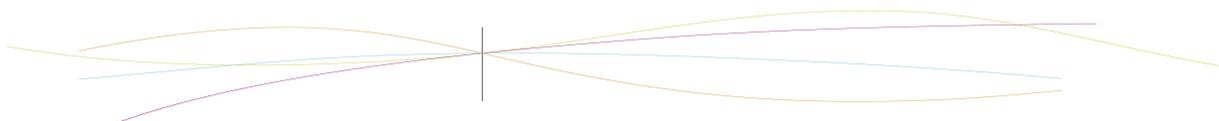
ADEME

L'efficacité énergétique s'est améliorée d'environ 20% en France entre 1990 et 2008 ce qui est proche de la moyenne de l'Union Européenne. La mise en œuvre de la politique nationale d'utilisation rationnelle de l'énergie est l'une des missions fondatrices de l'ADEME. Créé en 1991, cet établissement a pour mission de :

- mettre en œuvre des politiques publiques en matière d'énergie et de protection de l'environnement
- intervenir dans de nombreux domaines comme la maîtrise de l'énergie, la prévention de la pollution de l'air, la promotion des énergies renouvelables, etc.



Cette politique vient d'être vigoureusement relancée par les autorités publiques, notamment pour permettre à la France de réduire ses émissions de gaz à effet de serre afin de lutter contre le réchauffement climatique.





En 2007, "le Grenelle de l'Environnement" a été lancé. Pour la première fois, l'Etat, les collectivités locales et des représentants de la société civile, se sont réunis afin de prendre des décisions à long terme en matière d'environnement et de développement durable en diminuant les émissions de gaz à effet de serre et en améliorant l'efficacité énergétique.

La "loi Grenelle 1" a été promulguée le 3 août 2009. Elle propose, à travers 57 articles, des mesures touchant les secteurs de l'énergie et du bâtiment, des transports, des risques pour l'environnement et la santé, etc. Elle entend favoriser et accélérer la prise en compte de ces nouveaux défis par tous les acteurs, afin de garantir à la société et à l'économie un fonctionnement durable.

Le Grenelle 2

Le 12 juillet 2010, le Grenelle 2 est déclaré par le parlement avec 248 articles dans six chantiers majeurs pour enrichir la loi Grenelle 1. Dans la partie "bâtiment", on redéfinit le concept de la précarité énergétique et on renforce les contrôles de la réglementation thermique. On explique, pour les logements existants et les bâtiments à construire, les différents critères concernant les gaz à effet de serre et les déchets, et les consommations d'énergie et d'eau.

L'amélioration de la performance énergétique des bâtiments est ainsi devenue une partie de la loi.

Les investissements d'avenir

En 2009, les "investissements d'avenir" sont lancés avec une enveloppe globale de 35 millions d'euro, permettant d'identifier les cinq axes stratégiques et d'augmenter les potentiels en France.



La déclaration a touché cinq domaines : les énergies décarbonées, les énergies alternatives et atomiques, les énergies renouvelables et la chimie verte dans les transports, l'économie numérique et l'urbanisme et logements.

Les objectifs principaux sont de suivre le Grenelle I et le Grenelle II afin d'approfondir les recherches dans le domaine des nouvelles ressources d'énergie et des différentes méthodes de transport du futur. Ceci permet de réduire les émissions de CO₂.





La nouvelle réglementation thermique 2012 (RT 2012) remplacera bientôt la RT 2005. Les points principaux de la RT 2012 sont :

- une limite d'énergie primaire à 50kWh/m²/an dans le domaine du bâtiment, et des normes d'émission de CO₂ plus drastiques
- une amélioration des performances énergétiques des bâtiments neufs de 50% jusqu'à 2020 par rapport aux performances actuelles

La réglementation thermique RT 2012 est obligatoire dès le 1er janvier 2011 dans le tertiaire et à partir de 2013 dans le résidentiel.

Les principales conséquences de cette réglementation sont :

- une forte progression du nombre d'habitats économes en énergie tels que les maisons bioclimatiques et les maisons passives
- un surcoût par rapport à la RT 2005, de l'ordre de 10 à 15% dans la maison individuelle.

Perspectives

L'accélération du changement climatique, la raréfaction des énergies fossiles et la concentration de leurs réserves en un nombre de pays toujours plus réduit, l'instabilité des marchés de l'énergie et les augmentations des prix du pétrole, du gaz et de l'électricité rappellent l'urgence du défi énergétique que la France doit relever. L'efficacité énergétique constitue une priorité majeure dans la stratégie énergétique nationale. Le but de cette stratégie est d'ici 2020 d'économiser 20% de la consommation d'énergie et dans cette perspective, des plans d'action d'efficacité énergétique ont été mis en place dans tous les secteurs clés notamment les transports, l'industrie et le bâtiment.

En Europe, le bâtiment est le secteur qui présente le meilleur potentiel d'amélioration en terme d'efficacité énergétique. Etant donné les spécificités de ce secteur, des mesures politiques originales doivent être mises en œuvre pour exploiter ce potentiel.



3.2. L'efficacité énergétique dans l'habitat passif

“L'habitat passif est une notion désignant un bâtiment dont la consommation énergétique au m² est très basse, voire entièrement compensée par les apports internes (matériel électrique et habitants) .” Wikipédia.

Pour être qualifiée de « *passive* » une maison doit réduire d'environ 80 % ses dépenses d'énergie de chauffage par rapport à une maison neuve construite selon les normes allemandes d'isolation thermique de 1995, normes déjà très exigeantes. La conception d'un habitat passif (ou bioclimatique) se base sur six grands principes :

3.2.1. L'isolation thermique

Il existe deux façons d'isoler : l'isolation rapportée et l'isolation répartie. La première permet de renforcer des parois qui ont des performances thermiques insuffisantes. La seconde permet d'obtenir un mur isolant sur toute son épaisseur.

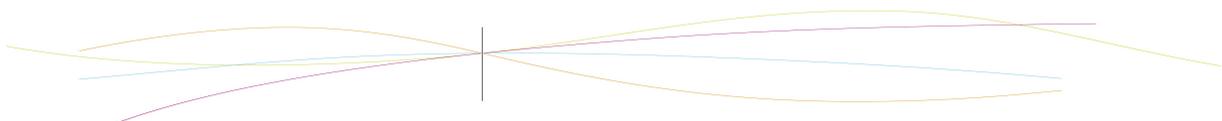
Dans une maison passive, il n'est pas rare de rencontrer des épaisseurs d'isolation de 30 à 40 cm, parfois plus, pour les murs, le toit et les planchers. D'autre part, les ponts thermiques ne sont absolument pas tolérés.

Compte tenu de l'installation de récupération de chaleur sur la ventilation, les déperditions thermiques restent principalement dues aux parois de l'enveloppe. On constate en général que les éléments opaques de l'enveloppe (murs, toits, sols) restent responsables de 50% des pertes de chaleur.

L'isolation vise également à garantir le confort thermique des habitants en assurant aux parois des températures de surface élevées. En effet, lorsque la température surfacique des parois présente une différence de plus de 3°C avec la température ambiante de la pièce, une sensation d'inconfort apparaît. Dans une maison passive, la température de surface de l'enveloppe à l'intérieur du bâtiment reste très élevée et proche de la température ambiante même par des températures extérieures très basses. Dans une maison “traditionnelle”, ce confort ne peut être obtenu que partiellement en plaçant les appareils de chauffage contre les murs et sous les fenêtres autant que possible.

Enfin, de cette température surfacique élevée couplée à une bonne ventilation découle un autre avantage : celui d'éviter la condensation et donc les moisissures.

Enfin, si le confort est présent en hiver, il l'est aussi en été. En effet, l'isolant thermique travaille de l'intérieur vers l'extérieur et vice versa. Il permet donc, lorsque la température extérieure est plus élevée que la température ambiante, d'éviter un apport trop important de chaleur à l'intérieur.



| Matériau | Conductibilité thermique en W/mK | Epaisseur en mètre pour $U=0,13$ w/(m ² K) |
|--|----------------------------------|---|
| Béton ordinaire | 2,100 | 15,80 |
| Brique | 0,800 | 6,02 |
| Brique aérée | 0,400 | 3,01 |
| Bois de résineux | 0,130 | 0,98 |
| Brique isolante | 0,110 | 0,83 |
| Paille | 0,055 | 0,410 |
| Isolant conventionnel (laine de verre, cellulose, polystyrène,...) | 0,040 | 0,300 |
| Isolant plus performant (Mousse de polyuréthane,...) | 0,025 | 0,188 |
| Panneau isolant sous vide | 0,015 | 0,113 |
| | 0,008 | 0,060 |

Les matériaux se situant dans la partie basse du tableau sont acceptables comme isolants. Déjà avec des murs en ballots de paille de 40 à 50 cm d'épaisseur, une maison passive est concevable. Si on utilise un isolant conventionnel tel que la laine de verre, le polystyrène ou la cellulose, il faudra compter environ 30 cm tandis que si on se tourne vers la mousse de polyuréthane, on peut réduire l'épaisseur à 20 cm. Pour encore gagner de la place on peut choisir d'autres types d'isolant, mais ceux-ci reviennent alors beaucoup plus cher. Evidemment, une combinaison (pour la structure par exemple) avec un matériau non isolant est tout à fait possible, voire même nécessaire.

L'épaisseur d'isolant dépend du type de matériaux, mais aussi du type de paroi à isoler. Par exemple, pour le toit, on isole beaucoup puisque cela ne présente pas de problème constructif d'avoir de plus grosses épaisseurs, par opposition aux murs où on essaie de minimiser l'épaisseur de la paroi. Pour le plancher, par contre, il faut moins isoler puisqu'il est en contact avec le sol, qui reste plus chaud que l'air extérieur (en hiver du moins) et que le flux de chaleur est moins important.

Pour que l'isolation soit efficace, il faut qu'elle soit mise en œuvre rigoureusement, c'est à dire avec une grande régularité et une bonne étanchéité. Pour certains types d'isolants, c'est la firme elle-même qui assure le placement. Par exemple, l'isolation en flocons de cellulose demande une méthode et un équipement spécifiques qui ne sont pas accessibles à l'auto constructeur.

3.2.2. La suppression des ponts thermiques

Nous avons vu que les déperditions par les parois sont les principales sources de perte de chaleur dans les maisons passives. « Les endroits critiques sont typiquement : les seuils, là où un mur intérieur et un mur extérieur sont en contact, là où une dalle de sol touche le mur extérieur, les balcons et linteaux, etc ».



Les ponts thermiques sont les points faibles de l'isolation : ils réduisent l'efficacité de l'isolation et favorisent l'apparition de condensation sur les parois intérieures (risque de moisissures).

« L'importance relative des pertes dues aux ponts thermiques augmente en même temps que le niveau d'isolation générale. Dans le cas d'une maison passive, le niveau de performance de l'isolation est très élevé : les ponts thermiques ont donc des conséquences importantes ». Il est possible de calculer les pertes dues aux ponts thermiques, mais il est plus efficace de les éviter. Les quatre règles suivantes permettent de réduire le risque de pont thermique :

- « Règle de prévention : dans la mesure du possible, ne pas interrompre l'enveloppe thermique
- Règle de pénétration : là où une interruption est inévitable, la résistance thermique dans le plan d'isolation doit être aussi haute que possible
- Règle d'articulation : aux articulations entre les éléments du bâtiment, les couches d'isolation doivent se rejoindre sans interruption ni décalage
- Règle de géométrie : préférer autant que possible les angles obtus ; les angles aigus favorisent en effet la dispersion de la chaleur ».



En respectant ces quatre règles de base, il n'est pas utile de calculer tous les ponts thermiques du bâtiment. En effet, une étude a montré qu'une construction réalisée en suivant ces règles entraîne une construction « thermal-bridge-free » (sans ponts thermiques). Néanmoins, si les règles ne peuvent pas être respectées, un calcul localisé est nécessaire.

3.2.3. L'étanchéité à l'air

Nécessité de l'étanchéité

Une excellente herméticité de l'enveloppe du bâtiment est une condition vitale pour une maison passive. En effet, sans une parfaite étanchéité, ni l'isolation, ni la ventilation ne peuvent être réellement efficaces. D'un point de vue isolation thermique, les fuites d'air représentent des pertes de chaleur.



Assurer l'étanchéité en évitant les fuites

Les fuites sont principalement situées au niveau des « raccords avec les parois, le toit et les planchers ainsi que les ouvertures vers l'extérieur ». Les exemples de travaux suivants permettent d'éviter les fuites : effectuer un plafonnage continu et des raccords minutieux aux fenêtres (maçonnerie) ou encore installer une feuille étanche (pare-air) derrière les chevrons (structure en bois).

Test de pressurisation de bâtiment

Le test "Blowerdoor" (pressurisation du bâtiment) permet de mesurer l'étanchéité à l'air des bâtiments. Un ventilateur réglable est calé de façon hermétique dans une ouverture du bâtiment et crée une différence de pression entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur, toutes les portes et fenêtres étant fermées. Ensuite, on effectue plusieurs mesures du débit d'air qui correspond au volume d'air qui s'échappe.

On teste deux cas : en dépression (pour tracer de l'intérieur les éventuelles fuites) et en surpression (traçage des fuites par fumée).



Conditions de réalisation du test

Le test est à réaliser au moment de la mise en place des éléments influençant l'étanchéité et avant leurs finitions. Il est aussi conseillé d'effectuer le test une fois la maison achevée. Cependant, il faut faire attention aux conditions météorologiques qui peuvent modifier les résultats.

Localisation des fuites

Afin de résoudre le problème des fuites, il faut trouver en quels points il n'y a pas d'étanchéité. On utilise plusieurs techniques afin de trouver ces points. Tout d'abord, on peut utiliser la thermographie infrarouge avec visualisation des zones refroidies par le passage de l'air provenant de l'extérieur. Ensuite, un anémomètre peut aussi détecter le déplacement de l'air à l'endroit de l'infiltration lors du test Blowerdoor. L'intérieur est alors mis en dépression. Finalement, par une fumée



artificielle et inoffensive qui s'infiltrer aux endroits perméables on peut visualiser facilement les fuites lors de ce même test. L'intérieur est alors mis en surpression.

3.2.4. La ventilation

La ventilation permet de maintenir un confort adéquat et une bonne qualité de l'air intérieur de la maison.

Une ventilation insuffisante génère des excès d'humidité, causant de la condensation dans les fenêtres, une détérioration prématurée de la maison et la prolifération de moisissures, alors qu'une ventilation excessive, mal équilibrée ou un système mal entretenu, assèche l'air ambiant en hiver et gaspille l'énergie.

On peut se servir d'une ventilation mécanique contrôlée ou d'une ventilation naturelle.

Il existe plusieurs sortes de système de ventilation :

- **Ventilation naturelle simple:**

Une ventilation naturelle peut être créée en mettant des bouches d'aération dans les étages supérieurs d'un bâtiment pour permettre à l'air chaud de s'élever par convection et de sortir. En même temps, de l'air plus frais peut être introduit, provenant d'autres bouches aux étages inférieurs.

- VMC simple flux :

L'air frais venant de l'extérieur traverse d'abord les pièces à vivre puis est évacué des pièces de service (cuisine, salle d'eau, WC) par un ventilateur.

- VMC simple flux hygroréglable :

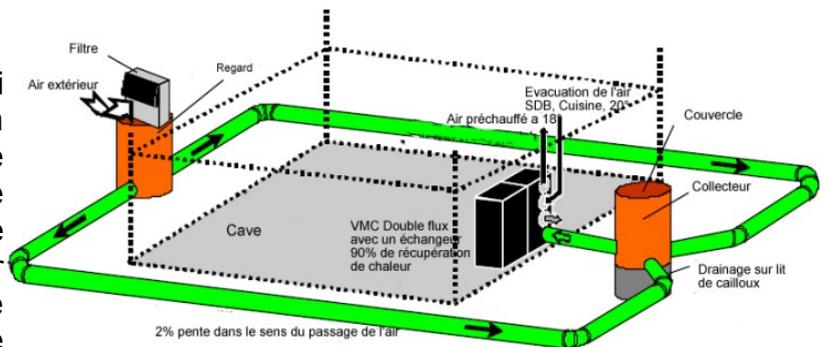
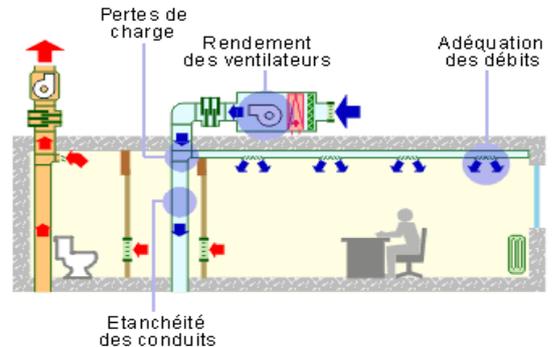
Le débit d'air varie en fonction de l'humidité ambiante. Ce système permet une petite économie par rapport à la VMC simple flux.

- VMC double flux avec récupération d'énergie :

Dans une maison passive, la ventilation mécanique doit être à double flux : l'air pénètre par un conduit central qui le distribue ensuite dans les pièces principales. Un échangeur de chaleur situé généralement dans les combles permet à l'air sortant de céder sa chaleur à l'air entrant qui est préchauffé sans mélange des deux flux d'air.

- **Puits canadien :**

Le puits canadien, aussi appelé puits provençal, est un système géothermique dit de surface. Ce système basé sur le simple constat que la température du sol à 1 mètre 60 de profondeur est plus élevée que la température ambiante en hiver, et plus basse



en été. En effet, plus on descend en profondeur, plus la température du sol tend vers 9,5°C.

Le principe est simple et est expliqué dans le dessin ci-dessus : l'air est aspiré de l'extérieur vers l'intérieur, étant ainsi préchauffé en hiver car la température du sol est supérieure à celle de l'air ambiant extérieur et rafraîchi en été lorsque la température ambiante extérieure est supérieure à celle du sol. L'exemple est donné avec une VMC double flux, mais ce n'est que pour plus d'efficacité).

3.2.5. Le solaire passif

Ce principe consiste à utiliser l'énergie solaire pour l'éclairage naturel, le chauffage des locaux et/ou la climatisation des locaux. Il faut donc de plus larges espaces vitrés, laissant entrer plus de lumière en diminuant ainsi l'éclairage artificiel nécessaire au confort des occupants.

Le solaire passif permet aussi de chauffer de l'eau par circulation de liquide caloporteur dans des tubes chauffant le ballon d'eau (il y a 2 types de circulations : la forcée avec une pompe ou la spontanée grâce à la remontée naturelle du liquide chauffé).

3.2.6. L'électroménager économe

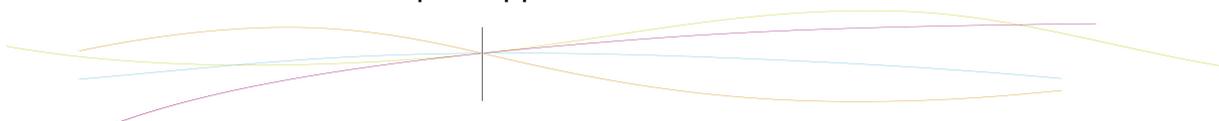
L'augmentation des usages d'éclairage et d'appareils électroménagers et électroniques sont à l'origine d'une croissance régulière de la consommation d'électricité spécifique des ménages. Cette consommation doit être réduite aussi bien dans un souci d'écologie que d'économie.

L'étiquette

Aujourd'hui, la plupart des appareils électroménagers, les ampoules électriques doivent avoir une étiquette-énergie. L'étiquette-énergie indique la classe énergétique des appareils, c'est à dire leur rang d'efficacité énergétique, dans le but de permettre au consommateur de comparer plus facilement les performances environnementales d'un produit et l'inciter à se tourner vers les moins énergivores, et donc plus économiques.

De plus, cet étiquetage a un autre impact positif qui est la limitation de l'importation de produits à bas coûts venus d'Asie notamment, encourageant les industriels européens à respecter les normes. La classe A++ est celle au rendement optimal, G la moins efficace. Les étiquettes-énergie comprennent au moins quatre parties :

- Les références de l'appareil : dans cette partie, figure les références précises de l'appareil, du modèle et du fabricant.
- La classe énergétique : un code couleur associé à une lettre (de A++ à G) qui donne une idée de la consommation d'énergie d'un appareil électroménager.
- Consommation, efficacité, capacité, etc : cette partie regroupe diverses informations suivant le type d'appareil.
- Le bruit : le bruit émis par l'appareil est inscrit en décibels.



3.3. Le modèle expérimental

3.3.1. Présentation de la maquette

Pour démontrer l'impact des isolants sur la consommation énergétique et pour dresser une étude comparative entre des isolants naturels et les isolants traditionnels nous avons modélisé une maison à modèle réduit, élément central pour conduire nos expériences. (photo : voir annexe)

Construction de la maquette

Nous avons construit une maquette de maison à l'aide de plaques de bois en contreplaqué de 5mm d'épaisseur que nous avons préalablement sciées. Nous avons négligé les fenêtres et la VMC (ventilation mécanique centralisée) dans notre construction. En effet celles-ci n'auraient rien apporté pour la caractérisation comparative des performances de nos isolants.

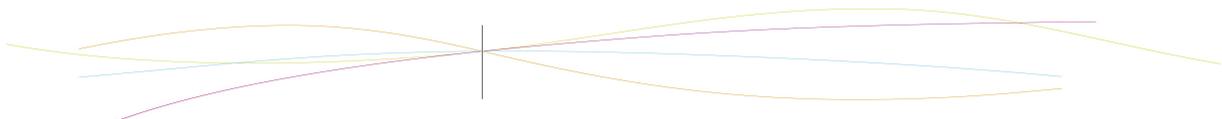
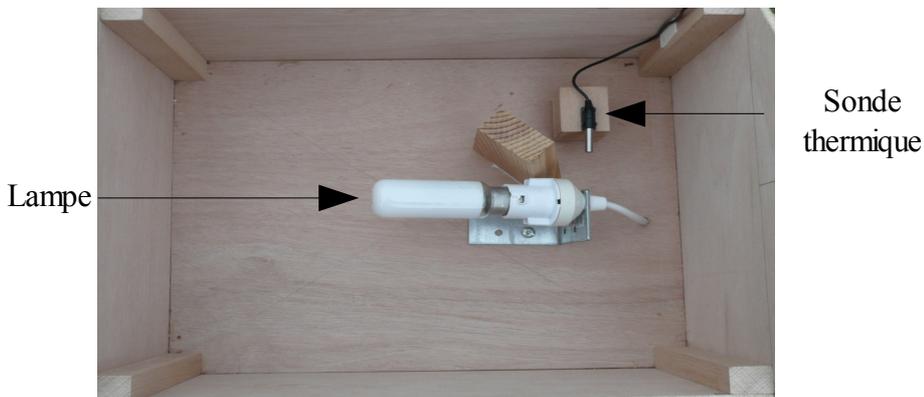
Une fois les plaques sciées nous les avons assemblées à l'aide de clous et de vis pour former une maison en de 2 parties distinctes: une partie inférieure composée des murs et du plancher maintenus ensemble et la partie supérieure amovible qui est le toit.

Plan de la maquette (voir en annexe)

Le volume calculé de notre maison est de $17\,901\text{ cm}^3$, soit $17901 \times 10^{-6}\text{ m}^3$. A l'intérieur de la maison nous avons disposé une lampe à incandescence de 40W située au centre du plancher (répartition de la chaleur) qui va fournir l'énergie suffisante pour chauffer la maison. Nous avons également disposé une sonde thermique qui va nous permettre de mesurer la température à l'intérieur de la maison en temps réel.

Cette maison peut recevoir plusieurs types d'isolants afin d'en tester les performances respectives.

Intérieur de la maquette



Afin de rendre les expériences le plus représentatif possible, il est à noter que la lampe est placée au centre de la surface, légèrement surélevée pour que la diffusion de la chaleur soit la plus homogène possible. En revanche elle n'est pas placée au centre du volume de la maquette conformément au chauffage d'une maison normale.

La sonde thermique a été surélevée, pour laisser suffisamment d'air circuler autour (convection), et ne pas être perturbée par la température du plancher.

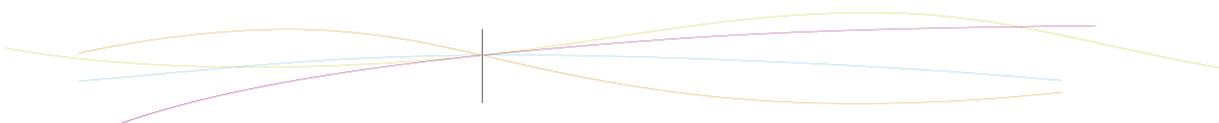
3.3.2. L'expérience

Le but de l'expérience est de mesurer la montée en température à l'intérieur de notre maison en fonction du temps, lorsque la lampe est allumée. Nous reproduisons cette expérience plusieurs fois. En effet, il est intéressant de comparer une montée en température de la maison, si nous nous trouvons à une température ambiante de 22 degrés ou à une température extérieure. Nous avons également pratiqué cette expérience avec plusieurs types d'isolants : le polyuréthane, le polystyrène et la laine de verre mais aussi réalisé l'expérience avec la maison sans isolant. Vous pourrez par conséquent observer les résultats obtenus sur les courbes en annexe. Avec les résultats de ces expériences, nous pourrons ainsi dresser une étude comparative de l'efficacité des différents isolants.

- Le polyuréthane (PU) est un produit de synthèse, un dérivé du plastique, et présenté en plaque.
- Le polystyrène (PS) est un polymère, qui est issu de la pétrochimie, il est obtenu par polymérisation du styrène.
- La laine de verre est un matériau isolant de consistance laineuse obtenu par fusion à partir de roche, de verre ou de laitier.

Protocole

- Nous commençons par noter la température ambiante dans la pièce où se déroule l'expérience (la salle de TP ou la température extérieure). Nous vérifions que cette température est la même à l'intérieur de notre maquette avant de démarrer l'expérience.
- Ensuite nous nous assurons que la maquette est correctement fermée (positionnement du toit) pour éviter les pertes « grossières » de chaleur et nous plaçons les isolants par dessus toutes les surfaces de la maquette.
- Une fois les préparatifs effectués, nous allumons la lampe en même temps que le chronomètre. Nous notons la température toutes les 20 secondes et la température exacte obtenues au bout de 15minutes.
- Nous reportons ensuite les résultats sur le logiciel OpenOffice Calc, (voir ci-dessous) ce qui nous permet d'établir précisément un comparatif direct entre les différentes expériences.



Explication du protocole

Nous avons choisi de prendre un temps fixe de 15 minutes pour établir une référence. Nous observons à travers l'expérience la montée en température plus ou moins rapide de la maison et nous pouvons par conséquent remarquer l'efficacité de nos isolants. On peut ainsi comparer les valeurs obtenues pour différents types d'isolants.

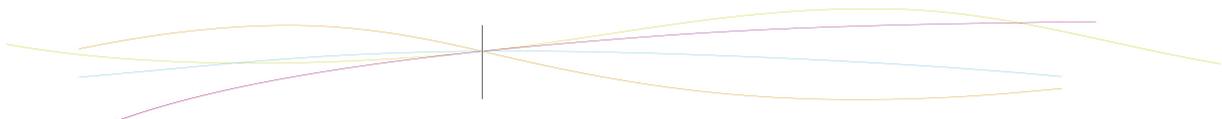
Présentation du modèle équipé de ses isolants



Expérience avec le polyuréthane



Expérience avec le liège



3.3.3. Résultats et interprétations

Voici les résultats de nos expériences avec les différents isolants disposés sous forme d'un tableau :

Tableau montrant la croissance de température

| | Maison sans isolant | Polyuréthane | Liège |
|--------|---------------------|--------------|--------|
| 0 min | 15,2°C | 15,2°C | 15,2°C |
| 2 min | 19,0°C | 19,2°C | 19,5°C |
| 4 min | 23,5°C | 23,6°C | 23,5°C |
| 6 min | 27,1°C | 27,6°C | 27,3°C |
| 8 min | 29,7°C | 30,7°C | 30,4°C |
| 10 min | 32,1°C | 33,8°C | 33,1°C |

| | | | |
|------------------------|--------|--------|--------|
| Durée exacte pour 35°C | 12'52" | 10'30" | 11'45" |
|------------------------|--------|--------|--------|



Tableau montrant la décroissance de température pendant 20 min

| | Maison nue | Polyuréthane | Liège |
|--------|------------|--------------|--------|
| 0 min | 35,0°C | 35,0°C | 35,0°C |
| 2 min | 32,7°C | 33,5°C | 32,7°C |
| 4 min | 29,7°C | 32,1°C | 30,8°C |
| 6 min | 27,1°C | 30,9°C | 29,3°C |
| 8 min | 25,1°C | 30,0°C | 28,0°C |
| 10 min | 23,6°C | 29,2°C | 27,1°C |
| 12 min | 22,5°C | 28,5°C | 26,3°C |
| 14 min | 21,4°C | 27,9°C | 25,5°C |
| 16 min | 20,5°C | 27,3°C | 25,1°C |
| 18 min | 19,9°C | 26,7°C | 24,6°C |
| 20 min | 19,5°C | 26,3°C | 24,2°C |

La courbe qui montre l'évolution de la température en fonction du temps avec les différents types d'isolants a été modélisée cette à l'aide du logiciel openOffice calc.

Observations des résultats

Suite à nos expériences nous remarquons en observant les courbes, que le polyuréthane permet d'atteindre le plus rapidement 35°C et qu'il permet de conserver la température la plus élevée 20 min après l'extinction de la lampe.



Calculs

Nous allons maintenant caractériser les isolants en calculant l'énergie totale perdue pour chaque expérience. En vertu de l'explication ci-dessus, moins il y a de pertes d'énergie, meilleur est l'isolant.

C'est le principe même de l'isolation qui doit permettre d'économiser l'énergie, afin d'émettre le moins de CO₂ possible (surtout quand elle est d'origine fossile) pour préserver l'environnement.

Pour calculer l'énergie perdue il faut écrire le bilan énergétique (conservation de l'énergie).

Entre le début et la fin de l'expérience, on a :

$$E_{\text{source}} = E_{\text{apportée à l'air}} + E_{\text{perdue}}$$

Comme nous cherchons l'énergie perdue E_p on a donc :

$$E_p = E_s - E_A$$

Il faut donc connaître 2 valeurs : l'énergie source apportée par la lampe pour atteindre 35°C et l'énergie restante dans la maison à la fin de l'expérience.

L'énergie source notée E_s est très simple à calculer sachant que nous connaissons la puissance, elle est donnée par :

$$E_s = P \times \Delta t \quad \text{en J}$$

avec : P puissance de la lampe c'est-à-dire 40 W dans notre cas

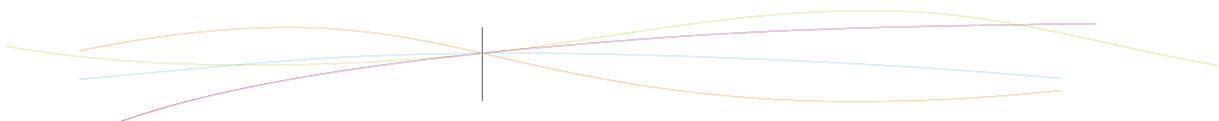
Δt le temps en seconde mis par l'air pour atteindre 35°C

L'énergie apportée à l'air notée E_A est la différence entre l'énergie restante après 20 minutes de refroidissement, et l'énergie contenue dans celui-ci initialement. Elle se calcule ainsi:

$$E_A = C \times \rho \times V \times \Delta T \quad \text{en J}$$

où : C est la capacité calorifique de l'air, elle est de $1004 \text{ J/Kg} \cdot \text{K}$

ρ est la masse volumique de l'air ambiant, elle vaut $1,2 \text{ Kg/m}^3$



V est le volume d'air présent dans le modèle : $17901 \times 10^{-6} m^3$

ΔT est la différence entre la température au bout de 20 minutes de refroidissement et la température initiale en K .

Nous obtenons la formule finale :

$$E_p = P \times \Delta t - \rho \times C \times V \times \Delta T$$

$$E_p \approx 40 \times \Delta t - 21,57 \times \Delta T$$

Nous avons calculé l'énergie perdue pour chacun des isolants et l'avons présentée sous forme d'un tableau.

| | Maison nue | Polyuréthane | Liège |
|-----------------|------------|--------------|-------|
| Δt en s | 772 | 630 | 705 |
| ΔT en K | 4,3 | 11,1 | 9 |
| E_s en J | 46320 | 37800 | 42300 |
| E_A en J | 93 | 239 | 194 |
| E_p en J | 46227 | 37561 | 42106 |

Si on considère la perte d'énergie de la maison nue égale à 100%, on a :

–Le PU perd une énergie égale à $\frac{100 \times 37561}{46227} = 81$ soit 19% plus performant que la maison nue.

–Le Liège est 9% meilleur.

Remarque

L'amélioration par rapport à la maison nue reste cependant modeste. En effet les calculs ci dessus prennent en compte la phase de chauffe de la maison. Durant celle-ci les parois du modèle accumule de la chaleur d'une part, et d'autre part la puissance de la lampe ramenée au volume concerné et aux pertes thermiques est très importante. Ceci est confirmé par l'observation des courbes de montée en température qui sont pratiquement superposées. Ce dernier point a pour effet de masquer la comparaison des performances des isolants.



Nous décidons donc de reprendre les calculs ci-dessus mais en analysant uniquement la phase de refroidissement.

En effet la phase de refroidissement va nous permettre de comparer l'efficacité des isolants entre eux de manière bien plus précise, car on observe la déperdition de chaleur seule, non perturbée par une source puissante, durant un temps donné et en partant d'une température donnée.

Durant la phase de refroidissement l'équation de conservation de l'énergie devient :

$$E_I = E_F + E_P$$

avec E_I l'énergie contenue dans l'air en début de refroidissement

E_F l'énergie contenue dans l'air au bout de 20 min

E_P l'énergie perdue durant les 20 min

$$E_P = E_I - E_F$$

En se servant des calculs qui précèdent on a :

$$E_P = \rho \times C \times V \times T_I - \rho \times C \times V \times T_F$$

$$E_P = E_I - E_F$$

La température initiale est toujours de 35°C

$$E_P = \rho C V (35 - T_F)$$

ρ , C et V étant des constantes dont on a déjà calculé la valeur, on a donc :

$$E_P \approx 21,57(35 - T_F)$$

Cela nous donne un autre tableau qui donne l'énergie perdue pendant la phase de refroidissement.

| | | | |
|--|------------|--------------|-------|
| | Maison nue | Polyuréthane | Liège |
|--|------------|--------------|-------|



| | | | |
|------------|-----|-----|-----|
| E_p en J | 334 | 188 | 233 |
|------------|-----|-----|-----|

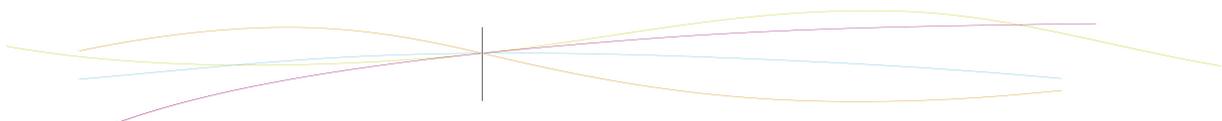
Maintenant si l'on considère que la perte d'énergie de la maison nue est égale à 100%, on a :

-pour le polyuréthane $\frac{100 \times 188}{334} \approx 56$

Le polyuréthane ne perd que 56% de l'énergie perdue par la maison nue, il est donc 44% plus performant!!

-Le liège est 30% plus performant.

Cette fois on constate qu'il y a une réelle différence entre la maison isolée et nue, l'amélioration est très nette. Cependant, le PU, bien que performant en isolation et donc en économie d'énergie et de CO₂, est un dérivé élaboré à partir d'énergie fossile, et donc sa production même émet du CO₂. Son bilan CO₂ s'en trouve alors sérieusement dégradé.



4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Conclusions sur le travail réalisé

Dès les premières séances, nous nous sommes répartis les axes de recherches afin de mieux appréhender les différentes facettes de l'efficacité énergétique et de pouvoir commencer la rédaction du dossier au plus tôt.

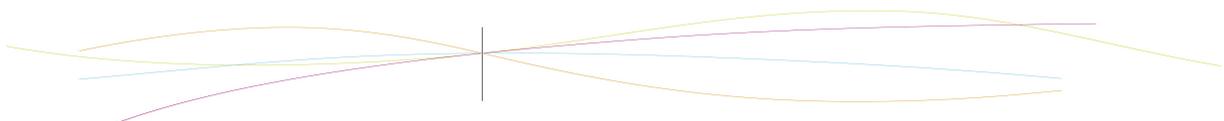
L'efficacité énergétique est un enjeu majeur pour ces prochaines années. La réalisation de la maquette nous a permis d'étudier concrètement des résultats théoriquement attendu. Le travail en groupe s'est très bien passé car nous avons toujours été soudé avec une entente parfaite entre nous.

Conclusions sur l'apport personnel de cette U.V. Projet

Il a fallu que le groupe se réunisse de façon à s'organiser pour la méthodologie du travail de groupe et mener à bien un projet ensemble. La répartition des tâches a été effectuée de manière à ce qu'il y ait une complémentarité, puis une mise en commun du travail individuel et des échanges ont été nécessaires pour que le projet puisse être concret et fiable. C'est également une bonne approche du système du travail dans la vie active : dans la manière de travailler en équipe.

Perspectives pour la poursuite de ce projet

Au niveau du projet proprement dit : cela nous montre la nécessité de l'installation de certains systèmes pour assurer l'efficacité énergétique dans les bâtiments nouvellement construit. Au niveau individuel, cela nous éduque à avoir une meilleure visualisation des projets que nous aurons durant les prochaines années dans nos thématiques. C'est aussi une perspective pour évoluer et aboutir lors d'un travail de groupe.



5. BIBLIOGRAPHIE

Sites internet:

WIKIPEDIA. *Intensité énergétique. Efficacité énergétique (thermodynamique). Efficacité énergétique (économie). Cheminée solaire. Énergie solaire passive.* <http://fr.wikipedia.org>

EKOPEdia. *Puits canadien. Énergie grise. Maison passive. Bi-énergie. Système SolarWall.*

<http://fr.ekopedia.org>

ISOLATION.COMPRENDRECHOISIR. *Isolation thermique. Isolants: comparatifs des matériaux d'isolation et isolants. Énergie grise et isolation. Isolation fenêtres et porte. Bilan thermique et test d'infiltrométrie. Thermographie. Isolation combles et toiture. Isolation mur. Isolation sol et plancher. Isolation cheminée et isolant feu. Isolation mur humide. L'isolation thermique par l'extérieur. Isolation répartie: isoler en construisant.* <http://isolation.comprendrechoisir.com>

CERTU. *Fiche de lecture : La conception bioclimatique.* <http://www.certu.fr>

ENERGIEPLUS. *Évaluer l'efficacité énergétique de la ventilation. Évaluer l'efficacité énergétique des chaudières.* <http://www.energieplus-lesite.be>

ENERGIES-RENOUVELABLES. *La certification ACERMI. Bonne résolution gouvernementale pour 2012 : l'efficacité énergétique.* <http://energies-renouvelables.consoneo.com>

GOOGLE. *Etude expérimentale et numérique de systèmes intégrés de chauffage à air dans les bâtiments à très basse consommation d'énergie.* <https://sites.google.com/site/axelcable/thse>

OMPLDR. *L'efficacité énergétique dans le bâtiment.* <http://ompldr.org/vZDVvaQ>

INSEE. *Consommation d'énergie par habitant et intensité énergétique.* <http://www.insee.fr>

DOMESPACE. *Domespace.* <http://www.domespace.com>

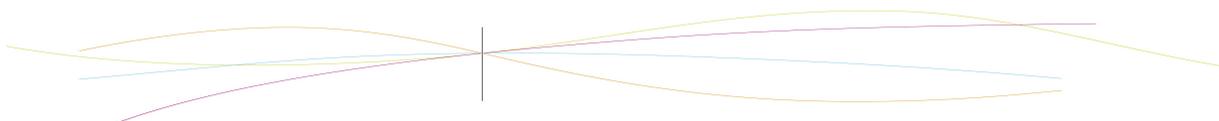
ADEME. *L'efficacité énergétique des bâtiments.* <http://www2.ademe.fr>

ALE-LYON. *L'évaluation de l'énergie grise : les points clés.* <http://www.ale-lyon.org>

DEVELOPPEMENT DURABLE. *Plan National d'Action en matière d'Efficacité Énergétique. Réglementation des bâtiments. Efficacité énergétique des bâtiments 2007-2008. Les dispositifs d'aide. Les bâtiments existants vont dépenser moins d'énergie.* <http://www.developpement-durable.gouv.fr>

LEGRENELLE ENVIRONNEMENT. *Présentation de la loi Grenelle 2.* <http://www.legrenelle-environnement.fr>

LAMAISONPASSIVE. *Isolation thermique. Étanchéité à l'air. Apports gratuits.* <http://www.lamaisonpassive.be>



AUDE.CAUE-LR. *Comment choisir son isolation.* <http://aude.caue-lr.org>

EFFICACITEENERGETIQUE. *Étanchéité. Ventilation. Etanchéité à l'air.* <http://www.efficaciteenergetique.mrnf.gouv.qc.ca>

ENERGIVIE. *Ventilation double flux avec récupération de chaleur.* <http://www.energivie.info/fr>

AGENCE RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT DE HAUTE-NORMANDIE. *Toute la lumière sur les ampoules.* <http://www.arehn.asso.fr>

XPAIR. *Chaudière hybride, éco-générateur, les nouvelles chaudières.* <http://conseils.xpair.com>

GIMELEC. *Mener à bien un projet d'efficacité énergétique.* <http://www.gimelec.fr>

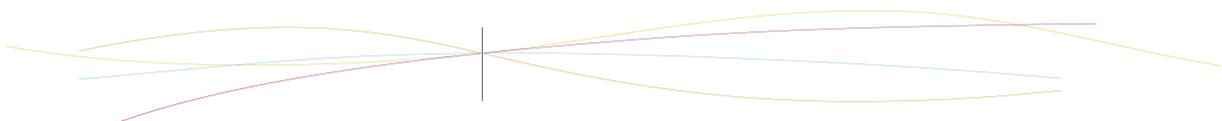
INFO ÉNERGIE DU RHÔNE. *La conception bioclimatique.* <http://www.infoenergie69.org>

SEE-NERGIE. *Bilan énergétiques des bâtiments.* <http://www.see-nergie.com>

Livres:

Samuel COURGEY & Jean-Pierre OLIVA. *La conception bioclimatique, des maisons confortables et économes,* Ed. Terre Vivante, 2006.

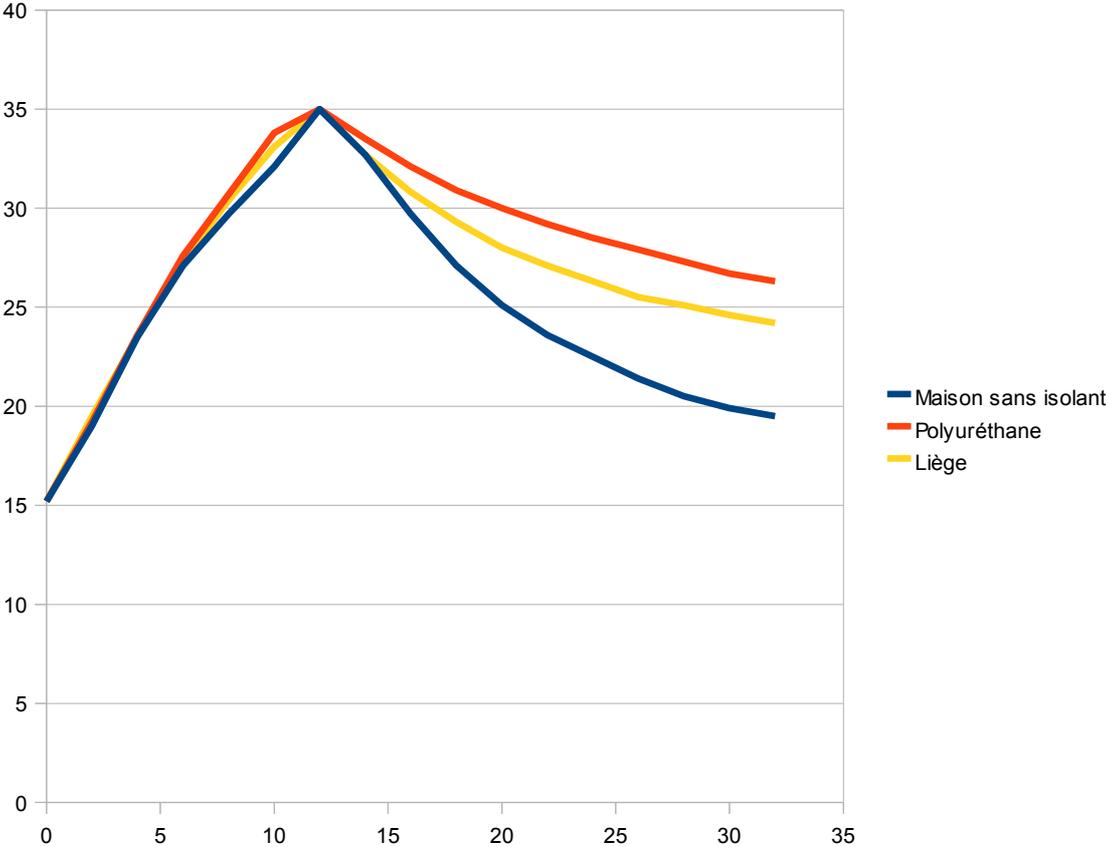
Jean-Pierre OLIVA. *L'isolation écologique : Conception, matériaux, mise en oeuvre,* Ed. Terre Vivante, 2010.



6. ANNEXES

6.1. Documentation technique

Variation de température en fonction du temps



6.2. Schémas de montages, plans de conception

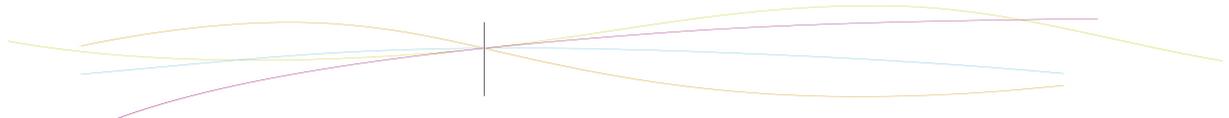
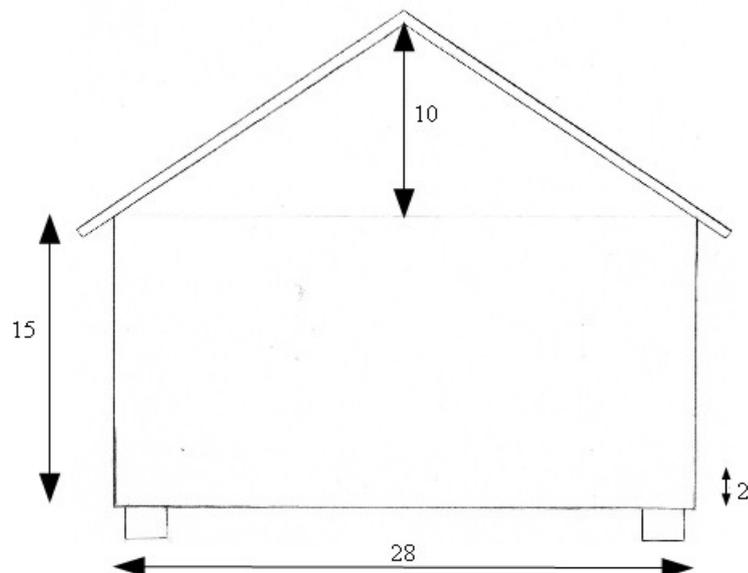
Photo de la maquette

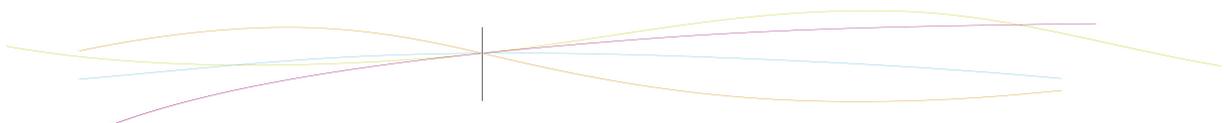
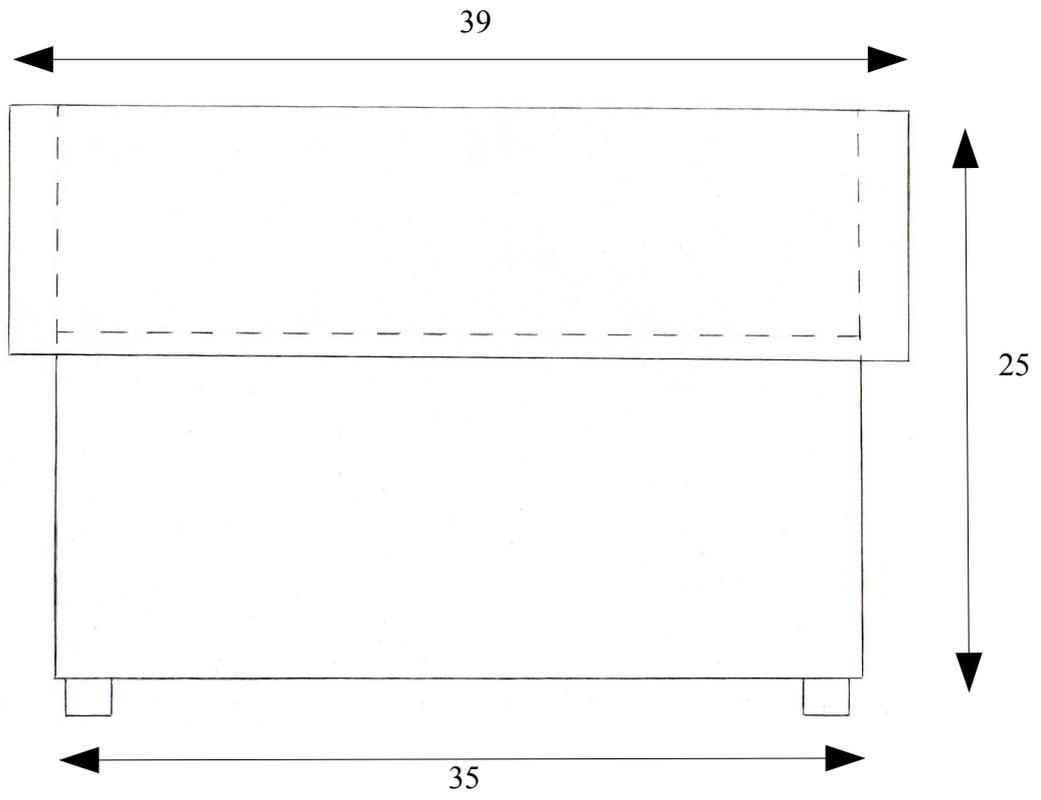


Plan de la maquette

Les dessins sont à l'échelle et les cotations sont en centimètres

Vue de droite





6.3. Contacts

Dans le cadre de notre projet physique, nous avons voulu ajouter une part plus concrète à notre dossier, en contactant des entreprises qui effectuaient des travaux dans les environs de l'INSA, notamment la restructuration de la Tour Circé, à Maryse Bastié. En effet, nous avons quelques questions à poser aux personnes responsables de ces travaux :

- Quelle est la différence de température dans les habitations avant et après les travaux?
- Cette restructuration a-t-elle été effectuée par souci législatif, dans le cadre d'une remise aux normes?
- Quels types de matériaux ont été utilisés, sur quels critères? L'aspect esthétique a-t-il influé sur leurs choix?
- D'où provient le financement? Quel sera le retour sur investissement?
- Un travail sur l'éclairage et l'exposition du bâtiment a-t-il été effectué?
- Combien de temps les travaux ont-ils duré?

La première entreprise que nous avons contacté était PRISME (cf. Calendrier ci-dessous). Elle figurait dans la liste d'entreprises travaillant sur la Tour Circé, en tant que bureau d'études. Devant le silence radio de l'ingénieur responsable, nous avons décidé de chercher des informations et études de cas ailleurs. Nous avons donc contacté la direction des relations avec les entreprises à l'INSA, qui nous a redirigé vers le Directeur du département Génie Civil. Celui-ci nous a conseillé de contacter M.Fleurance, de l'entreprise ALBEDO ENERGIE, ce que nous avons fait le jour-même. Malheureusement, celui-ci n'a pas pu nous aider.

Calendrier d'appels et de mails.

PRISME

Jeudi 15 mars : premier contact avec un ingénieur qui nous a redirigé vers M. Dupuis. Demande de rappel la semaine suivante.

Jeudi 22 mars : rappel mais M. Dupuis non disponible. La secrétaire nous a demandé de rappeler le mardi suivant vers 16h30.

Mardi 27 mars : M. Dupuis en réunion. Prise de coordonnées (tel + noms)

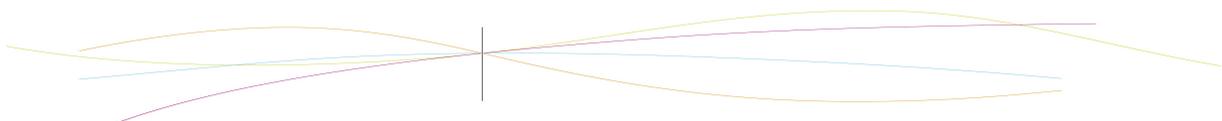
Lundi 2 avril : Appel car pas de rappel de Prisme. Demande d'adresse mail + envoi d'un mail.

Semaine d'examens

Lundi 16 avril : Pas de réponse au mail. Appel + nouveau mail. La secrétaire nous a dit qu'elle imprimerai le mail pour le faire lire directement à M. Dupuis.

Semaines de vacances

Lundi 21 mai: rappel : Le directeur ne pourra pas prendre le temps de nous répondre (secrétaire).



Lundi 14 mai : appel, demande de rappel le lendemain matin.

Mardi 15 mai : appel, sans réponse.

Mercredi 16 mai : appel, pas de réponse, message sur le répondeur pour laisser coordonnées.

ALBEDO ENERGIE

Lundi 21 mai : mail à M.Fleurance.

Vendredi 25 mai : réponse négative.

