

Isolation thermique et performance énergétique



Etudiants :

Dior NGOM

Clémence FLAHAUT

Lucie BEAUDUN

Romain ERARD

Syamak AZADEH

Youness MANJAOU

Enseignant-responsable du projet

M. Jamil ABDUL AZIZ

Date de remise du rapport : **13/06/2016**

Référence du projet : **STPI/P6/2016-039**

Intitulé du projet : ***Isolation thermique et performance énergétique***

Type de projet : ***Expérimental + maquette***

Objectifs du projet :

- 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 : ***isolation, performance, énergie, chaleur***

Remerciements

En préambule de notre dossier, nous tenons à remercier les personnes qui ont contribué de loin ou de près à la réalisation de notre projet

Nous aimerions tout d'abord remercier notre responsable de projet M. Jamil Abdul Aziz pour nous avoir aidés et guidés durant ces cinq mois de projet.

Nous remercions également M. Pascal Williams de la comptabilité de l'INSA qui nous a fourni les fonds nécessaires pour financer le projet ainsi que pour son aide pour les expériences et le matériel.

Nous tenons aussi à remercier Mme Mathilde Vautier qui nous a donné l'autorisation de visiter le chantier.

Enfin, nous remercions M. Laurent Pion pour sa disponibilité durant la visite du chantier et pour avoir accepté de répondre en détail à chacune de nos questions.

TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction.....	6
2. Méthodologie de travail.....	7
3. Étude théorique de l'enjeu énergétique.....	8
3.1. Efficacité énergétique d'un point de vue thermodynamique.....	8
A- Efficacité énergétique et performance énergétique.....	8
B- Étude des transferts de chaleur à travers une paroi.....	9
C- Méthodes d'isolation et matériaux utilisés.....	14
4. Étude expérimentale : création d'une maquette et prise de mesure.....	20
4.1. Mise au point de la maquette.....	20
4.2. Expériences, résultats et exploitation.....	22
5. Visite d'un chantier.....	26
6. Évolutions et perspectives.....	29
6.1. Mise en œuvre de techniques d'économie d'énergie.....	29
6.2. Développements technologiques futurs.....	29
6.3. Nouveaux concepts de bâtiments.....	31
7. Conclusion et perspectives.....	32
8. Bibliographie et source.....	34
9. Annexes	34
9.1. Annexe Partie expérimentale.....	34
9.2. Annexe visite de chantier.....	38
9.3. Efficacité énergétique d'un point de vue économique et environnemental.....	40
A- Politique de l'efficacité énergétique en France dans le bâtiment.....	40
B- Stratégie européenne et internationale dans le bâtiment.....	48
C- Enjeux environnementaux.....	51

1. Introduction

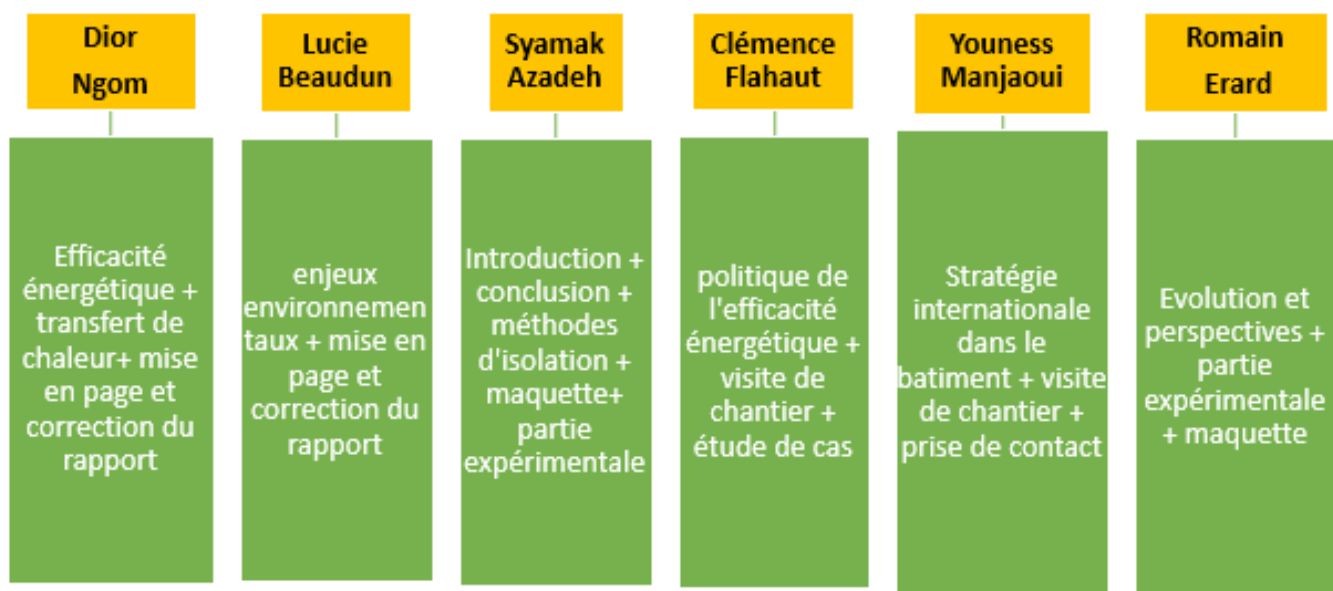
Depuis plus de 160 ans, les émissions de gaz à effet de serre (GES) ont été multipliées par 145¹. Le facteur premier de cette hausse est lié à la consommation, abusive et non respectée, de l'énergie par l'Homme. L'écosystème mondial en subit les conséquences : fonte des glaces, acidification et hausse du niveau des océans, disparition d'espèces, baisse de la ressource en eau potable ... Un des domaines qui participe de manière conséquente aux pertes d'énergies est le bâtiment.

En effet, en France tous les logements construits avant les années 70 ne prenaient pas en compte cette idée de conservation et d'exploitation intelligente de l'énergie. L'effort était uniquement basé sur la production de cette dernière. Depuis une trentaine d'années, les États ont commencé à prendre la question de l'exploitation d'énergie au sérieux. Ces habitations considérées aujourd'hui comme des « passoires énergétiques », font l'objet de rénovations conséquentes, et toutes nouvelles constructions est soumises à des conditions d'efficacités énergétiques très précises. Il est légitime de se demander de quelles manières l'isolation thermique permet de protéger notre environnement. En quoi les réglementations françaises et européennes contribuent à la durabilité de notre confort de vie ?

Pour comprendre et pouvoir expliquer ces problèmes, nous avons dans un premier temps fait un point théorique sur ce qu'est l'efficacité énergétique et quelles sont les différentes directives françaises et européennes. Dans un second temps, nous avons mis au point une maquette pour procéder à des expériences d'isolation thermique. Dans la continuité, nous avons fait une visite de chantier pour voir comment se déroulait le chantier d'un futur bâtiment à énergie positive. Enfin, nous avons fait des recherches sur les différentes perspectives d'avenir liées à l'efficacité énergétique et au bâtiment.

¹ Ademe, <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=12851>

2. Méthodologie de travail



3. Étude théorique de l'enjeu énergétique

3.1. Efficacité énergétique d'un point de vue thermodynamique

A. Efficacité énergétique et performance énergétique

L'efficacité énergétique se définit par le rapport entre l'énergie utile, c'est-à-dire l'énergie directement utilisée, et le rendement énergétique d'un appareil ou d'un processus, appelée énergie produite.² Habituellement, cette notion s'applique au matériel et machine de chauffage ou pompes à chaleur mais ces dernières années, le concept d'efficacité énergétique s'étend à la construction civile (surtout sur les habitations) dans le but unique d'une meilleure utilisation de l'énergie. L'efficacité énergétique se divise en deux grandes classes : l'efficacité énergétique active et l'efficacité énergétique passive.

L'efficacité énergétique active englobe tout ce qui concerne les systèmes de régulation ainsi que les produits et machines performantes. En clair, c'est tout ce qui agit sur l'étude et l'optimisation des flux énergétiques via l'utilisation de solutions technologiques performantes³. C'est le cas du délesteur, qui est un petit appareil électrique qui permet de réguler l'alimentation énergétique des appareils domestiques.⁴ Il permet ainsi de réduire le coût de la facture d'électricité et illustre ainsi parfaitement le concept d'efficacité énergétique active.

Ce qui va plutôt nous intéresser en détails dans ce projet est l'efficacité énergétique passive. Effectivement, cette catégorie nous plonge dans tout ce qui touche directement au bâtiment et à sa conception, à savoir les méthodes d'isolation, la perméabilité à l'air de l'édifice et la ventilation naturelle.

Il est nécessaire de savoir que les efficacités énergétiques actives et passives sont en tous points complémentaires et que l'alliage des deux concepts constitue de manière inhérente la performance énergétique globale. C'est là où réside la différence entre les deux concepts. En définitive, la performance énergétique est une conséquence directe de l'efficacité énergétique.

Le concept d'efficacité énergétique comprend plusieurs leviers qui sont :

- ❖ La mesure de la consommation
- ❖ La régulation et la gestion de la consommation
- ❖ L'utilisation de produits et d'appareil performants
- ❖ L'utilisation des énergies renouvelables

² http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/efficacite_energetique.php4

³ http://www.schneider-electric.fr/sites/france/fr/solutions/energy_efficiency/efficacite-energetique.page

⁴ <http://www.electriciteguide.com/actualites/le-delesteur.htm>

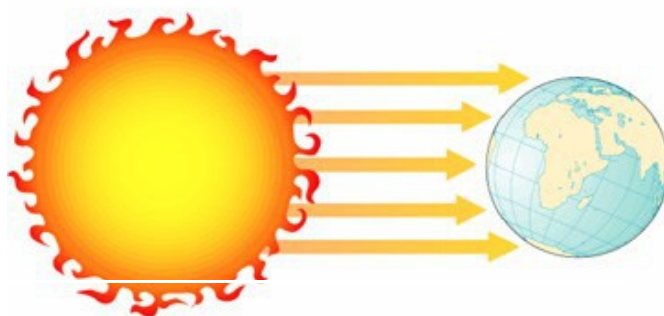
B. Étude des transferts de chaleur à travers une paroi

a. Généralités sur le transfert de chaleur

Un transfert de chaleur est défini par le déplacement de la chaleur du milieu le plus chaud vers le milieu le plus froid jusqu'à atteindre un équilibre. La chaleur se transmet par trois modes qui sont la conduction, le rayonnement et la convection.

Dans notre étude, le mode de transmission qui va nous intéresser est la conduction. Cependant, il est important de connaître les autres modes de transmission en guise de complément.

- Le rayonnement

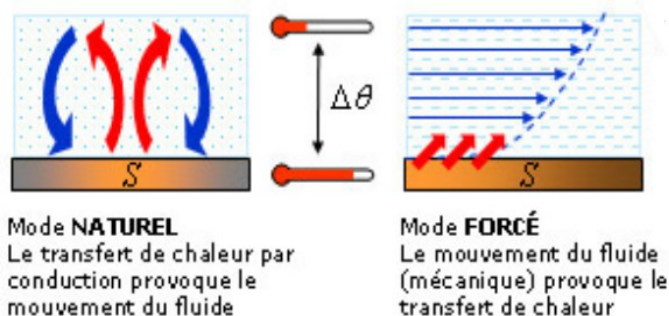


La chaleur se transmet par rayonnement entre deux corps de températures différentes mais sans contact. Une illustration concrète que l'on trouve dans la nature est le rayonnement solaire. C'est le seul mode de propagation naturelle de la chaleur dans le vide car à l'opposé de la convection, la chaleur est transportée par les rayons (c'est-à-dire les photons) et non par l'air.

Illustration 1: Transfert de chaleur par rayonnement

- La convection

La convection se définit par un transfert de chaleur produit par un transport de matière, généralement un fluide (liquide ou gaz). De ce fait, la réalisation d'une étude de transfert de chaleur par convection permet d'observer les échanges de chaleur entre un fluide et une paroi.



On distingue deux types de convection : *Illustration 2: transfert de chaleur par convection*

❖ La convection naturelle : Comme son nom l'indique, ce mode de transfert de chaleur se modélise par la mise en mouvement du fluide par des phénomènes naturels tels que des

différences de masse volumique entre les deux corps ou encore la présence d'un champ de force extérieur. Ici, c'est la convection qui induit le mouvement du fluide.

❖ La convection forcée : Elle se produit lorsque le mouvement du fluide est induit par une cause indépendante de la nature telle que l'utilisation d'une pompe ou d'un ventilateur. Dans ce cas, c'est le mouvement du fluide en tant que tel qui produit le transfert de chaleur.

La convection est régit par la loi de Newton qui s'exprime comme suit :

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

φ : densité de flux thermique par convection

h : coefficient de transfert de chaleur par convection

T_p : température du solide à sa surface

T_∞ : température du fluide éloigné du solide

- La conduction

La chaleur se transmet par conduction lorsqu'elle se propage à travers la paroi de la face la plus chaude vers la face la plus froide. C'est ce mode de transmission qui va nous intéresser le plus dans notre étude de l'isolation thermique des bâtiments.

Dans notre étude des transferts thermiques à travers une paroi, la grandeur qui va nous intéresser est le coefficient de conductivité thermique. Ce coefficient se définit par « la quantité de chaleur traversant en 1 seconde un matériau de 1m d'épaisseur et d'une surface de 1 m² lorsque la différence de température entre les deux faces est de 1 Kelvin ». Cette grandeur se dénote λ et a pour unité le W. m⁻¹ K⁻¹. Donc d'après cette définition, plus cette grandeur est petite, plus le degré d'isolation fourni par le matériau est efficace. Cependant, ce coefficient n'est définissable que pour les matériaux homogènes, ce qui paraît évident. Voici les valeurs des coefficients de conductivité thermique de certains matériaux :

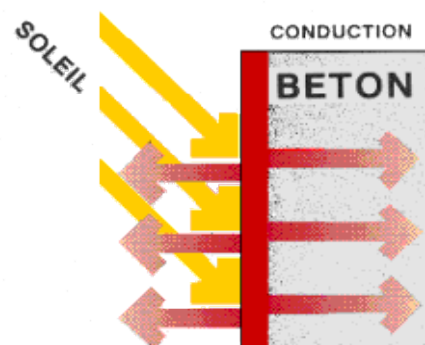


Illustration 3: Transfert de chaleur par conduction

Matériaux	Conductivité thermique (W·m⁻¹·K⁻¹) Température ambiante = 20 °C
Carton	0,07
Laine	0,05
Laine de roche (150 à 175 kg/m³)	0,045
Laine de verre	0,04
Liège	0,04
Mousse de Polyuréthane rigide	0,025
Ouate de cellulose	0,041
Paille (perpendiculaire aux fibres)	0,04
Fibre de bois	0,038
Perlite	0,038

Polystyrène expansé	0,036
Roseau (en panneau)	0,056

Conductivité thermique de matériaux isolants

Selon ce tableau, le polystyrène expansé ainsi que la fibre de bois et la perlite constituent de parfaits isolants thermiques.

La conductivité thermique se mesure soit physiquement à l'aide d'un analyseur thermique soit à travers un calcul utilisant l'équation de la conductivité thermique, appelée hypothèse de Fourier, qui est :

$$\varphi = -\lambda \text{ grad}(T)$$

Avec : φ : Densité de flux thermique (en Wm^{-2})

λ : conductivité thermique (en $\text{W.m}^{-1} .\text{K}^{-1}$) (dépend du milieu)

Le signe - montre que la chaleur se déplace du milieu le plus chaud vers le plus froid

b. La paroi : Résistance thermique

Étant l'inverse de la conductivité thermique, c'est la faculté du matériau à résister aux transferts de chaleur. Elle se dénote R et a donc pour unité le $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$. Elle se calcule à partir de l'équation suivante : $R = \frac{e}{\lambda}$

λ = la conductivité thermique du matériau [W/mK]

e = l'épaisseur de la paroi [m]

R = la résistance thermique du matériau [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

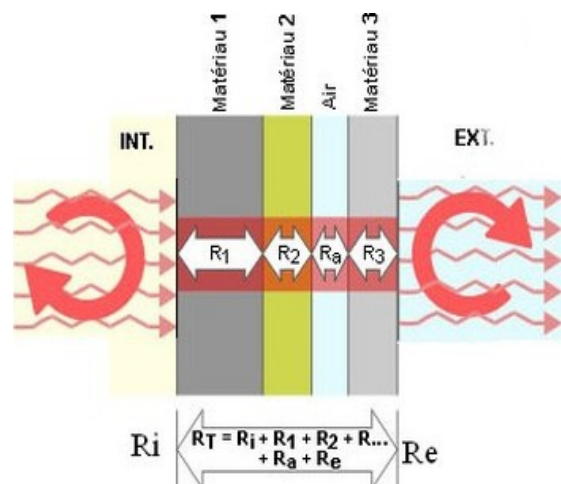


Illustration 4: Calcul de la résistance d'une paroi

En plus de cette résistance, nous avons les résistances superficielles internes et externes (R_i et R_e) de la paroi qui sont respectivement les résistances d'échange sur les surfaces intérieures et extérieures.

Ces différentes valeurs permettent donc de définir la résistance totale d'une paroi par l'équation suivante:

$$R_t = R_i + R_e + \sum_0^n R$$

c. Ponts thermiques

- **Définition et causes**

Un pont thermique est un point de la paroi où l'isolation n'est pas continue, provoquant des pertes de chaleur. Les principaux ponts thermiques d'un bâtiment se situent aux principales jonctions comme les intersections plancher-façade, refend-façade et toiture-façade. Cela s'applique également aux portes et fenêtres. Ce sont des ponts thermiques de liaison.

Le pourcentage de déperditions dues aux ponts thermiques dépend du degré d'isolation de la paroi. Sur une paroi non isolée, les déperditions dues aux ponts thermiques représentent en général moins de 20% étant donné que les pertes de chaleur des parois sont très fortes. Cependant, dans le cas d'une forte isolation, sachant que les pertes de chaleur dues aux parois sont faibles, les pertes dues aux ponts sont d'autant plus importantes car elles représentent plus de 30% des pertes totales. Ces ponts thermiques sont communément appelés ponts thermiques intégrés.

Les ponts thermiques sont généralement causés par :

- Des contraintes constructives : C'est-à-dire que l'on observe une discontinuité de la couche d'isolant à certains endroits de la paroi car, de par leur nature, la majorité des isolants présentent des limites de résistance aux contraintes mécaniques.
- Des contraintes géométriques : Si l'on considère un coin par exemple, on constate que l'aire de la face extérieure est plus grande que celle de la face intérieure, ainsi la surface chauffée est inférieure à la surface refroidie, entraînant un pont thermique. Comme dit précédemment, c'est ce que l'on constate au niveau de toutes les jonctions du bâtiment.

- **Conséquences des ponts thermiques**

Les ponts thermiques sont un inconvénient majeur sur les habitations dans la mesure où ils génèrent une différence de température entre les murs, ce qui crée de l'humidité sur les parois. Non seulement cette humidité détériore les parois mais a aussi un impact sur les meubles ainsi que sur l'air ambiant à cause de la moisissure et des champignons qu'elle crée. De par leur nature, les ponts thermiques augmentent également la consommation d'énergie. Effectivement, ils augmentent les pertes de chaleur dans l'habitation, pertes qu'il faut compenser en augmentant le chauffage dans le bâtiment, ce qui entraîne un coût important.

- **Solutions**

- La première méthode pour lutter contre les ponts thermique est l'isolation par l'intérieur. C'est la solution la moins chère pour lutter localement contre les ponts thermique en plaçant l'isolant du côté intérieur de la façade. Par exemple, certains utilisent du BA 13 avec une couche de polystyrène qui vient entre le mur et la plaque de BA 13. Ce type d'isolation peut se mettre en place rapidement mais sera inefficace pour lutter contre l'origine du pont thermique.

Aussi, on peut également traiter les ponts thermiques à l'aide de rupteur de pont. Cette méthode s'utilise surtout sur les jonctions comme par exemples les intersections sol/mur ou mur/plafond. Ils créent une séparation mécanique et permet ainsi d'assurer la continuité de l'isolation.

Cependant, la méthode qui est la plus efficace est l'isolation par l'extérieur. C'est la solution la plus utilisée car elle permet principalement gain de place intérieur puisque l'isolation des murs sensibles est réalisée par l'extérieur. Il est également possible de coupler cette méthode avec une isolation par l'intérieur améliorant ainsi la suppression des ponts.

C. Méthodes d'isolation et matériaux utilisés

a. Définition

Le principe de l'isolation thermique désigne l'ensemble des méthodes employées afin de limiter les transferts de chaleur entre deux milieux ayant des températures différentes. Ainsi, l'isolation thermique dans les maisons a pour principal objectif de conserver à l'intérieur, la chaleur en hiver et la fraîcheur en été.

Le but de cette isolation est également de diminuer la consommation d'énergie par les édifices (chauffage en hiver et climatisation éventuelle en été), en effet le développement durable est une préoccupation importante de la société.

Dans les maisons actuelles, de nombreux isolants sont utilisés, ayant tous leurs



Illustration 5: Principales déperditions de chaleur

propres caractéristiques, avantages et inconvénients (ex : laine de verre, fibre de bois, isolants synthétiques (polystyrène expansé, polyuréthane) ...)

Cependant, tous les lieux d'une habitation sont propices à des déperditions de chaleur (toit, murs, ouvertures, sol...), même étant isolés.

b. Les différentes méthodes d'isolation

Les déperditions thermiques n'étant pas dans les mêmes proportions suivant le lieu de l'habitat, il en va de même que les techniques d'isolations peuvent légèrement être différentes.

• Isolation d'un mur, choisir la technique d'isolation d'un mur

Il existe trois types d'isolation pour une façade, à savoir l'isolation intérieure, l'isolation extérieure ou remplissage de la coulisse d'un mur creux. Chaque technique comporte des avantages et des inconvénients. En prenant en compte que l'isolation d'un mur creux n'est pas « au choix », c'est-à-dire qu'elle dépend de certains facteurs, il faut évidemment posséder un habitat avec des murs possédant une coulisse (présent dans les pays septentrionaux). Les critères permettant de comparer ces trois méthodes d'isolations seront :

- La *qualité hygrothermique*⁵ (aspect technique et fonctionnelle)
- L'importance des travaux (aspect pratique et financier)
- l'esthétique et la contrainte urbanistique (aspect législatif)

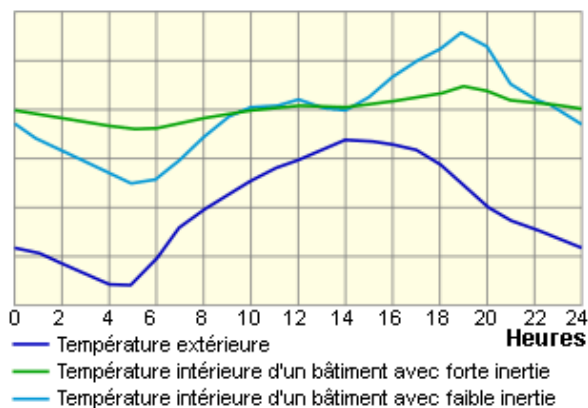
Pour la qualité hygrothermique, il faut être en mesure de pouvoir assurer la continuité de l'isolation. Avec une isolation par l'intérieur, la continuité de l'isolation est très difficile à assurer au droit des murs de refend (mur porteur situé dans la structure) des planchers, des fondations, des plafonds et des balcons. Avec une isolation par l'extérieur, la continuité de l'isolation est plus facile à assurer; seul le *pont thermique* au droit d'un balcon reste difficile à éviter.

L'importance des ponts thermiques dans une isolation par l'intérieure, va, non seulement, engendrer des risques de condensation superficielle mais augmente également les déperditions calorifiques.

Un système d'isolation par l'extérieur protège le gros-œuvre des pénétrations de pluie, des variations importantes de température journalière et saisonnière ainsi que du gel.

Avec une pose d'un isolant par l'intérieur, au contraire, les variations de températures journalières et saisonnières sont amplifiées,

engendrant des contraintes résultantes des variations thermiques et des alternances



⁵ L'hygrothermie caractérise la [température](#) et le [taux d'humidité](#) de l'[air ambiant](#) d'un local

d'humidification et de séchage des maçonneries. Dans ces conditions, des fissures peuvent difficilement être évitées. Ces mêmes contraintes peuvent se produire lors de l'isolation des coulisses.

L'*inertie thermique*⁶ est une propriété du matériau importante à exploiter. L'isolation par l'extérieur ou dans la coulisse permet d'utiliser l'inertie thermique des murs extérieurs, ce qui engendre des variations moins rapides du climat intérieur des locaux. L'inertie permet ainsi de limiter les surchauffes en été, ou les refroidissements critiques en hiver.

Le mur de façade, lorsqu'il est isolé par l'intérieur, ne peut plus accumuler puis restituer la chaleur (ou la fraîcheur) intérieure, ce qui diminue l'inertie thermique du bâtiment. Un bâtiment avec une faible inertie aura sa température intérieure qui évoluera en fonction de la température extérieure, contrairement à un bâtiment de forte inertie, où la température stagnera à la température désirée.

Enfin, en ce qui concerne l'importance des travaux, l'isolation par l'extérieur ou dans la coulisse permet de ne pas devoir déplacer les conduites et appareils électriques, sanitaires et de chauffage. Par contre, lorsqu'on isole par l'extérieur, étant donné la surépaisseur, des problèmes d'alignement extérieurs doivent être résolus (par exemple, au droit des gouttières, des descentes d'eau, des raccords avec les propriétés voisines ou publiques).

L'isolation par l'intérieur nécessite le déplacement des appareils électriques, sanitaires et de chauffage placés du côté des murs de façade.

En outre, l'isolation par l'intérieur permet d'isoler un ou plusieurs locaux mais pas nécessairement l'ensemble du bâtiment. Un autre inconvénient, l'isolation par l'intérieur diminue l'espace intérieur disponible.

Du point de vue esthétique et par rapport aux contraintes urbanistique, l'isolation par l'extérieur modifie, en général, l'aspect extérieur du bâtiment. Une demande de permis de construire est nécessaire. C'est alors une contrainte importante à prendre en compte. L'isolation par remplissage de la coulisse ne modifie en rien l'esthétique de la façade, ni l'aspect de la finition à l'intérieur du bâtiment. Son efficacité est cependant limitée par l'épaisseur disponible pour l'isolant.

• **Isoler un plancher**

Tout comme la paroi, il existe différentes manières d'isoler un plancher, celles-ci sont très analogues aux parois. En effet, soit on isole le plancher par le bas (analogue à l'isolation extérieure) soit par le haut (analogue à l'isolation intérieure) soit entre les éléments de structures (analogue à l'isolation remplissage des coulisses).

Les mêmes critères que ceux des parois vont être étudiés.

Pour isoler par le bas, il faut que le plancher soit directement posé sur le sol, ainsi l'isolation pourra se faire au contact du plancher.

Pour l'isolation dans la structure il faut posséder un plancher à ossature.

⁶ L'*inertie thermique* peut simplement être définie comme la capacité d'un matériau à stocker de la chaleur et à la restituer petit à petit.

L'isolation par le haut nécessite la pose d'une nouvelle finition et l'enlèvement éventuel de la finition existante. L'encombrement de l'isolant devra être pris en compte (hauteurs sous linteaux de portes ou plafonds diminuées, présence éventuelle de marches, ...)

Quelle que soit la méthode d'amélioration utilisée, il est difficile d'éviter les ponts thermiques aux appuis du plancher sur les murs de fondation et aux appuis des murs en élévation sur le plancher. En effet, à ces endroits la couche isolante est interrompue.

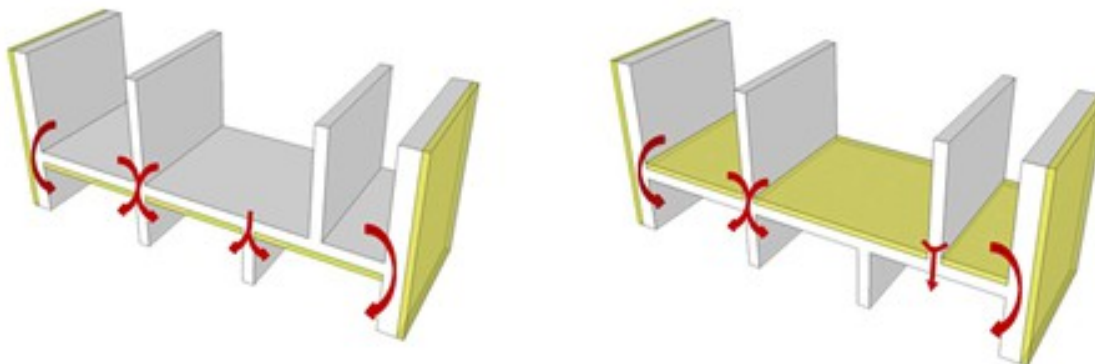


Illustration 6: Isolation par le haut et pas le bas

L'isolation par le bas du plancher permet d'utiliser l'inertie thermique de celui-ci. Cela engendre des variations moins rapides du climat intérieur des locaux. L'inertie permet de stocker de la chaleur et de limiter les surchauffes. L'isolation par le haut, limite la capacité d'inertie thermique.

On constate que les techniques d'isolations sont les mêmes pour la paroi ou pour le plancher. La question qui revient est toujours celle des ponts thermiques à savoir comment les éviter. Une isolation par l'intérieur (ou par le haut) ne permet pas d'envelopper toute l'épaisseur d'un mur (ou du plancher). Ce qui favorise des fragilités thermiques dans la structure au niveau des nœuds.

- **Isoler une toiture**

En ce qui concerne l'isolation de la toiture, il faut prendre en compte si l'on a des combles habités (c'est à dire qui nécessiteront d'être chauffés et donc isolés) ou non. En effet, si les combles sont inhabités on procédera à une isolation du plancher de celle-ci, autrement il faudra isoler le versant de la toiture. Sachant que les plus grosses déperditions thermiques se font par le toit (30%), il est donc primordial de l'isoler. Par ailleurs, l'isolation de la toiture est plus facile que celle d'un plancher ou un mur (sauf cas exceptionnel).

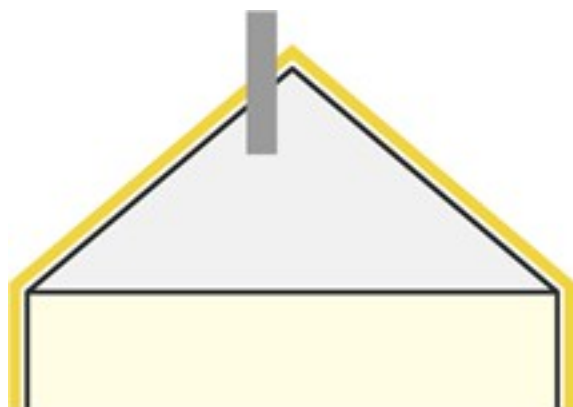


Illustration 7: Isolation dans le versant de la toiture

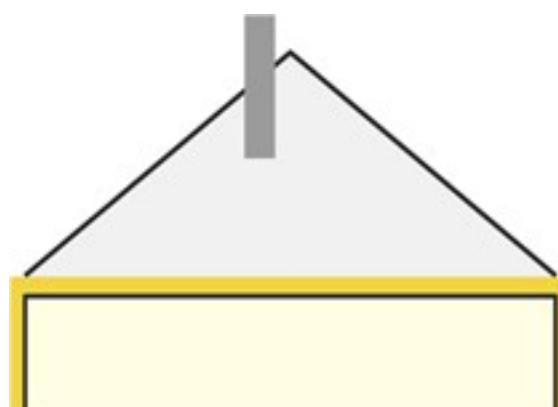


Illustration 8: Isolation dans le plancher des combles

Une isolation du plancher, va permettre d'avoir une plus petite surface à isoler (contrairement au versant qui offre une surface beaucoup plus grande). Les combles seront mieux ventilés durant l'été et le plus important, cette isolation limitera les infiltrations d'air liées à des combles inoccupés.

c. Les matériaux les plus utilisés pour l'isolation

Il existe 5 familles d'isolants. Toutes ont pour but premier d'isoler une entité des transferts de chaleurs.

Ces isolants sont :

- **Les isolants en laines minérales**, qui sont les plus utilisés. Elles offrent une isolation thermique et acoustique à moindre prix (ex : Laine de verre, laine de roche, verre cellulaire).
- **Les isolants en laines végétales**, ces isolants sont constitués de matière végétale, tel que le chanvre, le bois, la paille, le lin, la ouate de cellulose ... Elles offrent un bon rapport prix/performance et respecte l'environnement. Il faut savoir que des matières synthétiques sont ajoutées aux matières premières d'origine végétale pour fabriquer ces isolants.
- **Les isolants en laines animales**, comme la plume de canard ou la laine de mouton qui peuvent aussi être de bon isolant thermique, il faut toutefois étudier leurs comportements mécaniques pour l'adapter à la situation.
- **Les isolants minces**, sont des isolants constitués de plusieurs couches de feuilles d'aluminium ou de film plastique aluminisé. Ces isolants comprennent des couches intermédiaires de différentes natures : mousse souple, feutre d'origine animale, végétale... On comprend donc qu'elles ont pour objectif d'isoler des rayonnements, qui sont une grande source de perte énergétique.

- **Les isolants polystyrènes**, ces isolants sont étudiés et conçus pour répondre aux demandes d'isolations thermiques ainsi qu'aux contraintes mécaniques. Ils se présentent le plus souvent sous forme de panneau.

On comprend donc qu'il existe de très nombreux isolants. Le problème se pose maintenant à savoir lesquels choisir. Il n'y a pas d'isolant unique pour toutes les applications (toiture, murs, sols). Certains isolants de par leur nature, leur fabrication, leurs caractéristiques, leurs performances et leur présentation (rouleaux, panneaux ou vrac) ont des applications plus ou moins dédiées.

Application/ Type d'isolant	Combles	Plafonds	Murs	Cloisons	Sols et planchers : dessus
Laine de verre	oui	oui	oui	oui	
Laine de roche	oui	oui	oui	oui	oui
Laine de chanvre	oui	oui	oui	oui	
Polystyrène PSE			oui	oui	oui
Polystyrène XPS				oui	oui
Plume de canard	oui	oui	oui	oui	
Polyuréthane	oui		oui		oui
Fibre de bois	oui	oui	oui	oui	oui
Laine de mouton	oui	oui	oui	oui	
Laine de lin	oui	oui	oui	oui	
Ouate de cellulose	oui	oui			
Laine de coton	oui	oui	oui	oui	
Textiles recyclés	oui	oui	oui	oui	
Verre cellulaire					oui
Isolant mince (PMR)	oui				

Illustration 9: Les usages courants et traditionnels pour les différentes familles de produits

Prenons l'exemple des polystyrènes qui sont préconisés pour être utilisés surtout en isolation de murs, cloisons ou sol et plancher. En effet, ils se présentent sous forme de panneaux donc très facile à être installés, possèdent une bonne résistance mécanique et sont très légers.

Un autre critère va permettre de choisir son isolant, en effet, suivant ces caractéristiques il n'aura pas la même utilisation (rigide, semi-rigide, souple). Un isolant souple sera destiné à être utilisés pour isoler des combles perdus alors qu'un isolant rigide avec une bonne tenue mécanique sera utilisé pour isoler un mur.

Tous ces critères sont bien spécifiés sur la fiche technique du produit. Il est à la charge du fabricant de mentionner toutes ces informations pour que le consommateur puisse choisir en toute confiance l'isolant adapté à sa situation.

4. Étude expérimentale : création d'une maquette et prise de mesure

4.1. Mise au point de la maquette

Notre projet a pour thème les échanges thermiques ainsi que les méthodes pour les limiter et conserver cette énergie sous forme de chaleur. Lorsque nous avons pris connaissance de notre sujet, nous avons constaté qu'en complément de leur rapport, les étudiants des années précédentes avaient mis au point une maquette pour procéder à diverses expériences. Nous avons trouvé l'idée intéressante car cela a permis de faire quelques manipulations et de mettre en évidence certains phénomènes.

L'ancienne maquette

Les étudiants de l'année précédente avaient apporté des modifications à celle de leur prédécesseur. Ils avaient utilisé une maquette pour procéder à des mesures avec une isolation thermique intérieure. Après réflexion nous avons décidé de repartir sur une nouvelle maquette faite par nos soins. En effet, l'ancienne maquette n'était pas très réelle du point de vue thermique, elle isolait déjà beaucoup trop sans isolant. Le bois utilisé pour les parois était de 5 cm et pour procéder à une isolation interne ils avaient créé une sorte de coulisse pour y introduire leur isolant. Par conséquent, lorsqu'ils comparaient différents matériaux les épaisseurs n'étaient rigoureusement pas identiques, et il y avait des espaces vides, donc une non continuité de l'isolation



Illustration 10: Ancienne maquette



Illustration 11: Charpente de l'ancienne maquette

La nouvelle maquette

Etant donné que nous voulions procéder à des expériences avec une isolation thermique par l'extérieur, nous avons décidé de mettre au point une maquette très simple en panneau de bois prédécoupé de 6 mm d'épaisseur. Une petite épaisseur permet d'avoir des déperditions thermiques convenables (un flux « visible » via les mesures et calculs). Nous avons tout simplement pris une planche en bois contreplaqué puis érigé une petite maison d'une surface au sol de 1575 cm² et d'un volume intérieur de 47 250 cm³. La face avant est d'une hauteur de 20 cm et la face arrière de 40 cm. Le sol est un rectangle de 35 cm x 45 cm. Les parois sont fixées à l'aide de tasseau, cloué et collé avec de la colle à bois. Les angles et arrêtes au sol ont été isolés le mieux possible avec de la mastic. Nous avons choisi de ne pas mettre d'ouverture, dans un premier temps pour un problème pratique (dans 6 mm il est difficile de mettre une fenêtre), et dans un second temps car nous voulions uniquement mettre en évidence les échanges thermiques par conduction à travers la paroi d'une maison, de l'intérieur de celle-ci vers l'extérieur. Nous avons une volonté la volonté de fabriquer une maquette simple afin d'obtenir des résultats significatifs



Illustration 13: Nouvelle maquette



Illustration 12: Nouvelle maquette

4.2. Expériences, résultats et exploitation

Nous avons procédé à 3 types de mesures. Nous avons tout d'abord étudié notre maquette sans isolant, puis avec deux types d'isolants : le liège et le polystyrène . Voici les différents paramètres, installations et hypothèses que nous avons fixés pour toutes nos mesures :

- La maquette était chauffée de l'intérieur par une ampoule halogène.
- Nous avons fait notre étude dans l'hypothèse d'un régime stationnaire.
- Une sonde était plongée à l'intérieur de l'habitacle pour mesurer la température intérieure de la maison qui était notre $T(\text{int})$.
- Deux thermocouples ont été installés, l'un sur la face interne du toit qui mesure $T(\text{toit})$ et l'autre sur la face interne de la paroi avant de la maquette (la petite façade), qui mesure $T(\text{mur})$.
- Un mini ventilateur est installé à l'intérieur de la maquette pour homogénéiser l'air chaud dans tout le volume.

Pour chaque expérience, nous avons lancé le chronomètre lorsque nous allumons la lampe, afin d'observer l'évolution du chauffage dans la maquette. Lorsque celle-ci atteignait la température $T(\text{int})$ souhaitée de 30°C , nous éteignons la lampe et mesurons les trois températures $T(\text{int})$, $T(\text{mur})$ et $T(\text{toit})$ à chaque intervalle de 30 secondes.

1ère expérience : Observation de l'évolution de la température d'une paroi, du toit et de l'intérieur d'une maquette non isolée

ANNEXE 1

L'objectif principal de cette expérience était d'observer comment le contreplaqué sans isolant se comportait lors de la chauffe puis après l'arrêt de la chauffe. Nous voulions alors observer l'évolution de la température de la paroi interne ainsi que celle du toit, pour ensuite comparer ces évolutions aux deux expériences suivantes avec isolation par le liège et le polystyrène. On constate, d'après le graphique que le profil de température du toit et de la paroi sont identiques à celui de la température interne de la maison. De plus, on peut noter que la température du toit est plus élevée que celle de la paroi. En effet on voit bien que les déperditions sont plus importantes à travers le toit.

2ème expérience : Observation de l'évolution de la température d'une paroi, du toit et de l'intérieur d'une maquette isolée par l'extérieur avec du polystyrène

ANNEXE 2

Lorsque nous chauffons la maison, la température interne de la paroi ainsi que celle du toit augmentent de manière conséquente (contrairement à l'expérience sans isolant). En effet, la maquette étant isolée, elle conserve bien plus la chaleur interne, le flux thermique de l'intérieur vers l'extérieur étant inférieur au flux de l'expérience sans isolant.

Après l'arrêt du chauffage, la température diminue de manière progressive. Ainsi la maison conserve une température interne élevée plus longtemps (inertie thermique).

3ème expérience : Observation de l'évolution de la température d'une paroi, du toit et de l'intérieur d'une maquette isolée par l'extérieur avec du liège

ANNEXE 3

On observe les mêmes profils que dans l'expérience avec le polystyrène aux détails près que lors de l'élévation de température, l'écart entre la température au sein de l'habitable et celles du toit et de la paroi est plus importante. De plus, après l'arrêt du chauffage, la température chute plus rapidement. On remarque bien que le liège isole moins bien la maquette que le polytène, ce qui est en accord avec son coefficient de conductivité thermique, plus élevé que celui de polystyrène.

Calculs du flux thermique à travers une paroi

Avec nos différentes mesures, nous pouvons maintenant procéder au calcul du flux qui traverse une paroi (nous allons calculer le flux qui traverse la façade avant), pour expliquer les variations de température de la paroi lors des 3 expériences. Il faut savoir que pour le calcul le flux thermique, il nous faut calculer la résistivité thermique du matériau. Le calcul de cette résistivité est analogue à la formule de calcul d'une résistance électrique.

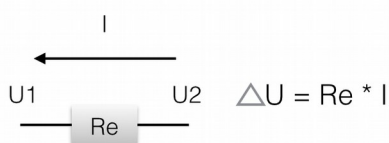


Illustration 15: En électricité



Illustration 14: En thermique

En électricité, la FEM (force électromotrice) est une différence de potentiel électrique ΔU . On a une résistance R_e et un courant I qui traverse. Ces trois grandeurs sont régies par la formule ci-dessus. En thermique, on a exactement la même formule. La FEM est une différence de température ΔT . On a une résistance thermique R_{th} (qui est celle de la paroi et de l'isolant potentiel) et un flux Φ . La formule est identique. Nous allons donc utiliser ce schéma pour faire notre calcul de flux

Détermination de la formule de la résistance thermique

On applique la loi de Fourier : $\phi = \lambda * S * \frac{\Delta T}{e}$

Ce qui implique que $R_{th} = \frac{e}{\lambda S}$

Avec e : l'épaisseur du matériau, λ la conductivité thermique du matériau et S la surface.

Nous avons utilisé pour notre mur et nos isolant la même épaisseur à savoir :

$$e(\text{iso})=e(\text{mur})=0,006\text{m}$$

La surface de la paroi est : $S = 0,09\text{m}^2$.

On a

$$\lambda(\text{poly}) = 0,036 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \quad \lambda(\text{liege}) = 0,040 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \quad \lambda(\text{bois}) = 0,017 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Nous utiliserons un ΔT constant, pour pouvoir comparer les variations de flux uniquement par changement d'isolant. Nous choisissons cette valeur d'après notre expérience : $\Delta T = 11^\circ\text{C}$ (ou K).

$$\Phi(\text{liege}) = \left[\frac{e(\text{bois})}{\lambda(\text{bois}) * S} + \frac{e(\text{liege})}{\lambda(\text{liege}) * S} \right]^{-1} * \Delta T = 5,35 \text{ W.m}^{-2}$$

$$\Phi(\text{poly}) = \left[\frac{e(\text{bois})}{\lambda(\text{bois}) * S} + \frac{e(\text{poly})}{\lambda(\text{poly}) * S} \right]^{-1} * \Delta T = 4,90 \text{ W.m}^{-2}$$

$$\Phi(\text{sans isolant}) = \left[\frac{e(\text{bois})}{\lambda(\text{bois}) * S} \right]^{-1} * \Delta T = 28,05 \text{ W.m}^{-2}$$

On observe que le flux thermique, avec le polystyrène, est inférieur à celui, avec le liège. Malgré des conductivités proches (différence de résistivité de 0,004), le flux à travers une surface est très différent suivant l'isolant. On comprend qu'une bonne isolation de nos murs est indispensable pour préserver notre confort et réduire notre consommation d'énergie (notamment en chauffage)

De plus, pour compléter et faire la comparaison avec une isolation interne ; si nous faisons l'hypothèse que l'on pose les mêmes isolants que précédemment mais cette fois à l'intérieur, c'est la température intermédiaire (T_i) qui va varier, celle entre l'isolant et la paroi.

Cf annexe 4

Si nous calculons T_i (dans le cas du polystyrène par exemple) : on prend $T_1=25^\circ\text{C}$, la température au sein de la maison, et $\Phi= 4.90 \text{ W./m}^2$ Si nous avons une isolation interne on a donc $T_i = T_1 - R_{\text{iso}} * \phi = 15,9^\circ\text{C}$ et si on a une isolation externe $T_i = T_1 - R_{\text{mur}} * \phi = 23^\circ\text{C}$

On a bien une température plus élevée avec une isolation extérieure. Ceci met en évidence l'inertie thermique du matériau. En effet, si l'isolation est interne le mur ne peut exploiter ses propriétés liées à l'inertie thermique, la température chute donc plus rapidement.

5. Visite d'un chantier

Dans ce projet, la réalisation d'une visite de chantier nous est apparue comme une évidence. Cette visite a eu pour objectif de nous permettre de visualiser concrètement les enjeux et la mise en place nécessaire pour appliquer l'efficacité énergétique dans un bâtiment. Afin de mener à bien cet objectif, nous avons contacté de nombreuses entreprises. Vous trouverez d'ailleurs l'ensemble des contacts pris en annexe. Une entreprise a bien voulu nous recevoir, SOGEA - Vinci, dans le cadre de la construction du nouveau Siège de la Métropole Rouennaise. Monsieur Laurent Pion, directeur des travaux, nous a reçu sur le chantier le vendredi 20 mai.

Ce chantier a débuté au mois de juillet 2015. Il se situe sur l'emplacement de l'ancien Hangar 108, le long de la Seine rive gauche. La fin du chantier est prévue pour la fin du printemps 2017. Ce chantier consiste en la création d'un bâtiment pouvant réunir l'ensemble des départements administratifs de la métropole de Rouen jusque là éparpillés dans la ville. De plus, le nouveau siège de la métropole s'inscrit dans le plan d'aménagement du futur écoquartier Flaubert.

Ce projet a un coup s'élevant à 25 millions d'euros. Dans cette somme, 4,5 millions sont financés par l'état et 1 million par la région Haute-Normandie.



Illustration 16: Le site



Illustration 17: Le label Attitude Environnement

Nous allons maintenant vous présenter sous forme d'interview les points, reliés à notre sujet « Efficacité énergétique et isolation thermique », abordés avec le directeur des travaux Mr Pion. En annexe, vous pourrez retrouver d'autres informations concernant la construction de l'Hôtel de la Métropole Rouennaise ainsi que des documents plus précis sur deux études : le FLJ(facteur lumière jour) et la simulation thermodynamique.

Nous *Nous avons vu que des panneaux photovoltaïques vont être installés sur le bâtiment. Ce système est-il vraiment efficace dans une région telle que la Normandie ?*

Lui C'est vrai qu'en Normandie on produit un peu moins que dans des régions du Sud par exemple mais, les panneaux solaires sont de plus en plus efficaces grâce à l'innovation. De plus, comparé aux éoliennes, les prévisions d'énergie produite grâce au soleil sont fiables en fonction du bâtiment, de son exposition et de sa localisation. Au total, on a une surface de 2000m² de panneaux.

Nous *Est ce que d'autres systèmes recueillant des énergies vertes vont être installés ?*

Lui Non. Par contre une pompe à chaleur va être installée accompagnée d'une chaudière à gaz de secours. Le fonctionnement d'une pompe à chaleur est comme celui d'un réfrigérateur. La pompe capte l'ensemble des énergies « inutiles » à une période pour les retransmettre quand cela sera nécessaire. Une pompe à chaleur a environ un rendement de 6, elle transmet 6 fois plus d'énergie qu'elle en reçoit. Dans une construction pour réduire les consommations et être plus respectueux de l'environnement il ne faut pas seulement récupérer de l'énergie, il faut aussi éviter les pertes.

Nous *Comment le bâtiment permet-il de réduire les ponts thermiques ?*

Lui Le bâtiment a été conçu dans le but d'être étanche, pour s'assurer de ceci un bureau d'étude SAS met en dépression le bâtiment pour savoir s'il répond aux objectifs et ne perd aucune ou peu d'énergie (nombre de Volume/heure). Comme le bâtiment est étanche une centrale de ventilation avec gaine de classe C, « très bonne classe » a été mis en place. La mise en place des différents tuyaux de ce système et donc du choix de leurs caractéristiques a été calculé en fonction de chaque point où se trouve les différents tuyaux. La gestion des consommations passe aussi par l'installation d'un système automatique qui décide si chaque consommation est nécessaire ou non : détecteur de lumière, de présence, et activation de la ventilation ou de l'ouverture de fenêtre la nuit si nécessaire.

Nous *Quel type d'isolation est faite sur le bâtiment afin de réduire les ponts thermiques ?*

Lui Les ponts thermiques se font au niveau des sols notamment entre le sous-sol non chauffé et le rez-de-chaussée et au niveau des jonctions de plancher. Les matériaux isolants utilisés sont la laine de roche, le polystyrène et le polyuréthane. Le polyuréthane est le plus efficace énergétiquement mais il est très mauvais au niveau de la résistance au feu. On veut en mettre un maximum mais il faut faire attention aux réglementations. A la base des murs en maçonnerie, on met du siporex : un béton plus isolant que le classique. Le sol est entièrement recouvert de polystyrène. On parle d'isolation extérieure avec des « murs en façade » : recouvert à différents endroits de polyuréthane, de laine de roche et d'allèges⁷ de vitrage opaque et de vitrage claire.

Nous *Nous avons d'ailleurs constaté que le bâtiment est quasi en totalité recouvert de verre n'avez vous pas peur que cela provoque un « effet de serre » ?*

Lui Non car tout d'abord le système informatisé régule la température et la ventilation. Puis une étude FLJ, facteur lumière jour a été réalisé (une partie du rapport se trouve en annexe). On y trouve dedans le fait qu'en été les rayons du soleil sont réfléchis sur la structure alors qu'en hiver ils illuminent le bâtiment car le soleil est plus haut en été.

Nous *Grâce à l'ensemble des systèmes mis en place pour consommer moins, avez-vous obtenu des labels ? Ces labels vous permettent-ils d'avoir des subventions ?*

Lui Ce bâtiment détient le label PassivHaus, c'est un label allemand et Le Bepos. Le bâtiment n'est pas autonome mais c'est un bâtiment à énergie positive : 354kWc⁸ compensation

⁷ Une allège est un plan de mur léger ou panneau compris entre une fenêtre, un vitrage et le plancher.

⁸ Kwc = kilo watts crête

sur une année. Ces labels ne nous donnent pas le droit à des subventions mais sont dans l'optique actuel de protection de la planète. Cependant, ils donnent droit à des avantages fiscaux. SOGEA s'engage d'ailleurs dans cette même optique grâce au label attitude environnement. C'est un label interne qui vise à réduire les consommations d'eau, d'électricité et de déchets durant le chantier. Les chefs de chantier sont aiguillés dans la réalisation de cet objectif par les personnels de sécurité et de l'environnement.

6. Évolutions et perspectives

6.1. Mise en œuvre de techniques d'économie d'énergie

L'efficacité énergétique en terme d'isolation thermique ne réside pas uniquement dans le développement de nouvelles technologies mais tout d'abord dans la bonne utilisation et combinaison des techniques déjà existantes, tout à fait accessibles d'un point de vue économique. Cependant, trop de produits et concepts énergétiques dépassés sont encore mis en œuvre lors de constructions neuves (double vitrage ordinaire, armatures d'éclairage énergivores...).

Par Ailleurs, afin de contribuer à l'économie d'énergie des bâtiments, une meilleure surveillance du bon fonctionnement et la gestion intelligente des installations de ventilation et de chauffage principalement doivent être envisagés: En effet, aujourd'hui, outre les anciennes techniques encore trop souvent utilisées, un grand nombre d'installations ne fonctionnent pas correctement (régulation inadaptée de la température, débits trop faibles ou trop élevés) du fait d'erreurs de conception, d'une mise en œuvre inadaptée, d'un entretien insuffisant ou d'un réglage défaillant. Ce genre de problèmes pourrait se régler via le commissionnement des installations, une thématique qui fait l'objet d'une attention croissante au sein du monde de la recherche et qui s'ancrera sans nul doute dans la pratique quotidienne. Selon Conseils.Xpair : « le commissionnement se définit dans un programme de construction, comme l'ensemble des tâches et services qui assurent la continuité des performances du programme jusqu'à l'exploitation de la construction. »

Enfin, il n'est toutefois pas exclu d'envisager l'introduction de la législation sur la performance énergétique des bâtiments et les diverses actions connexes telles que la réduction fiscale, subsides et sensibilisation qui constitueront une dynamique importante dans l'optique d'une mise en œuvre croissante des concepts actuels d'économie d'énergie. La réglementation thermique 2012 (RT2012) par exemple, induit déjà une évolution des pratiques énergétiques, en réduisant la consommation d'énergie primaire des bâtiments neufs à un maximum de 50 kWh/m²/an.

6.2. Développements technologiques futurs

Il existe un potentiel d'innovations technologiques conséquent permettant d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. A l'heure actuelle, de nouvelles techniques voient le jour.

- Panneaux isolants sous-vide

Le PIV (panneau d'isolants sous vide), possédant des caractéristiques thermiques exceptionnelles, représente une toute nouvelle génération d'isolants.

De très faible épaisseur, le PIV est composé d'un matériau « âme » confiné dans un film étanche et mis en dépression. Extrêmement performant, il est cependant encore rare sur le marché en raison de son prix élevé.

Le PIV offre ainsi des performances thermiques exceptionnelles. Son coefficient de conductivité thermique se situe en effet entre 0,0042 et 0,0050 W/m.K. « Concrètement, 1 cm de PIV est équivalent à 6 cm de polystyrène expansé ou 9 cm de laine minérale » selon Ooreka Isolation.

- Chaudières à condensation

En comparaison des chaudières classiques, les chaudières à condensation présentent un rendement énergétique nettement meilleur.

Cette différence est principalement due au refroidissement intensif des gaz de combustion. Ce refroidissement permet non seulement de récupérer une partie importante de la chaleur des gaz de combustion, mais aussi la chaleur de condensation de la vapeur d'eau présente dans ces gaz, autrement appelée chaleur latente, et ce lorsque leur température descend en dessous du point de rosée.

La quantité de chaleur ainsi récoltée à partir des produits de combustion peut être supérieure de 6 à 10 % à celle d'une chaudière traditionnelle (selon qu'il s'agisse respectivement de gas-oil ou de gaz). Il serait alors possible, selon les sources, de bénéficier d'économies en chauffage et d'eau chaude allant de 30 à 60 %.

Plancher producteur d'eau chaude

Dans des habitations classiques telles que les maisons individuelles, maisons groupées et petits collectifs, l'eau chaude des douches et baignoires est directement dirigée vers le réseau d'évacuation. Les calories de l'eau chaude évacuée sont ainsi perdues. Selon L'AIMCC (Association des industries de produits de construction), « le plancher producteur d'eau chaude est un nouveau système de recyclage d'énergies qui consiste à intégrer un échangeur thermique haute performance dans un entrevous isolant pour préchauffer l'eau froide qui alimente le chauffe-eau et/ou le mitigeur avec les calories habituellement perdues des eaux chaudes évacuées. » Ce système permettrait alors une réduction de la consommation d'eau chaude allant jusqu'à 40 %.

Gestion intelligente

Concernant la gestion intelligente des installations évoquée plus haut, une multitude d'améliorations sont également réalisables. L'application des nouvelles avancées technologiques telles que la communication sans fil pour la gestion des équipements techniques pourrait en effet simplifier leur mise en œuvre et leur emploi. Grâce à la domotique, il est alors maintenant possible de contrôler des équipements électriques, de chauffage ou autres appareils à distance, permettant ainsi d'en réguler la consommation en énergie en les adaptant aux besoins des structures. Ceci permet alors de réaliser des économies d'énergie, tout en répondant à des besoins de confort.

6.3. Nouveaux concepts de bâtiments

- maison passive :

La combinaison d'une isolation thermique performante et de méthodes constructives optimisant l'étanchéité à l'air et d'un système de ventilation économe en énergie aboutit à des habitations présentant des besoins en énergie de chauffage inférieure à 15 kWh/m²/an. En effet, les habitations classiques les plus énergivores présenteraient des consommations de chauffage allant jusqu'entre 200 et 300 kWh/m²/an selon les sources.

- maisons à énergie positive :

Les maisons à énergie positive vont encore plus loin. De par leurs besoins énergétiques restreints et application poussée de sources d'énergies renouvelables (cellules photovoltaïques, chauffe-eau solaire...), ces bâtiments constituent en effet des producteurs d'énergie. Ayant comme les bâtiments passifs une consommation d'électricité de chauffage inférieure à 15 kWh/m²/an et produisant de l'énergie (supérieure à l'énergie consommée), ces types de bâtiments subviennent alors entièrement à leurs propres besoins et sont parfois même capables de fournir leurs excédents à des réseaux électriques privés ou publics.

7. Conclusion et perspectives

Conclusion sur le travail réalisé et l'apport personnel de cet E.C

Après lecture de notre travail, nous comprenons qu'aujourd'hui, au XXI siècle, notre mode de vie nous impose une certaine rigueur concernant nos habitations. En effet, après avoir expliqué dans une première partie, la notion d'efficacité énergétique du point de vue thermique, donc scientifique et théorique du problème, nous prenons conscience de la manière dont nous perdons de l'énergie. Par conséquent, il faut pouvoir maîtriser et limiter ce gaspillage. C'est à ce moment qu'interviennent les politiques françaises ainsi qu'européennes. Des normes que chaque habitation se doit de respecter lors de sa création (ou rénovation).

Nous avons choisi d'étudier plus en détail le sujet de l'isolation thermique, plus précisément par l'extérieur. Par la mise au point d'une maquette, nous avons pu observer et comprendre, en direct, comment évoluait la température d'un habitacle non isolé et isolé. Ainsi, nous pouvons voir de quel ordre sont les déperditions thermiques.

Pour terminer, la visite du chantier ayant pour projet un bâtiment à énergie positive fut un fort atout, car elle nous a permis de dialoguer directement avec un professionnel qui a pu transmettre son savoir et surtout expliquer le pourquoi du projet, ainsi que leurs techniques de mises en œuvres. L'ingénieur travaux a pu confirmer et compléter notre projet.

En conclusion, nous nous sommes intéressés aux perspectives d'évolutions dans le bâtiment. Cela nous paraissait très important, car ce sera sur ces derniers que nous, en tant que futurs ingénieurs, serons potentiellement amenés à travailler.

Ce projet P6 fut un travail épanouissant pour chacun d'entre nous. En effet, travailler sur un sujet aussi sensible et important nous a offert une vraie compréhension des problèmes d'ingénierie actuels. Ce projet, se basant sur un semestre entier, nous a donné l'occasion d'avoir du temps pour étudier tous les aspects du sujet et par la suite choisir un thème qui nous convenait. La maquette en est un très bon exemple. En effet, peu nombreux sont les projets qui offrent l'opportunité aux étudiants de créer leur propre sujet ainsi qu'une expérience et son protocole. La planification fut notre outil de travail le plus important.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, ce thème nous touche directement, que se soit du point de vue citoyen ou de futur cadre ingénieur.

Concernant le travail et l'organisation, nous avons pu travailler ensemble et se répartir les tâches de manière équitables. Ce n'est pas courant d'être amenés à travailler par 6, néanmoins chacun y a trouvé son intérêt et le travail a avancé de manière homogène et continue, tout cela grâce à un travail régulier et un dialogue important entre nous.

Perspectives pour la poursuite de ce projet

Au fur et à mesure de l'élaboration de notre projet, nous avons pu constater quelques points qui pourront être modifiés pour les années suivantes :

Concernant le sujet lui-même, étant donné que cela fait plusieurs années que des étudiants travaillent dessus, il serait peut-être judicieux de ne plus aborder l'isolation thermique mais un autre sujet lié à l'efficacité thermique, ou peut-être lier deux techniques (lien entre ventilation et isolation par exemple).

A propos de la maquette, nous en avons recréé une par soucis de réalisme et pour étudier l'isolation par l'extérieur. Celle-ci est entièrement réutilisable, sauf si l'on veut y placer des ouvertures (types baies par exemple). Il serait possible de réaliser deux types d'expériences et comparer une maquette avec des ouvertures et celle sans ouverture (cette dernière ayant déjà été menée avec expériences et courbes).

8. Bibliographie et Crédit d'illustration

Efficacité énergétique d'un point de vue thermodynamique

a. Efficacité énergétique et performance énergétique

- <http://www.toutsurlisolation.com/Isolation-thermique/Reussir-son-isolation-thermique/Les-cles-d-une-isolation-thermique-reussie>
- <http://www.thermique55.com/principal/thermique.pdf>
- <http://goodbye-kwh.com/transfert-de-chaleur-par-rayonnement-definition-partie-1/>
- <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/bei/beiep/content/g21/i-phenomene-convection>

b. Etude des transferts de chaleur à travers une paroi

- JANOT Yves, *Les transferts thermiques*, Ecole des Mines de Nancy, 2012
- *Cours transferts thermiques BTS Ch22*
- <http://www.vtaide.com/png/heat2.htm>
- http://www.bilan-thermique-28.fr/theorie_generale.html
- <http://www-energie2.arch.ucl.ac.be/transfert%20de%20chaleur/3.2.htm>
- <https://www.calculeo.fr/Eco-travaux/Isolation-thermique/Coefficient-Lambda>
- <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10254>
- <http://www.pont-thermique.fr/>
- <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16921>
- <http://filierestl.e-monsite.com/pages/classe-de-premiere/physique-chimie-tronc-commun/partie-1-habitat/gestion-de-l-energie-dans-l-habitat/transferts-thermiques.html>
- <http://www.toutsurlisolation.com/Isolation-thermique/Reussir-son-isolation-thermique/Qualite-de-mise-en-aeuvre/Les-ponts-thermiques>

c. Méthodes d'isolation et matériaux utilisés

<http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16881>

Visite de chantier

- <http://www.artefact-archi.com/portfolio/hangar-108-batiment-tertiaire-rouen-76/>

- <http://france3-regions.francetvinfo.fr/haute-normandie/seine-maritime/rouen/rouen-le-chantier-de-construction-du-siege-de-la-metropole-va-commencer-769035.html>
- <http://www.tendanceouest.com/actualite-109727-rouen-la-premiere-pierre-du-futur-hotel-de-la-metropole-rouen-normandie-posee-.html>
- http://www.paris-normandie.fr/detail_article/articles/850663/nouvel-hotel-de-la-metropole-de-rouen--catherine-morin-desailly-s-insurge

SOURCE ANNEXE :

Efficacité énergétique du point de vue économique et environnemental

a. Politique de l'efficacité énergétique en France dans le bâtiment

- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/La-France-remet-son-plan-d-action.html>
- <http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/strategie-renovation-energetique-batiments-objectif-facteur-4-2014.pdf>
- <http://www.renovation-info-service.gouv.fr/mes-aides-financieres>
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-mesures-d-aide-a-la-renovation.html>
- <http://www.quelleenergie.fr/aides-subsventions>
- <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/energie-primaire.htm>
- <http://www.transition-energetique.org/article-mtep-million-tonne-equivalent-petrole-103515521.html>
- <http://www.ademe.fr/expertises/batiment>
- <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F19905>
- http://www.renovation-info-service.gouv.fr/sites/default/files/documents/anah_guide_des_aides_2014_03_2014.pdf
- <http://www.logement.gouv.fr/le-plan-de-renovation-energetique-de-l-habitat>
- <http://www.economie.gouv.fr/cedef/economie-energie-credit-dimpot>
- http://www.legrand.fr/professionnels/rt-2012-points-cles-et-exigences-de-la-reglementation_3181.html
- <http://www.legrand.fr/files/fck/File/pdf/CM212005.pdf>
- <http://www.vertuoze.fr/FR/Les-points-cles-de-la-Reglementation-34.html>
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/La-mention-RGE-Reconnu-Garant-de-l.html>
- <https://www.rt-2012.com/dossiers/rt2012/reglementation-thermique/labels/les-labels-rt-2012/>
- <http://www.bureau-etude-thermique-bet.fr/faq/label-rt2012-10-rt2012-20-bbio-30.php>

b. . Stratégie européenne et international dans le bâtiment :

- <http://www.afnor.org/>

- <http://www.iso.org/>
- <http://www.developpement-durable.gouv.fr/>
- <http://www.le Moniteur.fr/>
- <http://www.salon-energie.com/>
- <http://www.consoglobe.com/choisir-sa-television-un-nouvel-etiquetage-cg>
- <http://www.grouplavarappe.fr/lvd-environnement-et-lvd-energie-viennent-detre-certifiee-iso-9-001-et-afaq-ei-etti-par-lafnor-en-novembre-2012/>
- <http://www.iso.org/iso/fr/home/standards/management-standards/iso50001.htm>

c. Enjeux environnementaux

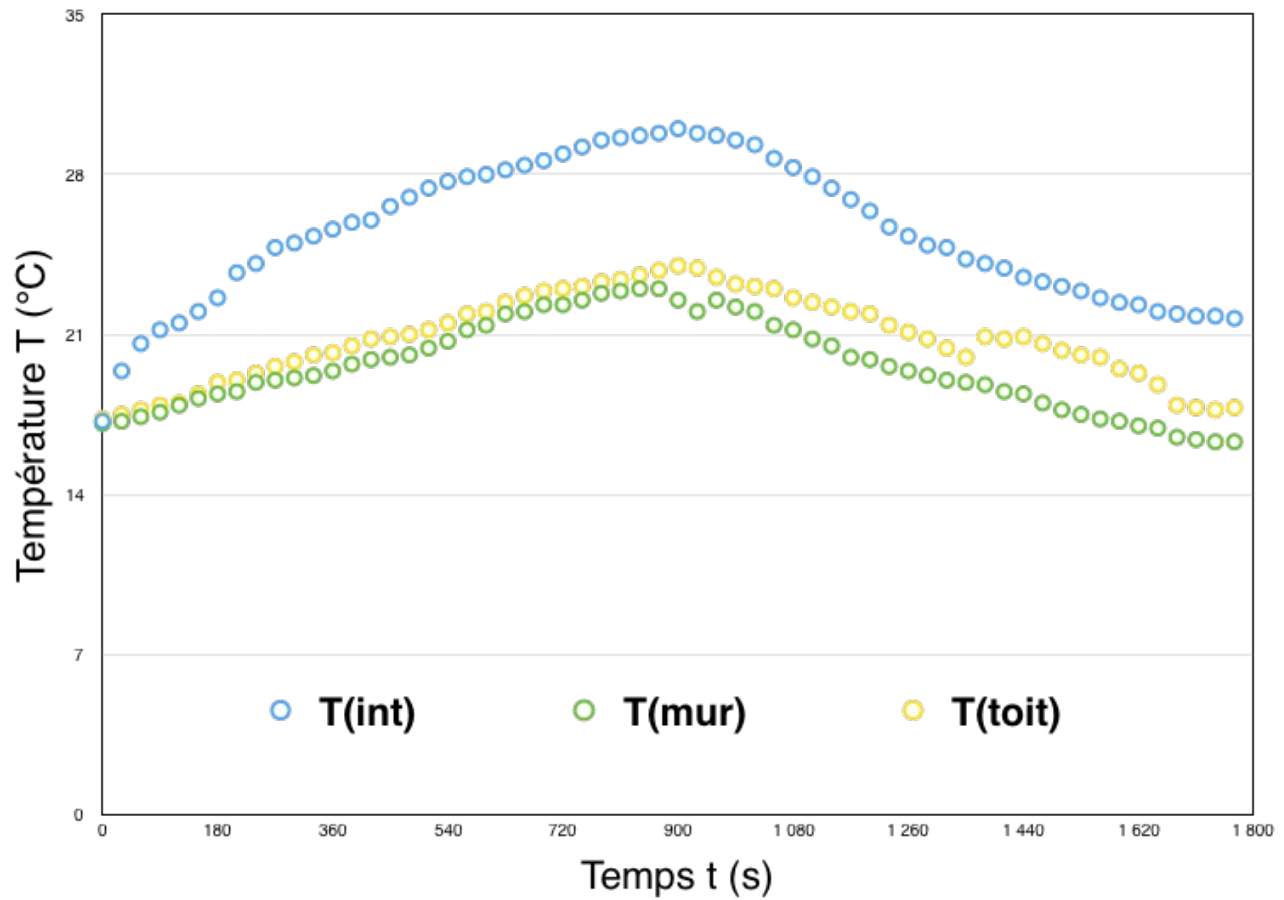
- https://www.arpe-mip.com/files/EXPO_ECOMAT2008/Ecomateriaux_Panneau1-10-BR.pdf
- http://www.driea.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/40_questions_corrections_SBDEC_cle6233af.pdf
- <http://www.eti-construction.fr/enjeux-isolation/>
- <http://www.co2solidaire.org/fr/solidarite-climatique/reduire-nord/changements-climatiques.html>
- <https://isolation.ooreka.fr/astuce/voir/124774/economies-d-energie-comment-eviter-les-deperditions-de-chaleur>
- <http://www.quelleenergie.fr/questions/laine-verre-isolant>
- http://www.ffbatiment.fr/federation-francaise-du-batiment/laffb/mediatheque/batiment-actualite.html?ID_ARTICLE=3517
- <http://www.vedura.fr/environnement/batiment/gaz-effet-serre>

9. Annexes

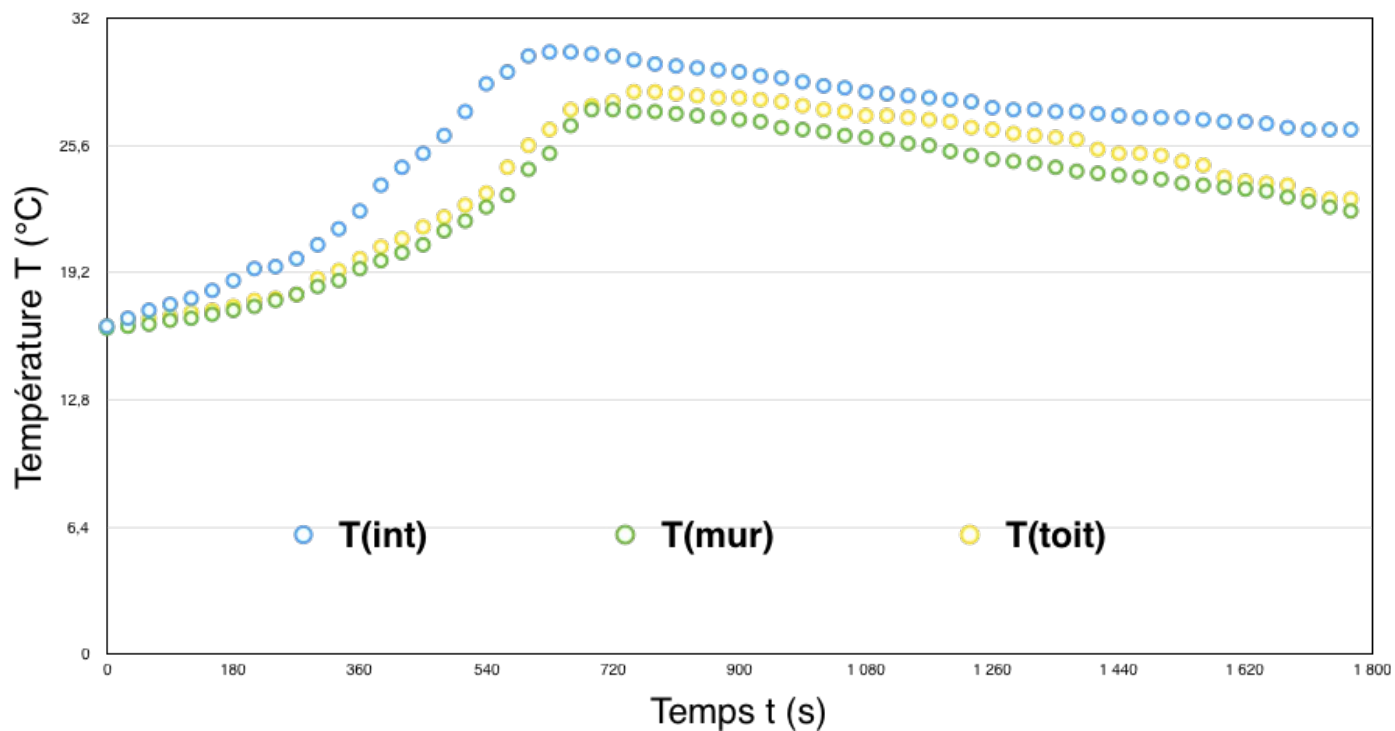
9.1. Annexe Partie expérimentale

Annexe 1

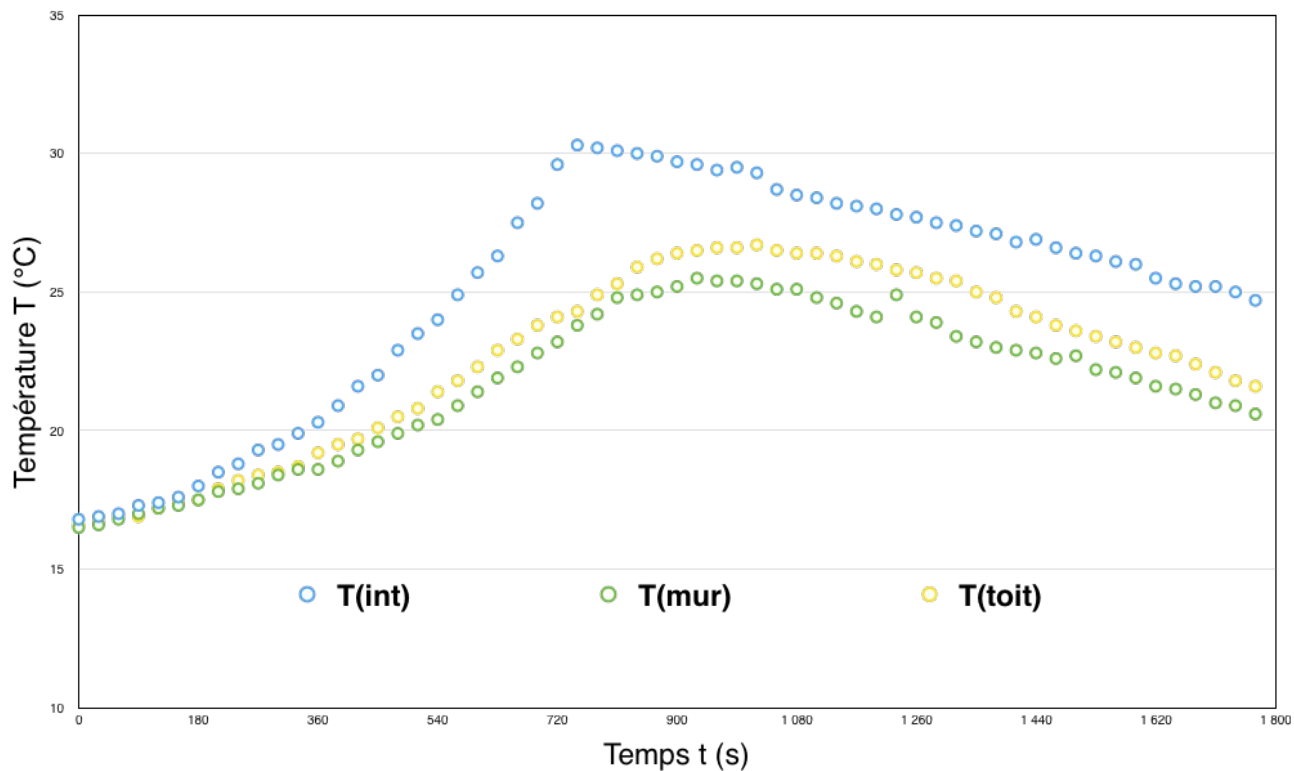
Evolution de la température intérieure, d'une paroi et du toit en fonction du temps sans isolant



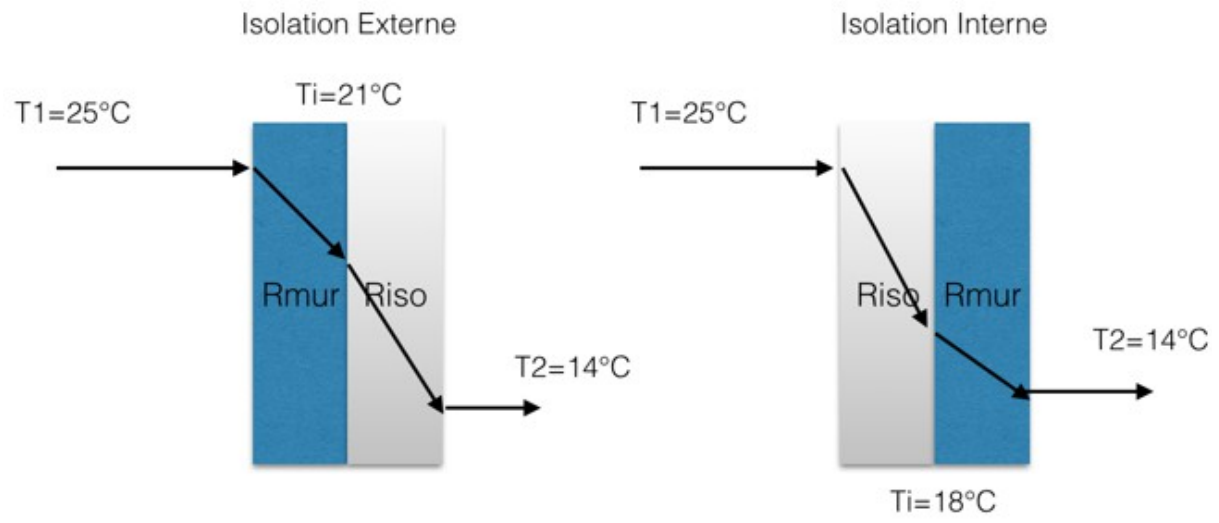
Annexe 2

Evolution de la température intérieur, d'une paroi et du toit en fonction du temps avec le polystyrène

Annexe 3

Evolution de la température intérieur, d'une paroi et du toit en fonction du temps avec le liège

Annexe 4



9.2. Annexe visite de chantier

Monsieur Pion nous a déclaré ne pas rencontrer de difficultés avec ce projet, il était même fier de nous dire qu'aucun accident n'a été recensé jusqu'à présent ce qui est plutôt impressionnant car malgré les améliorations au niveau de la sécurité du bâtiment, ce secteur reste toujours un secteur à risque. Par contre, la seule contrainte est de trouver des compromis entre l'architecte Jacques Ferrier et la direction des travaux afin d'allier esthétique et fonctionnalité. L'hôtel de ville est vu comme une œuvre architecturale, l'architecte s'inspire de l'impressionnisme.



Illustration 18: Photo de la réalisation de l'escalier monumental de l'hôtel de la métropole Rouennaise



Illustration 19: Maquette conceptuelle du bâtiment

On constatera cet aspect grâce aux panneaux de verre présents sur l'ensemble du bâtiment. Ces panneaux changent de couleur en fonction des rayons du soleil. On retrouve à l'intérieur du bâtiment, un autre élément architectural : l'escalier en forme de « tube ». Tous ces éléments architecturaux apporteront à ce bâtiment public un plus grand nombre de visiteurs. Sinon la structure dispose de 350 places de bureau pour accueillir la quasi-totalité des agents administratifs de la ville.

Description du bâtiment :

La structure porteuse du bâtiment est en poteau-poutre. On a une surface utile de 1000m². Il requiert 26000heures de travail en gros œuvre. La durée totale des travaux est de 22mois dont 2 mois de mise en place et recherche du projet. Sur le chantier, mise en place de LEAN Constructions test. C'est une inspiration du mode de fonctionnement de « Toyota » qui vise à réduire les temps morts entre deux réalisations effectués au même endroit par deux corps d'état différents. Sur le chantier, une vingtaine de compagnons sont présents répartis en deux équipes : une pour la réalisation des porteurs horizontaux et l'autre sur les porteurs verticaux.



Illustration 21: Visualisation du chantier avec son système de sécurité pour les compagnons



Illustration 20: Système permettant la création des poteaux verticaux du bâtiment

Dossier :Facteur Lumière Jour

1. PRESENTATION

L'étude FLJ porte sur les bureaux donnant sur les façades extérieures, patios et terrasses pour tous les niveaux du bâtiment. A chaque calcul, les masques extérieurs sont mis à jour.

L'étude de facteur lumière Jour a été réalisée avec le logiciel DIAL+.

2. RAPPEL DES OBJECTIFS

Niveau performant de la certification HQE®.

Rappel du niveau performant exigé par le référentiel :

FLJ ≥ 2 % pour 80% de la surface de la zone de premier rang, dans 80% des locaux concernés (en surface) => CLASSEMENT S1

ET FLJ $\geq 1,5$ % pour 80% de la surface de la zone de premier rang, dans les 20% de locaux concernés restants (en surface) CLASSEMENT S2

Pour l'ensemble des locaux, un travail sur écran est effectué. Les seuils sont donc réduits de 0.5 %

Zone de premier rang : s'étend de la façade extérieure jusqu'à une profondeur égale à deux fois la distance verticale entre le plan de travail et la hauteur de plafond.

Facteur de Lumière Jour : Il représente, par ciel couvert, le rapport entre la quantité de lumière (éclairage) disponible à l'extérieur et la quantité de lumière qui arrive effectivement dans le local.

3. Caractéristiques du projet à respecter

Les caractéristiques suivantes sont à respecter pour obtenir les résultats permettant la validation HQE de la cible 10 au niveau P

- Les facteurs de réflexion ont été choisis comme tel :

Locaux donnant sur les façades sans masques	Locaux donnant dans les patios ou les terrasses avec masques
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Plafond : 85% ➤ Mur : 65% ➤ Sol : 30% 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Plafond : 85% ➤ Mur : 75% ➤ Sol : 40%

- Transmission lumineuse des Menuiseries: 70% pour les vitrages :
 - Murs rideaux avec 20% de cadre

- Etagères à lumières :
 - Largeur : 45cm
 - Espacement entre les étagères: 90 cm
 - Matériaux : verre de couleur type SCHOTT NARIMA avec facteur de réflexion moyen de 45%
- Masques Lointains : 0.25 (bâtiment alentour clair)
- Masques proches : 0.25 (réflexion dans les patios sur les surfaces vitrées)

4. Tableau récapitulatif des résultats

Ref	Salle	Résultat	Class Surface		Surface assimilée
			ement du local		
Et 01	Bureaux type Nord 10 m ²	FLJ > 1,5% sur 100% de la surface de 1er Rang	S1	10 m ²	540 m ²
Et 02	Bureaux type Sud 10 m ²	FLJ > 1,5% sur 100% de la surface de 1er Rang	S1	10 m ²	630 m ²
Et 03	Bureaux type Nord 20 m ²	FLJ > 1,5% sur 100% de la surface de 1er Rang	S1	20 m ²	580 m ²
Et 04	Bureaux type Sud 20 m ²	FLJ > 1,5 % sur 100% de la surface de 1er Rang	S1	20 m ²	570 m ²
Et 05	Bureaux Sur Patio 10 m ²	FLJ > 1,5% sur 82,3% de la surface de 1er Rang	S1	10 m ²	60 m ²
Et 06	Bureaux Sur Patio R+3 20 m ²	FLJ > 1,5% sur 98,8% de la surface de 1er Rang	S1	20 m ²	113 m ²
Et 07	Open Space Sur Patio R +2 52 m ²	FLJ > 1,5% sur 82,5% de la surface de 1er Rang	S1	52 m ²	167 m ²
Et 08	Bureaux Sur Patio R+2 20 m ²	FLJ > 1% sur 90,5% de la surface de 1er Rang	S2	20 m ²	111 m ²
Et 09	Bureaux Sud sur faille 10 m ²	FLJ > 1,5% sur 82,5% de la surface 1er Rang	S1	10 m ²	80 m ²
Et 10	Bureaux Nord sur faille 31 m ²	FLJ > 1,5% sur 95% de la surface de 1er Rang	S1	10 m ²	20 m ²
Et 11	Open Space Sud 58 m ²	FLJ > 1,5% sur 80% de la surface de 1er Rang	S1	58 m ²	107 m ²
Et 12	Bureaux sur pignon	FLJ > 1,5% sur 100% de la surface de 1er Rang	S1	10 m ²	560 m ²
			SURFACE TOTALE		3 538 m²
			SURFACE S1		3 427 m²
			SURFACE S2		111 m²
			S1 / SURFACE TOTALE		97%

5. Tableau récapitulatif des résultats

L'ensemble du bâtiment répond aux objectifs du niveau Performant de la certification HQE®

9.3. Efficacité énergétique d'un point de vue économique et environnemental

A. Politique de l'efficacité énergétique en France dans le bâtiment

L'ensemble des membres de l'Union Européenne, en application à la ligne directive relative à l'efficacité énergétique de 2012, ont dû établir un plan d'action. La France fut le premier pays à l'établir en avril 2014.

Son plan d'action se base sur un double objectif celui de réduire à la fois la consommation d'énergie primaire mais aussi celle d'énergie finale. Le plan rénovation énergétique de l'habitat (PREH), consistant à rénover 500000 logements (dont 125000 logements sociaux) par an mis en place en 2012 agit aussi dans l'objectif de réduire les consommations énergétiques. Ce plan s'appuie sur des aides pour attirer les propriétaires à effectuer des travaux d'amélioration énergétique et ainsi répondre aux objectifs de départ.

- **L'énergie primaire**

D'après l'Insee⁹, l'énergie primaire est l'ensemble des produits énergétiques non transformés, exploités directement ou importés. Ce sont principalement le pétrole brut, les schistes bitumineux, le gaz naturel, les combustibles minéraux solides, la biomasse, le rayonnement solaire, l'énergie hydraulique, l'énergie du vent, la géothermie et l'énergie tirée de la fission de l'uranium.

Mais bien sûr, la création et la consommation d'énergie à partir des énergies renouvelables faisant partie de l'énergie primaire est favorable au plan mis en place par l'État français. Ils entendent par réduction de la consommation de ces énergies¹⁰ de passer de 236 Mtep¹¹ contre 260 Mtep (en excluant l'énergie dû au transport aérien international). Cet objectif a pour but d'être atteint grâce à la réduction des pertes de l'énergie finale induites par la transformation et le transport de l'énergie.

- **L'énergie finale**

D'après l'Insee, l'énergie finale ou disponible est l'énergie livrée au consommateur pour sa consommation finale (essence à la pompe, électricité au foyer,...).

La France souhaite réduire sa consommation à 131 Mtep³ d'ici 2020, contre 155 Mtep actuellement (hors transport aérien international).

⁹ <http://www.insee.fr/>

¹⁰ <http://www.transition-energetique.org/article-mtep-million-tonne-equivalent-petrole-103515521.html>

¹¹ Mtep = Million de tonnes équivalent pétrole ; 1 tep = 41,855 GJ = 11 628 kWh.

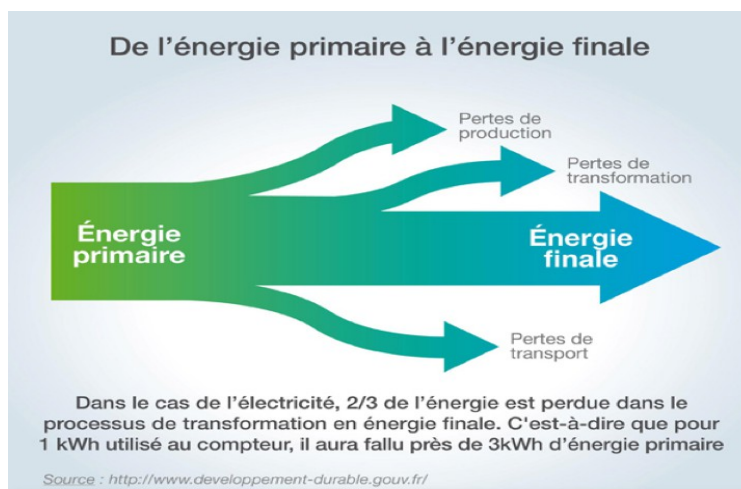


Illustration 22: Schéma explicatif du passage de l'énergie primaire à finale

Nous allons maintenant étudier les différents moyens mis en œuvre afin de répondre à ce plan d'action. Pour cela, nous divisons la suite de cette partie en deux sous-parties : une concernant l'ensemble de la législation à respecter en rapport avec l'efficacité énergétique, puis une deuxième se basant sur les moyens mis en œuvre afin de répondre au plan d'action du Grenelle Environnement.

1. Réglementation sur l'Efficacité énergétique en France.

La réglementation thermique Grenelle Environnement 2 RT 2012 est une succession à la norme RT 2005. Elle s'applique sur l'ensemble des constructions neuves tertiaires et résidentielles ; l'ajout d'annexe à un bâtiment est comptabilisé dans les constructions neuves et doit donc répondre à cette norme. Cependant les bâtiments d'élevage, agricoles ainsi que ceux ayant une température ne dépassant pas + 12°C et d'autres structures encore ne consommant pas beaucoup d'énergie n'ont pas obligation de répondre à la réglementation RT 2012. Dans une optique de protection de l'environnement, cette norme a 3 exigences principales :

- **Le Cepmax**

Cepmax est la consommation maximale d'énergie primaire. Sa valeur prend en compte différentes consommations : le chauffage, l'eau chaude, le refroidissement, l'éclairage et la ventilation et l'utilisation de pompe. Le Cepmax varie selon la situation géographique, l'altitude ou encore en fonction de l'utilisation du bâtiment. Il est exprimé en kWh/m²/an.

- **Bbiomax**

Bbio ou « Besoin bioclimatique » limite les besoins en énergie pour les composantes dépendant de la conception du bâtiment (chauffage refroidissement et éclairage). C'est une exigence sur la qualité d'efficacité énergétique du bâtiment, Bbio prend en compte la qualité isolante de l'enveloppe du bâtiment mais aussi la compacité et conception bioclimatique du bâtiment. Ce système valorise une bonne isolation de la structure ; la limitation des pertes d'énergie ; et la mise en place de systèmes produisant de l'énergie gratuitement (inertie, véranda, éclairage naturel,...). Elle n'a pas d'unité, elle s'exprime grâce à des points.

- **Tic**

Tic correspond à l'exigence sur le confort en été. La température la plus chaude atteinte dans le bâtiment sur la période des 5 jours les plus chauds en été (la température intérieure conventionnelle Tic) ne doit pas dépasser la valeur limite de la température intérieure conventionnelle de référence (Ticréf). Elle s'exprime généralement en degré celsius ou peut s'exprimer en kelvin.

- **Autres exigences : exigences de moyen**¹²

D'autres exigences sont pris en compte dans la norme RT 2012 les exigences de moyens. Elles sont décrites comme nécessaires à l'atteinte de la performance thermique. Vous les retrouverez en annexe.

Différence entre la catégorie d'un bâtiment CE1 et CE2 (cf annexe).

Les certifications et labels ont une exigence commune : évaluer les performances énergétiques et environnementales d'une structure.

Une certification est là pour rassurer un acheteur. Elle atteste que le vendeur respecte un certain nombre de normes. Les normes peuvent être dictés par la loi ou être mise en place pour répondre à des besoins du bénéficiaire : offrir une certaine qualité. Elle s'applique sur l'achat de produit mais aussi de service. Il existe une variété de certifications concernant différents domaines de l'habitation et de son efficacité énergétique et environnemental : Acotherm (portes et fenêtres), Acermi (produits isolants) et encore beaucoup d'autres existent avec notamment la notion NF Service qui est très reconnu.

Maintenant intéressons nous aux labels. Un label indique que les normes ont été respecté et qu'elles ont été vérifié par un organisme public ou privé. L'obtention d'un label est une démarche volontaire du propriétaire du bâtiment et non obligatoire, qui en fait la demande auprès de différents organisme. La demande n'est pas gratuit, il faut compter environ 200euros. L'organisme COFRAC (Comité Français d'Accréditation) est autorisé à fournir des labels. Les différents labels existant sont :

Nouveaux labels apparus avec la RT 2012 :

- **RT 2012 -10%**

Ce label a pour exigence le renforcement de 10% Bbiomax et de Cepmax par rapport au niveau exigé par la RT 2012. Cette exigence a pour but de donner lieu à une consommation énergétique de 45kWh/m².an.

- **RT 2012 -20%**

Ce label a pour exigence le renforcement de 20% Bbiomax et de Cepmax par rapport au niveau exigé par la RT 2012. Cette exigence a pour but de donner lieu à une consommation énergétique

¹² <http://www.vertuoze.fr/FR/Les-points-cles-de-la-Reglementation-34.html>

de 40kWh/m².an.

On peut comparer ces deux labels aux exigences que requiert la RT 2012 pour les bâtiments neufs. La RT 2012 demande une consommation de 50kWh/m².an contre 45 ou 40kWh/m².an afin d'obtenir les labels. Ce qui explique les noms des labels comprenant 10% et 20%.

– **RT 2012 BBIO -30%**

Le label Bbio 30% exige pour son obtention une valeur inférieure au minimum de 30% à la valeur Bbiomax indiquée par l'état. Pour mieux comprendre la spécificité de cette caractéristique vous pouvez retrouver plus d'informations dans la partie précédente.

– **EFFINERGIE+**

Ce label est obtenu sous différentes conditions : il faut que le Bbio et la Cepmax soient inférieur de 20% à la valeur maximale donnée par l'état. Mais ce n'est pas tout, la perméabilité à l'air du bâtiment doit être concluante. De plus, le bâtiment doit disposer d'un système de ventilation de classe A. Il impose d'ailleurs une évaluation de l'efficacité énergétique du bâtiment ainsi que l'affichage de la part d'énergie renouvelable produite par le bâtiment.

– **BEPOS-EFFINERGIE**

Tout d'abord l'obtention du label est possible si le bâtiment répond aux exigences du label Effinergie+ et doit respecter un écart à l'énergie positive. Cette écart est calculé en fonction de la localisation et du type d'habitation pour permettre une meilleure égalité. On dit que ce label se veut comme le précurseur de nouvelles réglementation pour une structure à énergie positive.

$$\dot{E}cart\ autorisé = RT2012-20\% * Mctype * (Mcgéo + Mcalt + Mcsurf) + Auref - Prodref$$

La valeur RT2012-20% correspond comme vu précédemment à 40kWh/m².an .

Au_{ref} correspond à la consommation de référence pour les usages non pris en compte par la RT.

Prod_{ref} s'est la production de référence dont on peut observer le calcul ci-dessous.

$$Prod_{ref} = 110 * Mp_{niv} * Mp_{géo}$$

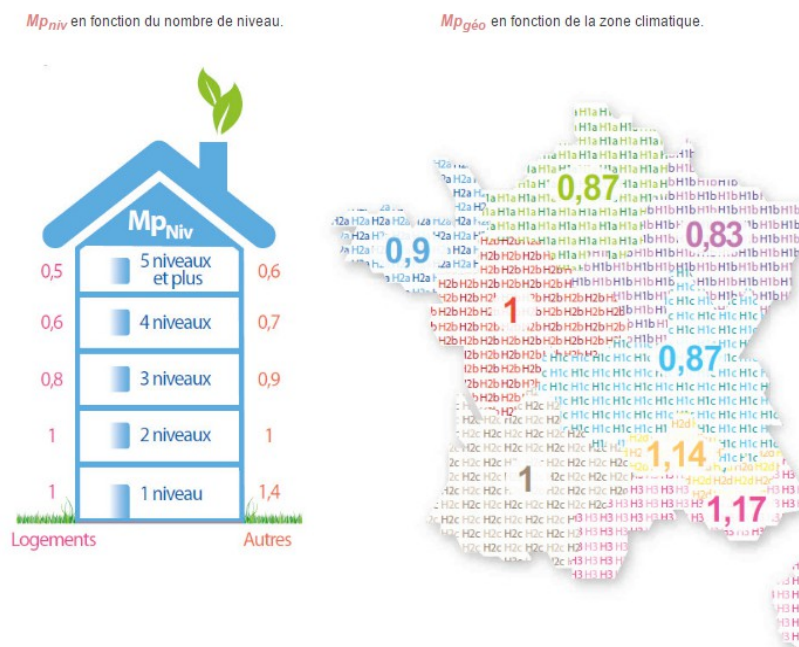


Illustration 23: Calcul de la quantité d'énergie que doit produire un bâtiment afin d'obtenir le label BeposEffinergie

Deux labels existant avant RT 2012 ont été modifié :

– **HPE(Haute Performance Énergétique)**

Ce label a pour objectif de réduire la consommation d'énergie primaire de 10% par rapport au RT2012.

– **THPE (Très Haute Performance Énergétique)**

Ce label a pour exigence une réduction de 20% des consommations en énergie primaire par rapport au RT 2012.

Autres labels :

– **BBC (Bâtiment basse consommation)**

Ce label permet de valoriser les bâtiments consommant moins d'énergie que les bâtiments classiques au niveau de l'éclairage, le chauffage, le rafraîchissement ainsi que la production d'eau chaude. Pour l'obtenir, le bâtiment doit avoir une Cep inférieure à 50kWh/m²/an et une consommation en énergie primaire inférieure à 80kWh/m²/an.

Que permet l'obtention de labels énergétiques ?

Tout d'abord, à une période où le réchauffement climatique affecte de plus en plus

l'environnement avec notamment la fonte des glaces au pôle nord : l'obtention de ces labels vous guide afin de penser à la planète tout en gardant un certain confort. Mais en vérité, le gros avantage est au niveau financier. En premier, car ces labels indiquent une consommation énergétique plus faible donc un coût de cette consommation plus faible et deuxièmement, ces labels permettent une diminution de la taxe foncière.

2. Les aides financières

Le secteur du bâtiment est le secteur de France consommant le plus d'énergie en France parmi tous les secteurs économiques. Sa consommation représente 44% de la consommation globale du pays soit 70 Mtep. C'est d'ailleurs sur ce secteur que nous axerons le plus nos recherches afin de répondre au mieux à la thématique Efficacité Énergétique et Isolation Thermique.

D'autres secteurs comme celui des transports, de l'industrie ou encore de l'agriculture, ont aussi différents plans d'action qui s'y appliquent. Le bonus-malus a permis à la France d'avoir en 2013 le parc de voitures le moins émissif en CO₂ de l'ordre de 117g/km. La France soutient tous les secteurs dans leur pôle d'innovation. Ce soutien, plutôt économique, permet d'accélérer les innovations et donc leur mise en place, elles permettront d'améliorer la vie quotidienne mais surtout de réduire les consommations énergétiques et leurs coûts. Nous abordons ce point, très important pour l'avenir, dans la partie IV de notre rapport concernant le secteur du bâtiment.

Maintenant, si nous nous intéressons de nouveau au secteur du bâtiment, l'État français a mis en place beaucoup de soutiens économiques pour les propriétaires. Sur le site quelleenergie.fr on peut faire des simulations¹³.

✓ *Points Rénovation Information Services (PRIS)*

PRIS est un centre qui accueille les personnes voulant bénéficier d'aides pour réaliser des rénovations énergétiques. Ces points d'information ont été créés pour répondre au plan rénovation énergétique de l'habitat (PREH) afin de faciliter la réalisation de travaux permettant de réduire les consommations énergétiques. Pour prendre rendez-vous dans un des points d'information ou simplement se renseigner il est possible de le faire soit par téléphonant au 0 810 140 240 soit sur le site renovation-info-service.gouv.fr.

✓ *Crédit d'Impôt pour la Transition Énergétique (CITE)*

Anciennement le crédit d'impôt développement durable, a été mis en place le 1er septembre 2014. Il possède deux avantages très intéressants : en premier son taux est de 30% et en deuxième l'obtention de ce crédit ne dépend pas des niveaux de ressources du bénéficiaire. Mais il existe tout de même des conditions à partir d'un certain seuil du montant des travaux dont le crédit ne sera plus éligible puis il faut que les travaux soient réalisés par un professionnel possédant la mention RGE¹⁴. Les différents plafonds d'éligibilité du crédit sont :

¹³ <http://www.quelleenergie.fr/bilan-energetique/formulaire>

¹⁴ **Reconnu garant de l'environnement** ; cette mention garantit le travail effectué par l'artisan autant aux particuliers qu'à l'état, car si l'installation faite par cet artisan est réalisée correctement cela signifie que les

- 8000 € pour une personne célibataire, veuve ou divorcée.
- 16 000 € pour un couple marié ou pacsé soumis à imposition commune.

On peut ajouter 400€ au plafond par personne à charge. Autre critère, la construction de l'habitat doit dater d'au moins 2 ans. L'article 18 bis de l'annexe 4 du code général des impôts, modifié par l'arrêté du 30 décembre 2015, fixe la liste des équipements, matériaux et appareils éligibles au crédit d'impôt, les plafonds de dépense pour chacun d'eux, ainsi que les caractéristiques techniques et les critères de performances minimales requis. Le CITE cessera fin 2016.

✓ **Eco-prêt à taux zéro (Eco-PTZ)**¹⁵

L'éco-prêt à taux zéro est un prêt dont les intérêts sont payés par l'état. Mais contrairement au crédit d'impôt pour la transition énergétique celui-ci requiert au près du bénéficiaire un seuil de revenu. Il est attribué soit au propriétaire de l'habitat mais il peut être aussi attribué à un syndicat de copropriété. Le montant des revenus du ou des propriétaires de l'habitation est de ?. Si un prêt est attribué à une copropriété, les différents membres de cette copropriété peuvent également faire une demande de prêt à taux zéro individuel. L'habitat doit être la résidence principale du propriétaire. Le montant du prêt peut aller jusqu'à 30 000 euros. Les logements doivent être construits avant le 1er janvier 1990.

✓ **Eco-prêt logement social (Eco-PLS)**

Ce prêt a été conçu pour répondre à la loi du Grenelle environnement I. Après plusieurs modifications des caractéristiques de ce prêt en 2015, il a pour but de répondre aux exigences du plan rénovation énergétique de l'habitat. Les bénéficiaires de ce système sont les propriétaires bailleurs des logements sociaux en France de classes énergétiques E, F ou G. Pour les bâtiments achevés après le 1er janvier 1948, une obligation de résultat sur leur performance énergétique après travaux est demandée aux bailleurs sociaux. Ces logements doivent réunir deux conditions¹⁶ :

- La consommation en énergie primaire du logement doit être supérieure à 230kWh/m²/an.
- Les travaux doivent permettre d'atteindre une consommation conventionnelle en énergie primaire inférieure ou égale à 150 kWh/m²/an, sachant que cet objectif est modulé en fonction des zones climatiques et de l'altitude.

D'autres critères sont éligibles pour les logements sociaux de classe D. Mais maintenant concernant les habitations individuelles, les exigences sont les suivantes : la maison doit consommer plus de 330kWh/m²/an d'énergie primaire avant travaux et au minimum 230kWh/m²/an ou moins en fonction des zones climatiques après les travaux.

✓ **agence nationale de l'habitat (ANAH) et de son programme « Habiter mieux »**¹⁷

L'ANAH, dans son projet « *habiter mieux* », offre des aides de solidarité écologique (ASE)¹⁸ selon des critères de revenu : 1600€ pour les revenus modestes et les propriétaires

avantages ici énergétiques qu'apportent l'installation sont réelles et non fictives.

¹⁵ <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F19905>

¹⁶ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/L-eco-pret-logement-social,28944.html>

¹⁷ http://www.renovation-info-service.gouv.fr/sites/default/files/documents/anah_guide_des_aides_2014_03_2014.pdf

¹⁸ <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F20554>

baillleurs et 2000€ pour les revenus très modestes. Des syndicats de copropriétés voulant réaliser des aménagements énergétiques dans les parties communes peuvent également faire une demande. Une avance n'est faite qu'aux personnes à revenu « très modestes ». Des ajustements ont été faits selon si l'habitation est en Île-de-France ou en province. L'amélioration énergétique doit être de 25% pour les propriétaires occupants et 35% pour les propriétaires bailleurs.

Toujours sur le même principe de bénéficiaires, dans un programme à part : le fonds d'aide à la rénovation thermique des logements privés (FART), l'Anah rembourse 50% des travaux d'aménagement pour l'amélioration énergétique d'habitation réalisé par des professionnels. Le montant éligible des travaux est de 20000€ maximum.

La construction de l'habitation doit être fini depuis au moins quinze ans.

Deux évaluations énergétiques doivent être joints au dossier pour attester l'amélioration énergétique, une avant puis une estimation après les travaux. La demande d'aides doit être effectué avant tout début des travaux.

✓ *Prime Énergie de CertiNergy*

C'est une prime qui peut atteindre une centaine d'euros et qui varie selon les travaux effectués et ceux qu'ils apportent à l'habitation. Cette aide peut être aussi faite pour les habitations secondaires. Elle est donnée sous forme de chèque bancaire. La somme est reçu sous 30 jours après acceptation du dossier par CertiNergy.

Mais cependant, il n'y a pas que l'état et des organismes privés qui permettent l'obtention de primes pour l'installation d'équipement moins gourmand en énergie ou de systèmes comme une meilleure isolation ou encore double vitrage. Des magasins du bâtiment se sont aussi mis à offrir des primes aux clients voulant réduire leur efficacité énergétique dans leur habitation avec par exemple Leroy Merlin et MrBricolage.



Illustration 24: Image du site Bricoprime issue du magasin MrBricolage

Le magasin MrBricolage a notamment créé un site www.bricoprime.fr entièrement dédié à la simulation des primes que peut obtenir tout propriétaire voulant faire des économies d'énergie achetant le matériel nécessaire dans cette enseigne.

En conclusion de cette partie, l'ensemble des aides, certifications et labels ont un objectif commun inciter mais surtout permettre aux propriétaires d'habitation de réduire leur consommation énergétique dans un objectif de protection de l'environnement. L'objectif du propriétaire est de réduire ses factures et celui de l'état et de certains organismes privés est de sensibiliser la population au réchauffement climatique et à la nécessité de protéger la nature et notre environnement. L'état, grâce à ces différents moyens, répond aux exigences de la RT 2012.

B. Stratégie européenne et internationale dans le bâtiment

Avant tout il est important de savoir que l'efficacité énergétique est un sujet très présent au sein des débats internationaux que ce soit en Europe ou même dans le Monde.

C'est pour cela que début Février (2016) l'Union Européenne a joué la carte de l'optimisation des systèmes de chauffage et de refroidissement dans les bâtiments et dans le domaine de l'industrie. Ceci n'est pas anodin puisque selon (LeMoniteur.fr) une récente étude, ce domaine représenterait la moitié de la consommation annuelle énergétique au sein même de l'Union Européenne. Les différents pays de cette dernière, se préparent et envisagent d'éventuelles ruptures en approvisionnement énergétique, ces pays ont cependant aussi un objectif environnemental commun qui est de décarbonner son parc immobilier d'ici à 2050 et réduire la consommation énergétique de l'industrie de 4 à 5 % en 2030 et de 8 à 10% en 2050.

Bien sûr toutes ces législations mises en place ont de fortes corrélations entre le domaine environnemental (réduction des émissions de CO₂), économique et ainsi que le domaine des énergies renouvelables qui est implicite dans le rôle de la transition énergétique mondiale.

L'étude menée révèle que la stratégie mise en place par l'Union Européenne pourrait faire économiser annuellement plus de 4,7 milliards d'euros concernant l'import du pétrole et plus de 40 milliards d'euros concernant l'import du gaz. Ceci est un manque à gagner non négligeable et un investissement sur le long terme concernant la planète.

Concernant les ménages, l'optimisation des systèmes de chauffage et de refroidissement permettrait une baisse du budget annuel de 70%.

Une responsabilité des professionnels selon un échéancier précis

Un calendrier prédéfini

Les fournisseurs mettant sur le marché **et/ou en** service des dispositifs de chauffage et de chauffe-eaux doivent veiller à ce qu'une étiquette imprimée au format et aux contenus définis soit fournie pour chaque dispositif.

■ **26 septembre 2015** : le premier niveau d'exigence d'efficacité énergétique requis entre en vigueur concernant les dispositifs de chauffage de locaux et les chauffe-eaux. Les exigences acoustiques, le volume de stockage et d'informations sont également prises en compte. L'étiquetage énergétique entre en vigueur avec une échelle de A++ à G pour les dispositifs de chauffage de locaux et de A à G pour les chauffe-eaux.

■ **26 septembre 2016** : à compter de cette date, une revue particulière est nécessaire afin d'analyser la mise en place possible des différentes exigences pour tous types de chauffe-eaux.

■ **26 septembre 2017** : à cette date, entre en vigueur le deuxième niveau d'exigence au regard de l'efficacité énergétique. L'échelle de l'étiquetage énergétique des chauffe-eaux est mise à jour de A+ à F.

■ **26 septembre 2018** : Désormais, les exigences en matière d'émissions de NO_x (Oxyde d'azote) entrent en vigueur. Le troisième niveau des exigences au regard de l'efficacité énergétique des chauffe-eaux commence à s'appliquer. Une révision des réglementations doit être présentée.

■ **26 septembre 2019** : l'échelle de l'étiquetage énergétique des dispositifs de chauffage est mise à jour de A+++ à D.

Etiquetage des dispositifs de chauffage

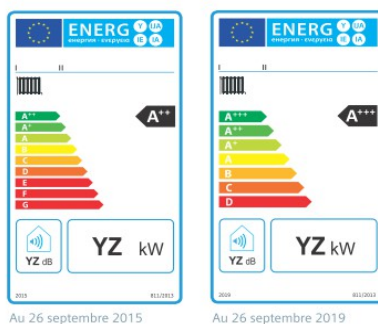


Illustration 25: Etiquetage des dispositifs de chauffage

Il est inévitable que tout cela passe par la fin des pertes énergétiques dans les bâtiments.

C'est pour cela que les anciens bâtiments seront rénovés que ce soit concernant les isolants ou l'installation d'équipements de refroidissement et de chauffage plus modernes et plus intéressants d'un point de vue rapport prix/énergie/environnement tel que la pompe à chaleur qui est dorénavant très utilisée pour les nouvelles constructions. Il y aura aussi une révision des certificats de performance énergétique qui est un bon moyen de jauger l'efficacité énergétique pour tous les acteurs du bâtiment, c'est en quelque sorte un gage de qualité.

La Commission Européenne voudrait aussi se tourner vers un accroissement de la réutilisation des énergies. Ceci permettrait d'éviter d'énormes pertes énergétiques. L'idée est de réutiliser par exemple la chaleur résiduelle provenant de grosses industries pour chauffer des ménages. Ce « recyclage énergétique » tel qu'il est appelé, commence déjà à faire émerger des projets d'envergure, comme en Suède où ce procédé est fréquemment utilisé.

Sans oublier que la Commission Européenne met en place un panel d'aides financières qui encourage l'utilisation d'énergie renouvelables (« Financement intelligent pour bâtiments intelligents ») et la mise en place de systèmes énergétiquement performants.

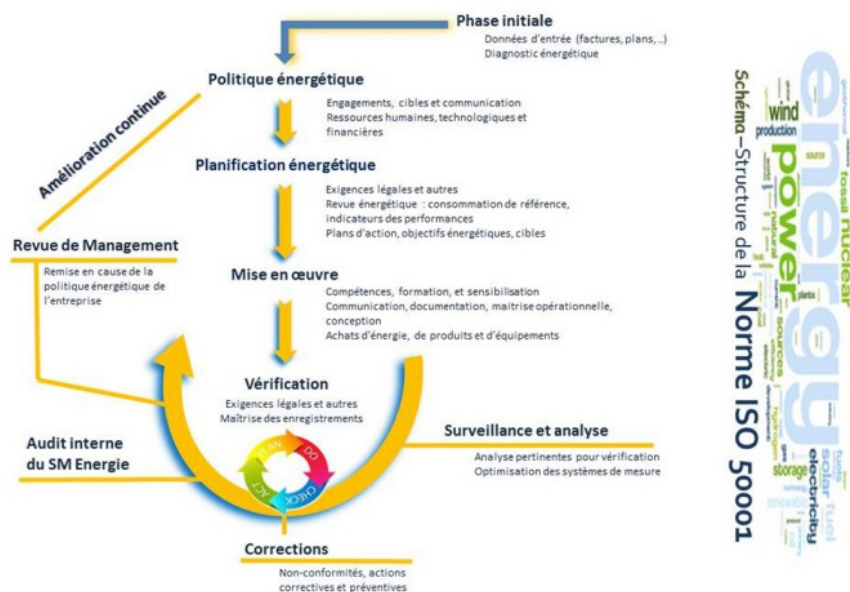
Bien sûr tout cela a pour but la standardisation en 2020 des bâtiments à énergie positive, c'est-à-dire qu'ils produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment.

Il existe des normes européennes fixées puisque les pouvoirs publics encouragent les entreprises à mieux gérer leur consommation d'énergie.

Avant tout, ISO veut dire Organisation Mondiale de la Normalisation, qui comme son nom l'indique établit et publie des normes internationales.

Une des plus connues qui met en place un management de l'énergie est la norme ISO 50001. Elle vise l'amélioration de la performance énergétique de tout organisme et donne la marche à suivre pour développer une gestion méthodique de l'énergie afin d'optimiser cette notion de performance énergétique, les objectifs principaux dictés par cette norme internationale sont de faire face à la rareté de l'énergie, à son augmentation durable de prix tout en contribuant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Cette norme ISO 50001 est un investissement non négligeable pour les entreprises, cependant ces dernières se voient valoriser de différentes façons, tel que la bonification de leur CEE (Certificat d'Economie d'Energie). De plus, le fait d'appliquer cette norme, exempte les entreprises de plus de 250 employés et dont le chiffre d'affaire est supérieur à 50 millions d'euros, à réaliser un audit tous les quatre ans comme l'oblige la directive de l'article 8 2012/27/UE.

Il y a plusieurs niveaux établis avec la norme ISO 50001, le premier permet une bonification de + 50% des CEE et le second une bonification de + 100% des CEE.



Selon l'Agence Internationale de l'Énergie, cette standardisation de pratiques de gestion de l'énergie permettrait d'économiser entre 5 et 22% d'énergie, principalement dans les pays développés.

C. Enjeux environnementaux

De nos jours le secteur du bâtiment doit intégrer les principes du développement durable. Le gouvernement prévoit, d'ici 2020, de généraliser les bâtiments à énergie positive. Tous les bâtiments devront produire plus d'énergie qu'ils n'en consomment. Le gouvernement prévoit également de réduire de 38 % la consommation d'énergie des parcs existants.

L'objectif de l'application des principes du développement durable au secteur du bâtiment est multiple. Il faut se préoccuper, entre autres, d'économiser les ressources naturelles, de limiter les émissions de gaz à effet de serre, de générer le moins de déchets possibles, de limiter les pollutions de l'eau, de l'air et des sol et de limiter les impacts sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment.

En France, le secteur du bâtiment constitue le plus gros consommateur d'énergie puisqu'il représente à lui seul 43 % de l'énergie finale totale consommée. Et cette consommation d'énergie a des répercussions importantes sur l'environnement.

Pourquoi faut-il limiter les impacts environnementaux du bâtiments ?

Il y a plusieurs réponses à cette question : la température augmente dangereusement à cause du réchauffement climatique. Les ressources énergétiques fossiles se raréfient de plus en plus. La consommation énergétique est trop importante et le bâtiment est, de loin, le secteur économique le plus énergivore.

L'un des grands enjeux du bâtiment est la maîtrise des consommations d'énergie afin de

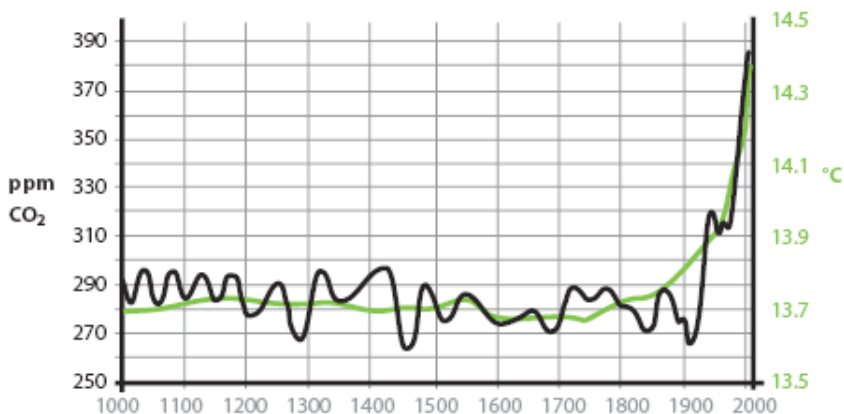
lutter contre les émissions de gaz à effet de serre et de préserver les ressources énergétiques.

En Europe, 95 % des émissions de CO₂ sont issues de la production et de l'utilisation de l'énergie. En France, le secteur du bâtiment est responsable de 25 % des émissions de gaz à effet de serre, c'est l'un des plus important producteur.

Limiter ces émissions permettrait de limiter le réchauffement climatique qui est le principal enjeu environnemental aujourd'hui. Une des solutions permettant de résoudre ce fléau serait d'isoler correctement et efficacement les bâtiments. En effet, une bonne isolation permet de réduire la consommation en énergie mais aussi de limiter les émissions de CO₂, qui génère une diminution des gaz à effet de serre.

Comme nous l'avons dit précédemment, le principal enjeu environnemental actuel reste le réchauffement climatique, ainsi le maintien de la chaleur à l'intérieur de l'habitat devient un critère primordial dans la construction d'infrastructures.

Depuis plus d'un siècle, le réchauffement climatique ne cesse d'accroître à cause des rejets de gaz à effet de serre de l'activité humaine, telle que la déforestation ou la consommation d'énergie fossile.

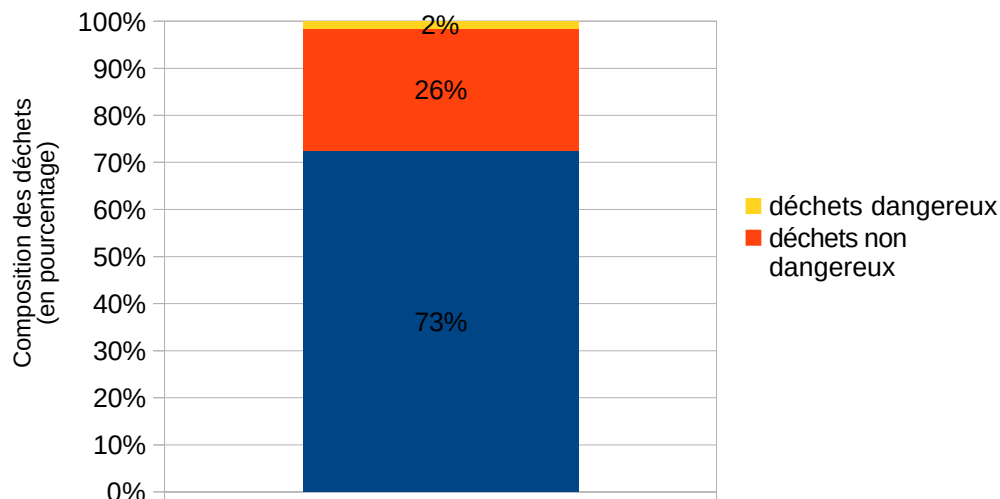


D'ici 90ans, on prévoit une augmentation de la température terrestre de plus de 2°C.

L'isolation thermique se trouve être une technique permettant de réduire les déperditions thermiques au travers des différents parois tels que les sols, les murs et les toitures. Elle permet également de limiter les consommations d'énergie liées au chauffage et à la climatisation, et aussi de diminuer les rejets de CO₂ et les émissions de gaz à effet de serres. Comme dit dans les parties précédentes, les sols, les toits, les murs et les ouvertures sont les principales fuites énergétiques de l'habitat, en effet les parois et façades sont responsables de 20 % des déperditions. Et c'est pourquoi, il faut renforcer l'isolation au niveau de ces différentes parties et essayer de mettre en place des solutions adaptées afin de réduire la consommation d'énergie. Par exemple, l'isolation des fenêtres sur les anciens bâtiments permettrait de réduire de 35 % les pertes d'énergie et de chaleur.

Le troisième enjeux environnemental, aujourd'hui, est la maîtrise des déchets. En France, nous produisons, au total, 868 millions de tonnes de déchets par an, le secteur du bâtiment est

responsable de la production de 38 millions de tonnes de déchets. Voici un graphe représentant la composition des ces déchets produits par le secteur du bâtiment :



En effet, 27,7 millions de tonnes sont des déchets inertes tels que les briques, le béton, les tuiles; 10 millions sont des déchets dangereux tels que les matières plastiques, les métaux, les laines minérales, le bois et 0,6 million sont considérés comme dangereux tel que la peinture, les solvants ou l'amiante. Certains déchets sont biodégradables ou recyclables et ne sont donc pas dangereux pour l'environnement. D'autres ne le sont pas et peuvent nuire à l'environnement s'ils ne sont pas correctement détruits. Certains matériaux, comme la laine de verre, sont difficilement recyclables et consomment aussi beaucoup d'énergie lors de la production. En effet, la laine de verre nécessite 3 à 8 fois plus d'énergie durant sa fabrication que d'autres isolants. Ainsi, il est préférable d'utiliser d'autres isolants d'origine minérale tels que la laine de bois, le lin, le chanvre ou même encore le coton.

D'ici 2020, le Grenelle de l'environnement a pour objectif de réduire de 38 % la consommation énergétique du parc existant, sa préoccupation première est la rénovation énergétique des logements afin de répondre aux enjeux liés aux changements climatiques. Depuis plus de 30 ans, la consommation d'énergie ne cesse d'accroître en partie à cause de l'augmentation de 41 % du parc des bâtiments.

Aujourd'hui, 21 millions de logements ont une efficacité énergétique supérieure à 300kWh/(m².an) ; 9 millions ont une efficacité énergétique comprise entre 300 et 800 kWh/(m².an) et seulement 1 million de logements ont une efficacité énergétique inférieure à 80kWh/(m².an). Ceci est dû au fait que 65 % du parc immobilier correspond à des logements datant d'avant 1975 qui ne respectent aucune réglementation.

Ainsi, toutes les rénovations énergétiques réalisées sont réservées aux entreprises qualifiées, bénéficiant de la mention « Reconnu Grenelle Environnement » afin de s'assurer de la qualité des travaux. De plus, la Fédération Française du Bâtiment souhaite que les diagnostics de performance énergétique soient plus fiables.

Depuis quelques années, les éco-quartiers se développent de plus en plus, leur objectif est d'améliorer la performance énergétique et le confort de vie des logements. Ces éco-quartiers

proposent des réalisations économiques et écologiques intéressantes dans l'emploi des matériaux.

Aujourd'hui, le secteur du bâtiment doit s'adapter aux contraintes environnementales et trouver un juste milieu entre une isolation efficace et respectueuse de l'environnement de sa fabrication jusqu'à sa fin de vie.

Ainsi, pour limiter et réduire l'impact environnemental du secteur du bâtiment, deux solutions reviennent régulièrement : l'éco-construction et l'éco-gestion.

9.4. Fiche de contacts

Dans le but de rendre notre projet plus concret, nous avons voulu faire la visite d'un chantier ou plusieurs selon les opportunités. Les innovations dans le domaine de l'efficacité énergétique sont nombreuses et ne cessent de s'agrandir, mais nous voulions voir ce qui se fait réellement sur les chantiers, quels sont les choix des ingénieurs, architectes et constructeurs dans la création d'une nouvelle structure ? Quel est l'impact du rapport qualité prix dans le choix des composants d'un bâtiment ?

Nous avons donc pris contact avec de nombreuses entreprises afin de réaliser ces visites. Mais notre recherche a plutôt été axée sur des bâtiments avec isolation par l'extérieur.

22/02/16	Envoie de mails aux entreprises suivantes : Maxime Dagicour et S.A.R.P.E. Puis, prise de contact téléphonique avec Bis rénovation qui ne fut pas très concluante car la responsable devait nous rappeler mais sans nouvelles.
29/02/16	Demande du contact, des visites de chantier Vinci de l'an passé faite uniquement avec les filles de première année de l'INSA et relance téléphonique au niveau de l'entreprise Bis rénovation. Cette dernière préfère ne pas nous prendre sur un chantier par rapport à un manque de temps mais aussi au niveau des responsabilités engendrées et nous conseille plutôt de prendre contact avec d'autres grandes entreprises présentes sur Rouen. Mais si nous ne trouvons pas nous pouvons reprendre contact avec elle.
08/03/16	Prise de contact avec un intermédiaire chez Bouygues Construction qui nous dirige vers un chantier en cours sur l'ancien emplacement du Hangar 108, qui sera le futur Hôtel de ville de la métropole rouennaise.
09/03/16	Première réponse de Monsieur Goisset (Direction des relations entreprises et de l'innovation INSA). Il nous déclare avoir pris connaissance de notre requête pour la demande de visite de chantier de l'Hôtel de Ville de la métropole rouennaise qui nous a paru adapté puisque ce sera un bâtiment basse consommation, mais qu'il attend l'accord de l'entreprise VINCI pour nous donner le contact.
15/03/16	Demande de contacts à l'enseignant Monsieur Benjamin Lagoutte, professeur du cours génie civil.
16/03/16	Réponse de Monsieur Lagoutte. Appelle du contact Ravalex qui nous renvoie vers Monsieur Erden, le chef, par mail.
11/04/16	Réponse positive de Monsieur Goisset, prise de contact avec Mathilde Vautier (Chargée de Missions RH et Responsable Relations Ecoles chez VINCI Construction)
25/04/16	Nous fixons une date pour la visite de chantier avec Mathilde Vautier le vendredi 20 Mai, elle nous met entre les mains de Laurent Pion, Directeur de Travaux sur le chantier de l'Hôtel de Ville de la métropole rouennaise.
20/05/16	Entretien avec Laurent Pion pour qu'on puisse lui soumettre nos différentes interrogations et visite du chantier dans son intégralité.