

## ISOLATION THERMIQUE ET EFFICACITE ENERGETIQUE



### ETUDIANTS

**AUBIN** Pauline  
**D'AURA** Victoria  
**FAGET** Ugo  
**PHAN** Thanh Huy

### ENSEIGNANT RESPONSABLE DU PROJET

**ABDUL AZIZ** Jamil



DATE DE REMISE DU RAPPORT : Lundi 12 juin 2017 à 8h00

REFERENCE DU PROJET : STPI / P6 / 2017 – 39

INTITULE DU PROJET : Efficacité énergétique et isolation thermique

TYPE DE PROJET : théorique, étude de cas (visite de chantier), expérimental (maquette)

OBJECTIFS DU PROJET :

- approfondir nos connaissances dans le domaine de l'efficacité énergétique, savoir définir ces termes et les enjeux de l'isolation thermique d'un bâtiment qui lui est associé
- travailler en équipe, savoir se répartir les tâches, s'organiser pour mettre en commun notre travail, prendre le temps de communiquer
- prendre contact avec des professionnels, leur poser des questions pertinentes pour mieux comprendre les enjeux énergétiques d'aujourd'hui et de demain
- réaliser une maquette pour visualiser l'efficacité énergétique, en tenant compte des conseils d'isolation que nous avons retenu de la visite de chantier
- réaliser un rapport complet et concis

MOTS-CLEFS DU PROJET :

- efficacité énergétique
- isolation thermique
- performance énergétique
- transfert de chaleur

TABLE DES MATIERES

I. L'EFFICACITE ENERGETIQUE.....	7
1. DEFINITION DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE (EE).....	7
2. LES DIFFERENTS MODES DE PROPAGATION.....	8
A. LE RAYONNEMENT .....	8
B. LA CONDUCTION .....	8
C. LA CONVECTION.....	10
II. ISOLATION THERMIQUE.....	11
1. CARACTERISTIQUES DE L'ISOLANT/TABLEAU DES DIFFERENTS ISOLANTS ET LEUR UTILISATION .....	11
A. DEFINITIONS : CONDUCTIVITE THERMIQUE ET RESISTANCE THERMIQUE .....	11
B. LES DIFFERENTS TYPES D'ISOLANTS.....	12
C. LES DIFFERENTES UTILISATIONS DES ISOLANTS .....	13
2. METHODES D'ISOLATION.....	14
A. LES MURS.....	14
B. LES PLANCHERS .....	15
C. LA TOITURE.....	16
3. PONTS THERMIQUES .....	17
A. QU'EST-CE QU'UN PONT THERMIQUE ? .....	17
B. LES PONTS THERMIQUES LINEAIRES, OU « 2D » .....	18
C. LES PONTS THERMIQUES PONCTUELS, OU « 3D ».....	18
III. ETUDE DE CAS .....	19
1. ECHANGE AVEC DES PROFESSIONNELS SUR LE CHANTIER DU 108.....	19
A. LE 108 EN QUELQUES CHIFFRES .....	19
B. UN BATIMENT PASSIF ET POSITIF.....	19
C. UN BATIMENT PASSIF CERTIFIE PASSIVHAUS.....	20
D. UNE CONSTRUCTION ENERGIE POSITIVE .....	21
E. LES LIMITES D'UNE TELLE STRUCTURE .....	22
2. MAQUETTE.....	24
a. DEMARCHE ET PROTOCOLES .....	24
b. LES EXPERIENCES .....	25
IV. Conclusion et perspectives d'évolution.....	29
V. SOURCES ET ANNEXES .....	31

## METHODOLOGIE

### DEROULEMENT DU TRAVAIL

Suite à notre toute première séance de projet P6 en début de semestre, nous nous sommes tout de suite penchés sur la recherche d'une visite de chantier afin de bien pouvoir l'organiser en amont. Nous avons contacté un certain nombre d'entreprises du bâtiment sur la région rouennaise notamment les entreprises SOGEA Construction et VINCI Construction, très actives en Haute-Normandie. Cependant, pour des raisons de sécurité, tous nos contacts ont refusé de faire une visite de chantier.

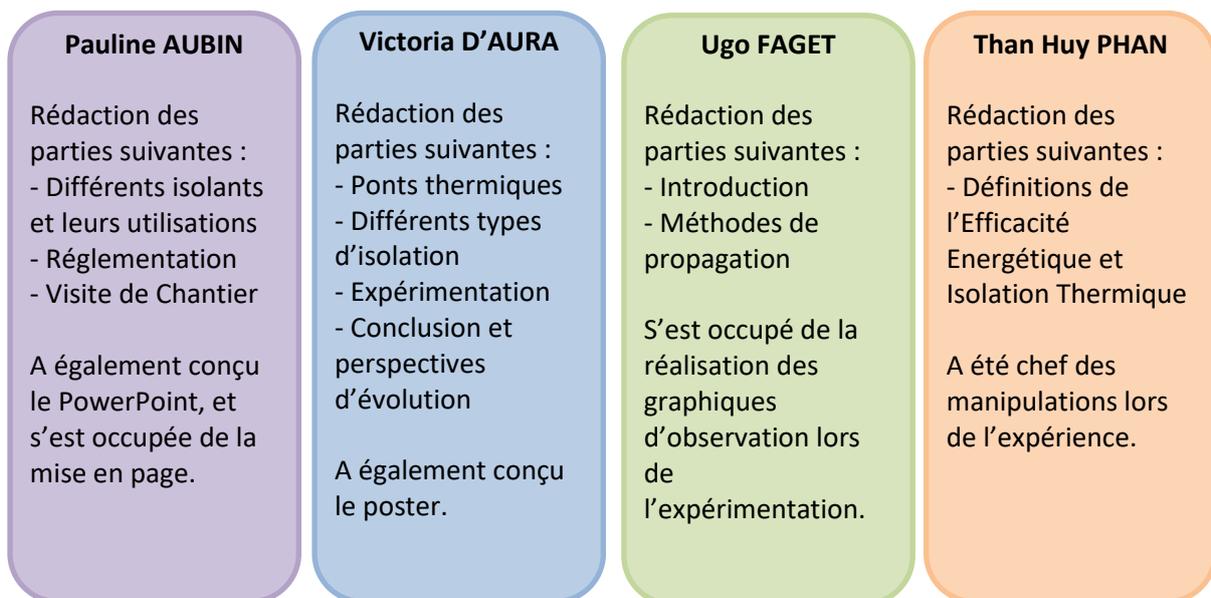
Nous avons alors regardé les plus gros chantiers en cours sur Rouen, et surtout ceux qui étaient liés de près à notre sujet : l'Efficacité énergétique et l'isolation thermique. Après un certain nombre de recherches, nous avons vu que la ville de Rouen, était en train de se tourner vers des constructions passives à énergie positive, dans le but de créer un éco quartier, l'éco quartier Flaubert.

Et c'est grâce à Madame Amélie PETIT, chargée de la maîtrise de l'énergie des bâtiments à la Métropole Rouen Normandie, que nous avons pu effectuer le visite de chantier du 108.

Afin de préparer au mieux cet entretien, nous avons rédigé une grande partie de notre rapport théorique dans l'objectif de bien définir les termes importants et de préparer des questions pertinentes. Pour cette rédaction, nous nous sommes définis un plan à suivre, et nous nous sommes répartis chaque partie.

Et c'est seulement suite à la visite de chantier que nous avons débuté l'expérimentation puisque notre objectif était d'illustrer notre visite par une maquette.

### ORGANIGRAMME



## REMERCIEMENTS

En préambule de ce rapport, nous tenions à remercier toutes les personnes ayant participé à la réalisation de ce projet.

Nous aimerions tout d'abord remercier notre responsable de projet M. Jamil ABDUL AZIZ pour son aide et ses conseils durant ces cinq mois de projet.

Nous tenions également à remercier Mme Amélie PETIT, sans qui la visite du chantier n'aurait jamais eu lieu, qui nous a guidés au travers de cette visite, et qui s'est révélée être une mine d'informations relatives à notre projet.

## INTRODUCTION

Depuis plus de 160 ans, les émissions de gaz à effet de serre (GES) ont subi une croissance exponentielle ; et cela est principalement dû à une consommation énergétique abusive.

Les effets de cette consommation se font ressentir directement à l'échelle de l'écosystème mondial, avec, en outre, la fonte des glaces, l'acidification et la hausse du niveau des océans, etc.

De ce fait, la réduction des fortes consommations énergétiques est devenue, au fil des années, un des enjeux majeurs du secteur du bâtiment, secteur représentant plus de 45 % des consommations d'énergie. Il est donc le premier consommateur d'énergie dans l'Union Européenne, et un des principaux responsables du réchauffement climatique.

Avec une augmentation de 3°C à 4°C de température moyenne, il est urgent de réagir. Pour cela, l'efficacité énergétique constitue l'un des piliers d'amélioration prioritaire.

En France, on constate que tous les logements construits avant les années 70 ne prenaient pas en compte l'idée de conservation et d'exploitation intelligente de l'énergie. L'on était concentré uniquement sur la production de cette dernière. Concernant les démarches visant à réguler les consommations, elles n'ont commencé à se développer il y a seulement une trentaine d'années. Ces bâtiments, que l'on appelle aujourd'hui « passoires énergétiques », font l'objet d'importantes rénovations. De plus, désormais, chaque nouvelle construction est soumise à des normes et des conditions énergétiques précises.

Il est donc légitime de se demander de quelles manières l'isolation thermique peut avoir un quelconque impact notre environnement. Plus précisément, en quoi les réglementations Françaises et Européennes, encadrant les techniques d'isolation et les consommations énergétiques, contribuent à la durabilité de notre confort de vie ? En quoi sont-elles efficaces, et en quoi constituent-elles une réponse aux déperditions et aux consommations énergétiques abusives de ces dernières décennies ?

Pour pouvoir comprendre et expliquer ces points, dans un premier temps nous nous sommes attardés sur l'aspect théorique du problème soulevé, en abordant notamment la définition de ce qu'est l'efficacité énergétique, et en détaillant ce en quoi consiste l'isolation thermique. Dans un second temps, nous avons eu la chance de pouvoir visiter un chantier avancé, d'un bâtiment se voulant être à énergie positive, dont toute la construction repose sur ces questions énergétiques. Puis, pour illustrer notre visite et mettre en exergue la théorie, nous avons mis au point plusieurs expériences réalisées sur une maquette de maison. Pour finir, nous évoquerons les perspectives d'avenir qui amènerait à une amélioration de l'efficacité énergétique.

## I. L'EFFICACITE ENERGETIQUE

### 1. DEFINITION DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE (EE)

L'efficacité énergétique désigne le rapport entre l'énergie produite par le système, nommée énergie utile, et l'énergie totale consommée pour le faire fonctionner. Ce rapport permet ainsi de déterminer le rendement énergétique d'une structure.

Cette notion d'efficacité énergétique est avant tout utilisée en physique, en thermodynamique, puisqu'elle permet de calculer le rendement de matériel de chauffage comme les pompes à chaleur, ou encore les moteurs.

Elle s'applique également au domaine du génie civil, dans le but d'une meilleure utilisation de l'énergie, afin de consommer moins. Dans le contexte actuel, les nouvelles constructions civiles, ainsi que la rénovation de vieilles bâtisses, se doivent de respecter des réglementations, dans l'objectif d'améliorer la performance énergétique.

L'efficacité énergétique se divise en deux grandes catégories: l'efficacité énergétique active et l'efficacité énergétique passive.

L'efficacité énergétique active vise à améliorer les systèmes techniques du bâtiment afin d'augmenter leur rendement énergétique. Il s'agit alors d'installer des systèmes intelligents capables de réguler et de contrôler la consommation électrique et énergétique des bâtiments, afin d'éviter les consommations inutiles.

Par exemple, des systèmes de chauffage intelligents, intégrant des systèmes électroniques, se développent, notamment les ouvrants de fenêtres qui permettent d'aérer automatiquement les bâtiments, surtout pendant la nuit, lorsque la température extérieure est favorable.

Ces équipements de nouvelle technologie permettent d'améliorer la performance énergétique de la structure.

L'efficacité énergétique passive est axée sur l'enveloppe du bâtiment. En effet, il s'agit dans ce cas d'isoler le bâtiment de sorte à former une enveloppe étanche à l'air afin de diminuer la consommation énergétique. L'isolation peut être interne ou externe.

L'isolation par l'extérieur consiste à envelopper le bâtiment, de sorte à former un manteau isolant thermique. Pour la rénovation, l'isolation par l'extérieur est privilégiée puisqu'elle n'oblige pas les résidents à quitter la structure durant la période des travaux. Cependant, cette méthode d'isolation est plus onéreuse.

L'isolation par l'intérieur vise à fixer les isolants sur la paroi interne des murs. Elle permet de traiter efficacement les ponts thermiques, et les ruptures entre les murs et les fenêtres.

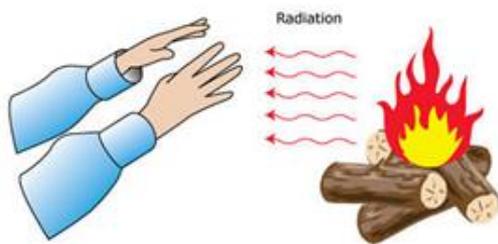
Dans notre rapport, nous allons nous intéresser à l'efficacité énergétique passive. En effet, nous allons nous concentrer sur l'isolation du bâtiment, aussi bien par l'intérieur que par l'extérieur.

Pour autant, l'efficacité énergétique passive et l'efficacité énergétique active sont complémentaires. L'isolation thermique du bâtiment, couplée à une amélioration des systèmes techniques, électriques et de chauffage, permettent de véritablement diminuer les coûts énergétiques et d'améliorer la performance énergétique du bâtiment.

## 2. LES DIFFERENTS MODES DE PROPAGATION

Chaque corps, atome, molécule ou groupement de molécules contient une quantité d'énergie définie comme étant de la chaleur. Cette énergie thermique peut être transmise d'un corps à un autre par l'intermédiaire de différents mode de propagation, au nombre de trois : la convection, la conduction et le rayonnement. Seul le rayonnement est un mode de propagation qui a lieu dans le vide. La convection et la conduction nécessitent de la matière pour se propager.

### a. LE RAYONNEMENT



Rayonnement thermique

Le rayonnement désigne l'émission ou la propagation d'énergie et de quantité de mouvement à partir d'une onde ou d'une particule.

Tout corps émet de l'énergie mais avec une intensité qui lui est propre. Par exemple, l'homme, tout comme le Soleil, émet un rayonnement, cependant, ce dernier est considéré comme négligeable comparé à l'énergie émise par une étoile comme le Soleil.

Il existe différents types de rayonnements. Parmi les plus connus on peut citer le rayonnement électromagnétique, le rayonnement corpusculaire, le rayonnement acoustique et le rayonnement gravitationnel.

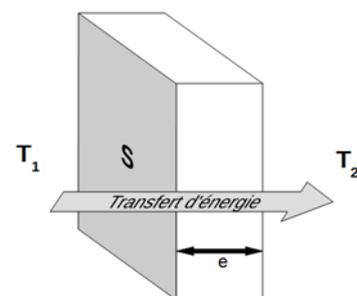
Le rayonnement électromagnétique désigne une forme de propagation linéaire, liée à la propagation de particules, et donc à l'émission d'ondes électromagnétiques comme par exemple: les rayons X, la lumière visible ou encore les infrarouges.

Le rayonnement corpusculaire, aussi nommé rayonnement ionisant, est un rayonnement d'énergie électromagnétique par l'intermédiaire de particules radioactives comme l'uranium ou le plutonium. Les rayons ionisants dépendent de la radioactivité des particules et de leur énergie. Ainsi, les trois types de rayonnements ionisants sont : alpha, bêta et gamma.

Le rayonnement gravitationnel, quant à lui, est directement lié aux ondes de gravitation.

### b. LA CONDUCTION

La conduction est un mode de transfert thermique dû à une différence de température entre deux surfaces. La conduction s'effectue sans transfert de matière et est irréversible. Elle est spécifique aux solides. Elle s'effectue lorsque deux systèmes de température différente sont en contact direct ou indirect (par l'intermédiaire d'un mur qui les sépare).



Principe de la conduction

Un exemple classique d'un transfert par conduction est un pied nu sur un parquet où le pied reçoit la chaleur du parquet si celui-ci est plus chaud et inversement.

La conduction peut être mesurée par la Loi de Fourier. En effet, on prend deux parois de surface 'S' et de températures  $T_1$  et  $T_2$  différentes ( $T_1 > T_2$ ), distantes d'une épaisseur 'e' et dont la matière qui sépare les parois est de conductivité thermique ' $\lambda$ '. Le flux thermique ' $\phi$ ' qui passe entre les deux peut être mesuré par la formule :

$$\phi = \frac{\lambda S}{e}(T_1 - T_2)$$

La conductivité thermique ' $\lambda$ ' est propre à chaque matériau. Puisqu'en effet, chaque matériau a ses propres spécificités, qui lui confère une conductivité différente d'un autre matériau. Elle a pour unité  $W.m^{-1}.K^{-1}$ . Plus la conductivité est élevée, plus le matériau conduit la chaleur.

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 :

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

$\phi$  : densité de flux thermique (en  $Wm^{-2}$ )

$\lambda$  : conductivité thermique (en  $W.m^{-1}.K^{-1}$ )

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

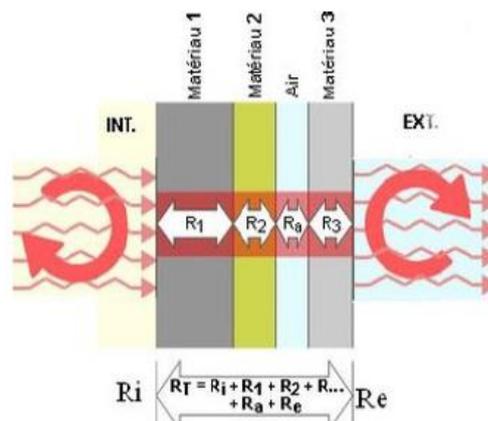
Une autre mesure qui caractérise encore mieux l'aptitude d'un matériau à endiguer le transfert de chaleur est la résistance thermique. Elle a pour unité  $m^2.K.W^{-1}$ . La résistance thermique caractérise la qualité de l'isolant : plus la résistance thermique est grande, plus le matériau est isolant.

La résistance thermique se calcule à partir de la conductivité thermique :

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

De plus, il ne faut pas oublier les résistances superficielles internes et externes ( $R_i$  et  $R_e$ ) de la paroi qui représentent ainsi les résistances d'échange au niveau des surfaces intérieures et extérieures. Ces différences permettent donc de définir la résistance totale d'une paroi par l'équation suivante :

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



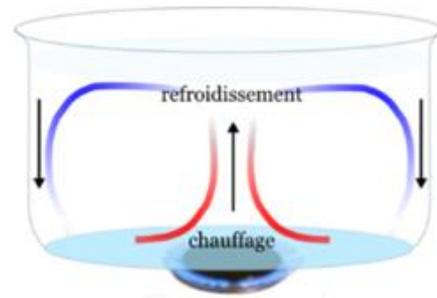
### c. LA CONVECTION

La convection consiste en un transfert thermique avec déplacement de matière, ce qui le différencie de la conduction. Ce mode de propagation est spécifique aux fluides, donc aussi bien un gaz qu'un liquide. La convection se fait grâce au mouvement des fluides. En effet, en se déplaçant, le fluide va transférer son énergie thermique aux autres fluides, permettant ainsi la convection. Ce transfert thermique est directement lié au déplacement des fluides, et donc au déplacement de la matière.

Deux types de convection existent : la convection forcée et la convection naturelle.

La convection forcée est produite lorsque des moyens externes au fluide entraînent un certain mouvement. On peut prendre l'exemple d'un ventilateur qui brasse de l'air.

La convection naturelle apparaît lorsque le fluide crée lui-même ce mouvement, c'est-à-dire que la différence de densités dans le fluide, ou entre les fluides, entraîne la convection. L'exemple caractéristique de la convection naturelle est l'eau qui bout. L'eau, dans le fond de la casserole, plus chaude et donc moins dense, remonte à la surface. Ce mouvement créé par le fluide, permet de propager la chaleur dans l'ensemble de la casserole.



Principe de la convection

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

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

$\phi$  : densité de flux thermique par convection

$h$  : coefficient de transfert de chaleur par convection

$T_p$  : température du solide à la surface

$T_\infty$  : température du fluide éloigné du solide

## II. ISOLATION THERMIQUE

### 1. CARACTERISTIQUES DE L'ISOLANT/TABLEAU DES DIFFERENTS ISOLANTS ET LEUR UTILISATION

#### a. DEFINITIONS : CONDUCTIVITE THERMIQUE ET RESISTANCE THERMIQUE

Contrairement aux métaux, les isolants thermiques ne conduisent pas la chaleur mais lui opposent une résistance. Et par conséquent, plus la résistance exercée par l'isolant est importante, alors plus l'isolation thermique est efficace.

La performance thermique d'un isolant est liée à la conductivité thermique  $\lambda$  du matériau et la résistance thermique R qui lui est associée.

La résistance thermique (R) s'exprime en  $m^2K/W$ . Elle correspond au rapport de l'épaisseur (en mètre) sur la conductivité thermique (W/mK) du matériau considéré.

La résistance thermique se définit comme la résistance aux flux de chaleur d'un matériau avec une épaisseur associée, c'est pourquoi elle est nécessaire pour définir la performance énergétique.

Ainsi, plus la résistance thermique est forte, alors plus le matériau considéré est isolant et donc performant. Un matériau est considéré comme isolant lorsque la résistance thermique est supérieure à  $0,5 m^2K/W$ .

La conductivité thermique ( $\lambda$ ) s'exprime en W/mK. Elle correspond à la capacité d'un isolant thermique à ne pas laisser passer la chaleur, en d'autres termes, à la quantité de chaleur pouvant être transférée par un matériau.

Ainsi, plus la conductivité thermique est faible, alors plus le matériau, à épaisseur égale, est isolant. Un matériau est considéré comme isolant lorsque la conductivité thermique est inférieure à  $0,06 W/mK$ .

<b>Comparatif des isolants actuels</b>			
	$\lambda$ en W/(mK)		R en M2K/W pour 200mm
	mini	maxi	
Laine de verre	0,032	0,040	5,00
Laine de roche	0,034	0,040	5,00
Laine de chanvre	0,041	0,044	4,55
Polystyrène (PSE)	0,031	0,038	5,26
Liège	0,029	0,035	5,71
Plume de canard	0,040	0,042	4,76
<b>Polyuréthane</b>	<b>0,021</b>	<b>0,028</b>	<b>7,14</b>
<b>Laine de bois</b>	<b>0,038</b>	<b>0,060</b>	<b>3,33</b>
Laine de mouton	0,039	0,042	4,76
Laine de lin	0,037	0,041	4,88
ouate de cellulose	0,038	0,040	5,00
Laine de coton	0,039	0,042	4,76

## b. LES DIFFERENTS TYPES D'ISOLANTS

Les isolants thermiques sont regroupés dans quatre grandes catégories selon leur origine. Les quatre types d'isolants sont : isolants naturels, isolants minéraux, isolants synthétiques et isolants nouvelle génération. Chaque famille d'isolants a des propriétés particulières en fonction de leur utilisation pour l'isolation d'un bâtiment.

### LES ISOLANTS SYNTHETIQUES

Les isolants synthétiques sont issus de la chimie du pétrole et du chlore, ils sont produits à partir de matières non renouvelables, selon des procédés de fabrication très consommateurs d'énergie. Ces isolants sont très nocifs à l'environnement puisqu'en effet, ils contiennent des substances qui appauvrissent la couche d'ozone et libèrent des gaz toxiques et mortels en cas d'incendie. Par conséquent, des substituts commencent à être développés et commercialisés, ceux-ci étant constitués de matériaux recyclés. Malgré leurs propriétés peu écologiques, les isolants synthétiques sont les plus utilisés pour isoler les bâtiments puisque ce sont d'excellents isolants thermiques.

*Quelques exemples : mousse de polyuréthane, polystyrène expansé ou encore polystyrène extrudé*

### LES ISOLANTS MINERAUX

Les isolants minéraux sont issus de matières naturelles abondantes telles que les roches volcaniques, le sable ou encore le verre recyclé présents en France et même en Europe. La plupart de ces isolants sont composés de matériaux recyclés. Leur élimination se fait en décharge, ces isolants sont entièrement recyclés, étant considérés comme de la matière inerte. Toutefois, leur fabrication est également très consommatrice d'énergie. Ces isolants sont réputés pour leur résistance au feu et leur longue durée de vie.

*Quelques exemples : laine de verre, laine de roche ou encore perlite*

### LES ISOLANTS NATURELS

Les isolants naturels sont issus de matières bio-renouvelables, aussi bien animales que végétales, et produit selon des procédés peu énergivores. Contrairement aux isolants minéraux, la matière première des isolants naturels n'est parfois pas très abondante et elle ne se trouve que dans certaines régions du globe. La majorité de ces isolants peuvent être détruits de manière écologique et sans danger, uniquement par compostage. Pour autant, certains de ces matériaux peuvent contenir du polyester, auquel cas, il faut tout de même faire attention au mode de fabrication avant de les détruire.

*Quelques exemples : chanvre, laine de mouton, paille, plumes de canard, laine de coton, liège ou encore laine de bois*

### LES ISOLANTS NOUVELLE GENERATION

Les isolants nouvelle génération utilisés dans le neuf, sont pour le moment très peu utilisés. Certains sont très performants et d'autres peu fiables. Ils ont pour objectifs d'être des isolants minces pour être utilisés notamment dans les combles, ou bien beaucoup plus imposants comme le béton cellulaire qui lui sert à la fois de mur portant et d'isolant.

*Quelques exemples : brique ou encore béton cellulaire*

### C. LES DIFFÉRENTES UTILISATIONS DES ISOLANTS

Les isolants ont tous des propriétés et un rendement qui leur sont propres. Ainsi, ils n'ont donc pas la même utilisation dans l'isolation d'un bâtiment.

Dans un bâtiment, l'isolation du toit est une priorité, puisqu'il s'agit du plus grand impact énergétique d'une maison mal isolée, à savoir 30% des déperditions de chaleur. Ensuite, l'isolation des murs représente entre 20 et 25% des pertes énergétiques.

Pour une isolation efficace, il faut compter environ 30 cm d'épaisseur d'isolants pour les combles, 20 cm pour les murs et 10 cm pour le sol. Bien évidemment, l'épaisseur est directement liée aux isolants utilisés, à leur performance énergétique, et à leur conductivité thermique. Aussi, il ne s'agit pas d'isoler un mur, par exemple, avec une seule couche de 20 cm d'épaisseur, mais plutôt de faire au minimum deux couches croisées pour plus d'efficacité.

## Comparatif global

Types isolants			Utilisation					Caractéristiques isolantes			
Origine	Isolants	Conditionnement	Mur	Plancher / comble perdu	Rampant	Support de couverture	Sol - Sous chape	Lambda en W/m.K	Épaisseur pour R=5 en cm	Prix TTC indicatif pour R=5	
Isolants synthétiques	Polystyrène expansé PSE	Panneaux	●	●	●	●	●	0,037 à 0,040	18 à 20	15 à 20 €	
		Laines minérales	Laine de verre	Rouleaux	●	●	●	●	●	0,035	17
		Laine de roche HD	Rouleaux	●	●	●	●	●	0,040	20	6 à 10 €
Isolants d'origine végétale	Fibre de bois	Panneaux souples	●	●	●				0,038 à 0,040	19 à 20	24 à 38 €
		Panneaux denses	●	●	●	●	●		0,037 à 0,046	18 à 23	36 à 75 €
	Ouate de cellulose	Vrac insufflé	●	●	●				0,038 à 0,044	19 à 22	10 à 15 €
		Vrac déversé		●					0,037 à 0,040	18 à 20	10 à 15 €
		Panneaux	●	●	●				0,039	20	38 à 42 €
	Liège	Vrac	●	●			⊙		0,040 à 0,045	20 à 22	28 à 42 €
		Panneaux	●	●	●	●	●		0,036 à 0,042*	18 à 21	45 à 71 €
	Laine de chanvre	Rouleaux	●	●	●				0,038 à 0,042	19 à 21	25 à 36 €
		Panneaux	●	●	●				0,038 à 0,042	19 à 21	20 à 40 €
	Chênevotte	Vrac	⊙	●	●		⊙		0,048	24	17 à 30 €
Laine de lin	Rouleaux	●	●	●				0,037	19	35 à 40 €	
	Panneaux	●	●	●				0,037 à 0,047	18 à 23	22 à 25 €	
Isolants d'origine animale	Laine de mouton	Rouleaux	●	●	●				0,035 à 0,042	17 à 21	20 à 28 €
		Panneaux	●	●	●				0,035 à 0,040	17 à 20	28 à 36 €

\* 0,049 pour liège blanc  
 ● : Utilisation conseillée  
 ⊙ : Utilisation possible en béton allégé

## 2. METHODES D'ISOLATION

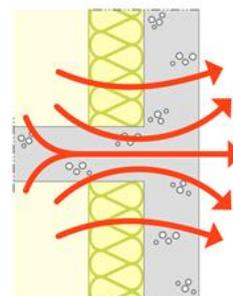
### a. LES MURS

Lors du choix de l'isolation des parois d'un bâtiment, de manière générale, deux problèmes se posent : tout d'abord, la continuité de l'isolation qui doit être assurée pour une isolation maximale et ainsi éviter des ponts thermiques supplémentaires, puis il y a l'inertie thermique, qui peut être un atout non négligeable et qu'il faut savoir utiliser afin de pouvoir optimiser la capacité du bâtiment à emmagasiner et restituer de la chaleur.

#### L'ISOLATION PAR L'INTERIEUR

La continuité de l'isolation, dans le cas de l'isolation par l'intérieur, est très délicate à assurer au niveau des murs porteurs intérieurs (murs de refend), mais également au niveau des planchers, des fondations, des plafonds, et balcons.

Concernant l'espace au sol, l'isolation par l'intérieur diminue l'espace intérieur disponible, puisque les parois ont épaissi depuis l'intérieur pour avoir une plus grande emprise au sol.

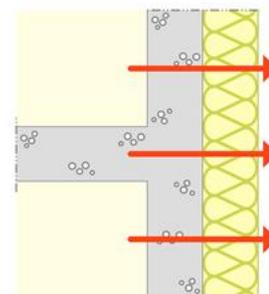


Isolation par l'intérieur

#### L'ISOLATION PAR L'EXTERIEUR

La continuité de l'isolation, dans le cas de l'isolation par l'extérieur, est plus simple à assurer. Contrairement à l'isolation par l'intérieur, le pont thermique causé par une fenêtre est la zone véritablement délicate à traiter efficacement, et dans le cas d'un balcon, ce pont thermique reste difficile à éviter.

Concernant l'esthétisme du bâtiment, l'isolation par l'extérieur modifie, en général, l'aspect extérieur.



Isolation par l'extérieur

#### L'ISOLATION PAR REMPLISSAGE DES COULISSES

L'isolant présent dans les coulisses des murs creux ne pourra être continu que si ces coulisses le sont, et qu'elles ne soient pas interrompues, notamment par des liaisons entre le parement et le mur porteur.

En ce qui concerne l'esthétisme et l'espace au sol à l'intérieur du bâtiment, l'isolation par remplissage de la coulisse n'a aucun effet sur eux, ni sur l'aspect de la finition à l'intérieur du bâtiment.

Cependant, en terme d'efficacité, elle reste limitée, et ce notamment par l'épaisseur disponible pour l'isolant.

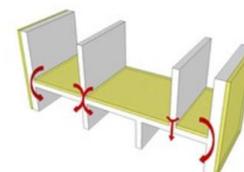
## b. LES PLANCHERS

Très similaire à l'isolation des murs, l'isolation des planchers peut se faire par le haut, méthode analogue à une isolation par l'extérieur, ou par le bas, méthode analogue à une isolation par l'intérieur, ou encore entre les éléments composant la structure, analogue quant à elle à une isolation par remplissage des coulisses.

### L'ISOLATION PAR LE HAUT

L'isolant est posé sur le plancher et est recouvert d'un revêtement ayant pour but de permettre la circulation.

L'isolation par le haut implique une nouvelle finition à la place de la finition déjà existante.

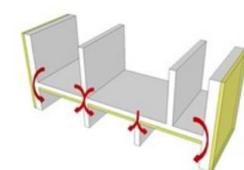


Isolation par le haut

### L'ISOLATION PAR LE BAS

L'isolant est fixé sur la face inférieure du plancher et peut être recouvert d'un parachèvement.

Toutefois, ce type d'isolation n'est pas faisable si le plancher est posé à même le sol.



Isolation par le bas

### L'ISOLATION ENTRE LES ELEMENTS COMPOSANT LA STRUCTURE

L'isolant est placé entre les éléments composant la structure entre la surface de circulation et le parachèvement inférieur.

Ce type d'isolation est uniquement faisable pour les planchers à ossature.

### COMPARAISON DE CES TROIS TYPES D'ISOLATION

Concernant les ponts thermiques, peu importe le type d'isolation, il est toujours compliqué de les éviter aux appuis du plancher, sur les murs de fondation et aux appuis des murs, en élévation sur le plancher ; en d'autres termes, où la couche isolante est interrompue.

Enfin, l'isolation par le bas permet d'utiliser l'inertie thermique du plancher, ce qui entraîne de plus faibles variations du climat intérieur des locaux. L'inertie permet de stocker de la chaleur et de limiter les surchauffes.

En revanche, pour ce qui est de l'isolation par le haut, celle-ci limite la capacité d'inertie à celle de la couche située au-dessus de l'isolant.

### CAS PARTICULIER D'UN CHAUFFAGE AU SOL :

Lorsque le plancher inférieur dispose d'un chauffage par le sol, les déperditions à travers celui-ci sont d'autant plus élevées.

En effet, la face intérieure du plancher est à une température plus élevée que la température extérieure (35 °C au lieu de 20 °C). Or, la déperdition thermique et la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur sont proportionnelles. Donc dans ce cas, l'isolant ne peut pas être placé au-dessus du plancher chauffant.

### C. LA TOITURE

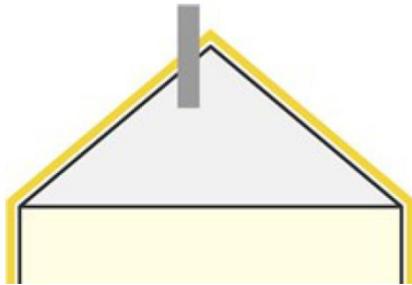
Il est crucial d'isoler cette partie du bâtiment. En effet, on compte 30% des déperditions d'énergie d'une structure par les toits.

Cette technique, délicate par la résolution des risques de condensation et ponts thermiques, consiste au placement d'isolation entre les éléments de structure.

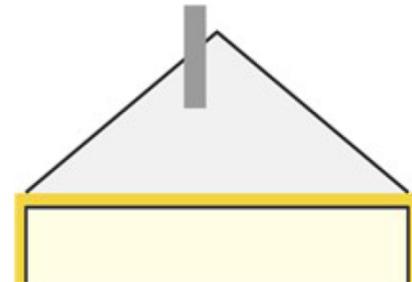
Combles perdus, ou combles aménagés, les techniques d'isolation divergent.

Dans le cadre où les combles ne sont prévus pour être chauffés, ils sont nommés combles perdus. De ce fait, le plancher de ceux-ci constitue la limite supérieure de l'espace protégé. C'est donc à ce niveau que doit être posé l'isolant et son pare-vapeur éventuel. Ainsi, on évite de chauffer inutilement une masse d'air.

En revanche, si l'on désire aménager des combles, et ainsi rendre l'espace des combles habitable, il s'agira d'isoler dans le versant de la toiture.



Isolation dans le versant de la toiture



Isolation dans le plancher des combles

### 3. PONTS THERMIQUES

#### a. QU'EST-CE QU'UN PONT THERMIQUE ?

Un pont thermique est un point de la paroi subissant une discontinuité telle, qu'elle entraîne une variation locale des pertes d'énergie.

Il découle généralement de deux contraintes : constructives et géométriques.

#### CONSTRUCTIVES

Il s'agit d'une discontinuité de la couche isolante au niveau de certaines zones de la paroi, dans la mesure où la majorité des isolants présentent des limites de résistance aux contraintes mécaniques.

#### GEOMETRIQUES

Au niveau des jonctions et des coins, l'aire extérieure est supérieure à l'aire intérieure, la surface chauffée est alors plus petite, entraînant donc un pont thermique.

Les ponts thermiques provoquent ainsi d'importantes dépenses énergétiques, génèrent également un inconfort, et causent aussi la forte détérioration des matériaux.

La figure ci-contre décrit les pourcentages de déperditions dues aux ponts thermiques, en fonction de leur position. Ces pourcentages varient également en fonction du degré d'isolation de la paroi.

Sont distingués les ponts thermiques de liaison (PTL), causés par une interruption de l'isolation à un lieu de rencontre entre deux ou trois parois du bâtiment, et les ponts thermiques intégrés (PTI), dus à l'interruption, voire la dégradation de l'isolant de la paroi.



Principales déperditions thermiques

Il existe trois grandes catégories de ponts thermiques :

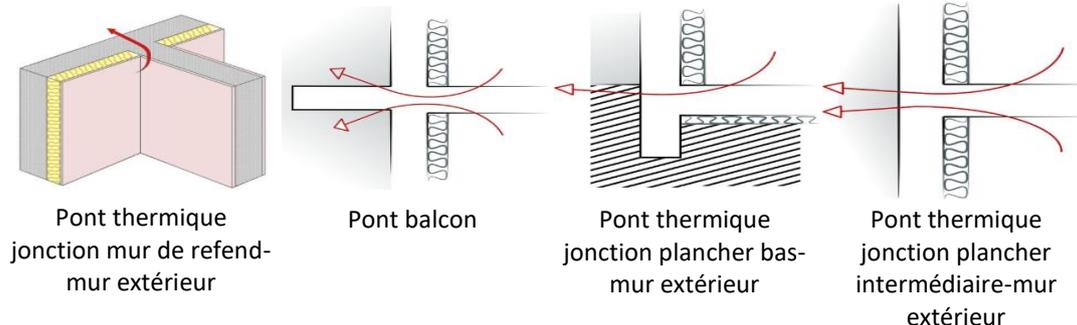
- Les ponts thermiques linéaires qui sont les plus importants puisqu'ils se situent à la jonction entre le plancher bas, haut ou intermédiaire et le mur extérieur ;
- Les ponts thermiques ponctuels qui se situent à la jonction de trois parois, comme à l'angle entre le plancher et deux murs ;
- Les ponts thermiques structurels qui sont directement liés à la technique de mis en œuvre d'un isolant.

b. LES PONTS THERMIQUES LINEAIRES, OU « 2D »

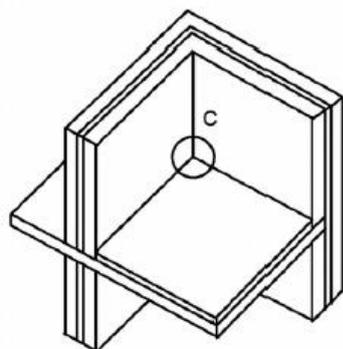
L'interruption de l'isolation au niveau des planchers hauts, planchers bas, des refends, des fenêtres, portes fenêtres, portes extérieures, et des balcons génère d'importantes pertes de chaleur. On parle alors de ponts thermiques des liaisons, qui sont caractérisés par un coefficient  $\Psi$ , exprimé en  $W/(m.K)$ . Ce coefficient représente la transmission linéique de la chaleur, ramenée à un écart en Kelvin entre l'ambiance intérieure et extérieure.

Il représente le flux thermique stationnaire divisé par la longueur et la différence de température entre les ambiances de part et d'autre du pont thermique linéaire.

Les ponts thermiques les plus courants sont :



c. LES PONTS THERMIQUES PONCTUELS, OU « 3D »



Pont thermique ponctuel

La pénétration totale ou partielle de l'enveloppe du bâtiment par des matériaux ayant une conductivité thermique différente crée des ponts thermiques ponctuels. Par exemple, les tiges métalliques utilisées pour fixer au mur vertical des panneaux de laine de verre créent des ponts thermiques ponctuels.

Les ponts thermiques ponctuels sont caractérisés par un coefficient ponctuel  $\chi$ , exprimé en  $W/K$ . Ce coefficient représente la déperdition due à une perturbation ponctuelle de l'isolation pour une différence de température en Kelvin entre l'ambiance intérieure et extérieure.

Il représente le flux thermique stationnaire divisé par la différence de température entre les ambiances de part et d'autre d'un pont thermique ponctuel.

d. QUE FAIRE POUR TRAITER EFFICACEMENT LES PONTS THERMIQUES ?

Selon la méthode d'isolation utilisée, les ponts thermiques sont plus ou moins bien traités, mais ils ne sont pas complètement supprimés.

Dans toute construction, des ponts thermiques sont présents, malgré l'isolation mise en œuvre. Cela ne veut pas dire qu'il faut s'en inquiéter, puisqu'un pont thermique bien traité, n'a pas de grande incidence sur la température intérieure ou la consommation.

Il ne faut pas confondre un pont thermique non traité avec une infiltration d'air : le premier laisse passer la chaleur parce qu'il n'y a pas ou trop peu d'isolant, la seconde est un passage qui permet à l'air de rentrer et de sortir, créant des courants d'air et donc, indirectement, des déperditions d'énergie.

### III. ETUDE DE CAS

#### 1. ECHANGE AVEC DES PROFESSIONNELS SUR LE CHANTIER DU 108

Le jeudi 27 avril 2017, nous avons pu, grâce à Madame PETIT, effectuer la visite de chantier du 108, situé sur la rive gauche, dans le cadre de notre projet.

Le 108 deviendra, en juin 2017, le siège de la métropole, aujourd'hui réparti sur plusieurs sites dans la région rouennaise. Madame PETIT, chargée de la maîtrise de l'énergie des bâtiments, à la direction des Bâtiments de la Métropole, nous a fait faire une visite de ce chantier, bientôt terminé, et a pris le temps de répondre à toutes nos interrogations.

##### a. LE 108 EN QUELQUES CHIFFRES

Le 108 se nomme ainsi puisqu'il a été construit sur le terrain de l'ancien hangar 108 sur la rive gauche de Rouen. Les travaux ont débuté en juillet 2015, par la destruction de l'ancien hangar.

Ce site est conçu pour accueillir 350 occupants de la Métropole, afin de réunir plusieurs services répartis à ce jour dans différents locaux. Ce bâtiment utilise toute la surface au sol qui lui est autorisée, à savoir 12 400 m<sup>2</sup> de surfaces de plancher, soit 8 165 m<sup>2</sup> de surfaces utiles (hors murs, ascenseurs...). Ainsi, le gros œuvre a nécessité 26 000 heures de travail. Cette structure est estimée à 20 millions d'euros.

##### b. UN BATIMENT PASSIF ET POSITIF

Le 108 est situé dans l'éco quartier Flaubert, qui est en train de se développer et qui a pour but, d'ici quelques années, de devenir un quartier entièrement autonome.

Ce bâtiment est très performant, il est à la fois passif et correspond aux normes de construction énergie positive.

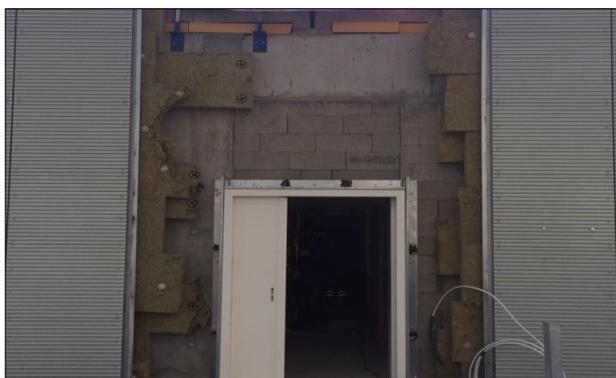
En effet, le bâtiment est labellisé PassivHaus, ce qui assure des méthodes de construction fiables, et une diminution de la consommation énergétique.

Le label BEPOS, quant à lui, permet de reconnaître une habitation comme construction positive, et permet ainsi d'obtenir des subventions de l'État, pour notamment encourager à construire des structures positives. Toutefois, ce label coûte très cher, et le 108 a dû fournir des études très poussées pour obtenir les subventions de l'État, sans pour autant avoir investi dans le label.

### C. UN BATIMENT PASSIF CERTIFIE PASSIVHAUS

Le label PassivHaus est d'origine allemande et existe depuis environ 20 ans. Ce label énergétique garantit une méthode de construction fiable qui diminue considérablement la consommation énergétique d'un bâtiment.

Pour se faire, le 108 a été entièrement isolé par l'extérieur avec des isolants ayant une très faible conductivité thermique. Afin de réduire les déperditions de chaleur, les isolants sont placés de façon à se chevaucher et sont fixés avec des embouts en plastique puisqu'ils conduisent moins la chaleur.



Isolation par l'extérieur: le chevauchement



Isolation par l'extérieur: la fixation



Isolation par l'intérieur et menuiseries

De plus, les ponts thermiques sont beaucoup mieux traités, notamment grâce à des menuiseries très étanches, qui permettent ainsi de diminuer les risques de condensation. En effet, le bâtiment est entièrement vitré, avec du triple vitrage, pour des raisons esthétiques entièrement choisies par l'architecte. Cependant, la surface des vitres étaient à l'origine trop grandes, ce qui ne permettait pas de traiter efficacement les ponts thermiques. La hauteur des vitres a donc été réétudiée, et elles ont été diminuées de quelques centimètres, ce qui a rendu le bâtiment beaucoup plus étanche à l'air puisque la surface de béton entre chaque étage a ainsi été augmentée. Le béton est très étanche à l'air. Ainsi, des jonctions menuiserie-béton, ont été mises en place, qui sont des membranes, une fois encore, étanches à l'air.

Le bâtiment est donc entièrement étanche à l'air à l'intérieur, et entièrement étanche à l'eau à l'extérieur. Cette étanchéité répond aux mesures instaurées par le label PassivHaus.

Afin de s'assurer que la structure est parfaitement étanche, des tests d'étanchéité à l'air ont été effectués dans différentes parties du bâtiment. Ces tests consistent à enfumer une salle, et de voir par où la fumée s'échappe. Ces tests ont permis de mettre en avant quelques défauts au niveau de la structure qui ont été aussitôt corrigés. Un test global, dans l'ensemble du bâtiment, est prévu fin mai, avant l'inauguration début juin.

Par ailleurs, le label PassivHaus prévoit des équipements techniques plus efficaces. Toujours dans un but de réduire les consommations d'énergies, des sondes ont été installées dans les sous-sols de la structure pour effectuer la géothermie par sondes. La géothermie par sondes prévoit une faible utilisation du chauffage en hiver et un refroidissement des locaux en été. La géothermie par sondes consiste à installer une centaine de sondes, qui sont implantées dans la croûte terrestre à environ 150-200 mètres de profondeur, où la température est d'environ 13°C. Ainsi, ces sondes sont liées au réseau de chauffage qui permet d'apporter une température plutôt élevée en hiver (puisque 13°C en hiver contre des températures nulles voire négatives à l'extérieur du bâtiment) et une température plutôt faible pendant l'été.

Bien évidemment, des pompes à chaleur réversibles prennent le relais, notamment dans des zones qui ont besoin d'être refroidies de manière permanente, comme la reprographie et les salles informatiques.

Toujours dans une optique de bâtiment passif, qui consomme très peu, et où le confort des occupants est un mot d'ordre, il est important pendant l'été que la structure soit intelligente, afin de préserver un maximum de fraîcheur à l'intérieur des locaux, malgré son imposante surface vitrée.

Pour se faire, le côté sud du bâtiment est muni de stores, qui permettent de limiter l'apport solaire, le rayonnement solaire.

De plus, l'inertie du béton permet de capter la fraîcheur accumulée pendant la nuit afin de l'exploiter pendant la journée.

Enfin, les fenêtres sont munies d'un système intelligent qui permet la ventilation naturelle nocturne par ouvrants motorisés. Grâce à une station météo située sur le toit, les fenêtres s'ouvrent en pleine nuit d'été lorsqu'il ne pleut pas, et lorsque les températures sont agréables, afin de rafraîchir le bâtiment et d'aérer, ce qui n'est pas toujours très évident pendant une journée d'été très chaude et ensoleillée.

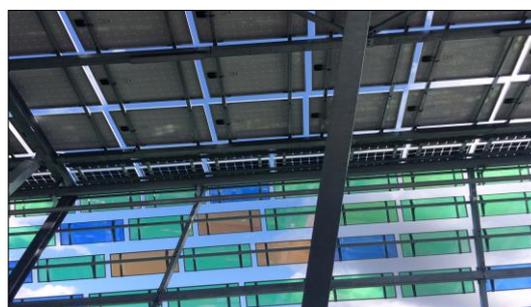
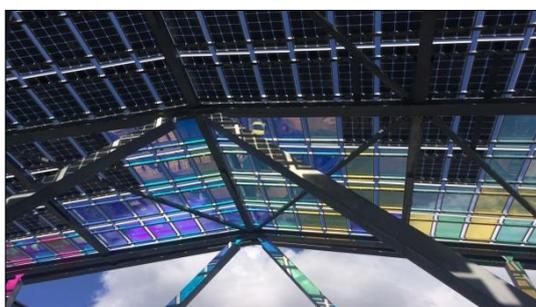


Station météo

#### d. UNE CONSTRUCTION ENERGIE POSITIVE

Une construction énergie positive signifie que le bâtiment produit plus d'énergie qu'il n'en utilise, ce qui implique par conséquent l'installation de structures d'énergies renouvelables.

Le 108 a misé sur les panneaux solaires. Il en est entièrement recouvert, et en utilise trois différents. En effet, 2 000 m<sup>2</sup> de panneaux de 354 kWc ont été installés sur tous les côtés de la structure, représentant ainsi une énergie produite d'environ 300 816 kWh par an.



Afin d'obtenir les subventions de l'État, des études très poussées ont été effectuées afin d'estimer au mieux la consommation totale d'énergie, jusqu'à prendre en compte l'énergie nécessaire pour les machines à café.



Panneaux SunPower



Panneaux dichroïques : non actif(en haut) et actif(en bas)

Trois types de panneaux photovoltaïques ont été mis en place. Sur le toit du bâtiment, des panneaux solaires SunPower ont été installés. Ces modules solaires offrent une performance et un rendement jamais atteints à ce jour. Ces panneaux sont, au jour d'aujourd'hui, les meilleurs sur le marché de l'énergie.

Pour des raisons esthétiques, les modules SunPower n'ont pas été retenus pour recouvrir toute la surface du bâtiment. A la place, le choix de l'architecte s'est porté sur des panneaux dichroïques qui sont des panneaux solaires colorés, qui offrent un design exclusif et poétique et qui permettent, en même temps, de recueillir de l'énergie solaire. Deux types de panneaux dichroïques ont été utilisés: les panneaux actifs et les non actifs. Les panneaux actifs ont été disposés sur la façade sud du bâtiment, celle plus exposée au soleil. En effet, ces panneaux ont un meilleur rendement et une performance plus importante que les non actifs. Les actifs se distinguent des non actifs visuellement, puisque les panneaux photovoltaïques sont visibles sur les actifs, tandis que les non actifs, ressemblent plus à de simples vitres teintées.

Tous les panneaux photovoltaïques du 108 ont été fixés, ils ne s'inclinent pas en fonction du soleil. Pour autant, chaque panneau a été fixé selon un angle calculé au préalable afin d'optimiser l'apport solaire.

Par conséquent, dans les conditions actuelles, et en fonction des multiples calculs effectués, la structure serait capable, grâce aux panneaux solaires, et à toutes les mesures mises en place pour diminuer la consommation d'énergie (géothermie par sondes, ventilation nocturne motorisée, plancher chauffant, panneaux rayonnants, bâtiment étanche à l'air...), d'être complètement autonome.



Plancher chauffant

#### e. LES LIMITES D'UNE TELLE STRUCTURE

L'apport d'énergie des photovoltaïques a été calculé grâce à des moyennes faites sur plusieurs années du rayonnement solaire, du nombre de jour de temps ensoleillé, des moyennes de températures... Et tous ces calculs ont élevé à 300 816 kWh par an, l'énergie apportée par les panneaux solaires. Cette énergie permettra de compenser, approximativement, la consommation énergétique du bâtiment soit environ 300 000 kWh par an. Dans de telles conditions, la bâtiment ne sera pas réellement une construction positive, puisqu'il n'est pas conçu pour créer plus d'énergie mais seulement de compenser ce qu'il consomme.

Pour autant, l'ensoleillement change chaque année, les températures varient, et ainsi, les statistiques peuvent s'éloigner de la réalité.

Prenons le cas d'une année très nuageuse, l'apport solaire sera tel que les panneaux solaires ne seront pas très performants, et ainsi, le bâtiment ne sera pas une construction positive mais plutôt négative.

Il serait alors envisageable, sur plusieurs années, de créer un "stock d'énergie" qui permettrait durant les bonnes années de stocker le surplus d'énergie afin de compenser les mauvaises.

Mais à ce jour, aucune méthode efficace n'existe pour stocker l'énergie créée par un bâtiment. Autre possibilité: le 108 pourrait revendre ce surplus. Malheureusement, le 108, bientôt le nouveau siège de la Métropole, est un bâtiment entièrement public, à ce titre, il ne fait aucun bénéfice. Or, si le 108 se met à revendre l'énergie qu'il produit, il fera des bénéfices, et sera obligé de payer des frais dus à la réglementation en vigueur, ce qui n'est pas du tout avantageux.

A l'heure actuelle, l'un des principaux problèmes de cette structure est le surplus d'énergie. Si à la fin d'une belle année ensoleillée, l'énergie produite par les panneaux solaires est bien supérieure à l'énergie consommée par le bâtiment, alors cette énergie sera perdue, ce qui représente une perte considérable pour les années où l'énergie apportée sera inférieure à l'énergie consommée. La Métropole est donc en train de chercher des solutions pour stocker cette énergie dans des centrales, pour être à même de l'utiliser dans les années où la construction sera négative.

## 2. MAQUETTE

### a. DEMARCHE ET PROTOCOLES

#### DEMARCHE

Dans le cadre de ce projet, la réalisation d'une partie expérimentale nous a été fortement conseillée.

Cela nous permet ainsi d'illustrer ce qui a été dit plus haut, lors de notre visite de chantier. Ainsi, nous avons décidé de réaliser diverses expériences dans le cadre d'une isolation par l'extérieur, avec l'objectif, tout d'abord de comparer deux isolants, à savoir le liège et le polystyrène, puis de comparer deux types de toit, et enfin superposer les deux isolants, dans un sens puis dans l'autre.

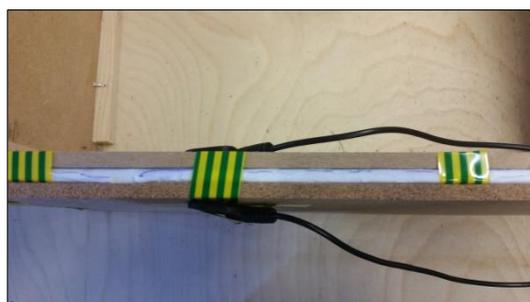
Le but étant de trouver la meilleure configuration, en termes d'isolation thermique.

En amont de ces expériences, nous avons fait plusieurs hypothèses :

- La maquette est chauffée de l'intérieur, par une ampoule halogène.
- Nous sommes en présence d'un régime stationnaire.

De plus, des paramètres fixes ont été établis :

- Un Thermocouple, placé à l'intérieur de la maquette, le long de la "petite" façade, prenant ainsi la température intérieure.
- Un second Thermocouple, placé au même endroit que le premier, de l'autre côté de cette façade, prenant la température extérieure le long de la maquette.



Positionnement des thermocouples

Enfin, nous avons fait le choix de reprendre la maquette construite l'an passé. Celle datant d'il y a deux ans avait été construite dans le but de travailler sur une isolation par l'intérieur, elle ne correspondait donc pas à notre objectif : illustrer la visite de chantier au travers d'une maquette munie d'une isolation par l'extérieur. La maquette de l'an passé, simple et en excellent état nous paraissait être adéquate.

## PROTOCOLE

Nous avons, au total, réalisé six expériences.  
Le déroulement, son protocole, a été appliqué à l'identique chaque fois.

Une fois la maquette prête, nous relevons la température intérieure (Tint) et la température extérieure (Text), puis, simultanément, nous branchons l'ampoule et enclenchons le chronomètre. On relève ensuite, dans un fichier Excel, toutes les trente secondes, les deux températures.

Lorsque Tint atteint environ 41.3 °C, nous débranchons l'ampoule. Le chronomètre toujours en marche, on relève alors de nouveau les deux températures toutes les trente secondes.

Lorsque Tint atteint environ 28.3°C, la manipulation est terminée.

Ainsi, on fixe l'intervalle de température, et on observe l'évolution de celle-ci au cours du temps.

Les paramètres Tint = 41.3°C et Tint = 28.3°C, ont été définis lors de l'expérience à vide, sur une maquette nue (sans isolant sur les murs) avec comme toit celui en ardoise et doublé d'une isolation en laine. Nous avons allumé l'ampoule, pris les valeurs de Tint minimum et Tint maximum lorsque l'équilibre était atteint, et de même après avoir débranché l'ampoule.

### b. LES EXPERIENCES

#### MANIPULATIONS



La maquette nue, avec le premier toit (recouvert de tuiles avec une doublure remplie de laine)



La maquette, avec le même toit, et du polystyrène posé tout autour des parois



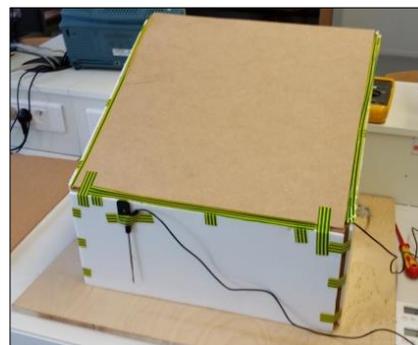
La maquette, avec le premier toit, et du liège posé tout autour des parois



La maquette nue, avec le second toit (simple)

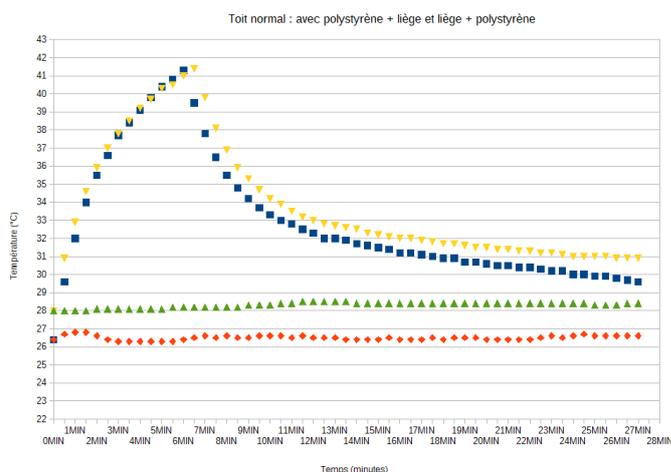
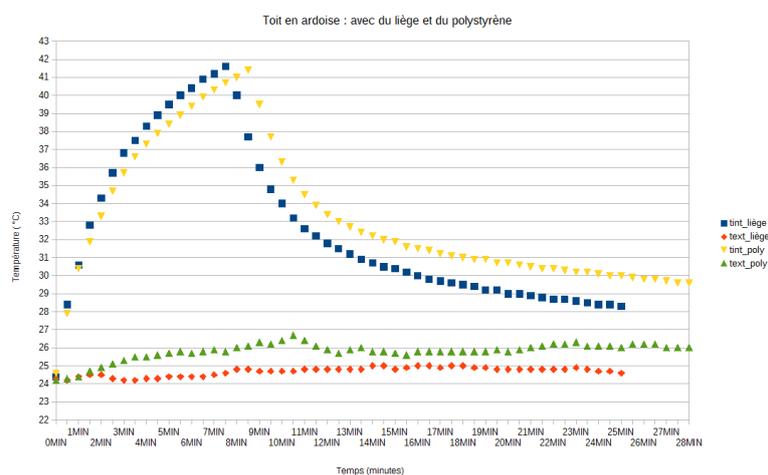
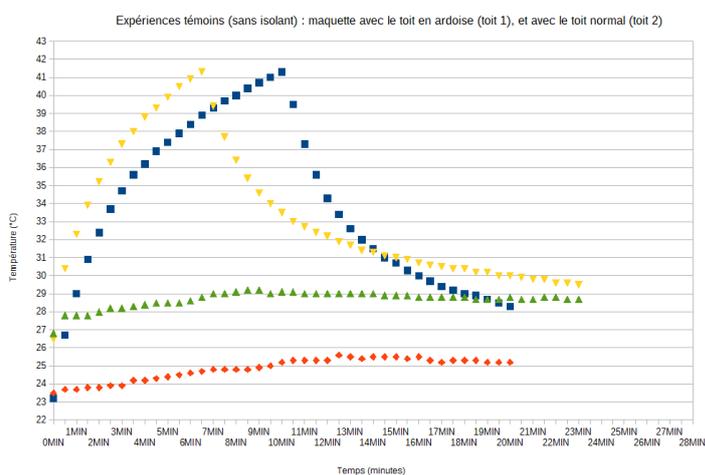


La maquette, avec le second toit, et du polystyrène PUIS du liège autour des parois



La maquette, avec le second toit, et du liège PUIS du polystyrène autour des parois

Après avoir reporté les températures dans un fichier Excel, nous avons fait un graphique, pour chacune des 6 expériences, de l'évolution de la température au cours du temps. Mis les uns en dessous des autres, et à une même échelle, cela nous permet de constater les différences entre les isolants, et si oui ou non l'ordre importe, et nous permet également de sélectionner le meilleur toit en terme d'isolation, pour ainsi aboutir à la meilleure configuration.



Ainsi, on constate d'après les graphiques que :

Entre les 2 toits, celui qui arrive à garder le plus de chaleur à l'intérieur est le toit 1, à savoir celui recouvert de tuiles. Il y a moins de déperditions.

Entre le liège et le polystyrène, le plus isolant est le polystyrène.

Quant à l'ordre dans lequel on pose les isolants, dans notre cas, dans un sens comme dans l'autre on obtient une bonne isolation. On note toutefois qu'en posant d'abord le liège puis le polystyrène, une fois l'ampoule débranchée, la chaleur s'échappe relativement moins, mais pas de manière très significative.

En d'autres termes, et pour conclure, la meilleure isolation par l'extérieur faite à partir des matériaux et toits dont nous disposons seraient la suivante :

- un toit recouvert de tuiles en ardoise, avec une doublure remplie de laine
- 2 isolants, en posant tout d'abord le liège, puis le polystyrène.



Isolation la plus performante: 2 isolants, liège puis polystyrène

Bien entendu, les conditions expérimentales étant ce qu'elles sont, nous ne sommes pas à l'abri d'erreurs expérimentales. Notamment concernant la 6ème expérience, la température ambiante étant de 28°C ce jour-là, l'évolution est sensiblement différente de ce qu'elle aurait été si nous avions pu reproduire les conditions expérimentales de la 4ème expérience. De plus, ici, il s'agit d'une maquette ; à cette échelle, certains ponts thermiques n'ont pas pu être traités.



Pont thermique dû au passage du fil du thermocouple situé à l'intérieur de la maquette

### RESULTATS : LES CALCULS DE FLUX THERMIQUE

Avec les mesures de températures faites durant nos six expériences, nous allons maintenant pouvoir procéder à la partie exploitation par le calcul.

Le but est de calculer le flux thermique qui traverse une paroi. Comme paroi, nous avons choisi la petite paroi à l'avant de la maquette étant donné que les deux thermocouples étaient disposés de part et d'autre pour chaque expérience.

Pour calculer le flux thermique d'un isolant, il faut en même temps calculer la résistance thermique de ce matériau.

Pour le flux thermique on applique la loi de Fourier : 
$$\phi = \frac{\lambda S}{e}(T_1 - T_2)$$

$\phi$  : densité de flux thermique (en  $Wm^{-2}$ )  
 $\lambda$  : conductivité thermique (en  $W.m^{-1}.K^{-1}$ )  
 $S$  : surface ( $m^2$ )  
 $e$  : épaisseur de la paroi (m)

Ainsi, on retrouve la formule de la résistance thermique, qui est directement liée à la conductivité thermique :

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

Tous les isolants et murs de la maquette que nous avons à disposition avait une épaisseur identique, ainsi :

$$e(\text{mur}) = e(\text{polystyrène}) = e(\text{liège}) = 6 \text{ mm} = 0.006 \text{ m}$$

La surface de la petite paroi à l'avant de la maquette est :

$$S = 452 \times 20 = 904 \text{ cm}^2 = 0.09 \text{ m}^2$$

De plus, on connaît les conductivités thermiques des matériaux utilisés :

$$\lambda(\text{mur}) = 0.017 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\lambda(\text{polystyrène}) = 0.036 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\lambda(\text{liège}) = 0.040 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Reste à fixer un  $\Delta T$  constant, pour pouvoir comparer uniquement les variations de flux en fonction de l'isolant utilisé. Dans chaque expérience, nous éteignons la lampe lorsque l'intérieur de la maquette était à 41.3°C, et on attendait que la température redescende à environ 29°C. Nous allons donc prendre un  $\Delta T = 41 - 29 = 12^\circ\text{C} = 285 \text{ K}$ .

Flux thermique à travers le mur avant seul :

$$\varphi = \left( \frac{e(\text{mur})}{\lambda(\text{mur}) \times S} \right)^{-1} \times \Delta T = 72.67 \text{ W.m}^{-2}$$

Flux thermique à travers le mur et le liège comme isolant :

$$\varphi = \left( \frac{e(\text{mur})}{\lambda(\text{mur}) \times S} + \frac{e(\text{liège})}{\lambda(\text{liège}) \times S} \right)^{-1} \times \Delta T = 51 \text{ W.m}^{-2}$$

Flux thermique à travers le mur et le polystyrène comme isolant :

$$\varphi = \left( \frac{e(\text{mur})}{\lambda(\text{mur}) \times S} + \frac{e(\text{polystyrène})}{\lambda(\text{polystyrène}) \times S} \right)^{-1} \times \Delta T = 49.36 \text{ W.m}^{-2}$$

On observe que le flux thermique, qui traduit le transfert de chaleur à travers un corps, est plus important lorsqu'il n'y a pas d'isolant sur le mur. De plus, le flux thermique du polystyrène, est plus petit que celui du liège.

On en déduit que malgré des conductivités thermiques très proches (différence de seulement  $0.004 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ), une différence de flux thermique est notable. Cette différence traduit le fait que les isolants n'ont pas le même rendement énergétique et qu'il faut ainsi tenir compte de leur conductivité thermique mais aussi de leur épaisseur. En effet, dans notre cas, on observe clairement qu'à épaisseur égale, et à conductivité presque identique, le polystyrène isole mieux que le liège. Il faudrait donc avoir une plus grosse épaisseur de liège pour isoler cette maquette aussi bien qu'avec 6 mm de polystyrène.

## IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

### PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION

Dans le secteur du bâtiment, et notamment concernant l'isolation thermique, certaines évolutions peuvent être à espérer. En effet, l'isolation thermique est faite pour réduire les consommations d'énergie, or nous sommes face à un paradoxe ; on utilise des isolants chimiques, dont la production est énergivore.

Ainsi, il s'agirait donc d'utiliser des isolants nouvelles générations qui eux ont un coût de production faible en consommation énergétique, isolant tel que le polyuréthane.

On pourrait également espérer une plus forte utilisation des nanotechnologies, avec l'aérogel, battant tous les records en termes d'isolation thermique. Composé à 99,8% d'air, il est l'isolant le plus solide et le plus léger du monde et offre la conductivité thermique la plus faible à ce jour.

Enfin, les bâtiments d'avenir sont des bâtiments tels que le futur siège de la Métropole de Rouen, construits avec des méthodes qui garantissent une isolation thermique efficace tout en prenant en considération le confort des habitants. Nous pouvons également compter, parmi eux, les bâtiments à énergie positive, compensant ainsi leurs besoins en énergie, notamment grâce aux énergies renouvelables.

### RETOUR SUR LE PROJET

A l'issu de ce projet, nous comprenons mieux toute l'ampleur des enjeux énergétiques. L'isolation thermique est un maillon crucial lorsqu'il s'agit de diminuer les déperditions thermiques d'un bâtiment, et d'autant plus si cela concerne une « passoire énergétique ». En France et en Europe, des normes ont été mises en place, ainsi que des labels dans le but de réguler et encadrer les consommations.

Afin de concrétiser cela, nous avons eu la chance de visiter un chantier en cours, celui du Hangar 108 sur les quais de Rouen, qui se veut être un bâtiment passif à énergie positive, certifié PassivHaus. Avoir la chance d'échanger avec une professionnelle nous a permis de comprendre la réalité des contraintes imposées par les normes, et les différentes techniques et solutions pour palier le gaspillage d'énergie et les déperditions thermiques.

Enfin, dans le but d'illustrer cette visite, nous avons dédié toute la partie expérimentale à l'aspect isolation de notre sujet, et notamment l'isolation par l'extérieur. Au travers de ces expériences, nous avons pu observer et comprendre l'évolution de la température, intérieure comme extérieure, dans différents types d'habitacles. Nous avons ainsi pu déterminer la meilleure configuration, et également estimer l'ordre des déperditions thermiques.

Pour conclure, nous nous sommes penchées sur les perspectives d'évolution dans le secteur du bâtiment, et ce qui pourrait être fait pour améliorer d'avantage la situation actuelle.

## RETOUR SUR LE TRAVAIL DE GROUPE

Ce projet fut un apport personnel pour chacun. Dans le cadre de celui-ci, il a fallu travailler en autonomie, tout en étant synchronisé avec les autres membres du groupe. De nombreuses prises d'initiative étaient de rigueur, notamment lors de la recherche de contacts dans le cadre de la visite de chantier. Il nous a fallu également opter pour une organisation rythmée par des comptes rendus hebdomadaires à notre enseignant responsable, et ainsi tenir un planning. La planification et se fixer des objectifs ont fait que nous savions parfaitement ce que nous devons faire chaque semaine. Nous nous sommes répartis les tâches, chacun y a trouvé son intérêt, et le travail a ainsi avancé de manière homogène et continue.

Naturellement, il était nécessaire, et particulièrement concernant les expériences, de se concerter et échanger nos idées et points de vue sur les diverses possibilités de manipulations qui s'offraient à nous. De plus, afin que la visite de chantier se déroule au mieux, il était nécessaire de programmer des rencontres en dehors des heures de projet, ce qui a ainsi développé un sentiment de cohésion au sein du groupe. Ainsi, devoir effectuer une visite de chantier, et non se cantonner uniquement à la rédaction d'un rapport théorique, a renforcé cet esprit d'équipe.

Enfin, aborder un sujet tel que celui-ci était un challenge étant donné qu'aucun d'entre nous n'avait étudié ce thème auparavant - thème très dense, de surcroît.

## V. SOURCES ET ANNEXES

### SOURCES

#### INTRODUCTION

- Metiista : Les enjeux du bâtiment

<http://www.metiista.com/wp-content/uploads/2013/04/pdf-rubrique-eco-artisan.pdf>

- Connaissance des énergies : Efficacité énergétique et bâtiments

<http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/efficacite-energetique-et-batiments>

#### METHODES DE PROPAGATION

- Techno-science : Rayonnement

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=8090>

- Techno-science : Conduction

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=3360>

- Techno-science : Convection

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=5782>

- Propagation de la chaleur

<http://www.lyc-diderot.ac-aix-marseille.fr/eleves/cours/bts-tp-bat/propachaleur.htm>

- Forte résistance thermique

<http://www.toutsurlisolation.com/Isolation-thermique/Reussir-son-isolation-thermique/Forte-resistance-thermique>

- Energétique et Procédés : Le phénomène de convection

<http://hmf.enseiht.fr/travaux/bei/beiep/content/g21/i-phenomene-convection>

#### ISOLANTS

- La performance d'un isolant

<http://www.toutsurlisolation.com/Choisir-son-isolant/Comparer-les-isolants/La-performance-d-un-isolant>

- Quotatis : Caractéristiques des différents isolants

<http://isolation.quotatis.fr/comparatifs/caracteristiques-differents-isolants/>

- EDF : Les différents types d'isolants

<https://travaux.edf.fr/isolation-et-ventilation/les-techniques-et-materiaux-de-l-isolation/les-differents-types-d-isolants>

### DIAGNOSTIC DE PERFORMANCE ENERGETIQUE

- Réglementation thermique : Diagnostic de Performance Energétique  
<http://www.toutsurisolation.com/Isolation-thermique/Reglementation-thermique/Diagnostic-de-performance-energetique>
- Réglementation thermique 2012 : Les économies d'énergie dans le bâtiment  
<http://www.rt-batiment.fr/batiments-existants/dpe/presentation.html>

### METHODES D'ISOLATION

- Energie+ : Les techniques d'isolation  
<https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16881>
- Energie+ : Choisir la technique d'isolation d'un mur  
<https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10351#c3705>
- Energie+ : Choisir la technique d'isolation d'un plancher  
<https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=17064>

### PONTS THERMIQUES

- Energie+ : Les ponts thermiques  
<https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16921#c3000+c3004>
- Comment ça marche : les ponts thermiques  
<http://www.lemoniteur.fr/article/comment-ca-marche-les-ponts-thermiques-20071738>
- Quels types de ponts thermiques  
<https://www.promotelec.com/espaces/professionnels/dossiers-techniques/performance-energetique-environnementale/les-ponts-thermiques-en-residentiel/2291-les-differents-types-de-ponts-thermiques.html>

## ANNEXE : LE DIAGNOSTIC DE PERFORMANCE ENERGETIQUE (DPE)

Le DPE permet lors de l'achat ou de la location d'un bien immobilier de connaître sa consommation énergétique ainsi que son émission de gaz à effet de serre qui y est liée. IL s'inscrit dans le cadre de la politique énergétique européenne définie dans le but de réduire la consommation d'énergie des bâtiments et de limiter les gaz à effet de serre.

Cette réglementation est obligatoire pour la vente d'un bien depuis le 1<sup>er</sup> novembre 2006, et pour la location et les bâtiments neufs depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2007. Par ailleurs, depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2011, l'affichage de l'étiquette Énergie du DPE est obligatoire dans les agences immobilières pour permettre aux particuliers de connaître directement la classe énergétique du bien, afin qu'il puisse comparer les biens entre eux.

Le DPE donne des informations sur la performance énergétique d'un logement. En effet, il estime la consommation d'énergie nécessaire pour le chauffage, l'eau chaude, la climatisation et la quantité de gaz à effet de serre émise.

Le DPE comprend également des recommandations afin de connaître les mesures les plus efficaces pour économiser de l'énergie. Il donne des conseils pour une meilleure gestion de l'énergie ainsi que sur le comportement à adopter afin de réduire la consommation. Il peut aussi fournir des recommandations sur des travaux à entrevoir dans le but une fois encore d'augmenter la performance énergétique du bien considéré. Pour autant, ces travaux ne sont pas obligatoires, ils ont juste en vue d'inciter à améliorer la performance énergétique du logement.

Il existe 7 classes de performance allant de A, la meilleure performance, à G, la plus mauvaise. Grâce au DPE, le propriétaire du bien immobilier, ou le locataire dispose d'une estimation chiffrée en euros de la consommation d'énergie par an. Pour estimer la consommation d'énergie effective du logement et plus particulièrement de ses équipements de production (chauffage, ventilation, eau chaude, etc.), le DPE se base sur les factures des 3 dernières années ou bien sur une méthode de diagnostic conventionnelle valable dans le cadre d'une utilisation standardisée du logement.



Ainsi, le DPE est valable 10 ans et il doit être obligatoirement remis à la réception d'un bien neuf et disponible en consultation pour tout candidat à l'achat ou à la location d'un bien.

Le DPE doit être établi par un professionnel indépendant dont les compétences ont été certifiées et ayant souscrit une assurance.

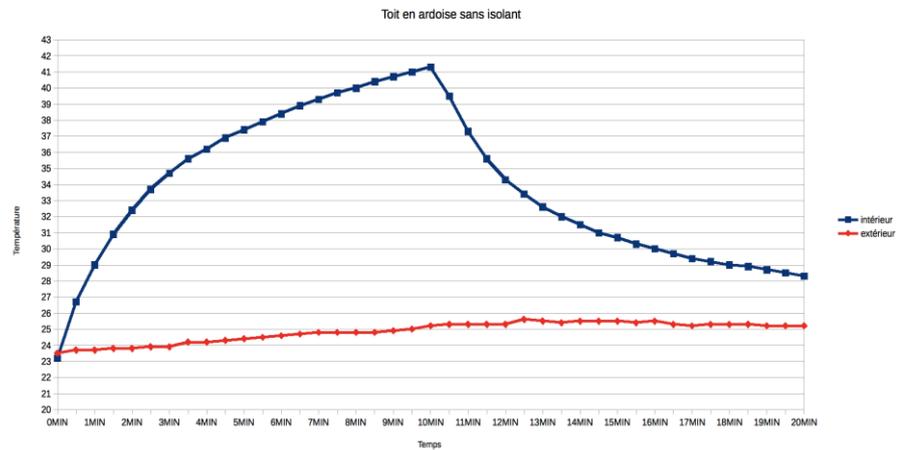
**ANNEXE : PARTIE EXPERIMENTALE**

**MESURES ET GRAPHIQUES**

**1 TOIT EN ARDOISE SANS ISOLANT**

**LAMPE ALLUMEE**

	intérieur	extérieur
0MIN	23,2	23,5
	26,7	23,7
1MIN	29	23,7
	30,9	23,8
2MIN	32,4	23,8
	33,7	23,9
3MIN	34,7	23,9
	35,6	24,2
4MIN	36,2	24,2
	36,9	24,3
5MIN	37,4	24,4
	37,9	24,5
6MIN	38,4	24,6
	38,9	24,7
7MIN	39,3	24,8
	39,7	24,8
8MIN	40	24,8
	40,4	24,8
9MIN	40,7	24,9
	41	25
10MIN	41,3	25,2



**LAMPE ETEINTE**

	39,5	25,3
11MIN	37,3	25,3
	35,6	25,3
12MIN	34,3	25,3
	33,4	25,6
13MIN	32,6	25,5
	32	25,4
14MIN	31,5	25,5
	31	25,5
15MIN	30,7	25,5
	30,3	25,4
16MIN	30	25,5
	29,7	25,3
17MIN	29,4	25,2
	29,2	25,3
18MIN	29	25,3
	28,9	25,3
19MIN	28,7	25,2
	28,5	25,2
20MIN	28,3	25,2

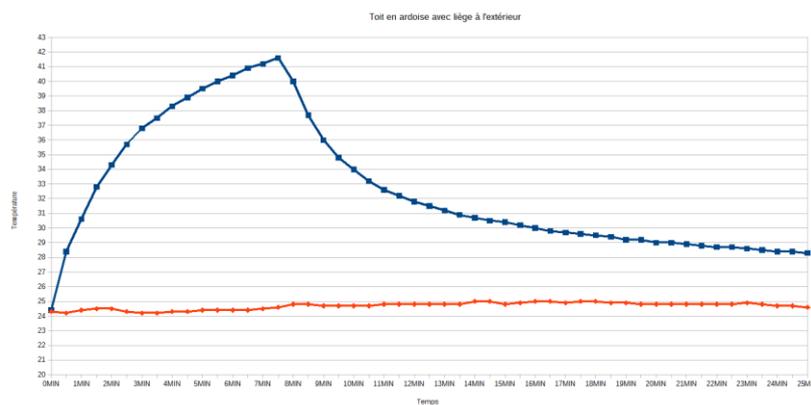
**2 TOIT EN ARDOISE AVEC LIEGE SUR PAROI EXTERIEURE**

**LAMPE ALLUMEE**

	intérieur	extérieur
0MIN	24,4	24,3
	28,4	24,2
1MIN	30,6	24,4
	32,8	24,5
2MIN	34,3	24,5
	35,7	24,3
3MIN	36,8	24,2
	37,5	24,2
4MIN	38,3	24,3
	38,9	24,3
5MIN	39,5	24,4
	40	24,4
6MIN	40,4	24,4
	40,9	24,4
7MIN	41,2	24,5
	41,6	24,6

**LAMPE ETEINTE**

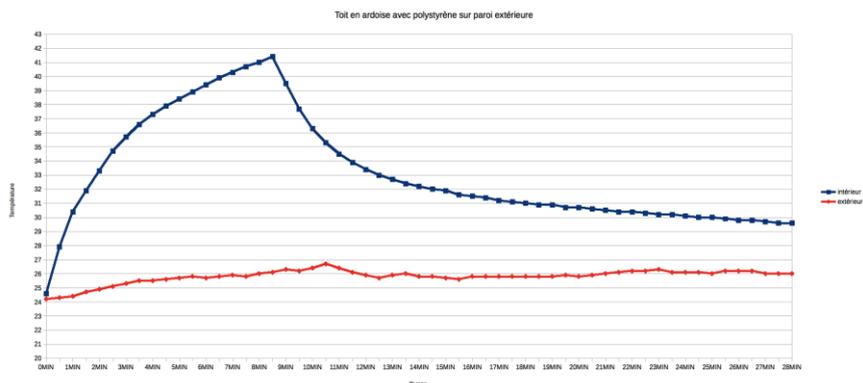
8MIN	40	24,8
	37,7	24,8
9MIN	36	24,7
	34,8	24,7
10MIN	34	24,7
	33,2	24,7
11MIN	32,6	24,8
	32,2	24,8
12MIN	31,8	24,8
	31,5	24,8
13MIN	31,2	24,8
	30,9	24,8
14MIN	30,7	25
	30,5	25
15MIN	30,4	24,8
	30,2	24,9
16MIN	30	25
	29,8	25
17MIN	29,7	24,9
	29,6	25
18MIN	29,5	25
	29,4	24,9
19MIN	29,2	24,9
	29,2	24,8
20MIN	29	24,8
	29	24,8
21MIN	28,9	24,8
	28,8	24,8
22MIN	28,7	24,8
	28,7	24,8
23MIN	28,6	24,9
	28,5	24,8
24MIN	28,4	24,7
	28,4	24,7
25MIN	28,3	24,6



**3 TOIT EN ARDOISE AVEC POLYSTYRENE SUR PAROI EXTERIEURE**

**LAMPE ALLUMEE**

	intérieur	extérieur
0MIN	24,6	24,2
1MIN	27,9	24,3
2MIN	30,4	24,4
3MIN	31,9	24,7
4MIN	33,3	24,9
5MIN	34,7	25,1
6MIN	35,7	25,3
7MIN	36,6	25,5
8MIN	37,3	25,5
9MIN	37,9	25,6
10MIN	38,4	25,7
11MIN	38,9	25,8
12MIN	39,4	25,7
13MIN	39,9	25,8
14MIN	40,3	25,9
15MIN	40,7	25,8
16MIN	41	26
17MIN	41,4	26,1



**LAMPE ETEINTE**

9MIN	39,5	26,3
10MIN	37,7	26,2
11MIN	36,3	26,4
12MIN	35,3	26,7
13MIN	34,5	26,4
14MIN	33,9	26,1
15MIN	33,4	25,9
16MIN	33	25,7
17MIN	32,7	25,9
18MIN	32,4	26
19MIN	32,2	25,8
20MIN	32	25,8
21MIN	31,9	25,7
22MIN	31,6	25,6
23MIN	31,5	25,8
24MIN	31,4	25,8
25MIN	31,2	25,8
26MIN	31,1	25,8
27MIN	31	25,8
28MIN	30,9	25,8
29MIN	30,9	25,8
30MIN	30,7	25,9
31MIN	30,7	25,8
32MIN	30,6	25,9
33MIN	30,5	26
34MIN	30,4	26,1
35MIN	30,4	26,2
36MIN	30,3	26,2
37MIN	30,2	26,3
38MIN	30,2	26,1
39MIN	30,1	26,1
40MIN	30	26,1
41MIN	30	26
42MIN	29,9	26,2
43MIN	29,8	26,2
44MIN	29,8	26,2
45MIN	29,7	26
46MIN	29,6	26
47MIN	29,6	26

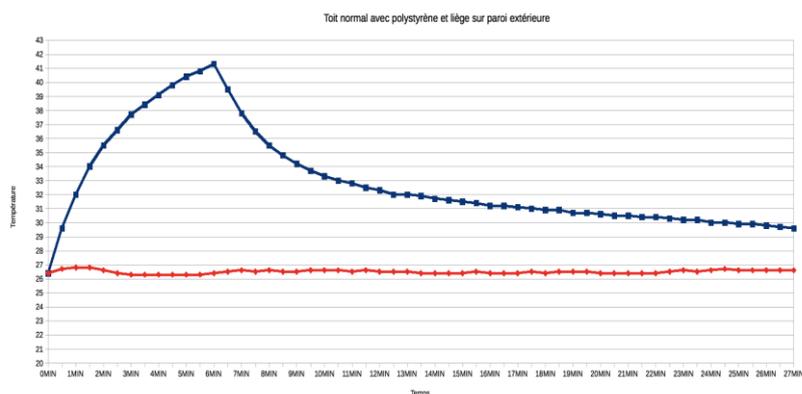
**4 TOIT NORMAL AVEC POLYSTYRENE ET LIEGE SUR PAROI EXTERIEURE**

**LAMPE ALLUMEE**

	intérieur	extérieur
0MIN	26,4	26,4
1MIN	29,6	26,7
2MIN	32	26,8
3MIN	34	26,8
4MIN	35,5	26,6
5MIN	36,6	26,4
6MIN	37,7	26,3
7MIN	38,4	26,3
8MIN	39,1	26,3
9MIN	39,8	26,3
10MIN	40,4	26,3
11MIN	40,8	26,3
12MIN	41,3	26,4

**LAMPE ETEINTE**

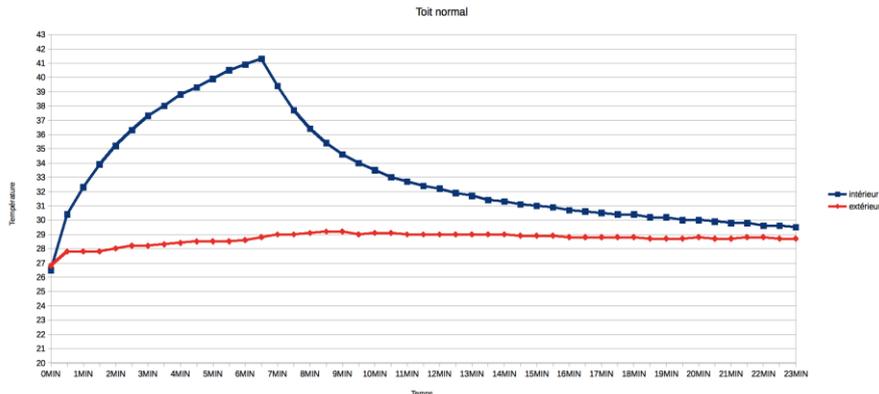
13MIN	39,5	26,5
14MIN	37,8	26,6
15MIN	36,5	26,5
16MIN	35,5	26,6
17MIN	34,8	26,5
18MIN	34,2	26,5
19MIN	33,7	26,6
20MIN	33,3	26,6
21MIN	33	26,6
22MIN	32,8	26,5
23MIN	32,5	26,6
24MIN	32,3	26,5
25MIN	32	26,5
26MIN	32	26,5
27MIN	31,9	26,4
28MIN	31,7	26,4
29MIN	31,6	26,4
30MIN	31,5	26,4
31MIN	31,4	26,5
32MIN	31,2	26,4
33MIN	31,2	26,4
34MIN	31,1	26,4
35MIN	31	26,5
36MIN	30,9	26,4
37MIN	30,9	26,5
38MIN	30,7	26,5
39MIN	30,7	26,5
40MIN	30,6	26,4
41MIN	30,5	26,4
42MIN	30,5	26,4
43MIN	30,4	26,4
44MIN	30,4	26,4
45MIN	30,3	26,5
46MIN	30,2	26,6
47MIN	30,2	26,5
48MIN	30	26,6
49MIN	30	26,7
50MIN	29,9	26,6
51MIN	29,9	26,6
52MIN	29,8	26,6
53MIN	29,7	26,6
54MIN	29,6	26,6



**5 TOIT NORMAL**

**LAMPE ALLUMÉE**

	intérieur	extérieur
0MIN	26,5	26,8
1MIN	30,4	27,8
2MIN	32,3	27,8
3MIN	33,9	27,8
4MIN	35,2	28
5MIN	36,3	28,2
6MIN	37,3	28,2
7MIN	38	28,3
8MIN	38,8	28,4
9MIN	39,3	28,5
10MIN	39,9	28,5
11MIN	40,5	28,5
12MIN	40,9	28,6
13MIN	41,3	28,8



**LAMPE ÉTEINTE**

7MIN	39,4	29
8MIN	37,7	29
9MIN	36,4	29,1
10MIN	35,4	29,2
11MIN	34,6	29,2
12MIN	34	29
13MIN	33,5	29,1
14MIN	33	29,1
15MIN	32,7	29
16MIN	32,4	29
17MIN	32,2	29
18MIN	31,9	29
19MIN	31,7	29
20MIN	31,4	29
21MIN	31,3	29
22MIN	31,1	28,9
23MIN	31	28,9
24MIN	30,9	28,9
25MIN	30,7	28,8
26MIN	30,6	28,8
27MIN	30,5	28,8
28MIN	30,4	28,8
29MIN	30,4	28,8
30MIN	30,2	28,7
31MIN	30,2	28,7
32MIN	30	28,7
33MIN	30	28,8
34MIN	29,9	28,7
35MIN	29,8	28,7
36MIN	29,8	28,8
37MIN	29,6	28,8
38MIN	29,6	28,7
39MIN	29,5	28,7

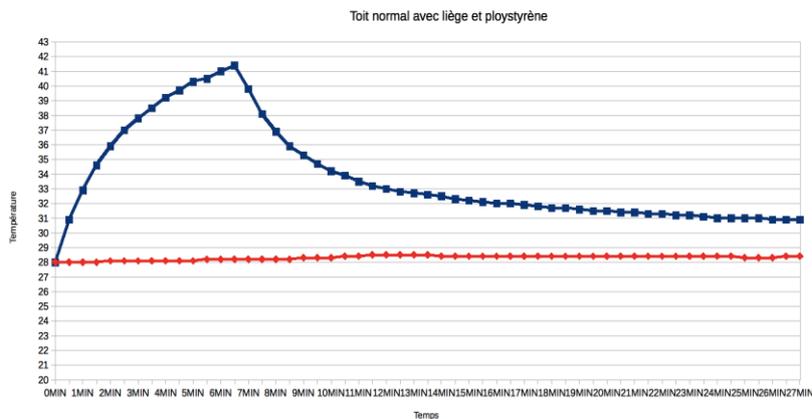
**6 TOIT NORMAL AVEC LIEGE ET POLYSTYRENE SUR PAROI EXTERIEURE**

**LAMPE ALLUMÉE**

	intérieur	extérieur
0MIN	28	28
1MIN	30,9	28
2MIN	32,9	28
3MIN	34,6	28,1
4MIN	35,9	28,1
5MIN	37	28,1
6MIN	37,8	28,1
7MIN	38,5	28,1
8MIN	39,2	28,1
9MIN	39,7	28,1
10MIN	40,3	28,1
11MIN	40,5	28,2
12MIN	41	28,2
13MIN	41,4	28,2

**LAMPE ÉTEINTE**

7MIN	39,8	28,2
8MIN	38,1	28,2
9MIN	36,9	28,2
10MIN	35,9	28,2
11MIN	35,3	28,3
12MIN	34,7	28,3
13MIN	34,2	28,3
14MIN	33,9	28,4
15MIN	33,5	28,4
16MIN	33,2	28,5
17MIN	33	28,5
18MIN	32,8	28,5
19MIN	32,7	28,5
20MIN	32,6	28,5
21MIN	32,5	28,4
22MIN	32,3	28,4
23MIN	32,2	28,4
24MIN	32,1	28,4
25MIN	32	28,4
26MIN	32	28,4
27MIN	31,9	28,4
28MIN	31,8	28,4
29MIN	31,7	28,4
30MIN	31,6	28,4
31MIN	31,5	28,4
32MIN	31,5	28,4
33MIN	31,4	28,4
34MIN	31,4	28,4
35MIN	31,3	28,4
36MIN	31,3	28,4
37MIN	31,2	28,4
38MIN	31,2	28,4
39MIN	31,2	28,4
40MIN	31,1	28,4
41MIN	31	28,4
42MIN	31	28,4
43MIN	31	28,3
44MIN	31	28,3
45MIN	30,9	28,3
46MIN	30,9	28,4
47MIN	30,9	28,4



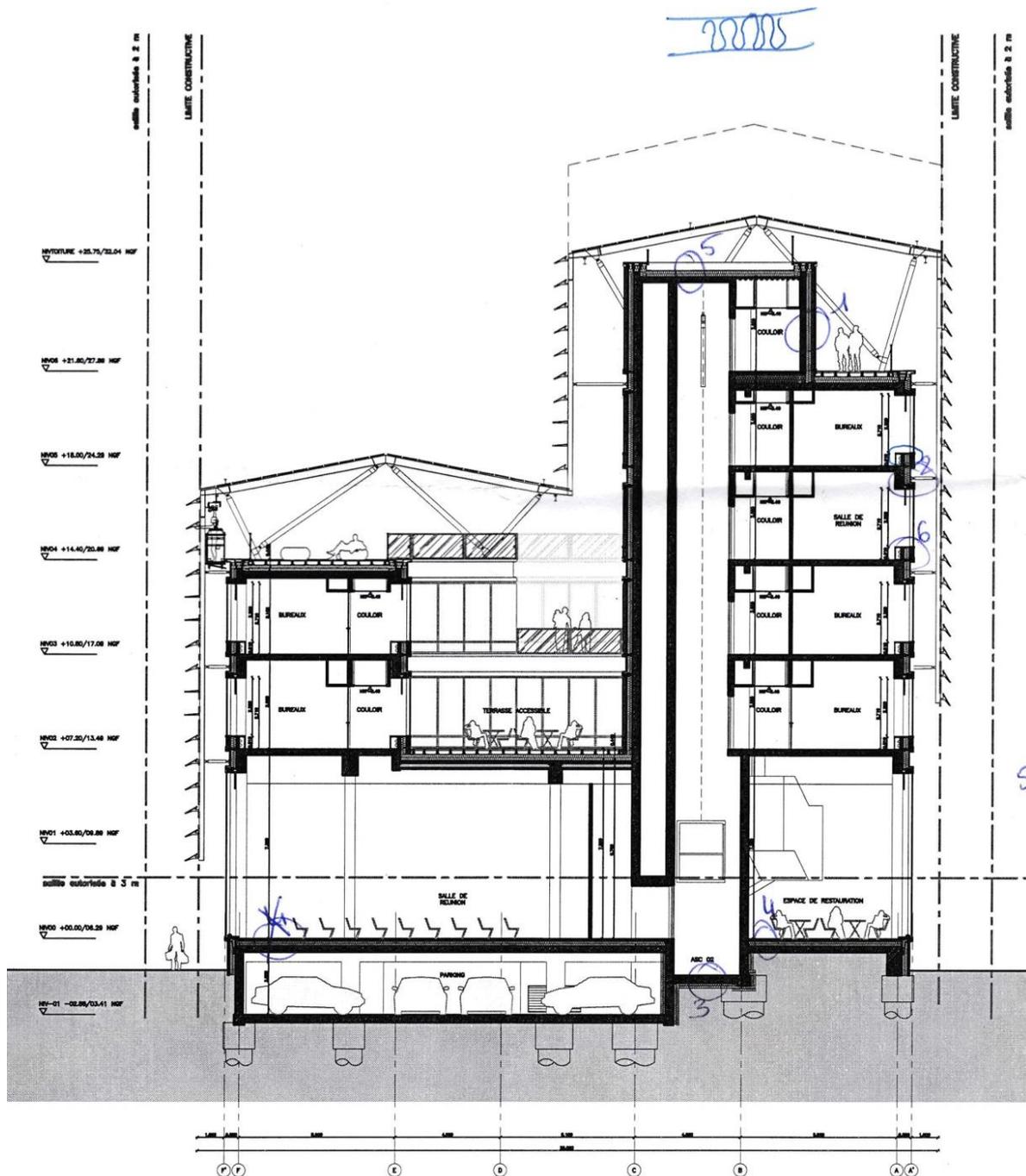
	EXPI VIDE TOIT 1		EXPS VIDE TOIT 2		EXP2 TOIT 1 LIEGE		EXP3 TOIT 1 POLY		EXP4 TOIT 2 POLY/LIEGE		EXP5 TOIT 2 LIEGE-POLY		INT MOYENNE
	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur	MOYENNE
0MIN	23,2	23,5	26,8	26,8	24,4	24,4	24,6	24,2	26,4	26,4	28	28	25,2
1MIN	26,7	23,7	27,8	27,8	28,4	24,2	27,9	24,3	28,6	26,7	30,9	28	28
2MIN	30,9	23,8	27,8	27,8	30,6	24,4	29,4	24,3	29,2	26,8	32,9	28	21,98
3MIN	33,7	23,9	28,2	28,2	32,8	24,5	31,9	24,7	30	26,8	34,6	28	30,83
4MIN	34,7	23,9	28,2	28,2	34,3	24,3	33,3	24,9	35,5	26,6	35,9	28,1	32,77
5MIN	35,6	24,2	28,2	28,2	35,7	24,3	34,7	25,1	36,6	26,4	37	28,1	34,2
6MIN	36,2	24,2	28,2	28,2	36,8	24,2	35,7	25,1	37,7	26,3	37,8	28,1	35,47
7MIN	36,9	24,3	28,5	28,5	37,5	24,2	36,6	25,5	38,4	26,3	38,5	28,1	36,43
8MIN	37,4	24,4	28,5	28,5	38,3	24,3	37,3	25,5	39,1	26,3	39,2	28,1	37,2
9MIN	37,9	24,5	28,5	28,5	38,9	24,3	37,9	25,6	39,8	26,3	39,2	28,1	37,9
10MIN	38,4	24,6	28,6	28,6	39,5	24,4	38,4	25,7	40,4	26,3	40,3	28,1	38,5
11MIN	38,9	24,7	28,8	28,8	40	24,4	38,9	25,8	40,8	26,3	40,5	28,2	39,07
12MIN	39,3	24,8	28,8	28,8	40,4	24,4	41,3	25,8	41,3	26,4	40,5	28,2	39,47
13MIN	39,7	24,8	28,8	28,8	40,9	24,4	41,3	25,7	41,3	26,4	41	28,2	39,93
14MIN	40,4	24,8	29,2	29,2	41,2	24,5	41,3	25,8	41,3	26,4	41,4	28,2	40,4
15MIN	40,7	24,9	29,2	29,2	41,6	24,6	41,6	25,8	41,6	26,6	41,4	28,2	40,4
16MIN	41	25	29,2	29,2	41,6	24,6	41,6	25,8	41,6	26,6	41,4	28,2	40,1
17MIN	41,3	25,2	29,1	29,1	41,6	24,6	41,6	25,8	41,6	26,6	41,4	28,2	40,1
18MIN	41,3	25,2	29,1	29,1	41,6	24,6	41,6	25,8	41,6	26,6	41,4	28,2	40,1
19MIN	41,3	25,2	29,1	29,1	41,6	24,6	41,6	25,8	41,6	26,6	41,4	28,2	40,1
20MIN	41,3	25,2	29,1	29,1	41,6	24,6	41,6	25,8	41,6	26,6	41,4	28,2	40,1
21MIN	41,3	25,2	29,1	29,1	41,6	24,6	41,6	25,8	41,6	26,6	41,4	28,2	40,1
22MIN	41,3	25,2	29,1	29,1	41,6	24,6	41,6	25,8	41,6	26,6	41,4	28,2	40,1
23MIN	41,3	25,2	29,1	29,1	41,6	24,6	41,6	25,8	41,6	26,6	41,4	28,2	40,1
24MIN	41,3	25,2	29,1	29,1	41,6	24,6	41,6	25,8	41,6	26,6	41,4	28,2	40,1
25MIN	41,3	25,2	29,1	29,1	41,6	24,6	41,6	25,8	41,6	26,6	41,4	28,2	40,1
26MIN	41,3	25,2	29,1	29,1	41,6	24,6	41,6	25,8	41,6	26,6	41,4	28,2	40,1
27MIN	41,3	25,2	29,1	29,1	41,6	24,6	41,6	25,8	41,6	26,6	41,4	28,2	40,1
28MIN	41,3	25,2	29,1	29,1	41,6	24,6	41,6	25,8	41,6	26,6	41,4	28,2	40,1
MOYENNE FINALE :													33,01
INT MOYENNE													24,36

Meilleures résultats lors de la comparaison

RESULTATS : LES OBSERVATIONS

OBSERVATIONS	
LES TOITS	
EXPERIENCE N°1 VS EXPERIENCE N°5	
<p style="text-align: center;">T<sub>int</sub></p> <p>On partait de 23,2 °C. Il a fallu attendre 10 minutes pour arriver à 41,3°C. 10 minutes pour redescendre à 28,3°C.</p> <p style="text-align: center;">T<sub>ext</sub></p> <p>En ce même laps de temps, la température extérieure est passée de 23,5°C à 25,2°C. A la fin de l'expérience, et après variation, la température était de 25,2°C. On note un pic à 25,6°C.</p>	<p style="text-align: center;">T<sub>int</sub></p> <p>On partait de 26,5°C. Il a fallu attendre 6 minutes 30 secondes pour arriver à 41,3°C. 16 minutes 30 secondes pour redescendre à 29,5°C.</p> <p style="text-align: center;">T<sub>ext</sub></p> <p>En ce même laps de temps, la température extérieure est passée de 26,8°C à 28,8°C. A la fin de l'expérience, et après variation, la température était de 28,7°C. On note un pic à 29,2 °C.</p>
LES ISOLANTS	
EXPERIENCE N°2 VS EXPERIENCE N°3	
<p style="text-align: center;">T<sub>int</sub></p> <p>On partait de 24,4 °C. Il a fallu attendre 7 minutes 30 secondes pour arriver à 41.6°C. 17 minutes 30 secondes pour redescendre à 28,3°C.</p> <p style="text-align: center;">T<sub>ext</sub></p> <p>En ce même laps de temps, la température extérieure est passée de 24,3°C à 24,6°C. A la fin de l'expérience, et après variation, la température était de 24,6°C. On note un pic à 25°C.</p>	<p style="text-align: center;">T<sub>int</sub></p> <p>On partait de 24,6 °C. Il a fallu attendre 8 minutes 30 secondes pour arriver à 41.4°C. 19 minutes 30 secondes pour redescendre à 29,6°C.</p> <p style="text-align: center;">T<sub>ext</sub></p> <p>En ce même laps de temps, la température extérieure est passée de 24,2°C à 26,1°C. A la fin de l'expérience, et après variation, la température était de 26°C. On note un pic à 26,3°C.</p>
L'ORDRE DES ISOLANTS	
EXPERIENCE N°4 VS EXPERIENCE N°6	
<p style="text-align: center;">T<sub>int</sub></p> <p>On partait de 26,4 °C. Il a fallu attendre 6 minutes pour arriver à 41.3°C. 21 minutes pour redescendre à 29,6°C.</p> <p style="text-align: center;">T<sub>ext</sub></p> <p>En ce même laps de temps, la température extérieure a subi des variations, avant de retrouver sa température initiale de 26,4°C. A la fin de l'expérience, et après variation, la température était de 26,6°C. On note un pic à 26,7°C.</p>	<p style="text-align: center;">T<sub>int</sub></p> <p>On partait de 28 °C. Il a fallu attendre 6 minutes 30 secondes pour arriver à 41.4°C. 20 minutes 30 secondes pour redescendre à 30,9°C.</p> <p style="text-align: center;">T<sub>ext</sub></p> <p>En ce même laps de temps, la température extérieure est passée de 28°C à 28,2°C. A la fin de l'expérience, et après variation, la température était de 28,4°C. On note un pic à 28,5°C.</p>

ANNEXE : PLANS DU 108



1: Mur béton ITE  
 - béton 200  
 - LR 200  
 - LR 100  

$$U = 0,141 \text{ w/m}^2\text{K}$$

2: Mur joint creux  
 - béton 300  
 - PU 100  
 - PU 110  

$$U = 0,140$$

3: Plancher TP ascenseur + cage escalier  
 - Terradall 225  
 (= PSE)  
 - béton armé 200  

$$U = 0,162$$

4: Plr TP RDC plr chauffant  
 - béton armé 200  
 - eurosol (= PU) 103  
 - polystyrène graphité 92  
 - chape 80  
 ↳ + perf. que le blanc  
 mais pas de  
 résistance aux UV  

$$U = 0,126$$

4bis: plr TP RDC hors plr chauffant  
 - béton armé 200  
 - eurosol 103  
 - eurosol 103  
 - chape 80  

$$U = 0,103$$

5: Toiture terrasse  
 - béton armé 200  
 - PU 120  
 - PU 120  

$$U = 0,094$$

Pareis sur LNC :

- agglo 100  
 - doublissimo TH30 180  
 - BA 13 13  

$$U = 0,157$$

6: shadow box

- Magonorie 120  
 - 3 couches LR 100  
 120  
 180  

$$U = 0,093$$

## ANNEXE : LE PRINCIPE DU LABEL PASSIVHAUS



Le label PassivHaus est un label allemand de performance énergétique des bâtiments. Peu répandu en France il est devenu obligatoire pour les nouvelles constructions dans certains cantons d'Allemagne.

Le PassivHaus est un concept global de construction de bâtiment à très faible consommation d'énergie. Le but de ce concept est de créer des logements qui permettent de se passer de chauffage conventionnel. En France, cela signifie maison passive, c'est à dire une maison ne se chauffant pas par un moyen nécessitant des éléments consommant de l'énergie.

Les bâtiments labélisés PassivHaus permettent de réaliser des économies d'énergie allant jusqu'à 90% par rapport à un bâtiment classique. Des économies d'énergie considérables ont été mises en évidence dans les climats chauds, où les bâtiments classiques exigent un refroidissement actif. Les maisons PassivHaus font un usage efficace du soleil, des sources de chaleurs internes et de la récupération de chaleur, ce qui rend les systèmes de chauffage conventionnels moins utiles.

Les bâtiments PassivHaus sont reconnus pour le haut niveau de confort qu'elles procurent. Les maisons passives utilisent, pour réguler la température de l'intérieur, le chauffage solaire et la chaleur dégagée en intérieur par les appareils électroménager et par les habitants. Ce procédé suffit afin de chauffer une habitation et de maintenir des températures intérieures confortables.

Les bâtiments labélisés PassivHaus utilisent un système de ventilation imperceptible, procurant un air pur sans perception de courant d'air. L'unité de récupération de chaleur permet l'utilisation de la chaleur contenue dans l'air afin de chauffer l'intérieur.

Les économies d'énergie dans les grands bâtiments PassivHaus sont obtenues en utilisant en particulier les composants de construction éco énergétique et un système de ventilation de qualité.

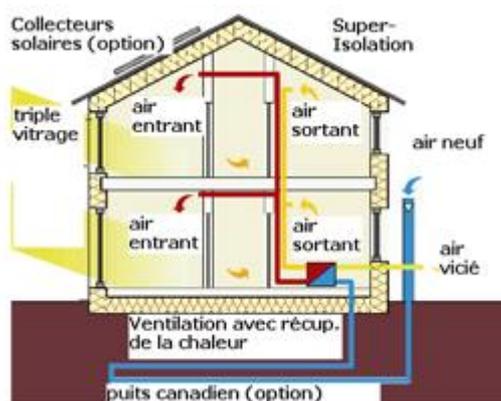
Les constructions PassivHaus permettent de conserver un confort de haute qualité en utilisant simplement l'énergie dégagée dans le bâtiment.

En France c'est l'association *Maison Passive Française* qui s'occupe de certifier les maisons passives répondant aux critères du label.

## LES CRITERES DU LABEL PASSIVHAUS

L'obtention du label PassivHaus repose sur un cahier des charges précis

- La consommation de chauffage doit être inférieure à **15kWh** par mètre carré et par an. Il est considéré que 15kWh/m<sup>2</sup>/an suffisent à chauffer un bâtiment dans de bonnes conditions grâce au soleil et à la récupération de la chaleur interne.
- L'étanchéité de l'enveloppe de l'habitat doit être de **n50 ≤ 0.6 h-1**. Cela signifie que l'habitat doit être assez étanche afin de conserver la chaleur dans l'enceinte de la maison.
- Les besoins en énergie primaire doivent être inférieurs à **120kWh** par mètre carré par an.



## LES MAISONS PASSIVES DEMANDENT DONC DE RESPECTER CERTAINS PRINCIPES

Tout d'abord la maison passive doit posséder une isolation thermique renforcée. L'idée est de construire une enveloppe totalement hermétique afin de réduire au maximum les pertes de chaleur.

Ensuite la maison passive doit supprimer tous ponts thermiques. Les éléments qui composent la maison permettent parfois des fuites de chaleur à cause des points de jonction entre les murs, le sol, le toit... Ces points de jonction permettent une évacuation de la chaleur et donc une augmentation du besoin d'énergie.

Enfin le principe de la maison passive repose sur une étanchéité à l'air parfaite. Une maison bien étanche et imperméable à toute fuite conservera mieux la chaleur. Il est donc nécessaire d'apporter un soin extrême aux liaisons entre les éléments de la structure. Ces principes sont essentiels dans le but d'obtenir le label PassivHaus.

## LES AVANTAGES DES MAISONS LABELISEES PASSIVHAUS

### CONFORT

La norme PassivHaus offre un nouveau niveau de qualité associant un maximum de confort à la fois pendant les mois chauds et froids avec des coûts de construction raisonnables.

### QUALITE

Les maisons passives sont récompensées pour leur efficacité en raison de leur haut niveau d'isolation et de leur conception étanche à l'air. Un autre principe important est «la conception du pont thermique libre »: l'isolant est appliqué sans « points faibles » autour de l'ensemble du bâtiment de manière à éliminer les zones froides ainsi que les pertes de chaleur excessives. Cette méthode est un autre principe essentiel en assurant un niveau élevé de qualité et de confort dans les maisons passives, tout en empêchant les dommages dus à l'accumulation d'humidité.

### ECOLOGIE

Les bâtiments PassivHaus sont respectueux de l'environnement par définition: Ils utilisent très peu d'énergie primaire, en laissant des ressources énergétiques suffisantes pour toutes les générations futures sans causer de dommages à l'environnement. L'énergie supplémentaire nécessaire à leur construction est plutôt insignifiante par rapport à l'énergie qu'ils épargnent plus tard.

### ABORDABILITE

Les constructions PassivHaus permettent d'économiser de l'argent sur le long terme, mais elles sont étonnamment abordables pour commencer. L'investissement dans des éléments de construction plus élevés de qualité exigés par la norme maison passive est atténué par la suppression du chauffage coûteux et les systèmes de refroidissement. Le soutien financier de plus en plus disponible dans de nombreux pays rend la construction d'une maison passive d'autant plus réalisable.

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

## ANNEXE : L'ORIGINE DU LABEL BEPOS

Ce label a vu le jour lors du rendez-vous BE POSITIVE du salon des énergies BLUEBAT à Lyon. Durant ce salon, le collectif Effinergie qui est l'organisme qui contrôle les labels énergétiques appliqués à l'immobilier en France était présent. Il a été créé à la suite de la récente loi RT 2012 mise en vigueur en début d'année 2013, qui vise à réduire les dépenses énergétiques des bâtiments neufs en imposant des tests infiltrométriques. Cependant, ce label va plus loin et anticipe la future réglementation thermique à échéance 2020. Une réglementation qui devrait imposer aux bâtiments d'avoir une surproduction d'énergie par rapport à leur consommation d'où le nom BEPOS pour bâtiment à énergie positive.

Le label BEPOS Effinergie 2013 a été créé avec un objectif précis, qui est de régir et de proposer une définition précise de ce qu'est un bâtiment à énergie positive et comment il va être mis en place. Avant d'avoir une version définitive au printemps on peut aborder quelque point de ce nouveau label.



### LE BEPOS EFFINERGIE 2013

#### LES PRES-REQUIS DU LABEL BEPOS EFFINERGIE 2013

Ce label aura comme base la dernière loi thermique à savoir la RT 2012 pour évaluer les bâtiments à énergie positive.

Les prés requis sont :

- le bâtiment doit faire l'objet d'une évaluation de l'énergie grise et du potentiel d'écomobilité,
- le bâtiment doit être conforme à la RT 2012 et aux règles du label Effinergie+,
- et doit intégrer des procédures de commissionnement pour s'assurer que les équipements fonctionnent.

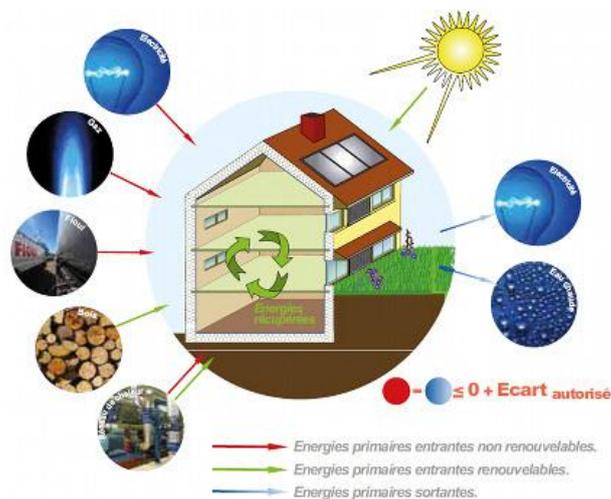
#### LES NOUVELLES EXIGENCES DU LABEL BEPOS EFFINERGIE

Dans le cadre de l'obtention de ce label, un bilan en énergie primaire non renouvelable doit être réalisé. Le résultat de ce dernier, devra être de zéro sauf pour les bâtiments dans certaines zones géographiques où un résultat supérieur sera toléré. Le but étant donc, que la consommation soit inférieure à la production.

$$\text{Calcul Bilan}_{\text{epnr}} < \text{Ecart}_{\text{autorisé}}$$

Elle sera calculée en trois étapes :

- passage en énergie primaire non renouvelable,
- bilan d'énergie primaire non renouvelable,
- collecte des consommations d'énergie finale entrant et sortant.



Toutefois, le résultat varie en fonction du type de bâtiment, de la zone géographique et de la densité. C'est pour cela qu'un écart est toléré suivant ces trois critères, ce qui permet à tous les bâtiments performants de bénéficier de ce label quel que soit leurs zones géographiques.

L'ECART AUTORISÉ DE TRADUIT PAR L'EQUATION SUIVANTE :

**Cep<sub>ref</sub>** pour la consommation de référence pour les usages réglementés du label Effinergie+,

**Aueref** pour la consommation de référence pour les critères pas pris en compte la RT 2012,

et **Prodref** pour la production de référence.

$$\text{Ecart autorisé} = \text{Cep}_{\text{ref}} + \text{Aueref} - \text{Prodref}$$

Le schéma ci-dessous représente la production de référence qui correspond au potentiel de production en énergie renouvelable du projet.

La production de référence correspond au potentiel de production en EnR du projet.

$$\text{Prod}_{\text{ref}} = 110 * \text{Mp}_{\text{Niv}} * \text{Mp}_{\text{géo}}$$

▲  $\text{Mp}_{\text{Niv}}$  en fonction du nombre de niveau.



▲  $\text{Mp}_{\text{géo}}$  en fonction de la zone climatique.



Ce label BEPOS Effinergie 2013 devrait être opérationnel au printemps et proposer par tous les opérateurs certifiés.

Source : <http://www.projetvert.fr/labels-energetique/le-label-bepos-effinergie-2013/>