

# **ENERGIE GRISE ET CONSTRUCTION DURABLE**



Siège SIPEA Poitiers – architecte : P.VETIER  
Bâtiment de Bureaux BBC à énergie positive - 2009

## Introduction

Exerçant dans le domaine de l'Ingénierie Bois Structure, j'ai eu la chance de participer depuis bientôt cinq ans, à divers projets de Bâtiments à Basse Consommation d'énergie et en démarche ou labellisation HQE (bureaux, logements sociaux, hôtels d'entreprises, bâtiments industriels).

Ce nouveau mode de travail nous a incité à acquérir des connaissances nouvelles en conception thermique, en perméabilité et au volet environnemental des bâtiments.

L'optimisation thermique et environnementale des bâtiments répond tout simplement à un objectif à la fois social (minimiser la dépense de chauffage du bâti), économique (toute énergie a un cout local ou importé) et environnemental (utilisation des matériaux et énergies renouvelables, épuisement des ressources naturelles).

J'ai décidé de suivre cette formation « Architecture HQE et Développement Durable », afin de réfléchir aux enjeux de l'ingénierie et du développement durable, au maintien de l'intégrité écologique de notre environnement ainsi qu'à la promotion de la qualité de vie et de la diversité culturelle.

A l'écoute des différents intervenants, j'ai été amené à m'interroger d'une manière plus générale sur les enjeux du développement durable dans l'acte de construire, et en particulier à la notion d'énergie grise des bâtiments : l'énergie cachée de la naissance à la fin de vie d'une construction, dont on ne parle pas ou peu, mais qu'on ne peut ignorer : c'est **la partie immergée de l'iceberg**.

L'objectif de ce mémoire n'est pas de faire une analyse comparative théorique et détaillée des matériaux et éléments de construction, mais plutôt d'apporter une réflexion plus globale sur les points suivants:

- comment définir **l'énergie grise** d'un bâtiment
- comment la quantifier
- en quoi des choix de prescription peuvent influencer sur son importance
- quel est son impact sur l'environnement et le développement durable

# Sommaire

## Introduction

## Sommaire

## Rappel de la Réglementation Thermique

## Qu'est ce que l'Energie Grise

Définition de l'énergie grise

Les éléments à énergie grise positive

Les référentiels.

## Energie Grise Intrinsèque de différents matériaux et éléments de construction

Les isolants

Les menuiseries extérieures

Les parois verticales

Les complexes de toiture

L'équipement intérieur d'un logement

## Analyse comparative de l'énergie grise de bâtiments d'habitation

Définition d'un cadre d'analyse de logements individuels et groupés

Energie grise d'une typologie de construction individuelle

Energie grise d'une typologie de logements collectifs

Tableau comparatif

## Conclusion

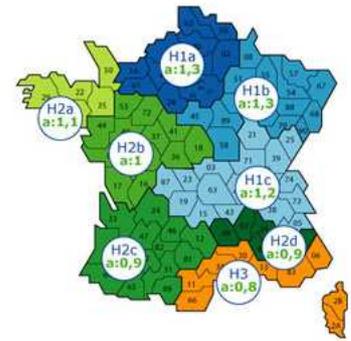
## Annexes

# Rappel de la Réglementation Thermique

## La Réglementation Thermique RT 2005

Actuellement, une maison conforme à la RT 2005 consomme en moyenne entre 91 et 150 kWh/m<sup>2</sup>.

| Limites fixées par la RT 2005 pour les bâtiments d'habitation |                 |  |
|---|-----------------|--|
| Type de chauffage   | Zone climatique | Consommation Energie Primaire pour chauffage, refroidissement et prod. ECS (en kWh/m <sup>2</sup> *an) |
| Combustibles fossiles   | H1              | 130  |
|   | H2              | 110  |
|   | H3              | 80   |
| Chauffage électrique<br>Compris pompe à chaleur               | H1              | 250  |
|   | H2              | 190  |
|   | H3              | 130  |



## Classification BBC et future Réglementation RT 2012

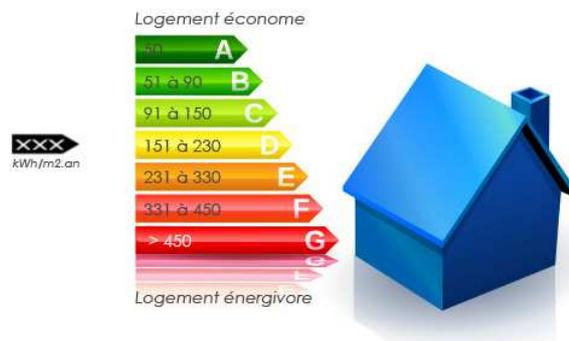
"Bâtiment basse consommation énergétique, BBC 2005", mis en place par l'arrêté du 8 mai 2007 publié au J.O. du 15 mai 2007. Pour les constructions résidentielles neuves, l'objectif de consommation maximale en énergie primaire fixé à 50 kWh/m<sup>2</sup>.an, à moduler selon les régions et l'altitude.

Est prise en compte la consommation dite conventionnelle d'énergie primaire pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, les auxiliaires, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage des locaux.

Le label Effinergie est attribué aux maisons individuelles qui répondent aux exigences du label Bâtiment Basse Consommation (BBC) avec en plus, l'obligation de réaliser une mesure d'imperméabilité à l'air.

Le label BBC correspond au niveau A sur l'étiquette énergie, il entrera en vigueur à partir de 2012.

Classification des bâtiments  
conso annuelle d'énergie primaire en KWh par m<sup>2</sup>



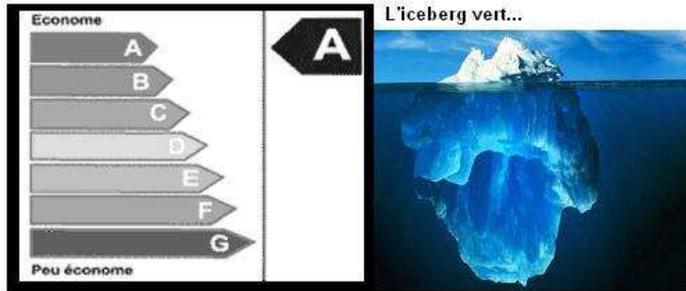
On voit donc clairement qu'il nous est d'ores et déjà indispensable de construire des bâtiments très économes en énergie, d'autant que la consommation moyenne de l'ensemble des logements en France est de l'ordre de 230 kWh/m<sup>2</sup> shon.an EP (source ADEME),

# Qu'est ce que l'Energie Grise ?

## Définition de l'énergie grise

L'énergie grise, c'est l'énergie nécessaire à la fabrication d'un produit, autrement dit à l'extraction des matières premières dont on a besoin pour le fabriquer, au processus de transformation grâce auquel on obtient un produit fini, à son transport, à son stockage, à son utilisation et à sa destruction.

L'énergie grise, c'est l'énergie cachée de la naissance à la fin de vie d'un produit, dont on ne parle pas ou peu, pourtant elle existe : c'est la partie immergée de l'iceberg.



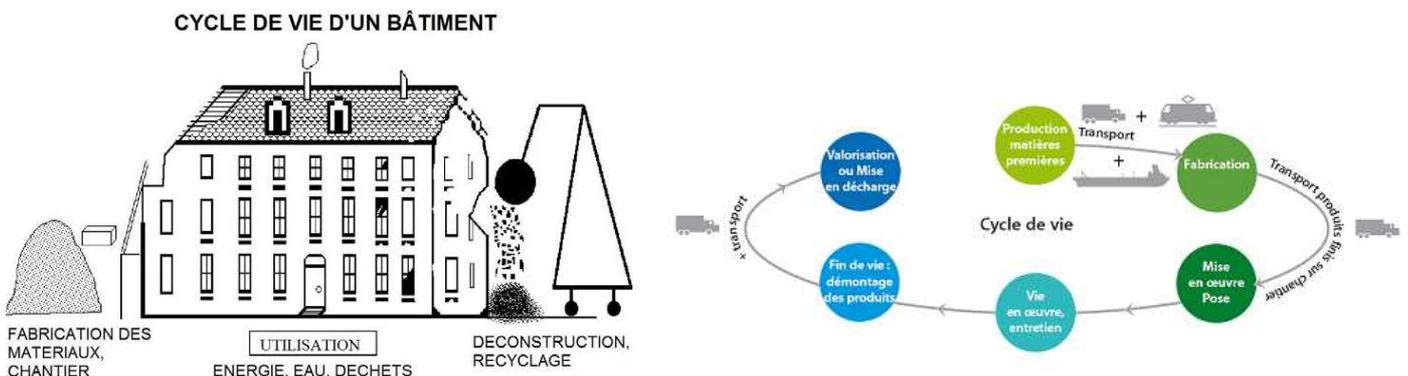
Dans le bâtiment, il faut prendre en compte l'énergie grise totale « dépensée » pendant toute sa durée de vie, que l'on peut définir en deux parties distinctes :

### -l'énergie grise intrinsèque (E.G.I) :

L'énergie consommée par l'acquisition des matières premières, de leur traitement, de leur fabrication, de leur transport sur les lieux et de leur mise en œuvre ; l'énergie non renouvelable qui est consommée afin d'entretenir, de réparer, de remettre en œuvre ou de remplacer des matériaux, des éléments ou des systèmes au cours de la vie du bâtiment.

### -l'énergie grise de fonctionnement (E.G.F) :

La somme de l'énergie utilisée durant toute sa vie (estimée en général pour une durée de vie de 50 ans) pour le chauffage, l'éclairage, la consommation d'électricité utilisée pour son utilisation.



## Les éléments à énergie grise positive

Seul l'emploi de l'énergie solaire et du bois (sous forme de chaleur ou de courant électrique) permet de produire une quantité d'énergie plus élevée que celle nécessaire à cette production. Pour tous les autres éléments de construction, le bilan énergétique est négatif.

En d'autres termes: (pour ces derniers) la quantité d'énergie nécessaire à la production de l'énergie utile est plus élevée que la quantité d'énergie utile obtenue. L'important rôle que joue l'énergie grise explique cet état de fait:

### ENERGIE GRISE DU BOIS DE CHAUFFAGE

Pouvoir Calorifique du bois de chauffage *Source : ADEME*

| Essence de Bois  | Pouvoir Calorifique (kWh/m <sup>3</sup> ) |
|------------------|---|
| <b>Feuilleux</b> | <b>3080</b> (800 kg/m <sup>3</sup> )      |
| <b>Résineux</b>  | <b>2020</b> (500 kg/m <sup>3</sup> )      |



Energie Grise des Bois de charpente *Source : KBOB/eco-bau*

| Essence de Bois                      | Energie Grise (kWh/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Résineux brut séché à l'air</b>   | <b>329</b>                          |
| <b>Résineux brut étuvé</b>           | <b>610</b>                          |
| <b>Feuilleux lourd séché à l'air</b> | <b>560</b>                          |
| <b>Bois résineux lamellé-collé</b>   | <b>1224</b>                         |

On voit aisément que le bilan énergétique du bois est positif, à la seule condition que ces bois ne soient pas « souillés » par des traitements, des colles ou des peintures, car de ce fait, selon la législation en vigueur, ils sont impropres à la combustion en chaudières de « Bois-Energie ».

Ne pouvant pas être mis en décharge non plus, leur élimination devra être réalisée par incinération contrôlée.

### ENERGIE GRISE DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

**A la fabrication des cellules, modules...** : Si l'impact environnemental d'un système de production photovoltaïque en fonctionnement est faible, celui de sa fabrication est bien réel. On peut retenir deux ordres de grandeur pour situer cet impact de fabrication :

- **La consommation d'énergie dite "primaire"** prend en compte, le cumul des consommations d'énergies de toute sorte utilisées pour le raffinage, la cristallisation, la mise en forme, la fabrication des cellules, des modules, des cadres, etc...

- 2500 kW par kWc installé

- **Le temps de retour énergétique** : cette valeur représente le temps de fonctionnement du système nécessaire pour qu'un système photovoltaïque amortisse lui-même l'énergie due à sa propre fabrication. Autrement dit, autant d'énergie à rendre qu'il en a fallu pour le fabriquer [production de la matière première, assemblage, emballage, transport, etc...]

- 3 ans en moyenne

*Source SIGMA TEC Photovoltaïque*



## **Les référentiels**

Les valeurs d'énergie grise des matériaux et composants du bâtiment, sont relativement difficiles à obtenir, soit parce que n'ayant pas fait l'objet d'études spécifiques, soit du fait de l'importante hétérogénéité des valeurs disponibles.

### **Base INIES du CSTB**

En France, la base de données INIES du CSTB, met à disposition des Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) de produits de construction fournies par les fabricants ou syndicats professionnels dont le mode de présentation est conforme à la norme NF P01-010.

Cette base comporte aujourd'hui 444 fiches FDES, avec des caractéristiques environnementales détaillées.

Bien que très précise, cette base est partielle, de nombreux éléments de construction n'y figurant pas, notamment toutes les données concernant les équipements techniques.



[www.inies.fr](http://www.inies.fr)

### **Base Suisse Eco-bau**

En Suisse, l'Office Fédéral des Constructions (O.F.C.L), met à disposition une plateforme détaillée et très complète au format Excel, KBOB/eco-bau, détaillant les caractéristiques environnementales de tous les éléments de construction (y compris les transports).

Cette base est accessible par internet : [www.kbob.ch](http://www.kbob.ch) sous le nom « Liste des écobilans ».

La plupart des calculs présentés dans ce rapport ont été réalisés à partir des données de cette base.



# Energie Grise de différents matériaux et éléments

## Les isolants

On distingue trois principales familles d'isolants :

### 1. les isolants minéraux

| Matériaux                    | Densité (kg/m <sup>3</sup> ) | Conductivité thermique (W/m.k) | Energie Grise (kWh/m <sup>3</sup> ) |
|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Laine de verre Isoconfort 38 | 17                           | 0.038                          | <b>242</b>                          |
| Laine de verre Isoconfort 35 | 21                           | 0.035                          | <b>378</b>                          |
| Laine de roche Eurolaine160  | 30                           | 0.038                          | <b>249</b>                          |

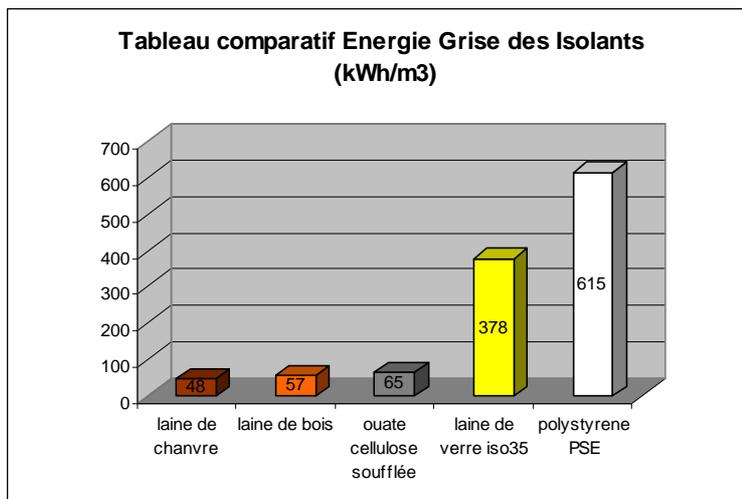
### 2. les isolants « végétaux »

| Matériaux                   | Densité (kg/m <sup>3</sup> ) | Conductivité thermique (W/m.k) | Energie Grise (kWh/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Laine de chanvre            | 40                           | 0.038                          | <b>48</b>                           |
| Laine de bois               | 50                           | 0.039                          | <b>57</b>                           |
| Ouate de cellulose soufflée | 30                           | 0.042                          | <b>65</b>                           |
| Ouate de cellulose injectée | 60                           | 0.042                          | <b>130</b>                          |

### 3. les isolants issus de la pétrochimie

| Matériaux       | Densité (kg/m <sup>3</sup> ) | Conductivité thermique (W/m.k) | Energie Grise (kWh/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Polystyrène PSE | 28                           | 0.028                          | <b>615</b>                          |
| Polyuréthane    | 36                           | 0.029                          | <b>1111</b>                         |

### 4. tableau comparatif de l'énergie grise des isolants



#### Commentaire :

Les isolants « végétaux » ont une EGI moyenne 6.6 fois plus faible que celle de la laine de verre, 10.80 fois plus faible que celle du polystyrène et 19.5 fois plus faible que celle de la mousse de polyuréthane..

## Les menuiseries extérieures

On distingue quatre types de menuiseries :

### 1. les Menuiseries Bois

Energie grise la plus faible : **513 kWh/m<sup>2</sup>**  
 Bon bilan environnemental (si les bois sont certifiés FSC ou PEFC).  
 Bonnes performances d'étanchéité à l'air.  
 Contraintes d'entretien



### 2. les Menuiseries mixtes Bois/Alu

Energie grise faible : **625 kWh/m<sup>2</sup>**  
 Bilan environnemental correct (si les bois sont certifiés FSC ou PEFC).  
 Bonnes performances d'étanchéité à l'air.  
 Pas de contraintes d'entretien



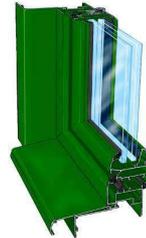
### 3. les Menuiseries PVC

Energie grise moyenne : **645 kWh/m<sup>2</sup>**  
 Bilan environnemental moyen (*le pvc dégage de l'acide chlorhydrique en cas d'incendie et contient de faibles quantités de Plomb*).  
 Performances d'étanchéité à l'air correctes.  
 Pas de contraintes d'entretien



### 4. les Menuiseries Aluminium

Energie grise élevée : **744 kWh/m<sup>2</sup>**  
 Bilan environnemental correct car matériau réutilisable.  
 Performances d'étanchéité à l'air moyennes.  
 Pas de contraintes d'entretien



**Tableau comparatif EG des menuiseries**

| Matériaux                 | Energie Grise (kWh/m <sup>2</sup> ) | Comparatif |
|---------------------------|-------------------------------------|------------|
| Menuiserie Bois           | <b>513</b>                          | 1          |
| Menuiserie mixte Bois-Alu | <b>625</b>                          | 1.22       |
| Menuiserie PVC            | <b>645</b>                          | 1.26       |
| Menuiserie Aluminium      | <b>745</b>                          | 1.46       |

#### Commentaire :

Les menuiseries bois ont une EGI inférieure de 32% à celle de l'aluminium et de 21% à celle du PVC.  
 A noter que les menuiseries mixtes bois-Aluminium ont une EGI à peu près équivalente à celle du PVC.  
 Si on considère qu'un logement T3 de 70 m<sup>2</sup>, possède environ 20% de sa surface HAB en vitrage, on peut établir le comparatif suivant sur l'Energie Grise Intrinsèque de l'ensemble de ses surfaces vitrées :

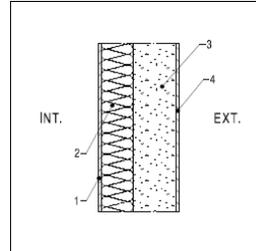
Menuiseries bois                      EGI totale = 7182 kWh  
 Menuiseries mixte bois-alu        EGI totale = 8750 kWh  
 Menuiseries PVC                      EGI totale = 9030 kWh  
 Menuiseries aluminium            EGI totale = 10430 kWh

## Les parois verticales

Ce comparatif prend pour hypothèse une épaisseur d'isolant en laine de verre iso35 de 20cm (R=5.71 m<sup>2</sup>.K/W), afin de tenir compte d'une résistance thermique nécessaire pour un projet construction de logements de type BBC..

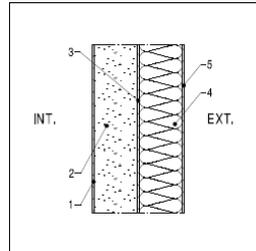
### MURS BBM & ISOLATION INTERIEURE

- 1 doublage BA13 sur ossature métallique
- 2 laine de verre iso 35 ep 20cm
- 3 parpaings creux ep 20cm
- 4 enduit  
*avec iso laine de chanvre gain EGI= 32%*



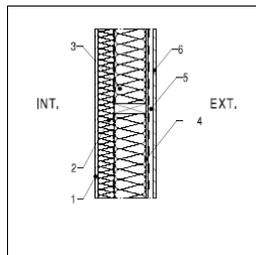
### MURS BBM & ISOLATION EXTERIEURE RPE

- 1 doublage BA13 sur ossature métallique
- 2 polystyrène collé ep 20cm
- 3 parpaings creux ep 20cm
- 4 enduit



### MURS OB & BARDAGE LAMES BOIS

- 1 doublage BA13 sur ossature métallique
- 2 laine de verre iso 35 ep 7.5cm
- 3 laine de verre iso 35 ep 7.5cm
- 4 panneau OSB ep 0.9cm
- 5 vide ventilé ep 2.5cm
- 6 bardage lames bois ep 2.2cm  
*avec isolation en laine de chanvre gain EGI= 41%*



### MURS OB & BARDAGE PANNEAUX FIBROCIMENT

- 1 doublage BA13 sur ossature métallique
- 2 laine de verre iso 35 ep 7.5cm
- 3 laine de verre iso 35 ep 7.5cm
- 4 panneau OSB ep 0.9cm
- 5 vide ventilé ep 2.5cm
- 6 bardage lames bois ep 2.2cm  
*avec isolation en laine de chanvre : gain EGI= 31%*

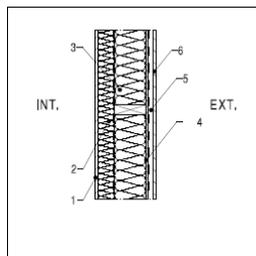


Tableau comparatif EGI des parois verticales

| Parois extérieures                   | Energie Grise (kWh/m2) | Comparatif |
|--------------------------------------|------------------------|------------|
| Mur BBM & isolation intérieure       | <b>203</b>             | 1.14       |
| Mur BBM & isolation extérieure + RPE | <b>357</b>             | 2.01       |
| Mur OB & bardage lames bois          | <b>178</b>             | 1          |
| Mur OB & bardage fibrociment         | <b>239</b>             | 1.34       |

#### Commentaire :

Le complexe mur OB-bardage bois a une EGI inférieure de 14% au complexe BBM-iso intérieure, et de 101% au complexe BBM-isolation par l'extérieur.

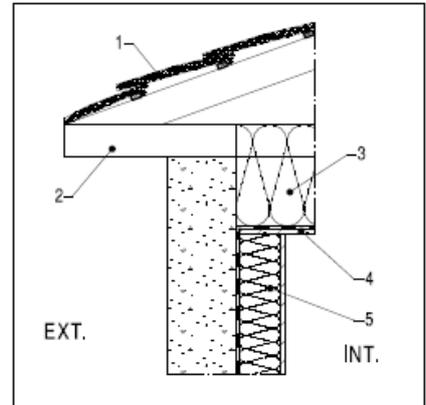
*A noter que le remplacement de la laine de verre iso35 par de la laine de chanvre génère une économie moyenne d'EGI de l'ordre de 30% soit environ 62 kWh/m<sup>2</sup> de paroi.*

## Les complexes de toiture

Ce comparatif prend pour hypothèse une épaisseur d'isolant en laine de verre iso35 de 30cm (R=5.71 m<sup>2</sup>.K/W), afin de tenir compte d'une résistance thermique nécessaire pour un projet construction de logements de type BBC.

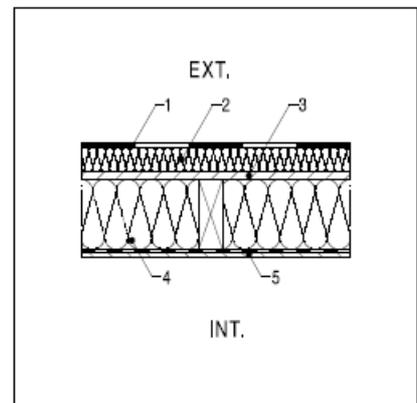
### TOITURE TUILES SUR CHARPENTE FERMETTES BOIS

- 1 tuiles mécaniques terre cuite
  - 2 charpente fermettes bois
  - 3 laine de verre iso35 ep 30cm
  - 4 plafond BA 13 sur ossature métallique
- avec isolation en laine de chanvre : gain EGI= 44%*



### TOITURE TERRASSE SUR CHARPENTE BOIS

- 1 membrane PVC
  - 2 laine de verre HD ep 8cm
  - 3 voligeage bois ep 2.2cm
  - 4 empannage bois + laine de verre iso35 ep 22cm
  - 5 plafond BA13 sur ossature métallique
- avec isolation en laine de chanvre : gain EGI= 30%*



### TOITURE TERRASSE SUR DALLE BETON

- 1 membrane PVC
- 2 laine de verre HD ep 30cm
- 3 dalle BA ep 20cm
- 4 enduit plâtre en sous-face

Tableau comparatif EGI des complexes de toiture

| Parois extérieures                          | Energie Grise (kWh/m <sup>2</sup> ) | Comparatif |
|---|-------------------------------------|------------|
| Toiture tuiles sur charpente fermettes bois | <b>215</b>                          | 1          |
| Toiture terrasse sur charpente bois         | <b>226</b>                          | 1.05       |
| Toiture terrasse sur dalle BA               | <b>382</b>                          | 1.77       |

#### Commentaire :

Le complexe charpente bois & tuiles a une EGI inférieure de 5% au complexe étanchéité sur charpente bois.  
 Le complexe étanchéité/charpente bois a une EGI inférieure de 69% au complexe étanchéité sur dalle béton.  
*A noter que le remplacement de la laine de verre iso35 par de la laine de chanvre génère une économie moyenne d'EGI de l'ordre de 37% soit environ 81 kWh/m<sup>2</sup> de paroi.*

## L'équipement intérieur d'un logement

Le tableau suivant détaille l'Energie Grise Intrinsèque d'un logement type T3 de 70 m<sup>2</sup> habitable (sans le dallage bas, les plafonds, les murs et doublages périphériques).

Schéma, de principe d'un Lgt type T3 (70m<sup>2</sup> hab)

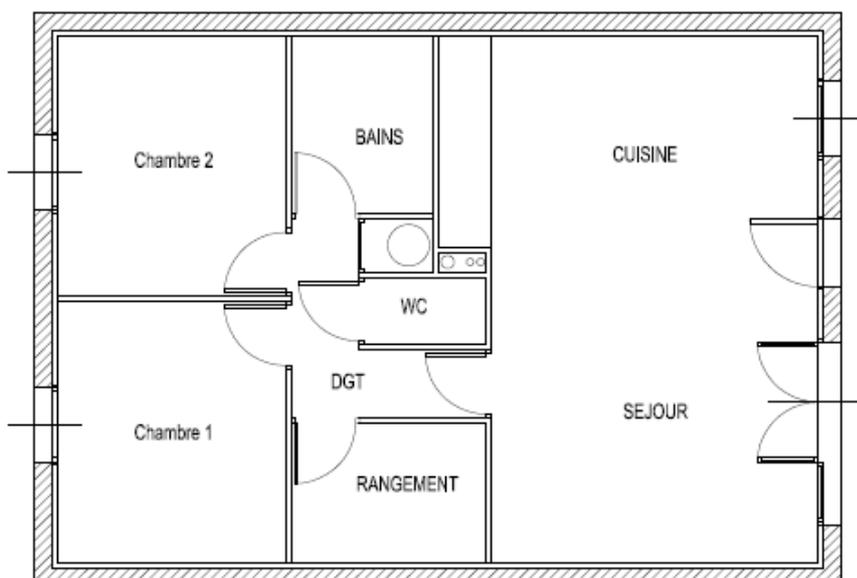


Tableau récapitulatif EGI de l'intérieur d'un Lgt type T3 (70m<sup>2</sup> hab)

| Commentaire                        | Ouvrages                 | U              | Quantité               | EG unitaire (kwh/m <sup>2</sup> ) | EG totale (kwh) |
|------------------------------------|--------------------------|----------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| iso LdV                            | Menuiseries Bois vitrées | m <sup>2</sup> | 12,10                  | 513,00                            | 6207,30         |
|                                    | Porte Entrée Bois        | m <sup>2</sup> | 1,94                   | 381,00                            | 739,14          |
|                                    | Volets bois              | m <sup>2</sup> | 12,10                  | 35,00                             | 423,50          |
|                                    | Blocs portes bois        | U              | 5,00                   | 383,00                            | 1915,00         |
|                                    | Cloisons Stil 72 peintes | m <sup>2</sup> | 41,50                  | 65,00                             | 2697,50         |
|                                    | Faïence                  | m <sup>2</sup> | 6,00                   | 120,00                            | 720,00          |
|                                    | Rev Sol Linoleum         | m <sup>2</sup> | 70,00                  | 99,00                             | 6930,00         |
|                                    | Equipement électrique    | m <sup>2</sup> | 70,00                  | 74,00                             | 5180,00         |
|                                    | Installation sanitaire   | m <sup>2</sup> | 70,00                  | 68,00                             | 4760,00         |
|                                    | Prod. chaleur chauffage  | m <sup>2</sup> | 70,00                  | 8,00                              | 560,00          |
|                                    | Radiateurs EC chauffage  | m <sup>2</sup> | 70,00                  | 43,00                             | 3010,00         |
|                                    | VMC habitation           | m <sup>2</sup> | 70,00                  | 81,00                             | 5670,00         |
|                                    | Peinture plafonds        | m <sup>2</sup> | 70,00                  | 2,10                              | 147,00          |
|                                    | Divers (10%)             | Ens            |                        | 1,00                              | 635,43          |
| <b>Total intérieur Logement T3</b> |                          | <b>Ref (1)</b> | <b>Total EGI (kwh)</b> |                                   | <b>42855,38</b> |

### Commentaire :

Le ratio à la surface s'établit à : EGI = 613 kWh.EP/m<sup>2</sup> shab.

A noter que le remplacement de la laine de verre iso35 par de la laine de chanvre dans les cloisons intérieures génère une économie moyenne d'EGI de 1040 kWh pour ce logement soit un gain de 2.6 %

# Analyse comparative de l'énergie grise de bâtiments d'habitation

## Définition d'une typologie de logements

La surface habitable moyenne des logements en France est d'environ 70 m<sup>2</sup> (source INSEE). Nous prendrons donc cette valeur comme critère de surface d'analyse de logements.

Pour l'Energie Grise de fonctionnement, nous nous baserons sur une durée de vie globale des logements de 50 ans, avec deux valeurs de consommation :

1. selon base RT 2005 soit 110 kWh/m<sup>2</sup>.an (pour région H2b)
2. selon référentiel BBC Effinergie soit 50 kWh/m<sup>2</sup>.an

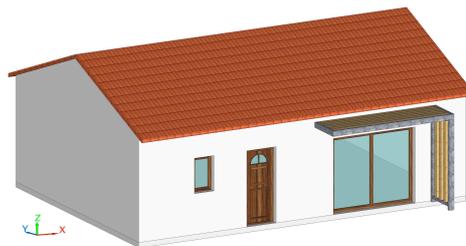
Pour le logement individuel, nous comparerons 3 logements individuels T3 de 70 m<sup>2</sup> SHAB

1. murs ossature bois avec charpente bois et couverture tuiles
2. murs parpaings isolés par l'intérieur avec charpente bois et couverture tuiles
3. murs parpaings isolés par l'extérieur avec charpente bois et couverture tuiles

Lgt Ind.T3( type1)



Lgt Ind. T3( types 2 &3)



Pour les logements collectifs, nous comparerons un bloc de 8 logements T3 de 70 m<sup>2</sup> SHAB (4 logements en RDC et 4 logements en étage), les logements d'étage étant desservis par escaliers et coursives extérieures

4. murs ossature bois avec charpente bois et toiture terrasse
5. murs parpaings isolés par l'intérieur avec charpente bois et toiture terrasse
6. murs parpaings isolés par l'extérieur avec charpente bois et toiture terrasse

Lgts collectifs T3( type4)



Lgts collectifsT3( types 5&6)

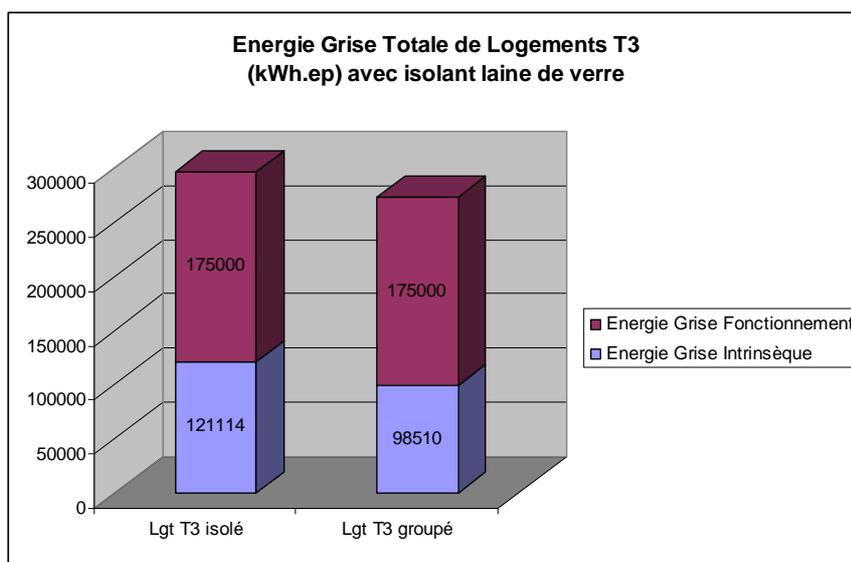


**Tableau comparatif**

| Eléments de construction                             | T3 individuel<br>(type 1)<br>kWh.EP | T3 individuel<br>(type 2)<br>kWh.EP | T3 individuel<br>(type 3)<br>kWh.EP | T3 collectif<br>(type 4)<br>kWh.EP | T3 collectif<br>(type 5)<br>kWh.EP | T3 collectif<br>(type 6)<br>kWh.EP |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| fondations, dallages, planchers & refends béton      | 20790                               | 20790                               | 20790                               | 20163                              | 20163                              | 20163                              |
| murs OB isolés + bardages bois                       | 17005                               |                                     |                                     | 8123                               |                                    |                                    |
| murs BBM isolés par l'intérieur                      |                                     | 19285                               |                                     |                                    | 9212                               |                                    |
| murs BBM isolés par l'extérieur                      |                                     |                                     | 33915                               |                                    |                                    | 16199                              |
| charp.bois+couv.tuiles+plafonds isolés               | 15050                               | 15050                               | 15050                               |                                    |                                    |                                    |
| charp.bois+étanchéité+plafonds isolés                |                                     |                                     |                                     | 7910                               | 7910                               | 7910                               |
| brise-soleil, coursives, escaliers ext.              | 1800                                | 1800                                | 1800                                | 3725                               |                                    |                                    |
| menuiseries extérieures bois                         | 6207                                | 6207                                | 6207                                | 6207                               | 6207                               | 6207                               |
| équipement intérieur                                 | 42855                               | 42855                               | 42855                               | 42855                              | 42855                              | 42855                              |
| divers (10%)   | 10371                               | 10599                               | 12062                               | 8898                               | 8635                               | 9333                               |
| <b>Total Energie Grise Intrinsèque</b>               | <b>114078</b>                       | <b>116586</b>                       | <b>132679</b>                       | <b>97881</b>                       | <b>94982</b>                       | <b>102667</b>                      |
| <b>Total Energie Grise Fonctionnement sur 50 ans</b> | <b>175000</b>                       | <b>175000</b>                       | <b>175000</b>                       | <b>175000</b>                      | <b>175000</b>                      | <b>175000</b>                      |
| <b>Energie grise totale par logement (kWh.EP)</b>    | <b>289078</b>                       | <b>291586</b>                       | <b>307679</b>                       | <b>272881</b>                      | <b>269982</b>                      | <b>277667</b>                      |
| <b>Energie Grise Totale (kWh.EP/m² shab)</b>         | <b>4130</b>                         | <b>4166</b>                         | <b>4395</b>                         | <b>3898</b>                        | <b>3857</b>                        | <b>3967</b>                        |
| <b>Energie Grise Intrinsèque (kWh.EP/m² shab)</b>    | <b>1630</b>                         | <b>1666</b>                         | <b>1895</b>                         | <b>1398</b>                        | <b>1357</b>                        | <b>1467</b>                        |
| <b>Energie Grise Fonctionnement (kWh.EP/m² shab)</b> | <b>2500</b>                         | <b>2500</b>                         | <b>2500</b>                         | <b>2500</b>                        | <b>2500</b>                        | <b>2500</b>                        |

Ce tableau nous permet de constater que :

- Pour un logement individuel T3, l'Energie Grise a une valeur moyenne de 296 115 kWh.EP, dont :  
Energie Grise Intrinsèque : 121 114 kWh/m².EP soit 41 %  
Energie Grise Fonctionnement : 175 000 kWh/m².EP soit 59 %
- Pour un logement collectif T3, l'Energie Grise a une valeur moyenne de 273 351 kWh.EP, dont :  
Energie Grise Intrinsèque : 98 510 kWh/m².EP soit 36 %  
Energie Grise Fonctionnement : 175 000 kWh/m².EP soit 64 %



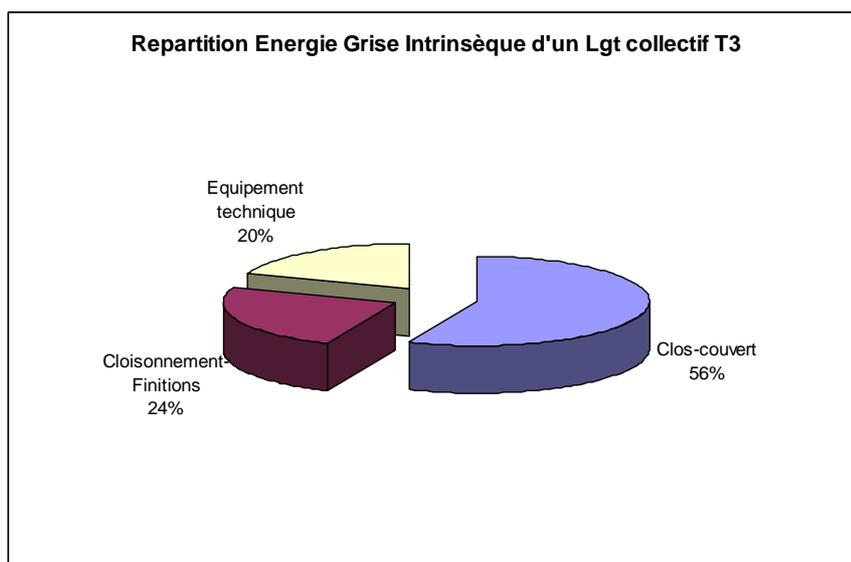
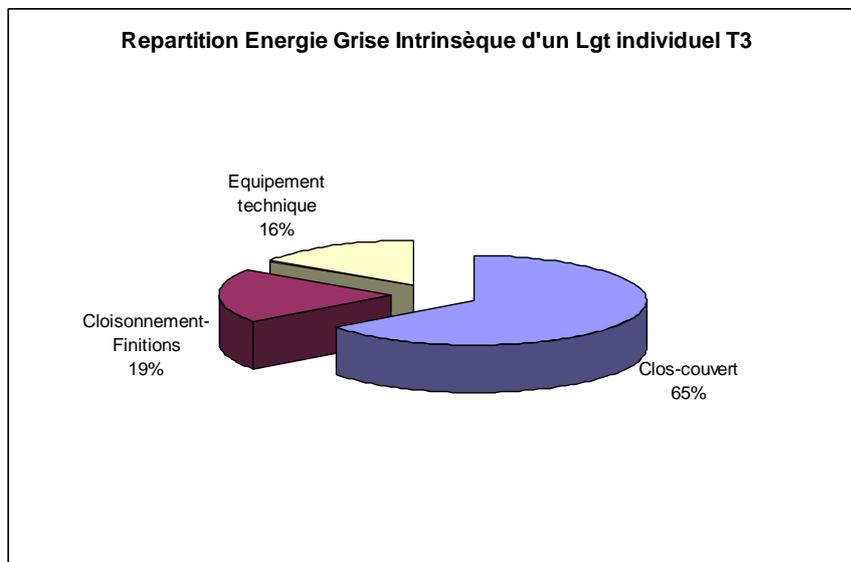
Une première tendance nous confirme que les logements groupés apportent une économie d'Energie Grise d'environ 8%, essentiellement localisée sur l'Energie Grise Intrinsèque, l'Energie de Fonctionnement restant équivalente.

## Répartition de l'Energie Grise Intrinsèque

Les deux graphiques ci-dessous permettent ainsi de mieux voir quelles sont les parties de bâtiment les plus énergivores.

On notera que la proportion la plus importante provient du lot Clos/Couvert : en effet ce lot comporte le volume de travaux le plus important avec l'utilisation d'une grande quantité de matériaux, en particulier pour les ouvrages d'infrastructure et de superstructure.

Il apparaît donc que c'est sur cette partie d'ouvrage qu'une recherche d'économie sera la plus productive.



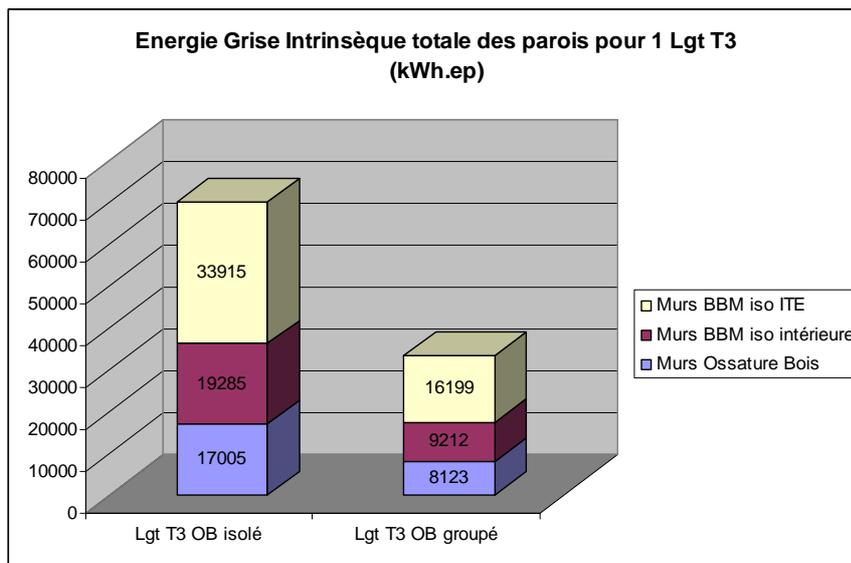
## Influence de la nature des parois extérieures

L'utilisation de murs extérieurs en ossature bois avec bardage bois, en remplacement de murs en parpaings avec isolation intérieur génère une économie de :

- 2280 kWh.ep pour 1 logement individuel soit 5% de son Energie Grise Intrinsèque.
- 16910 kWh.ep pour 1 logement collectif soit 12% de son Energie Grise Intrinsèque.

L'utilisation de murs extérieurs en ossature bois avec bardage bois, en remplacement de murs en parpaings avec isolation extérieure génère une économie de :

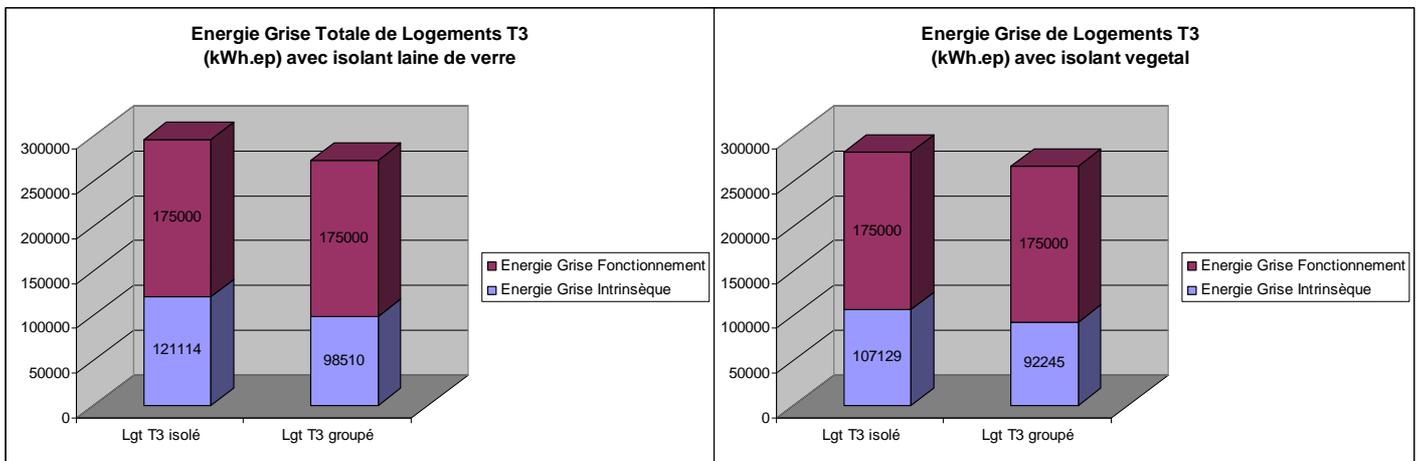
- 16910 kWh.ep pour 1 logement individuel soit 13% de son Energie Grise Intrinsèque.
- 8076 kWh.ep pour 1 logement collectif soit 8% de son Energie Grise Intrinsèque.



## Influence des matériaux d'isolation

L'influence de l'utilisation d'un isolant « végétal » en remplacement de l'isolant en laine de verre n'est pas négligeable, puisqu'elle représente une économie de :

- 13985 kWh.EP pour un logement individuel soit 11.60 % de son Energie Intrinsèque
- 6265 kWh.EP pour un logement collectif soit 6.40 % de son Energie Intrinsèque



## Conclusion

J'espère que la longue énumération et l'aridité des chiffres et des tableaux des précédentes pages n'aura pas lassé le lecteur de ce rapport.

Néanmoins, il ressort qu'à ce jour, et malgré les inévitables imprécisions des calculs, qu'un logement T3 de 70m<sup>2</sup> habitable est caractérisé par une Energie Grise Totale d'environ 300 000 kWh.ep dont :

- 41 % d'Energie Grise Intrinsèque soit 123 000 kWh/m<sup>2</sup>.ep
- 59 % d'Energie Grise de Fonctionnement soit 177 000 kWh/m<sup>2</sup>.ep

Une simple analyse permet de se rendre compte que l'énergie grise intrinsèque d'un m<sup>2</sup> habitable de ce logement (soit 1757 kWh.ep) correspond à 35 ans de son énergie de fonctionnement !.

L'énergie grise des bâtiments devient un enjeu important. Aujourd'hui il n'est plus possible de comparer des bilans environnementaux en ne prenant en compte qu'une partie des coûts en énergie grise ou en pollution : un bâtiment peut tout à fait être peu consommateur en énergie durant son utilisation mais être un gouffre en termes de construction.

Nous concevons des bâtiments BBC depuis quelques années, et serons amenés à travailler sur des projets de plus en plus éco-énergétiques ; le rapport existant entre l'énergie intrinsèque et la consommation d'énergie de fonctionnement devenant donc de plus en plus important.

La prise de conscience des impératifs environnementaux, et du respect de la préservation des ressources naturelles de notre environnement nous impose d'ores et déjà de réfléchir à des bâtiments à basse consommation énergétique, et donc à basse consommation d'énergie grise.

L'approche globale considérant les impacts tout au long du cycle de vie du bâtiment supposera également de tendre vers la sobriété et l'efficacité énergétique des bâtiments, par l'utilisation de :

- Matériaux de construction dont la production et la mise en œuvre nécessitent peu d'énergie.
- Installations techniques performantes et faciles à utiliser.
- Équipements et appareils électriques économes en énergie

Le facteur le plus important de tous, influant sur la réduction de l'énergie grise sera la conception de bâtiments à longue durée de vie : plus le bâtiment sera durable, plus l'énergie grise du bâtiment aura des chances de « s'amortir », si toutefois l'abondance de certains éléments (chauffage, éclairage...) ne vient pas réduire les « économies » faites.