

REHABILITATION D'UNE MAISON ENTERREE

– Cap Lardier



MEMOIRE FORMATION H.Q.E

ECOLE D'ARCHITECTURE DE LYON

Gérard Hartmann – Architecte DPLG

110 Impasse Victor Hugo – 83 130 La Garde

Tél : 04 94 23 41 04 – Fax : 04 94 23 41 05

E-mail : cabinet.hartmann@orange.fr

SOMMAIRE

| | | | | | |
|------------|--|-----|------------|---|-----|
| 1. | Préambule | P3 | 28. | Isolation des murs | P30 |
| 2. | <u>CHAPITRE I : Maison passive – Principes</u> | P4 | 29. | Calcul du U des murs enterrés | P31 |
| 3. | Rappel des notions de base de la « maison passive » | P5 | 30. | Inertie thermique : effusivité et diffusivité | P33 |
| 4. | 1 ^{er} principe : L'isolation thermique | P6 | 31. | La ventilation | P36 |
| 5. | 2 ^{ème} principe : La ventilation | P7 | 32. | Les ouvertures | P37 |
| 6. | 3 ^{ème} principe : Les ouvertures | P8 | 33. | Masques solaires | P39 |
| 7. | 4 ^{ème} principe : Les ponts thermiques et l'étanchéité à l'air | P8 | 34. | Pont thermique et étanchéité à l'air | P43 |
| 8. | <u>CHAPITRE II : Environnement de la maison</u> | P9 | 35. | <u>CHAPITRE IV : Projet de réhabilitation</u> | P44 |
| 9. | Situation géographique | P10 | 36. | Réhabilitation | P45 |
| 10. | Gestion du site | P11 | 37. | Besoin en chauffage | P46 |
| 11. | Le climat | P12 | 38. | Le granulé ou le pellet | P50 |
| 12. | Contexte climatique | P13 | 39. | Principe de la chaudière à granulés | P52 |
| 13. | Géologie | P14 | 40. | Chauffage au bois : moins de CO2 ! | P53 |
| 14. | Végétation | P15 | 41. | Le pouvoir calorifique | P54 |
| 15. | <u>CHAPITRE III : Etat des lieux</u> | P16 | 42. | Le taux d'humidité | P55 |
| 16. | <u>Etat des lieux : présentation de la maison</u> | P17 | 43. | Comparatif des appareils de chauffage au bois | P56 |
| 17. | Plan masse | P18 | 44. | Estimation de la consommation en granulés d'après la consommation actuelle en fioul | P57 |
| 18. | Conception de la maison | P19 | 45. | La ventilation | P58 |
| 19. | Environnement de la maison | P20 | 46. | La ventilation : VMC double flux | P61 |
| 20. | Intérieur de la maison | P21 | 47. | Les ouvertures | P62 |
| 21. | Le patio « œil de la maison » | P23 | 48. | Economie d'énergie | P65 |
| 22. | Principe constructif | P24 | 49. | Bilan environnemental | P66 |
| 23. | Rez de chaussée et mezzanine | P25 | 50. | Conclusion | P68 |
| 24. | <u>Etat des lieux : diagnostic des 4 principes</u> | P26 | 51. | Annexes | P74 |
| 25. | Etat des lieux | P27 | | | |
| 26. | Besoin énergétique de la maison | P28 | | | |
| 27. | Besoin en chauffage en Energie Primaire | p29 | | | |

Préambule

Cette maison a été construite dans les années 1975-1980 par l'architecte allemand Paul Schneider Von Esleben (1915-2005).

Une époque où l'énergie n'était pas chère et la préservation de l'environnement n'était pas à l'ordre du jour. Pourtant la volonté intuitive de l'architecte a été d'intégrer et même de faire disparaître cette maison sous les pins parasols en la mettant hors vue de la mer ou des sentiers pédestres sillonnant le littoral.

Il s'agit de rénover cette maison enterrée en s'approchant du label « passivhaus » ou bien d'envisager la possibilité d'en faire une maison à énergie positive.

Pour cela nous nous baserons sur les principes d'une maison passive qui nous servira de trame d'étude.

Cette étude se fera en deux temps :

- l'état des lieux
- le projet de rénovation

Il est évident que ce type de maison par sa conception enterrée limite les modifications à seulement l'apport d'aménagements intérieurs, mais ne peut en aucun cas porter sur des modifications liées à la structure.

Cela entraînerait des conséquences financières et environnementales trop importantes entre la démolition même partielle et la reconstruction.



CHAPITRE I

Maison passive : Principes

Rappel des notions de base de la « maison passive » qui va nous servir de support à notre étude

C'est une maison à très faible consommation énergétique.

Elle doit être pratiquement autonome en chauffage. Le rôle du chauffage devient alors un simple appoint. Pour cela la norme allemande « PassivHaus » est accordée à partir d'un besoin en chauffage inférieur à 15 kWh/m²/an et à un besoin de moins de 120 kWh ep/m²/an

Les 120 kWh ep/m²/an comprennent :

- Le chauffage
- l'eau chaude
- l'électricité domestique (éclairage, appareil de cuisson, ordinateur etc..)

Il faut rappeler que les logements actuels consomment en moyenne 300 kWh/m²/an.

La norme « PassivHaus » fixe des exigences minimales au niveau de la résistance thermique des éléments constructifs constituant la maison (murs, fenêtres, toit, etc...)

Mais il est tout à fait autorisé d'obtenir les performances d'une maison passive sans respecter cette nomenclature.

Elle offre la possibilité de réduire les besoins énergétiques de deux façons :

- La première, en sur isolant la maison, sachant que plus la maison est isolée, mieux sont valorisés les apports solaires, dans la limite du confort lié au risque de surchauffe estivale (isolation renforcée, isolation par l'extérieur, triple vitrage etc...)

- La seconde, en augmentant les apports solaires (puisque l'énergie est gratuite et renouvelable)

Dans notre cas, il faudra davantage insister sur le chauffage et le vitrage. Il sera démontré que l'inertie thermique des murs enterrés a une fonction d'isolation thermique très efficace. Pour notre maison enterrée, les apports solaires ne sont pas à prendre en compte, bien au contraire on doit s'en protéger l'été.

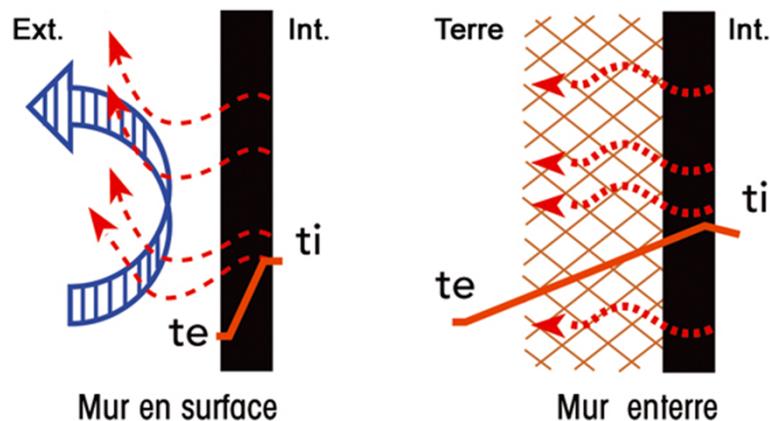
La « maison passive ou passivhaus » se structure autour de **quatre principes fondamentaux** :

- **L'Isolation thermique**
- **La ventilation**
- **Les ouvertures**
- **Les ponts thermiques et l'étanchéité à l'air**

**Label
Passiv Haus Institut**



1^{er} principe : l'isolation thermique



Dans le cas d'un bâtiment en surface les calories qui s'échappent du local sont immédiatement dissipées dans l'atmosphère et sont perdues.

Dans le cas d'un bâtiment enterré, les calories migrent dans les couches de terre et élèvent leur température. Il va se constituer petit à petit un réservoir de chaleur autour du logement qui va compenser ou écarter les variations climatiques.

Dans une maison passive l'isolant se trouve à l'extérieur, il recouvre l'intégralité de la maison en supprimant autant que possible les ponts thermiques. L'isolant peut être aussi réparti, c'est le cas pour les murs bois ou brique ou le matériau est lui-même isolant.

L'isolation thermique de la maison enterrée est constituée uniquement de terre et recouvre toute la maison, supprimant une grande partie des ponts thermiques.

Toutefois ne sachant pas s'il y a une isolation thermique en toiture, il faut admettre que l'on aura toujours plus de déperdition par la toiture avec 0,80 m de terre que par les murs avec une épaisseur de terre > à 4,00 m.

Il faut donc diminuer les déperditions thermiques par transmission :

- Le coefficient de transmission thermique (U) des murs doit être compris entre : $0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ et $0,10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.
- Le coefficient de transmission thermique (U_w) des vitrages + châssis doit être inférieur à $0,80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.
- Le facteur solaire du vitrage doit être supérieur à 50% (bénéfice des gains d'apport solaire en hiver).

2^{ème} principe : la ventilation

L'air frais est assuré par une ventilation mécanique contrôlée à double flux. Une VMC double flux permet un renouvellement d'air par un échangeur thermique de récupération des calories contenues dans l'air vicié extrait pour les transférer à l'air neuf entrant .

Le rendement de l'échange doit être au moins de 80% et l'énergie dépensée pour la machinerie ne doit pas dépasser 0,4 Wh par m³ d'air capté.

L'avantage de la captation de l'air peut se faire par une seule entrée d'air extérieure. Elle peut passer aussi par un puits provençal.

L'avantage d'un tel système est le préchauffage en hiver et le rafraichissement en été.

L'été la VMC double flux peut-être mis en by-pass. Les portes et les fenêtres donnent sur l'extérieur et restent souvent ouvertes.

De nouvelles habitudes de vie doivent être prises, si l'on choisit la VMC double flux. Ne pas ouvrir de façon intempestive les fenêtres en particulier l'hiver.

3^{ème} principe : les fenêtres

C'est à travers elles que se perd la plus grande partie de la chaleur l'hiver ou du froid l'été.

Mais elles servent aussi d'apport calorifique en laissant pénétrer les rayons du soleil.

L'utilisation d'un triple vitrage à basse émissivité (ITR) permet d'augmenter nettement le confort thermique. Mais cela a un prix, dans le cas de châssis en aluminium, ceux-ci doivent être à rupture de pont thermique.

L'exposition des ouvertures est importante. Il faut favoriser les ouvertures au sud, l'été le soleil est au zénith et l'hiver il pénètre loin à l'intérieur des pièces. A l'ouest plus qu'à l'est l'utilisation de masque peut être bénéfique, au nord les ouvertures doivent être évitées.

4^{ème} principe : les ponts thermiques et l'étanchéité à l'air

La suppression des ponts thermiques permet de diminuer les pertes de chaleur, d'éviter les phénomènes de points de rosée.

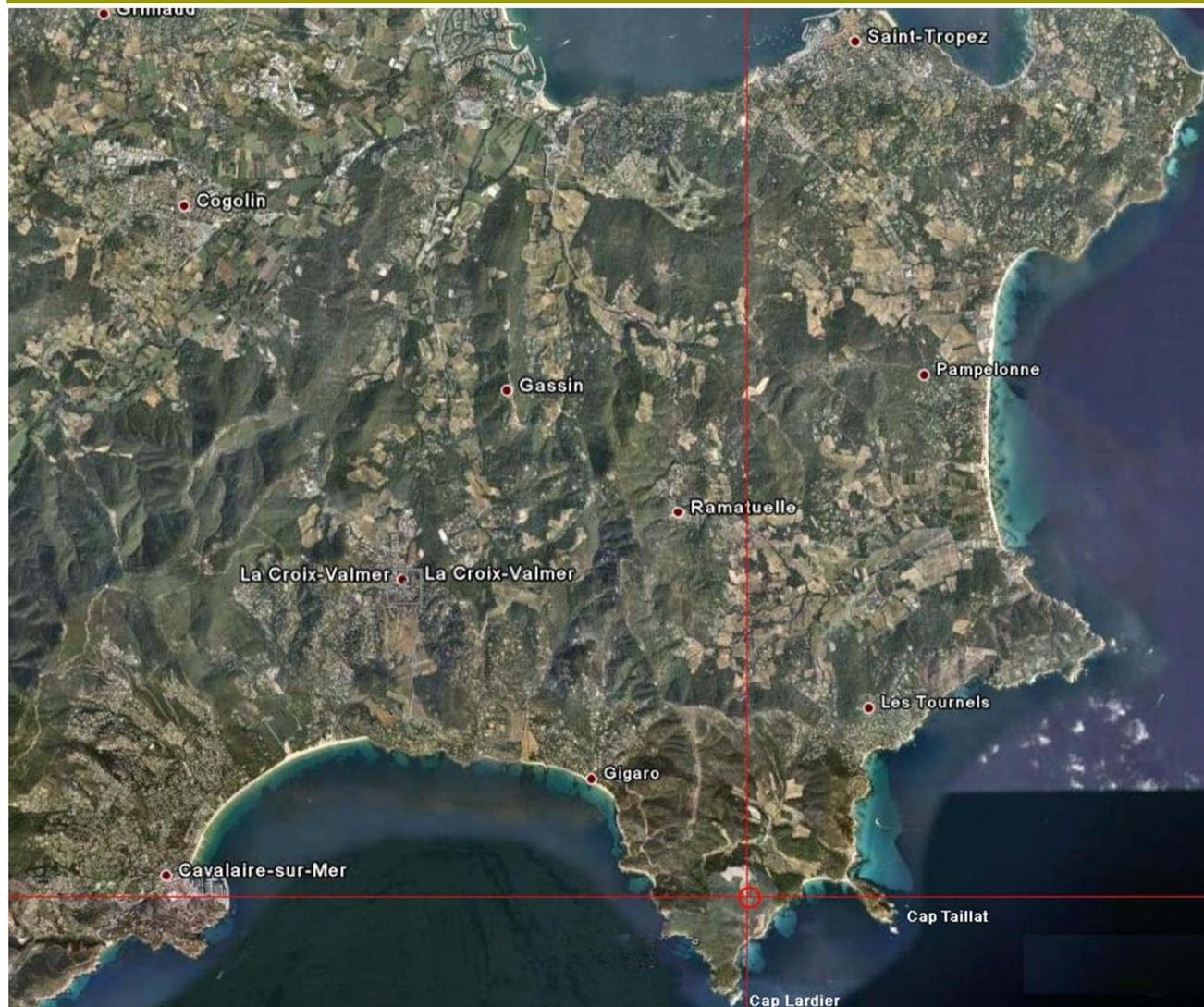
L'étanchéité à l'air est indispensable dans l'utilisation d'une VMC double flux.



CHAPITRE II

Environnement de la maison

Situation géographique



Cette maison est située sur la Commune de La Croix-Valmer, dans le département du Var. Elle est implantée au Cap Lardier.

Le Cap Lardier est une avancée méridionale de la presqu'île de Saint Tropez, il se situe à la même latitude que le Cap Corse.

Latitude : 43°07'28.80 N

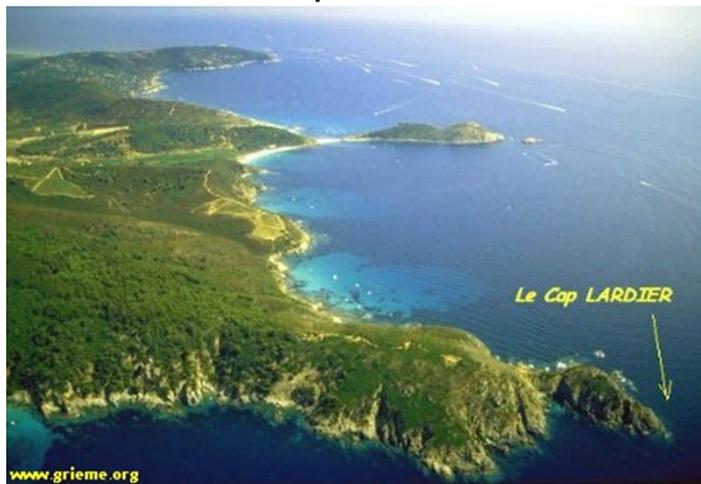
Longitude : 6°35'15.97 E

Gestion du site

Parc national de Port-Cros



Cap Lardier



Le Conservatoire du Littoral a acquis les premières parcelles de ce site en 1978.

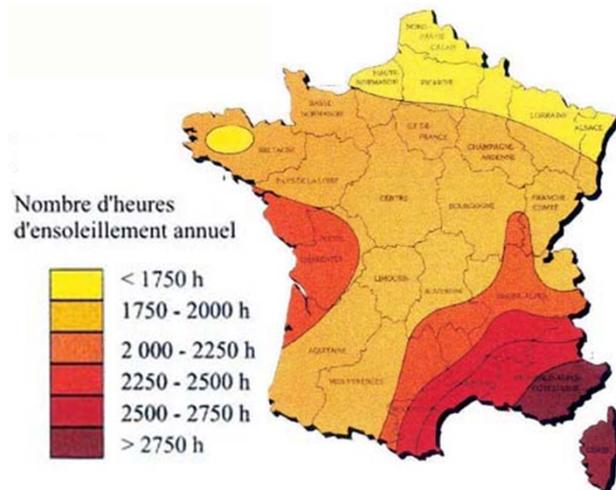
Aujourd'hui il possède 281 hectares de Gigaro au Cap Lardier et à l'Huissière. Le site est géré par le Parc national de Port-Cros, la commune de La Croix-Valmer en est co-gestionnaire. Un comité de gestion, réunissant propriétaires, gestionnaires et usagers, se réunit chaque année pour discuter des travaux réalisés et de ceux à venir.

Après l'acquisition du foncier, l'essentiel de la gestion du site a été de mettre fin aux nombreuses dégradations environnementales : notamment les nuisances occasionnées par les décharges sauvages, les véhicules tout terrain, les motos...

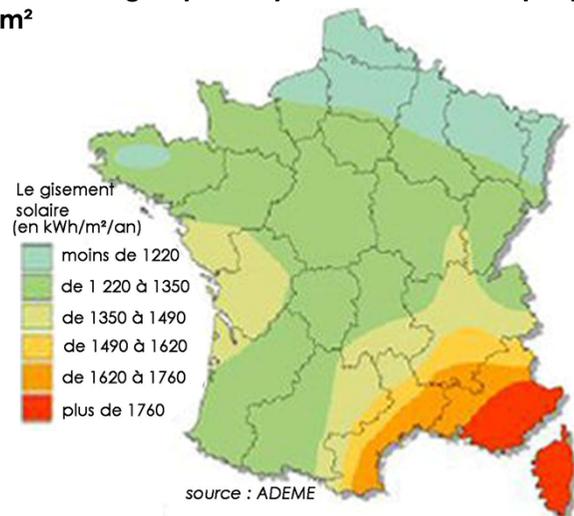
Actuellement la gestion s'est orientée vers la réhabilitation des sites dégradés et le suivi écologique.

Le Climat

Carte d'ensoleillement



Potentiel énergétique moyen en kWh thermique par an et par m²



Ensoleillement :

Dans le sud, le gisement solaire est plus de 2750 kWh/m²/an pour moins de 1750 kWh/m²/an dans le nord de la France. Un gain substantiel de 30%(source ADEME).

Pluies :

38 jours en moyenne de pluie par an > 5m/m

Vent : essentiellement le Mistral et le Levant

Vents :

- **Le Mistral** : Vent de secteur Nord à Nord-Ouest, qui s'établit avec violence dans la vallée du Rhône et s'étend du golfe du Lion à la Corse, avec extension sur le golfe de Gênes et de la Sardaigne lorsqu'il est puissant.

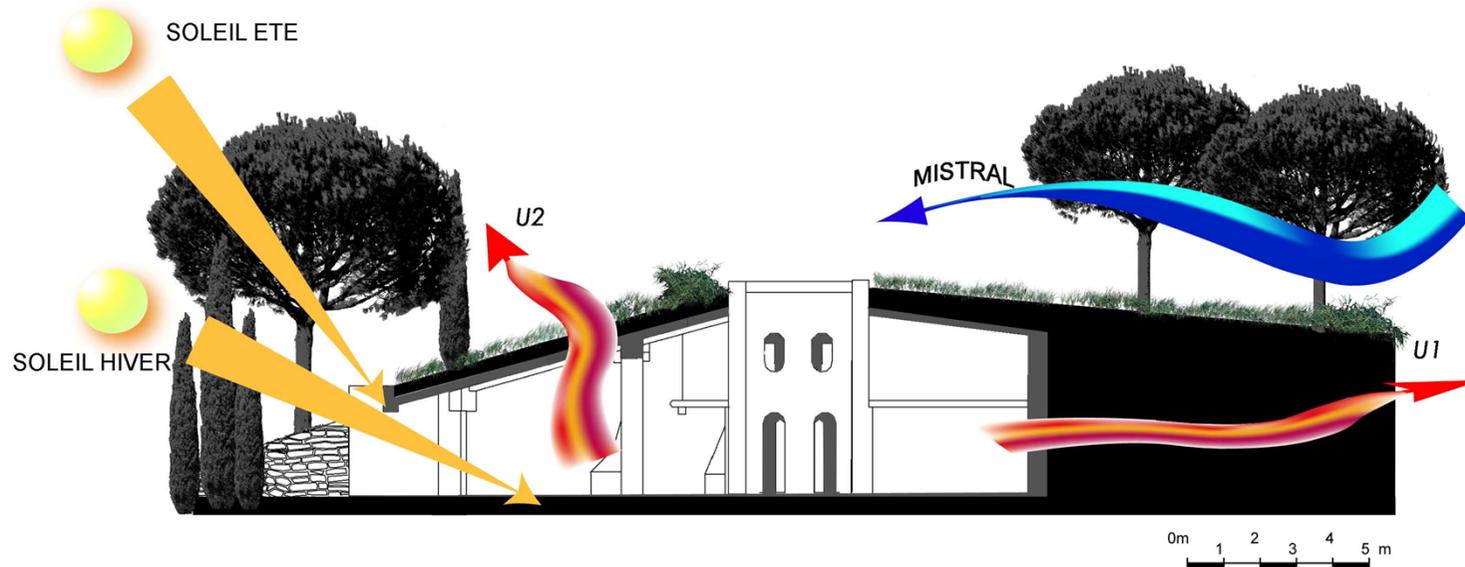
Sa fréquence entre Marseille et le cap Camarat : 110 jours par an (source : Instructions Nautiques)

- **Le Levant** : Appelé le levant par les pêcheurs, le vent d'Est se montre toujours aussi fort que le Mistral parfois davantage. C'est généralement lui qui provoque les tempêtes les plus agressives en Méditerranée, en particulier pendant la saison froide. Il souffle sous un ciel nuageux et s'accompagne de pluies. Assez rares et relativement modérées durant l'été, les perturbations de secteur Est se manifestent essentiellement entre l'automne et la fin de l'hiver. Le ciel se couvre de nuages noirs inquiétants qui traînent le plus souvent un épais rideau de pluie. Le levant s'établit plus lentement que le Mistral, et persiste en principe moins longtemps : soleil et accalmies surviennent habituellement après 24 à 48 heures.

Température :

la mer est un élément modérateur des effets climatiques mais augmente l'hygrométrie, la moyenne des températures est d'environ 15° sur le littoral. Le nombre de jours à forte chaleur se situe entre 10 et 30 jours > 30°. L'été, l'écart des températures entre le jour et la nuit permet une ventilation nocturne rafraichissante.

Contexte climatique



Le U_2 ($0,44 \text{ W/K.m}^2$) de la toiture malgré l'épaisseur de la terre de $0,80 \text{ cm}$ ne peut pas avoir le même U_1 ($0,10$) des murs complètement enterrés.

Pour approcher un U de même coefficient ($0,10$) il faudrait rajouter entre 7 à 10 cm d'isolant extérieur

Située en bord de mer, dans un relief escarpé la maison enterrée permet d'utiliser l'inertie thermique du sol.

Cette conception d'enfouissement offre une meilleure protection contre la canicule ou le froid, et surtout favorise une intégration facile au site par l'utilisation du relief et de la végétation.

Condition climatique générale :

Les quatre contraintes climatiques en Provence :

- Hiver ensoleillé et froid,
- Été chaud et humide en bord de mer,
- Mistral, vent soufflant du Nord Ouest, souvent violent et qui assèche,
- Vent d'Est (Levant) porteur de pluies et d'orages,

Géologie

Le site du cap Lardier fait parti de l'unité géologique du massif des Maures.

Il se caractérise par un sol siliceux (roches métamorphiques : granites, gneiss, micaschiste...) qui offre un réseau de fissures facilitant la pénétration des racines.

Ce substrat accueille une végétation de maquis, représentée par des espèces telles que le pistachier, les lentisques, la bruyère arborescente ou les cistes.



Végétation

Le taux de boisement élevé (environ 70 à 80%), la présence simultanée des six essences méditerranéennes principales, caducs et résineux (chêne vert, chêne pubescent, chêne liège, pin blanc, pin pignon, pin maritime, pin parasol) font du Var un département privilégié.

L'étagement des essences et des espèces correspond à leur faculté d'adaptation aux conditions physiques, notamment aux embruns salés. En effet le sommet où se trouve la maison est couvert de chênes-liège et de pins maritimes. Ce couvert végétal se diversifie à mi-pente où il est associé au pin d'Alep et au pin parasol.

Le sous-bois est constitué par une végétation où dominent l'arbousier, la bruyère arborescente et des épineux tels que le genêt ou l'argelas.

Se mêlent aussi des espèces rares protégées comme le Palmier nain, le Tamaris d'Afrique, la Barbe de Jupiter...



CHAPITRE III

Etat des Lieux

- a) Présentation de la maison
- b) Diagnostic suivant les 4 principes de la maison passive



Etat des lieux

a) Présentation de la maison

Plan masse



Noyée au milieu des pins parasol et des chênes liège , vue du ciel, cette construction laisse apparaître uniquement le patio et la piscine.

En 1978, ce terrain fût dévasté par un incendie.

Entièrement calciné et pour éviter l'érosion de la terre par les fortes précipitations, une partie du terrain la plus accessible fût transformée en champs de vigne.

L'autre partie la plus abrupte a été consolidée par des restanques comblées de terre avec quelques arbres : pins, oliviers, chênes, palmiers.

Conception de la maison



L'application de forme ronde, inspirée d'un modèle organique, de la famille des Octopodes, a conduit l'architecte à créer un volume habitable fluide où la circulation entre les différents espaces ouverts se fait sans obstacles.

Cette maison appelée « Octopus » possède son œil, représenté symboliquement par le patio et prolonge son corps tentaculaire par des allées extérieures toutes en courbes.

Environnement de la maison

Ambiance paysagère du jardin devant la maison



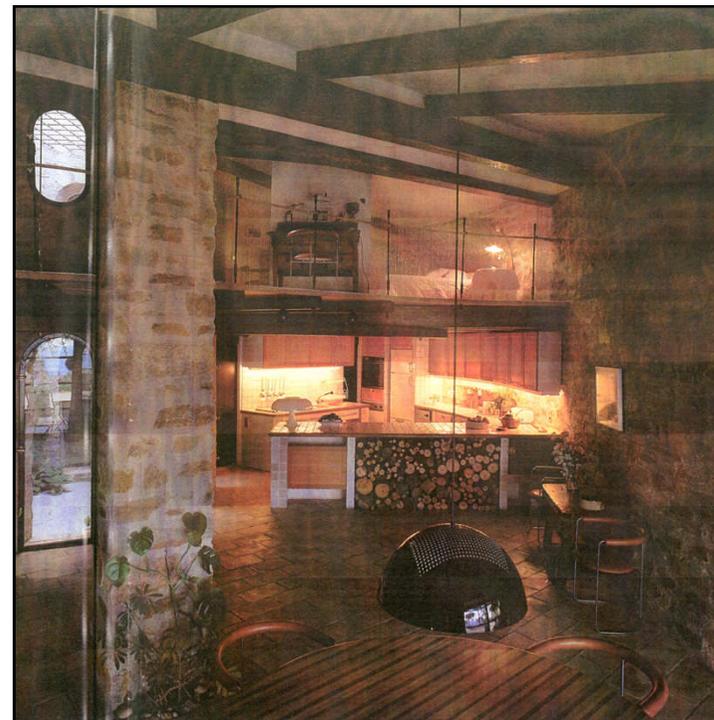
Entrée de la propriété



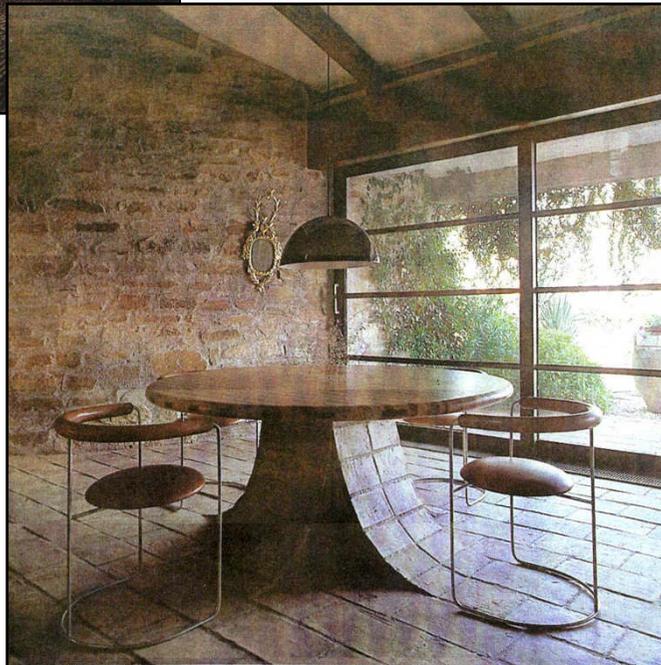
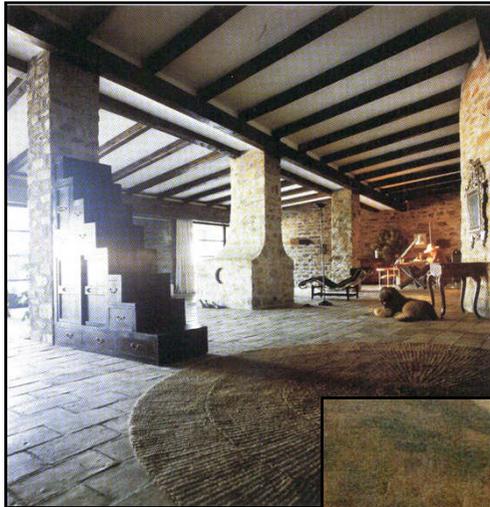
Intérieur de la maison



Autour du patio s'organisent les pièces fonctionnelles : chambres et salle de bains en mezzanine, cuisine, buanderie et une chambre d'amis en rez de chaussée.



Intérieur de la maison



L'espace séjour est ouvert sur l'extérieur par de grandes baies vitrées, protégées par des volets roulants métalliques de type porte de garage.

Les murs sont en pierre du pays, les sols en carreau de terre cuite fait main.

L'alimentation en eau est faite par forage ;

L'assainissement par épandage ;

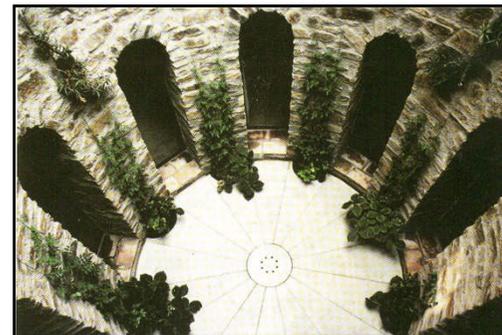
L'énergie : électrique et fioul

« Le Patio : œil de la maison »

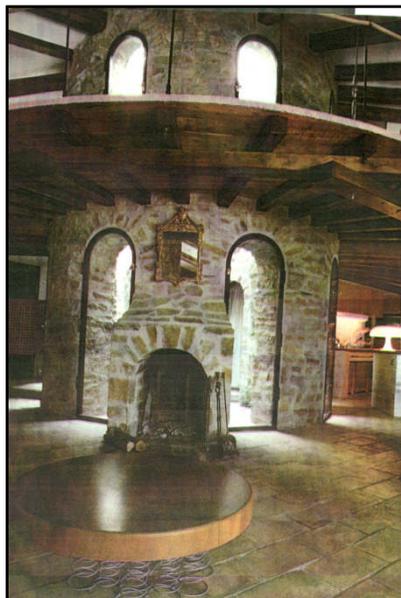
Vue de l'extérieur



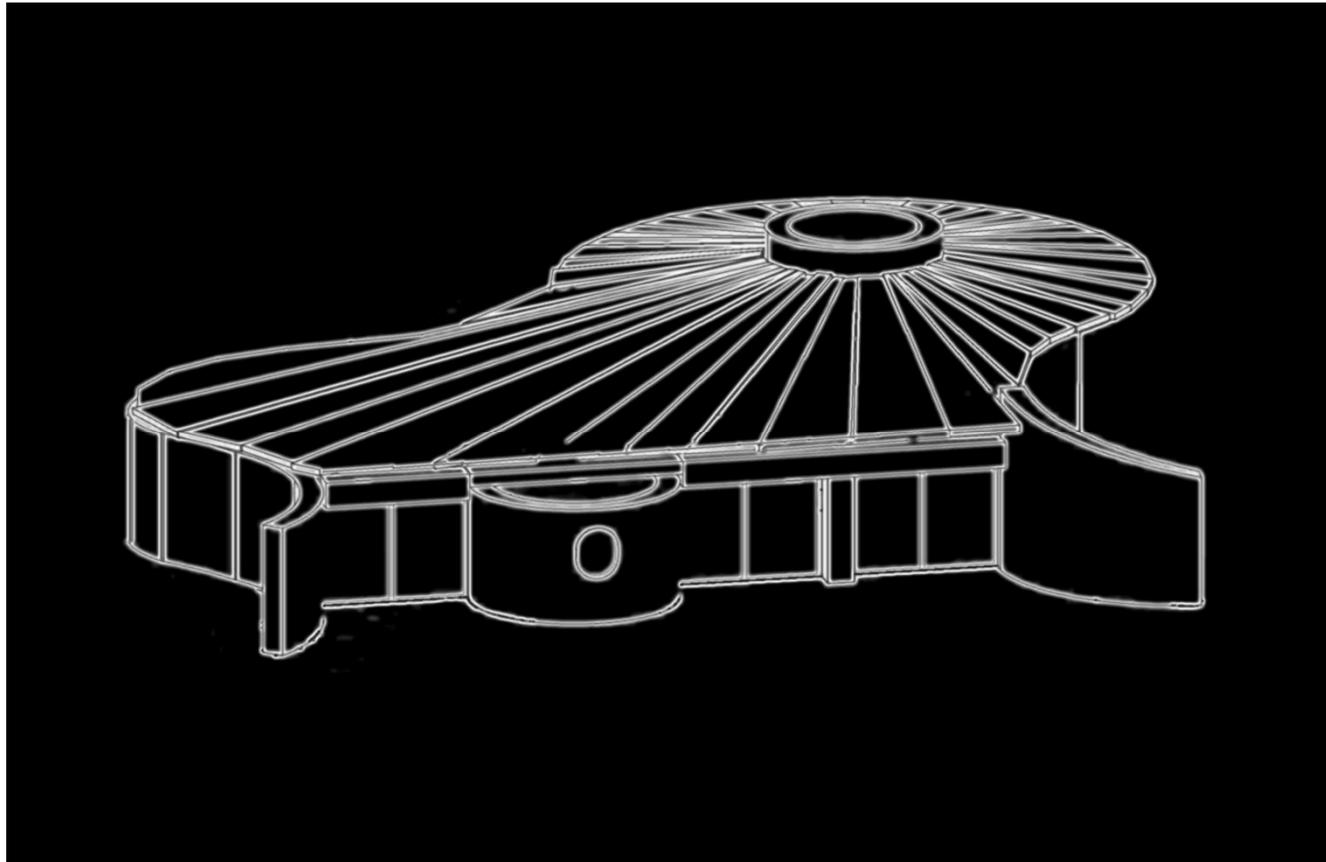
Vue de dessus



Le patio : vue de l'intérieur



Principe constructif

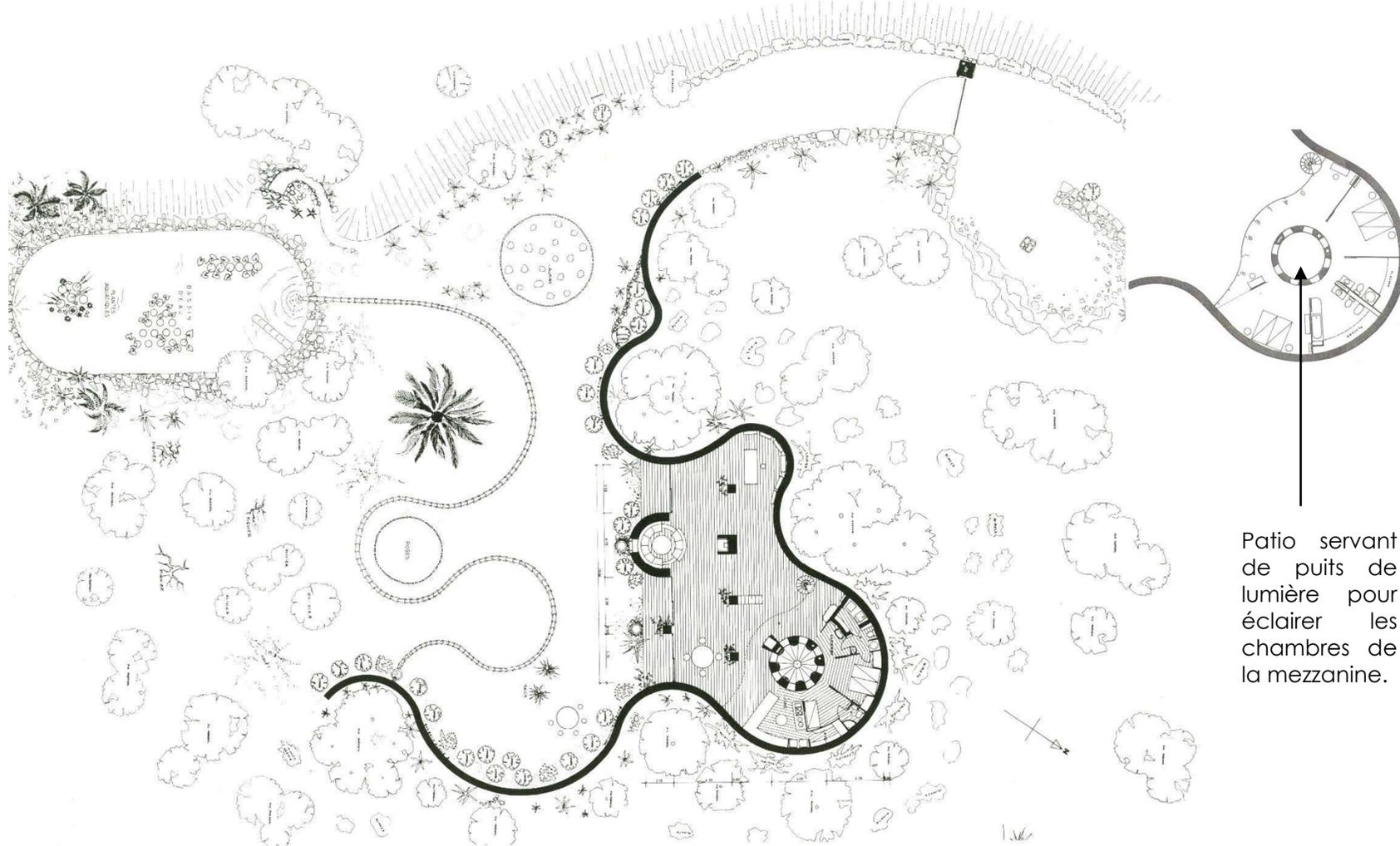


La structure porteuse en courbe offre une meilleure résistance aux poussées de la terre.

Les murs sont en béton et pierre du pays ; épaisseur du mur \approx 60 cm.

L'étanchéité du toit terrasse et des murs est assurée par une étanchéité lourde, plus 80 cm de terre en toiture.

Rez de chaussée et mezzanine



Patio servant de puits de lumière pour éclairer les chambres de la mezzanine.



Etat des lieux

b) Diagnostic suivant les 4 principes de la maison passive

Etat des lieux

Afin de faciliter les points de la construction sur lesquels il va falloir intervenir. Le diagnostic de la construction existante est basé sur la **consommation énergétique de la maison** et sur les quatre principes de la maison passive à savoir :

- 1) Isolation thermique renforcée
- 2) Ventilation de la maison
- 3) Ouvertures : fenêtres
- 4) Pont thermique et étanchéité à l'air

Consommation énergétique de la maison

Actuellement, le type de chauffage utilisé est un chauffage central au fioul. Il sert aussi à l'eau chaude sanitaire. La chaudière n'a jamais été changée, elle date de sa mise en service fin des années 1970.

Sa consommation annuelle est de 1150 l par an.

$1150 \text{ l} \times 10 \text{ kWh} = 11\,500 \text{ kWh}$

Sachant qu'un litre de fioul produit environ : 10 kWh Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) et considérant que la chaudière est vétuste, la chaleur perdue nous permet de prendre uniquement 10 kWh comme base. En général pour une chaudière récente, le (PCS) Pouvoir Calorifique Supérieur est de 12 kWh par litre. Dans le calcul, il n'est pas pris en compte la vétusté de la chaudière trentenaire. Elle ne fonctionne plus qu'à 70% environ de son rendement.

Les journées chauffées dans le midi sont en moyenne de 180 jours, soit environ 6 mois, période allant du 15 octobre au 15 Avril.

$11\,500 \text{ kWh} \times 0,7 = 8\,050 \text{ kWh}$

$8\,050 \text{ kWh} / 180 \text{ jours} = 44,72 \text{ kWh/jours}$

$8\,050 \text{ kWh} / 362 \text{ m}^2 = 22,23 \text{ kWh/ m}^2/\text{an}$

La surface de la maison chauffée représente 362 m², à l'époque de la mise en place de ce chauffage, il n'y avait pas de répartition par zone. La maison était toujours entièrement chauffée. Les occupants fermaient ou ouvraient les radiateurs suivant leurs besoins. En général, le chauffage était rarement coupé puisque le litre de fioul dans les années 1980 coûtait 1,90 F et en 2009 0,70 €/l soit 4,59 F en valeur nominale (inflation non déduite). Il a donc augmenté de 241%. En valeur constante, il a augmenté de 1,90 F x 0,36556 = 0,69 € (voir le particulier n°1001 mai 2006). Ce qui veut dire que le fioul domestique a suivi l'inflation.

Le besoin en chauffage de cette maison est de 22,23 kWh/m²/an y compris la production de l'eau chaude sanitaire.

Consommation électrique

Si l'on estime la consommation d'électricité domestique pour 4 personnes de 6762 kWh (étude école Jean Monnet 28240 La Loupe), cela équivaut à une consommation de 18,68 kWh/ m²/an. (pour un éclairage classique de type lampe à incandescence).

Besoin en chauffage en Energie primaire suivant l'utilisation de la boîte à outils

Pouvoir calorifique inférieur des combustibles



Fioul 1 kg = 11,9 kWh (1l = 10,2 kWh)



**Gaz nat 1 m³ = 10,1 kWh (gaz de Russie)
= 9,1 kWh (gaz de Groningue)**

Propane 1 m³ = 25,4 kWh (1 kg = 12,8 kWh)

Butane 1 m³ = 32,9 kWh (1 kg = 12,7 kWh)



Coke 1 kg = 7,5 kWh (1 t = 7500 kWh)



Bois 1 kg = 4,32 kWh (1 stère = 600 kg = 2592 kWh)

Vérification de la consommation : (réalité - boîte à outils)

La consommation annuelle de fioul est de 1150 l (valeur donnée par l'occupant)

1 litre de fioul produit : 10,2 kWh (PCI*)

1150 l x 10 kWh = 11 500 kWh / an, on ne prend pas en compte la baisse de 70% de rendement, puisque l'on consomme malgré tout cette quantité de fioul.

Journées chauffées dans le midi : 180 jours

11 500 kWh/an / 180 jours = 2,7 kWh/jours

Afin de vérifier les résultats de la boîte à outils concernant le chauffage en énergie primaire :

- Nous avons pris la consommation annuelle de fioul de la maison qui est environ de 1150 l/an, sachant que l'Eau Chaude Sanitaire (ECS) est incluse dans cette consommation.

Comparatif consommation énergie finale (EF) :

Entre le résultat du logiciel et la réalité consommée

Le logiciel nous donne : **31,14 kWh / m² SHON.an**

11 500 kWh / 362 m² : **31,76 kWh / m².an**

*PCI : Pouvoir calorifique inférieur (chaleur perdue : 10,2 kWh)

PCS : Pouvoir calorifique supérieur (récupération de chaleur : 12,8 kWh)

Isolation des murs

La maison est orientée Sud-est sur sa façade ouverte et enterrée sur ses faces Ouest, Nord et Est.

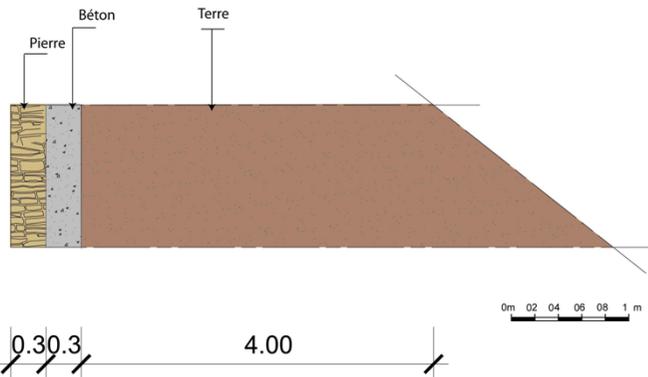
Ainsi, elle bénéficie d'une isolation thermique maximum. La façade Sud-est est entièrement vitrée. L'avancée du toit végétalisé permet d'arrêter les rayons du soleil l'été et limite la surchauffe du vitrage.

L'utilisation de matériaux des années 1980 reste basique, à savoir :

- Les murs sont en béton armé avec un parement pierre à l'intérieur pour une épaisseur totale de 60 cm.
- Une étanchéité lourde
- L'isolation des murs et du sol est donnée par l'épaisseur de la terre.
- Le toit en béton armé de 30 cm supporte une épaisseur de 50 cm à 1.00 m de terre.

Calcul du U des murs enterrés

Mur enterré



Conductivité thermique des matériaux

λ [W / m.k]

- Pierre naturelle : 2,50
- Béton : 2
- Terre à 5% d'eau : 0,40

Plus la valeur de la conductivité thermique est faible et plus le matériau est isolant;

Plus la conductivité thermique est grande, plus le matériau est conducteur.

Calcul du coefficient de transmission thermique U

Plus U est faible, plus la paroi est performante
Plus la conductivité thermique est faible, plus il sera isolant

Plus R est grand, plus la paroi est performante

$$\text{Résistance thermique : } R = \frac{e}{\lambda}$$

$$\text{Coefficient de transmission thermique : } U = \frac{\lambda}{e}$$

e : épaisseur du matériau [en m]

λ : (lambda) conductivité thermique [W / m.k]

Résistance thermique du ME :

$$0,30 / 2,50 = 0,12 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

$$0,30 / 2 = 0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

$$4,00 / 0,40 = 10,00 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

$$\Sigma R = \text{Résistance du mur} = \boxed{10,27} \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$$

(source = règles Th.K et Th.D des DTU)

Calcul du coefficient de transmission thermique : U

$\Sigma R = 10,27$ auxquelles on ajoute les résistances superficielles

$$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} = 0,11 + 0 = 0,11 \text{ soit } R = 10,27 + 0,11 = \boxed{10,38} \text{ [m}^2 \cdot \text{K} / \text{W]}$$

$$U = 1 / R = 1 / 10,38 = \boxed{0,096} \text{ [W} / \text{K} \cdot \text{m}^2]$$

La boîte à outils ne prend pas trois décimales après la virgule, elle arrondit au chiffre supérieur : 0,096 devient : 0,10.

Ce qui nous donne un Ubat de 0,277 W/K.m² (voir boîte à outils en annexe)

Exigence RT 2005 (garde-fou)

$$U \leq 0,45 \text{ W / K.m}^2$$

$$\text{Soit } D \leq 6,3 \text{ W / m}^2$$

Déperdition thermique du mur enterré

Température extérieure (terre) : 10°C

Température intérieure : 19°C

Déperdition surfacique (en partie courante : mur)

$$D = 0,096 \times (19-10) = 0,87 \text{ W / m}^2$$

Déperdition thermique du mur enterré : 0,87 W / m²

Rappel : on considère un mur bien isolé avec un R = 3 (cas d'un mur donnant sur l'extérieur)

Température extérieure : 5°C

Température intérieure : 19 °C

Déperdition par m² : $(19-5) / 3 = 4,66 \text{ W / m}^2$

Recommandation maison basse consommation :

Coefficient de transmission thermique : $U \leq 0,20 \text{ W / K.m}^2$

Déperdition : $D \leq 2,8 \text{ W / m}^2$

Calcul du coefficient thermique de la toiture enterrée

Béton : $0,30 \text{ cm} / 2 = 0,15$

Terre : $0,80 \text{ cm} / 0,40 = 2,00$

Résistance thermique de la toiture 2,15 m².K/W

Résistance thermique totale : $2,15 + 0,11 = 2,26$
m².K/W

U : $1/R : 0,44 \text{ W/K.m}^2$

Calcul du U toiture + mur

Surfaces déperditives : toiture + mur : $260 \text{ m}^2 + 238 \text{ m}^2 = 498 \text{ m}^2$

Déperdition thermique des parois :

$$\begin{array}{r} 238 \times 0,10 = 23,80 \\ 260 \times 0,44 = 114,40 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{r} 238 \\ 260 \end{array}} \right\} 138,20$$

U_{bat} DP/SD : $138,20 / 498 \approx \mathbf{0,28}$

1) Inertie thermique

Dans notre cas, le rôle de l'inertie thermique est essentiel. Elle permet de récupérer une grande partie de l'énergie gratuite de la terre. En jouant le rôle de tampon, elle régule lentement les échanges calorifiques entre l'extérieur et l'intérieur.

Ainsi elle diminue les besoins en chauffage l'hiver, supprime la climatisation l'été et permet donc de diminuer la facture énergétique.

La maison est non seulement économe en énergie, mais l'inertie thermique rend en même temps la vie à l'intérieur plus agréable. En effet l'inconfort peut provenir aussi bien d'un excès de chaleur, que d'une température trop basse.

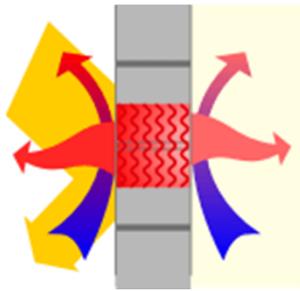
En évitant les surchauffes et les refroidissements, l'inertie thermique de la terre par sa faible conductivité donne une plus grande sensation de confort aux habitants.

Pour déterminer le coefficient de transmission thermique U d'un mur enterré, il est nécessaire de le calculer. En effet, tout dépend de la nature de la terre et de son épaisseur, il est à noter que l'utilisation de la boîte à outils n'a pas dans son tableau de mur enterré (U des murs, toits et sols ($W/m^2.K$)).

Comme nous venons de le démontrer, cette maison enterrée est très bien isolée. Cette isolation est liée à sa forte inertie thermique.

L'inertie thermique d'un matériau ou d'une construction est sa capacité à emmagasiner et à restituer de l'énergie (chaleur ou fraîcheur) dans sa structure.

Le passage d'un état à l'autre (chaud, froid) induit un mouvement, une vitesse de transmission. L'inertie thermique d'un matériau va amortir les variations de température entre l'intérieur et l'extérieur.



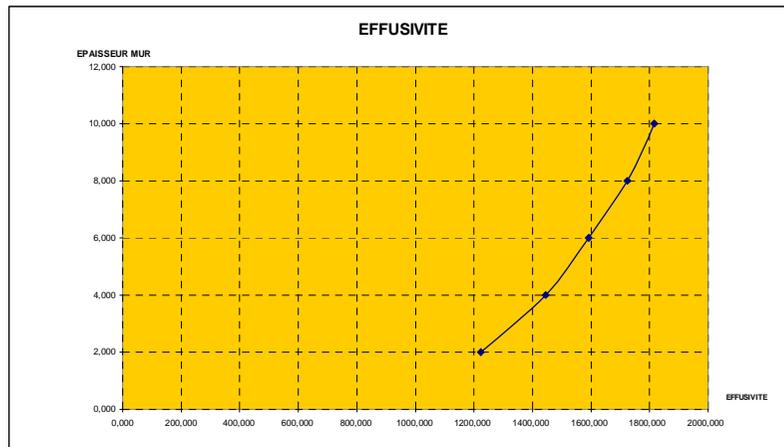
Cette capacité des parois à accumuler de la chaleur, puis à la restituer représente l'inertie thermique du bâtiment. L'inertie thermique répartit donc les apports de chaleur dans le temps et permet ainsi d'éviter les surchauffes à l'intérieur du bâtiment en été.

Inertie thermique suite

L'inertie thermique d'un matériau comprend trois grandeurs :

- l'effusivité
- la diffusivité
- le déphasage

Formule de l'effusivité : $\sqrt{\lambda \times \rho \times C_p} / e$



Plus la masse de la terre en contact avec la maison est importante, plus la chaleur ou le froid sera emmagasinée (sur une surface donnée).

L'effusivité détermine la capacité d'un matériau à accumuler de la chaleur ou du froid en pompant des calories ou des frigories dans le milieu ambiant.

Ex : le marbre est un matériau très effusif $E = 3000$. Il procure une sensation de froid au toucher car il pompe la chaleur de la main et emmagasine la chaleur. A l'inverse du bois qui a peu d'effusivité $E = 350$.

L'effusivité se traduit par la formule suivante : $E = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot C_p}$

λ : est la conductivité thermique du matériau ($W/m \cdot ^\circ C$) = 0,40 (λ retenu pour notre calcul du U)

ρ : est la masse volumique du matériau (kg/m^3) = 1500

C_p : est la chaleur spécifique du matériau ($Wh/^\circ Ckg$) = 900

$E = \sqrt{0,40 \times 1500 \times 900} = 750 J/m^2 \cdot ^\circ C$

L'effusivité s'exprime en Watt racine carrée d'heure par mètre carré degré Celsius ($W \cdot \sqrt{h/m^2 \cdot ^\circ C}$).

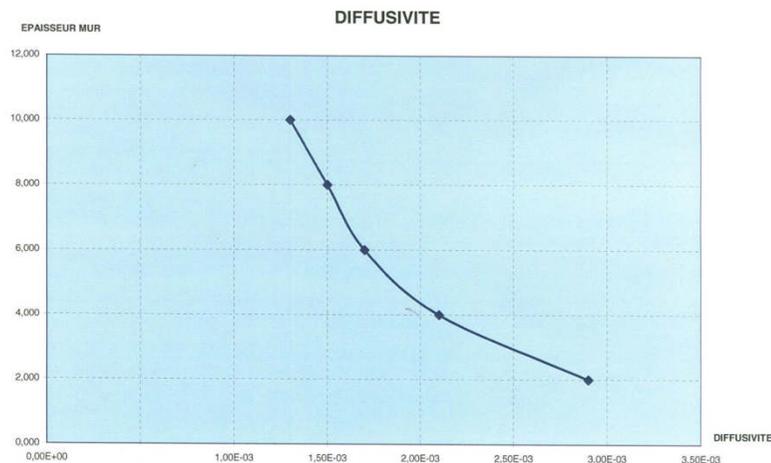
C_p et ρ doivent être élevées pour pouvoir stocker le maximum d'énergie. En comparatif le polystyrène à une valeur de 29 qui est médiocre c'est-à-dire que ce matériau ne peut pas stocker de la chaleur ou du froid.

Plus l'effusivité est élevée, plus le matériau absorbe d'énergie sans se réchauffer.

Inertie thermique *suite*

La diffusivité est la capacité d'un matériau à diffuser la chaleur ou le froid en un temps donné

Formule diffusivité : $\lambda / \rho C / \text{m}^2 / \text{s}$



Plus la masse de la terre est conséquente, plus la vitesse de restitution de la chaleur ou du froid est importante

La diffusivité se traduit par la formule : $D = \lambda / \rho C \text{ m}^2 / \text{s}$

$$D = 0,40 / (1500 \times 900) = 2,96 \cdot 10^{-7}$$

Le polystyrène conduit mal la chaleur, sa chaleur volumique étant faible 21 contre 1350 pour la terre, il absorbe peu la chaleur à l'inverse de la terre.

ρC = Plus la capacité thermique est grande, plus la quantité de chaleur à lui apporter pour élever sa température est importante.

Plus la diffusivité est faible, plus le front de chaleur mettra du temps à traverser l'épaisseur du matériau.

La diffusivité thermique ou déphasage:

C'est l'aptitude d'un matériau à transmettre rapidement une variation de température. Elle croît avec la conductivité et décroît avec la capacité thermique. Elle s'exprime en mètre carré par heure (m^2 / h).

Le déphasage

Le déphasage est le décalage entre le moment où le matériau est soumis à une source de chaleur et le moment où il restitue la chaleur. En faisant varier l'épaisseur du matériau on fait varier le déphasage. Plus un matériau est isolant plus il déphase, la chaleur se déplace dans celui-ci lentement.

Temps nécessaire à un flux de chaleur (ou de froid) pour traverser un matériau

Plus il est important meilleur est le confort.

$$\tau = \frac{e^2}{D_f \cdot \pi^2}$$

où

e = l'épaisseur de la paroi

Df = la diffusivité

$$\tau = 3,002 / (2,96 \times 3,142) = 29 \text{ h}$$

par exemple : le déphasage entre le polystyrène est de 2 h et la pierre poreuse est de 12 h.

2) La ventilation

La ventilation actuelle est naturelle. Le patio sert d'extracteur thermique. La circulation de l'air se fait de bas en haut et s'obtient par des ouvertures en façade sud-est et s'évacue par la partie haute du patio.

Toutefois, la maison construite dans les années fin 1970 n'était pas prévue pour être étanche à l'air. Les différences de températures entre l'intérieur et l'extérieur dues au vent ou aux écarts de températures suffisent à produire une circulation d'air. Mais le manque d'étanchéité de la maison ne garantit pas un passage d'air suffisant.

Pour se déplacer, l'air a besoin d'un chemin et d'une différence de pression. Même avec des infiltrations, il y a toujours des périodes sans échange d'air entre l'intérieur et l'extérieur. Ces périodes surviennent au printemps ou à l'automne, lorsque les vents sont nuls ou faibles et que la différence de température est faible ou nulle entre l'intérieur et l'extérieur, de sorte qu'il n'y a pas d'effet de tirage.

Une autre donnée est à prendre en compte, l'accentuation du passage de l'air à l'intérieur favorisée par la chaudière fonctionnant au fioul. Elle consomme l'air de l'habitation et celui-ci doit être remplacé par l'air frais venant de l'extérieur. Ce système de chauffage favorise l'échange d'air entre l'intérieur et l'extérieur.

De plus, une cheminée par son tirage élève le niveau de pression neutre à l'intérieur et réduit ainsi la différence de pression entre intérieur et extérieur de la maison. La pression diminue ainsi le risque de condensation par l'air sortant, à l'inverse du chauffage électrique qui lui n'a pas besoin d'apport d'air. Dans ce cas le degré d'humidité sera plus élevé et entrainera des moisissures dues à la condensation sur les murs et les plafonds.

La cheminée constitue un point d'aspiration d'air même lorsque le chauffage ne fonctionne pas.

On peut rappeler également que la ventilation permet l'évacuation des polluants intérieurs, par exemple liés à l'activité humaine (cuisine, sanitaires, évapotranspiration, ou aux composants volatiles présents dans l'ambiance).

3) Les ouvertures

Le positionnement, la nature, et la taille des ouvertures permettent de privilégier l'éclairage, le réchauffement et la ventilation naturelle.

La plus grande partie des ouvertures est positionnée au sud-est. En zone climatique H3 sud de la France (voir carte d'ensoleillement) il faut compter une proportion de surface vitrée de 15 à 30% de la surface habitable. La maison enterrée en possède 15%. Ce qui est correct, étant donnée sa situation en hauteur de colline, dégagée de tous masques lointains et proches ; pas de montagne, uniquement la mer (pour la luminosité : voir photos intérieures).

A l'époque de sa construction, l'usage des vitrages isolants n'était pas d'actualité. Aussi les baies vitrées sont standards ; en aluminium sans rupture de pont thermique et à simple vitrage clair. Une part importante des déperditions thermiques sont aussi causées par les huisseries en aluminium. Le coefficient de transmission thermique U_f en $W/m^2.K$ donne 7 à 8, alors que pour le bois en comparatif le coefficient est meilleur 1,8 à 2,1.

Le simple vitrage a une résistance thermique pratiquement nulle. Son épaisseur est de 8 mm. Ce qui nous donne un coefficient de transmission thermique U_g en $W/m^2.K$ de 5 à 6 et un U_w d'environ 5 à 7.

Une des priorités sera de changer les baies vitrées qui ont une valeur de U_w de mauvaise performance thermique.

Vue panoramique de la maison



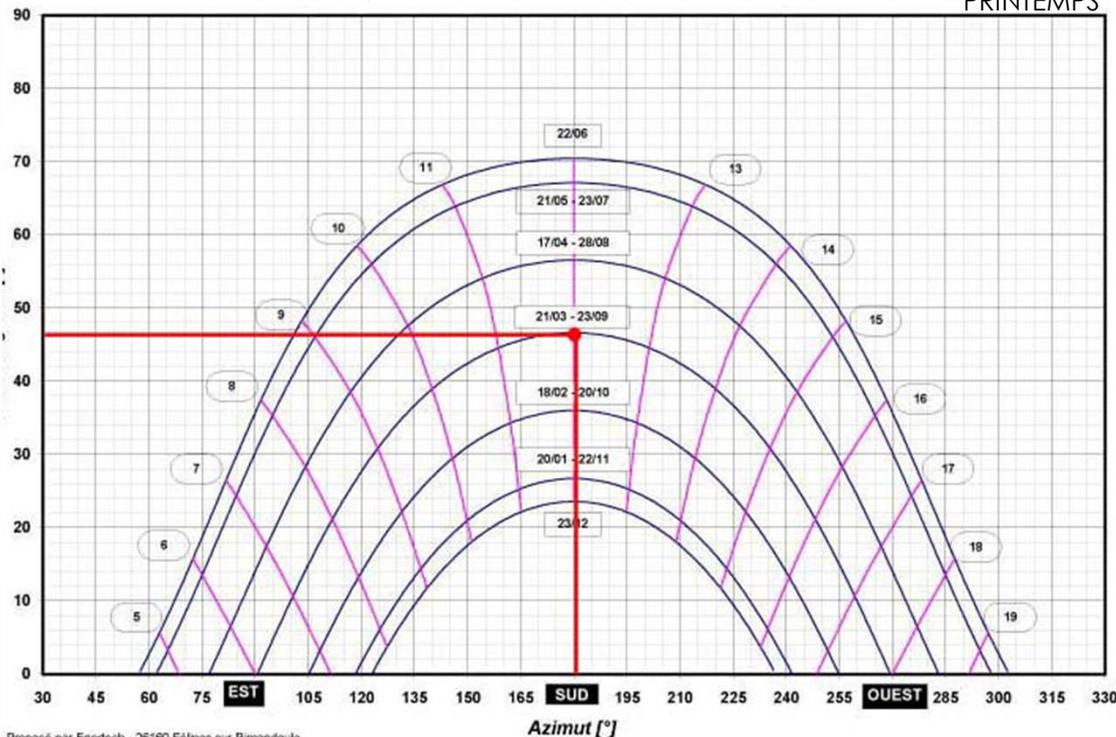
Seule apparaît la façade Sud largement vitrée, sachant que l'été le soleil passe au Zénith et ne pénètre pas à l'intérieur de la maison. Il est toutefois nécessaire de protéger les ouvertures par des brise-soleil ou par des pergolas qui peuvent être végétalisées.

Au Nord, à l'Est et à l'Ouest, les façades sont exposées aux vents dominants, à la pluie et au froid. Mais dans notre cas, elles sont enterrées à l'abri du mauvais temps.

Masques solaires

Trajectoires du soleil (Latitude = 43 °N)

PRINTEMPS



Procesé par Enertech - 25190 Félines sur Rimandoule

Latitude : 43°07'28.80 N

Longitude : 6°35'19.97 E

Diagramme solaire au : **21 mars 2009 à 12h00**

Le soleil a une inclinaison de 46° ; le débord masque à cette heure les ouvertures.

Le logiciel Viz render (autodesk) permet de visualiser de façon très précise l'inclinaison des ombres puisqu'il accepte les latitudes et les longitudes jusqu'à la seconde.

Actuellement, le triple vitrage assure la meilleure isolation des fenêtres. Cette volonté d'isoler permet d'améliorer le coef. Uw. Son intérêt réside dans la limite des pertes énergétiques d'un habitat respectueux de l'environnement pour pouvoir se rapprocher des normes de la maison "zéro énergie".

Toutefois, la captation de l'énergie solaire se réduit et perd de ses performances en facteur solaire g et le coefficient de transmission lumineuse Tl est affaibli (voir chapitre sur les fenêtres).



Masques solaires

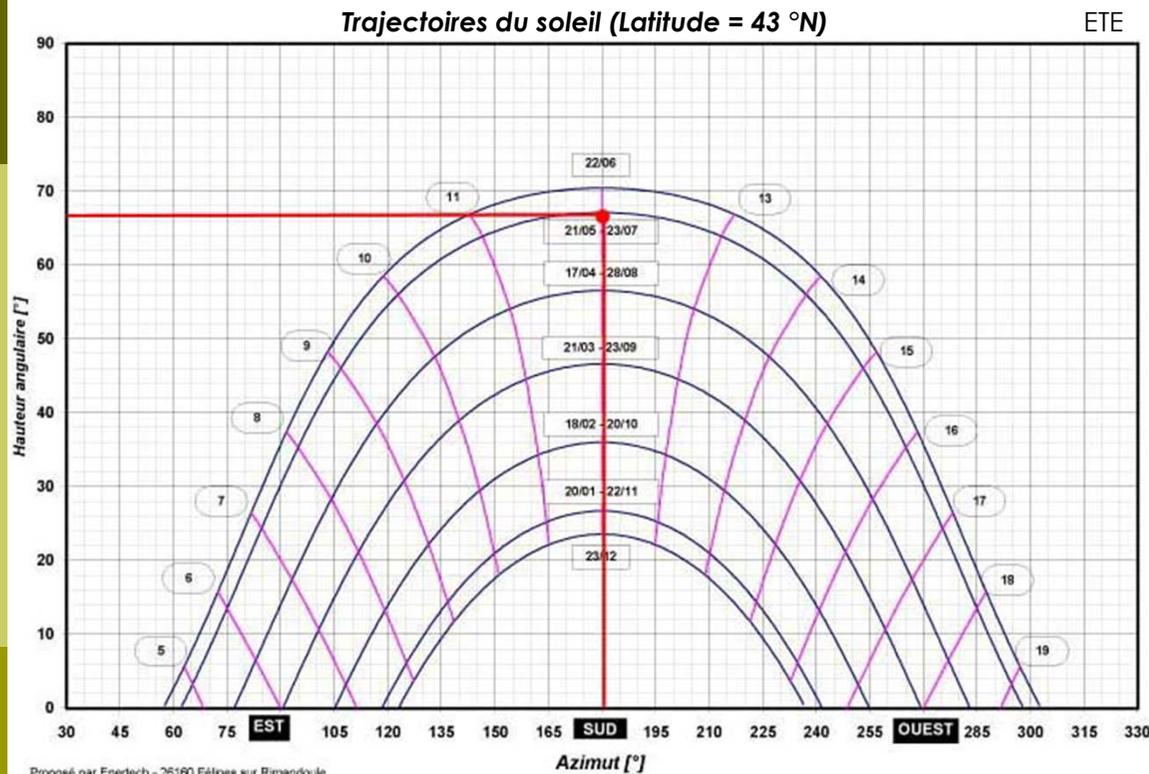


Diagramme solaire au : **21 juin 2009 à 12h00**

Le soleil a une inclinaison de 67°

Le débord permet de masquer largement les ouvertures, ce qui est fortement conseillé en été.

Latitude : $43^\circ 07' 28.80$ N

Longitude : $6^\circ 35' 19.97$ E



Masques solaires

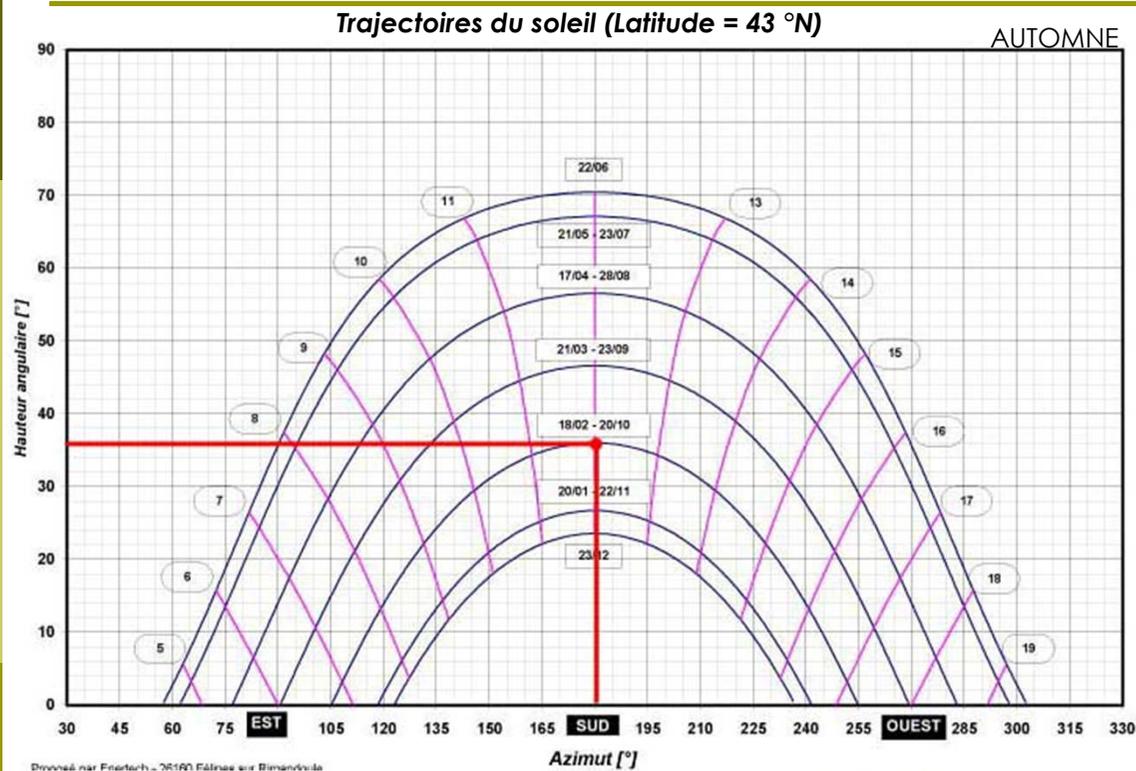


Diagramme solaire au : **21 octobre 2009 à 12h00**

Le soleil a une inclinaison de 36 °

Les journées sont tempérées et le soleil commence à pénétrer dans la maison.

Latitude : 43°07'28.80 N

Longitude : 6°35'19.97 E



Masques solaires

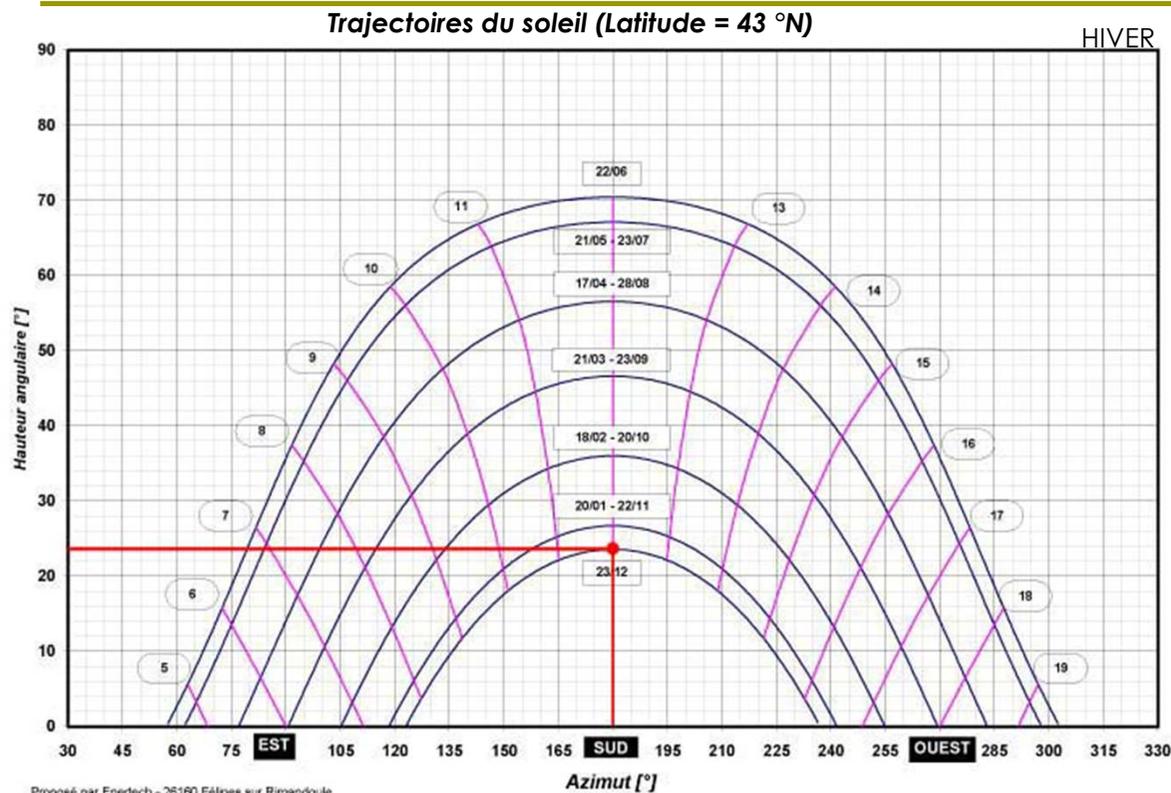


Diagramme solaire au :

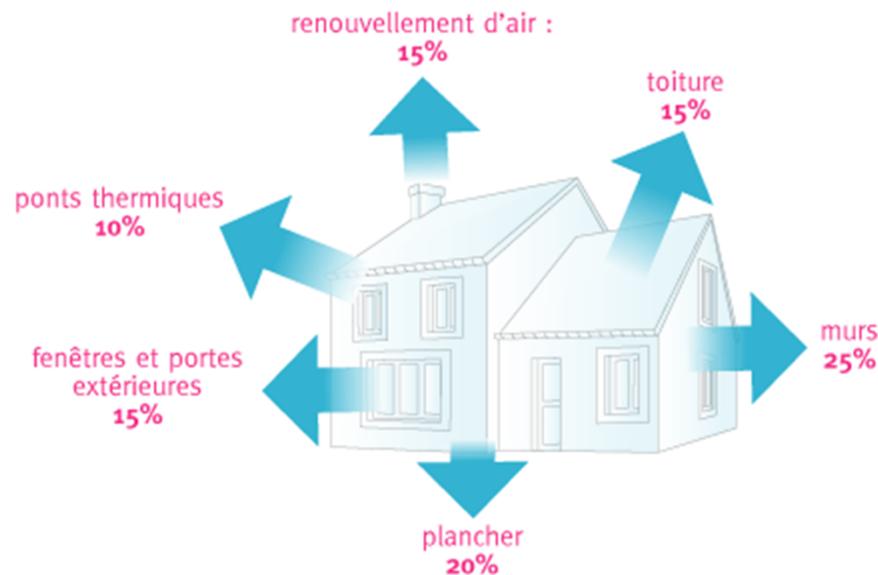
21 décembre 2009 à 12h00

Le soleil a une inclinaison de 24°, ce qui permet au soleil de pénétrer à l'intérieur de la maison.

Latitude : 43°07'28.80 N
Longitude : 6°35'19.97 E



4) Pont thermique et étanchéité à l'air



Source : <http://particuliers.edf.fr>

Dans un bâtiment non-isolé, les ponts thermiques constituent des sources de déperditions thermiques qui sont en règle générale, les suivantes :

- 25 % des murs
- 20 % des planchers
- 15 % de la toiture
- 15 % du renouvellement d'air
- 15 % des fenêtres et portes extérieures
- 10 % des ponts thermiques

L'enveloppe de la maison enterrée est entièrement recouverte de terre prenant la forme d'un cocon. Ce type de construction élimine les ponts thermiques au niveau des planchers, des murs, du toit. Ce qui permet d'économiser + de 50% de déperdition.

L'étanchéité à l'air pourra se faire uniquement sur trois points :

- à la jonction des baies vitrées et de la maçonnerie
- des baies vitrées elles-mêmes
- de la ventilation naturelle qui est difficile à régler ou la remplacer par une VMC double flux

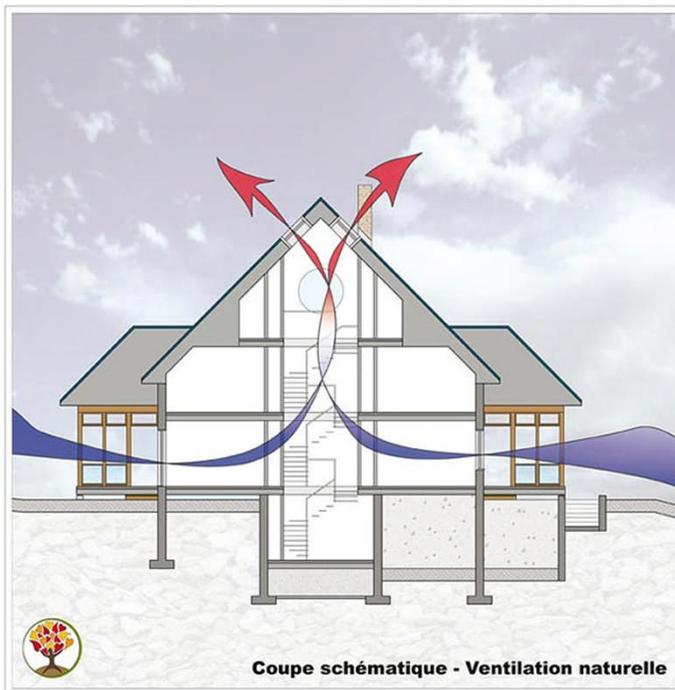


CHAPITRE IV

Projet de réhabilitation

Réhabilitation de la maison enterrée

Ventilation naturelle



Les points sur lesquels il va falloir intervenir sont facilement identifiables et sont restrictifs puisque qu'il est impossible d'intervenir sur l'enveloppe.

Mais comme il a été démontré l'Ubat $0,096 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ est supérieur à celui demandé en passivhaus $0,15$ à $0,10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Nous avons une vêtue naturelle qui remplit largement sa fonction isolante.

Afin d'éviter un coût de travaux trop élevé, l'intervention se fera sur les éléments facilement modifiables notamment :

- la chaudière (tout en conservant son circuit de distribution)
- les fenêtres
- la ventilation naturelle

Le remplacement de ces éléments nous permettra de refaire un calcul énergétique avec la boîte à outils et déterminera notre classification en « PassivHaus » ou en énergie positive.

Source : <http://www.aucoeurdumonde.ca>

besoin en chauffage



Choix énergétique : Répondre à l'un des objectifs de la charte sur les énergies Renouvelables.

Conformément à la loi du 21 octobre 2008 Grenelle de l'environnement, et notamment au Titre 1 : lutte contre le changement climatique- aux articles 16, 17, et en particulier l'article 18 domaine prioritaire : énergies renouvelables, efficacité énergétique, biodiversité, changement climatique et adaptation, stockage de l'énergie, capture et stockage de carbone...

Il a été retenu l'utilisation d'un chauffage bois à granulés. Et cela pour les raisons exprimées ci après.

Avec ses 350 000 hectares de forêt, le Var est le deuxième département forestier de France. Une ressource largement sous-exploitée à l'heure actuelle. Seulement 30% de la croissance en bois est exploitée, essentiellement pour la fabrication de papier et la production de bois bûche. La déprise agricole, gagne du terrain alors que la filière bois a largement périclité au cours des dernières décennies. Le potentiel que représentent les espaces boisés est d'actualité depuis quelques années.

Peu à peu dans le Var, diverses initiatives ont vu le jour, dans les secteurs de l'éco-construction et de l'énergie en particulier. La filière bois présente en effet de multiples intérêts : en termes d'économie et d'emploi mais aussi en terme de gestion forestière et de protection de l'environnement.

L'économie d'énergie, la préservation de la biodiversité des milieux et la prévention des risques incendies sont étroitement lié au développement de la filière bois.

« Nous avons à portée de la main une richesse dont je ne suis pas sûr que nous avons saisi l'importance », concédait Horace Lanfranchi président du Conseil Général du Var.

besoin en chauffage *suite*



Dans le domaine de l'énergie la capacité de l'offre a avancé plus vite que la demande. Exemples avec les plaquettes forestières, adaptées pour le chauffage de surfaces importantes et donc destinées aux collectivités et aux entreprises. Les fournisseurs (dont le SIVOM Pays des maures et ONF Energie) sont aujourd'hui largement en mesure de répondre à la demande. Faute de débouchés locaux, les plaquettes varoises s'exportent alors que la consommation (environ 1500 tonnes pour l'année) reste faible.

Le coût de l'installation, plus élevé que pour des systèmes au fuel ou au gaz naturel, n'est sans doute pas étranger à la situation. Il existe pourtant plusieurs circuits de subvention et l'investissement de départ est à mettre en rapport avec le coût de fonctionnement. Pourtant Le retour sur investissement est atteint en 7 ou 8 ans. Il y a énormément à faire pour développer et structurer la filière bois dans le Var.

L'investissement présente plusieurs avantages du point de vue :

- financier, cette énergie est 3 à 4 fois moins chère que l'électricité et actuellement à 30 % moins chère que le fioul, énergie fossile dont le prix est condamné à augmenter.
- environnemental, avec des émissions de gaz très faibles par rapport à celles des combustions fossiles.
- économie locale, ce projet ouvre des possibilités de valoriser la filière bois locale.

Autant d'arguments convaincants de l'intérêt de cette démarche.

L'avantage non négligeable par rapport aux énergies fossiles c'est que le bois se renouvelle en 15 à 200 ans alors que le charbon ou le pétrole ont besoin de plusieurs millions d'années.

Ce renouvellement est favorisé par une gestion durable des forêts. Les documents d'aménagement et du code des bonnes pratiques sylvicoles, les labels PEFC et FSC contribuent à certifier la qualité de gestion.

besoin en chauffage *suite*



Source : <http://www.biomass-concept.com>

Le bois est utilisé comme source d'énergie thermique. Il sert ainsi à chauffer, refroidir (climatisation) ou produire de l'électricité. Plus largement le bois sert aussi à cuisiner.

La forêt assimile le gaz carbonique atmosphérique grâce au feuillage des arbres assurant la photosynthèse. Elle le stocke dans ses branches et ses racines. A ce stock de « carbone » sous forme de bois vient s'ajouter le carbone contenu dans la matière organique en cours de décomposition (l'humus) situé dans le sol et provenant de la formation de la litière forestière.

En fonction des conditions climatiques et de la gestion forestière, un jeune peuplement peut capturer 2 à 4 tonnes de CO₂ par hectare et par an. Ainsi, l'INRA a calculé que le stockage net de carbone dans les forêts françaises entre 1980 et 1990 correspondait à environ 10% de nos émissions de carbone fossile (source : INRA, Unité Écosystèmes forestiers, Nancy).

A l'instar des Océans, les forêts jouent le rôle de puits de carbone à l'échelle de la planète. La gestion sylvicole peut être adaptée pour augmenter l'action régulatrice des forêts sur l'effet de serre. Pour cela, cette gestion doit être dynamisée et les débouchés du bois, développés.

La durée de vie du matériau bois (bois construction) peut aussi être allongée. Mais le stockage de carbone en forêt et dans ses produits n'est pas illimité. La lutte contre l'effet de serre peut aussi passer par la réduction des émissions brutes de CO₂ en isolant mieux dans un premier temps, puis en substituant le bois énergie aux énergies fossiles.

Consommer un stère de bûches évite l'émission de 180 Kg de CO₂ qu'aurait produits la combustion d'une énergie fossile comme le charbon, le fioul ou le gaz. Le ratio passe à 500kg de CO₂ économisés pour une tonne de plaquettes forestières, et 700 kg pour une tonne de granulés.



besoin en chauffage *suite*

Certes, le bois rejette du CO₂ en se décomposant avec le temps ou par combustion (incendies, feux de cheminées, poêle à bois...) mais la quantité est équivalente à celle qu'il a absorbée durant sa croissance. C'est pour cette raison que l'on estime le bilan neutre en terme d'émission.

Le bilan effet de serre est donc largement favorable à l'utilisation du bois comparé aux énergies fossiles.

La production d'1 MWh utile produit 490kg équivalent de CO₂ avec du fioul contre 24 kg équivalent de CO₂ avec de la plaquette forestière.

Source ADEME, 2005 (synthèse du bilan environnemental du chauffage collectif et industriel au bois, Bio Intelligence Service).

Le bois énergie est un combustible compétitif. Son prix sera d'autant plus stable qu'il sera découplé de l'évolution du prix du transport. Autrement dit, ce combustible doit être utilisé de préférence localement (dans un rayon de 60 km).

Pour maintenir les prix stables dans le temps, la ressource est largement suffisante pour couvrir la demande. Mais les moyens doivent être mis en place pour corréliser l'offre de bois énergie et la demande. En Région PACA, l'Observatoire de la Forêt Méditerranéenne et les Communes Forestières suivent l'évolution du marché.

Enfin, les prix sont très variables d'une qualité de bois énergie à l'autre. La qualité de bois énergie à privilégier sera liée au dispositif de chauffage utilisé. Les prix fluctuent en fonction de l'origine du bois. Parmi les différents types de plaquettes existantes (déchetterie, scierie, forêt etc...), la plaquette forestière de montagne apparaît comme la plus chère. Mais son utilisation contribue à l'entretien des massifs et au développement des territoires de montagne.

La récolte et la transformation du bois énergie permet d'optimiser des chantiers ou de diversifier des activités d'exploitants forestiers et d'agriculteurs. Il s'agit d'un facteur important du développement de l'emploi en milieu rural. L'ADEME annonce le chiffre moyen d'1 emploi créé pour 2000 m³ de bois énergie valorisé.

Le bois énergie offre une excellente valorisation aux sous-produits de la filière bois actuellement non commercialisés (rémanents forestiers, connexes de scierie, bois brûlés, coupes de taillis etc...

Le granulé ou pellet

Le Granulé ou pellet



Origine :

Le terme de « **Pellet** en anglais » désigne les granulés de bois destinés au chauffage.

Ces granulés sont composés de sciure et de copeaux de bois compressés provenant de scieries, de la coupe des arbres, de sous-produits de menuiseries et d'autres industries produisant des chutes ou déchets de bois non-exploitable pour d'autres usages.

Le granulé est compacté en éléments de petite taille : cylindre de 4-6 mm de diamètre par 10-20 mm de long. La compression des pellets est réalisée sous haute pression sans produit liant complémentaire.

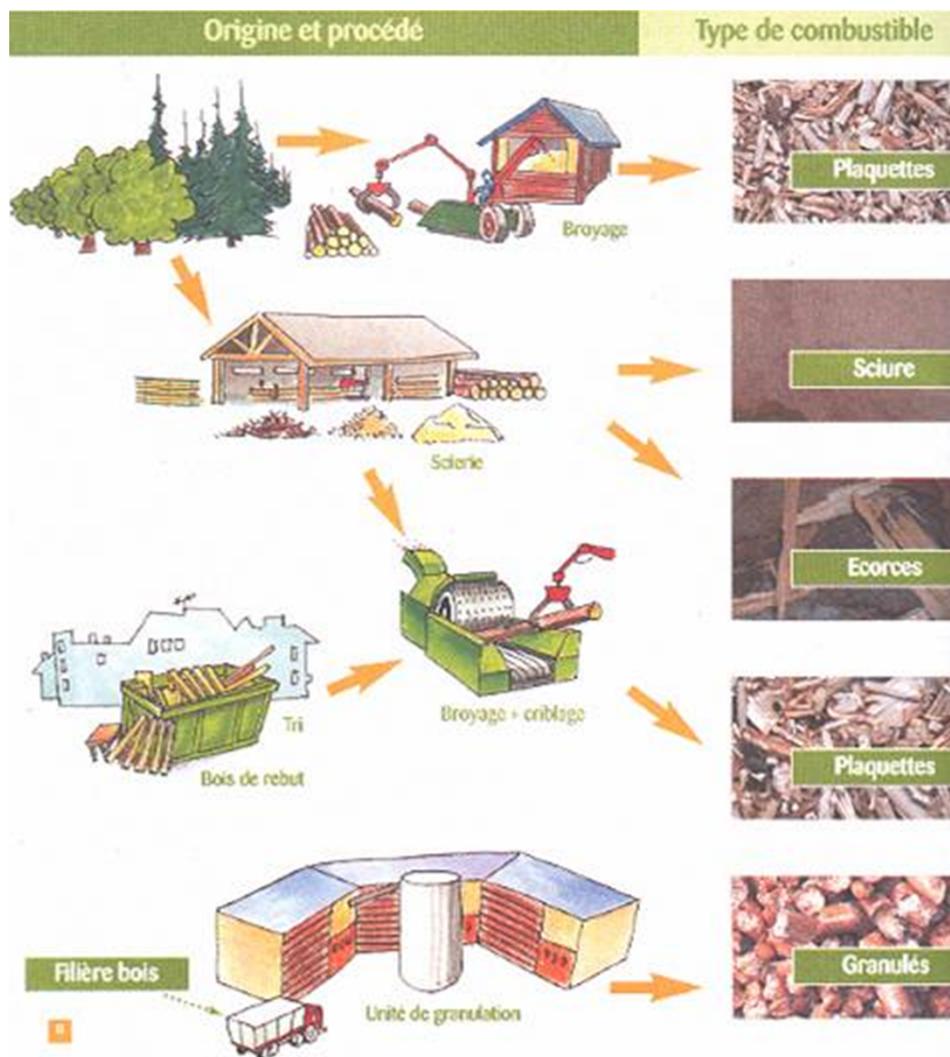
La lignine contenue dans le bois à l'état naturel (dont elle est le principal composant avec la cellulose) permet d'obtenir ainsi **un combustible composé à 100% de bois.**

Ce mode de fabrication rend la production des pellets relativement "propre" car aucun produit chimique n'est ajouté ou utilisé pendant la fabrication des granulés.

Cette compression rend le produit final très sec et permet d'obtenir des granulés à la forme, à la masse et à la densité très régulières. Cette caractéristique est à la base des avantages de ce combustible pour le chauffage domestique.



Le granulé : fabrication et avantages



Méthode de fabrication / conditionnement livraison :

Le granulé est obtenu par compactage dans une presse d'éléments fins de bois (sciures principalement). Il nécessite un séchage préalable. L'agglomération des éléments fins résulte de l'importante pression.

Certains process de fabrication utilisent des liants (type amidon de maïs mais pas de colles).

Il présente une homogénéité, un pouvoir calorifique important (du fait du séchage préalable) et une souplesse de conditionnement. Ainsi il est livrable soit en vrac (par camion benne ou camion souffleur) soit en sac grande contenance ("big bag") ou sachet individuel 10-15 kg.

Utilisation

Le granulé est le combustible idéal pour le chauffage individuel des particuliers de par la souplesse de son conditionnement très bien adapté pour les petites quantités. Il s'utilise dans des poêles, inserts ou chaudières automatiques. Du fait de sa technicité de fabrication, le granulé est produit pour l'instant de manière centralisée et présente un coût supérieur à la plaquette (plus du double).

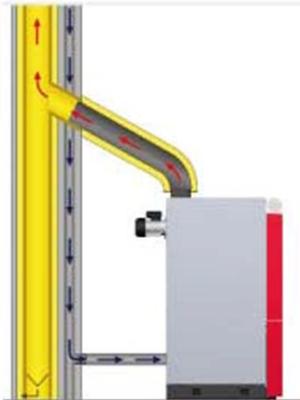
Principe de la chaudière à granulés

Fonctionnement indépendant à l'air ambiant :

Avantages : - Parfaitement adapté aux maisons à basse consommation d'énergie

- Efficience maximale de l'installation

Les maisons à basse consommation d'énergie ont une enveloppe de bâtiment fermée. Dans les chaufferies courantes, les ouvertures de la ventilation nécessaires causent une perte de chaleur incontrôlée. Les chaudières à fonctionnement indépendant de l'air ambiant permettent d'éviter ce phénomène grâce au raccordement direct à l'air. En outre, la température de l'air de combustion est augmentée par un système de préchauffage intégré, ce qui permet d'augmenter le rendement de l'installation.



Le principe de la chaudière à granulés est le même que celle d'une chaudière classique. Un combustible est brûlé et fournit de la chaleur pour le chauffage central, l'eau chaude. Une chaudière à granulés fournit les mêmes services qu'une chaudière gaz ou fioul.

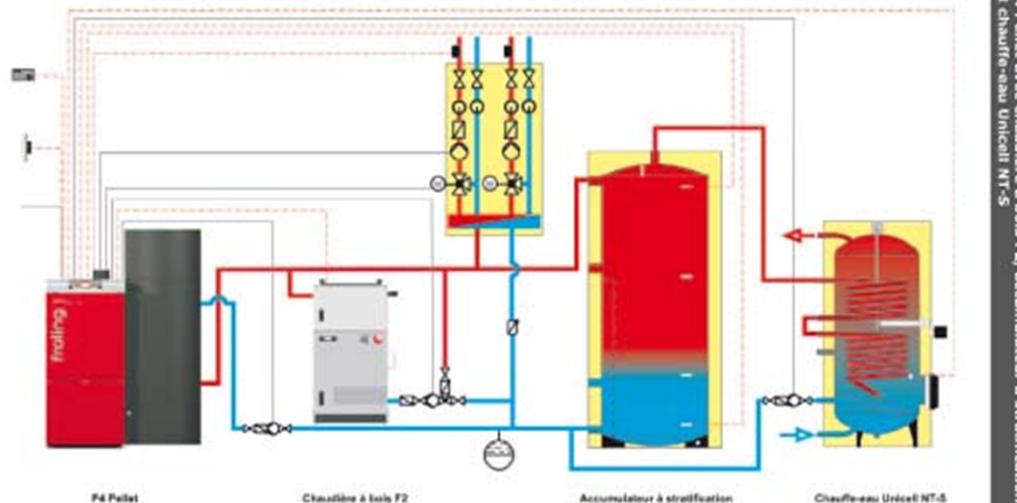
La chaudière à granulés présente de nombreux avantages:

l'alimentation automatique de la chaudière est rendue possible par la forme même des granulés, qui leur confère un atout pour le stockage et le transport

la chaudière est programmable, elle permet donc de disposer du confort d'utilisation d'une chaudière classique.

Les granulés sont globalement moins salissants et bien **plus pratiques à stocker** que des bûches ou des plaquettes forestières

Grâce à la densité des granulés, le rendement d'une chaudière à granulés peut dépasser 95% grâce à ce combustible. La chaudière à granulés présente également de gros avantages de confort d'utilisation, grâce à ses fonctions d'**auto-nettoyage** et de **collecte des cendres dans un bac**, qui permet de limiter les interventions salissantes pour l'utilisateur.



Chauffage au bois : moins de CO2 !

Une étude de l'ADEME classe le chauffage au bois au premier rang des modes de chauffages les moins émetteurs de CO2...

L'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie) a mené une étude comparative sur les émissions de CO2 des différents modes de chauffage : fioul, gaz, électricité et bois. L'étude compare l'émission de CO2 des différentes énergies en tenant compte de leur transport, de leur raffinage...

Résultat : le bois arrive 1er de cette étude, avec en moyenne 40kg de CO2 émis par Mégawattheure de chaleur rendue.

Les autres énergies sont largement distancées : avant de libérer du CO2 lors de sa combustion, le bois en a absorbé pendant des années, lors de sa croissance.

Résultats de l'étude de l'ADEME :

Bois : 40 kg de CO2 par MW/h de chaleur

Electricité : 180 kg de CO2 par MW/h de chaleur

Gaz : 222 kg de CO2 par MW/h de chaleur

Fioul : 466 kg de CO2 par MW/h de chaleur

Source : ADEME (<http://www.ademe.fr/>)



Le pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique des granulés

Le pouvoir calorifique du granulé est évalué entre **4,5 et 5 kWh/kg en moyenne**.

Sur cette base, **1 kg de granulés est équivalent en énergie fournie à 0,5 litre de mazout ou 0,5m³ de gaz**.

Ce pouvoir calorifique est lié à la compression du bois, qui requièrent l'utilisation d'une matière première bien déshydratée; il en résulte un produit au pouvoir chauffant important, réduit dans un volume minimal.

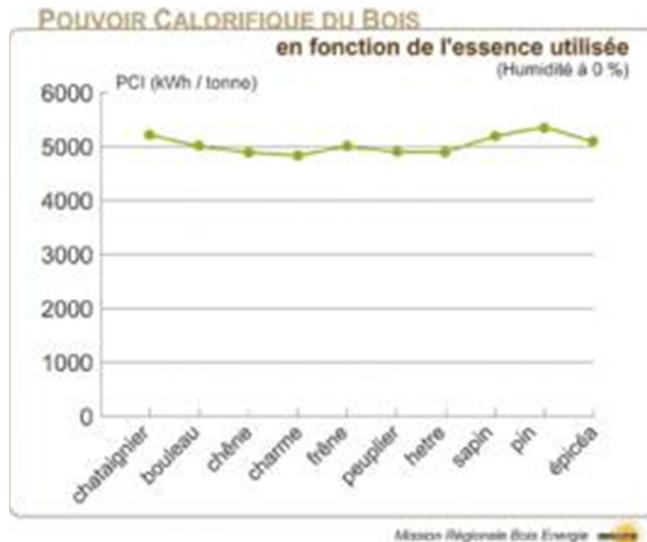
Les granulés peuvent alors être brûlés à plus de 95%, les granulés vendus ne contenant qu'entre 5 et 10% d'eau : la part des cendres est inférieure à 2% du produit de départ.

Le Pouvoir Calorifique représente le contenu énergétique d'un combustible. Il est généralement décliné en Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) et Pouvoir Calorifique Supérieur (PCS). Le PCI du bois varie légèrement selon les essences utilisées.

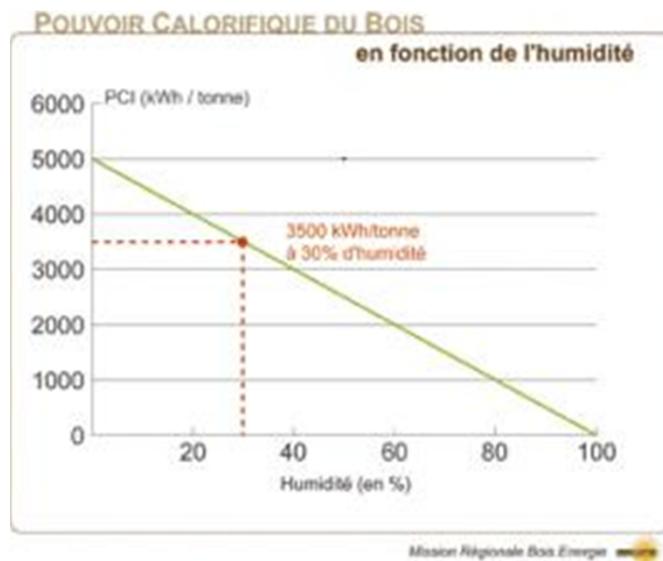
D'une essence à l'autre, il n'y a que peu de variation du contenu énergétique. La différence majeure de la plaquette par rapport à l'utilisation du bois bûche est la qualité de combustion. Ainsi, pour les bûches on préférera des bois denses et qui ne produisent pas de projection.

Les chaudières automatiques permettent d'éliminer ces contraintes grâce à la gestion de la combustion qui est complète dans le foyer, toutes les essences de bois peuvent être utilisées, même en mélange.

Les résineux sont particulièrement bien adaptés, ils présentent un pouvoir calorifique légèrement supérieur aux feuillus (à taux d'humidité identique).



Le taux d'humidité



Si les essences jouent un rôle très faible sur le contenu énergétique du bois, l'humidité, elle, joue un rôle majeur.

Plus un combustible est humide et plus il faudra utiliser d'énergie de ce combustible pour évacuer l'eau qu'il contient.

Le pouvoir calorifique d'un combustible humide est déterminé à partir de son PCI anhydre et de son humidité E (%).

Le taux d'humidité d'un combustible bois est mesurable à partir d'outils et de méthodes simples donnant le résultat quasi instantanément pour certains ou à partir de mesures en laboratoire.

On rappelle toutefois que les granulés présentent un faible taux d'humidité, constant dans la mesure où le stockage est correctement effectué.

Comparatif des appareils de chauffage au bois

Dans le tableau cité en annexe 2 et 3, l'utilisation d'une chaudière à granulé reste la plus performante pour notre objectif d'économie et de rendement.

Tout d'abord, le rendement est le plus performant jusqu'à 93% pour une puissance de 10 à 30 kW.

L'émission de polluant est très peu (*voir tableau sur le bilan environnement fin du dossier*). L'autonomie peut-être variable suivant les possibilités de stockage mais reste moins volumineux que les bûches ou les plaquettes forestières.



Estimation de la consommation en granulés, d'après la consommation actuelle en fioul

Considérant qu'il fallait 1150 l/an de fioul – 1kg de granulés= 0,5 l de fioul

$1150 \text{ l/an} / 0,5 = 2300 \text{ kg}$

La consommation annuelle de granulés sera de 2300 kg/an

Le budget de granulés en sacs sera de 506 à 598 € pour un prix d'achat de 220 à 260€/tonne

Le budget de granulés en vrac sera de 345 à 529€/tonne

Besoin annuel de stockage : 3,54m³/an

Les granulés ont une masse volumique variable selon leur qualité, elle oscille généralement entre 650kg/m³ et 750kg/m³

Economie réalisée :

Comme nous l'avons vu au chapitre (consommation énergétique de la maison) le litre de fioul est actuellement à 0,70€/l sachant qu'avec les années il augmentera plus rapidement étant donné qu'il va se raréfier.

1150 litres de à 0,70€/l = 805 €/an

Dans le cas où le choix se porte sur les granulés en sac soit ± 520€/an

Cela nous fait une économie de 285€/an, soit 1/3 d'économie. Il faut aussi tenir compte de l'installation de la chaudière et d'un lieu de stockage des granulés. Travaux que l'on peut évaluer à 20 000€ H.T.

Dans notre cas, la vétusté de la chaudière (+ 30 ans d'âge) nous impose de la changer. Cela est aussi nécessaire pour améliorer le bilan environnemental.

La consommation pourra baisser en passant du simple au triple vitrage. (Voir paragraphe fenêtre pour le gain énergétique possible fioul et granulés).

Une diminution du coefficient Ug de 0,1 W/m² K autorise une économie annuelle de 1,2 litre de fioul par m² de surface vitrée.

La ventilation

Type de ventilation : avantages et inconvénients

| Type de ventilation | avantages | Inconvénients |
|--------------------------------|---|---|
| VMC simple flux auto réglable | <ul style="list-style-type: none"> - Débit d'air entrant constant - avec des entrées d'air acoustiques, diminution des nuisances sonores extérieures | <ul style="list-style-type: none"> - Ne prend pas en compte l'humidité intérieure |
| VMC simple flux hydro réglable | <ul style="list-style-type: none"> - Débit d'air entrant variable en fonction de l'humidité, donc de l'occupation des activités - Economies d'énergie par rapport à la précédente - avec des entrées d'air acoustiques, diminution des nuisances sonores extérieures | <ul style="list-style-type: none"> - Système plus coûteux à l'achat qu'une VMC simple flux autoréglable - Conçue pour réagir à l'humidité, pas d'efficacité supplémentaire pour les polluants chimiques |
| VMC double flux | <ul style="list-style-type: none"> - Économies d'énergie par récupération de calories - Filtration de l'air entrant - Isolation acoustique du dehors - Préchauffage ou rafraîchissement de l'air entrant | <ul style="list-style-type: none"> - Système le plus coûteux à l'achat - Bruit des bouches d'insufflation, en particulier dans les chambre en cas de mauvaise conception |
| VMR | <ul style="list-style-type: none"> - Solution pour la rénovation - Pas de conduits et de gaines à entretenir, organes à nettoyer facilement accessibles | <ul style="list-style-type: none"> - Présence d'un groupe d'extraction dans chaque pièce de service (encombrement, esthétique) - Bruit de certains ventilateurs |
| Ventilation naturelle | <ul style="list-style-type: none"> - Investissement variable | <ul style="list-style-type: none"> - Soumise aux aléas climatiques - pertes d'énergie l'hiver |

La ventilation naturelle de la maison enterrée n'offre pas tout le confort que l'on peut souhaiter. Elle consiste simplement à créer des courants d'air dans la maison par le biais d'orifices d'entrée d'air en partie basse des murs des pièces principales et des bouches de sortie en partie haute des pièces humides situées autour du patio.

Le débit est très mal contrôlé car il dépend essentiellement du vent, des conditions climatiques et des saisons. Il peut conduire à certains moments à une sous ventilation et à d'autres trop élevés conduisant ainsi à d'inutiles besoins de chauffage.

L'utilisation d'une VMC double flux semble être la solution avec by-pass pour l'été

Son principe permet de réchauffer l'air neuf entrant dans la maison en récupérant par l'échangeur environ 2/3 de la chaleur de l'air sortant. L'économie sur les pertes d'énergie est de 60%. Si l'air du logement est à 21°C et que la température extérieure est à 0°C, l'air soufflé à l'intérieur est de 12,5°C. Certains systèmes (à échangeur aluminium) atteignent aujourd'hui 90% de rendement de récupération d'énergie sur l'air extrait, conféré à l'air neuf introduit

La ventilation double flux avec récupération de chaleur séduit par les économies de chauffage qu'elle entraîne (jusqu'à 30 %) ce qui fait baisser encore la consommation de pellet. La VMC double flux contribue au confort et à la qualité de l'air intérieur.

La ventilation est nécessaire pour maintenir une ambiance saine. Elle a pour fonction d'évacuer la vapeur d'eau et l'air pollué ou vicié par les occupants, la cuisine, les appareils sanitaires et ménagers afin d'éviter condensation, odeurs, COV etc...

La ventilation *suite*

| Descriptifs | Ventilation naturelle | VMC simple flux | VMC double flux | Puits provençal |
|--|---|-------------------------------|--------------------------------------|---|
| Cout d'installation | 0 € | 700 € | 7 000 € | 4 000 € |
| Consommation auxiliaire de la ventilation | 0 € / an (0 kWh/an) | 14,85 € / an (165 kWh/an) | 47,30 € / an (430 kWh/an) | 0 € / an (0 kWh/an) |
| Economie/ diminution de la consommation de chauffage | 0 € / an (0 kWh/an) | 187 € / an (1700 kWh/an) | 275 € / an (2500 kWh/an) | 165 € / an (1500 kWh/an) |
| Avantages | Pas de coûts | Faibles coûts | Le plus économique au fonctionnement | Préchauffage / refroidissement de l'air |
| Inconvénients | Aération suffisante difficile à obtenir | Très mauvais niveau thermique | Investissement et installation | Prix de l'installation |

Le tableau suivant compare les performances des systèmes de ventilation possibles. Les valeurs sont estimées pour une maison de 120m², le prix d'achat de l'électricité est mis à 0,11 €/kWh. Une combinaison d'une VMC double-flux avec un puits provençal permet d'économiser environ 330 - 385 € / an (3 000 - 3 500 kWh/an).

Dans notre cas nous ne pouvons pas construire de puits provençal, le sol est rocheux et cela coûterait trop cher. A la construction, cela aurait été facile en le concevant autour de la maison avant remblaiement.

Ce tableau montre que la ventilation naturelle ne coûte rien, mais elle ne permet pas de faire des économies de chauffage.

Un des aspects très importants quand on parle de qualité de l'air intérieur est celui de l'humidité. Chaque personne produit environ 1 à 1,5 litre d'eau par jour. Cette eau se répand dans le logement sous forme de vapeur. De la vapeur d'eau est également générée au cours de la combustion du gaz, de la cuisson, des bains, douches, séchage du linge, etc. La condensation de l'eau contenue dans l'air se fait sur les surfaces froides, comme les vitres et les murs, surtout s'ils sont mal isolés.

Cette humidité favorise le développement des moisissures, qui peuvent avoir un impact négatif sur la santé. Pour conserver un taux d'humidité idéal dans l'atmosphère intérieure (entre 40 et 60%), il convient de renouveler l'air de façon régulière

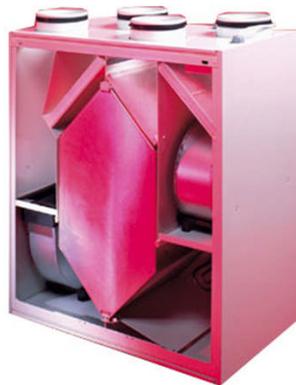
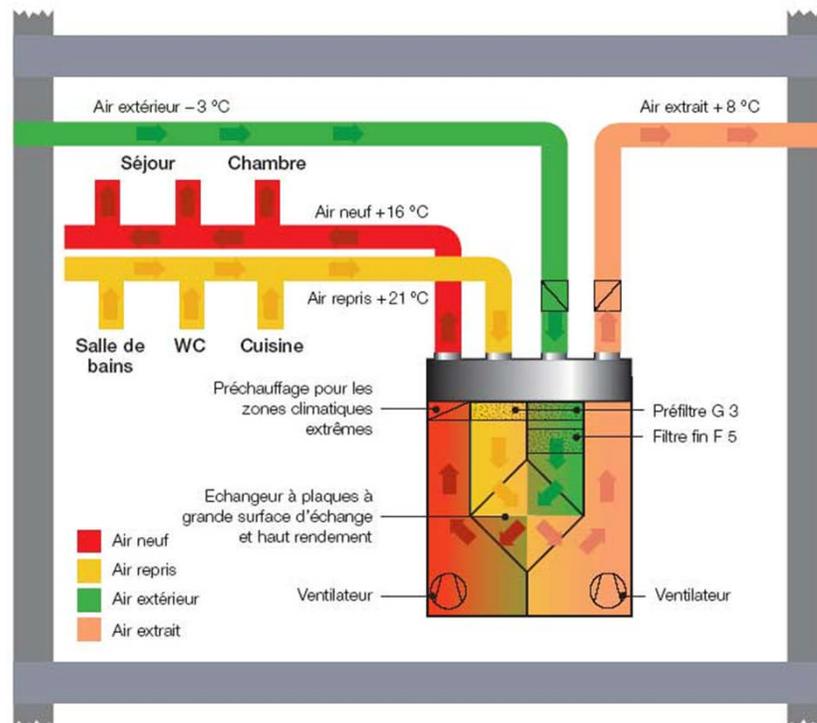
La ventilation *suite*

Le débit minimum (en m³ /h) est imposé par les arrêtés du 24/03/1982 et 28/10/1983 comme indiqué dans le tableau suivant :

| Nombre de pièces | Débit cuisine | Débit total simple flux | Débit total simple flux hygroréglable |
|------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|
| 3 | 45 | 75 | 15 |
| 4 | 45 | 90 | 20 |
| 5 | 45 | 105 | 25 |

Par contre, cette aération permanente ne tient pas compte des variations d'humidité et de chaleur : le même flux traverse la maison, qu'elle soit très humide ou très sèche, que l'air extérieur soit à 0° ou à 35°, la VMC simple flux va donc refroidir la maison en hiver et la réchauffer en été.

La ventilation : VMC double flux



Caisson VMC double flux

La VMC double flux avec échangeur haute efficacité :

L'air neuf extérieur est filtré et préchauffé en passant à travers un échangeur de chaleur à haute efficacité. Cet échangeur permet de récupérer l'énergie sur l'air extrait, sans être mélangé à l'air neuf de renouvellement.

Le taux de rendement est de l'ordre de 90%

L'air extrait sera ensuite rejeté à l'extérieur à une température très faible.

L'économie réalisée peut être calculée de la façon suivante :

Volume de la maison : 1115 m³

Capacité calorifique de l'air : 0,34 W/K m³

Température extérieure : 5°C

Température intérieure : 21°C

Puissance calorifique qu'il faudra apporter pour compenser la différence de température 16°C

= 0,34 W/K m³ x 16° x 1115 m³ = 6065,60 KW

Puissance de la chaudière avec les économies faites par le triple vitrage et la VMC double flux.

Les fenêtres



Le diagnostic des fenêtres actuelles a déterminé un U_w supérieur à 5 ce qui est médiocre.

Pour pouvoir atteindre l'objectif d'une maison passivhaus il nous faut un U_w de 0,8.

La seule façon de l'atteindre étant donné que l'on ne peut pas réduire les ouvertures, elles sont suffisantes mais sans plus. L'effort doit être porté sur la mise en place de baie vitrée comportant un triple vitrage pris dans des châssis bois recouvert d'aluminium.

L'efficacité d'une fenêtre dépend de la qualité de son châssis et la manière dont celui-ci est monté dans le bâti. Le triple vitrage est plus lourd, il est plus cher, mais il est thermiquement plus efficace.

Dans le cadre de la très basse consommation, c'est-à-dire avec une enveloppe extrêmement efficace, l'importance du vitrage prend une part importante dans le bilan thermique et devient essentielle sur les gains où les pertes rapportés à la consommation globale du bâtiment. (Voir résultat de la boîte à outils).

Même si l'apport solaire diminue de 27% entre un simple et un triple vitrage, dans le sud de la France l'impact de cet affaiblissement solaire n'est pas négatif.

| Différents types de vitrages | m/m | coef. U W/m2.K | apport solaire g |
|--|-------------|----------------|------------------|
| Simple vitrage clair | 4 | 5,9 | 87% |
| Double vitrage simple | 4/6/4 | 3,3 | 73% |
| Double vitrage simple | 4/16/4 | 2,8 | 73% |
| Triple vitrage simple | 4/12/4/12/4 | 2 | 66% |
| Double vitrage à faible émissivité | 4/12/4 | 1,8 | 67% |
| Triple vitrage à faible émissivité | 4/12/4/12/4 | 1,4 | 60% |
| Double vitrage à isolation renforcée avec gaz rare | 4/12/4 | 1,1 à 1,8 | 65% |
| Triple vitrage à isolation renforcée avec gaz rare | 4/12/4/12/4 | 0,5 à 0,8 | 60% |

Les fenêtres *suite*

Le triple vitrage est incontestablement le gagnant de Lille à Marseille, il n'y a que des gains. Les 13% de vitrage sur les 15% de la maison enterrée sont orientées sud ce qui améliore sans aucun doute les performances thermiques.

* Les fenêtres actuelles ont un coef. Ug de 5 W/m² K, dans le cas où l'on passe avec un coef. de 0,8 W/m² K, l'économie en litre de fioul s'élève à : $5/0,8 = 6,25 \times 1,2$ litre = 7,5 litres m²

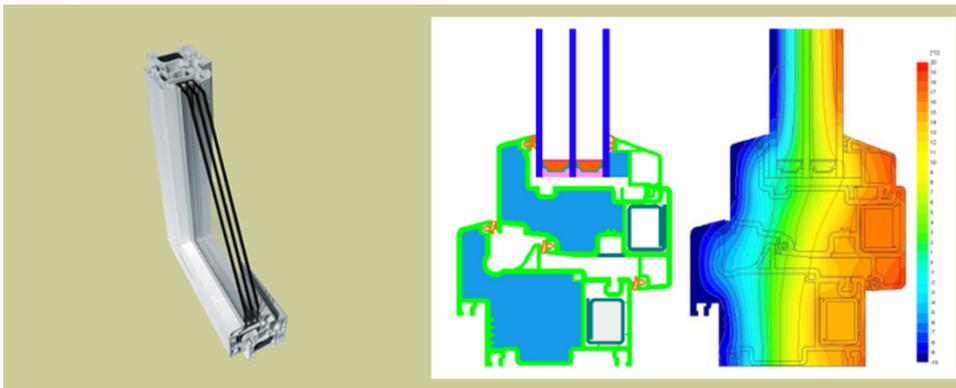
avec une surface vitrée moyenne de 30 m² x 7,5 l/m² = 225 litres

225 litres x 0,70€ = 157,5 € d'économie par an si l'on change le vitrage simple en triple vitrage. En granulés l'économie serait de 120€.

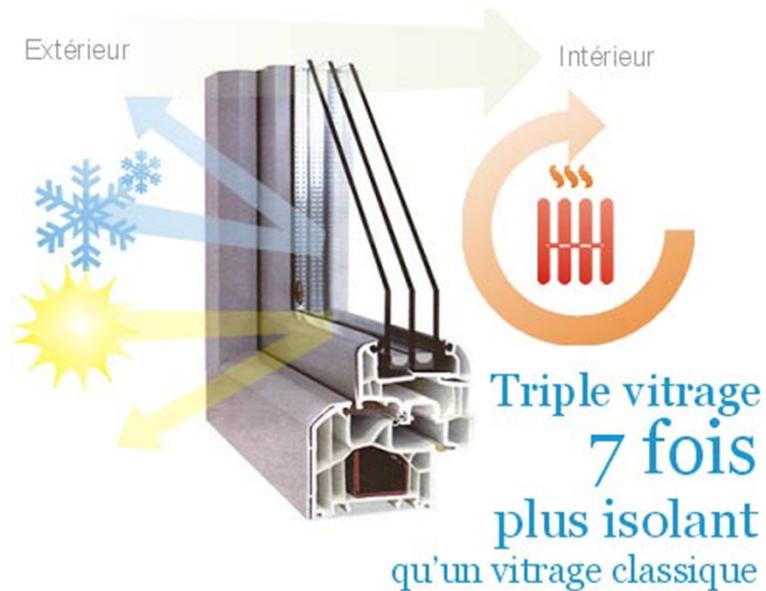
**Type de vitrage pour atteindre la norme « PassivHaus »
Uw égale à 0,8 W/m².K.**

Une performance thermique exprimée par un coefficient de transmission thermique Uw égale à 0,8 W/m².K avec une épaisseur 4/12/4/12/4 de 36mm deux couches faiblement émissives performantes et des lames d'argon entre les vitres, voire de 0,6 W/m².K si l'on utilise le krypton.

Rappelons que les meilleurs doubles vitrages à isolation renforcée (VIR) offrent pour leur part, un coefficient de transmission thermique U de l'ordre de 1,2 à 1,1 W/m²K avec une lame d'argon entre les 2 vitres et une couche basse émissivité déposée sur la face intérieure du vitrage extérieur.



Les fenêtres *suite*



Si la valeur de transmission thermique U des triples vitrages est améliorée, le facteur solaire g (voisin de 0,50 contre 0,65) est modifié, et le coefficient de transmission lumineuse Tl (voisin de 0,7 au lieu de 0,8) est détérioré par rapport aux caractéristiques des doubles vitrages. (Résultats de simulations SNFA).

Le facteur solaire g affaibli par le triple vitrage n'a pas trop d'influence sur la maison enterrée située dans le sud de la France. Même si un triple vitrage laisse passer moins de radiations solaires qu'un double, cela a un effet agréable l'été.

Le triple vitrage possède un inconvénient ; sa masse.

Et la masse impose des contraintes mécaniques importantes sur les cadres de fenêtres.

Pour une épaisseur 4/12/4/12/4 de 36mm (ou plus s'il s'agit de vitrages de sécurité ou acoustiques), le poids s'élève en effet à 30 kg/m².

Alors que celui d'un double vitrage est limité à 20 kg/m² pour une épaisseur 4/16/4 de 24mm (ou plus si vitrages spécifiques).

C'est pourquoi certains fabricants européens, notamment belges, suisses et allemands, ont résolu ce problème en remplaçant le verre intermédiaire du triple vitrage par un film plastique, plus léger et n'altérant pas les performances initiales de la fenêtre.

Economie d'énergie

| P4 Pellet 8/15/20/25 | P4 Pellet 32/38 | P4 Pellet 60 |
|---|---|--|
|  |  |  |
| 8 kW / 15 kW / 20 kW / 25 kW | 32 kW / 38 kW | 60 kW |
| Tiroirs à cendres confort | Décendrage automatique | Décendrage automatique |

La chaudière P4 existe en 7 puissance différentes. Son vaste spectre de puissance permet de l'utiliser dans les maisons à basse consommation d'énergie

Puissance calorifique qu'il faudra apporter pour compenser la différence de température 16°
 $= 0,34 \text{ W/K m}^3 \times 16^\circ \times 1115 \text{ m}^3 = 6065,60 \text{ kW}$

Puissance de la chaudière avec les économies faites par le triple vitrage et la VMC double flux.

Economie du triple vitrage :
1 litre de fioul = 10,2 kWh. (PCI) Le triple vitrage permet de faire une économie de 225 kWh.an soit 2295 kW

Total des économies potentiellement réalisables : 2295 kW + 6065,60 kWh.an = **8 360 kW**

La chaudière actuelle produit : 11 500 kW
 $11\ 500 \text{ kW} - 8360 \text{ kW} = 3\ 140 \text{ kW}$

Le besoin en chauffage serait de l'ordre de **3 140 kW**, il faut rajouter **5 100 kW** pour l'eau chaude.

Il nous faut une chaudière d'une puissance minimum de 8 240 kW. A ce stade de consommation, le choix d'une chaudière bois inférieure à 10kW est limitée. Nous proposons ce type de chaudière

Bilan environnemental



Malgré l'entrée en vigueur du protocole de Kyoto 2005, les GES augmentent. Entre 1970 et 2000. + 1,5 de ppm/an, entre 2000 et 2007 + 2,1 ppm/an (*Partie Par Millions 1gr de CO2 par tonne air*) soit une croissance de 40%. Le taux actuel de l'air en ppm oscille autour de 0,038%.

Deux remarques sur notre bilan environnemental :

Le TEC (Tonne Equivalent Carbone) reste bas, deux raisons expliquent ce résultat.

Le premier, la maison enterrée a peu d'impact sur l'environnement.

Le second, sa consommation qui était déjà faible en fioul, le devient encore moins avec une chaudière bois. L'économie d'énergie n'est pas due au changement de chaudière. Mais surtout, à la sur isolation des baies vitrées et de la mise en place d'une VMC double flux qui baisse la consommation énergétique.

Nous avons envisagé d'installer une PAC air/air aurait peu être envisagé, mais son installation demande trop de travaux d'aménagement intérieur et extérieur notamment percer la dalle béton et quand les températures sont négatives, il était nécessaire d'avoir un complément de chauffage.

Bilan environnemental

Existant

Projet

| Calcul de la production de CO2 et de Déchets nucléaires | | | |
|---|--------------|--------------------------------|-------------|
| Afin d'obtenir les valeurs de production, il faut pondérer les facteurs d'émissions du tableau de donnée par la répartition des différentes énergies de votre projet. | | | |
| Emissions de CO2 | | Production de DN | |
| Chauffage | | Chauffage | |
| 11271,49 | 0,18 | 11271,49 | 0,04 |
| C CHAUD (EF) | | C CHAUD (EF) | |
| 2028,87 | | 450,86 | |
| kg/an | | g/an | |
| 6,56 | | 1,46 | |
| kg/m²SDO.an | | g/m²SDO.an | |
| 5,60 | | 1,25 | |
| kg/m²SHON.an | | g/m²SHON.an | |
| ECS | | ECS | |
| 3470,60 | 0,18 | 3470,60 | 0,04 |
| C ECS (EF) | | C ECS (EF) | |
| 624,71 | | 138,82 | |
| kg/an | | g/an | |
| 2,02 | | 0,45 | |
| kg/m²SDO.an | | g/m²SDO.an | |
| 1,73 | | 0,38 | |
| kg/m²SHON.an | | g/m²SHON.an | |
| Eclairage + Auxiliaires | | Eclairage + Auxiliaires | |
| 5100,15 | 0,18 | 5100,15 | 0,06 |
| C E+A (EF) | | C E+A (EF) | |
| 918,03 | | 306,01 | |
| kg/an | | g/an | |
| 2,97 | | 0,99 | |
| kg/m²SDO.an | | g/m²SDO.an | |
| 2,54 | | 0,85 | |
| kg/m²SHON.an | | g/m²SHON.an | |
| Autres Usages | | Autres Usages | |
| 6182,00 | 0,05 | 6182,00 | 0,06 |
| C AUTRES (EF) | | C AUTRES (EF) | |
| 309,10 | | 370,92 | |
| kg/an | | g/an | |
| 1,00 | | 1,20 | |
| kg/m²SDO.an | | g/m²SDO.an | |
| 0,85 | | 1,02 | |
| kg/m²SHON.an | | g/m²SHON.an | |
| TOTAL | | TOTAL | |
| | | | |
| | 3880,70 | | 1266,61 |
| | kg/an | | g/an |
| | 12,55 | | 4,10 |
| | kg/m²SDO.an | | g/m²SDO.an |
| | 10,72 | | 3,50 |
| | kg/m²SHON.an | | g/m²SHON.an |

| Calcul de la production de CO2 et de Déchets nucléaires | | | |
|---|--------------|--------------------------------|-------------|
| Afin d'obtenir les valeurs de production, il faut pondérer les facteurs d'émissions du tableau de donnée par la répartition des différentes énergies de votre projet. | | | |
| Emissions de CO2 | | Production de DN | |
| Chauffage | | Chauffage | |
| 2898,92 | 0,02 | 2898,92 | 0,02 |
| C CHAUD (EF) | | C CHAUD (EF) | |
| 57,98 | | 57,98 | |
| kg/an | | g/an | |
| 0,19 | | 0,19 | |
| kg/m²SDO.an | | g/m²SDO.an | |
| 0,16 | | 0,16 | |
| kg/m²SHON.an | | g/m²SHON.an | |
| ECS | | ECS | |
| 4966,15 | 0,02 | 4966,15 | 0,02 |
| C ECS (EF) | | C ECS (EF) | |
| 99,32 | | 99,32 | |
| kg/an | | g/an | |
| 0,32 | | 0,32 | |
| kg/m²SDO.an | | g/m²SDO.an | |
| 0,27 | | 0,27 | |
| kg/m²SHON.an | | g/m²SHON.an | |
| Eclairage + Auxiliaires | | Eclairage + Auxiliaires | |
| 5100,15 | 0,08 | 5100,15 | 0,06 |
| C E+A (EF) | | C E+A (EF) | |
| 408,01 | | 306,01 | |
| kg/an | | g/an | |
| 1,32 | | 0,99 | |
| kg/m²SDO.an | | g/m²SDO.an | |
| 1,13 | | 0,85 | |
| kg/m²SHON.an | | g/m²SHON.an | |
| Autres Usages | | Autres Usages | |
| 6182,00 | 0,05 | 6182,00 | 0,06 |
| C AUTRES (EF) | | C AUTRES (EF) | |
| 309,10 | | 370,92 | |
| kg/an | | g/an | |
| 1,00 | | 1,20 | |
| kg/m²SDO.an | | g/m²SDO.an | |
| 0,85 | | 1,02 | |
| kg/m²SHON.an | | g/m²SHON.an | |
| TOTAL | | TOTAL | |
| | | | |
| | 874,41 | | 834,23 |
| | kg/an | | g/an |
| | 2,83 | | 2,70 |
| | kg/m²SDO.an | | g/m²SDO.an |
| | 2,42 | | 2,30 |
| | kg/m²SHON.an | | g/m²SHON.an |

Conclusion

| 6 principes PassivHaus | PassivHaus | Maison enterrée |
|--|---|---|
| - Diminuer les déperditions thermiques par transmission : le coefficient thermique U des parois doit être inférieur à : | 0,15 W/m²K | 0,28 W/m²K |
| - Diminuer les déperditions thermiques par une VMC double flux | VMC double flux | VMC double flux |
| - Les fenêtres doivent avoir un coefficient Uw faible et ne peuvent être qu'en triple vitrage pour atteindre cette performance | 0,80 W/m²K | 0,80 W/m²K |
| - Les ponts thermiques et l'étanchéité à l'air doivent être diminués | Perméabilité à l'air $\leq 0,6$ m³/h.m² | La maison dans son cocon de terre n'a pas de ponts thermiques excepté par les ouvertures qui doivent être minimisés au changement des baies vitrées |
| - Le besoin en chauffage en énergie ne doit pas dépasser en kW/an m² SHON.an | 15kW/h m² SHON.an | 14,91 kW/h m² SHON.an |
| - Le besoin total de la consommation en énergie primaire ne doit pas dépasser en kW/h m² SHON.an | 120 kW /h m² SHON.an | 86,13 kW/h m² SHON.an |

Afin de réduire encore la consommation énergétique de la maison, il est tout à fait possible d'installer 40 m² de panneaux photovoltaïques.

Les modules photovoltaïques ont un rendement moyen de 12%, par rapport à l'ensoleillement reçu. On considère qu'un m² de panneau photovoltaïque produit 100 à 120 W (Watt crête : puissance maximale produite).

Si l'on prend sur 1 an la production de 1m² de panneaux à notre latitude (pour les kW/m² mois voir tableau annexe 4) = 50,88 kW/m² x 40m² = 2035 kW

L'installation d'ECS solaire n'a pas été prise en compte, trop de travaux devraient être envisagés et l'amortissement était trop long et non rentable en considérant l'entretien. Le choix a été d'avoir une chaudière bois double usage.

Le comparatif entre la maison passive et la maison enterrée démontre que nous sommes proches de la maison zéro énergie si l'on tient compte de la production d'électricité des panneaux photovoltaïques.

Tableau comparatif (maison passive - maison enterrée) permet de comprendre l'intérêt de cette réhabilitation en essayant l'approche zéro énergie.

Conclusion



Ce mode de construction a un intérêt qui est celui de l'hyperinertie. L'avantage de ce type de configuration est la possibilité de réduire la demande en énergie.

Les températures sont plus stables sous l'effet de masse thermique de la terre.

Les variations climatiques journalières ne sont pas ressenties ; elles sont simplement différées et amorties.

Les infiltrations d'air peuvent-être réduite aux simples fenêtres.

Les intempéries ont moins d'emprise sur la construction.

Un autre avantage qui n'est pas des moindre ; la climatisation est inexistante : le projet présente ainsi une plus grande simplicité technologique

Concernant la protection de l'environnement, la végétation enveloppe la construction. Elle apporte de la fraîcheur en été et affaiblie la canicule.

L'architecture moins apparente laisse place au paysage.

Comparatif à l'aide de la boîte à outils

- 1) Ubat existant et projet
- 2) Consommation en énergie primaire
- 3) Consommation en énergie finale

Ubat existant et projet

Reste inchangé

| Calcul du Ubat - Logement | | | | | |
|---------------------------|----------------------------|-------------------------|----------|-------------|-----------------------------|
| maison enterrée | | | | | |
| lc | = | 2,59 | SDO | = | 309,10 m ² |
| Sv/SDO | = | 13,59 | SHON | = | 362,00 m ² |
| Sv/Sf | = | 15,00 | VOL(SDO) | = | 1112,760 m ³ |
| | | | HSP | = | 3,60 m |
| Calcul Projet | | | | | |
| | Surfaces (m ²) | U (W/m ² .K) | = | Dépéridions | |
| Façades | 280,00 | 0,10 | = | 23,80 | W/K |
| Murs | 238,00 | | | | |
| Toitures terrasse | 260,00 | 0,44 | = | 114,40 | W/K |
| Toitures combles | 0,00 | 0,00 | = | 0,00 | |
| Sol sur parking /VS | 0,00 | 0,00 | = | 0,00 | W/K |
| Sol sur terre-plein | 260,00 | 0,10 | = | 26,00 | W/K |
| Fenêtres et PF | 42,00 | 0,80 | = | 33,60 | W/K |
| Portes (non vitrée) | 0,00 | 0,00 | = | 0,00 | W/K |
| Surface déperditive SE | 800,00 | Dépéridions Statiques | = | 197,80 | W/K |
| Ponts thermiques | 0,10 W/m ² .K | | | | |
| Ubat | DP | 197,80 | + | 0,10 | = 0,347 W/m ² .K |
| | SE | 800,00 | | Ubat | |
| lisol | Ubat | 0,35 | * | 800,00 | = 0,90 W/m ² .K |
| | SDO | 309,10 | | SE | lisol |

| U des murs, toits et sols (W/m ² .K) | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| épaisseur d'isolant (cm) | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 20 | 24 | 30 | 40 |
| Murs (isolation intérieure) | 0,41 | 0,34 | 0,29 | | | | | | |
| Murs (isolation extérieure) | 0,47 | 0,38 | 0,33 | 0,28 | 0,23 | 0,20 | 0,16 | 0,14 | 0,11 |
| Terrasses (PUR) | | 0,25 | 0,21 | 0,18 | 0,16 | 0,13 | 0,11 | | |
| Combles habités (LMI) | | | 0,30 | 0,26 | 0,23 | 0,19 | 0,16 | 0,13 | 0,13 |
| Combles perdus (LMI) | | | 0,27 | 0,23 | 0,20 | 0,17 | 0,14 | 0,11 | 0,11 |
| Sols sur vide sanitaire (PUR) | 0,33 | 0,27 | 0,23 | 0,20 | | | | | |
| Sols sur terre plein (isolation continue) (PUR) | 0,22 | 0,19 | 0,17 | 0,15 | | | | | |

| U des fenêtres et portes-fenêtres (W/m ² .K) | | | | | | |
|---|------------|-----------------------------|----------|----------------------------|----------|-----|
| | menuiserie | Double vitrage peu émissif | | Triple vitrage peu émissif | | |
| | | lame air | lame gaz | lame air | lame gaz | |
| | | fenêtres et portes-fenêtres | bois | classique | 1,9 | 1,6 |
| performant | 1,7 | | | 1,4 | 1,3 | 1 |
| bois-alu | classique | | 1,7 | 1,4 | 1,1 | 0,9 |
| | performant | | 1,5 | 1,2 | 0,9 | 0,7 |
| alu RPT | classique | | 2,5 | 1,9 | 1,7 | 1,5 |
| | performant | | 2,1 | 1,6 | 1,5 | 1,3 |

| U des portes (W/m ² .K) | | | |
|------------------------------------|-----------|----------|---------------|
| | classique | isolante | très isolante |
| portes | 3,5 | 1,5 | 0,9 |

| ΔUbat des ponts thermiques | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------|------|------|----------|------|------|-------------------|---------|------|
| type d'isolation | extérieure | | | répartie | | | intérieure | | |
| | Complet | Avec | sans | Complet | Avec | sans | Dalles et refends | refends | sans |
| ΔUbat | 0,05 | 0,1 | 0,15 | 0,05 | 0,1 | 0,18 | 0,15 | 0,22 | 0,25 |

Consommation en énergie finale (voir détail en annexe)

Existant

| Calcul des consommations EF et EP | | | | |
|---|-----------------|--------------------|-------------|--|
| Consommations EF (énergie finale) | | | | |
| énergie pour | bois | autre combustible | électricité | (inscrire 1 dans la case correspondante) |
| chauffage | 0 | 1 | 0 | |
| ECS | 0 | 0 | 1 | |
| label BBC visé | 1 | | | |
| Consommation pour le chauffage en EF | | | | |
| Rendement | 0,85 | 0,95 | 1,00 | = 0,81 |
| | émis/réglul | distribution | génération | RDT |
| | 29,45 | 309,10 | 0,81 | = 11271,49 kWh/an |
| | BECH | SDO | RDT | C CHAUD |
| | | | | 36,47 kWh/m²SDO.an |
| | | | | 31,14 kWh/m²SHON.an |
| Consommation pour l'ECS en EF | | | | |
| Rendement | 0,90 | 0,95 | 1,00 | = 0,86 |
| | stockage | distribution | génération | RDT |
| | 9,60 | 309,10 | 0,86 | = 3470,60 kWh/an |
| | BES ECS | SDO | RDT | C ECS |
| | 7,39 | 0% | | 11,23 kWh/m²SDO.an |
| | valeur calculée | valeur forfaitaire | | 9,59 kWh/m²SHON.an |
| | | | | |
| Consommation pour l'éclairage et les auxiliaires en EF | | | | |
| | 10,00 | 6,00 | 0,50 | = 5100,15 kWh/an |
| | BESECL | BVENT | BAUX | C E+A |
| | #N/A | | | 16,50 kWh/m²SDO.an |
| | valeur calculée | valeur forfaitaire | | 14,09 kWh/m²SHON.an |
| | | | | |
| Consommation pour les autres usages en EF | | | | |
| | 20,00 | 309,10 | | = 6182,00 kWh/an |
| | BESAUT | SDO | | C AUTRES |
| | | | | 20,00 kWh/m²SDO.an |
| | | | | 17,08 kWh/m²SHON.an |

Projet

| Calcul des consommations EF et EP | | | | |
|---|-----------------|--------------------|-------------|--|
| Consommations EF (énergie finale) | | | | |
| énergie pour | bois | autre combustible | électricité | (inscrire 1 dans la case correspondante) |
| chauffage | 1 | 0 | 0 | |
| ECS | 1 | | 0 | |
| label BBC visé | 1 | | | |
| Consommation pour le chauffage en EF | | | | |
| Rendement | 0,95 | 0,95 | 1,00 | = 0,90 |
| | émis/réglul | distribution | génération | RDT |
| | 15,76 | 309,10 | 0,90 | = 5396,03 kWh/an |
| | BECH | SDO | RDT | C CHAUD |
| | | | | 17,46 kWh/m²SDO.an |
| | | | | 14,91 kWh/m²SHON.an |
| Consommation pour l'ECS en EF | | | | |
| Rendement | 0,95 | 0,95 | 1,00 | = 0,90 |
| | stockage | distribution | génération | RDT |
| | 29,00 | 309,10 | 0,90 | = 4966,15 kWh/an |
| | BES ECS | SDO | RDT | C ECS |
| | 9,64 | 50% | | 16,07 kWh/m²SDO.an |
| | valeur calculée | valeur forfaitaire | | 13,72 kWh/m²SHON.an |
| | | | | |
| Consommation pour l'éclairage et les auxiliaires en EF | | | | |
| | 10,00 | 6,00 | 0,50 | = 5100,15 kWh/an |
| | BESECL | BVENT | BAUX | C E+A |
| | #N/A | | | 16,50 kWh/m²SDO.an |
| | valeur calculée | valeur forfaitaire | | 14,09 kWh/m²SHON.an |
| | | | | |
| Consommation pour les autres usages en EF | | | | |
| | 20,00 | 309,10 | | = 6182,00 kWh/an |
| | BESAUT | SDO | | C AUTRES |
| | | | | 20,00 kWh/m²SDO.an |
| | | | | 17,08 kWh/m²SHON.an |

Consommation en énergie primaire (voir détail en annexe)

Existant

| Consommations EP (énergie primaire) | |
|--|----------------------|
| Consommation pour le chauffage en EP | |
| $11271,49 \times 1,00 = 11271,49$ kWh/an | C CHAUD C chauf |
| 36,47 kWh/m ² SDO.an | |
| 31,14 kWh/m ² SHON.an | |
| Consommation pour l'ECS en EP | |
| $3470,60 \times 2,58 = 8954,14$ kWh/an | C ECS C ECS |
| 28,97 kWh/m ² SDO.an | |
| 24,74 kWh/m ² SHON.an | |
| Consommation pour l'éclairage et les auxiliaires en EF | |
| $5100,15 \times 2,58 = 13158,39$ kWh/an | C E+A C E+A |
| 42,57 kWh/m ² SDO.an | |
| 36,35 kWh/m ² SHON.an | |
| Consommation pour les autres usages en EP | |
| $6182,00 \times 2,58 = 15949,56$ kWh/an | C AUTRES C AUTRES |
| 51,60 kWh/m ² SDO.an | |
| 44,06 kWh/m ² SHON.an | |
| Consommation globale en EP | |
| $11271,49 + 8954,14 + 13158,39 + 15949,56 = 49333,57$ kWh/an | CEP TOT |
| 159,60 kWh/m ² SDO.an | |
| 136,28 kWh/m ² SHON.an | |
| CEP réglementaire RT 2005 | |
| $11271,49 + 8954,14 + 6778,56 = 27004,19$ kWh/an | CEP TOT |
| 74,60 kWh/m ² SHON.an | |

Projet

| Consommations EP (énergie primaire) | |
|--|----------------------|
| Consommation pour le chauffage en EP | |
| $5396,03 \times 0,20 = 1079,21$ kWh/an | C CHAUD C chauf |
| 3,49 kWh/m ² SDO.an | |
| 2,98 kWh/m ² SHON.an | |
| Consommation pour l'ECS en EP | |
| $4966,15 \times 0,20 = 993,23$ kWh/an | C ECS C ECS |
| 3,21 kWh/m ² SDO.an | |
| 2,74 kWh/m ² SHON.an | |
| Consommation pour l'éclairage et les auxiliaires en EF | |
| $5100,15 \times 2,58 = 13158,39$ kWh/an | C E+A C E+A |
| 42,57 kWh/m ² SDO.an | |
| 36,35 kWh/m ² SHON.an | |
| Consommation pour les autres usages en EP | |
| $6182,00 \times 2,58 = 15949,56$ kWh/an | C AUTRES C AUTRES |
| 51,60 kWh/m ² SDO.an | |
| 44,06 kWh/m ² SHON.an | |
| Consommation globale en EP | |
| $1079,21 + 993,23 + 13158,39 + 15949,56 = 31180,38$ kWh/an | CEP TOT |
| 100,87 kWh/m ² SDO.an | |
| 86,13 kWh/m ² SHON.an | |
| CEP réglementaire RT 2005 | |
| $3237,62 + 2979,69 + 6778,56 = 12995,87$ kWh/an | CEP TOT |
| 35,90 kWh/m ² SHON.an | |

Annexes

- Utilisation de la boîte à outils... 1
- Comparatif des appareils de chauffage au bois..... 2&3
- Tableau sur l'ensoleillement mensuel dans le sud-est de la France (*en kWh/m² mois*)..... 4

ANNEXE 1 : Etude thermique

**Formation « CoBBaC »
« Conception de Bâtiments à Basse Consommation ou passifs »**

**Les calculs concernant les opérations de LOGEMENTS se font dans les onglets
identifiés par : LOG**

**Les calculs concernant les opérations de BUREAUX se font dans les onglets
identifiés par : TER**

Saisir les cases bleues

Les cases jaunes sont des données ou des résultats intermédiaires de calculs

Les cases oranges présentent les résultats des calculs

**Tous les calculs sont fait avec la surface dans œuvre comme surface de
référence**

Les calculs réalisés avec cet outil ne tiennent pas lieu de calcul réglementaire

VERSION 1.2

**License d'utilisation fournie par TRIBU à l'ADEME dans le cadre de la formation
CoBBaC**



Notice d'utilisation

| Abréviation | Définitions | Unité |
|-------------|--|---------------------------|
| SDO | Surface dans l'œuvre | m ² |
| SHON | Surface hors œuvre nette | m ² |
| VOL(SDO) | Volume du bâtiment calculé sur la SDO | m ³ |
| HSP | Hauteur sous plafond | m |
| Sv | Surface vitrée | m ² |
| Sv/Sf | Ratio de surface vitrée par rapport à la façade | % |
| Sv/SDO | Ratio de surface vitrée ^par rapport à la SDO | % |
| SE | Surface d'enveloppe | m ² |
| DP | Déperditions thermiques des parois | W/°C |
| Ubat | Coefficient de déperditions thermiques par transmission à travers les parois | W/m ² SE.°C |
| ΔUbat | Déperditions dues aux ponts thermiques | W/m ² SE.°C |
| L8 | Linéaire de liaison périphérique des planchers bas avec un mur | m |
| L9 | Linéaire de liaison périphérique des planchers intermédiaires avec un mur | m |
| L10 | Linéaire de liaison périphérique des planchers haut avec un mur | m |
| Ubat ref | Coefficient de déperditions thermiques de référence par transmission à travers les parois | W/m ² SE.°C |
| Isol | Indice d'isolation | W/m ² SDO.°C |
| RA | Taux de renouvellement d'air hygiénique | vol/h |
| DR | Déperditions thermiques de la ventilation | W/m ² SDO.°C |
| DT | Déperditions thermiques totales | W/m ² SDO.°C |
| AREC | Apports récupérés | kWh/m ² SDO.an |
| INT | Taux d'intermittence | |
| DH | Degrés Heures | |
| BESCH | Besoins thermiques pour le chauffage | kWh/m ² SDO.an |
| BECS | Besoins thermiques pour la production d'ECS | kWh/m ² SDO.an |
| ASOL | Apports solaires | W/m ² SDO |
| AINT | Apports internes | W/m ² SDO |
| UETE | Coefficient d'aperdition thermique | W/°C |
| DTVEN | Coefficient de surventilation nocturne | °C |
| DELTAT | Différence de température entre le maximum atteint en température intérieure et extérieure. Ces deux maximums peuvent être décalé dans le temps du fait des apports solaires et de l'inertie | °C |
| TCONS | Température de consigne de rafraichissement | °C |
| DTPCAN | Coefficient de ventilation par puit canadien | °C |
| TNCLIM | Température de non climatisation, température extérieure au dessus de laquelle une climatisation est nécessaire pour redescendre à la température de consigne | °C |
| TDIM | Température extérieure de dimensionnement | °C |
| NHCLIM | Nombre d'heure de climatisation | h |
| PMAX | Puissance maximale de froid fournie par la machine frigorifique. La puissance moyenne correspond, en première approximation, aux 2/3 de la puissance maximale | W |
| BCLIM | Besoins thermiques pour la climatisation | kWh/m ² SDO.an |

Apports

Existant

Sv = 42,00 m² SDO = 309,10 m²
 Ubat = W/m².K zone climatique = 2

Répartition des surfaces vitrées (surfaces de baies en tableau)

| | m ² | Répartition | Masques | FS | |
|----------|----------------|-------------|---------|------|------|
| S | 22 | 52,4% | 0,9 | 0,85 | 0,40 |
| SO | 0 | 0,0% | 0 | 0 | 0,00 |
| O | 0 | 0,0% | 0,9 | 0,85 | 0,00 |
| NO | 0 | 0,0% | 0 | 0 | 0,00 |
| N | 0 | 0,0% | 0,9 | 0,6 | 0,00 |
| NE | 0 | 0,0% | 0 | 0 | 0,00 |
| E | 0 | 0,0% | 0,9 | 0,6 | 0,00 |
| SE | 0 | 0,0% | 0 | 0 | 0,00 |
| Zénithal | 0 | 0,0% | 0 | 0 | 0,00 |

Aoccup = 2,5 W/m²

contrôle Sv = 22 Coefficient SSE = 0,40

Classe d'inertie **très lourde**

| Plancher haut | Plancher bas | Parois verticales |
|---------------|--------------|-------------------|
| 1 | 1 | 1 |

Inscrire 1 dans la colonne concernée

Intermittence = 1,00

Apports récupérés
 AREC = 36,77 kWh/m²SDO.an

Projet

Sv = 42,00 m² SDO = 309,10 m²
 Ubat = W/m².K zone climatique = 2

Répartition des surfaces vitrées (surfaces de baies en tableau)

| | m ² | Répartition | Masques | FS | |
|----------|----------------|-------------|---------|-----|------|
| S | 24 | 57,1% | 0,7 | 0,5 | 0,20 |
| SO | 2 | 4,8% | 0 | 0,5 | 0,00 |
| O | 0 | 0,0% | | | 0,00 |
| NO | 2 | 4,8% | 0 | 0,5 | 0,00 |
| N | 0 | 0,0% | | | 0,00 |
| NE | 2 | 4,8% | 0 | 0,5 | 0,00 |
| E | 0 | 0,0% | | | 0,00 |
| SE | 2 | 4,8% | 0 | 0,5 | 0,00 |
| Zénithal | 0 | 0,0% | 0 | 0 | 0,00 |

Aoccup = 2,5 W/m²

contrôle Sv = 32 Coefficient SSE = 0,20

Classe d'inertie **lourde**

| Plancher haut | Plancher bas | Parois verticales |
|---------------|--------------|-------------------|
| 0 | 1 | 1 |

Inscrire 1 dans la colonne concernée

Intermittence = 1,00

Apports récupérés
 AREC = 19,64 kWh/m²SDO.an

Besoin en chauffage

Existant

| Calcul des besoins de chauffage | |
|--|------------|
| Ventilation | |
| Débit d'Air Neuf | 1,20 vol/h |
| Débit d'Infiltration | 0,01 vol/h |
| Rendement échangeur | 0,00% |
| $0,34 * \underset{RA}{1,21} * \underset{HSP}{3,60} = \underset{DR}{1,48} \text{ W/m}^2\text{SDO.K}$ | |
| Déperditions | |
| $\frac{\underset{Ubat}{0,25} * \underset{SE}{800,00}}{\underset{SDO}{309,10}} + \underset{DR}{1,48} = \underset{DT}{2,14} \text{ W/m}^2\text{SDO.K}$ | |
| Apports récupérés AREC = 36,77 kWh/m ² SDO.an | |
| Besoins de chauffage | |
| $\underset{BECH}{\text{BECH}} = \underset{DT}{2,14} * \underset{INT}{1,00} * \underset{DH}{31,00} - \underset{AREC}{36,77} = \underset{BECH}{29,45} \text{ kWh/m}^2\text{.an SDO}$ | |

Projet

| Calcul des besoins de chauffage | |
|---|------------|
| Ventilation | |
| Débit d'Air Neuf | 1,20 vol/h |
| Débit d'Infiltration | 0,12 vol/h |
| Rendement échangeur | 90,00% |
| $0,34 * \underset{RA}{0,24} * \underset{HSP}{3,60} = \underset{DR}{0,29} \text{ W/m}^2\text{SDO.K}$ | |
| Déperditions | |
| $\frac{\underset{Ubat}{0,24} * \underset{SE}{800,00}}{\underset{SDO}{309,10}} + \underset{DR}{0,29} = \underset{DT}{0,91} \text{ W/m}^2\text{SDO.K}$ | |
| Apports récupérés AREC = 19,64 kWh/m ² SDO.an | |
| Besoins de chauffage | |
| $\underset{BECH}{\text{BECH}} = \underset{DT}{0,91} * \underset{INT}{1,00} * \underset{DH}{31,00} - \underset{AREC}{19,64} = \underset{BECH}{8,46} \text{ kWh/m}^2\text{.an SDO}$ | |

Besoin en ECS

Existant

| LOG-Calcul des Besoins énergétiques pour la production d'ECS | | | | | | |
|--|-------------------------------|----|----|-----|-----|---------|
| Estimation des consommations d'eau chaude (60°C) | | | | | | |
| Type de logements | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | |
| Consommation d'ECS (l/jour) | 50 | 65 | 90 | 115 | 150 | 115 l/j |
| Nombres de logements | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| BECS | 2285,5 kWh/an | | | | | |
| BECS | 7,4 kWh/m ² SDO.an | | | | | |

Projet

| LOG-Calcul des Besoins énergétiques pour la production d'ECS | | | | | | |
|--|-------------------------------|----|----|-----|-----|---------|
| Estimation des consommations d'eau chaude (60°C) | | | | | | |
| Type de logements | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | |
| Consommation d'ECS (l/jour) | 50 | 65 | 90 | 115 | 150 | 150 l/j |
| Nombres de logements | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| BECS | 2981,1 kWh/an | | | | | |
| BECS | 9,6 kWh/m ² SDO.an | | | | | |

Besoin en éclairage

Existant

Eclairage naturel et consommation

Calcul pour un local type
(par exemple, séjour en logement)

$$\text{Indice d'ouverture} = \frac{\text{SOUV}}{\text{SLOC}} = \frac{18,00}{60,00} = 0,30 \%$$

le local dispose d'un éclairage de second jour (inscrire 1 dans la case concernée)
le local dispose d'un éclairage zénithal

Profondeur de confort = $0,85 \cdot 3,30 \cdot 6,00 \cdot 0,40 \cdot 0,30 = 2,52$

profondeur utile = 4,00
PROFUT

Niveau d'éclairage naturel du local = **moyen**

étendre à l'ensemble du bâtiment le niveau d'éclairage naturel calculé sur le local type

Niveau d'éclairage naturel du bâtiment = 1,00

calcul des durées d'éclairage sur tout le bâtiment

Durée d'éclairage Locaux avec EN = $1,00 \cdot 600,00 + 0,60 \cdot \text{\#N/A} + 1400,00 = \text{\#N/A}$ heures
GESTN NHEN GESTJ ACCNAT NHEJ DNAT

Durée d'éclairage Locaux sans EN = $1,00 \cdot 2,00 = 2,00$ heures
GESTN NEHT DAVG

Calcul des consommations d'éclairage

Consommation d'éclairage pour les locaux avec EN = $\frac{6,00}{1000} \cdot 5,00 \cdot \text{\#N/A} = \text{\#N/A}$ kWh/an
PNAT SNAT DNAT CNAT

Consommation d'éclairage pour les locaux sans EN = $\frac{6,00}{1000} \cdot 5,00 \cdot 2,00 = 0,06$ kWh/an
PAVG SAVG DAVG CAVG

Consommation totale d'éclairage = $\text{\#N/A} + 0,06 = \text{\#N/A}$ kWh/an
CECL

#N/A kWh/m²SDO.an

Projet

Eclairage naturel et consommation

Calcul pour un local type
(par exemple, séjour en logement)

$$\text{Indice d'ouverture} = \frac{\text{SOUV}}{\text{SLOC}} = \frac{33,00}{120,00} = 0,28 \%$$

le local dispose d'un éclairage de second jour (inscrire 1 dans la case concernée)
le local dispose d'un éclairage zénithal

Profondeur de confort = $0,60 \cdot 3,30 \cdot 5,00 \cdot 0,90 \cdot 0,28 = 3,06$

profondeur utile = 4,00
PROFUT

Niveau d'éclairage naturel du local = **moyen**

étendre à l'ensemble du bâtiment le niveau d'éclairage naturel calculé sur le local type

Niveau d'éclairage naturel du bâtiment = 1,00

calcul des durées d'éclairage sur tout le bâtiment

Durée d'éclairage Locaux avec EN = $0,00 \cdot 600,00 + 0,00 \cdot \text{\#N/A} + 1400,00 = \text{\#N/A}$ heures
GESTN NHEN GESTJ ACCNAT NHEJ DNAT

Durée d'éclairage Locaux sans EN = $0,00 \cdot 0,00 = 0,00$ heures
GESTN NEHT DAVG

Calcul des consommations d'éclairage

Consommation d'éclairage pour les locaux avec EN = $\frac{0,00}{1000} \cdot 0,00 \cdot \text{\#N/A} = \text{\#N/A}$ kWh/an
PNAT SNAT DNAT CNAT

Consommation d'éclairage pour les locaux sans EN = $\frac{0,00}{1000} \cdot 0,00 \cdot 0,00 = 0,00$ kWh/an
PAVG SAVG DAVG CAVG

Consommation totale d'éclairage = $\text{\#N/A} + 0,00 = \text{\#N/A}$ kWh/an
CECL

#N/A kWh/m²SDO.an

Etude thermique

| Calcul du Ubat - Logement | | | | | |
|---------------------------|----------------------------|-------------------------|----------|---------|---------------------------|
| maison enterrée | | | | | |
| lc | = | 2,59 | SDO | = | 309,10 m ² |
| Sv/SDO | = | 13,59 | SHON | = | 362,00 m ² |
| Sv/Sf | = | 15,00 | VOL(SDO) | = | 1112,760 m ³ |
| | | | HSP | = | 3,60 m |
| Calcul Projet | | | | | |
| | Surfaces (m ²) | U (W/m ² .K) | | Dépense | |
| Façades | 280,00 | 0,10 | * | 23,80 | W/K |
| Murs | 238,00 | | | | |
| Toitures terrasse | 260,00 | 0,10 | * | 26,00 | W/K |
| Toitures combles | 0,00 | 0,00 | * | 0,00 | |
| Sol sur parking /VS | 0,00 | 0,00 | * | 0,00 | W/K |
| Sol sur terre-plein | 260,00 | 0,10 | * | 26,00 | W/K |
| Fenêtres et PF | 42,00 | 0,80 | * | 33,60 | W/K |
| Portes (non vitrée) | 0,00 | 0,00 | * | 0,00 | W/K |
| Surface déperditive | 800,00 | | | 109,40 | W/K |
| | SE | | | DP | |
| Ponts thermiques | 0,10 | | | | W/m ² .K |
| | ΔUbat | | | | |
| Ubat | DP | 109,40 | + | 0,10 | ΔUbat |
| | SE | 800,00 | | | Ubat |
| | | | | | 0,237 W/m ² .K |
| lisol | Ubat | 0,24 | * | 800,00 | SE |
| | SDO | 309,10 | | | lisol |
| | | | | | 0,61 W/m ² .K |

| U des murs, toits et sols (W/m ² .K) | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| épaisseur d'isolant (cm) | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 20 | 24 | 30 | 40 |
| Murs (isolation intérieure) | 0,41 | 0,34 | 0,29 | | | | | | |
| Murs (isolation extérieure) | 0,47 | 0,38 | 0,33 | 0,28 | 0,23 | 0,20 | 0,16 | 0,14 | 0,11 |
| Terrasses (PUR) | | 0,25 | 0,21 | 0,18 | 0,16 | 0,13 | 0,11 | | |
| Combles habités (LMI) | | | 0,30 | 0,26 | 0,23 | 0,19 | 0,16 | 0,13 | 0,13 |
| Combles perdus (LMI) | | | 0,27 | 0,23 | 0,20 | 0,17 | 0,14 | 0,11 | 0,11 |
| Sols sur vide sanitaire (PUR) | 0,33 | 0,27 | 0,23 | 0,20 | | | | | |
| Sols sur terre plein (isolation continue) (PUR) | 0,22 | 0,19 | 0,17 | 0,15 | | | | | |

| U des fenêtres et portes-fenêtres (W/m ² .K) | | | | | | |
|---|------------|-----------------------------|----------|----------------------------|----------|-----|
| | menuiserie | Double vitrage peu émissif | | Triple vitrage peu émissif | | |
| | | lame air | lame gaz | lame air | lame gaz | |
| | | fenêtres et portes-fenêtres | bois | classique | 1,9 | 1,6 |
| performant | 1,7 | | | 1,4 | 1,3 | 1 |
| bois-alu | classique | | 1,7 | 1,4 | 1,1 | 0,9 |
| | performant | | 1,5 | 1,2 | 0,9 | 0,7 |
| alu RPT | classique | | 2,5 | 1,9 | 1,7 | 1,5 |
| | performant | | 2,1 | 1,6 | 1,5 | 1,3 |

| U des portes (W/m ² .K) | | | |
|------------------------------------|-----------|----------|---------------|
| | classique | isolante | très isolante |
| portes | 3,5 | 1,5 | 0,9 |

| ΔUbat des ponts thermiques | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------|------|------|----------|------|------|-------------------|---------|------|
| type d'isolation | extérieure | | | répartie | | | intérieure | | |
| | Complet | Avec | sans | Complet | Avec | sans | Dalles et refends | refends | sans |
| ΔUbat | 0,05 | 0,1 | 0,15 | 0,05 | 0,1 | 0,18 | 0,15 | 0,22 | 0,25 |

Etude thermique

Sv = 42,00 m²
 Ubat = W/m².K

SDO = 309,10 m²
 zone climatique = 2

Aoccup = 2,5 W/m²

Répartition des surfaces vitrées (surfaces de baies en tableau)

| | m ² | Répartition | Masques | FS | |
|----------|----------------|-------------|---------|------|------|
| S | 22 | 52,4% | 0,9 | 0,85 | 0,40 |
| SO | 0 | 0,0% | 0 | 0 | 0,00 |
| O | 0 | 0,0% | 0,9 | 0,85 | 0,00 |
| NO | 0 | 0,0% | 0 | 0 | 0,00 |
| N | 0 | 0,0% | 0,9 | 0,6 | 0,00 |
| NE | 0 | 0,0% | 0 | 0 | 0,00 |
| E | 0 | 0,0% | 0,9 | 0,6 | 0,00 |
| SE | 0 | 0,0% | 0 | 0 | 0,00 |
| Zénithal | 0 | 0,0% | 0 | 0 | 0,00 |

contrôle Sv = 22 Coefficient SSE = 0,40

Classe d'inertie très lourde

| Plancher haut | Plancher bas | Parois verticales |
|---------------|--------------|-------------------|
| 1 | 1 | 1 |

inscrire 1 dans la colonne concernée

Intermittence 1,00

Apports récupérés
 AREC = 36,77 kWh/m²SDO.an

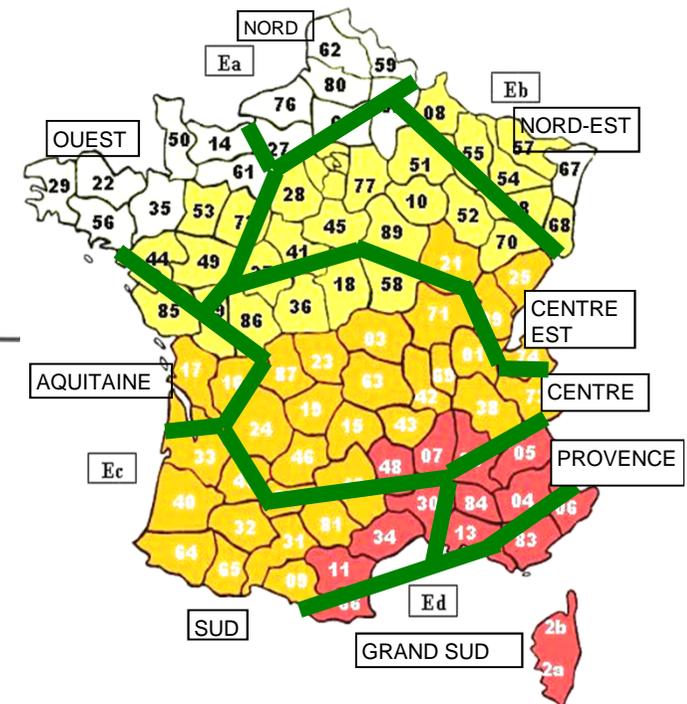
Facteur de masques

| | Nord | E / O | Sud |
|--|------|-------|------|
| fenêtre nue au nu intérieur | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| casquette horizontale ou brise-soleil fixe à 45° | 0.7 | 0.4 | 0.3 |
| store vertical screen ou vénitien performant | 0.11 | 0.11 | 0.11 |
| store vertical screen ou vénitien classique | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| store intérieur | 0.6 | 0.6 | 0.6 |

| | |
|---|------------|
| 1 | GRAND SUD |
| 2 | PROVENCE |
| 3 | SUD |
| 4 | AQUITAINE |
| 5 | CENTRE |
| 6 | CENTRE-EST |
| 7 | OUEST |
| 8 | NORD |
| 9 | NORD-EST |

| Logements | Apports internes (occupants et appareils) | |
|------------------|---|----------------------|
| | Maisons individuelles | Logements collectifs |
| W/m ² | 2.5 | 3 |

| Plancher bas | Plancher haut | Paroi verticale | Classe d'inertie |
|--------------|---------------|-----------------|------------------|
| lourd | lourd | lourd | très lourde |
| - | lourd | lourd | lourde |
| lourd | - | lourd | lourde |
| lourd | lourd | - | lourde |
| - | - | lourd | moyenne |
| - | lourd | - | moyenne |
| lourd | - | - | moyenne |
| - | - | - | très légère |



Etude thermique

| Calcul des besoins de chauffage | |
|---------------------------------|--|
| Ventilation | $0,34 * \frac{1,20}{1,21} * \frac{3,60}{0,00\%} = 1,48 \text{ W/m}^2\text{SDO.K}$ <p>Débit d'Air Neuf: 1,20 vol/h Débit d'Infiltration: 0,01 vol/h Rendement échangeur: 0,00% RA: 1,21 HSP: 3,60 DR: 1,48</p> |
| Déperditions | $\frac{0,25 * 800,00}{309,10} + 1,48 = 2,14 \text{ W/m}^2\text{SDO.K}$ <p>Ubat: 0,25 SE: 800,00 SDO: 309,10 DR: 1,48 DT: 2,14</p> |
| Apports récupérés | <p>AREC = 36,77 kWh/m²SDO.an</p> |
| Besoins de chauffage | $\text{BECH} = \frac{2,14}{\text{DT}} * 1,00 * 31,00 - \frac{36,77}{\text{AREC}} = 29,45 \text{ kWh/m}^2\text{SDO.an}$ <p>DT: 2,14 INT: 1,00 DH: 31,00 AREC: 36,77 BECH: 29,45</p> |

| DEBIT D'AIR NEUF | | | | |
|------------------------------|----------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| Tertiaire | secteur | type de ventilation | | |
| | | VNAC naturelle assistée et contrôlée | VMC simple flux Auto-réglable | VMC double flux |
| taux de renouvellement d'air | Scolaire | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| | Bureaux | 0.7 | 0.7 | 0.7 |

les déperditions par l'air, DR, sont le produit du taux de renouvellement d'air (RA en nombre de volumes par heure) par la hauteur sous plafond moyenne HSP

| DEBIT D'INFILTRATION | | | | | | | | |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------|
| Vent | Traversant | | | | Non Traversant | | | |
| | calme | | venté | | calme | | venté | |
| Ventilation | Simple Flux | Double Flux | Simple Flux | Double Flux | Simple Flux | Double Flux | Simple Flux | Double Flux |
| passif | 0.01 | 0.04 | 0.04 | 0.08 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.06 |
| amélioré | 0.01 | 0.13 | 0.13 | 0.25 | 0.01 | 0.05 | 0.05 | 0.16 |
| ref RT | 0.02 | 0.24 | 0.23 | 0.45 | 0.01 | 0.08 | 0.1 | 0.29 |
| défaut RT | 0.02 | 0.28 | 0.26 | 0.53 | 0.01 | 0.12 | 0.16 | 0.41 |

| DH selon le département | | | | | | | | | | |
|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| DH | 1 | 55 | 2B | 32 | 40 | 42 | 60 | 65 | 80 | 64 |
| | 2 | 67 | 21 | 57 | 41 | 59 | 61 | 62 | 81 | 45 |
| | 3 | 55 | 22 | 51 | 42 | 52 | 62 | 60 | 82 | 51 |
| | 4 | 45 | 23 | 56 | 43 | 54 | 63 | 50 | 83 | 31 |
| | 5 | 47 | 24 | 48 | 44 | 48 | 64 | 35 | 84 | 44 |
| | 6 | 31 | 25 | 57 | 45 | 61 | 65 | 43 | 85 | 50 |
| | 7 | 53 | 26 | 53 | 46 | 45 | 66 | 30 | 86 | 56 |
| | 8 | 64 | 27 | 58 | 47 | 53 | 67 | 63 | 87 | 54 |
| | 9 | 41 | 28 | 63 | 48 | 48 | 68 | 64 | 88 | 62 |
| | 10 | 64 | 29 | 55 | 49 | 55 | 69 | 54 | 89 | 62 |
| | 11 | 36 | 30 | 36 | 50 | 56 | 70 | 62 | 90 | 63 |
| | 12 | 45 | 31 | 44 | 51 | 65 | 71 | 57 | 91 | 61 |
| | 13 | 36 | 32 | 50 | 52 | 59 | 72 | 57 | 92 | 58 |
| | 14 | 59 | 33 | 41 | 53 | 56 | 73 | 55 | 93 | 58 |
| | 15 | 54 | 34 | 38 | 54 | 71 | 74 | 58 | 94 | 58 |
| | 16 | 48 | 35 | 53 | 55 | 68 | 75 | 55 | 95 | 61 |
| | 17 | 48 | 36 | 59 | 56 | 48 | 76 | 58 | | |
| | 18 | 58 | 37 | 57 | 57 | 68 | 77 | 62 | | |
| | 19 | 48 | 38 | 55 | 58 | 56 | 78 | 66 | | |
| | 2A | 34 | 39 | 55 | 59 | 60 | 79 | 56 | | |

| | Echangeur de chaleur et puits canadien | | | |
|-----------|--|-------------------|-----------------------|---------------------|
| | Echangeur à plaques | Echangeur rotatif | Puits canadien avec : | |
| | | | SF | DF (avec échangeur) |
| Rendement | 40% | 70% | 30% | 80% |

Etude thermique

| LOG-Calcul des Besoins énergétiques pour la production d'ECS | | | | | | |
|--|---------------|---------------------------|----|-----|-----|---------|
| Estimation des consommations d'eau chaude (60°C) | | | | | | |
| Type de logements | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | |
| Consommation d'ECS (l/jour) | 50 | 65 | 90 | 115 | 150 | 115 l/j |
| Nombres de logements | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| BECS | 2285,5 | kWh/an | | | | |
| BECS | 7,4 | kWh/m ² SDO.an | | | | |

Etude thermique

Eclairage naturel et consommation

Calcul pour un local type
(par exemple, séjour en logement)

Indice d'ouverture = $\frac{18,00}{60,00} = 0,30$ %
SOUV / SLOC

le local dispose d'un éclairage de second jour 1 (inscrire 1 dans la case concernée)
 le local dispose d'un éclairage zénithal 0

Profondeur de confort = $0,85 \cdot 3,30 \cdot 6,00 \cdot 0,40 \cdot 0,30 = 2,52$
FTL · CEFEN · PROF · MSQ · IOUV = PCONF

profondeur utile PROFUT
 Niveau d'éclairage naturel du local =

étendre à l'ensemble du bâtiment le niveau d'éclairage naturel calculé sur le local type
 Niveau d'éclairage naturel du bâtiment

calcul des durées d'éclairage sur tout le bâtiment

Durée d'éclairage Locaux avec EN = $1,00 \cdot 600,00 + 0,60 \cdot \#N/A \cdot 1400,00 = \#N/A$ heures
GESTN · NHEN + GESTJ · ACCNAT · NHEJ = DNAT

Durée d'éclairage Locaux sans EN = $1,00 \cdot 2,00 = 2,00$ heures
GESTN · NEHT = DAVG

Calcul des consommations d'éclairage

Consommation d'éclairage pour les locaux avec EN = $\frac{6,00}{1000} \cdot 5,00 \cdot \#N/A = \#N/A$ kWh/an
PNAT · SNAT · DNAT = CNAT

Consommation d'éclairage pour les locaux sans EN = $\frac{6,00}{1000} \cdot 5,00 \cdot 2,00 = 0,06$ kWh/an
PAVG · SAVG · DAVG = CAVG

Consommation totale d'éclairage = $\#N/A$ kWh/an
CECL = #N/A kWh/m²SDO.an

Le calcul d'éclairage naturel est fait pour un local type, représentatif du bâtiment

| | |
|-------------|--|
| SOUV | Surface de baie en tableau (m ²) |
| SLOC | Surface du local (m ²) |

| | | | | | | | |
|--------------------|--|--------------------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|-----|-----|
| CEFEN | On peut le prendre égal à 3 ou choisir une des valeurs ci-contre | surface de la pièce | | ≤ 30 m ² | > 30 m ² | | |
| | | hauteur sous linteau | | ≤ 2,7 m | > 2,7 m | | |
| | | sans allège vitrée | Coefficient de forme : | ≤ 1 | 2.5 | 2.8 | 3 |
| | | | façade/prof | > 1 | 3 | | 3.3 |
| avec allège vitrée | toutes configurations | retrancher 0,5 aux valeurs ci-dessus | | | | | |

| | |
|-------------|------------------------|
| PROF | profondeur de la pièce |
|-------------|------------------------|

| Facteur de transmission lumineuse FTL | |
|---------------------------------------|-----|
| double vitrage | 0.7 |
| triple vitrage | 0.6 |
| contrôle solaire | 0.4 |

| | puissances en W/m ² | locaux de travail, pièces principales | | | autres locaux |
|---------------------|--|---------------------------------------|---------|----------|---------------|
| | | résidentiel | bureaux | scolaire | |
| PNAT et PAVG | installation principalement composée de luminaires fluorescents à haute performance (efficacité lumineuse > 66) | 6 | 6 | 8 | 6 |
| | installation utilisant largement les luminaires fluorescents à haute performance (efficacité lumineuse > 66) et les lampes fluocompactes | 10 | 8 | 12 | 10 |
| | autres installations | 12 | 15 | 15 | 12 |

| Profondeur utile | |
|------------------|--|
| Bureau | Pu est la profondeur utile (nécessaire pour implanter le nombre de postes de travail programmés dans ce local) |
| Salle de classe | P est la profondeur de la salle de classe |
| Séjour | 3 m |
| Chambre | 2 m |
| cuisine | Pu est la profondeur du plan de travail (ou de l'évier) le plus éloigné de la fenêtre |

| | coefficient GESTN | coefficient GESTJ |
|---|-----------------------------|-----------------------------|
| gestion manuelle par simple interrupteur | 1 | 0.6 |
| interrupteur + programmation par horloge | 0.9 | 0.54 |
| interrupteur + détection de présence | 0.8 | 0,48 |
| interrupteur + gestion par gradateur et horloge | 0.9 | 0.36 |

| Facteur de masques MSQ | | | | |
|------------------------|--|---|-------------------------------------|-----|
| Coefficient de masque | Il traduit la part de lumière masquée par un obstacle proche ou lointain | Type de masque | | MSQ |
| | | Masque lointain (immeuble vu sous le gabarit H/L) | Pas de masque | |
| | | $H = L/2 \Rightarrow 30^\circ$ | 0.5 | |
| | | $H = L \Rightarrow 45^\circ$ | 0.4 | |
| | | $H = 2L \Rightarrow 60^\circ$ | 0.35 | |
| | | Casquette de longueur L | $L = h$ baie à protéger | 0.8 |
| | | | $L = \frac{1}{2} h$ baie à protéger | 0.9 |

| PCONF | | |
|-----------------------|--|--|
| Profondeur de confort | Eclairage sur une façade, sans second jour | PCONF est la profondeur, mesurée depuis la façade éclairée naturellement sur laquelle l'éclairage naturel est suffisant (calibrée pour un facteur de lumière de jour d'au moins 2%). Cette formule approchée n'est valable que pour une pièce éclairée naturellement sur une seule façade. |
| | Eclairage sur une façade, avec second jour | Dans le cas d'un second jour complémentaire, PCONF est majoré de 25%. En réalité, il s'agit d'une bande de profondeur 0,22 PCONF en fond de pièce coté second jour. |
| | Eclairage zénithal | Dans le cas d'un éclairage zénithal, PCONF sera pris égal à la profondeur totale du local |

Etude thermique

| Consommations EP (énergie primaire) | | | |
|---|---|---------|---------------------|
| Consommation pour le chauffage en EP | | | |
| 5396,03 | x | 0,20 | = 1079,21 kWh/an |
| C CHAUD | | CEP | C chauf |
| | | | 3,49 kWh/m²SDO.an |
| | | | 2,98 kWh/m²SHON.an |
| Consommation pour l'ECS en EP | | | |
| 4966,15 | x | 0,20 | = 993,23 kWh/an |
| C ECS | | CEP | C ECS |
| | | | 3,21 kWh/m²SDO.an |
| | | | 2,74 kWh/m²SHON.an |
| Consommation pour l'éclairage et les auxiliaires en EP | | | |
| 5100,15 | x | 2,58 | = 13158,39 kWh/an |
| C E+A | | CEP | C E+A |
| | | | 42,57 kWh/m²SDO.an |
| | | | 36,35 kWh/m²SHON.an |
| Consommation pour les autres usages en EP | | | |
| 6182,00 | x | 2,58 | = 15949,56 kWh/an |
| C AUTRES | | CEP | C AUTRES |
| | | | 51,60 kWh/m²SDO.an |
| | | | 44,06 kWh/m²SHON.an |
| Consommation globale en EP | | | |
| 1079,21 | + | 993,23 | + 13158,39 |
| C CHAUD | | C ECS | C E+A |
| | | | + 15949,56 |
| | | | C AUTRES |
| | | | = 31180,38 kWh/an |
| | | | CEP TOT |
| | | | 100,87 kWh/m²SDO.an |
| | | | 86,13 kWh/m²SHON.an |
| CEP réglementaire RT 2005 | | | |
| 3237,62 | + | 2979,69 | + 6778,56 |
| C CHAUD | | C ECS | C E+A |
| | | | = 12995,87 kWh/an |
| | | | CEP TOT |
| | | | 35,90 kWh/m²SHON.an |

| Calcul des consommations EF et EP | | | |
|---|------|-------------------|---------------------|
| Consommations EF (énergie finale) | | | |
| énergie pour | bois | autre combustible | électricité |
| chauffage | 0 | 1 | 0 |
| ECS | 0 | 0 | 1 |
| label BBC visé | 1 | | |
| Consommation pour le chauffage en EF | | | |
| Rendement | 0,85 | x | 0,95 |
| émis/régul | | | distribution |
| | | | x 1,00 |
| | | | génération |
| | | | = 0,81 |
| | | | RDT |
| 29,45 | x | 309,10 | x 0,81 |
| BECH | | SDO | RDT |
| | | | = 11271,49 kWh/an |
| | | | C CHAUD |
| | | | 36,47 kWh/m²SDO.an |
| | | | 31,14 kWh/m²SHON.an |
| Consommation pour l'ECS en EF | | | |
| Rendement | 0,90 | x | 0,95 |
| stockage | | | distribution |
| | | | x 1,00 |
| | | | génération |
| | | | = 0,86 |
| | | | RDT |
| 9,60 | x | 309,10 | x 0,86 |
| BES ECS | | SDO | couverture |
| | | | solaire |
| | | | = 3470,60 kWh/an |
| | | | C ECS |
| | | | 11,23 kWh/m²SDO.an |
| | | | 9,59 kWh/m²SHON.an |
| Consommation pour l'éclairage et les auxiliaires en EF | | | |
| 10,00 | + | 6,00 | + 0,50 |
| BESECL | | BVENT | BAUX |
| | | | x 309,10 |
| | | | SDO |
| | | | x 0% |
| | | | Couv ENR |
| | | | = 5100,15 kWh/an |
| | | | C E+A |
| | | | 16,50 kWh/m²SDO.an |
| | | | 14,09 kWh/m²SHON.an |
| Consommation pour les autres usages en EF | | | |
| 20,00 | x | 309,10 | = 6182,00 kWh/an |
| BESAUT | | SDO | C AUTRES |
| | | | 20,00 kWh/m²SDO.an |
| | | | 17,08 kWh/m²SHON.an |

| Rendement de génération de l'installation de Chauffage | |
|--|------|
| ref RT gaz | 0.92 |
| ref RT bois | 0.60 |
| ref RT PAC | 2.45 |
| chaudière à haut rendement | 0.92 |
| chaudière à condensation | 1.00 |
| PAC Eau/Eau | 3.50 |
| PAC Air/Eau | 2.50 |
| PAC Air/Air | 2.00 |
| Réseau de chaleur | 0.95 |
| Chaudière bois | 0.75 |

| Rendement émetteurs | |
|-----------------------------|------|
| plafond et plancher radiant | 0.95 |
| radiateur basse température | 0.90 |
| autres radiateurs | 0.88 |
| vecteur air | 0.80 |
| Rendement de distribution | |
| Circuit de distribution : | |
| court et isolé | 0.90 |
| long et mal isolé | 0.80 |

| Rendement de stockage de l'ECS | |
|--------------------------------|------|
| Instantané | 1.00 |
| Ballon mal isolé | 0.80 |
| Ballon très isolé | 0.90 |

| Consommation des auxiliaires de ventilation (kWh/m².an) | |
|---|---|
| ventilation naturelle assistée et contrôlée (VNAC) année entière | 0 |
| ventilation simple flux année entière | 3 |
| ventilation double flux année entière | 6 |
| ventilation double flux saison de chauffe et naturelle hors saison de chauffe | 4 |

| Consommation d'auxiliaires (kWh/m².an) | |
|--|-----|
| chauffage eau chaude ou air | 0.5 |
| chauffage PAC sur nappe ou capteurs enterrés | 1 |

| Consommation autres usages (kWh/m².an) | |
|--|----|
| appareils classiques | 12 |
| appareils performants | 20 |

| Coefficient d'équivalence en énergie primaire - CEP | | |
|--|----------|-------------------|
| | Physique | Convention RT2005 |
| bois | 0.2 | 1 ou 0,6 |
| biomasse | 0.2 | 1 |
| HVP | 0.3 | 1 |
| gaz | 1.1 | 1 |
| fioul | 1.1 | 1 |
| charbon | 1.1 | 1 |
| réseau UIOM | 0.6 | 1 |
| elec | 3 | 2.58 |
| elec année | 3 | 2.58 |
| elec chauffage | 3 | 2.58 |
| elec ECS | 3 | 2.58 |
| elec éclairage | 3 | 2.58 |

Etude thermique

| Calcul de la production de CO2 et de Déchets nucléaires | | | | | | |
|---|--------------------------|------|--|--------------------------------|--------------------------|--|
| Afin d'obtenir les valeurs de production, il faut pondérer les facteurs d'émissions du tableau de donnée par la répartition des différentes énergies de votre projet. | | | | | | |
| Emissions de CO2 | | | | Production de DN | | |
| Chauffage | 11271,49 C CHAUD (EF) | 0,18 | 2028,87 kg/an 6,56 kg/m ² SDO.an 5,60 kg/m ² SHON.an | Chauffage | 11271,49 C CHAUD (EF) | 0,04 450,86 g/an 1,46 g/m ² SDO.an 1,25 g/m ² SHON.an |
| ECS | 3470,60 C ECS (EF) | 0,18 | 624,71 kg/an 2,02 kg/m ² SDO.an 1,73 kg/m ² SHON.an | ECS | 3470,60 C ECS (EF) | 0,04 138,82 g/an 0,45 g/m ² SDO.an 0,38 g/m ² SHON.an |
| Eclairage + Auxiliaires | 5100,15 C E+A (EF) | 0,18 | 918,03 kg/an 2,97 kg/m ² SDO.an 2,54 kg/m ² SHON.an | Eclairage + Auxiliaires | 5100,15 C E+A (EF) | 0,06 306,01 g/an 0,99 g/m ² SDO.an 0,85 g/m ² SHON.an |
| Autres Usages | 6182,00 C AUTRES (EF) | 0,05 | 309,10 kg/an 1,00 kg/m ² SDO.an 0,85 kg/m ² SHON.an | Autres Usages | 6182,00 C AUTRES (EF) | 0,06 370,92 g/an 1,20 g/m ² SDO.an 1,02 g/m ² SHON.an |
| TOTAL | | | 3880,70 kg/an 12,55 kg/m ² SDO.an 10,72 kg/m ² SHON.an | TOTAL | | 1266,61 g/an 4,10 g/m ² SDO.an 3,50 g/m ² SHON.an |

| Emission de CO2 et production de déchets nucléaires | | | |
|---|----------------------------------|------|-----------|
| Emission de CO2 | | | |
| Thermique | Charbon | 0.38 | KgCO2/kWh |
| | Fioul lourd | 0.32 | KgCO2/kWh |
| | Fioul domestique | 0.3 | KgCO2/kWh |
| | Gaz naturel | 0.23 | KgCO2/kWh |
| | Réseau de chaleur (50% sur UIOM) | 0.15 | KgCO2/kWh |
| Electricité | Bois | 0.02 | KgCO2/kWh |
| | Chauffage et auxiliaire | 0.18 | KgCO2/kWh |
| | Eclairage | 0.08 | KgCO2/kWh |
| | Usages été | 0.04 | KgCO2/kWh |
| | Autres usages sur l'année | 0.05 | KgCO2/kWh |
| Stocks de déchets nucléaires | | | |
| Electricité | Chauffage et auxiliaire | 0.04 | gDN/kWh |
| | Eclairage | 0.06 | gDN/kWh |
| | Usages été | 0.06 | gDN/kWh |
| | Autres usages sur l'année | 0.06 | gDN/kWh |

ANNEXE 2

maison écologique n°30 pour les chaudières - support et présentation dans Arbres et Forêts (septembre 2006)

| Appareils | Combustible | Rendement | Puissance kW | Emissions polluant | Autonomie | Poids kg | Prix € |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|---------------|--------------------|----------------|-----------|---------------|
| Cheminées Foyer ouvert | Bûches, briquettes | < 10 à 30 % (1) | | Très | Faible 2 à 3h | | |
| Insert, foyer fermé, | Bûches, briquettes | 60 à 80 % (1) | 5 à 20 | Peu | Jusq. 10h | | 750 à 2300 |
| Poêle Traditionnel | Bûches, briquettes | 40 à 50 % | 5 à 20 | Moyen | 3 à 6 h | 30 à 150 | 450 à 4500 |
| Turbo | Bûches, briquettes | 60 à 70 % | 4 à 16 | Peu | 5 à 12 h | 40 à 150 | 600 à 1500 |
| Poste-combustion | Bûches, briquettes | 60 à 80 % | 5 à 20 | Peu | 5 à 15 h | 120 à 200 | 1200 à 4500 |
| À inertie | Bûches, briquettes | 70 à 85 % | 15 à 35 | Moyen | 8 à 20 h | >600 | 3000 à 15000 |
| Chaudières à buches | Bûches, briquettes | 75 à 85 % (2) | 15 à 150 | Très peu | 6 à 20 h | | 2000 à 8000 |
| À bois déchiqueté | Plaquettes | 75 à 85 % | Jusq. 50 et + | Très peu | Plusieurs mois | | 12000 à 18500 |
| À granulés | granulés | Jusq. 93 % | 10 à 30 | Très peu | Plusieurs mois | | 8000 à 15000 |

(1) Modèles récents – (2) Modèles turbo – (3) Usage intensif

ANNEXE 3

| Appareils | Avantages | Inconvénients |
|-----------------------------------|---|---|
| Cheminées Foyer ouvert | Esthétique | Rendement et autonomie faibles, très polluant |
| Insert, foyer fermé, | Rendements et émissions polluantes en progrès, esthétique | Intransportable |
| Poêle Traditionnel | Peu coûteux | Rendement faible, polluant |
| Turbo | Peu coûteux, bon rendement, chauffe rapide, peu polluant | Faible inertie |
| Poste-combustion | Bon rendement, peu polluant, esthétique, bonne autonomie | Prix élevé, parfois lourd et encombrant |
| À inertie | Très bon rendement, très peu polluant, grande autonomie, longue durée de vie, chauffage par rayonnement | Prix élevé, poids et volume importants, intransportable |
| Chaudières à bûches | Chaudière la moins chère | Faible autonomie, stockage des bûches |
| À bois déchiqueté | Très bon rendement, très peu polluant, automatisation | Prix élevé, stockage des plaquettes (au moins 20 m ³), difficulté d'approvisionnement en plaquettes |
| À granulés | Excellent rendement, très peu polluant, automatisation | Prix élevé de l'installation et du combustible, stockage des granulés |

Données d'ensoleillement

| Pays | Lieu | Lat | Long | | Jan | Fév | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept | Oct | Nov | Déc |
|--------|------|--------|-------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| France | Nice | 43.7 N | 7.2 E | Gh G 60° Sud | 1723 3540 | 2459 3810 | 3913 4790 | 5356 5250 | 6095 4980 | 6789 5110 | 7130 5680 | 5916 5490 | 4593 5260 | 3270 4910 | 1989 3760 | 1645 3760 |

Gh : horizontal (en Wh/m².jour)

G 60° Sud : Global à l'orientation Sud et inclinaison 60° (en Wh/m².jour)

Valeurs moyennes du rayonnement global (intégré sur 24h au mois)
pour une orientation Sud et une inclinaison de 60° par rapport à
l'horizontale (en kWh/m².jour)

Remerciements

Aux intervenants de cette formation,
A l'architecte Christian OTTIN-PECCHIO
A l'architecte Gilbert MÜLLER
Au Directeur du Conservatoire du Littoral du Var,
Monsieur BARETY