

Abdellah MAAOUNI

26/01/2009

Stéphane MAUREY

Mathieu MOSSOTTI

Sarah TEDERRY

PROJET : ETUDE D'UNE MAISON PASSIVE



Dans le cadre de notre projet de fin d'étude nous avons choisi d'étudier la réalisation d'une maison rentrant dans le contexte HQE.

Pour cela nous nous appuierons sur un projet réel: une maison ossature bois réalisée par un autoconstructeur dans la région Toulousaine.

Notre étude sera publiée sur le site: <http://www.autoconstruction.info/>

Après une présentation sommaire de notre projet, nous nous chargerons dans un premier temps d'établir nos choix pour les postes à économie d'énergie afin de diminuer au maximum les pertes énergétique. Puis, nous réaliserons le dimensionnement de la structure en respectant une isolation conforme à l'habitat bioclimatique. Dans une troisième partie, nous procéderons à une simulation thermique des échanges de chaleur afin de montrer la conformité de notre maison au label passivhaus. Enfin, nous tenterons de prouver la rentabilité d'une maison HQE à long terme en établissant un comparatif entre une maison respectant la RT2005 et la maison HQE.

SOMMAIRE

I Présentation du projet (*rédigé par sarah*)

- 1 De la démarche HQE à la maison passive
- 2 Le choix de l'ossature bois
- 3 Architecture de la maison étudiée
- 4 Les hypothèses de travail

II Les postes à économies d'énergie (*rédigé par mathieu*)

- 1 L'orientation de la maison
- 2 le vitrage
- 3 Le chauffage
- 4 L'eau chaude et sanitaire
- 5 L'électricité

III Dimensionnement de l'habitat (*rédigé par sarah et abdellah*)

- 1 Etude des toitures
- 2 L'ossature bois
- 3 Le dallage
- 4 Les Fondations

IV Etude Thermique (*rédigé par Stephane*)

- 1 Principe de vérification de la consommation de la maison
- 2 Etude thermique de la maison

Conclusion

ANNEXES

- ANNEXE 1: Plans de la maison
- ANNEXE 2: Explication de l'eurocode 5
- ANNEXE 3: Postes à économies d'énergie
- ANNEXE4: Plan de ferrailage de poteaux bétons
- ANNEXE5: Rapport thermique

I Présentation du projet

1 De la démarche HQE à la maison passive

En signant les accords de Kyoto, la France s'est engagée à diviser par 4 ses émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050. Le bâtiment produit en France 23% du CO₂ émis. Il est par conséquent le premier émetteur de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

En France le label Haute Qualité Environnementale (HQE) a été développé, il a pour but de faire construire ou rénover en utilisant des matériaux et des technologies modernes respectueux de l'environnement, de la conception du produit à sa démolition.

L'Allemagne, ayant des critères plus drastiques que la France en matière de gaz à effet de serre, a initié plus rapidement que nous des constructions basses consommations.

C'est ainsi qu'est née la démarche Passivhaus, qui a conduit à la réalisation de plus de 7000 bâtiments en Allemagne et Autriche.

Le programme CEPHEUS (Cost Efficient Passive Haus as EUropean Standards) a contribué à développer le concept bâtiment passif, il avait pour but de promouvoir ce type de construction. Par l'intermédiaire de ce programme, l'Europe a financé des réalisations dans 5 pays dont la France. Chaque pays participant a ainsi pu démontrer la faisabilité technique et la rentabilité du projet permettant la reproductibilité de ce type de construction.

La maison passive au sens de Passivhaus est une maison qui optimise les apports énergétiques solaires pour avoir des espaces intérieurs tempérés. Une maison passive réduit d'environ 80% les dépenses d'énergies de chauffage par rapport à une maison neuve construite selon les normes en vigueur.

La maison passive doit répondre à des critères très stricts:

- Besoin de chaleur : max 15 kWh/(m².an)
- Test de la porte n50 (Blower door) : max 0,6 h-1
- Valeur d'énergie primaire (électro- ménager inclus) : max 120 kWh/(m².an)

La maison passive fait la chasse à toute déperdition thermique tout en mettant à profit l'énergie du soleil. Cela sous entend une isolation poussée, l'utilisation de fenêtres isolantes et d'une ventilation avec récupération de chaleur. Il faut réduire les pertes thermiques au minimum avant de valoriser les apports de chaleur.

Au cours de ce projet on se chargera de montrer que notre maison est bien validée par le label PassivHaus. Pour cela on utilisera notamment le logiciel PHPP. Celui ci permet non seulement de concevoir une habitation à très faible consommation énergétique, mais il est aussi l'outil de validation de la construction permettant l'attribution d'une certification (Passivhaus Institut). Il est donc un outil d'accompagnement à la conception passive.

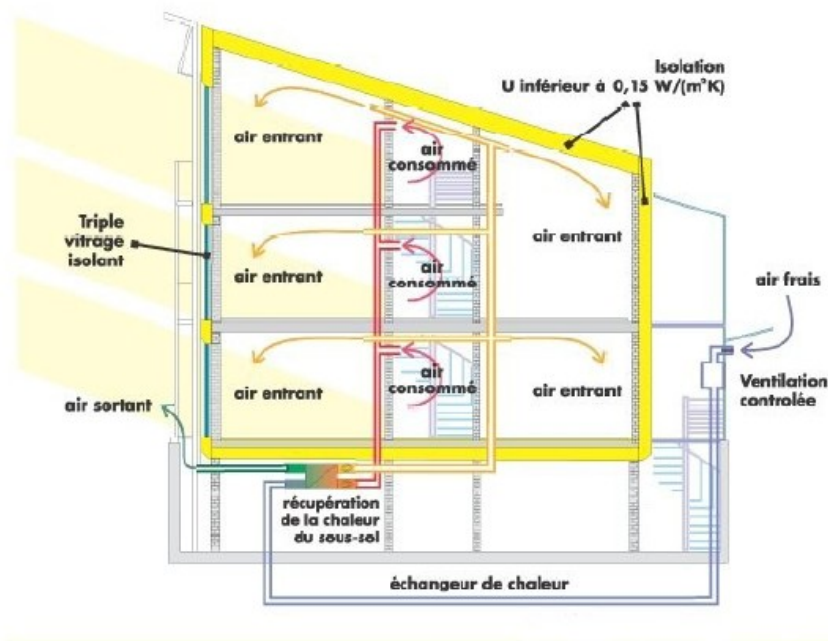


Figure 1 : schéma de principe d'un bâtiment Passivhaus

2 Le choix de l'ossature bois

L'utilisation du bois dans la construction remonte à des temps ancestraux. Dès le Paléolithique supérieur, il y a près de 20 000 ans, les hommes construisaient des habitations en bois lié. L'ossature bois est donc un procédé de construction très ancien, qui est en train de revenir au goût du jour car on re-découvre toutes ses qualités.



Le bois est aujourd'hui le seul matériau de construction issu d'une ressource naturelle renouvelable : la forêt. Il stocke le carbone et neutralise des quantités importantes de CO₂.

Mis en œuvre dans la construction, il est le seul matériau à pouvoir peser de façon significative et durable sur les risques écologiques majeurs qui menacent l'équilibre de notre planète : l'accroissement de l'effet de serre. Une augmentation de 1% de la part de marché du bois dans la construction générerait l'économie de 350 000 tep par an (source ADEME).

Les constructions bois permettent :

- un rapport poids propre/performances mécaniques excellentes.
- une rapidité d'exécution
- une construction sèche
- possibilités de modifications ultérieures
- un respect de la nature.

Ces qualités alliant confort et longévité, font que les bâtiments en bois défient tous les climats .

Ainsi en Suède, en Norvège, au Canada et aux U.S.A. plus de 94 % des maisons individuelles, construites chaque année, sont à structure bois. Avec plus de 50 % en R.F.A., 52 % en Grande Bretagne et 76 % au Japon, la maison à structure bois est devenue une référence mondiale en matière de qualité.

Les avantages résident donc dans le fait que le bois est un matériau sain générant ni radon, ni électricité statique. Le bois se protège de façon naturelle puisqu'il contient des polyphénols d'origine végétale qui ont un effet désinfectant. C'est aussi un excellent régulateur thermique et hygrométrique, régulant l'humidité ambiante. Grâce à la très forte isolation thermique que permet d'atteindre ce type de construction, l'absence de pont thermique et l'absence de rayonnement froid des parois procurent une sensation de confort inégalée

De plus, la structure bois résiste très bien à la traction et à la compression dans le sens de l'axe de l'arbre. Elle possède des propriétés isolantes importantes, ce qui permet de faire des murs porteurs moins épais. Les maisons sont donc plus légères qu'en construction traditionnelle, avec des fondations moins importantes.

Le bois permet de faire des économies d'énergie sur tous les plans. Des économies au niveau de la réalisation des maisons, mais aussi au niveau du chauffage.

a) Au niveau de la réalisation :

On admet qu'une maison à structure bois réclame le 1/100 ° de l'énergie qu'il faut pour réaliser une maison en béton

b) Au niveau du chauffage :

Le bois est le meilleur isolant de tous les matériaux de structure utilisés en construction. Il est 10 fois plus isolant que la pierre.

Donc incontestablement une Maison à Structure Bois permet des économies d'énergie très importantes.

Ce projet nous a ainsi permis de découvrir l'Eurocode 5 afin de concevoir une structure en matériau d'avenir.

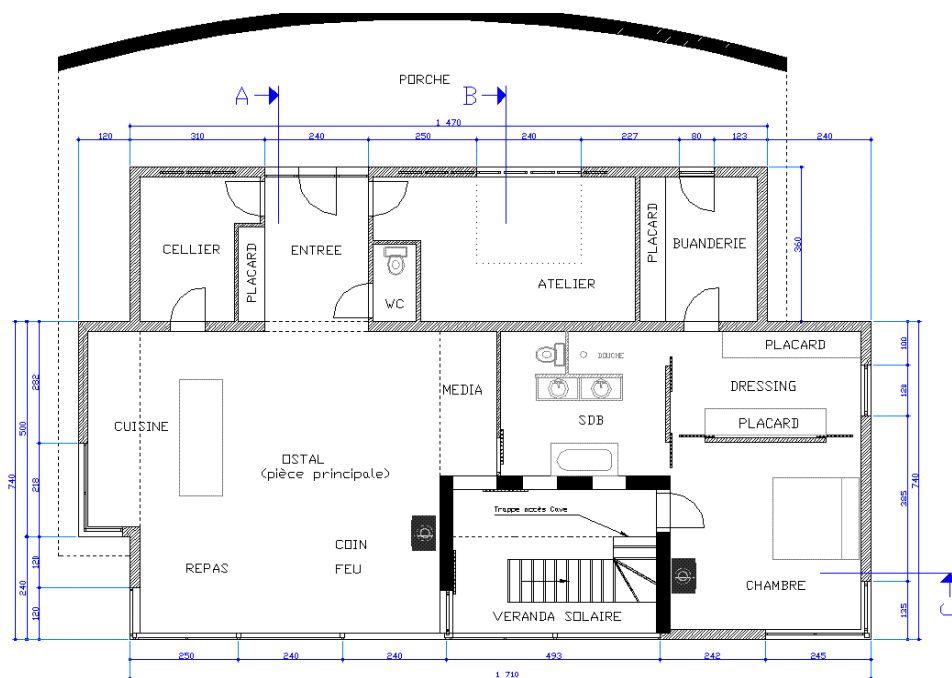
3 Architecture de la maison étudiée



Cette maison est constituée de trois volumes:

- Un volume R+1 avec charpente bois: **V1**
- Un volume Rdc avec charpente bois: **V2**
- Un volume Rdc avec toiture Terrasse: **V3**

➤ Plan du RDC

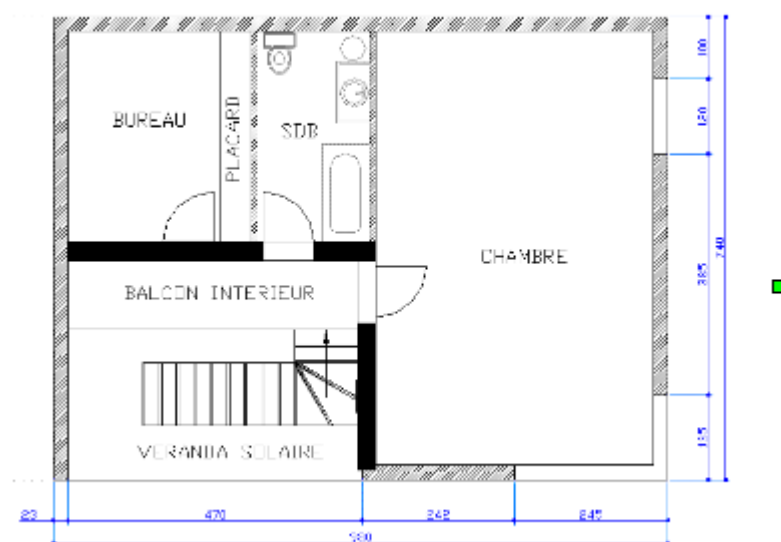


On accède à l'entrée par le Nord à partir de l'abri-voiture.

Le rez- de-chaussé est composé :

- d'un cellier desservant la cuisine.
- La cuisine est située dans l'espace du séjour.
- Le séjour permet de diviser l'espace en parties distinctes : coin Feu, Repas, Média
- Le coin Repas est situé près des grandes baies vitrées permettant de profiter de la lumière naturelle et près de la cuisine.
- Le coin Média est situé dans le volume le plus sombre.
- Le coin Feu s'adosse à la lourde maçonnerie de la véranda solaire permettant d'y accumuler les calories du poêle à bois.
- Par le séjour, on accède à la véranda solaire par deux larges ouvertures. C'est le pivot central de la maison. Elle dessert le Séjour-Cuisine, l'étage et la suite des parents. De grandes baies vitrées permettent d'accéder à la terrasse. Le sous-sol de la véranda solaire correspond à la cave.
- La suite est constituée d'une grande chambre, d'un dressing et d'une salle de bains. Toutes ces pièces communiquent entre-elles par de larges ouvertures à panneaux coulissants.

➤ Plan du premier étage

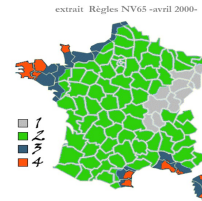


Le premier étage comporte trois pièces dont un bureau, une salle de bain et une mezzanine. La mezzanine peut être fermée par un rideau et sert ainsi de chambre d'appoint.

Les plans des étages et de façades sont donnés en annexe 1

4 Les hypothèses de travail

La maison se trouve dans la région Toulousaine, sur un site d'exposition Normal.



- La carte des zones de vent place ainsi Toulouse dans la zone 2

Effet de vent :

$$P = p_r * S = q * (C_e - C_i) * S$$

Avec:

$$q = q_{10} * k_s * k_m * j * k_h$$

k_s : effet du site, on est sur un site normal donc $k_s = 1$

k_m : effet de masque, il n'y a pas de construction à côté de notre maison donc $k_m = 1$

k_h : effet de la hauteur, suivant tableau $k_h = 1$

δ : effet de dimensions, dépend de la plus grande des dimensions $\delta = 0,875$

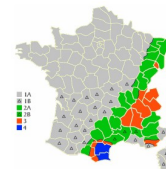
C_e, C_i : données sur un tableau, elles dépendent des surfaces au vent et sous le vent, des dimensions de la structure et de sa forme.

Dans notre cas on a une construction fermée : $C_e - C_i = -0,3 + 0,6 = 0,3$

On trouve :

$$P = 15\,750 \text{ N}$$

- Les règles N84 donnent la carte des régions de neige et place Toulouse en zone 1B



Le bois utilisé est du bois résineux C24. Ces caractéristiques mécaniques sont les suivantes:

		C18	C22	C24	C27	C30
Propriétés de résistance en N/mm²						
Flexion	$f_{m,k}$	18	22	24	27	30
Traction axiale	$f_{t,0^\circ,k}$	11	13	14	16	18
Traction transversale	$f_{t,90^\circ,k}$	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
Compression axiale	$f_{c,0^\circ,k}$	18	20	21	22	23
Compression transversale	$f_{c,90^\circ,k}$	4,8	5,1	5,3	5,6	5,7
Cisaillement	$f_{v,k}$	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0
Propriétés de rigidité en kN/mm²						
Module moyen d'élasticité axial	$E_{0^\circ, moyen}$	9	10	11	12	12
Module d'élasticité axial au fractile de 5%	$E_{0,05}$	6,0	6,7	7,4	8,0	8,0
Module moyen d'élasticité transversal	$E_{90^\circ, moyen}$	0,30	0,33	0,37	0,40	0,40
Module moyen de cisaillement	G_{moyen}	0,56	0,63	0,69	0,75	0,75
Masse volumique en kg/m³						
Masse volumique au fractile de 5%	ρ_k	320	340	350	370	380
Masse volumique moyenne	ρ_{moyen}	380	410	420	450	460

Tous les calculs fait sur cette maison sont à l EUROCODE 5 (structure en bois) et l EUROCODE 2 pour les poteaux bétons ,
Un extrait de l EUROCODE 5 sera en annexe , il détaillera toutes les règles de calculs et les vérifications apportés à notre structure ,

II Les postes à économie d'énergie

1 L'orientation de la maison

Le but d'une maison passive est de minimiser les déperditions thermiques et d'utiliser de façon optimale l'énergie apportée par le soleil.

L'orientation de la maison en fonction de la course du soleil permet d'optimiser l'utilisation passive du soleil l'hiver et de la limiter l'été.

Pour valoriser le potentiel fourni par le soleil en hiver, au printemps et en automne, il est nécessaire de capter sa chaleur, la stocker et la restituer. L'énergie solaire est captée par les parties vitrées de la maison. Celles-ci sont comparables à des capteurs solaires qui amènent cette énergie dans les pièces intérieures. Ces vitrages isolants sont dimensionnés selon l'orientation du bâtiment : quarante à soixante pour cent de surface vitrée sur la façade sud, dix à quinze au nord, et moins de vingt pour cent sur les façades est et ouest. Ces fenêtres sont à dégager de toute ombre et pertinemment orientées.

Grâce à leur vitrage particulier et leur isolation, ces fenêtres compensent environ quarante pour cent des déperditions de chaleur de la maison.

L'énergie transportée par les rayons solaires, qui pénètrent via les fenêtres, est stockée à l'intérieur par des matériaux accumulateurs à forte inertie, comme un mur par exemple. La chaleur accumulée dans le bâtiment doit être restituée dans la pièce par convection et rayonnement, avec un étalement dans le temps. Réduire la surface de l'enveloppe et renforcer son isolation thermique et son étanchéité à l'air permet de limiter les échanges avec l'extérieur

Afin d'éviter l'inconfort occasionné par les surchauffes en été, l'ensoleillement direct des façades est à maîtriser grâce à des protections solaires constructives (auvent , pare-soleil, persienne,.) et à des vitrages avec un facteur solaire suffisant pour limiter les apports énergétiques. Ces mesures constructives peuvent être complétées par des stores et une protection végétale.

La maison joue avec les orientations et inclinaisons du soleil et en tire profit en chaque saison.

L'orientation des façades a de l'importance. De ce fait, il est préférable que la façade principale soit orientée vers le sud à plus ou moins vingt-cinq degrés, afin d'optimiser en hiver les apports énergétiques issus des rayons du soleil.

Les pièces à vivre sont orientées de préférence vers le sud. Les pièces secondaires et les espaces de rangement sont plutôt situés coté nord. Ainsi les pièces principales bénéficient du soleil et de sa chaleur, les pièces plus en retrait servent d'espace tampon.

Réspéctant ce principe d'optimisation du soleil notre maison est concue selon deux axes:

- un axe Ouest-Est correspondant à un volume JOUR à l'Ouest et un Volume NUIT à l'Est
- un axe Nord-Sud correspondant à des pièces de services au Nord et des pièces d'agrément au Sud.

Le volume JOUR à l'Ouest contient les pièces communes, Salon, Cuisine, Entrée. Le volume NUIT contient la suite des parents, les chambres des enfants, les salles de bains. Les pièces

de service au Nord représentent un espace tampon non-chauffé permettant d'améliorer l'isolation thermique.

2 Caractéristiques des vitrages

A) Notre choix

Notre maison « solaire », comme son nom l'indique, nécessite l'apport énergétique du soleil et son contrôle pour maintenir une température idéale de l'intérieur au meilleur prix, donc se rapprochant de zéro.

La maison comme nous l'avons vu précédemment est orienté plein sud, plus précisément à 19,5°/sud ; l'idée était donc de vitrer un maximum de cette surface qui allait subir un éclairage annuel optimal étant donné que Toulouse est une des régions la mieux ensoleillée de France.

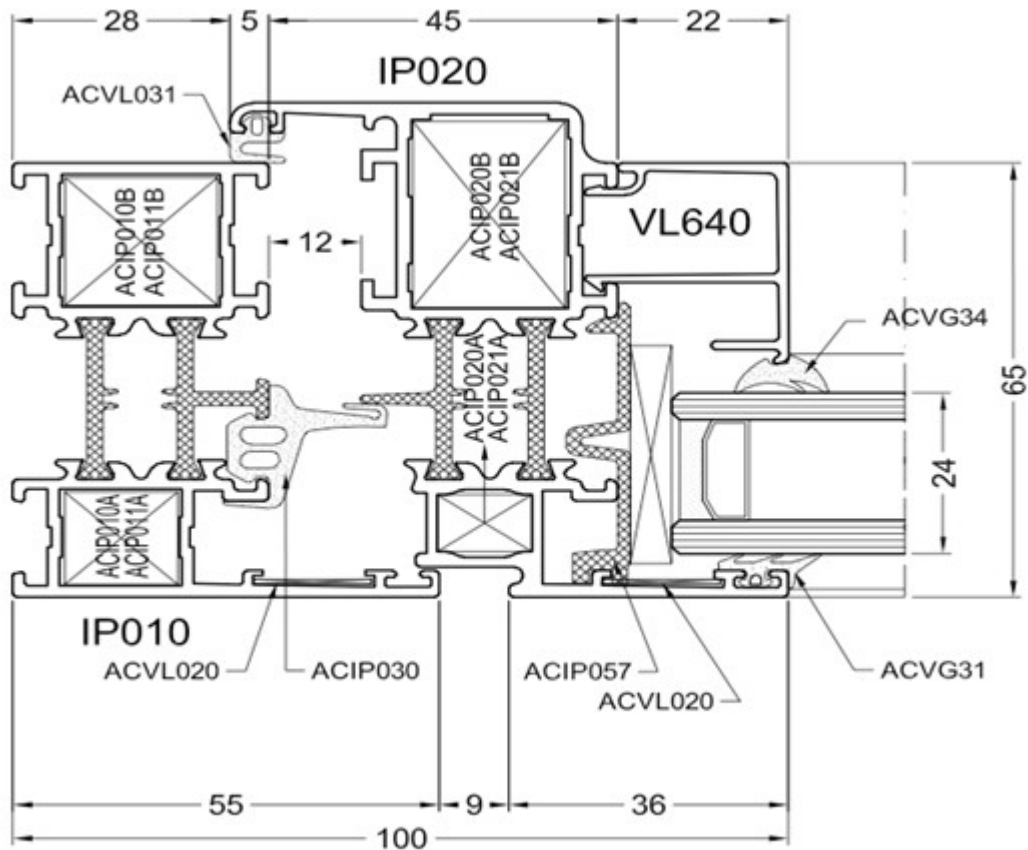
Nous connaissions les qualités du triple vitrage pour ce qui est de l'isolation et la transmission des rayons mais leur coût est aujourd'hui trop élevé pour une telle surface à vitrer, nous avons donc opté pour un double vitrage et des menuiseries thermiques de très bonnes qualités :

- Menuiserie : ALIPLAST Imperial

- Vitre : Saint Gobain Glass CLIMAPLUS SOLAR CONTROL

B) Caractéristique

- **Menuiserie :** ALIPLAST Imperial



1

- o Châssis pour portes et fenêtres aluminium à coupure thermique épaisseur 65mm.
- o Coupure de pont thermique par joints polyamides/fibre de verre.
- o Possibilité de raccord des profilés pour maintien de l'isolation (deux fenêtres angulaire salon et cuisine), grâce au profilés de raccordement à coupure thermique.
- o Coefficient de transmission thermique $k=2,6W/m^2K$, fournissant une isolation optimale (en effet un châssis classique non isolant a un $k=7$ à $8,5W/m^2K$).
- o Fiche technique jointe.

- **Vitre :** SGG CLIMAPLUS SOLAR CONTROL

- o Double vitrage solaire à forte isolation thermique et à faible émissivité.
- o Composition : 6/16/6 argon avec :
 - SGG ANTELIO ARGENT (verre extérieur) pour contrôle solaire.
 - SGG PLANITHERM FUTUR N (verre intérieur) pour isolation.
- o Caractéristiques thermiques à voir sur fiche technique produit :
 - Facteur solaire $g=0,48$
 - Coefficient $U_g=1,2\text{W/m}^2\text{K}$ (avec argon)

c) Devis/chiffrage

- surface : $S= 16,77+7,68+31,68+8,64=64,77\text{m}^2$
- Coût pose et fournitures : **21 311,00 € TTC**
- Devis détaillé en pièce jointe.

3 Le chauffage

A) notre choix

Le principe de notre maison solaire était bien entendu de se réchauffer grâce au soleil, néanmoins les variations d'ensoleillement sont incontrôlables au cours de l'année, malgré nos verres thermiques.

Il a donc fallu opter pour une ventilation et un chauffage qui n'aurait pas beaucoup de chaleur à fournir ou à enlever et qui s'inscrirait dans l'optique de rentabilité à long terme de cette maison, le choix était évident : **La pompe à chaleur (PAC)**.

Ne nécessitant pas d'un matériel très haute performance nous avons choisi une PAC air/air DAIKIN à console double flux.

Rez-de-chaussée : $160\text{m}^2 \times 2,40 = 384\text{m}^3$

Etage : $65\text{m}^2 \times 2,20 = 143\text{m}^3$

Nous avons prévu deux grosses unités intérieure au rez-de-chaussée et une petite unité intérieure à l'étage, et donc trois unités extérieures reliées :

-DAIKIN FVXS 50F (voir fiche caractéristique) au rez-de-chaussée x2

-DAIKIN FVXS 25F à l'étage.

B) Les caractéristiques

UNITE INTERIEURE :

Marque
Catégorie
Références
Puissance frigorifique kw
Puissance calorifique kw
Puissance absorbée froid kw
Puissance absorbée chaud kw
Débit d'air PV/GV Froid m3/h
Débit d'air PV/GV Chaud m3/h
Niveaux de pression sonore
PV/GV Froid dB(A)
Niveaux de pression sonore
PV/GV Chaud dB(A)
Taille HxLxP mm
Label énergétique
Froid/Chaud
EER/COP Froid/Chaud

Console Réversible inverter FVXS 25F	Console Réversible inverter FVXS 50F
1.3-2.5-3.0	1.4-5.0-5.6
1.3-3.4-4.5	1.4-5.8-8.1
0.3-0.7-0.9	0.5-1.5-2.0
0.3-0.9-1.4	0.5-1.6-2.6
246/492	396/642
264/528	426/708
23/38	32/44
23/38	32/45
600x700x210	600x700x210
A / A	A / A
4,39/4,30	2.82/3.21

UNITE EXTERIEURE

Marque
Catégorie
Références
Niveaux de pression sonore
BV/GV dB(A)
Taille HxLxP (mm)
Type de compresseur
Type de réfrigérant
Plage de fonctionnement
Froid (°CBS)
Plage de fonctionnement
Chaud (°CBH)
Préchargé d'usine jusqu'à... m
Long./déniv. max. de tuyauteries par circuit... m
Diamètre de tuyauteries (m)
Non inclus
Câble de liaison Int/Ext. (mm2)
Non inclus
Poids monosplit complet (kg)

Console Réversible inverter RXS 25F	Console Réversible inverter RXS 50G
43/47	44/48
550x765x285	735x825x300
SWING	SWING
R410A	R410A
-10 +46	-10 +46
-15 +20	-15 +18
10	10
20/15	30/20
1/4 - 3/8	1/4 - 1/2
4G1.5	4G1.5
46	63

C) Chiffrage

Le prix évalué ici est hors pose et ne tient pas non plus compte du matériel nécessaire à relier les unités.

DAIKIN FVXS 50F : unités intérieure+extérieure : 2736€ HT

DAIKIN FVXS 25F : unités intérieure+extérieure : 1974,40€ HT

Donc un devis du matériel à installer s'évaluera à : **7446,40€ HT**

4L'eau chaude sanitaire

- A) notre choix

Dans l'optique de notre maison solaire nous allons profiter de l'ensoleillement de la région pour chauffer l'eau et ainsi éviter l'utilisation de chaudière au fioul qui nous priverait sans doute du label passivhaus.



- Toulouse : Zone 3
- Occupation : pour 4 personnes à 50L d'eau à 45°C par personnes et par jours
- Dimensionnement ballon et capteurs :

Nombre d'occupants×	1 ou 2×	3 ou 4×	5 ou 6×	7 ou 8×
Volume du ballon solaire1¶ (en litres)×	100 à 150×	100 à 250×	250 à 350×	350 à 500×
Volume total du ballon2¶ (en litres)×	100 à 250×	250 à 400×	400 à 550×	550 à 650×
Zones climatiques×	Surface des capteurs (en m2)×			
Zone 1×	2 à 3×	3 à 5,5×	4 à 7×	5 à 7×
Zone 2×	2 à 3×	2,5 à 4,5×	3,5 à 6,5×	4,5 à 7×
Zone 3×	2 à 2,5×	2 à 4×	3 à 5,5×	3,5 à 7×
Zone 4×	2 à 2,5×	2 à 3,5×	2,5 à 4,5×	3,5 à 6×
1 : pour un chauffe-eau solaire sans appoint ; ¶				
2 : pour un chauffe-eau solaire avec appoint. ×				

Notre installation va nécessiter un ballon de stockage de 200L avec appoint électrique.

En terme de cellules une surface de 4m² de capteurs solaires installés sur la terrasse inaccessible est idéale pour chauffer l'eau sanitaire.

Nous avons pris la peine de ne pas surdimensionner le ballon pour éviter l'appoint systématique de l'appoint.

Nous ne devons pas oublier de mentionner obligatoirement ce choix dans notre permis de construire.

Nous avons idéalement placé le ballon dans la Buanderie juste en dessous de la terrasse inaccessible, où sont disposés les capteurs, et avons ainsi réduit au maximum la distance entre ballon et capteur afin de réduire les pertes de chaleur.

Pour ce qui est du rendement des capteurs, il est optimal à 18° par rapport à l'horizontale et orienté plein sud. Il nous a été très facile de l'orienter idéalement sur la toiture inaccessible, de surcroît le côté inesthétique des capteurs n'est plus visible là où ils sont désormais installés.

B) Caractéristiques

Le chauffe eau solaire individuel SOLARTEC :

Matériel

- o ballons émail de 200 et 300l
- o capteurs plan de surface unitaire $2\text{m}^2 \Rightarrow$ 2 capteurs (4m^2) pour 200l, 3 capteurs (6m^2) pour 300l
- o groupe de pompage régulation : circulateur 3 vitesses et régulation différentielle
- o accessoires de sécurité : vase d'expansion et soupape de sécurité
- o liquide caloporteur antigel

Raccordement

Un CESI nécessite un appoint pour pallier les insuffisances de rayonnement solaire. Il existe 2 types d'appoint possibles :

- o intégré : il s'agit d'une résistance électrique ou d'un 2^{ème} échangeur qui sera raccordé à une chaudière,
- o séparé : on utilise une production d'eau chaude externe à laquelle on se raccorde en série .

Installation

- o les capteurs sont posés en toiture (en région Midi-Pyrénées, secteur plaine, l'inclinaison habituelle est de 18°, soit 33%)
- o autres possibilités : capteur au sol ou en façade.
- o l'exposition des capteurs peut varier entre Est et Ouest sans perte de rendement annuel notable étant donné la faible inclinaison
- o le ballon est positionné à proximité de la production d'appoint
- o le circuit primaire aussi court que possible, est réalisé en tube cuivre isolé et rempli de liquide caloporteur antigel.

- Rentabilité

Pour un CESI correctement dimensionné, le Taux de Couverture Solaire en moyenne annuelle (autrement dit, le pourcentage d'énergie fournir par le CESI) est de l'ordre de 70% pour une inclinaison de 18° et une exposition Sud.

C) Chiffrage

Devis pose et fournitures pour chauffe eau solaire individuel 300L /4m² en tenant compte des crédits d'impôts :

Montant Fourniture HT ^a	3800 Eurosc
Montant Pose HT ^a	600 Eurosc
Montant total HT de l'installation CESI ^a	4400 Eurosc
Taux TVA ^a	5,5% ^a
Montant total TTC de l'installation CESI ^a	4642 Eurosc
^a	^a
Crédit impôt sur le matériel ^a	2004 Eurosc
Coût net CESI (aides déduites)^a	2638 Eurosc

5 L'électricité

A) notre choix

Notre maison solaire doit pouvoir produire son électricité grâce à une installation de **panneaux photovoltaïques**.

Nous disposons en toiture de **68m²** face sud avec une inclinaison classique de **30°**.

La consommation annuelle de cette maison est estimée à 3kWh/an mais en raison des pertes de rayonnement, et de la consommation imprévisible des appareils de chauffage, nous avons décidé d'être raccordé EDF et de limiter la production de courant à **3kWc**.

En effet 1kWcrête est obtenu pour une inclinaison et un ensoleillement maximal.

Toulouse est en Zone 3 d'ensoleillement comme on l'a vu précédemment avec 1220 à 1350 kWh/m² /an.

Nous avons du aussi vérifier que le PLU de la commune autorisait l'intégration en toiture des panneaux solaires.

Nous avons pris connaissance des conditions de financement et de rachat d'électricité par EDF :

- un crédit d'impôt sur la valeur d'achat d'une installation £3kWc.
- un rachat du surplus de courant à 0,57187€/kWh pour une installation intégrée au bâti.

Nous avons doc dimensionné une installation photovoltaïque intégrée à la toiture sur un logiciel de simulation à l'aide de l'orientation observée sur le plan de masse, de l'inclinaison du toit et de la localisation de la maison : logiciel **TECSOL**.

B) dimensionnement et caractéristiques

Notre panneau solaire doit être performant et nous avons choisi des capteurs multicristalins (bleus)

Photovoltaïque raccordé réseau

Nom du PROJET		maison passive	
Station Météo		Toulouse	
Latitude du lieu		43°37'	
Capteur type		multicristallin	
Orientation		19,5 ° /Sud	
Inclinaison		30 ° /horizontale	
Surface utile		26,08 m ²	
Puissance crête		3 kWc	
Mois	Energie solaire reçue plan horizontal Wh/m ² .j	Energie solaire reçue plan des capteurs Wh/m ² .j	Electricité produite par le système kWh/mois
Janvier	1422	2006	140
Février	2169	2795	176
Mars	3552	4244	296
Avril	4503	4750	321
Mai	5488	5433	379
Juin	6228	5984	404
Juillet	6478	6321	441
Août	5120	5282	368
Septembre	4138	4744	320
Octobre	2923	3859	269
Novembre	1599	2191	148
Décembre	1046	1384	97
Total énergie (kWh/an)			3358
Total CO2 évité (kg/an)			1209
Productivité (kWh/kWc.an)			1119
Estimation du montant de la vente annuelle au réseau (€ HT/an)			
modules posés ou superposés 1074 €		modules intégré au bâti 1914 €	

Cette simulation nous montre que l'on peut obtenir **1914€** de surplus par an pour une installation de **26,08m²**.

C) chiffrage

Coûts moyens en euros	3000Wc
Fournitures	21 600 €
<i>Crédit d'impôt de 50% à déduire</i>	10 800 €
Pose	3 400 €
Coût total TTC après déduction du crédit d'impôt	14200 €
Coût total TTC/Wc	4,73 €

Nous pouvons calculer un retour sur investissement de :

Wc	2000 Wc
Valeur de production	1914 €
Investissement après la déduction du crédit d'impôt	14 200 €
Temps de retour	7,5 ans

Le retour sur investissement est relativement intéressant, habituellement on constate 10 ans d'amortissement, en effet le site est propice pour l'installation d'un système photovoltaïque.

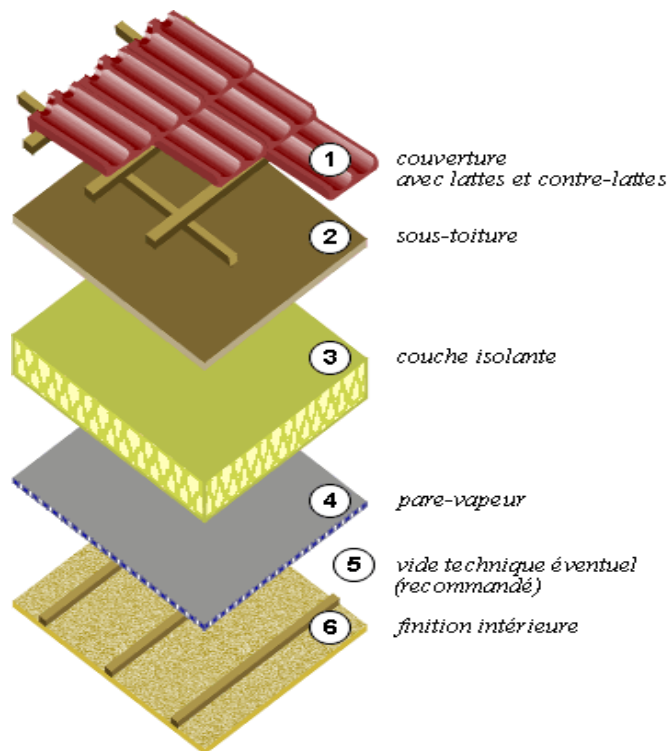
III Dimensionnement de l'habitat

1 Étude des toitures

A) Choix de l'isolation pour les charpentes 1 et 2

La chaleur monte : 30% des déperditions thermiques d'une habitation se font par la toiture. L'isolation de la toiture doit donc être importante.

Dans cette partie le poids du panneau solaire sera négligé car très peu différent de celui des tuiles. On considérera donc pour le dimensionnement que la charpente est recouverte uniformément de tuile.



➤ Couverture avec lattes et contre lattes

Le choix de la couverture s'effectue en fonction notamment de la pente de la toiture. Pour des pentes de 25 à 38%, il est conseillé d'utiliser des tuiles tige de botte, remplaçables par des tuiles canal, romanes ou romane-canal.

Les tuiles en terre cuite adoptent une démarche vertueuse poussée par la mise en place des normes HQE. Une tuile en terre cuite est très peu polluante. Fabriquée à partir d'argile et de sable, il s'agit d'un matériau 100% minéral, garanti 30 ans contre le gel et la dégradation de son aspect. Il existe trois types de tuiles en terre cuite : les tuiles canal, les tuiles romanes et les tuiles plates. En raison du coût de sa pose, la tuile canal ne représente plus que 14% du marché des tuiles en France. La tuile romane est aujourd'hui la tuile la plus utilisée avec 40% du marché, elle a conquis presque toutes les régions de France.

On va donc utiliser la tuile Romane avec des Liteaux de 3 m en sapin de France traité, de section: 15x40.

➤ Choix du panneau de sous toiture isolant

En construction neuve la sous toiture est obligatoire en cas de couverture tuile, et fortement conseillée en cas de couverture ardoise. Son rôle est d'évacuer vers l'extérieur l'eau ou la vapeur d'eau qui se serait indûment infiltrée, en raison des conditions climatiques telles que des pluies torrentielles ou des chutes de neige en présence de fort vent.. Son rôle est aussi d'évacuer l'eau qui se serait condensée sur la face intérieure de la couverture et donc de protéger l'isolation et contre les ponts thermiques.

La fibre de bois est un isolant naturel qui a une très forte capacité à absorber et à restituer l'humidité. Il s'agit d'un isolant hygrophile qui permet aussi à la maison de respirer tout en facilitant les échanges gazeux et en régulant l'humidité. Les phénomènes de condensation peuvent être ainsi évités.

Le confort durant l'été est également incomparable avec les isolants standards de type laine de verre ou laine de roche.

Pour exemple voici les indices de rétention aux températures estivales, plus le nombre est faible, meilleure est la rétention.

- Laine de mouton/coton : 74
- Laine de verre / Laine de roche : 63
- Chanvre / Polystyrène : 42
- Lin : 37
- Polyuréthane : 28
- Ouate de cellulose / fibres de bois (densité moyenne): 15
- Cellulose en panneaux : 10
- Fibres de bois haute densité : 5

Première analyse: Le temps de transfert de la chaleur (ou déphasage) est donc plus important avec la fibre et bois haute densité qu'avec les autres matériaux. Ces panneaux réduisent fortement les surchauffes estivales.

On choisit donc un panneau sous toiture en fibre de bois haute densité (épaisseur 22mm) pour isolation thermique et phonique. Perméable à la vapeur d'eau et imperméable à l'humidité : **Isoroof Natur KN**

Caractéristiques du produit Isoroof Natur KN :

Poids: 5,5 kg/m².

Dimensions : plaque(L x l) :250 x 77 cm.

Epaisseur : 22mm.

Masse volumique : 240 kg/m³.

Coefficient de transmission thermique (U) : 0,21 W/m².K.

Coefficient de conductivité thermique (λ) : 0,049 W/m.K.

Affaiblissement acoustique aux bruits aériens(R_w) : 48dB.

..

➤ Isolant à base de cellulose

. L'isolation est représentée par la résistance thermique des matériaux (R). La résistance R se calcule par le rapport entre l'épaisseur du matériau (e) et de sa conductivité thermique (λ). Pour une couche donnée nous avons donc $R=e/\lambda$. Si le mur ou la cloison à plusieurs couches de différents complexes alors la résistance thermique totale est égale à la somme des résistances thermiques de chacune de ses couches

Comparatif du λ des principaux isolants :

Isolant	λ
Ouate de Cellulose	0.045
Laine de Roche vrac	0.037
Perlite expansée	0.05
Laine de Chanvre vrac	0.039
Polystyrène expansé	0.037
Laine Minérale rouleau	0.04
Laine Minérale semi-lourde	0.035
Laine de Chanvre rouleau	0.039
Polystyrène extrudé	0.029
Laine de Bois	0.041
Laine de Roche sol	0.037
Polyuréthane	0.027

Deuxième analyse: aujourd'hui tous les matériaux isolants ont un bon λ . La différence se fera principalement sur l'épaisseur choisie. Les isolants minces sont ainsi à bannir sauf en cas de complément d'isolation.

On choisit des panneaux semi rigides de cellulose entre les chevrons.

Les matériaux isolants à base de cellulose sont généralement fabriqués à base de papier journaux recyclés. Le papier est moulu, puis mélangé à du sel afin de le rendre ignifuge et résistant aux insectes.

En été, les panneaux de cellulose ont une capacité thermique 7 fois supérieure aux laines minérales.

Caractéristiques du produit PANNEAU CELLULOSE SEMI-RIGIDE FLEXCL :

Dimensions : plaque(L x l) :1200 x 625mm.

Epaisseur :180mm.

Masse volumique :70 kg/m³.

Coefficient de conductivité thermique (λ) :0,038 W/m.K.

➤ Utilisation du pare vapeur

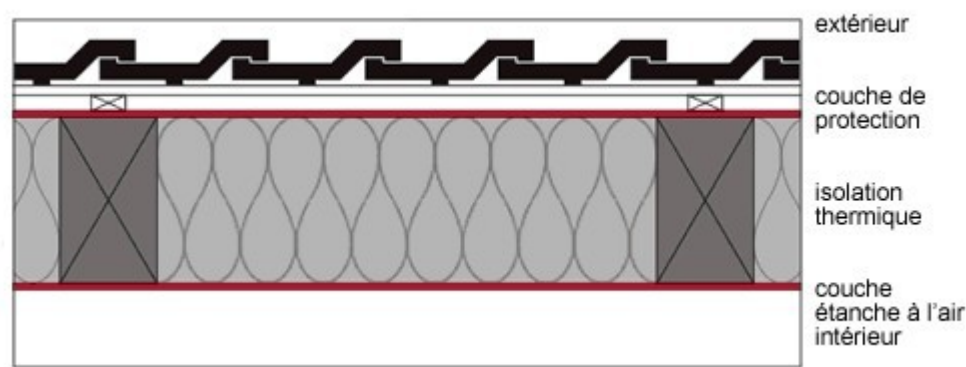
Toutes les matières sont plus ou moins perméables à la vapeur.Sous l'influence de la différence de pression de vapeur d'eau des deux côtés d'une paroi, la vapeur a tendance à

vouloir migrer par diffusion à travers celle-ci. Pour éviter les phénomènes de condensation interne, il est parfois nécessaire de placer du côté chaud de l'isolant d'une paroi, une couche de matériau relativement étanche à la vapeur d'eau.

Cette couche de matériau est appelée "écran pare-vapeur".

Le pare-vapeur remplit les fonctions suivantes :

- Éviter une condensation excessive.
- Empêcher, dans l'isolant thermique, l'absorption d'eau par capillarité en provenance des éléments de construction contigus.
- Assurer l'étanchéité provisoire à l'eau de pluie lors de la construction.
- Assurer l'étanchéité à l'air.



Le choix du pare-vapeur se fait en fonction :

- du type de plancher
- du type de sous-toiture,
- du matériau de couverture,
- du climat intérieur des locaux.

Sous-toiture :	Classe de climat intérieur	Tuiles en terre cuite, ardoises synthétiques, tôles ondulées.			Ardoises naturelles, tuiles en béton ou en métal			Bardeaux bitumés sur voliges		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
Aucune	I	-	-	-	-	-	-			
	II, III	-	-	E1	-	E1	E1			
Capillaire	I	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	II, III	-	-	E1	-	-	E1	-	E2	E2
Non capillaire en bandes	I	-	-	-	-	-	-			
	II, III	-	E1	E1	-	E1	E1			
Non capillaire continue	I	-	-	-	-	-	-			
	II, III	-	E2	E2	-	E2	E2			
	IV	A examiner au cas par cas.								

Dans notre cas on a une sous toiture capillaire, avec une couverture naturelle on a donc besoin d'un pare vapeur de type E1, ayant un résistance à la diffusion tel $2\text{ m} < \mu d < 5\text{ m}$. On choisit comme écran pare vapeur un **film de polyéthylène de 0,2 mm d'épaisseur**.

➤ Finition intérieure

□ *gaine technique : vide non ventilé de 2 cm --> $R_a = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$;*

Finition des plafonds en plaques de Fermacell 10 mm d'épaisseur.

On a donc:

$$R=1/U = [1/h_i + d_i/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + \dots + d_i/\lambda_i + R_u + 1/h_e]$$

- λ_i est le coefficient de conductivité thermique de l'isolant,
- U est le coefficient de transmission thermique de la toiture à atteindre
- h_e et h_i les coefficients d'échange thermique entre le toit et les ambiances extérieure et intérieure valant respectivement $23 \text{ W/m}^2\text{K}$ et $8 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- d_x/λ_x la résistance thermique des autres couches de matériaux,
- R_a est la résistance thermique des couches d'air.

On obtient:

Résistance thermique totale R_T	5,486 $\text{m}^2\text{K/W}$
Coefficient de transmission thermique U	0,182 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

Conclusion :

Nous respectons bien la RT 2005 qui exige une résistance thermique minimale de $R = 3,68 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.

Cependant le label passivhaus exige une résistance thermique de $6,7 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ afin d'avoir $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Nous allons donc augmenter l'épaisseur de l'isolant. ($e(m) = \lambda * R$).

Nous poserons donc un écran sous toiture en fibre de bois haute densité (épaisseur 2,5cm) et des panneaux de laine de bois entre les chevrons (épaisseur 22,5 cm).

Nous arrivons donc à une isolation totale d'environ 25cm. En rajoutant une lame d'air entre les chevrons et un parement en fermacell le résultat est en conformité avec les exigences de la maison passive.

En effet on obtient:

Résistance thermique totale R_T	6,897 $\text{m}^2\text{K/W}$
Coefficient de transmission thermique U	0,145 $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$

➤ Cout de l'isolation pour les deux charpentes

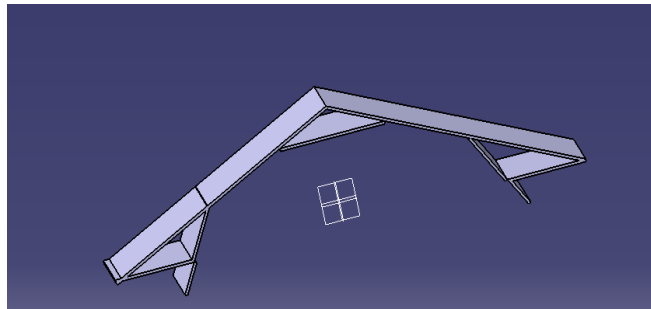
Catégories	matériel choisi	prix	Quantité	Unité	Euro total
Couverture	Tuiles romanes	34	121m ²		4114
litageaux	Liteau 3 m en sapin de France traité. 15x40	1,06	360ml		381,6
Panneau sous toiture	Isoroof Natur KN	8,05	146m ²		1175
Isolant à base de cellulose	PANNEAU CELLULOSE SEMI-RIGIDE FLEXCL	28,7	146m ²		4190
Pare vapeur	film de polyéthylène de 0,2 mm d'épaisseur	2,07	146m ²		302,2
Finition intérieure	plaques de Fermacell	7,77	146m ²		1134
					11298

B) Dimensionnement et vérification des charpentes 1 et 2

Les charpentes 1 et 2 sont des charpentes similaires seul leurs largeurs diffèrent.
Par la suite des calculs le poids du panneau solaire sera négligé.

Dans cette partie on s'attachera donc

- à détailler le dimensionnement et la vérification de la charpente 1,
- on dimensionnera ensuite la charpente 2,
- la vérification de cette de dernière étant identique à la première.



Hypothèses

Charpente traditionnelle en bois sapin massif C24

Ferme à deux pans égaux, inclinés par rapport à l'horizontale de 30° .

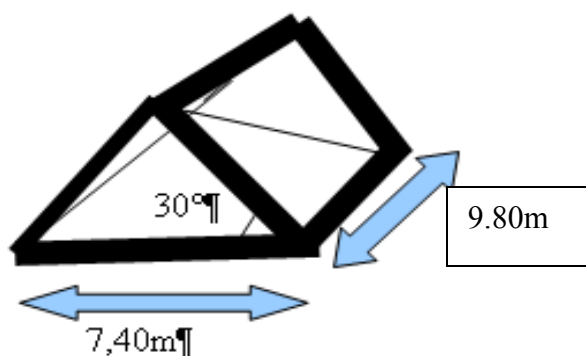
Réalisée avec entrain retroussé et jambes de force pour permettre l'aménagement des chambres à l'étage.

Les assemblages entre les éléments de cette ferme sont réalisés par boulonnage, par tenon mortaise ou embrèvement.

Les solives du plafond, en sapin brut, supportent un revêtement et une isolation décrite ci dessus.

Les propriétés mécaniques du bois C24 sont décrites dans la première partie (présentation du projet).

■ Charpente 1



➤ Détermination des chevrons

On choisit 15 chevrons de section 60*80 espacés de 0.60m

➤ Détermination des pannes

On choisit 4 pannes de dimension 105*225 espacées de 1m28

➤ Déterminations des charges

Poids propre des tuiles: 43.2kg/m²

Soit $43.2 * 1.48 = 639,36 \text{ N/m}$

Poids propre des chevrons (60*80):

$0.06 * 0.08 * 2.070 / 0.5 * 420 * 10 = 83.46 \text{ N/m}$

Poids propre des pannes (115*250)

$0.105 * 0.225 * 420 * 10 = 99,23 \text{ N/m}$

Totale des charges permanentes: **822,05N/m**

Charges de neige

La toiture est simplement composée de deux versants, la charge de neige sur la toiture est donc donnée par la formule:

$$S = \mu_i * C_e * S_k + S_1$$

- Avec μ_i le coefficient de forme appliqué à la charge de neige. Il dépend du type de toiture de la pente du versant et de la redistribution de la neige par le vent. Dans notre cas on a

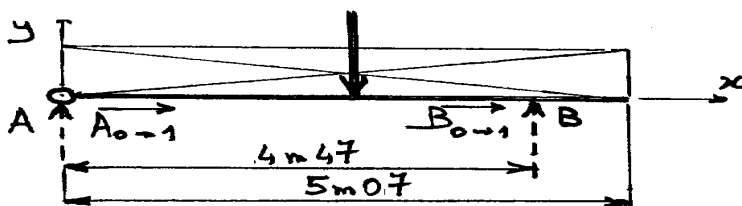
$\mu_i = 0.8$

- Ce le coefficient d'exposition qui vaut **1** pour un site normal
- S_k est la valeur caractéristique de la charge de neige sur le sol. Elle dépend de la région et de l'altitude du bâtiment. En zone A1 on a **$S_k = 1.45$**
- S_1 est une charge supplémentaire pour les faibles pentes. On ne le prend donc pas en compte dans notre cas.

Ainsi on obtient

$$S = 1.45 * 1 * 0.8 = 1.16 \text{ KN/m}$$

➤ Vérification de la panne aux contraintes normales et tangentielles



A l'ELU on a:

$$P = -(1,35 G + 1,5 S) \cdot l$$
$$P = -(1,35 \cdot 822,05 + 1,5 \cdot 1160) \cdot 5,07$$
$$P = -14448,3 \text{ N}$$

➤ Etude statique

$$Y_A - 14448,3 + Y_B = 0$$
$$4,47 \cdot Y_B - 14448,3 \cdot 5,07/2 = 0$$

Donc

$$Y_A = 6254,45 \text{ N}$$
$$Y_B = 8193,85 \text{ N}$$

Calcul de l'effort tranchant et du moment fléchissant maximum.

$$T_y = -Y_A + (1,35 G + 1,5 S) \cdot X$$
$$T_y = -6254,45 + 2849,76 X$$

En $X = 4,47$ on a $T_{y\max} = 6483,98 \text{ N}$

$$M_{fz} = Y_A X - X^2 \cdot (1,35 G + 1,5 S)/2$$
$$M_{fz} = 6254,45 X - X^2 \cdot 1428,88$$

En $X = 2,195$ on a $M_{fz\max} = 6844,14 \text{ N.m}$

Vérification de la panne aux contraintes normales de flexion

La contrainte maximale de flexion vaut: $\sigma_{\max} = |M_{fz\max}| / (I_{gz} / v)$

Avec $M_{fz\max} = 6844,140 \text{ N.m}$

$$I_{gz} = 105 \cdot 225^3 / 12 = 0,9992 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$v = 112,5 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\max} = 7,72 \text{ Mpa}$$

$$F_{m,d} = f_{m,k} \cdot k_{\text{mod}} / \gamma_m$$

Avec $f_{m,k} = 24 \text{ Mpa}$ Car bois résineux C24

$$k_{\text{mod}} = 0,8 \text{ car classe de service 1}$$

$$\gamma_m = 1,3 \text{ pour les assemblages}$$

$$F_{m,d} = 14,77 \text{ Mpa}$$

On doit avoir $\sigma_{\max} / F_{m,d}$ plu petit que 1

On a

$$7,72 / 14,77 = 0,52$$

Le taux de travail est de 52%. **La section 105*225 de la panne est bien vérifiée**

Vérification de la panne aux contraintes de cisaillement

$$\tau_{xz \max} = \frac{3}{2} \frac{T_y \max}{A}$$

$$\text{Avec } A = 105 \times 225 = 23625 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{xz \max} = 0,41 \text{ Mpa}$$

$$F_{v,d} = f_{v,k} \cdot k_{mod} / \gamma_m$$

$$\text{Avec } f_{v,k} = 2,5 \text{ Mpa Car bois résineux C24}$$

$$F_{v,d} = 1,54 \text{ Mpa}$$

On doit avoir $\tau_{xz \max} / F_{v,d}$ plu petit que 1

On a:

$$0,41 / 1,54 = 0,26$$

Le taux de travail est de 26%. **La section 105*225 de la panne est bien vérifiée**

Vérification de la panne aux déformations

• Calcul de la flèche maximum: $y_{\max}$

$$Y'' EI = M = 6254,45X - X^2 \cdot 1428,88$$

$$Y' EI = 6254,45X^{2/2} - X^3/3 \cdot 1428,88 + A$$

$$Y EI = 1042,41 X^3 - 119,07X^4 + AX + B$$

D'après les conditions aux limites on a $B=0$ car la flèche est nulle en $X=0$

Et en $X=2,195$ $T=0$ donc $A=-10030,05$

Donc

$$\text{Pour } X=2,195 \text{ On a } Y_{\max} = 12,5 \text{ mm}$$

• Flèche limite $W_{\text{lim}} = l/300 = 4470/300$

$$W_{\text{lim}} = 14,9 \text{ mm}$$

$$\text{Donc } 14,9 \text{ sup } 12,5$$

Le taux de travail est de 83%.

• $W_{\text{tot}} = W_{\text{neige}} + W_{\text{ins perm}} (1 + k_{\text{def}})$

$$A \text{ l'ELS } G+S = 822,05 + 1160 = 1982,05 \text{ N/m}$$

$k_{\text{def}}=0,6$ pour une zone de service 2

Donc

$$W_{\text{tot}} = 12,5 \cdot 1160 / 1982,05 + (12,5 - 12,5 \cdot 1160 / 1982,05) \cdot (1 + 0,6)$$

$$W_{\text{tot}} = 15,61 \text{ mm}$$

• $W_{\text{tot fin lim}} = l/250 = 4470/250$

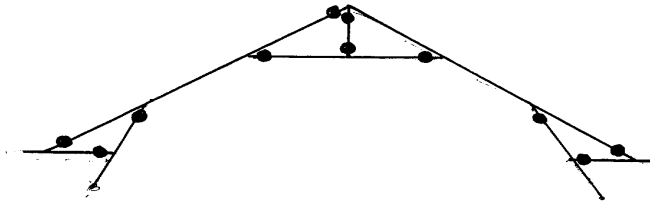
$$W_{\text{tot fin lim}} = 17,88 \text{ mm}$$

$$\text{Donc } 17,88 \text{ sup } 15,61$$

Le taux de travail est de 87%. **La section 105*225 de la panne est bien vérifiée.**

➤ Étude de la ferme porteuse

Calcul de la charge linéique de l'entrait:



degré d'hyperstatique:

$$m=0$$

$$\Sigma \text{nœud} = 11 * 2 = 22$$

$$P=8$$

$$h=22-3*(8-1) = 1$$

Structure hyperstatique de degré 1.

panneau sous toiture en fibre de bois haute densité: 5,5kg/m²
 $55*4,9 = 269,5 \text{ N/m}$

panneaux de cellulose: 12,6 kg/m²

$$126*4,9 = 617,4 \text{ N/m}$$

Poids propre solives (75*175) de longueur 4,9 espacées de 0,6m
 $0,075*0,175/0,6 * 420*10*4,9 = 450,19 \text{ N/m}$

Totale des charges linéiques: 1337,09N/m

➤ Vérification de l'arbalétrier:

Calcul des contraintes de compression axiale:

$$\sigma = N/A = 50537/(105*225) = 2,13 \text{ N/mm}^2$$

Calcul des contraintes max de flexion simple:

$$\sigma_{m,z,d} = M_{fz,max}/(I_{GZ}/v) = 11849500/(105*225^2/6) = 13,37 \text{ N/mm}^2$$

vérification de la flexion composée :

$$(\sigma_{c,0,d}/F_{C,0,d})^2 + (\sigma_{m,z,d}/F_{m,z,d})^2 < 1$$

$$F_{C,0,d} = 21 \cdot (0,8/1,3) = 12,92 \text{ mpa.}$$

$$F_{m,z,d} = 24 \cdot (0,8/1,3) = 14,77 \text{ mpa.}$$

$$\text{Donc : } 0,02847 + 0,9052 = 0,93 < 1 \quad \text{section vérifié: travail à } 93 \text{ }^\circ/$$

Notre charpente est bien vérifiée

➤ Vérification de l'assemblage

● Assemblage JAMBE de Force et Semelle:

Action de liaison au nœud 18 (repère global --□):

$$F \text{ (semelle} \rightarrow \text{jambe)} = -36026N_i + 54535N_j$$

vérification de l'assemblage bois sur bois:

a) vérification de la semelle en compression transversale

$$* \quad F_{c,90,d} = 54535 / 115 \cdot 240 = 1,97 \text{ MPa}$$

$$* \quad F_{c,90,d} = F_{c,90,k} \cdot k_{mod}/\beta_m = 5,3 \cdot 0,8/1,3 = 3,26 \text{ MPa}$$

Condition vérifiée: $1,97 < 3,26$ (60%) . On peut même accepter un tenon mortaise

b) Vérification de la jambe de force en compression oblique:

$$* \quad F_{c,61^\circ,d} = 36026 / (60 \cdot 115) = 5,22 \text{ MPa}$$

$$* \quad F_{c,0,d} = 21 \cdot 0,8 / 1,3 = 12,92 \text{ MPa}$$

$$* \quad F_{c,90,d} = 5,3 \cdot 0,8 / 1,3 = 3,26 \text{ MPa}$$

* valeur de calcul de la résistance oblique

$$F_{c,61^\circ,d} = 12,92 / ((12,92/3,26) \cdot \sin^2 61^\circ + \cos^2 61^\circ) = 3,95 \text{ MPa}$$

* l'équation suivante est à vérifier:

$$F_{c,61^\circ,d} \leq F_{c,61^\circ,d} \text{ soit } 5,22 \text{ MPa} \leq 3,95 \text{ MPa}$$

Relation Non Validée!

Il faut augmenter la cote de 60mm , jusqu'à 80mm minimum .

$$36026/h \cdot 115 \leq 3,95 \quad h \geq 79,3 \text{ mm}$$

● Assemblage JAMBE de FORCE et BLOCHET:

valeur de calcul de la capacité résistante F_v, R_d :

Pour un boulon et deux plans de cisaillement:

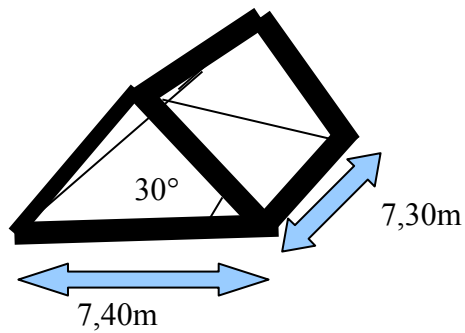
$$F_v, R_d = (2 \cdot F_v, R_k \cdot K_{mod})/\beta_M = (2 \cdot 9674 \cdot 0,8)/1,3 = 11906 \text{ N}$$

* nombre de boulons :

$$F_{elu} = n \cdot F_v, R_d \quad n = F_{elu} / F_v, R_d = 9915 / 11906 = 0,83 < 1$$

Un boulon suffit

■ Dimensionnement de la Charpente 2



➤ Détermination des chevrons

On choisit 12 chevrons de section 60*80 espacés de 0.60m

➤ Détermination des pannes

On choisit 4 pannes de dimension 105*225 espacées de 1m28

La vérification de la charpente 2 étant identique à la 1, ne sera pas détaillée ici

➤ Cost du bois pour les deux charpentes

catégories				euro
Chevrons	60*80 Sapin	2,71	260ml	704,6
	C24			
pannes		11,29	137ml	1546,73
entrait		3,5	260ml	910
				3161,33

C) Choix de l'isolation pour la toiture plate

➤ Choix envisagé: la toiture végétalisée

Dans un premier temps nous avons envisagé de réaliser une toiture végétalisée.

En effet les toitures végétalisées permettent, par la qualité de leur mise en œuvre et par les ombres portées, de renforcer l'isolation thermique de la toiture. Elles contribuent également à diminuer les nuisances sonores, en absorbant une partie des bruits urbains, habituellement réfléchis par les surfaces minérales. L'ensemble « végétation +substrat » écrête les pointes de surchauffe de la température de surface de la toiture en mi-saison et en été; elle contribue donc à diminuer les chocs thermiques, et augmenter la durée de vie de la structure.

De plus, la végétation crée un micro-climat par évapotranspiration, qui permet de rafraîchir localement la température. La mise en œuvre de cette solution sur les toits des villes permet de diminuer les îlots de chaleur en période estivale. Ce type de toiture favorise également une meilleure gestion des eaux de pluie par une absorption partielle, ce qui permet de ne pas surcharger les réseaux. Un système de stockage des eaux pluviales peut être couplé au drainage. Les végétaux piègent aussi une partie des polluants atmosphériques.

Ce type de toiture possède donc des caractéristiques idéales dans le cadre de notre projet de maison passive. Cependant, hors mis certains inconvénients comme un surpoids nécessitant une structure importante pour supporter la toiture, et un entretien important, cette forme d'isolation est surtout irréalisable dans notre cas.

En effet , après s'être longuement renseigné, nous nous sommes rendu compte que d'après le DTU 43.4, pour une toiture plate c'est à dire ayant une pente de 1 à 3 % (afin de permettre les évacuations des eaux de pluies il faut une pente minimale de 1.5%) et des éléments porteurs principalement en bois et panneaux dérivés du bois , l'étanchéité par végétalisation n'était pas autorisée.

ELEMENT PORTEUR	PENTE		
	0 %	1 à 3 %	≥ 3 à 20 %
Maçonnerie	Oui ^a	Oui	Oui ^b
Dalles en béton cellulaire autoclavé armé	Non	Oui ^a	Oui ^b
Tôles d'acier nervurées	Non	Non	Oui ^b
Bois et panneaux dérivés du bois	Non	Non	Oui ^b

On s'est donc tourné vers une solution d'isolation basique suffisamment importante pour pouvoir respecter les normes du PHPP

➤ Isolation retenue

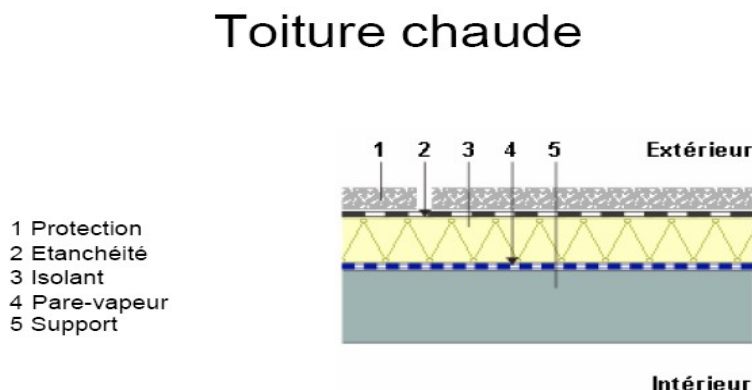
Trois types de toitures peuvent être proposés :

- La toiture chaude non isolée, pour laquelle le revêtement d'étanchéité est placé directement sur l'élément porteur, sans isolation.

- La toiture chaude isolée, pour laquelle l'élément porteur reçoit un film pare-vapeur sur lequel est posé l'isolant, lui-même porteur du revêtement d'étanchéité.
- La toiture froide ventilée (isolée ou non) qui se caractérise par le fait que la sous-face de l'élément porteur comporte une lame d'air qui communique avec l'extérieur.

Dans le cas d'une habitation, cette dernière solution n'est pas facile à mettre en œuvre, de même que la première solution qui ne propose pas d'isolation. On s'intéressera donc à la solution : toiture chaude isolée.

La toiture chaude est constituée des couches suivantes:



➤Choix de la couche de protection

Les couches de protection assurent plusieurs rôles :

- protéger des rayonnements UV,
- améliorer l'aspect,
- réduire la température superficielle en cas d'ensoleillement.

On choisit une protection légère: une couche de peinture. Pour éviter tout problème d'incompatibilité, il faut utiliser uniquement des peintures agréées par le fabricant des membranes. La peinture est la seule protection légère qui peut être appliquée sur les membranes synthétiques qui dans la plupart des cas n'en nécessitent pas.

➤Choix de l'étanchéité

Par étanchéité, on entend la couche ou l'ensemble des couches rendant la construction étanche à l'eau de pluie, à la neige et à l'eau de fonte des neiges.

On distingue les types d'étanchéités suivants :

- Les membranes bitumineuses
- Les membranes synthétiques
- Les feuilles métalliques
- Les enduits d'étanchéité
- Les revêtements épais

Les membranes bitumineuses pour des raisons de rapport qualité prix sont celles que nous avons retenues.

Une membrane bitumineuse est constituée d'une armature enrobée de bitume.

L'étanchéité des toitures plates s'obtient par la pose d'une ou plusieurs membranes bitumineuses superposées dont les lés sont soudés latéralement les uns aux autres et en bouts.

L'étanchéité à mettre en place et l'épaisseur des couches dépend en grande partie du support de la structure.

On va donc tout d'abord s'intéresser à celui-ci.

➤Choix du support

On choisit un support en panneau en bois multiplex disposant des qualités pour menuiserie extérieure. Le modèle proposé est le modèle Rhinox d'une épaisseur de 22 mm et d'une résistance thermique de $R = 0,110 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Le support en panneau en bois contraint une étanchéité bitumineuse bicouche: donc $R = 0,035 \text{ m}^2\text{K/W}$

➤Choix de l'isolant

Les caractéristiques des isolants sont ceux présentés dans la partie isolation charpente.

Pour des raisons qui sont essentiellement dues à la mise en place et au rapport qualité prix nous avons choisi ici un panneau isolant en laine de roche : **Rhinox** d'une épaisseur de 120mm avec $R = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$

➤Le pare vapeur

On choisit comme pare vapeur: Feuille PE tel que $R = 0,001 \text{ m}^2\text{K/W}$

Conclusion :

Pour obtenir une valeur U de maximum $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ pour une toiture bois, les épaisseurs d'isolation suivantes sont nécessaires:

- **22 mm multiplex avec une étanchéité bitumineuse bicouches collée ou en indépendance avec lestage:**
- **120 mm de laine de roche Rhinox;**

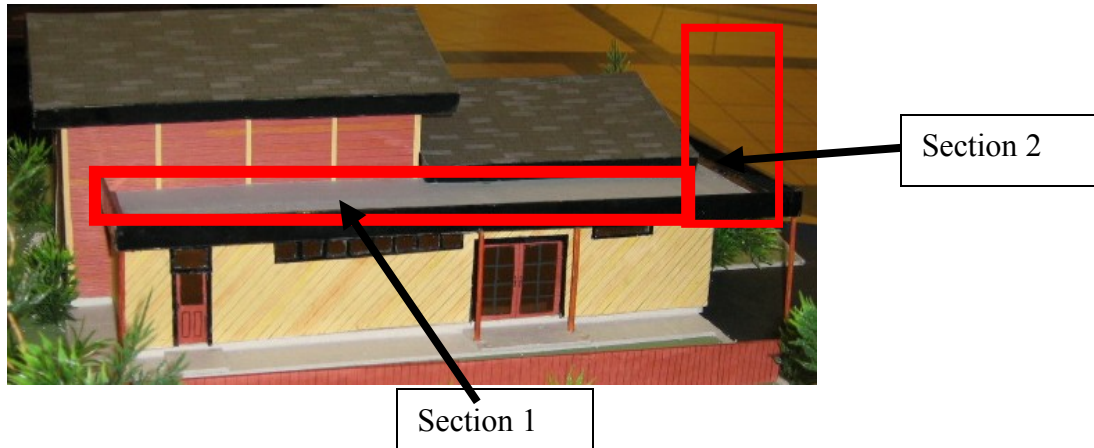
La valeur du coefficient thermique se calcul comme pour l'isolation des charpentes on obtient une valeur de $U = 0.382 \text{ W/m}^2\text{K}$.

➤Cout de l'isolation pour la toiture plate

protection	peinture	36	1	36
étanchéité	bitumineuse bicouche	24,8	87	2157,6
isolant	Laine de roche	18,2	87 m^2	1583,4
pare vapeur	pare vapeur: Feuille PE	2,07	87 m^2	180,09
support	Panneau multiplex 22mm	39	39,54	1542,06
				5499,15

D) Dimensionnement et vérification de la toiture plate

Le panneau solaire de 4m² sera négligé pour les calculs



$$\text{Section 1} = 4.40 * 15.5 = \mathbf{68.2m^2}$$

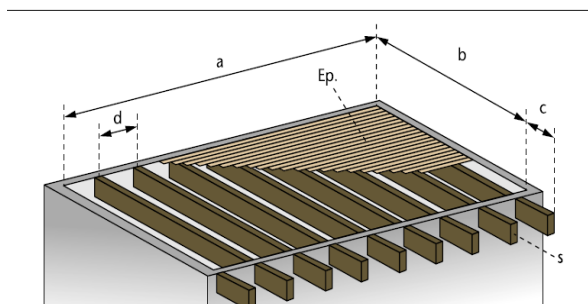
$$\text{Section 1} = 2.0 * 9.40 = \mathbf{18.8 m^2}$$

On sépare cette toiture en deux sections (voir schéma ci-dessus). Seul la section une sera vérifiée.

➤ Détermination du gîtage de la section 1

On suppose que le gîtage est constitué de solives de sections: **75 x 225 mm** et de Longueurs : **480 cm** (en fonction des longueurs standard disponibles sur le marché et compte tenu de 15 cm de pose à chaque extrémité). Avec un entraxe d tel que : **d = 110.7 cm**. On obtient: le nombre de gîte nécessaire:

$$\text{Nombre} = 1550 / 110,7 + 1 = \mathbf{15}$$



Avec:

a= la largeur de la pièce = 1550 cm

b= la portée = 440 cm

c = débordement éventuel = 0

d = l'entraxe des gîtes= 110.7cm

Ep = l'épaisseur du support = 22mm

➤ Vérification du gîtage de la section 1

Déterminations des charges

Le poids propre: On choisit des gîtes en bois massif résineux de classe C24. Il admet donc pour masse volumique caractéristique : $\rho_k = 3,5 \text{ kN/m}^3$

On doit rajouter à cela le poids du support : panneau bois multiplex de classe C24 donc $\rho_k = 3,5 \text{ kN/m}^3$ sur une épaisseur de 22mm.

On obtient ainsi comme charge permanente:

$$P = 3.5 * (0.075 * 0.225 + 0.022 * 1.107) = \mathbf{0.144 \text{ kN/m}}$$

Les charges d'exploitation:

On se situe dans la catégorie H: toitures inaccessibles donc: $q = 0,75 \text{ kN/m}^2$

$$Q = 1,5 \text{ kN}$$

La neige: $s = u_i * C_e * C_t * s_k$ avec u_i le coefficient de forme de la neige = 0.8 pour une toiture plate. Et $s_k = 0.5 \text{ kN/m}^2$ donc:

$$\mathbf{S = 0.4 \text{ kN/m}^2}$$

La charge d'exploitation: Elle est de **1.5 kN** pour les habitations

La charge totale d'exploitation est ainsi de :

$$\mathbf{0.0083 \text{ kN/m} + 1.5 \text{ kN}}$$

Dimensionnement aux ELU

Combinaison : $\max (1,35 * P + 1,50 * q ; 1,35 * P + 1,50 * Q)$

Charges permanentes $1,35 * P = 1,35 * 0.144 = \mathbf{0.1944 \text{ kN/m}}$

Charges variables Réparties $= 1,50 * q = 1,50 * 0,0083025 \text{ kN/m} = \mathbf{0,012 \text{ kN/m}}$

Ponctuelles $= 1,50 * Q = 1,50 * 1,5 \text{ kN} = \mathbf{2,25 \text{ kN}}$

Calcul du moment maximum: $M_{\max} = \max (M_p + M_q ; M_p + M_Q)$

$$M_{\max, \text{ perm}} = \mathbf{4,09 \text{ kNm}}$$

$$M_{\max, \text{ inst}} = \mathbf{8,07 \text{ kNm}}$$

Vérification en flexion : $s_{y,d} \leq f_{m,y,d}$

Pour les charges permanentes:

$$s_{m,y,d} = 6 * M_{\max, \text{ perm}} / B * H^2 = 6 * 4,09 * 10^6 / 75 * 225^2 = \mathbf{6,46 \text{ MPa}}$$

$$f_{m,y,d} = f_{mk} * K_{\text{mod,LT}} * K_h / g_m = 24 * 0,6 * 1 / 1,3 = \mathbf{11,07 \text{ MPa}}$$

On a bien $6.46 < 11.07$

Pour les charges totales on a :

$$s_{m,y,d} = 6 * M_{\max, \text{ inst}} / B * H^2 = 6 * 8,07 * 10^6 / 75 * 225^2 = \mathbf{12,74 \text{ MPa}}$$

$$f_{m,y,d} = f_{mk} * K_{mod,CT} * K_h / \gamma_m = 24 * 0,9 * 1 / 1,3 = \mathbf{16,61 \text{ MPa}}$$

On a bien $12.47 < 16.61$

La section est donc bien vérifiée à la flexion et on a un taux de travail de 77%

Vérification des efforts tranchants : aucune vérification des gîtes à l'effort tranchant n'est effectuée. Ce cas est en effet assez rare dans les conditions d'usage courant c'est-à-dire si la portée est supérieure à 10 fois la hauteur de la poutre

Vérification du déversement : Aucune vérification du déversement éventuel des gîtes n'est effectuée. En effet, le plancher est toujours fixé sur les gîtes du côté comprimé des poutres. Le dispositif est dès lors considéré comme bloqué et le déversement impossible

Vérification Aux ELS

Combinaisons : $\max (1,00 * P + 1,00 * q ; 1,00 * P + 1,00 * Q)$

Charges permanentes $1,00 * P = 1,00 * (0,011 + 0,059 + 0) \text{ kN/m} = \mathbf{0,07 \text{ kN/m}}$

Charges variables Réparties $= 1,00 * q = 1,00 * 0,0083025 \text{ kN/m} = \mathbf{0,008 \text{ kN/m}}$

Ponctuelles $= 1,00 * Q = 1,00 * 1,5 \text{ kN} = \mathbf{1,5 \text{ kN}}$

Vérification des déformations

$f_{CT} = \max(\text{combinaisons des flèches à mi travée à court terme}) = \mathbf{12,5 \text{ mm}}$

$L/250 = 4400 / 250 = \mathbf{17,6 \text{ mm}}$

On a bien $12.5 < 17.6$

$f_{LT} = \max(\text{combinaisons des flèches à mi travée à long terme}) = \mathbf{19,3 \text{ mm}}$

$L/125 = 4400 / 125 = \mathbf{35,2 \text{ mm}}$

On a bien $12.5 < 19.3$

La section est donc bien vérifiée à la flexion et on a un taux de travail de 71% maximal.

La section de gîte choisie de $75*225$ est bien vérifiée

➤ Détermination du gîtage de la section 2

On suppose que le gîtage est constitué de solives de sections: **$25*175 \text{ mm}$** et de

Longueurs : **240 cm** (en fonction des longueurs standard disponibles sur le marché et compte tenu de 15 cm de pose à chaque extrémité). Avec un entraxe d tel que : **$d = 104.4 \text{ cm}$**

On obtient: le nombre de gîte nécessaire:

$$\text{Nombre} = 940/104.4 + 1 = \mathbf{10}$$

On vérifie de la même manière que la section de gîte est vérifiée. (Ce calcul ne sera pas détaillé ici)

➤ Coût du gîtage

1260 Euros

2 L'ossature bois

A) Dimensionnement de l'ossature du premier étage

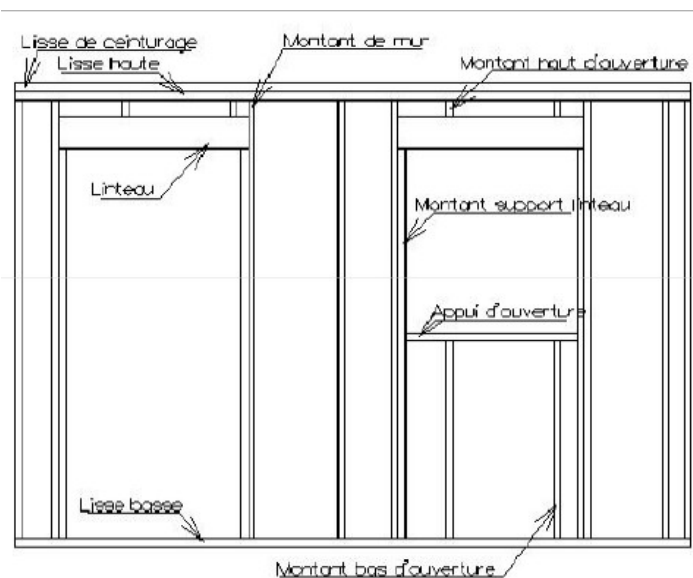
La structure de la maison est en structure mixte elle est composée de voile en bois: ossature plate forme et poteaux bois le long des vitrages, puis, de part et d'autre de la véranda on y retrouve des voiles en béton afin de conserver la chaleur et d'améliorer les caractéristiques thermiques de l'habitat.

Après avoir défini les caractéristiques de l'ossature plate forme et l'isolation de celle-ci on dimensionnera les voiles du premier étage supportant la charpente 1.

➤ Ossature plate forme

La maison à ossature bois de type plate-forme est la technique de construction la plus répandue. Moins onéreuse que les autres techniques, elle fait preuve d'une facilité d'adaptation aux différents styles régionaux et répond aux exigences de la construction : durabilité, résistance au feu, isolation thermique et phonique, confort. La maison à ossature plate-forme se construit étage par étage. Les étages étant indépendants les uns des autres.

Chaque niveau est séparé du précédent par une plate forme.



Réglementation

Les murs sont constitués d'une ossature généralement en résineux et d'un dispositif assurant le contreventement. L'ossature supporte les actions verticales, la reprise des actions horizontales étant assurée par les panneaux de contreventement. Pour justifier les murs vis-à-vis des actions horizontales, il faut justifier l'assemblage du panneau sur l'ossature et l'ancrage des panneaux au sol.

Les charges verticales sont transmises au sol par les montants. L'élément vertical en bois résineux doit avoir une hauteur d'environ 2.5 m (hauteur de l'étage). Pour qu'ils ne flambent pas suivant la faible inertie il faut respecter les distances maximales entre les fixations du panneau sur l'ossature 15 cm en rive et 30 cm sur les montants intermédiaires. La résistance au flambement dépend alors de l'inertie forte des montants. La distance entre chaque élément d'axe à axe est de 40 à 60 cm suivant la charge supporté (Voir tableau ci-dessous).

Murs	Section des Montants	Distance
-Portant une toiture	$\geq 38\text{mm} \times 89\text{ mm}$	$\leq 600\text{mm}$
-Portant une toiture et un plancher	$\geq 38\text{mm} \times 89\text{ mm}$	$\leq 400\text{mm}$
	$\geq 38\text{mm} \times 140\text{ mm}$	$\leq 600\text{mm}$
-Portant une toiture et deux planchers	$\geq 38\text{mm} \times 140\text{ mm}$	$\leq 400\text{mm}$

Il nous reste donc à justifier le montant travaillant en compression avec risque de flambement.

L'assemblage de cette structure se fait par agrafe.

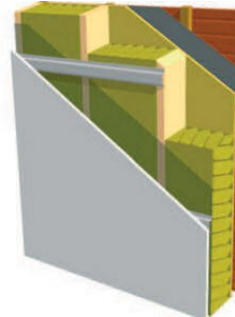
Pour les voiles de premier étage supportant une toiture on suppose une section de montant de 38 mm * 89 mm

➤ Isolation de l'ossature plate forme

Pour le comparatif des maisons à ossature bois, nous allons évaluer 4 solutions et en évaluer leurs performances pour ensuite choisir la solution la plus optimale.

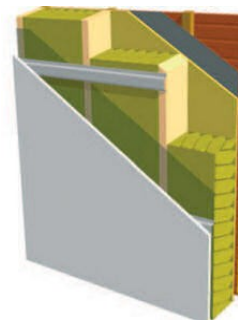
Solution 1 : Ossature bois isolation uniquement entre montants

- Plaque de plâtre BA13 mm
- Profil métallique 15 mm
- Pare-vapeur
- Laine minérale 120 mm
- Montant d'ossature 45/120, entraxe 400 mm
- Panneau contreventant OSB 9 mm
- Pare-pluie
- Contre-lattage 22/45
- Bardage bois 22 mm



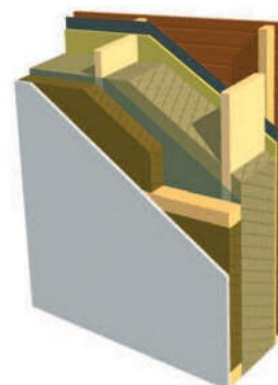
Solution 2 : Ossature bois avec complément d'isolation par l'extérieur

- Plaque de plâtre BA13 mm
- Profil métallique 15 mm
- Pare-vapeur
- Laine minérale 120 mm
- Montant d'ossature 45/120
- Panneau contreventant OSB 9 mm
- Isolant rigide hydrofuge 24 mm
- Contre-lattage 22/45
- Bardage bois 22 mm



Solution 3 : Ossature bois avec complément d'isolation par l'intérieur à l'aide de panneaux haute densité

- Plaque de plâtre BA13 mm
- Lattage horizontal 60/60 mm
- Panneau isolant de fibres de bois 60 mm
- Frein vapeur
- Montant d'ossature 45/175
- Panneau de fibres de bois isolant 180 mm
- Panneau contreventant OSB 10 mm
- Pare-pluie
- Contre-lattage 40/40
- Bardage bois 22 mm



Solution 4 : Ossature bois haute isolation et murs respirant (parois à perméances dégressives)

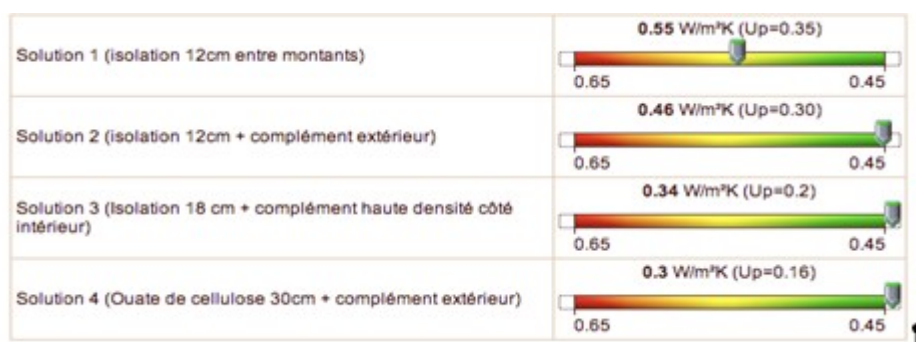
- Plaque de plâtre Fermacell
- Vide technique 40mm
- Panneau contreventant Pavaplan
- Montant d'ossature "joist" Steico Wall entraxe 600mm
- Pare-pluie de fibre de bois Isoroof Natur 35 mm
- Contre-lattage 30/30
- Enduit extérieur sur Nergalto SE



➤ pertes thermiques par les surfaces et liaisons de parois

A épaisseur de mur égale, les maisons en ossatures bois présentent des performances d'isolation supérieures aux maisons maçonnées, mais les solutions bois d'entrée de gamme (solutions 1 et 2), pourtant les plus répandues, sont maintenant dépassées par les bonnes pratiques en construction traditionnelle

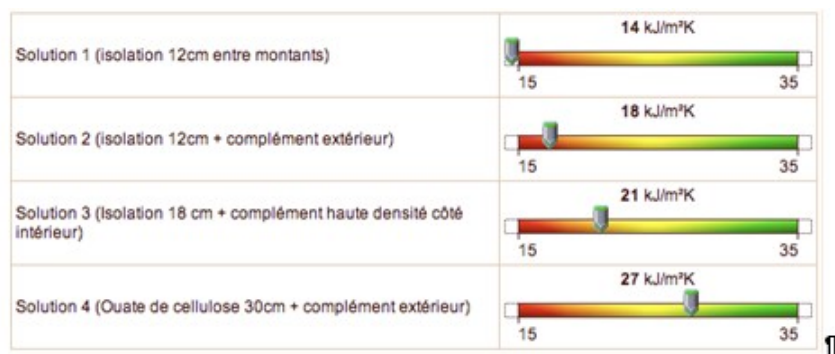
Pour autant, les solutions 3 et 4 démontrent que les maisons à ossature permettent beaucoup d'atteindre des hautes isolations (coefficient $U_p < 0,2$), sans pour autant avoir des murs très épais.



➤ Capacité thermique surfacique :

Pour déterminer de manière sûre l'apport d'inertie apportée par des parois multi-couche, nous appliquons les calculs selon la norme ISO 13786 en régime périodique (période de 24h).

Pour atteindre une inertie satisfaisante en ossature bois, il faut impérativement mettre des isolants denses, couplés à des panneaux denses placés du côté intérieur. La solution 4, basée sur 2 panneaux côté intérieur (le panneau contre-ventant et la plaque de plâtre sur vide technique) permet d'atteindre des valeurs satisfaisantes, certes inférieures à ce que l'on peut obtenir en monomure ou béton cellulaire, mais largement supérieures à une maison maçonnée avec doublage intérieur en plaque de plâtre.

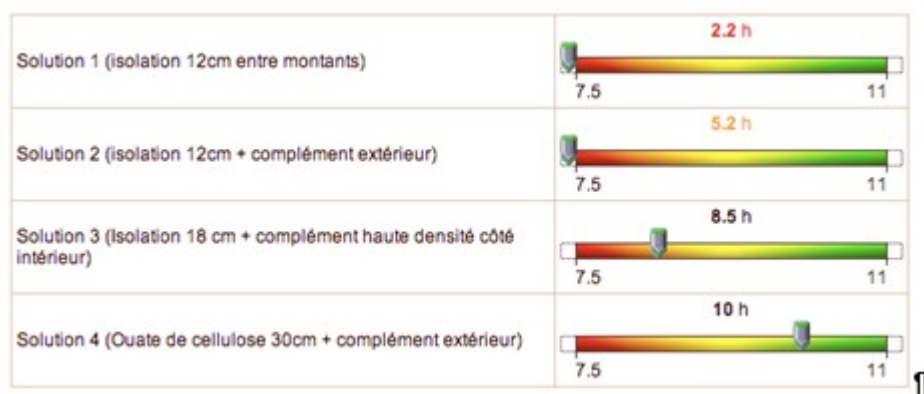


➤ déphasage :

De même, nous utilisons la norme ISO 13786 en régime périodique (période de 24h) pour déterminer de manière sûre l'aptitude des solutions à retarder et surtout amortir les fortes variations de températures extérieures, gage de confort en été.

L'ossature bois ne contenant par définition pas de matériau très lourd, la comparaison montre que le déphasage est fortement pénalisé si l'épaisseur de l'isolant n'est pas fortement dimensionnée. En particulier, les maisons à ossature bois conventionnelles avec un isolant de moins de 15cm d'épaisseur ne pourront pas vous protéger efficacement de la chaleur estivale.

Par contre, les ossatures bois avec une bonne épaisseur d'isolants denses (comme les solutions 3 et 4 comparées ici) permettent également d'atteindre des valeurs satisfaisantes, également inférieures à ce que l'on peut obtenir en monomure ou béton cellulaire, mais largement supérieures à une maison maçonnée avec doublage intérieur en plaque de plâtre.



➤ Energie Grise :

Les quatre solutions comparées présentent des énergies grises assez faibles (entre 60 et 90 kWh/m² pour 3 des 4 solutions, montants et parement extérieur non compris).

L'utilisation d'isolants peu énergivores à la fabrication (fibre de bois ou ouate de cellulose) permet, à énergie grise égale, d'augmenter l'épaisseur d'isolant par rapport à des solutions

basées sur des laines minérales ou des polystyrènes.

5) Résistance à la diffusion de vapeur d'eau :

Le DTU Français pour l'ossature bois (DTU 31.2) ne prend pas en compte les exigences des murs perméables à la migration de vapeur (vapeur d'eau et d'autres gaz comme le CO₂, les COV, etc). Il stipule que le matériau utilisé en pare-vapeur doit avoir une perméance $\leq 0,005$ g/m².h.mmHg soit une valeur $S_d \geq 18$ m.

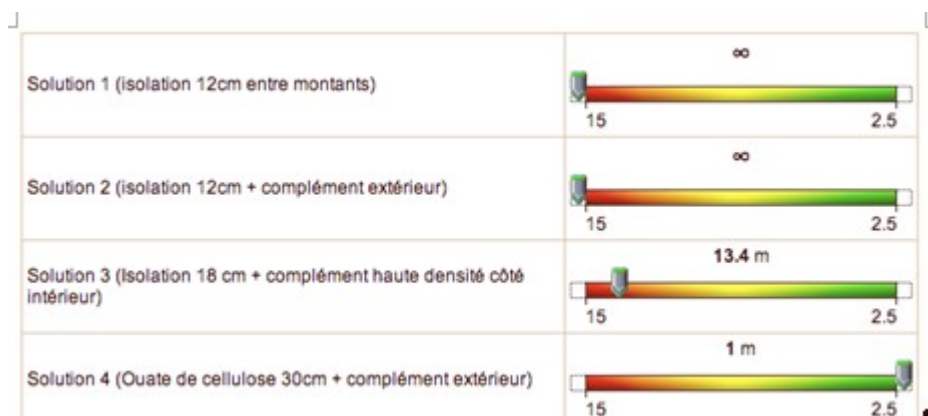
La norme allemande DIN 4108 donne les exigences suivantes contre le risque de condensation dans les isolants:

- S_d du matériau extérieur à l'isolant (pare-pluie) $< 0,3$ m
- S_d du matériau intérieur à l'isolant $> 2,0$ m
- S_d du matériau intérieur à l'isolant $> 6 \times S_d$ matériau extérieur à l'isolant.

De la sorte, les solutions 1 et 2, basées sur une approche conventionnelle à pare-vapeur respectent parfaitement le DTU, mais leurs murs ne sont pas perméants.

La solution 3 respecte la norme allemande mais pas le DTU français

La solution 4 est de loin la plus respirante. Pour respecter les conventions allemandes, il conviendra de mettre un frein-vapeur en complément du panneau contre-ventant, au minimum sur les parois extérieures des pièces humides (cuisine, cellier, salle de bain).



Conclusion:

Les maisons à ossature bois ont la réputation d'être mieux isolées que leurs homologues en maçonnerie.

Effectivement, seul un isolant épais (> 25 cm) et donc forcément placé entre ossatures, permettra aux constructions d'atteindre les objectifs de basse consommation prônés par le

phpp.

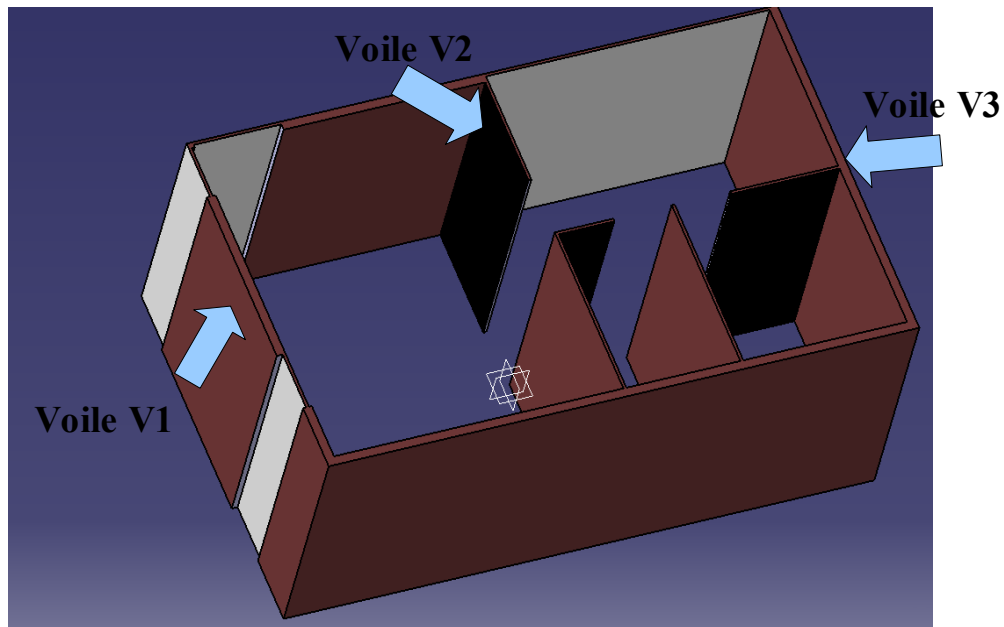
Par contre, ce comparatif montre bien qu'avec des isolants de moins de 15 cm d'épaisseur, une ossature bois aura des performances thermiques d'hiver moins bonnes que celles d'une maison conventionnelle à rupteur de ponts thermiques et des performances thermiques quasi catastrophiques en été, notamment à cause de leur très faible déphasage.

La solution 4 de ce comparatif présente ainsi des performances d'isolation exceptionnelles et saura garder une excellente fraîcheur l'été grâce à un déphasage important et à une bonne inertie.

La solution retenue est donc la solution 4

➤ Dimensionnement de l'ossature plate forme du premier étage

Justification d'un montant travaillant en compression avec risque de flambement appartenant au voile V1 ou V3.



Les voiles V1 et V3 reprennent : le poids de la charpente 1 divisé par 2

Catégorie	Couche	Ch perm	Ch Exploit	Surface	Charges en N
Toit	Neige		22,87	83,69	1913,9903
	Isolation	181		83,69	15147,89
	Tuiles	250		83,69	20922,5
	Charpente	150		83,69	12553,5
Total					50537,8803

C'est à dire $50\,537,8803 \text{ N} / 2 = 25,268 \text{ kN}$

Et leur poids propre:

Catégorie	Couche	Ch perm	Ch Exploit	Surface	Charges en N
Voile V1	poids propre	1579		8,066	12736,214
	Isolation	474,8		8,066	3829,7368
	bardage	250		8,066	2016,5
Total					18582,4508

C'est à dire 18,582kN

Soit au total

$$N = 43,85 \text{ kN}$$

On suppose une section de montant de 38 mm * 89 mm

Il y a risque de flambage si l'élancement relatif:

$$\lambda_{\text{réel,max}} > 0,3$$

L'élancement le plus important se calcule par rapport à l'axe z, car il sera l'axe de rotation si le poteau flambe.

$$\lambda_{\text{réel}} = m * l_g * 12^{(1/2)} / (b * \Pi) * (f_{c,ok} / E_{0,05})^{(1/2)}$$

avec:

m le coefficient permettant de tenir compte de l'incidence des liaisons aux extrémités de la barre sur la longueur de flambement dans notre cas on a m=1

l_g la hauteur de la barre donc l_g = la hauteur de l'étage = 2180mm

b= 38mm

f_{c,ok}=21 N/mm² (bois résineux classé C24)

E_{0,05} = 7400 N/mm²

Donc

$$\lambda_{\text{réel}} = 1 * 2180 * 12^{(1/2)} / (38 * \Pi) * (21/7400)^{(1/2)} = 3,36$$

$\lambda_{\text{réel,max}} > 0,3$ il y a donc de risque de flambement. C'est pourquoi on calcul K_{cz}

Calcul du coefficient de k_{c,z}

$$k_{c,z} = 1 / (k_z + (k_z^2 - \lambda_{\text{réel}}^2)^{(1/2)})$$

avec:

$$k_z = 0,5[1 + \beta_c (\lambda_{\text{réel}} - 0,3) + \lambda_{\text{réel}}^2]$$

$\beta_c = 0,2$ pour le bois massif
on obtient:

$$k_z = 6,45$$

et

$$k_{cz} = 0,084$$

Calcul de la contrainte induite par la charge

$$\sigma_{c,o,d} = N/A$$

Avec :

$$N = 43,85 \text{ kN}$$

$$A = 38 * 38 = 3382 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,o,d} = 12,96 \text{ Mpa}$$

Calcul de la contrainte en compression axiale

$$f_{c,od} = f_{c,ok} * k_{mod} / \gamma_m$$

Avec:

$$f_{c,ok} = 21 \text{ kN/mm}^2$$

$$k_{mod} = 1,1$$

$$\gamma_m = 1,25$$

$$f_{c,od} = 18,48 \text{ Mpa}$$

Justification

$$\text{Taux de travail} = \sigma_{c,o,d} / (k_{c,z} * f_{c,od}) < 1$$

On obtient :

$$\text{taux de travail} = 8,3$$

**La section 38* 89 n'est pas vérifiée on doit donc augmenter la section on choisit:
une section de montant de 89*89 et on refait le calcul.**

Avec la nouvelle section on obtient:

$$\lambda_{\text{réel}} = 1 * 2180 * 12^{(1/2)} / (38 * \Pi) * (21/7400)^{(1/2)} = 0,42$$

$\lambda_{\text{réel,max}} > 0,3$ il y a donc de risque de flambement.

$$K_z = 0,6$$

et

$$k_{cz} = 0,97$$

$$\sigma_{c,o,d} = 5,53 \text{ Mpa}$$

donc

Taux de travail = $\sigma_{c,0,d} / (k_{c,z} * f_{c,0,d}) = 0,308 < 1$
La section des montants 89* 89 est bien vérifiée. Les actions verticales sont bien supportées par l'ossature.

Justification des murs V1 ou V3 vis à vis des actions horizontales

Pour la région Toulousaine le vent exerce sur les parois une force de 15 750 N.
 En effet on a:

$$P = Pr * S = q * (C_e - C_i) * S$$

$$q = q_{10} * k_s * k_m * \delta * k_h$$

et pour une construction fermée on a $C_e - C_i = 0,30$.

Les différents coefficients sont déterminés dans les hypothèses.

Donc

$$P = 15\,750 \text{ kN}$$

Hypothèses

on choisit une ossature en bois massif de 120/45 classé C24 donc $\rho = 660 \text{ kg/m}^3$

la classe de service 2 car ossature

On suppose des agrafes de 40 mm tel que $b = 12,7 \text{ mm}$

la section du fil de $1,61 * 1,39$ et $f_u = 800/\text{mm}^2$

Valeur de résistance au simple cisaillement

La pénétration minimale dans le bois du côté de la pointe est de **14 d**

le diamètre équivalente d'une agrafe est de $(1,61 * 1,39)^{(1/2)} = \textbf{1,5 mm}$

Travail en simple cisaillement, longueur de pénétration: $t_2 = 40 - 9 = \textbf{31 mm}$

soit:

$$31 / 1,5 = 20,6$$

donc

$$20,6d > 14d$$

Critère est vérifié, la dimension de l'agrafe est correcte vis à vis de l'épaisseur des pièces.

Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{v,rk}$

➤ Valeur de la pénétration de la tige

$t_1 = 9 \text{ mm}$ (épaisseur de la pièce sous la tête)

$t_2 = 40 - 9 = 31 \text{ mm}$ (enfoncement côté pointe)

➤ Portance locale

$$f_{h,1,k} = 65 * d^{(-0,7)} * t^{(0,1)} = 65 * 1,5^{(-0,7)} * 9^{(0,1)} = 60,964 \text{ N / mm}^2 \text{ (OSB 3)}$$

d , agrafe $< 0,8 \text{ mm}$ donc il n'y a pas de perçage

$$f_{h,2,k} = 0,082 * \rho_k * d^{(-0,3)} = 25,4 \text{ N / mm}^2 \text{ (Bois massif)}$$

➤ Moment d'écoulement plastique

$$M_{y,rk} = 0,3 * f_u * d^2,6 = 0,3 * 800 * 1,5^2,6 = 688 \text{ N.mm}$$

➤ Résistance pour chaque mode de rupture

$$\text{rapport } \beta = f_{h,2,k} / f_{h,1,k} = 25,4 / 61 = 0,42$$

Les différentes valeurs de résistance au simple cisaillement donne dans le cas le plus défavorable 297N

On peut multiplier par deux la valeur précédente pour une agrafe car elle possède deux pointes et est disposée avec un angle supérieur à 30° avec le fil de bois. Dans le cas contraire il faudrait appliquer un coefficient 0,7 sur la valeur ci dessus soit:

$$F_{v,Rk} = 594, N$$

Valeur caractéristique de la capacité résistante $F_{v,Rd}$

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rk} * k_{mod} / \gamma_m$$

Avec:

$F_{v,k}$ résistance caractéristique des tiges en N

k_{mod} le coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée et de la classe de service. $k_{mod} = (k_{mod,OSB} * k_{mod,bois})^{(1/2)} = (0,9 * 1,1)^{(1/2)} = 0,99$

$$F_{v,Rd} = 594 * 0,99 / 1,25 = 470 N$$

Résistance de calcul du panneau

$$F_{1v,Rd} = F_{f,Rd} * b * c / s = 3981 N$$

Avec $s = s_{maxi} = 150 mm$

$c = b/b_0$ avec $b_0 = h/2 = 2180/2 = 1090 mm$ et $b = 1200 mm$ (largeur du panneau)

Résistance du mur

Pour le voile V1 on a 8 panneau de 900mm de long ($7400 - 8 * 900 = 0$)

donc $F_{v,Rd} = 8 * 3981 = 31\ 848 N$

Effort résultant du vent vaut: $F_{v,Ed} = 15\ 750 N$

$$\text{taux de travail } \Psi = F_{v,Ed} / F_{v,Rd} = 0,5 < 1 \text{ donc ok}$$

Action à reprendre par l'ancrage des murs

$$F_{1v,Ed} = \Psi * F_{v,Rd} = 3981 * 0,5 = 1990 N$$

$$F_{1,c,Ed} = F_{1v,Ed} * h / b = 3615,17$$

Conclusion:

Le mur sera réalisé en positionnant les montants d'ossature sur une trame de 600mm. Les agrafes seront distantes de 150 mm sur les montants de rive. Il faudra respecter un angle de 30° entre les agrafes et le fil du bois de l'ossature.

- Dimensionnement des poteaux bois des voiles V1 et V3 entre les vitrages du premier étage

Les poteaux bois sont de **sections de 89*89**. La vérification est identique aux montants verticaux de l'ossature plate forme bois . Les charges que reprennent les poteaux sont celles présentés sur les tableaux ci dessus(donc identique aux charges supportés par les montants). La vérification de compression axiale avec risque de flambement permet donc de valider cette section de poteau.

➤ Dimensionnement des poteaux bétons du premier étage du voile V2

Le voile de béton reprend les charges ci-dessus

Catégorie	Couche	Ch perm	Ch Exploit	Surface	Charges en N
Voile V2	poids propre	8000		10,619	84952
Total					84952

On a un seul voile bétons qui reprend la charpente, pour le calcul de section on va utiliser la méthode de thonier.

Données : descente de charges sur poteaux: 84 952 N

$$\text{On a : } l = L / i \quad \text{avec } i = (I/A)^{0,5}$$

$$\text{Donc } l = 270 / (32^2 / 12)^{0,5} = 270 / (85,33)^{0,5} = 29,76$$

D autre part on a :

$$K_h = 0,93$$

$$K_s = 1$$

$$a = 0,86 / (1 + (29,76/62)^2) = 0,6989$$

$$\begin{aligned} \text{Donc : } N_{rd} &= K_h * K_s * a * A_c * (f_{cd} + r * f_{yd}) \\ &= 0,93 * 1 * 0,6989 * 32 * 32 * (16,67 + r * 435) \\ &= 11106 + r * 289\,981 \end{aligned}$$

condition à vérifier : $N_{rd} > N_{ed}$

$$\text{Donc : } 11106 + r * 289\,981 > 84\,952$$

$$\text{Donc : } r > 0,26$$

$$\text{Or : } A_s / A_c = \min(0,04 ; r) = 0,04$$

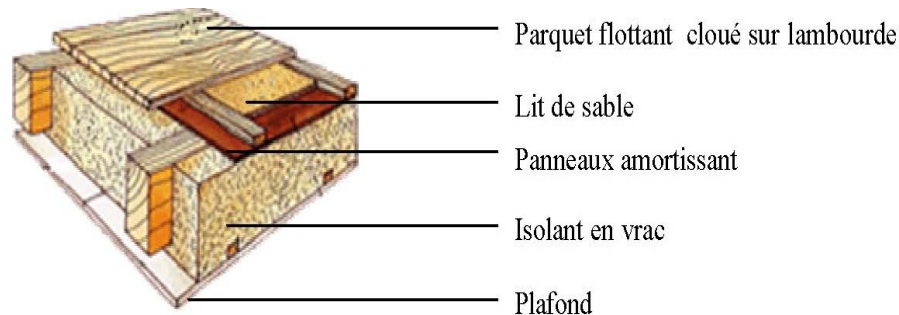
$$\text{Donc : } A_s = 40,96 \text{ cm}^2$$

choix d'armatures : 4HA 28 + 4HA 25

B) Dimensionnement du plancher du premier étage

On dimensionne le plancher du premier étage d'une section de $275 * 740 \text{ cm}^2$

➤ Détermination de l'isolation et de la couverture



Un parquet en bois offre un confort acoustique et tactile très appréciable. Il apporte une note chaleureuse et isole de l'humidité. Dans une maison en bois, il s'adapte bien à la structure. Un parquet est un revêtement de sol constitué de lames de bois assemblées.

L'épaisseur varie entre 8 et 20 mm. Pour éviter au maximum les déformations, il est conseillé de favoriser des petites longueurs comprises entre 40 et 240 cm. En effet, le bois est une matière vivante : ses dimensions varient avec la température et le taux d'humidité ambiant et selon les essences utilisées.

On choisit un parquet bois massif d'épaisseur 10 mm et de poids volumique 6 kN/m^3 largeur 70cm et longueur 120cm. Avec une couche résiliente de 5mm et de poids volumique de 3 kN/m^3 .

Le lit de sable entre deux étages permet l'isolation phonique, et l'amélioration de l'isolation on met un lit de sable sur 2cm

Le panneaux d' amortissement permettent l'amortissement des vibrations. entre un plancher en bois et les murs . On prend un panneau bois d'épaisseur 30mm et de densité 470 kg/m^3

On met 150 mm d'isolant de laine de roche (disposant des mêmes caractéristiques qu'énoncées dans la partie isolation charpente), entre les solives.

Puis, pour faire le plafond du RDC on utilise des lambris sur une épaisseur de 26mm.

➤ Détermination de la section de solives

On choisit une section de solives de $275 * 125$ espacés de 500mm pour une portée de 7.4 m.

➤ Dimensionnement du plancher

Le dimensionnement du plancher s'effectue de la même manière suivante :

- Vérification de la flexion : $\sigma_{m,y,d} \leq F_{m,y,d}$ avec :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{I_y} = \frac{qz(Ed1) * l^2}{8} \cdot \frac{12}{hsd} \cdot \frac{1}{v}$$

Et

$$F_{m,y,d} = \frac{k_{mod} * F_{m,k}}{\gamma_M}$$

- Vérification de la contrainte de cisaillement dans les solives :

- Cisaillement proche de l'appui : $\tau_d \leq F_{v,d}$ avec :

$$\tau_d = \frac{3}{2} \frac{V(Ed_2)}{A} = \frac{3}{2} \left(\frac{qz(Ed) * l}{2} + F(Ed2) \right) \cdot \frac{1}{A}$$

Et

$$F_{v,d} = \frac{k_{mod} F_{v,k}}{\gamma_M}$$

- Cisaillement au niveau de l'entaille: $\tau_{d,hef} \leq k_v * f_{v,d}$ avec :

$$\tau_{d,hef} = \frac{\tau_{d,hsd}}{h_{ef}}$$

Et

$$k_v = \min \left\{ \frac{1}{\sqrt{h_{sd}} * \left(\sqrt{\alpha} * (1 - \alpha) + 0,8 * \frac{X}{h_{sd}} * \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} ; \frac{k_n * (1,1 * i^{1,5})}{\sqrt{h_{sd}}} \right\}$$

- Vérification de la contrainte de compression perpendiculaire à l'appui de la solive : $\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} * F_{c,90}$ avec :

$$F_{c,90} = \frac{k_{\text{mod}} f_{c,90}}{\gamma_M}$$

Et

$$\sigma_{c,90} = \frac{V(Ed_2)}{b_{sd} * b_{td}} = \frac{(q_z(Ed_2) * l) * 0,5 + F(Ed_2)}{bsd * btd}$$

On obtient donc :

Poids propre	gk (kN/m²)	99,84 5				
Charge supporté par le solivage	Qk (kN)	2				
	qk (kN/m²)	1,5				
Définitions des sections de calculs	hsd	58,74	htd	58,74		
	bsd	122,3 75	btd	39,16		
Vérification à l'état limite ultime	poids propre	Ed1				
	poids propre +charge d'exploit	Ed2				
	poids propre +charge total	Ed3				
Contrainte de Flexion dans la solive	Ed1	$\sigma_{m,y,d}$	3,12	$\sigma_{m,y,d} \leq F_{m,y,d}$	vérifié	
		$F_{m,y,d}$	11,08			
	Ed2	$\sigma_{m,y,d}$	10,07	$\sigma_{m,y,d} \leq F_{m,y,d}$	vérifié	
		$F_{m,y,d}$	16,62			
	Ed3	$\sigma_{m,y,d}$	7,55	$\sigma_{m,y,d} \leq F_{m,y,d}$	vérifié	
		$F_{m,y,d}$	16,62			
Contrainte de cisaillement dans la solive	proche de l'appui	$F_{v,d}$	1,73	$\zeta_d \leq F_{v,d}$	vérifié	
		ζ_d	0,27			
	% à l'entaille	$F_{v,d}$	1,73	$\delta_d \leq k_v * F_{v,d}$	vérifié	
		ζ_d	0,35			
		k_v	0,65			

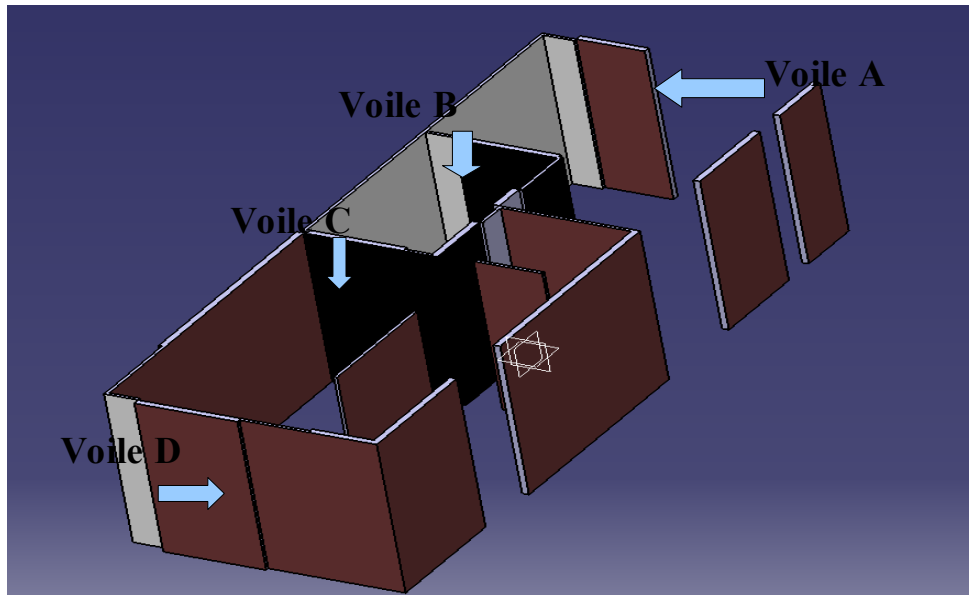
CHOIX DES POINTES	bon choix		
Nombre de pointe(s)	par solive	8	
	par tasseau	9	
disposition minimale des pointes	a2 (mm)	18,50	
	a4,t (mm)	25,90	
	a4,c (mm)	18,50	
	a1 (mm)	18,50	
	a3c (mm)	37,00	
Deformation	Fleche finale	94%	Solive correcte
	Fleche nuisible	54%	Solive correcte
Vibration	Fréquence propre	5,40	
	Flèche statique	Moye	
	Niveau du plancher	bon	

Conclusion : la section de solives de 275* 125 espacées de 500 mm est bien vérifiée.

C) Dimensionnement de l'ossature du RDC

On sépare le RDC en deux parties: la partie V1 +V2 (partie sou les deux charpentes) et la partie V3 sous la toiture plate.

Dans un premier temps on s'intéresse a la première partie dessinée ci dessous.



➤ Dimensionnement du voile A en bois

Le voile A reprend son poids propre:

Catégorie	Couche	Ch perm	Ch Exploit	Surface	Charges en N
Voile A	poids propre	1579		8,76	13832,04
	Isolation	474,8		8,76	4159,248
	bardage	250		8,76	2190
Total					20181,288

et la moitié de la charpente 2 c'est à dire:

Catégorie	Couche	Ch perm	Ch Exploit	Surface	Charges en N
Toit	Neige		22,87	62,34	1425,7158
	Isolation	181		62,34	11283,54
	Tuiles	250		62,34	15585
	Charpente	150		62,34	9351
Total					37645,2558

Soit au total :

39,00 kN

La section des poteaux et des montants verticaux dimensionnées pour l'ossature plate forme du premier étage de: **89*89** est encore valide ici. En effet: les poteaux ont été vérifiés pour une charge de 43,85kN et on a bien $43,85 > 39$ donc la section 89*89 peut reprendre 39kN.

➤ Dimensionnement du voile B en béton

Le voile B reprend la moitié de la charpente 2 c'est à dire: $37,65 / 2 = 18,8\text{kN}$

Catégorie	Couche	Ch perm	Ch Exploit	Surface	Charges en N
Toit	Neige		22,87	62,34	1425,7158
	Isolation	181		62,34	11283,54
	Tuiles	250		62,34	15585
	Charpente	150		62,34	9351
Total					37645,2558

Son poids propre

Catégorie	Couche	Ch perm	Ch Exploit	Surface	Charges en N
Voile B	poids propre	8000		14.67	117408
Total					117408

Le $\frac{1}{4}$ du plancher du premier étage: $166,04/4 = 41,51\text{ kN}$

Catégorie	Couche	Ch perm	Ch Exploit	Surface	Charges en N
Plancher	Exploitation		150	72,52	10878
	cloisons	1888		72,52	136917,76
	revêtement	60		72,52	4351,2
	lambris	260		72,52	18855,2
	solivage	292,5		47,5	13893,75
Total					166040,71

Et le poids du voile au dessus c'est à dire le voile V1 = 18,58kN
Soit au total:

196,29 kN

On a : $l = L / i$ avec $i = (I/A)^{0,5}$

$$\text{Donc } l = 270 / (32^2 / 12)^{0,5} = 270 / (85,33)^{0,5} = 29,76$$

D autre part on a :

$$K_h = 0,93$$

$$K_s = 1$$

$$a = 0,86 / (1 + (29,76/62)^2) = 0,6989$$

$$\begin{aligned} \text{Donc : } N_{rd} &= K_h * K_s * a * A_c * (f_{cd} + r * f_{yd}) \\ &= 0,93 * 1 * 0,6989 * 32 * 32 * (16,67 + r * 435) \\ &= 11106 + r * 289\,981 \end{aligned}$$

condition à vérifier : $N_{rd} > N_{ed}$

$$\text{Donc : } 11106 + r * 289\,981 > 196\,290$$

$$\text{Donc : } r > 0,63$$

$$\text{Donc : } A_s = 312 \text{ cm}^2$$

Donc je prend 4 poteaux 32*32 . Chacun reprend le 1/4 de la charge .

choix d'armatures : 4HA 40 + 4HA 28 et un cadre HA12

➤ Dimensionnement du voile C en béton

Le voile C reprend: son poids propre

Catégorie	Couche	Ch perm	Ch Exploit	Surface	Charges en N
Voile C	poids propre	8000		11.76	94080
Total					94080

$$\text{Le } \frac{1}{2} \text{ du plancher du premier étage: } 166,04/2 = 83,02\text{kN (voir au dessus)}$$

et le poids du voile V2 c'est à dire: 84,95 kN (voir RDC)

Soit au total:

262,5 kN

On a : $l = L / i$ avec $i = (I/A)^{0,5}$

$$\text{Donc } l = 270 / (32^2 / 12)^{0,5} = 270 / (85,33)^{0,5} = 29,76$$

D autre part on a :

$$K_h = 0,93$$

$$K_s = 1$$

$$a = 0,86 / (1 + (29,76/62)^2) = 0,6989$$

$$\begin{aligned} \text{Donc : } N_{rd} &= K_h * K_s * a * A_c * (f_{cd} + r * f_{yd}) \\ &= 0,93 * 1 * 0,6989 * 32 * 32 * (16,67 + r * 435) \\ &= 11106 + r * 289\,981 \end{aligned}$$

condition à vérifier : $N_{rd} > N_{ed}$

$$\text{Donc : } 11106 + r * 289\,981 > 262\,051$$

$$\text{Donc : } r > 0,86$$

$$\text{Donc : } A_s = 409,88 \text{ cm}^2$$

Donc je prend 4 poteaux 32*32 .Chacun reprend le $\frac{1}{4}$ de la charge .

choix d'armatures : 8HA 40 et un cadre HA12

➤ Dimensionnement du voile D en bois

Le voile D reprend $\frac{1}{4}$ du plancher du premier étage soit: $166,04/4 = 41,51 \text{ kN}$
le voile V3 au dessus de lui donc $18,58 \text{ kN}$
Son poids propre: $14,9 \text{ kN}$

Catégorie	Couche	Ch perm	Ch Exploit	Surface	Charges en N
Voile A	poids propre	1579		5.84	9221.36
	Isolation	474,8		5.84	2772.83
	bardage	250		5.84	1460
Total					14914.2

Soit au total

74,99kN

On doit donc vérifier que la section de poteau et montant vertical choisie(89*89) est encore valable

$$\sigma_{c,o,d} = N/A = 22,17 \text{ Mpa}$$

$$f_{c,od} = 18,48 \text{ Mpa}$$

$$k_{cz} = 0,97$$

$$\text{Taux de travail} = \sigma_{c,o,d} / (k_{cz} * f_{c,od}) = 1,2 > 1$$

Cette section n'est donc plus valable on redimensionne avec la section de 100*89

On trouve:

$$\sigma_{c,o,d} = N/A = 8,48 \text{ Mpa}$$

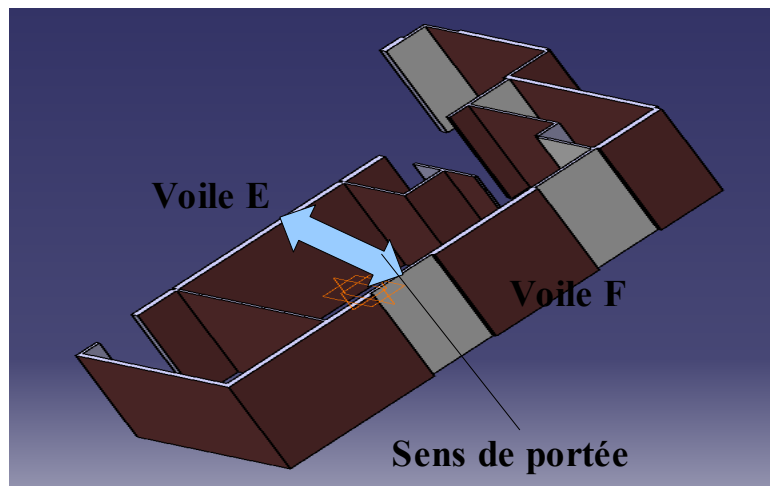
$$\text{Taux de travail} = \sigma_{c,o,d} / (k_{cz} * f_{c,od}) = 0,5 < 1$$

la section 100*89 est bien vérifié

Conclusion:

Tout les montants des ossatures plates forme et tous les poteaux des deux étages auront cette section qui est la plus défavorable.

On s'intéresse maintenant à la seconde partie la partie sous toiture plate.



On considère que cette partie est désolidarisée de la première partie les éléments porteur sont horizontaux comme présenté ci dessus. Chacun des deux voiles reprend: son poids propre soit :9,97kN

Catégorie	Couche	Ch perm	Ch Exploit	Surface	Charges en N
Voile	poids propre	1579		4,32	6835,49
	Isolation	474,8		4,32	2051,14
	bardage	250		4,32	1080
Total					9966,63

et 1/3 de la toiture plate soit: 15,2kN

Catégorie	Couche	Ch perm	Ch Exploit	Surface	Charges en N
Toit	Neige		0,4	68,2	27,28
	exploitation		150	68,2	10230
	Isolation	204,2		68,2	13926,44
	gitage	315		68,2	21483
Total					45666,72

soit au total :

25,19kN

La section des poteaux et des montants verticaux dimensionnées pour l'ossature plate forme du premier étage de: **100*89** est encore valide ici. En effet: les poteaux ont été vérifiés pour une charge de 43,85kN et on a bien $74,99 > 25,19$ donc la section 100*89 peut reprendre 25,19kN.

De même les poteaux bois en préau reprennent uniquement la charge de la toiture plate/3 c'est à dire 15,2kN.

Pour des raisons d'économie on prendra comme section des poteaux de 89*89 qui peuvent reprendre on l'a vu au moins 43,85kN

3 Le dallage

On considère que la dalle a une épaisseur de 30cm

La dalle est en béton armée C 25/30

Le calcul s'établira à l'ELU donc: $P = 1,35G + 1,5 Q$

On calcule le dallage sur 3 sections distinctes:

- la section sous les deux charpentes (V1 et V2)
- la section S1 sous la toiture plate
- et la cuisine.

➤ La section sous les deux charpentes

Les charges appliquées sur la dalle sont les suivantes:

Revetement + cloisons: $1,2 \text{ kN/m}^2$

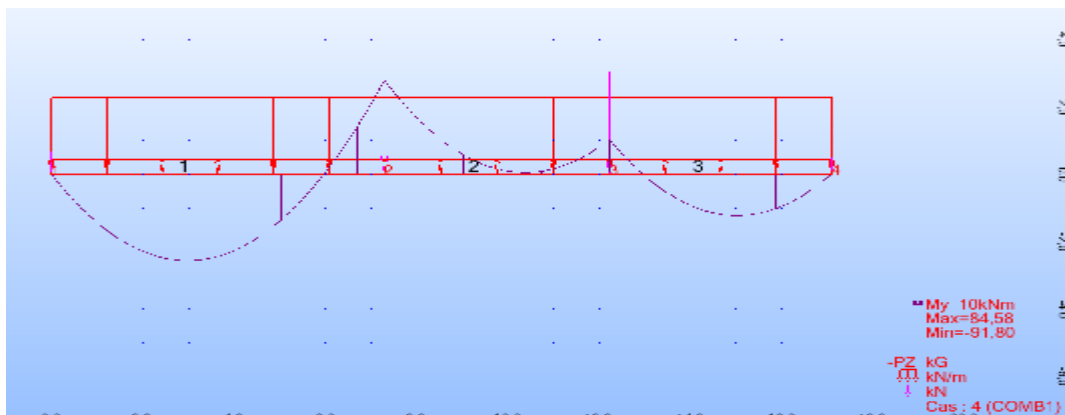
Charges d'exploitations: $1,5 \text{ kN/m}^2$

Poids propre : $7,5 \text{ kN/m}^2$

et les charges ponctuelles dues aux poids propres des voiles appliqués dessus c'est à dire les poids propres des voiles A, B C ,D présentés ci dessus.

On détail le calcul dans le cas défavorable c'est à dire $l = 17,1\text{m}$

Le moment maximum est déterminé grâce à robot



On Obtient un moment maximum de **91,8 kN.m**. La dalle est calculée comme une poutre de largeur 1.

$$\mu_{bu} = \mu_u / (b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}) = 0,076$$

$$\mu_{lu} = 0,371$$

Donc

$$\mu_{bu} < \mu_{lu}$$

Il n'y a pas d'acier comprimés

$$\alpha_u = 1,25 (1 - (1 - 2 \cdot \mu_{bu})^{1/2}) = 0,098$$

$$z_u = d \cdot (1 - 0,4 \cdot \alpha_u) = 0,26$$

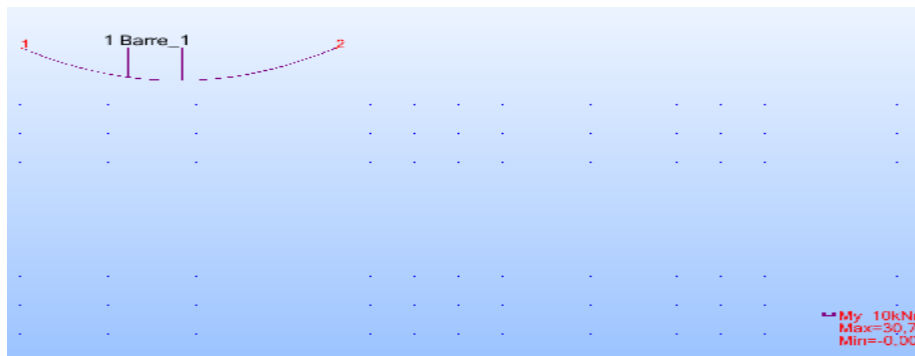
donc

$$A_u = \mu_u / (z_u \cdot f_{yd}) = 11,76 \text{ cm}^2$$

On choisit comme treillis soudé 2 St60 soit $12,72 \text{ cm}^2$ dans le sens de x et $10,06$ dans le sens de y (pour $l = 7,46\text{m}$)

➤ La section S1 sous la toiture plate

Le Moment maximum est déterminé par robot la dalle reprend son poids propre, les poids propres des voiles E et F en bois , le revêtement et les cloisons et la charge d'exploitation d'habitation.



On Obtient un moment maximum de **30,7kN.m**. La dalle est calculée comme une poutre de largeur 1.

$$\mu_{bu} = M_u / (b_w * d^2 * f_{cd}) = 0,025$$

$$\mu_{lu} = 0,371$$

Donc

$$\mu_{bu} < \mu_{lu}$$

Il n'y a pas d'acier comprimés

$$\alpha_u = 1,25 (1 - (1 - 2 * \mu_{bu})^{(1/2)}) = 0,032$$

$$z_u = d * (1 - 0,4 * \alpha_u) = 0,26$$

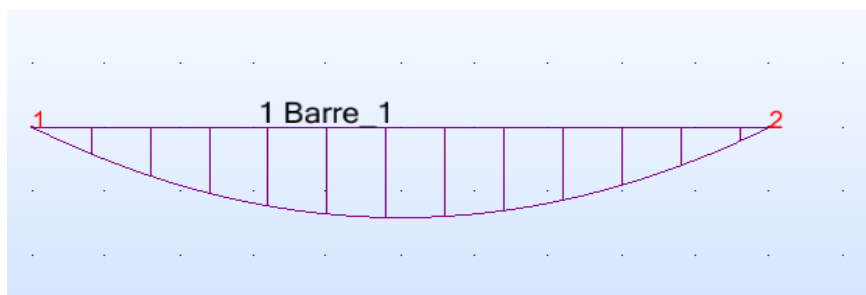
donc

$$A_u = M_u / ((z_u * f_{yd}) = 3,92 \text{ cm}^2$$

On choisit comme treillis soudé 1St35

➤ La cuisine

On fait de même pour Cette section de 5*1,20m² sur deux appuis.



On Obtient un moment maximum de **59,36kN.m**. La dalle est calculée comme une poutre de largeur 1.

$$\mu_{bu} = M_u / (b w \cdot d^2 \cdot f_{cd}) = 0,049$$

$$\mu_{lu} = 0,371$$

Donc

$$\mu_{bu} < \mu_{lu}$$

Il n'y a pas d'acier comprimés

$$\alpha_u = 1,25 \left(1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{bu}} \right)^{1/2} = 0,063$$

$$z_u = d \cdot (1 - 0,4 \cdot \alpha_u) = 0,26$$

donc

$$A_u = M_u / (z_u \cdot f_{yd}) = 7,59 \text{ cm}^2$$

On choisit comme treillis soudé 1St35 et un St45

4 Fondations

Données : on est sur un terrain argileux , et sur sols marneux .
Méthodes de calculs : fascicule 62.

Hypothèse :

je vais dimensionner avec des pieux forés tubés du faite que j'ai un terrain à faible portance .
Vu ma charge je vais prendre 10 pieux qui sont répartie de manière uniforme sous la dalle de ma structure(Ancrage sera de 7 m).
pieux sont mis en œuvre avec refoulement du sol.
Argiles de catégorie C et Marnes tendres .

Vérification de la mobilisation du sol:

à l'ELS : $G + Q = 19,306 \text{ T}$
à l'ELU : $1,35G + 1,5Q = 27,5 \text{ T}$

charge limite de frottement latéral :

$Q_{SU} = q \cdot p \cdot D$ avec : q : frottement latéral unitaire limite (avec une abaque)
 p : périmètre de la fondation
 D : ancrage

charge limite de pointe :

$Q_{pu} = K_p \cdot P \cdot A$ avec : k_p : facteur de portance .(suivant un tableau)
 P : pression limite .
 A : section de la fondation .

Combinaison de charges :

à l'ELU : $Q_u = Q_{pu} + Q_{SU}$, $Q_{tu} = Q_{SU}$

à l'ELS : $Q_c = 0,7 \cdot Q_u$, $Q_{tc} = 0,7 \cdot Q_{SU}$

on a :

$$Q_{pu} = 1,6 \cdot 2,5 \cdot A$$

$$Q_{SU} = 0,04 \cdot p^3 + 0,8 \cdot p^4$$

Donc :

$$Q_u = 1,6 \cdot 2,5 \cdot A + 0,04 \cdot p^3 + 0,8 \cdot p^4$$

$$Q_{tu} = 0,04 \cdot p^3 + 0,8 \cdot p^4$$

$$Q_c = 0,7 \cdot (1,6 \cdot 2,5 \cdot A + 0,04 \cdot p^3 + 0,8 \cdot p^4)$$

$$Q_{tc} = 0,7 \cdot (0,04 \cdot p^3 + 0,8 \cdot p^4)$$

vérification de la condition :

à l'ELU : $-Q_{tu}/1,4 < 1,35G + 1,5Q < Q_u/1,4$

$$-2,37 \cdot p < 0,275 < 2,85 \cdot A + 2,37 \cdot p$$

on prend : $L = 0,1$, $l = 0,1$.

$$-0,401 < 0,275 < 0,501$$

condition vérifiée

à l'ELS : $0 < G + Q < Q_c / 1,4$

$$0 < 0,19306 < 1,99 \cdot A + 1,66 \cdot p$$

$$0 < 0,19306 < 0,349$$

condition vérifiée

vérification de la résistance de la fondation :

contrainte admissible : $0,3 \cdot f_c = 6 \text{ Mpa (béton)}$

Donc : $s = N / A = 0,11 < 6$

condition vérifiée

vérification du tassement :

tassement = $(\text{charge} / E \cdot A) \cdot L$
 $= 0,06 \text{ mm} < 1 \text{ mm}$

vérifiée

IV Etude thermique

1 Principe de vérification de la consommation de la maison

Le principe de la maison passive est basé sur une orientation bien choisie et un bon dimensionnement des fenêtres afin de maximiser les apports de rayonnement solaire qui est une source passive d'énergie. De même, les déperditions internes de l'habitat doivent être réduites à son minimum par le choix d'une isolation des plus performantes.

Les résultats de contrôle de la passivité de l'habitat sont divisés en 2 critères :

- Le besoin de chauffage
- Le taux de surchauffe estivale

Besoins de chauffage :

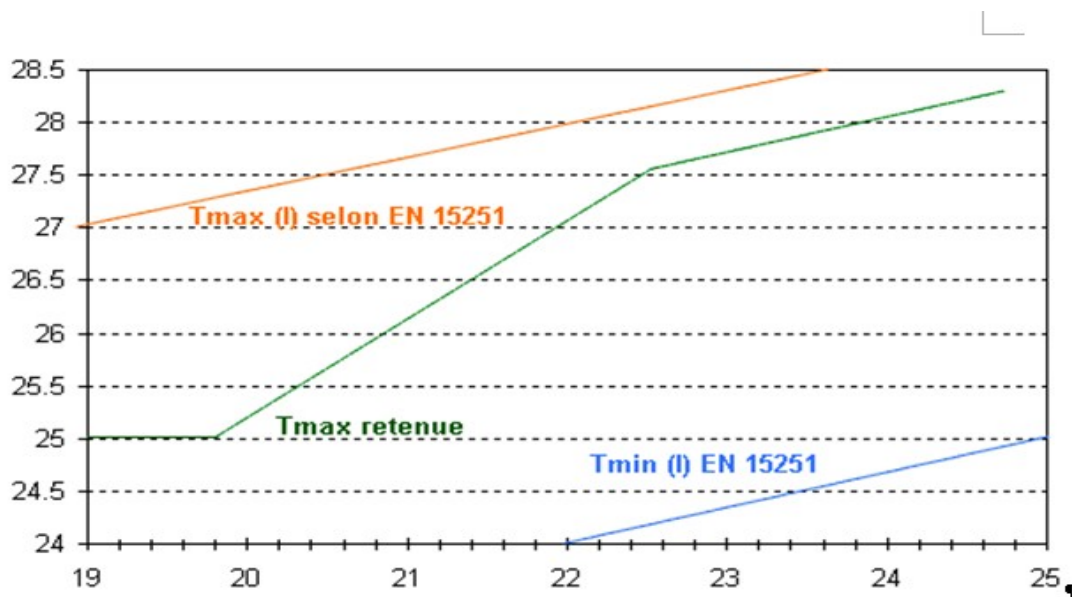
- ils sont exprimés en kWh par m² et par an
- le kWh correspond à un besoin de chaleur nécessaire sur la saison de chauffe pour atteindre la température désirée. Il ne présume pas du rendement des éventuels appareils de chauffage ni du coefficient de transformation en énergie primaire.
- les m² correspondent à la surface de référence énergétique au sens du label allemand, ce qui est assez voisin de la notion de surface habitable "loi Carrez".

Légende des icônes :

- ┌
-  besoins ≤ 9 kWh/m².an. Le critère passif est largement respecté, possibilité de sous dimensionner la qualité du bâti et des équipements. ¶
 -  besoins ≤ 15 kWh/m².an. Le critère passif est respecté et permet de d'affranchir d'un système de chauffage classique. ¶
 -  besoins ≤ 30 kWh/m².an. Le critère passif n'est pas respecté, mais la maison reste assez peu énergivore. En cas d'absence de système de chauffage automatique, l'utilisation d'un chauffage au bois bûches comme unique système reste possible avec un nombre de chargements réduit. ¶
 -  besoins > 30 kWh/m².an. Le critère passif n'est pas respecté, maison se rapprochant des consommations conventionnelles. ¶
- └

Taux de surchauffe estivale :

- Il correspond à la part de temps en % pendant laquelle la température du logement est supérieure à la température maximale de confort. Pour nos calculs, nous avons considéré qu'il n'y a pas d'inconfort dès lors que la température extérieure instantanée est inférieure à la température maximale de confort (possibilité d'aération immédiate).
- Le label PHPP définit une température maximale de confort de 25° ce qui est pertinent pour les régions septentrionales mais pas pour les régions méditerranéennes.
- Dans le cas de locaux non climatisés, l'article A.2 de la norme NF EN 15251, donne en fonction d'une température extérieure en moyenne glissante, des limites de température intérieure recommandées, sans préciser toutefois de recommandations associées en terme de protections solaires et d'aération. Cette norme présente l'avantage d'introduire la notion d'adaptation de l'être humain à la chaleur et donc de définir une température maximale de confort dépendant de la température extérieure moyenne en été.
- Pour calculer le taux d'inconfort, nous avons utilisé la courbe verte ci-dessous. Les températures exactes pour chaque ville ont été ensuite ajustées pour limiter les écarts types en fonction de la précision des données météorologiques.



Températures intérieures de confort en fonction de la température extérieure moyenne

Légende des icônes

-  taux d'inconfort $\leq 5\%$ □ Maison très confortable en été, dans la ville considérée ¶
-  taux d'inconfort $< 10\%$ □ Maison qui reste fraîche l'été, dans la ville considérée ¶
-  taux d'inconfort $< 13\%$ □ Confort d'été qui reste acceptable hors été caniculaires et à condition de prévoir des dispositions d'ombrages (p.ex. arbres caducs placés au sud-ouest de la maison). ¶
-  taux d'inconfort $\geq 13\%$ □ Système constructif non adapté au climat estival du lieu de construction. ¶

2– Etude thermique de la maison :

La détermination du critère passif peut être évalué à l'aide de plusieurs logiciels :

- **Pléiades+Comfie** à travers une simulation dynamique
- **PHPP** : logiciel officiel de certification des maisons passives en Allemagne

Nous avons donc sélectionné Pléiades+Comfie pour cette étude car ce logiciel permet d'intégrer tous les scénarios d'utilisation avec la plus grande souplesse possible et que le moteur Comfie est robuste pour les calculs.

De plus, la suite logicielle intègre un simulateur de fichiers météo qui permet d'ajouter des stations météo avec uniquement des données de températures et d'ensoleillement mensuels (contrairement à PHPP).

Pour vérifier que les résultats donnés par Pléiades + Comfie étaient corrects, nous aurions voulu pouvoir modéliser notre maison également avec le logiciel PHPP. Cependant ne disposant que de la version d'essai 2007 de PHPP, il nous a été impossible de réaliser cette vérification.

A. Simulation sous Pléiades :

Premièrement il nous fallu modéliser la maison à l'aide du logiciel Alcyone. Hormis le désir d'accorder la plus grande rigueur à cette modélisation, certains aspects ont dus être négligé.

- Le plancher intermédiaire est composé de différents solives entre lesquels est disposé de la laine de roche et une lame d'air réservée au passage des gaines techniques. Or Pléiade ne peut reconnaître cet assemblage car il détecte 2 isolants dans la paroi. La lame d'air a donc été retirée de la modélisation.
- La maison se situant dans la région Toulousaine, nous nous sommes donc appuyé sur les données climatiques de la ville d'Agen.
- De même certaines vitres sont situées sur des murs intérieurs de la bâtisse. Elles n'ont pu être représentées. L'apport d'énergie solaire normalement acquis est donc réduit dans le modèle.

Le scénario de calcul est tel à avoir une température au sein de la maison en journée de 20°C, en permanence tout au long de l'année. En considérant uniquement cette donnée de simulation avec le modèle créé, l'apport énergétique est donc majoré.

La maison ne consomme que peu d'énergie < à 15kWh par m² par an tout en respectant les conditions de confort. La maison peut donc être considérée passive.

(voir rapport Pléiades en annexe)

B. Vérification avec PHPP :

Le succès du concept Passivhaus a poussé le PHI (PassivHaus Institut) à développer un outil simple permettant de valider la conformité d'un projet par rapport aux contraintes du label. Cet outil est basé sur le logiciel Excel et se nomme *PHPP (PassivHaus Projektierungs Paket ou Passive House Planning Package)*.

Avant la création du *PHPP*, le seul moyen de prévoir la future conformité d'une construction était de faire une simulation dynamique. L'approche simplifiée de cet outil a été validée par des simulations dynamiques et a été affinée avec des mesures sur site, notamment avec le projet *CEPHEUS*.

Pour avoir la certification *Passivhaus* il faut fournir la totalité des feuilles de calcul du *PHPP*, les plans de construction, les plans des réseaux d'eau et de ventilation et des plans détaillés des ponts thermiques. Une fois la construction du bâtiment achevée, il faut effectuer la mesure d'étanchéité conformément à la norme DIN EN 13829.

Cet outil est aussi une aide à la conception de bâtiment à très faible consommation d'énergie, on peut rapidement voir l'influence d'un paramètre sur la consommation global et ainsi le modifier afin d'atteindre les objectifs fixés.

Il nous a pas été possible de se procurer une licence du logiciel donc nous avons utilisé la version d'essai 2007. Celle-ci ne nous pas permis de réaliser la vérification.

On a donc bien vérifiée que notre maison était passive au sens du label Passivhaus.

Conclusion

Nous sommes tous conscient qu'aujourd'hui, les constructions traditionnelles restent moins chères au niveau de l'investissement. Cependant, nous construisons nos maisons pour une durée de vie d'environ 50 ans, il est donc important de se poser les bonnes questions, notamment en matière énergétique, pour cela, il faut se demander combien coûtera le bâtiment que nous construisons lors de son fonctionnement.

La maison étudiée est en ossature plate forme, ce système de construction est constitué de panneau en bois à l'intérieur duquel en place un isolant. Ce système nouveau et économique permet d'obtenir de construire des maisons passives au prix de maisons traditionnelles. De plus, nous avons rajouté à cette forte isolation, une réflexion bioclimatique qui nous permet d'optimiser les apports naturels de chaleur.

Pour conclure sur l'habitat passif nous avons réalisé un comparatif entre notre maison écologique bois et une maison conventionnelle de même section c'est à dire 2650 m² afin de voir l'investissement engendré par notre maison passive et en retour les économies réalisées par cette maison. Si on tient compte de la main d'oeuvre on a :

	<i>MAISON CONVENTIONNELLE</i>	<i>MAISON TRES BASSE CONSOMMATION</i>
<i>COURT TERME</i>		
<i>CONSTRUCTION 260 m²</i>	<i>408 571 € TTC</i>	<i>429 000€ TTC</i>
<i>LONG TERME</i>		
<i>FINANCEMENT</i>	<i>Prêt immobilier</i>	<i>Prêt écologique, Crédits d'impôts, Subvention du Conseil Général.</i>
<i>Chauffage</i>	<i>5 126 €/an (moyenne)</i>	<i>1 785€/an (estimation)</i>
<i>Coût Totale sur 10 ans</i>	<i>459 831€</i>	<i>446 850€</i>

On constate que l'investissement de départ est remboursé en moins de 10ans.. Il y a quand même un surcoût qui se situe en amont de la construction au niveau des études. Mais ce surcoût est très rapidement amorti..

La maison passive permet donc de préserver l'environnement en limitant les apports de CO₂, mais aussi une économie importante à long terme.

ANNEXES

