Catherine **Charlot-Valdieu** | Philippe **Outrequin**

LA MAISON PASSIVE

MAISONS INDIVIDUELLES PASSIVES

CONCEVOIR, CONSTRUIRE ET RÉHABILITER

EDITIONS LE MONITEUR

Sommaire

Maisons individuelles et transition énergétique 9

Les maisons individuelles dans le secteur de la construction 9

La place des architectes et des différents acteurs dans le marché de la maison individuelle 9

Les enjeux de la transition écologique pour les maisons individuelles 11

La maison individuelle dans la transition écologique : un oxymore ? 12

Un besoin de clarification sur le standard passif 12

Partie I
Définitions et contexte

1. Qu'est-ce qu'une maison passive ? 17

1.1 Une origine française : le bioclimatisme 17

1.2 La démarche et les indicateurs clés du passif 18

1.3 Maison passive et maison à énergie positive 21

1.4 Maison passive et maison autonome en énergie 22

2. Les différents labels 25

2.1 Les labels de La Maison Passive France 25

2.2 Le label Maison Passive de la FFCP 42

2.3 Le label suisse Minergie® 42

2.4 Le référentiel E+C– et la réglementation Bâtiment Responsable 2020 49

2.5 Les labels BEPOS effinergie 2017 et BEPOS+ effinergie 2017 49

2.6 Des maisons passives avec trois labels : Minergie P, BBC-effinergie et Bâtiment Passif 51

Partie II
Les atouts des maisons passives

3. Du confort partout dans la maison 63

3.1 Qu'est-ce que le confort d'ambiance ? 63

3.2 Les mesures du confort thermique 63

3.3 Le confort d'été dans les maisons passives 65

3.4 Le confort acoustique dans les maisons passives 66

3.5 Une résidence secondaire à 950 mètres d'altitude 67

4. La qualité sanitaire et des ambiances intérieures 73

4.1 Les éléments de la qualité sanitaire et des ambiances intérieures 73

4.2 Une démarche expérimentale 75

4.3 Une stratégie d'actions pour tous les acteurs de la maison 78

5. Des consommations et des dépenses d'énergie réduites au minimum 79

5.1 Une très faible consommation d'énergie 79

5.2 L'absence de ponts thermiques 79

5.3 L'amélioration du reste-à-vivre des ménages et la prévention de la précarité énergétique 83

5.4 Une réhabilitation-extension en autoconstruction d'une maison en ossature bois et paille au standard du passif neuf 87

5.5 Une maison à énergie positive avec 4 studios en location pour le montage financier 93

5.6 L'extension passive d'une maison passive avec isolation en paille 96

6. Une réduction de l'empreinte environnementale 99

6.1 L'analyse de cycle de vie (ACV) 99
6.2 Le label Bâtiment Biosourcé 101
6.3 La production d'énergie renouvelable et les maisons autonomes ou à énergie positive 102

Partie III
De la conception à la vie dans les maisons passives

7. Le rôle des acteurs 111

7.1 Les acteurs clés de l'aménagement : collectivités et aménageurs 111
7.2 Les maîtres d'ouvrage ou particuliers qui veulent (faire) construire ou réhabiliter en passif 117
7.3 Les architectes et maîtres d'œuvre 126
7.4 Les ingénieurs en physique du bâtiment (BET thermiques) 134
7.5 Des artisans et constructeurs qui ont fait le choix du passif 136
7.6 Des bailleurs sociaux 138
7.7 La promotion immobilière 144
7.8 Co-conception et co-construction : la démarche collaborative architecte-thermicien 144

8. La gestion des contraintes de terrain, des ABF et du PLU 149

8.1 Le passif face aux contraintes de terrain 149
8.2 Les exigences des ABF 155
8.3 Les exigences du PLU ou du lotissement 166

9. Comment construire ou réhabiliter en passif ? 175

9.1 L'enveloppe : systèmes constructifs sans pont thermique 175
9.2 Les isolants 188
9.3 Les menuiseries extérieures et les BSO 195
9.4 La ventilation double flux 196
9.5 Le puits canadien 197
9.6 Le chauffage d'appoint 199
9.7 L'eau chaude sanitaire (ECS) 200
9.8 Les autres équipements et la qualité environnementale 200
9.9 La gestion technique du bâtiment (GTB) 201
9.10 L'incontournable savoir-faire sur le chantier 201

Partie IV
Autres exemples de maisons passives

MI 01 Une maison bioclimatique qui suit la courbe du soleil – Gif-sur-Yvette 209

MI 02 Une maison passive et à énergie positive dans un lotissement – Blangy 219

MI 03 Une maison en matériaux biosourcés avec une partie en autoconstruction – Bruz 227

MI 04 Une maison écologique en milieu rural sur un terrain en pente – Ancy 235

MI 05 Une maison bioclimatique en matériaux biosourcés – Le Cheix 245

MI 06 Cinq exemples de maison en ossature bois d'un constructeur alsacien 253

1. Une maison témoin et laboratoire : la Maison Chloé, premier bâtiment certifié Passif Plus en France 253
2. Une maison à toiture deux pans 257
3. Une maison à modénature complexe 259
4. Une maison contemporaine 260
5. Une maison dans un lotissement 262

MI 07 Une maison passive en 2010 devenue à énergie positive en 2017 – Hauville 265

MI 08 Une maison contrainte par les règlements d'urbanisme (lotissement, ZAC et PLU) – Laillé 273

MI 09 Une maison de plain-pied en panneaux OSB préfabriqués vitrine d'un constructeur – Lodes 285

MI 10 Deux maisons en ossature bois mitoyennes mais différentes en PACA – Rousset 291

MI 11 Une maison contemporaine préfabriquée sur un terrain difficile d'accès – Andresy 303

MI 12 Une maison provençale à énergie positive – Solliès-Pont 317

MI 13 Une maison basque dans un lotissement – Arcangues 329

MI 14 Une maison contemporaine en maçonnerie d'un constructeur de Nouvelle-Aquitaine – Niort 337

MI 15 Un projet de 18 maisons réalisées pour l'accession aidée – Saint-Étienne 345

MI 16 La domotique au service de la première maison certifiée en PACA – Carros 353

MI 17 Une auto-construction en terre cuite – Blanzy 365

MI 18 Une réhabilitation EnerPHit en ossature bois et paille – Olonne-sur-Mer 375

MI 19 Une rénovation-extension d'une maison des années 1950 – Romans-sur-Isère 383

Pourquoi construire ou réhabiliter en passif et promouvoir le passif ? 393

Pourquoi construire et réhabiliter en passif ? 393

Proposition de financement pour les travaux de réhabilitation 394

Pourquoi promouvoir le passif et favoriser son développement ? 396

« Le passif s'impose comme l'enjeu de demain » (OPECST) 399

Maisons individuelles et transition énergétique

LES MAISONS INDIVIDUELLES DANS LE SECTEUR DE LA CONSTRUCTION

Chaque année, en France, se construisent environ 180 000 maisons individuelles : 130 000 maisons individuelles non mitoyennes et 50 000 maisons individuelles groupées. Cela représente 42 % de la construction neuve. Le nombre de maisons individuelles groupées (souvent des logements sociaux ou en accession sociale) est stable dans le temps tandis que le nombre de maisons individuelles non mitoyennes a fluctué et est en baisse par rapport à l'année 2000 (fig. I.1).

LA PLACE DES ARCHITECTES ET DES DIFFÉRENTS ACTEURS DANS LE MARCHÉ DE LA MAISON INDIVIDUELLE

Une majorité de maisons de constructeur

La maîtrise d'œuvre des maisons individuelles est essentiellement réalisée par les constructeurs de maisons individuelles (62 % du marché en 2017), loin devant les particuliers (21 %), les entrepreneurs (entreprises de construction) et les artisans (9 %), et enfin les architectes qui ne représentent que 5 % du marché des maisons individuelles neuves (tab. I.1).

Des coûts variables en fonction du type de maître d'œuvre

Le prix moyen des maisons varie selon le type de maître d'œuvre : de 1 286 €/m² lorsque le particulier coordonne lui-même les travaux jusqu'à 1 701 €/m² lorsqu'il s'agit d'un architecte (tab. I.1).

Il s'agit donc de comparer ce qui est comparable. La maison de constructeur bénéficie d'un effet de masse conduisant à des réductions importantes sur le coût des matériaux – ceux-ci étant prépondérants dans le coût total d'une maison. Il en est de même avec les maisons construites par des entrepreneurs ou artisans.

Les projets des architectes correspondent davantage à des demandes spécifiques et à des projets uniques, avec des coûts très variables et qui peuvent diminuer si une part des travaux est réalisée par le particulier. On remarque que **25 % des projets avec architecte se situent dans la moyenne, tout profil confondu, des coûts de construction**[1].

Des niveaux de finition très variables

Seules 35 % des maisons sont vendues totalement terminées. Pour 58 % d'entre elles, elles sont prêtes à décorer et 7 % sont livrées au stade du clos couvert. Cela fait apparaître des différences de prix assez importantes (tab. I.2).

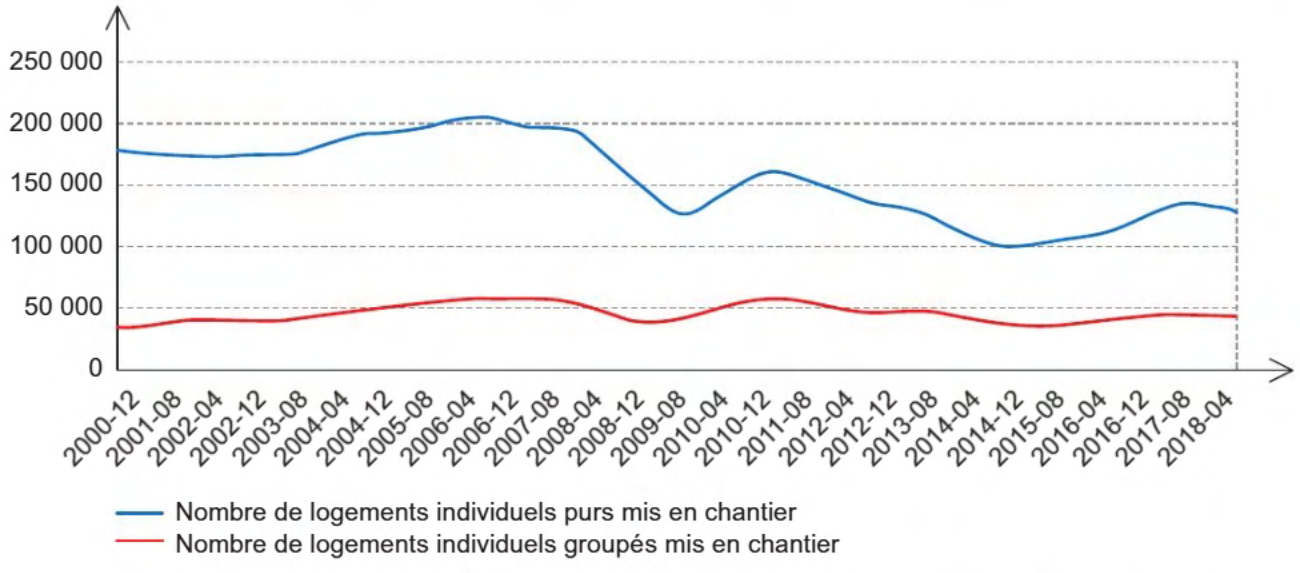


Fig. I.1 Nombre de maisons individuelles mises en chantier de 2000 à 2018 Source : Insee

Tab. I.1 Coût de construction des maisons individuelles selon le type de maître d'œuvre*
Source : SDES, Enquête sur le prix des terrains à bâtir ou EPTB 2017, datalab (CGEDD, octobre 2018)

Maître d'œuvre**	Part des réalisations en 2017 (en %)	Coût de construction (en € TTC /m² de surface de plancher)				Surface moyenne de plancher (en m²)
		Moyenne	1er quartile	Médiane	3e quartile	
Architecte	5	1 701	1 379	1 648	2 000	144 m²
Constructeur de maisons individuelles	62	1 395	1 199	1 344	1 533	113 m²
Entrepreneur ou artisan	9	1 428	1 174	1 372	1 620	122 m²
Particulier lui-même	21	1 286	1 007	1 250	1 515	129 m²
Autre cas (maison communale, du curé, etc.)	3	1 465	1 237	1 398	1 624	125 m²
Tous maîtres d'œuvre	**100**	**1 392**	**1 172**	**1 342**	**1 559**	**119 m²**

* Permis délivrés pour la France en 2017 pour la construction d'une maison individuelle sur un terrain qu'il soit acheté ou non.
** Pour lire le tableau : le prix des maisons coordonnées par un architecte est inférieur à 1 379 euros/m² dans 25 % des cas (1er quartile) et supérieur à 2 000 €/m² dans 25 % des cas. Prix TTC hors frais de notaire et d'agence.

Tab. I.2 Coût des maisons individuelles en fonction de leur degré de finition
Source : SDES, EPTB 2017

Degré de finition	Part des réalisations en 2017 (en %)	Coût des maisons (en € TTC / m² de surface de plancher)			
		Moyenne	1er quartile	Médiane	3e quartile
Totalement terminé	35	1 473	1 200	1 413	1 678
Prêt à décorer	58	1 360	1 173	1 321	1 507
Clos et couvert	7	1 224	1 018	1 235	1 444
Toutes maisons	**100**	**1 392**	**1 172**	**1 342**	**1 559**

La diversité des modalités de construction souligne que **la comparaison du coût d'une maison passive avec une maison conventionnelle (RT 2012) n'a pas de sens.** Il est préférable de parler de surcoût en prenant en compte les coûts supplémentaires que requiert la construction d'une maison passive mais aussi les économies faites sur certains systèmes techniques. Celles-ci apparaîtront aussi lors de l'entretien et du renouvellement des équipements (chaudière par exemple pour les maisons RT 2012) et évidemment lors de l'exploitation pour le chauffage de la maison.

De grandes variations de coût

De grandes variations de coût sont observables autour de ces moyennes **du fait de la technicité, des contraintes de sol, des choix de matériaux, etc.**
La forme, le nombre de niveaux [2], la présence ou non d'un garage, d'un sous-sol, la qualité du terrain (stabilité, pente), les contraintes urbanistiques (type de toiture, hauteur de faîtage…) vont influencer le coût du clos-couvert indépendamment des choix issus de la volonté de construire en passif.
La maçonnerie (parpaings) coûte aussi moins cher que les constructions en structure et ossature bois, en bloc coffrant isolant ou encore en béton cellulaire. L'enduit coûte aussi moins cher que le bardage, etc.
Les prix moyens des maisons tendent aussi à augmenter dans les grandes agglomérations et notamment en région parisienne. Ils sont plus faibles en zone rurale (fig. I.2). Ces différences s'expliquent notamment par le coût plus élevé des salaires (artisans et entreprises) et des matériaux en région parisienne et dans les grandes agglomérations.

Les choix énergétiques

21 % des maisons construites en 2017 sont pourvues d'un chauffage « tout électrique » et 12 % d'un chauffage au gaz. Les énergies renouvelables (bois, pompe à chaleur, solaire thermique), seules ou combinées entre elles, ont été choisies dans 34,8 % des projets. En prenant en compte les cas où elles sont associées à un autre mode de chauffage non renouvelable, les énergies renouvelables sont présentes dans plus d'un projet de construction de maison individuelle sur deux (53 %). Cette part ne représentait qu'un tiers des projets en 2012[3].
Les maisons chauffées à l'électricité restent légèrement plus accessibles : en moyenne 1 360 €/m², contre 1 413 €/m² pour un chauffage par énergies renouvelables seules ou

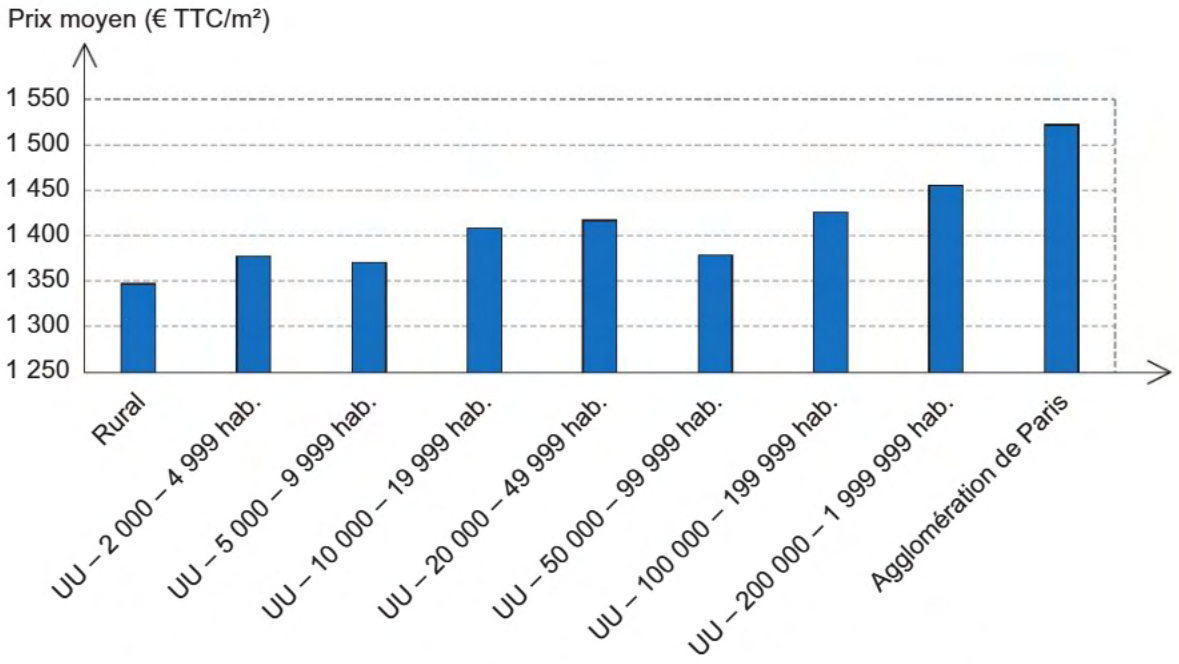


Fig. I.2 Prix moyen des maisons selon la taille des unités urbaines (UU)
Source : SDES, EPTB 2017

combinées entre elles et 1 398 €/m² pour un chauffage au gaz.
Selon le bureau d'études thermiques ETC de Grand Quevilly (Normandie), la tendance la plus forte du marché est aujourd'hui le développement de la pompe à chaleur élec - trique air/eau, suivie du poêle à granulés de bois, ce dernier s'étant fortement développé avec la RT 2012 qui a adopté une convention de calcul favorable à ce mode de chauffage.

En 2017, seulement 5 % des maisons individuelles construites ont un label énergétique certifiant une performance énergétique supérieure à celle exigée par la réglementation thermique 2012 (RT 2012) : la part varie de 3 % en Corse à 6 % en Bretagne (maisons passives, à énergie positive, HPE ou THPE - effinergie+). Ces maisons à haute performance énergétique ne représentent aujourd'hui qu'un marché de 6 000 à 7 000 unités, alors qu'elles devraient devenir la norme à compter de 2020 (compte tenu des engagements des pouvoirs publics pour 2020).

LES ENJEUX DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE POUR LES MAISONS INDIVIDUELLES

Le parc de logements en France métropolitaine comprend 28,6 millions de résidences principales dont 16,2 millions de maisons individuelles.
35 % des maisons se situent en zone rurale, 37 % dans des zones urbaines de moins de 100 000 habitants et 28 % dans les zones urbaines de plus de 100 000 habitants (dont Paris)[4].

La dépense énergétique des ménages vivant en maisons individuelles est de l'ordre de 1 870 €/an, soit une consommation en énergie finale de 20,9 MWh[5].

Le niveau de consommation varie selon la taille de la maison, les maisons de grande taille ayant une plus grande compacité (§ 9.1.2) et souvent une plus grande surface de vie par habitant (tab. I.3).

Tab. I.3 Consommation d'énergie des maisons selon leur superficie
Source : SoeS, enquête Phébus 2013

Surface du logement	Énergie moyenne consommée	
	en MWh énergie finale	en kWh énergie finale par m²
70 m² ou moins	14,25	267
Plus de 70 m² à moins de 100 m²	18,22	209
100 m² à moins de 150 m²	22,42	186
150 m² et plus	30,80	151
Ensemble	20,93	198

Ces ratios moyens doivent aussi être traduits en fonction de la période d'achèvement : **les logements issus de la RT 2005 consommant en moyenne 140 kWh/m² contre 200 kWh pour les logements achevés avant 1970** (tous logements confondus, y compris appartements avec

UNE DES PREMIÈRES MAISONS AVEC LE LABEL BÂTIMENT PASSIF EN FRANCE : LA MAISON BAMBOU À BESSANCOURT

La Maison Bambou située à Bessancourt (95) et conçue par l'agence Karawitz est une des premières maisons certifiées passive en France (2009) et la première en Île-de-France.

L'agence Karawitz a été créée en 2006 à Paris par des pionniers de l'architecture bioclimatique qui se sont rencontrés à l'université technique de Vienne : une architecte d'origine bulgare, Milena KARAnesheva, et un architecte d'origine autrichienne, Mischa WITZmann.*



Photo 2.2 La Maison Bambou Crédit photo : Agence Karawitz

Maître d'ouvrage : privé (Milena Karanesheva)

Année de livraison : 2009

Mission de maîtrise d'œuvre complète : Agence Karawitz

Physique et thermique du bâtiment : Agence Karawitz

Ingénierie bois (structure) : Perspective Bois

Surface habitable : 161 m²

Surface du terrain : 600 m²

Distinction : label Bâtiment Passif en 2009 (n° ID 1125)

Performance énergétique (méthode de calcul PHPP) :
Besoin de chaleur pour le chauffage : 11 kWh/(m².an)
Puissance de chauffe : 13 W/m²
Consommation d'énergie primaire (tous usages) : 90 kWhep/(m².an)
Étanchéité à l'air : n50 = 0,48 vol/h

Cette maison respecte le standard passif mais aussi tout un ensemble de contraintes topographiques et réglementaires : proximité de monuments historiques qui impose l'accord de l'architecte des bâtiments de France (ABF)**, servitude d'écoulement des eaux pluviales, éloignement de la voie publique et étroitesse de la parcelle qui limitent la surface constructible et réduisent la possibilité d'ouvrir des vues. La parcelle étant orientée nord-sud, la maison se situe près de la limite séparative au nord, s'ouvrant sur le jardin situé au sud.

La maison repose sur une dalle en béton de 18 cm d'épaisseur sur vide sanitaire, isolée avec 200 mm de PSE ayant un coefficient U = 0,17 W/(m².K) et une couche de laine de bois pour l'isolation phonique.

Elle est de forme rectangulaire et à ossature bois avec un bardage en bambou. Au nord, se trouvent les salles d'eau, le local technique et les circulations, et ,au sud, les pièces principales (salon, séjour, salon de musique et chambres). Une bande de rangements d'une épaisseur de 60 cm sépare les deux zones et permet le passage de tous les fluides. La maison ne comporte ni sous-sol, ni cave, ni garage.

Les murs de façade sont en ossature bois (Pavatex Isotherm KN) avec 240 mm de ouate de cellulose et 35 mm de laine de bois (U = 0,14). La toiture est aussi en panneaux de bois (Pavatex Isotherm KN) avec 300 mm de ouate insufflée (U = 0,13).

Les menuiseries extérieures sont en triple vitrage avec argon (Optiwin, U_w = 0,8) et la porte d'entrée est certifiée passive (U_d = 0,8). Des volets coulissants en accordéon sur la façade sud permettent le confort d'été.

Le chauffage, l'ECS et la ventilation sont assurés par un système combiné 3 en 1 (Genvex Combi 185) comprenant une pompe à chaleur air/air située entre l'entrée et la sortie de la centrale d'air (double flux) qui alimente le ballon d'eau chaude. Celui-ci est préchauffé par des panneaux solaires thermiques.

La consommation réelle d'énergie de cette maison est de l'ordre de 4 600 kWh d'électricité par an, soit une consommation d'énergie primaire de 78,9 kWhep/(m².an), soit 34 % de mieux que le seuil du standard passif (120 kWhep/m²).

Les panneaux photovoltaïques ont une production annuelle est de l'ordre de 3 200 kWh.

---

* Voir également la maison de Marly-le-Roi (§ 8.3.2).

** L'ABF ne comprenait pas la façade en bambou ajourée et demandait de la modifier sans dire comment. En plus, il demandait que les panneaux solaires soient intégrés et à fleur en toiture. Finalement il a renoncé à ses exigences.

Ce livre présente de nombreux schémas de détail, non pas pour la beauté du dessin mais pour insister auprès des maîtres d'ouvrage sur la nécessité de demander à leur maîtrise d'œuvre des analyses fines des liaisons entre les composants du bâtiment et ceci quel que soit l'objectif de performance énergétique car il en va de la pérennité de l'ouvrage.

En France, les premières maisons individuelles qui ont obtenu le label Bâtiment Passif furent :

- en 2007, une maison avec 2 logements à Formeries (n° ID 1111) construite par **Les Airelles** (§ 7.5.) et une maison à **Tourmignies** (§ 5.6) (n° ID 3925) récemment agrandie, toujours au standard passif ;
- en 2008 : 3 maisons à Faulx en Lorraine (n° ID 1127), une autre à **Blangy-Tronville** MI 02 (n° ID 1262) construite par Les Airelles et la troisième à Amiens (n° ID 1263, également construite par Les Airelles) ;
- en 2009 : 6 maisons à La Chapelle-en-Auvergne, Aix-les-Bains (n° ID 1170), Chanteloup-les-Vignes (gîte urbain, n° ID 1197), Urmatt (n° ID 1471) et 2 maisons présentées dans cet ouvrage : la maison de **Bessancourt** (§ 2.1.1) et celle de **Carros** MI 16.

2.1.2 Le label Bâtiment Passif BaSE

Pour les maisons dont le besoin en énergie est compris entre 15 et 25 kWh/m².an, l'Institut Passivhaus a créé récemment le label Bâtiment Passif BaSE (Bâtiment sobre en énergie) ; raison pour laquelle le label Bâtiment Passif a été qualifié de « classique ». Ce label Bâtiment Passif BaSE est aussi délivré par La Maison Passive en France.
Parmi les maisons présentées dans cet ouvrage, seule **la maison de Hombourg** MI 06 a le label BaSE (ainsi que le label de la FFCP, *cf.* § 2.2).

2.1.3 Les labels Bâtiment Passif Premium et Bâtiment Passif Plus pour l'intégration des énergies renouvelables

La transition énergétique exige une réduction drastique des consommations d'énergie qui passe en premier lieu par l'efficacité accrue de l'enveloppe des bâtiments mais qui s'accompagne d'une substitution des énergies fossiles et/ou non renouvelables par les énergies renouvelables.

Le PHI propose, à côté du label Classique, deux nouveaux labels Premium et Plus, lesquels affichent des consommations d'énergie primaire inférieures à celles du label Passivhaus classique et une production d'énergie renouvelable :

- le label Bâtiment Passif Plus équilibre la consommation d'énergie et la production d'énergie renouvelable ;
- le label Bâtiment Passif Premium envisage une production d'énergie renouvelable supérieure à la consommation d'énergie.

Le PHI se projette dès maintenant dans un scénario futur d'approvisionnement de l'énergie reposant sur une électricité entièrement d'origine renouvelable (si l'on suppose une durée de vie de 100 ans pour ces bâtiments, l'approvisionnement 100 % renouvelable pourrait être assuré bien avant la « mi-vie »). Le PHI suppose donc dans son calcul la suppression totale du nucléaire et des productions d'électricité d'origine fossile.
Le calcul de la consommation d'énergie primaire s'appuie sur une nouvelle notion : **l'énergie primaire renouvelable** ou **Ep-R**.

L'ÉNERGIE PRIMAIRE RENOUVELABLE (Ep-R)

L'énergie primaire (Ep) est l'énergie qu'il a fallu produire pour fournir l'énergie à l'usager final. Pour la production d'électricité, les pertes de rendement à la production puis dans le réseau ont amené à estimer que 1 kWh d'énergie finale facturée au consommateur exigeait 2,58 kWh d'énergie primaire, compte tenu du mix énergétique français.
L'Ep-R repose sur l'idée qu'un bâtiment construit aujourd'hui sera encore en usage d'ici la fin du siècle et que, par conséquent, l'énergie primaire nécessaire à la fourniture d'une énergie finale va dépendre du futur mix énergétique, reposant presque essentiellement sur les énergies renouvelables. Les pertes de rendement et de réseau vont dépendre de la distance entre le lieu de production et le lieu de consommations et aussi du décalage entre le moment où l'énergie est produite et celui où elle est consommée.
Elle vise ensuite à pénaliser les énergies fossiles, non renouvelables, du fait de la difficulté croissante de leur exploitation et des risques environnementaux qui y sont liés.
L'Ep-R est donc évaluée à partir de l'énergie finale, en ajoutant les pertes de stockage et les pertes de réseau, et en pondérant les énergies du fait de leur impact environnemental. Le calcul de l'Ep-R distingue aussi les différents usages de l'énergie (chauffage, froid, ECS, usages électrodomestiques) qui s'expriment à différents moments de la journée ou de l'année et dont l'adéquation avec les productions d'énergies renouvelables locales ou distantes, stockables ou non est différente.

Facteur Ep-R = Génération d'énergie renouvelable / Besoin d'énergie finale.

Du fait de la proximité ou non des lieux de production des énergies renouvelables, on pourra observer quelques variations sur les facteurs Ep-R retenus par le PHI.
De façon générale, le système d'évaluation favorise le solaire thermique, la géothermie, l'aérothermie et les énergies fatales (froid résiduel, chaleur résiduelle) qui sont considérés comme des énergies locales et totalement gratuites (comptant pour 0 énergie primaire). Les sources décentralisées de

UNE MAISON À ÉNERGIE POSITIVE AVEC LE LABEL BÂTIMENT PASSIF PLUS



Photo 2.3 Une maison en ossature bois sur une petite parcelle dans un lotissement situé à Saint-Grégoire, une des communes de Rennes Métropole
Crédit photo : Quinze Architecture

Localisation : Saint-Grégoire (Ille-et-Vilaine, 35)
Maître d'ouvrage : privé
Années de construction et de livraison : septembre 2014, novembre 2015
Architecte ou maître d'œuvre : Quinze Architecture
Physique et thermique du bâtiment : Hinoki
Surface habitable : 193 m² (hors garages : 50 m² ; et combles non aménageables : 24 m²)
Surface PHPP (SRE) : 275 m² ; **shon RT** : 258 m²
Surface du terrain : 611 m²
Coût de construction : 482 500 € HT
Coût/m² : 1 755 €/m² SRE
Distinction : label Bâtiment Passif Plus en 2016 (n° ID 4865)

Performance énergétique (méthode de calcul PHPP) :
Besoin de chaleur pour le chauffage : 11 kWh/(m².an)
Puissance de chauffe : 10 W/m²
Consommation d'énergie primaire (tous usages) : 41 kWhep/(m².an)
Étanchéité à l'air : n50 = 0,24 vol/h et Q4 (RT 2012) = 0,05 m³/(h.m²)
Production d'énergies renouvelables : 17 m² de panneaux photovoltaïques (3 kWc)

Contexte et origine du projet

Très au fait de la construction durable, écologique et économe en énergie, le maître d'ouvrage a fait confiance à Quinze Architecture pour réaliser leur maison de famille idéale. Si l'exigence thermique et constructive était un point fort des idéaux de la famille, les attentes architecturales et programmatiques n'en étaient pas moins ambitieuses et contraintes. Le projet devait prioritairement répondre aux besoins du handicap de l'une des personnes du foyer. Le choix du site, en lotissement, proche du centre-ville, répond parfaitement à la nécessité d'un accès en fauteuil roulant à toutes les commodités et services. En revanche les règlements (PLU et règlement du lotissement) ont fait obstacle au projet très contemporain souhaité par la maîtrise d'ouvrage.
Le challenge était alors de réaliser une maison Passivhaus en :

- mettant en œuvre un maximum de matériaux écologiques et sains et de préférence en ossature bois ;
- libérant de grands volumes habitables et des ouvertures afin d'optimiser la luminosité ;
- maintenant l'accessibilité pour personne à mobilité réduite (PMR) ;
- mettant en œuvre des technologies avancées et accessibles aux usages domestiques ;
- poussant les études et les expérimentations techniques et thermiques au plus loin possible ;
- tout en respectant la réglementation en vigueur, et particulièrement celle du lotissement, c'est-à-dire : « *Comment concevoir une maison atypique dans une enveloppe réglementaire des plus traditionnelles ?* ».



Photo 2.6 7 m² de panneaux solaires thermiques et 17 m² de panneaux photovoltaïques sur le toit
Crédit photo : C. Charlot-Valdieu



Photo 2.7 Onduleur et protection photovoltaïque
Crédit photo : Quinze Architecture

Performance énergétique réelle

En trois ans, la consommation moyenne tous usages confondus a été de **moins de 4 000 kWh** (3 968 kWh). En prenant en compte la surface de référence énergétique PHPP (275 m²) ainsi que le facteur de conversion en énergie primaire de l'électricité (2,6 au PHPP), les caractéristiques constructives de cette maison ainsi que le comportement très économe du maître d'ou - vrage aboutissent à une consommation annuelle de **37,5 kWhep/(m².an)**, en dessous des prévisions du PHPP (41 kWhep/(m².an)).
Enfin, d'avril 2017 à avril 2018 (année peu ensoleillée), les panneaux photovoltaïques ont produit 2 385 kWh, soit 22,6 kWhep/(m².an), légèrement en dessous des prévisions : 27 kWhep/(m².an) et ont rapporté 605 € la première année de production.

Santé et confort

Les matériaux intérieurs ont été choisis pour leur faible émission de COV (bois massif, Fermacell, peinture à l'eau à très faible émission de COV).
La maîtrise de la perspirance des parois évite les problèmes de moisissure (il n'y a pas de point de rosée).

Gestion technique de la maison

La domotique est utilisée pour :
– la maîtrise du chauffage suivant l'ensoleillement et la température ;
– la maîtrise de la surchauffe avec contrôle des BSO (photo 2.8) suivant l'ensoleillement et la température (photos 2.9, 2.10 et 2.11) ;
– l'augmentation de la durabilité des BSO (photo 2.12) : sécurisation des BSO suivant la vitesse du vent (ils remontent dans les coffres si le vent dépasse une certaine vitesse).

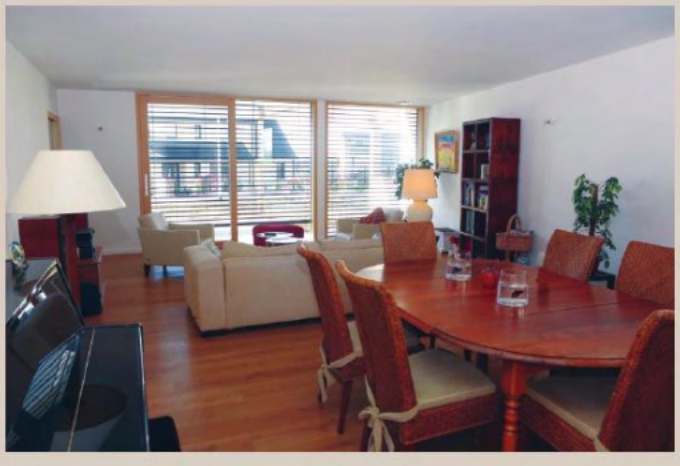




Photo 2.8 Un séjour donnant au sud sur rue avec une grande baie vitrée équipée de BSO
Crédit photos : Quinze Architecture

Cependant la construction passive se veut exigeante et, malgré la vigilance apportée par la maîtrise d'œuvre, l'investissement du maître d'ouvrage, tout au long du projet, reste essentiel afin de limiter au maximum les déconvenues. Nous sommes totalement convaincus que la construction passive répond aux nombreux enjeux et désirs frémissants des générations futures, et les obstacles à la réussite de ce type de projet ne doivent pas représenter un frein aux belles initiatives qui, nous l'espérons, pourraient voir le jour. »

Principaux enseignements – Évolution du métier

« *Sur ce projet aux ambitions écologiques et techniques très poussées, nous avons étudié la faisabilité d'un stockage solaire inter-saisonnier (stockage de l'énergie solaire thermique dans un ballon d'eau chaude très technique et de grande capacité d'environ 10 000 litres).*
D'un point de vue technique et écologique, l'étude était extrêmement satisfaisante (autonomie totale en eau chaude et appoint de chauffage).
En revanche l'équation budgétaire atteignait le non-sens. Très onéreux à l'installation (plus de 30 000 €), l'équilibre technique/écologique/économie était rompu. L'un des principes du Passivhaus poussant le travail de l'enveloppe du bâtiment pour atteindre "l'effet tunnel", c'est-à-dire le seuil de 15 kWh/(m².an) qui permet de se passer des systèmes traditionnels de chauffage et ainsi en économiser le coût d'installation, bien évidemment sans perdre en confort, n'était plus atteint. » (Thomas Bonnin, Quinze Architecture)

2.1.4 Le label EnerPHit en rénovation

La Maison Passive propose avec le *Passivhaus Institut* deux standards de rénovation passive selon que l'isolation thermique se fait par l'extérieur ou qu'une partie se fait nécessairement par l'intérieur.
Pour obtenir le label EnerPHit [8], il est possible de choisir entre une obligation de moyens et une obligation de résultats.

L'obligation de résultats

Sont exigés :

- un besoin de chaleur pour le chauffage $Q_H < 25$ kWh/(m².an) (calculé avec le PHPP) ;
- un besoin en énergie primaire $Q_P \leq 120 + (Q_H - 15) \times 1{,}2$, exprimé en kWh/(m².an). Cette exigence concerne tous les usages à l'intérieur du bâtiment : chauffage, ECS, rafraîchissement, auxiliaires (dont ventilation) et usages électrodomestiques ;
- un test d'étanchéité ≤ 1 vol/heure sous 50 Pa (avec comme valeur cible un coefficient n50 ≤ 0,6 vol/heure) ;
- une fréquence des surchauffes (> 25 °C) ≤ 10 % de la période annuelle.

Il est également nécessaire de respecter un taux d'humidité de l'air a_W inférieur ou égal à 80 %. De même, il est conseillé de poser des châssis de fenêtres certifiés PHI « *composants adaptés à la maison passive* » ainsi que du triple vitrage.



Photo 2.13 Label Bâtiment EnerPHit
Source : La Maison Passive

L'obligation de moyens

L'obligation de moyens est envisagée s'il est impossible de respecter le besoin de chaleur de 25 kWhep/m². Dans ce cas, il est nécessaire de justifier que tous les éléments constructifs pour lesquels il existe des critères de certification passive (PHI) respectent ces critères. Si, pour le cas considéré, il n'existe pas de produit certifié adapté à un bâtiment passif, le maître d'ouvrage devra choisir avec le certificateur le produit qui se rapproche le plus des critères. Les valeurs limites recherchées doivent être respectées en moyenne[10].
La maison d'Olonne-sur-Mer MI 18 est un exemple de projet de réhabilitation-extension labellisé EnerPHit. Il en est de même de la réhabilitation d'un pavillon des années 1970 situé à **Saint-Cyr-au-Mont-d'Or** (Rhône) présenté dans le livre *Réhabilitation énergétique des logements* (Éd. du Moniteur, 2018). Enfin la réhabilitation-extension d'une maison de la périphérie de Rennes présentée ci-après est aussi labellisée EnerPHit.

INTELLO +, relativement ouvert à la vapeur d'eau et hygrovariable pour permettre l'évacuation de l'humidité du mur. La valeur Sd qui mesure la résistance d'un produit à la diffusion de la vapeur d'eau va de 0,25 à 25 m, cette membrane est parfaitement étanche et posée avec les adhésifs adaptés. Les raccords avec la partie murs et planchers non pourvus de frein vapeur sont effectués avec les produits adaptés (bandes spécifiques à enduire). Sur ces parois, ce sont les enduits qui assurent l'étanchéité à l'air. Ils doivent donc être parfaitement continus et homogènes pour ne pas laisser passer d'air.

Les lucarnes sont agrandies et la charpente est surélevée pour isoler dans les meilleures conditions et intégrer toutes les gaines techniques au sein des combles.

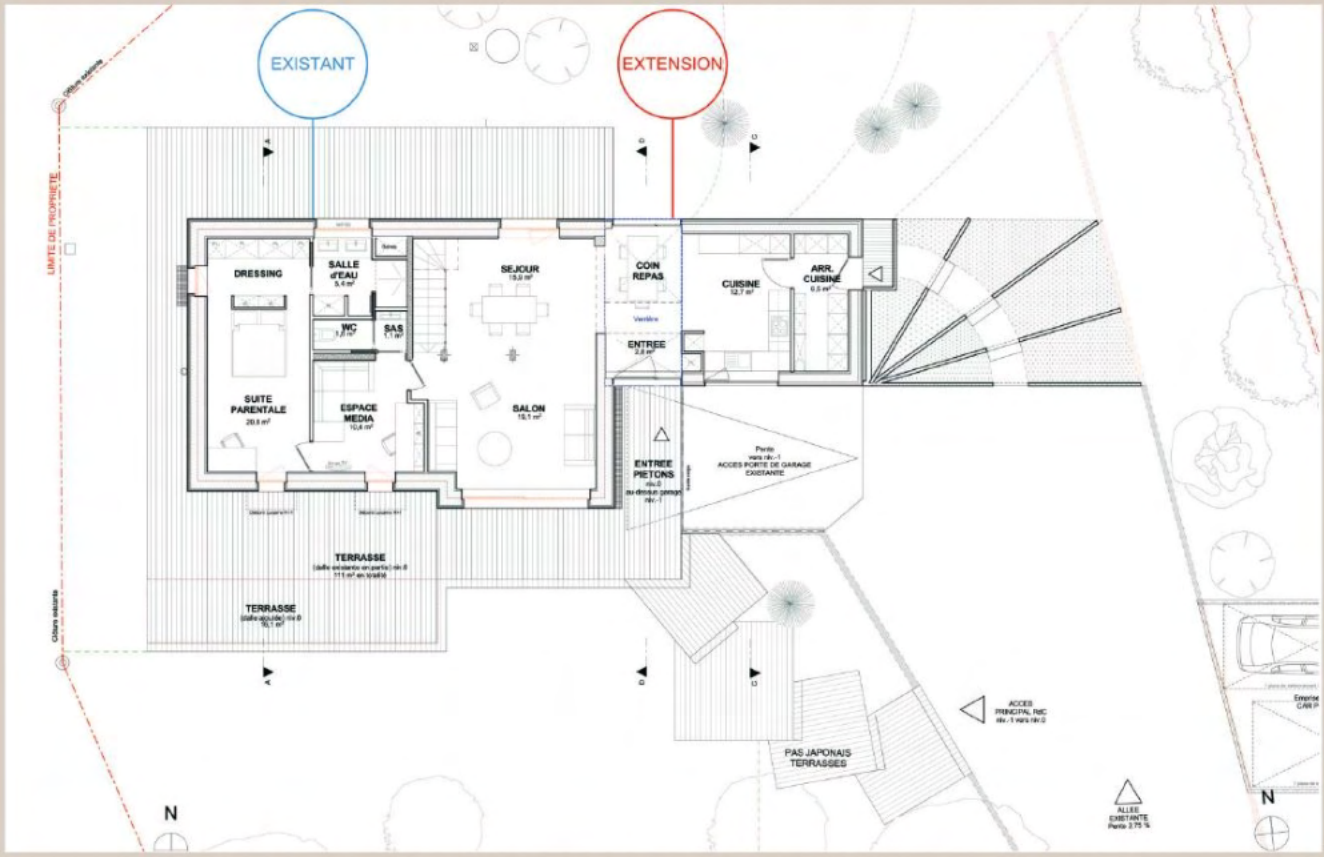


Fig. 2.7 Le rez-de-chaussée comprend un grand séjour traversant, une cuisine, un espace média et une suite parentale Source : Quinze Architecture

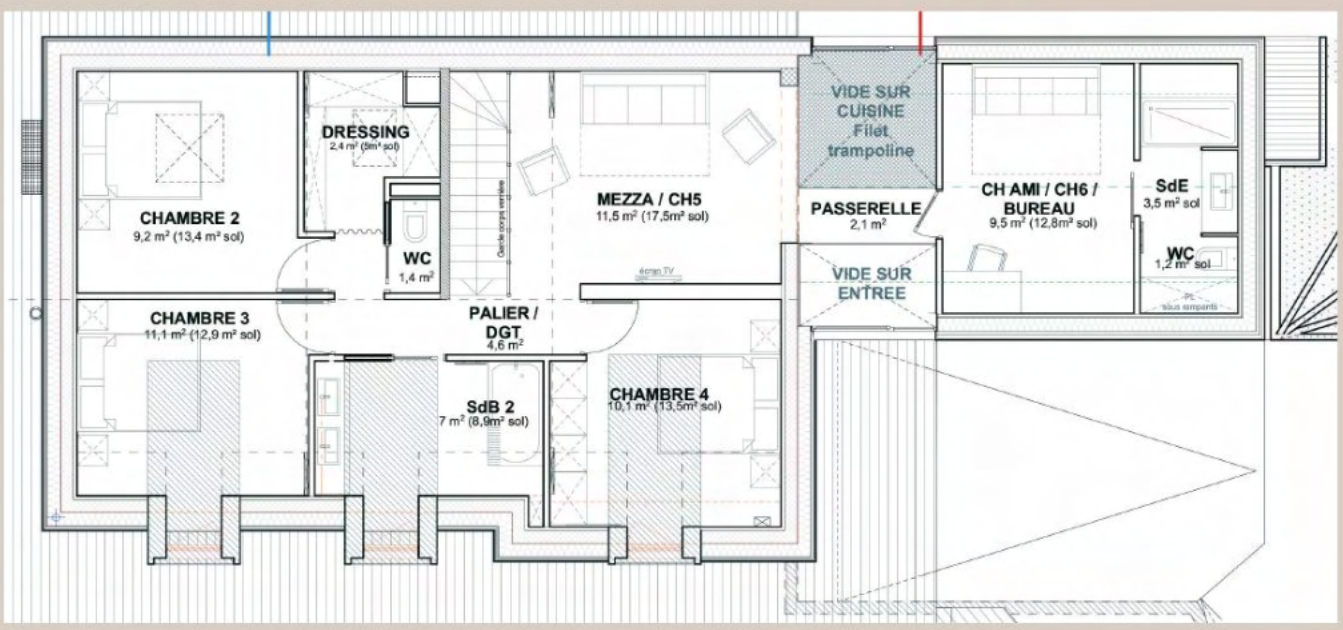


Fig. 2.8 Une grande mezzanine, une salle de bains, un dressing et 4 chambres en R+1 Source : Quinze Architecture

Le puits canadien permet d'ajuster la température de l'air extérieur aux besoins de l'intérieur : autrement dit, préchauffer (en hiver) ou rafraîchir (en été) l'air apporté de l'extérieur par la VMC double flux. À 2,5 m de profondeur, la température est relativement constante : autour des 11 °C. De l'eau glycolée, circulant à cette profondeur, sert à préchauffer ou rafraîchir l'air insufflé à l'intérieur de la maison selon la température extérieure. Un écart de 7 % demeure entre l'air extrait et l'air importé. Ces derniers sont compensés par des apports internes, tels que chaleur humaine, appareils électroménagers, etc. La boucle géothermique de 125 m de longueur est ainsi située à 2,5 m de profondeur et à 4 m du bâtiment. L'unité intérieure du puits canadien a été sur-isolée pour des raisons acoustiques.
« *Le puits canadien est utilisé comme un échangeur géothermique pour profiter de la température du sol, relativement constante toute l'année. Dans cette maison, nous avons opté pour un puits canadien hydraulique. Ce système permet d'éviter les risques de condensation et nécessite peu d'entretien. Il y a une précaution à suivre : lors de la pose du système, il faut remplir la boucle géothermique d'eau glycolée et faire un test de pression pour prévenir les fuites ou les bulles d'air. Il est important d'isoler la liaison entre puits et caisson de couplage avec la VMC. Le puits canadien, couplé à la VMC double-flux, augmente son efficacité.* » (Vincent Kempf)
Un sèche-serviettes dans la salle d'eau permet un appoint de chauffage. L'ECS est solaire pour 45 % des besoins.
Enfin, un fil à linge a été placé dans le local technique pour que, l'été, l'humidité du linge absorbe la chaleur.

Performances énergétiques réelles

Dans cette maison des équipements énergétiquement performants ont été retenus (photo 2.43).
Les consommations réelles se sont révélées très faibles d'autant plus que la maison n'est occupée que par une seule personne (le calcul prévoit 35 m² habitables par occupant, soit 4 personnes pour ce type de maison).
Du 2 juillet 2013 au 22 novembre 2018, soit **sur une période de 5 ans et 3 mois**, la consommation d'énergie de la maison s'est élevée à 15 258 kWh dont 6 677,90 kWh pour le chauffage (avec ventilation et puits canadien), soit une consommation moyenne annuelle de 2 861 kWh dont 1 252 kWh pour le chauffage. Ceci correspond à **une consommation d'énergie finale de 18,6 kWh/(m².an), dont 8 kWh/(m².an) pour le poste chauffage-ventilation**.

Tab. 2.6 Consommation d'énergie finale de la maison
Source : V. Kempf, Agence KMO

	Évaluation PHPP (pour 4 personnes) (kWh/(m².an))	Consommation réelle (1 personne) (kWh/(m².an))
Besoin de chauffage annuel	12	8
Besoin total en énergie primaire	115	48

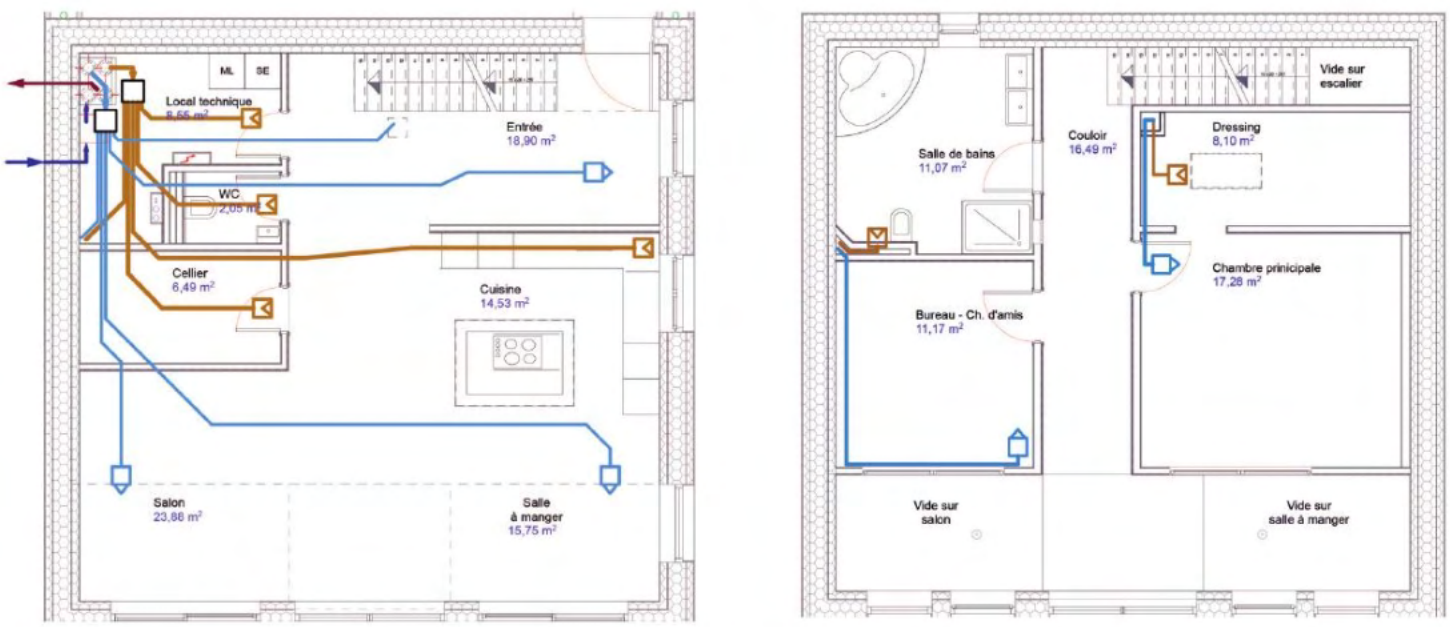


Fig. 2.11 La VMC aux deux niveaux de la maison (les fenêtres des chambres s'ouvrent sur le séjour)
Source : V. Kempf, Agence KMO

La dépense énergétique pour les 5 ans fut de 1 651,74 € dont 724,02 € pour le chauffage. **Cela représente une dépense énergétique annuelle de 309,70 €, dont 139,50 € pour assurer le chauffage**[23].
Sur une période de 5 ans (du 2 juillet 2013 au 22 novembre 2018), la consommation totale d'énergie s'est élevée à 15 258 kWh dont 6 678 kWh pour le chauffage.

Santé et confort

Le choix des matériaux et du mobilier a été réfléchi pour limiter les composés organiques volatils (COV) ayant un impact néfaste sur la santé.

Remerciements et sources

Vincent Kempf, Agence KMO, www.architecture-kmo.fr.
Plaquette Energivie



Photo 2.43 Les équipements retenus pour la maison sont tous énergétiquement performants
Crédit photo : C. Bourgeois





Photo 2.44 De grandes baies vitrées équipées de BSO orientables pour le confort d'été et une double hauteur sous plafond au sud
Crédit photos : C. Bourgeois

3 Du confort partout dans la maison

3.1 QU'EST-CE QUE LE CONFORT D'AMBIANCE ?

Le confort d'ambiance dans un logement renvoie à de nombreuses dimensions (confort thermique, confort d'été, confort acoustique, absence de sensation chaud/froid, absence de courant d'air, confort visuel…) et évidemment à la perception des individus eux-mêmes.
La notion de confort thermique peut elle-même être appréhendée en combinant plusieurs paramètres :

- la température de l'air et l'humidité ambiante qui sont toutes deux mesurables grâce à un thermomètre et à un hygromètre ;
- la vitesse de l'air et la température radiative qui sont mesurables ou estimables grâce au système dit « *de la porte soufflante* » et *via* un appareil à infrarouge ;
- mais aussi le niveau d'activité de l'occupant dans le logement et son niveau d'habillement.

Ces deux derniers paramètres jouent sur le ressenti physiologique qui est variable selon les personnes, l'âge et, évidemment, le type d'activité : alors qu'un adolescent ou une personne active se sent bien à 18 °C, une personne âgée ou sédentaire ou un bébé aura froid. Inversement, des personnes se sentiront à leur aise dans une pièce chauffée à 26 °C, alors que d'autres auront l'impression d'étouffer.
Les logements très basse consommation et passifs, améliorant notablement l'isolation et l'étanchéité à l'air de l'enveloppe peuvent non pas « *déséquilibrer et compromettre le bien-être recherché* », comme on l'a trop souvent dit et écrit (impossibilité d'ouvrir les fenêtres, environnement confiné, etc.)[1], mais seulement exiger des comportements appropriés (ouvrir les fenêtres pour aérer si besoin, augmenter les débits de ventilation si besoin, etc.) ; comportements qu'il faut effectivement acquérir comme pour faire fonctionner un thermostat, un réveil ou un téléphone portable (à l'aide de guide, mode d'emploi ou d'un investissement personnel…).

3.2 LES MESURES DU CONFORT THERMIQUE

3.2.1 Une enquête de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur et du CSTB

Le dispositif d'étude mis en place par l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) et le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) ne traite pas spécifiquement des bâtiments passifs mais des bâtiments performants en énergie, respectant les objectifs de la RT 2005, en neuf ou en rénovation[2].
Selon ce dispositif d'étude :

- Le confort thermique, mesuré par la température moyenne, correspond à une température généralement supérieure à celle des logements français de 1 °C : 21 °C contre 20 °C en période de chauffe et 24 °C contre 22 à 23 °C dans les périodes hors chauffe[3].
- Dans les 12 premiers mois suivant un emménagement, les logements performants en énergie ont en moyenne trois fois moins de problèmes d'humidité que les autres logements. Les logements sans contamination fongique (moisissures) sont principalement ceux ayant eu une isolation par l'extérieur ou une isolation mixte (extérieure/intérieure).
- Les logements performants en énergie sont perçus très favorablement par environ 80 % des personnes interrogées, soit 117 personnes[4] ; toutefois, 10 % des personnes se plaignent de nuisances acoustiques, 30 % estiment que l'air est trop sec et 20 % environ estiment que la température intérieure est trop chaude ou trop froide. Enfin, 30 % des personnes estiment ressentir ponctuellement des gênes olfactives. Cependant une VMC double flux bien réglée gère aujourd'hui ces problèmes acoustiques, thermiques ou olfactifs. De plus, la nouvelle génération de VMC optimise également le niveau d'humidité de l'air (transfert enthalpique).

3.2.2 Une enquête de La Maison Passive

Une enquête a été réalisée en 2018 par La Maison Passive sur des logements passifs[5]. Sur 50 répondants, un seul considère que son bâtiment bénéficie d'un niveau de confort « normal ». Pour tous les autres, la qualité de confort se situe au-dessus (24 %), mais surtout très au-dessus (74 %) des niveaux standards.

Ces chiffres indiquent une qualité de confort supérieur pour 98 % des habitants de maisons individuelles labellisées passives. 96 % de l'échantillon se déclarent satisfaits de leur maison individuelle passive et le principal facteur d'appréciation est le confort (68 %), loin devant l'engagement environnemental (22 %) et les économies financières (8 %).

Le confort se caractérise par un aspect (cité à 44 %) parfois difficile à comprendre car il n'apparaît pas dans un logement traditionnel : c'est l'homogénéité des températures d'une pièce à l'autre et surtout au sein d'une même pièce. Dans le passif, l'absence de courants d'air ou de parois froides garantit une sensation agréable de chaleur, où que l'on se trouve. L'ensoleillement et les parois « chaudes » sont également cités comme facteurs de confort par 26 % des répondants et 20 % des personnes habitant dans une maison passive.

La figure 3.1 illustre que, malgré une température intérieure identique, le confort n'est pas le même dans tous les cas.

3.2.3 L'enquête effectuée pour cet ouvrage

Notre retour d'expérience constitue un échantillon représentatif car il comprend plus d'une centaine de maisons. Nous avons recueilli des témoignages d'occupants de nombreuses maisons passives en ce qui concerne le confort de leur maison et certains nous ont fourni les résultats de mesures objectives de la température et du taux d'hygrométrie qui attestent de la qualité de l'ambiance intérieure des logements passifs.

Ces éléments sont développés dans de nombreuses études de cas : Ancy MI 04, Andrésy MI 11, Bar-le-Duc (§ 7.2.1), Blangy-Tronville MI 02, Blanzy MI 17, Bréançon (§ 8.2.2), Carros MI 16, La Chapelle-en-Vercors (§ 3.4), Hauville MI 07, Lodes MI 09, Meyreuil (§ 5.5), Neuve-Église MI 06, Olonne-sur-mer MI 18, Romans-sur-Isère MI 19, Solliès-Pont MI 12.

Ces monographies présentent les opinions des occupants sur le confort de leur maison, en comparant notamment leur habitat actuel et leurs logements précédents.

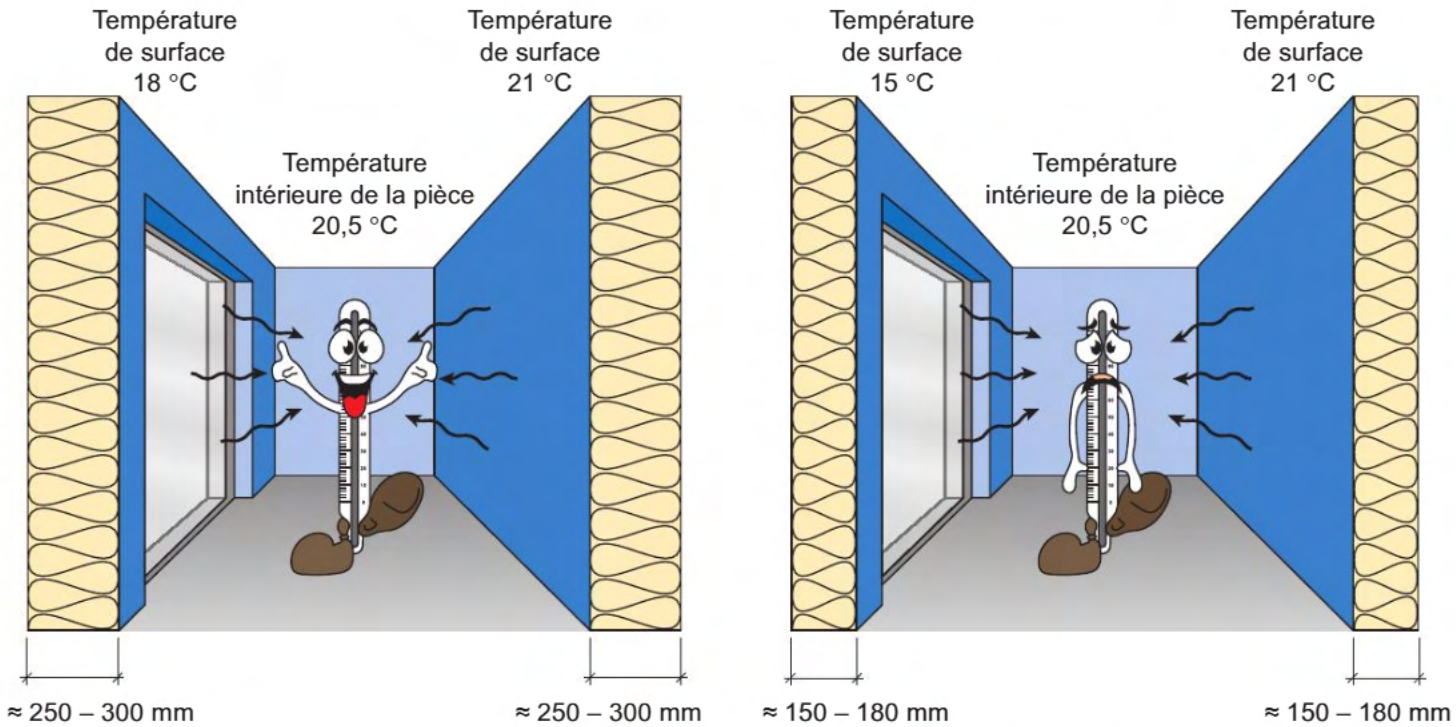


Fig. 3.1 Asymétrie de température et confort
Source : V. Kempf, KMO, Analyse comparative des référentiels Minergie® et Passivhaus pour la construction neuve, association Promotelec, 2014.

3.3 LE CONFORT D'ÉTÉ DANS LES MAISONS PASSIVES

Le confort d'été est un point délicat de la maison passive, parfois accusée à tort d'être un « thermos ». Plusieurs éléments complémentaires rendent possible la construction de maisons passives partout en France. La plupart des maisons passives disposent de brise-soleil orientables (BSO) qui permettent de laisser passer la lumière mais pas les rayons du soleil. Ces BSO peuvent être automatisés et réagir en fonction du soleil ou avoir un fonctionnement manuel.
Cette fermeture « intelligente » des BSO rappelle la fermeture traditionnelle des volets des maisons l'été lors des périodes de grosse chaleur. Évidemment, cela demande un réglage ou un comportement approprié des habitants, lequel nécessite parfois un certain apprentissage (il en est de même de la fermeture des fenêtres l'été dans la journée pour éviter l'entrée d'air chaud, le courant d'air chaud ne contribuant pas au rafraîchissement de la maison).
L'automatisme des BSO va évidemment consommer un peu d'électricité et la fermeture ou l'ouverture manuelle peut être préconisée, mais celle-ci est relativement chronophage et contraignante, pouvant même inciter à un comportement contre-productif (*cf.* la maison de Gif-sur-Yvette MI 01 qui possède 32 volets).
Les BSO peuvent aussi être complétés par des casquettes fixes côté sud (maisons de Lodes MI 09 et de Rousset MI 10).
Le rafraîchissement de la maison peut se faire aussi avec



Photo 3.1 Exemple d'une double entrée d'air par le puits canadien (du sud l'hiver et du nord de la maison l'été, maison de Rousset MI 10) Crédit photo : Ph. Outrequin

un puits canadien qui préchauffe l'air l'hiver et le rafraîchit l'été. Dans ce dernier cas, la VMC double flux est bypassée (maison de Carros MI 16).
La maison bioclimatique de Gif-sur-Yvette MI 01 fonctionne avec un puits canadien qui rafraîchit l'air entrant l'été. Cet air est évacué soit par convection naturelle (ouverture d'un Vélux en partie haute de la maison), soit par convection forcée (hotte de la cuisine).
L'été, la ventilation nocturne, associée à l'inertie de la maison, peut contribuer à rafraîchir la maison qui ne se réchauffera que très progressivement dans la journée. Le déphasage des murs souvent supérieur à 11 heures est particulièrement important pour maintenir la fraîcheur de la nuit.

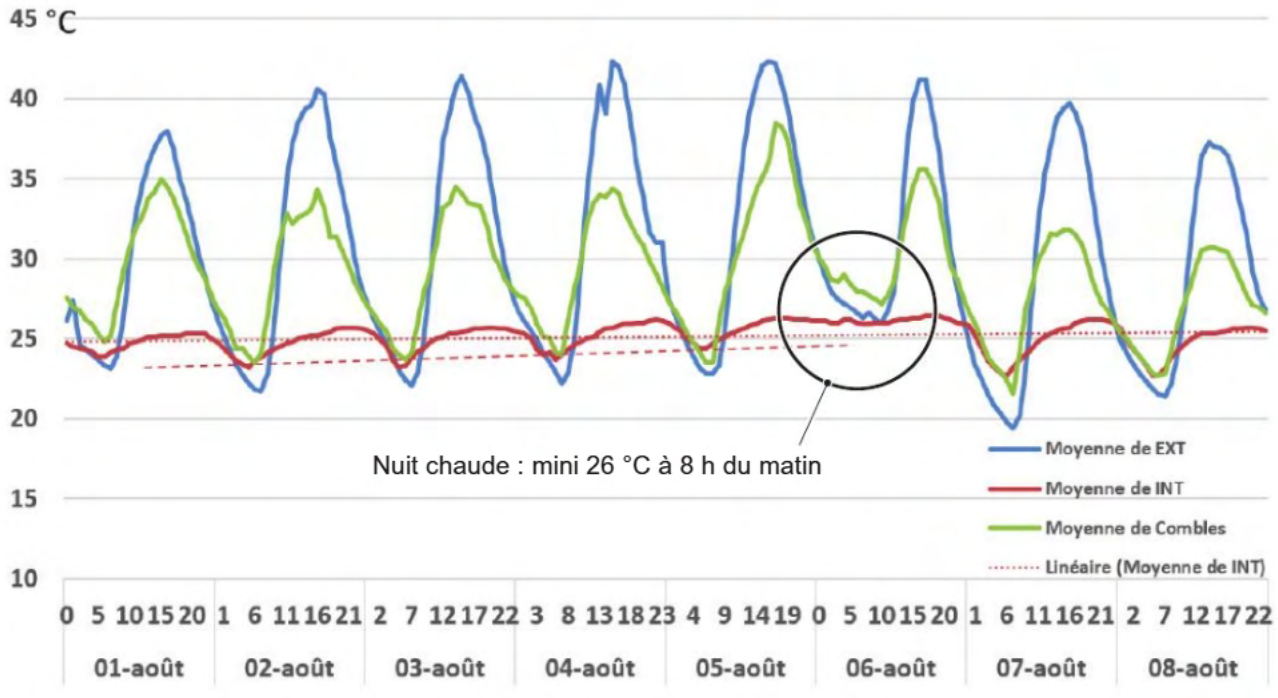


Fig. 3.2 Les températures intérieures et extérieures réelles dans la maison de Solliès-Pont (Var, MI 12) pendant la semaine du 1er au 8 août 2017 Source : Ideactum Architecture

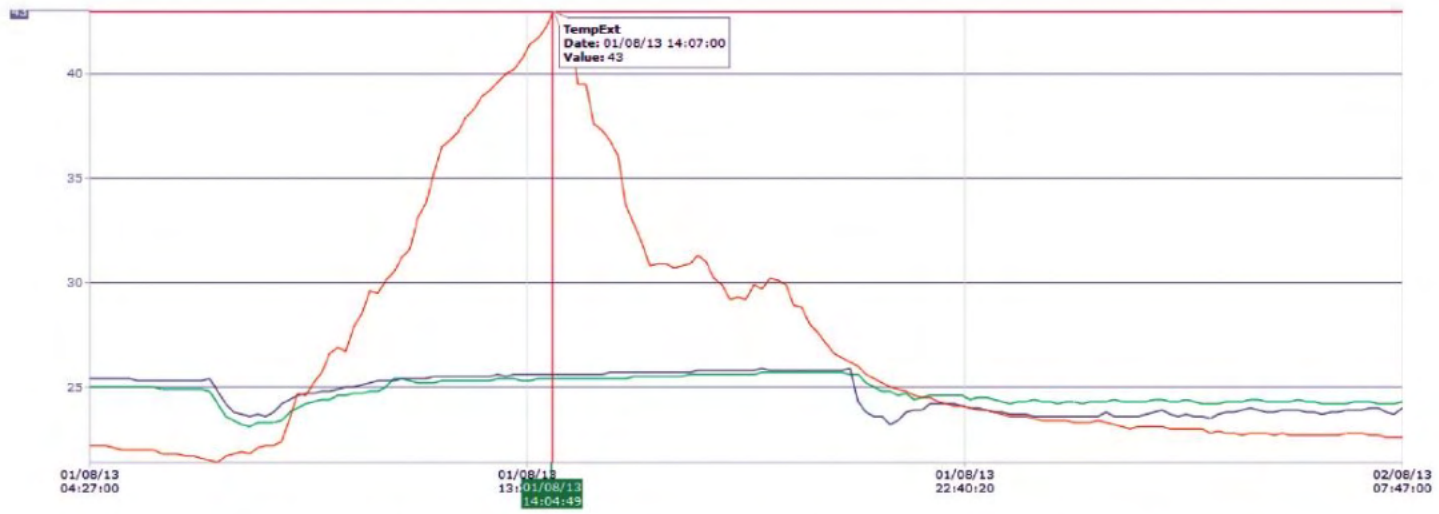


Fig. 3.3 La température intérieure le jour le plus chaud de l'année (43 °C) à Arcangues MI 13
Source : Carbone 64

Plusieurs des maisons présentées dans ce livre ont fait l'objet d'un suivi des températures l'hiver comme l'été :

- À Alixan (69) (§ 5.4), des pointes de température de 35 °C et plus durant quatre jours n'ont pas conduit la maison à des températures excédant 28 °C quelques heures par jour dans certaines pièces, la température redescendant sous 25 °C la nuit.
- À Blanzy (71) MI 17, le suivi des températures montre que, pour l'année 2018, seules 7 soirées ont atteint 26 °C et la température n'a jamais dépassé 26,5 °C dans les chambres, même pendant les périodes de canicule.
- À Hauville (27) MI 07, pendant la journée la plus chaude où la température est montée à plus de 31 °C, la température intérieure réelle s'est toujours maintenue autour de 25 °C.
- À Solliès-Pont (83) MI 12, des températures très chaudes pendant l'été 2017 n'ont pas entraîné de surchauffe dans la maison comme le montre la figure 3.2.
- À Arcangues MI 13, on observe un maintien de la température de la maison autour de 25/26 °C alors que la température extérieure atteint 43 °C (fig. 3.3).

Ainsi, les maisons passives peuvent conserver une qualité de vie très satisfaisante, même pendant les périodes de canicule, compte tenu des systèmes passifs mis en œuvre et des comportements réactifs des occupants.

On évite ainsi les systèmes de climatisation énergivores et coûteux, qui procurent aussi de nombreux désagréments sanitaires (infections, chocs thermiques, air trop sec…).

3.4 LE CONFORT ACOUSTIQUE DANS LES MAISONS PASSIVES

L'enquête menée auprès de plus d'une cinquantaine de maîtres d'ouvrage ou maîtres d'œuvre de maisons passives pour cet ouvrage a révélé une certaine complémentarité du passif avec la musique. De nombreux maîtres d'ouvrage ont réservé un espace particulier à une salle de musique.
Le confort acoustique est le résultat de plusieurs phénomènes : absence de bruit provenant de l'extérieur ou des systèmes techniques (une ventilation double flux bien réglée ne fait pas de bruit), atténuation des sons entre les espaces mais aussi bonne diffusion du son sans déformation de celui-ci quand il y a une exigence musicale. Certains matériaux améliorent notablement l'acoustique des logements : les isolants souples, le Fermacell mais aussi le béton.



Photo 3.2 Salon de musique de la maison de Marly-le-Roi (§ 8.3.2) Crédit photo : Schnepp Renou, Agence Karawitz



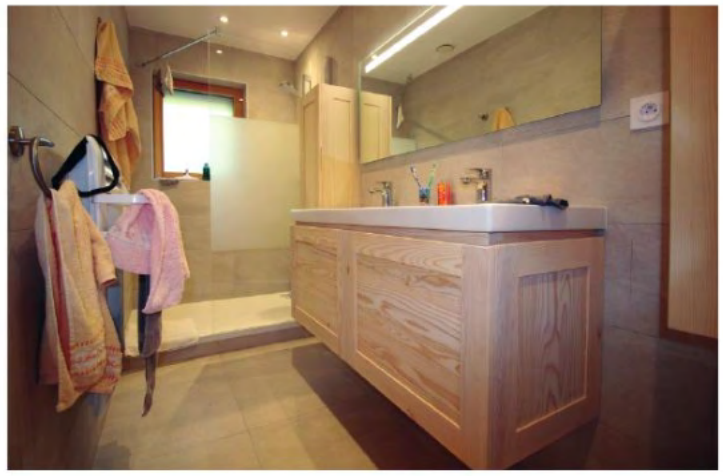


Photo 3.5 La décoration intérieure fait une large place aux bois locaux (sapin et épicéa) Crédit photo : M. Mazard

accueillant la VMC double flux et le chauffe-eau solaire, trois chambres, des sanitaires et une salle de bains (fig. 3.4).
La façade « sud » ne présente pas un angle à 90° avec les façades est et ouest : elle a été orientée vers le sud (fig. 3.4) pour augmenter les apports solaires en hiver et créer une avancée de toiture protégeant les ouvertures du soleil en été. Les grandes baies vitrées du séjour s'ouvrent sur une belle terrasse aérienne en bois. La vue sur les montagnes du Vercors depuis le séjour à travers ces menuiseries est remarquable (photo 3.4).
La décoration intérieure met à l'honneur les matériaux nobles tels que le bois (sapin et épicéa locaux, photo 3.5) et la pierre. Les finitions extérieures alternent entre des enduits de façade traditionnels et un bardage en *red cedar* posé horizontalement.

Caractéristiques de l'enveloppe

La partie passive habitable (étage) est composée d'une dalle en bois avec des poutres en I de 400 mm, isolée avec de la ouate de cellulose insufflée.
Les murs extérieurs sont en ossature bois de 220 mm d'épaisseur, isolés entre ossature par de la ouate insufflée, puis isolés par l'extérieur avec 120 mm de fibre de bois et par l'intérieur avec 80 mm de laine de bois.

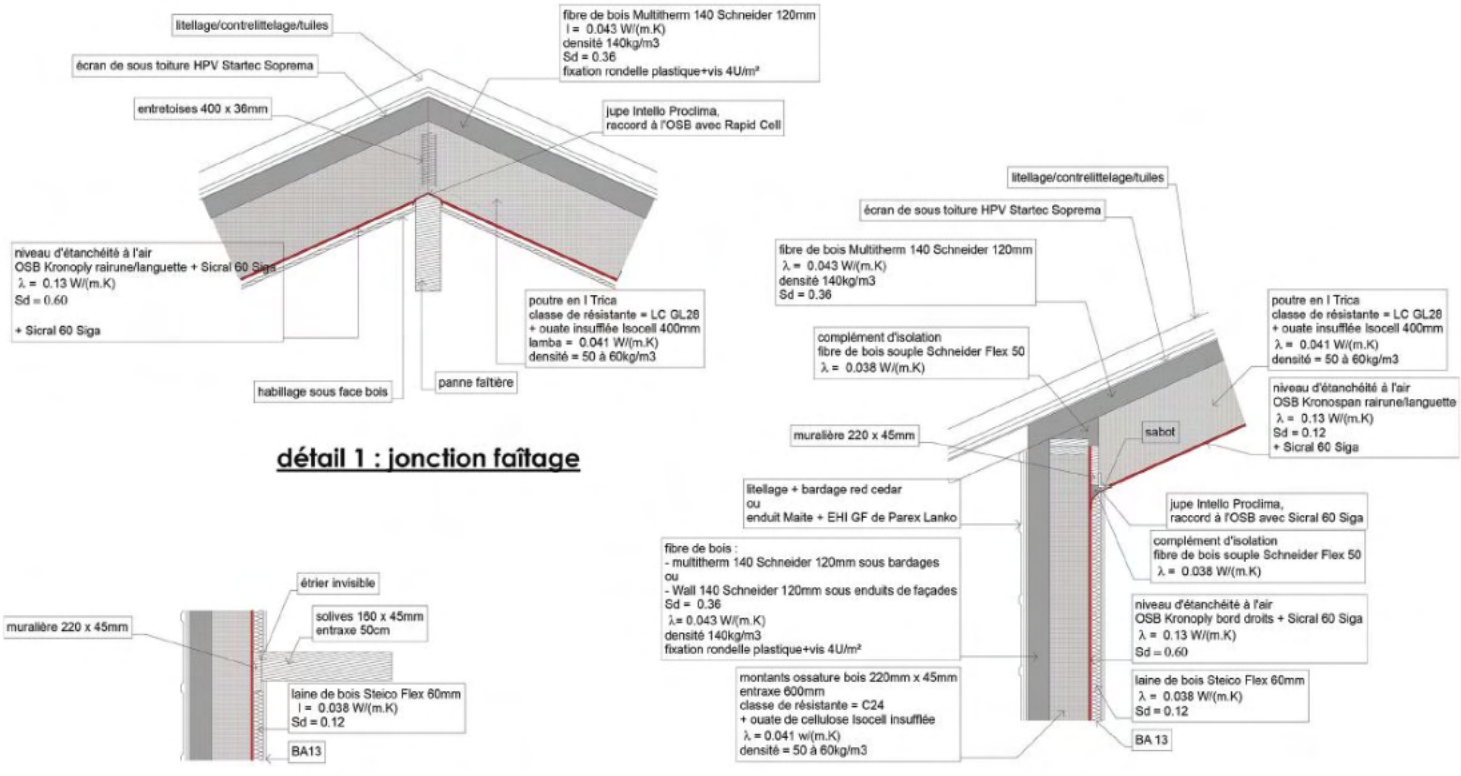


Fig. 3.5 Schémas de détail pour l'ossature bois Source : M. Mazard

(d'où le renforcement de l'isolation et la montée en gamme dans le choix des menuiseries extérieures).
Il n'y a aucun contrat de maintenance.

Opinion des occupants

« À l'intérieur de la maison, la température reste relativement constante et agréable. Quand nous arrivons après plusieurs semaines d'absence, nous n'avons jamais trouvé un air intérieur en dessous de 14 °C (bien que l'automatisation des BSO ne fonctionne pas encore correctement : ils restent parfois fermés même quand il fait moins de 20 °C dans la maison et qu'il y a du soleil dehors…).
Ce qui est très différent de notre ancienne résidence secondaire, également située dans le Vercors, qui pouvait descendre à 4 °C et qui avait un système de hors gel !
Ici, en 1 h de fonctionnement du poêle, la maison est remontée à 20 °C ! Et ensuite, nous n'avons plus besoin de rallumer le poêle de tout le séjour.
En été, il faut une bonne gestion des brise-soleil : la température intérieure peut monter rapidement si nous oublions de les fermer au sud quand le soleil frappe dans les vitres.
Le réglage de l'automatisation des brise-soleil est encore en cours d'ajustement. Quand le réglage sera parfait, la gestion des apports solaires sera plus simple et la maison devrait maintenir les 18 °C en hiver, même en cas d'absence.
Nous appréhendions le bruit de la VMC double flux. Nous avons demandé une isolation acoustique poussée du local technique. Et au final, même la nuit, il faut tendre l'oreille pour entendre très légèrement le flux d'air à la sortie des bouches ! Nous avons été agréablement surpris par le très faible niveau de bruit.
L'air nous semble aussi très sain, nous n'avons pas de sensation d'humidité, ni de rayonnement froid du sol et des murs en hiver. C'est très agréable. Nous n'avons jamais froid.
S'il y avait quelque chose à changer, nous ferions un cellier séparé du local technique. Il y fait trop chaud pour conserver les aliments… ».

PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS ÉVOLUTION DU MÉTIER

« La conception d'une maison passive est vraiment différente de celle d'une maison traditionnelle. Le travail de réflexion en amont, en collaboration avec le thermicien et les propriétaires, fut particulièrement intéressant. J'ai adoré rechercher les solutions techniques les plus adaptées à chaque obstacle de conception rencontré (traitement des ponts thermiques, optimisation des apports solaires) tout en gardant la main sur le budget à ne pas dépasser.

Et, au cours du chantier, toutes les discussions avec les entrepreneurs ont été également très intéressantes et m'ont beaucoup appris, au niveau technique et au niveau humain.

Nous avons eu finalement peu de mauvaises surprises au niveau de la réalisation, ce qui est la preuve d'une bonne préparation. Tout s'est plutôt bien passé, à part quelques aléas de chantier classiques (retard dû à la neige entre autres). Chaque entreprise a joué le jeu à fond et s'est impliquée pour que tout se passe au mieux. Il y a eu un souci avec l'entreprise qui a installé le poêle et qui a "abîmé" l'enveloppe étanche à l'air. Sans cette intervention mal gérée, le test d'étanchéité aurait été meilleur…

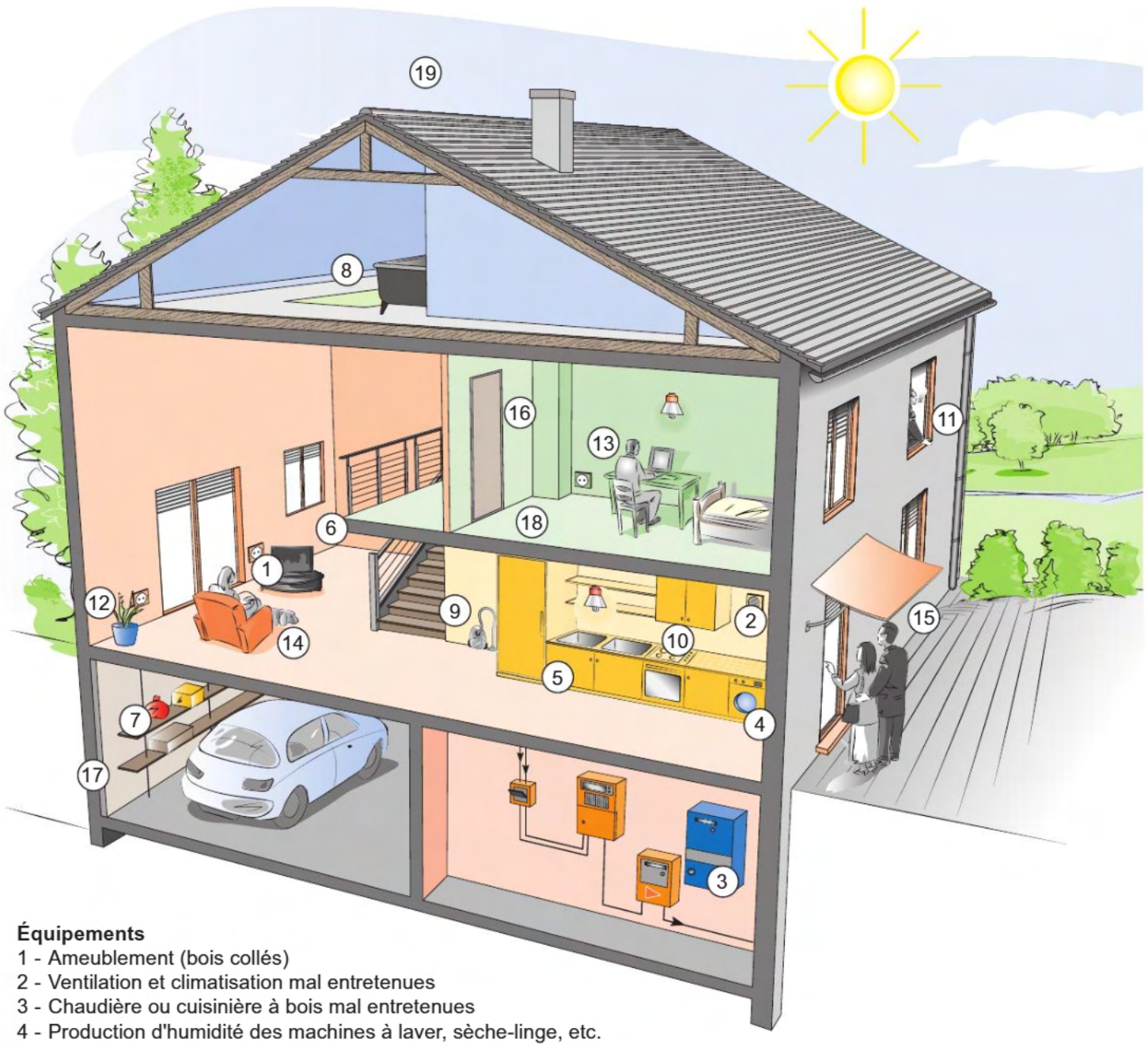
Et, si c'était à refaire, j'essaierais de proposer une maison avec encore moins de technologie (les principales reprises après réceptions concernaient la domotique et les BSO). »
(Muriel Mazard)

Remerciements et sources

Les maîtres d'ouvrage
Muriel Mazard, maître d'œuvre, www.muriel-mazard-maitre-oeuvre.com..

NOTES

1 M.-Ch. Zélem, *Le confort thermique, norme technique ou norme sociale*, note n° 12, Débat national sur la transition énergétique, février 2013.
2 OQAI, CSTB, *Qualité de l'air et confort dans les bâtiments performants en énergie : l'éclairage de l'OQAI*, Atelier OQAI-BPE, Paris, 23 mars 2017 – Enquête réalisée sur 72 logements dont 17 maisons individuelles satisfaisant les objectifs de la RT 2012.
3 Rappelons qu'en France la température du moteur de calcul réglementaire (RT 2005 ou RT 2012) est de 19 °C.
4 Niveau identique de satisfaction globale pour les logements performants en Europe, alors que 50 % seulement des ménages sont satisfaits de leur logement (tous logements en France), cité par l'étude OQAI - CSTB.
5 Voir le site de La Maison Passive : www.lamaisonpassive.fr.
6 Voir dans *Bâtiment passifs tertiaires* (Éd. du Moniteur, 2018) la présentation de la Datcha de Val Thorens.



Équipements
1 - Ameublement (bois collés)
2 - Ventilation et climatisation mal entretenues
3 - Chaudière ou cuisinière à bois mal entretenues
4 - Production d'humidité des machines à laver, sèche-linge, etc.
5 - Poubelles, stockage des déchets
6 - Cheminée ou poêle mal entretenus

Activités humaines
7 - Bricolage, émanations des voitures, motos, etc.
8 - Produits de toilette et cosmétiques, humidité
9 - Aspirateur, produits d'entretien, parfums d'intérieur, bougies, encens, etc.
10 - Cuisson
11 - Tabagisme

Occupation des locaux
12 - Plantes (allergènes, engrais, pesticides)
13 - Métabolisme
14 - Animaux

Sol
15 - Émanations naturelles (radon), sols contaminés

Matériaux de construction et de décoration
16 - Peintures, vernis, colles
17 - Isolants
18 - Revêtements de sols, murs, plafonds

Air extérieur
19 - Gaz d'échappement, activités industrielles ou agricoles, chauffage au bois non performant, pollens, etc.

Fig. 4.4 Les principales sources de pollution de l'air intérieur
Source : A. Bouteveille



Fig. 7.5 La maison sur une parcelle en drapeau
Source : Tektolab

Leur projet a mûri sur plusieurs années pour se concrétiser dans la demande de trois zones distinctes :

- une partie nuit (chambres, salle d'eau, dressing, lingerie) ;
- une partie jour (séjour, cuisine et arrière-cuisine) ;
- une partie additionnelle comprenant deux bureaux convertibles en chambres d'amis avec une entrée et des sanitaires.

Quant au terrain trouvé par le maître d'ouvrage, il est en drapeau et se situe en cœur d'îlot, en zone constructible secondaire : suivant le PLU, les constructions ne pouvaient pas dépasser 3,50 m de hauteur. Le retrait par rapport aux limites parcellaires était d'au moins 3 m (fig. 7.5).

Projet architectural

La maison est un parallélépipède de plain-pied orienté nord-ouest/sud-est, faisant un compromis entre une orientation totalement au sud et un alignement avec le fond de la parcelle (fig. 7.5). Le pignon est donne sur la voie d'accès, en alignement par rapport à celle-ci.
La façade sud s'ouvre sur toutes les pièces à vivre : salon-séjour et quatre chambres. La cuisine, les pièces d'eau et le local technique se situent au nord.
Les trois zones distinctes s'articulent le long d'un axe de circulation distribuant les espaces de service au nord et les pièces de vie au sud. La cuisine pourra être séparée du séjour par des cloisons « japonaises » escamotables. L'exposition sud-est permet de vitrer généreusement les pièces de vie donnant sur le jardin. Des brise-soleil orientables (BSO) permettront de gérer finement les apports solaires gratuits et de préserver le confort d'été.

Caractéristiques de l'enveloppe

Tous les détails (positions des menuiseries, nœuds constructifs) sont optimisés pour atteindre le zéro pont thermique préconisé par le standard passif (fig. 7.6).

La construction est relativement simple (photos 7.13 à 7.15) : une dalle béton isolée sur laquelle sont posées les façades en CLT préfabriquées (Autriche). La toiture plate est aussi en CLT (bois contre-collé croisé). Celui-ci procure une bonne inertie. La très faible épaisseur du complexe de toiture a permis de respecter la hauteur imposée par le PLU en conservant une performance thermique élevée, été comme hiver (le faible déphasage du polyuréthane étant compensé par l'inertie du bois massif).



Photo 7.13 Pose des murs et murs de refend en CLT de 90 mm Crédit photo : Tektolab



Photo 7.14 Ossature bois secondaire avant la pose de l'isolant Crédit photo : Tektolab



Photo 7.15 Pose du bardage en zinc à joint debout sur la façade nord Crédit photo : Tektolab

La configuration de plain-pied avec toit-terrasse a permis l'insufflation de fibre de bois (photo 7.16) par le dessus des caissons en ossature bois rapportée formant acrotère (poutres I + isolant fibre de bois pare-pluie).
Un isolant en XPS (polystyrène extrudé) a été posé au droit des caissons de BSO et sur la périphérie du soubassement pour limiter les ponts thermiques.

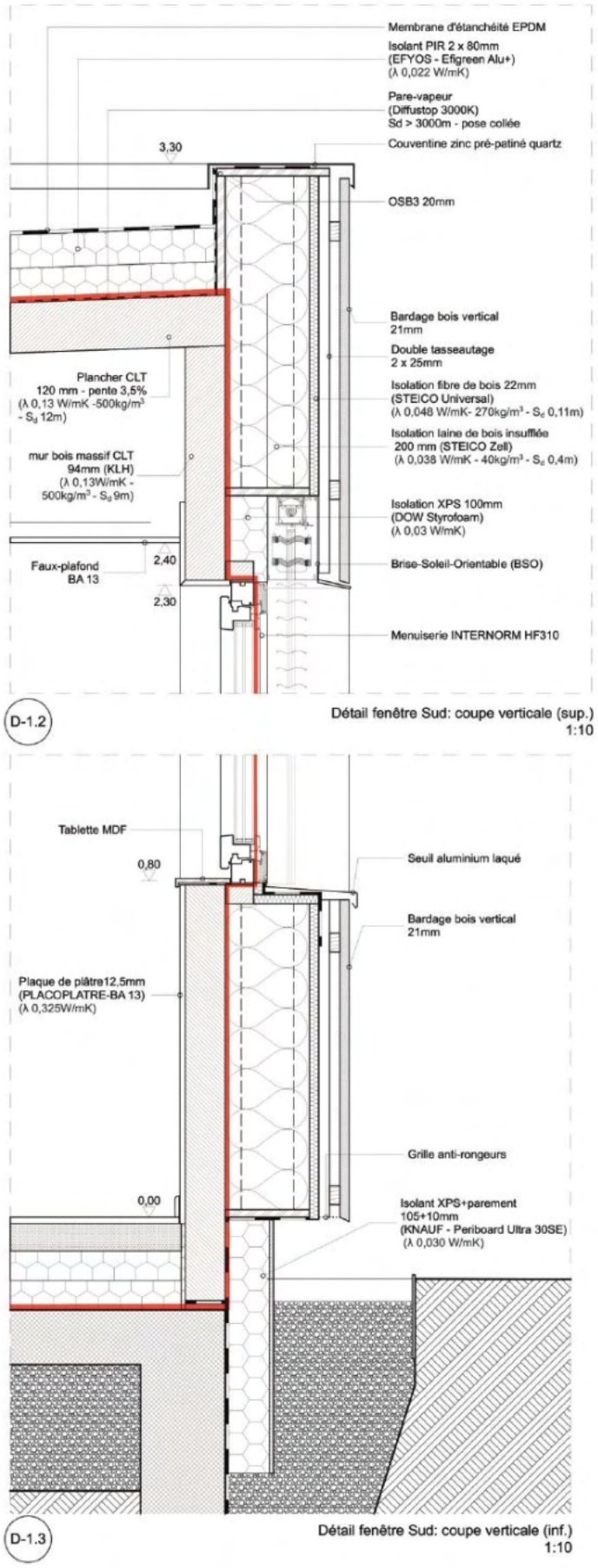


Fig. 7.6 Analyse du schéma de détail liaison toit-façade/menuiserie/liaison façade-sol
Source : Tektolab



Photo 7.16 Insufflation de l'isolant en fibre de bois dans les murs de façades une fois posée l'étanchéité de la toiture
Crédit photo : Tektolab



Photo 7.17 Façade avec son isolant pare-pluie posé
Crédit photo : Tektolab

PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS ÉVOLUTION DU MÉTIER

Conception : en construction passive, les performances sont quantifiables. Cet objectif retentit positivement sur l'économie générale des projets car il passe par plus de rigueur, une plus grande production de détails, et un soin vigilant au stade de l'exécution.

Construction : grâce au travail mené avec des entreprises sensibilisées et/ou expérimentées, atteindre le standard passif n'a pas posé de problème particulier pour cette maison. La formation à la construction passive des charpentiers/menuisiers a permis d'aller plus loin dans la conception des détails (le chantier se prépare intégralement en amont de la phase de construction) et d'atteindre des résultats assez exceptionnels lors de test d'infiltrométrie. La labellisation de la maison est un moteur pour tous car la qualité du travail est récompensée et peut être mise en avant afin de tirer les filières vers le haut.

Remerciements et sources

John Debaize, architecte DPLG, concepteur CEPH, Tektolab, www.tektolab.fr.

7.2.3 L'investissement locatif

Certains maîtres d'ouvrage sont aussi investisseurs, soit pour des raisons financières très conjoncturelles (obtention d'un prêt bancaire comme pour la maison de Meyreuil, près d'Aix-en-Provence au § 5.5), soit dès l'origine du projet. C'est le cas par exemple d'une maison conçue par Quinze Architecture dans un lotissement de Chateaugiron (35) (§ 9.1.2). Cette maison a été construite pour la mise en location.

7.3 LES ARCHITECTES ET MAÎTRES D'ŒUVRE

Des architectes et maîtres d'œuvre sont convaincus par le passif et certains sont à l'origine du choix du passif.

C'est par exemple le cas de Julien Rivat pour l'opération de Saint-Étienne MI 15. Par ailleurs cette opération est une des rares pour lesquelles un architecte s'est transformé en promoteur pour la faire aboutir. L'enjeu avait un caractère social et d'exemplarité (car située dans un quartier ANRU). De nombreuses émissions de télévision ont d'ailleurs montré cette opération afin de sensibiliser les collectivités à l'intérêt du passif pour leurs administrés (**les ménages améliorant leur reste-à-vivre grâce à la quasi-disparition des charges de chauffage**).

7.3.1 La démarche de Thomas Bonnin, fondateur de l'agence Quinze Architecture de Rennes[20]

D'une sensibilité à l'écologie au standard passif

Thomas Bonnin est sensible à l'écologie depuis toujours. Il est convaincu du rôle déterminant de l'humain (et particulièrement de la construction responsable de près de 45 % des consommations mondiales en énergie primaire) dans l'avenir de la planète ou plus égoïstement de l'humanité !

Il était déçu et se sentait un peu seul dans ses convictions lors de ses premières armes dans le métier d'architecte.

« *Après avoir exploré les classiques labels français qui s'appuient sur les moteurs de calcul réglementaires (RT / BBC …), maî - trisé leur intérêt tout relatif et approché très rapidement leurs limites, j'ai vite compris que leur essence administrative fait/fai - sait certes avancer la société et le bâtiment mais s'autocensurait dans les ambitions et les enjeux en les dépassant largement. Je me suis alors tourné vers une approche scientifique, le Passivhaus, aux critères réfléchis et aux ambitions et objectifs sans limites.* »

Pour tenter de toujours construire plus écologique, plus sain, et plus confortable… mais bien sûr sans jamais laisser de côté l'architecture qui rassemble par essence toutes ces notions…, on ne devrait finalement pas avoir besoin de rappeler que l'architecture est ou doit être écologique, saine, confortable… ; en effet nous construisons pour l'Homme ! C'est la raison pour laquelle Thomas Bonnin termine souvent ses courriers par la maxime « *Soyons actifs... Construisons passif !* »

La création de l'Agence Quinze Architecture en 2010

Thomas Bonnin a fondé sa propre agence avec pour nom « Quinze Architecture » comme 15 kWh/(m².an) (les besoins en chauffage maximum des bâtiments Passivhaus) !

Une formation complémentaire en Allemagne

Quelque temps après avoir déposé les statuts de l'Agence Quinze Architecture, il a suivi une formation en Allemagne avec Gerrit Horn (architecte et maître charpentier, précurseur dans le Passivhaus) pour consolider ses connaissances. Comme beaucoup de ses confrères, il a démarré seul et il a construit progressivement ses références « *et toujours poussé la réflexion vers plus de performance énergétique, plus de cohérence écologique, plus d'innovation…* ».

La création du Cercle passif

Quelques années plus tard, accompagné de bureaux d'études thermiques, de confrères et consœurs, maîtres d'œuvre et différents acteurs, tous investis et convaincus de l'urgence écologique et de leur rôle à jouer dans la transition écologique, Thomas Bonnin a fondé **le « Cercle passif »** : un



Photo 8.7 Pose de l'ossature bois
Crédit photo : A. Moreel



Photo 8.8 De grandes baies vitrées en triple vitrage bois-aluminium pour le confort visuel et la vue sur la nature
Crédit photo : A. Moreel

Caractéristiques de l'enveloppe

L'isolant principal, la ouate de cellulose, est insufflé dans les parois extérieures (murs, toiture et plancher, photo 8.7). Toutes les menuiseries extérieures sont en bois-aluminium avec du triple vitrage (photo 8.8). Des stores extérieurs, automatisés grâce à des capteurs sensibles à l'ensoleillement et à la température intérieure, permettent d'assurer le confort d'été.

Tab. 8.2 Principales caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment selon le PHPP
Source : Energelio

Composants de l'enveloppe	Caractéristiques de l'enveloppe	Valeur U (W/(m².K))
Façades	Ossature bois préfabriquée : plaque de plâtre 13 mm / panneau de fibre de bois 50 mm dans le vide technique / OSB 15 mm / poutre en I de 300 mm + ouate de cellulose 300 mm / panneau de fibre de bois 60 mm	0,102
Plancher bas	Ossature bois préfabriquée : carrelage / chape ciment / OSB 15 mm / poutre en I de 360 mm + ouate de cellulose 360 mm / OSB 15 mm	0,110
Toiture	Ossature bois préfabriquée : plaque de plâtre 13 mm / vide technique / poutres en I 360 mm + ouate de cellulose 360 mm / OSB 22 mm / PU 80 mm	0,082
Menuiseries	Menuiseries bois/alu triple vitrage Alphawin et fenêtres aux connexions certifiées ; facteur solaire g = 62 %	U_w = 0,78
Porte d'entrée	Porte vitrée Alu2Holz	U_d = 1

Systèmes techniques

Ventilation : ventilation double flux Zehnder Comfo Air 200 (fig. 8.2) certifiée Passivhaus (débit : 140 m ^{3}/h, consommation 0,42 Wh/m^3, rendement : 92 %).
Chauffage d'appoint : batterie électrique en sortie de la VMC, un radiateur à eau dans le séjour de 1 650 W et un sèche-serviettes de 500 W.
ECS : pompe à chaleur à haute température Vitocal 222-S AWT-AC 221.A04 de Viessmann. Puissance calorifique nominale de 4,5 kW, ballon intégré de 170 l. Un second ballon tampon de 200 l a été installé sur le circuit.

Autres caractéristiques

Un mur de briques en terre crue recouvert d'un enduit en terre se trouve dans le séjour. Il participe à l'amélioration de l'inertie du bâtiment.
Grâce à ce mur intérieur en terre, la maison « *est continuellement à 20 ou 21 °C.* » L'été, les stores microperforés laissent passer la lumière mais renvoient la chaleur : « *même pendant la canicule, on est monté à 26 °C, alors que nos voisins étaient à 35 °C* », souligne le propriétaire.
Enfin une cuve de 10 m^3 permet de récupérer l'eau de pluie pour les toilettes et la machine à laver.



Fig. 8.2 Le positionnement de la VMC double flux
Source : Energelio

Les caractéristiques thermiques de l'enveloppe

Le sous-sol n'est pas isolé et a été construit en parpaing à bancher de 25 cm d'épaisseur. L'enveloppe du volume chauffé a été réalisée en blocs-coffrants en polystyrène (Euromac 2).
Les pièces de vie du rez-de-chaussée devaient être un volume dégagé sans poteau ni mur. Le sous-sol comportait trois places de parking, ce qui apportait une contrainte structurelle supplémentaire. Les planchers ont donc été réalisés avec des dalles alvéolaires de 8,5 m de portée.
La terrasse et le toit ont été isolés par deux couches de polyuréthane (22 cm) et revêtus d'une étanchéité autoprotégée.
Les fenêtres, de grandes dimensions, sont en bois et aluminium en triple vitrage à ouvrants cachés (Smartwin des Menuiseries André). Les vitrages possèdent également des verres anti-effraction qui évitent la pose de volets. Une baie vitrée de 5 mètres de large comportant un grand ouvrant coulissant a été posée dans le séjour.
Des coffres isolés de BSO extérieurs ont été prévus en attente dans l'épaisseur de l'isolant pour permettre l'ajout de brise-soleil orientables en cas de nécessité.

Tab. 8.3 Principales caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment selon le PHPP
Source : HELIASOL

Composants de l'enveloppe	Caractéristiques de l'enveloppe	Coefficient U (W/(m².K))
Murs	Blocs coffrants en polystyrène Eumomac 2	0,112
Plancher bas	Dalles alvéolaires en béton précontraint, 2 couches de polyuréthane (200 mm), chape	0,111
Toiture	Dalles alvéolaires en béton précontraint, isolées avec 2 couches de polyuréthane	0,101
Fenêtres	Menuiseries en bois-aluminium en triple vitrage	U_g = 0,58 à 0,64 U_w = 0,76 à 0,80
Porte d'entrée	Porte bois aluminium triple vitrage	U_d = 0,81

Les systèmes techniques

La VMC double flux Paul (modèle Novus 300) est implantée dans le local technique au sous-sol complétée d'un réseau de gaines cylindriques souples comfotube de 90 mm. Des bouches à effet Coanda ont été posées en entrée des pièces pour limiter les gaines et les faux plafonds, principalement dans les circulations.



Photo 8.10 Deux chambres donnent sur une grande terrasse au-dessus de la cuisine
Crédit photo : No Man's Land architecture

Le chauffage d'appoint est assuré par un poêle à bois étanche avec arrivée d'air (Attika/Rais) et un radiateur sèche-serviettes dans les salles de bains.
L'ECS est fournie par un ballon thermodynamique posé dans le local technique de la cave et raccordé sur l'extérieur. Cette installation est provisoire et des attentes ont été posées dans les gaines pour raccorder directement des panneaux solaires thermiques (dont la pose est prévue sur le toit). De même, il est prévu d'installer ultérieurement un système de récupération d'eaux pluviales pour alimenter les WC, le lave-linge et l'arrosage. Toutes ces attentes ont été prévues pour éviter d'avoir à intervenir sur l'enveloppe ou le bâti existant.

PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

La présence de masques importants ou des ouvertures au nord ne sont pas rédhibitoires en passif mais impliquent des compensations dans le bilan thermique.

Remerciements et sources

Laurence Bonnevie, No Man's land architecture, 19 rue de la Santé, 94120 Fontenay-sous-Bois.

8.2 LES EXIGENCES DES ABF

Certains territoires (secteurs sauvegardés, parcs naturels, proximité d'un monument classé…) sont soumis à l'avis et donc aux exigences des Architectes des bâtiments de France (ABF), lesquels **ont pour objectif de préserver le patrimoine bâti et paysager**. Ils sont donc dans le traditionnel alors que les élus au niveau national ont opté pour la transition écologique et énergétique, transition à laquelle contribuent activement les bâtiments passifs.

Recenser ces exigences des ABF concernant le bâtiment lui-même (hors aménagement autour du bâtiment), par ailleurs poussées à des degrés très variables selon les ABF, peut **les aider à intégrer la transition énergétique dans leurs préoccupations et faciliter le dialogue et la discussion des différents acteurs** (architectes et maîtres d'ouvrage mais aussi collectivités et aménageurs) souhaitant construire et réhabiliter en passif.

Les exigences des ABF recensées dans notre enquête portent sur :

- **l'obligation d'une architecture traditionnelle locale : dessin, volumétrie** (refus des formes cubiques par exemple, y compris pour les garages et préaux) et couleur (toit à deux pentes recouvert d'ardoises par exemple).

Cette exigence amène souvent au refus des grandes baies vitrées au sud, des panneaux solaires ou photovoltaïques en toiture et de l'isolation thermique par l'extérieur, laquelle « *n'est pas en cohérence avec le bâti ancien car elle masque ses modénatures, diminue le débord du toit, supprime ou accentue l'effet de socle, enfonce les baies.*»

Exemple à Gif-sur-Yvette MI 01 : l'ABF a accepté les panneaux solaires en toiture mais a exigé un mode de pose spécifique (panneaux inclus dans la toiture) ; les panneaux solaires n'étaient de ce fait pas suffisamment inclinés pour bien capter le soleil bas en hiver. Cette exigence a obligé le maître d'ouvrage à augmenter la superficie des panneaux pour assurer l'apport énergétique en hiver mais au prix d'une fourniture excédentaire en été. Pour capter cet excès de chaleur l'été, il a fallu également faire installer un deuxième ballon d'eau chaude.

- **l'alignement** : par rapport à l'ensemble des limites de parcelles et principalement à la rue : positionnement parallèle à la rue avec ou sans retrait…

Cette obligation peut empêcher l'orientation au sud et amener à renforcer l'isolation (comme pour la maison de Bréançon au § 8.2.2, par exemple), générant de ce fait un surcoût.

- **la hauteur des constructions** : refus de R+1 ou de R+2 par exemple, refus de surélévation pour capter les rayons du soleil…
- **le choix de matériaux** :
  - exigence de matériaux locaux traditionnels :
    bois pour les menuiseries extérieures (fenêtres),
    bois pour certains bardages : « *prévoir un bardage en bois à lames verticales de teinte brun sombre dans les parties triangulaires des pignons* » ;
    tuiles ou ardoises pour les toitures : « *La couverture sera réalisée en tuiles écaille en terre cuite 16/38 ou en tuiles plates à emboîtement en terre cuite rouge ou en tuiles mécaniques à côtes à double emboîtement. Les tuiles seront de couleur rouge nuancé. Les rives seront traitées par une tranche de rive en bois de teinte brun sombre (pas de tuiles à rabat)…* »
    pierres locales pour les façades : cette exigence peut générer un surcoût important comme pour la maison de Bréançon (§ 8.2.2, exigence de façades en pierres du Vexin),
  - refus du bardage bois,
  - …
- les toitures et éléments de couverture :
  - refus des raccords de couverture visibles : « *les éléments de raccords métalliques entre les parties de toitures en tuiles devront être invisibles* »,
  - exigences sur le type de cheminée : « *la cheminée sera de section rectangulaire et d'aspect enduit, ne pas prévoir de tube en toiture ou en façade, ni d'habillage métallique des souches* »,
  - refus d'ouverture d'outeau[2] en toiture pour capter un peu de lumière,
  - exigences de lucarnes traditionnelles en Alsace par exemple : « *une à deux lucarnes simples (pas de châssis groupés) type rampantes avec ligne d'égout continue (prévoir une garde de 40 cm par rapport à l'égout et de 1 m par rapport au faîtage) ou éventuellement une à deux lucarnes simples (pas de châssis groupés) type passantes* » et « *ne pas habiller les lucarnes de métal et prévoir des jouées enduites.* »
  - exigences sur le châssis de toit : « *l'implantation ne doit pas être trop près de l'égout du toit ; prévoir une garde de 40 cm comme c'est recommandé pour la lucarne* »
- les fenêtres et occultations :
  - refus de création ou d'agrandissement des fenêtres existantes (en réhabilitation),
  - exigences sur le dimensionnement des fenêtres : refus de baie vitrée, refus de baies plus hautes que larges, refus de fenêtre de dimensions variables : « *la multiplication des formes et des types de fenêtres perturbe la lisibilité des façades. Limiter à 2 (sans compter la porte-fenêtre) le nombre de modèles de fenêtre employés pour éviter un effet catalogue ; les baies devront être plus larges que hautes (rapport habituel : h = 1 × 1,3)…* »),
  - nombre ou positionnement des fenêtres (autant au sud que sur d'autres façades par exemple, refus des percements en angle…),
  - refus de changer la position des fenêtres dans la profondeur du mur (pour éviter les ponts thermiques),
  - exigences de volets battants de couleur spécifique,
  - exigences concernant les volets roulants : « *les coffres de stores et de volets roulants devront être non-apparents* »,
  - …

Le projet nécessitant un dossier de permis de construire signé par un architecte, le maître d'ouvrage a retenu un des trois architectes suggérés par Les Airelles.
Ce projet se situe sur le territoire du parc naturel régional (PNR) du Vexin et, comme il est situé non loin d'un monument historique (église Saint-Crépin-Saint-Crépinien), le site est classé et soumis aux exigences de l'ABF, parmi lesquelles l'alignement sur rue et un mur de façade en pierres du Vexin (photo 8.16).
Le cahier des charges du maître d'ouvrage était relativement classique : une maison avec une architecture moderne s'intégrant dans le paysage et la culture du Vexin, pas beaucoup de pièces mais une grande surface/volume pour chaque pièce, un rez-de-chaussée comprenant le salon, la salle à manger, la cuisine avec coin repas et ouverte sur la salle à manger et une chambre avec salle de bains, un étage comprenant deux chambres, un bureau, une salle de bains commune avec baignoire et douche italienne, un garage pour deux voitures et un sous-sol.

Un travail de mise au point entre l'Atelier 970 et Les Airelles (contactés au préalable par le maître d'ouvrage pour sa connaissance et son expérience dans la construction passive) a marqué le démarrage de ce projet (Atelier 970 ayant une expérience du passif limitée à une maison à Saint-Martin de Boscherville en Normandie en 2012).

Projet architectural

Le projet résolument contemporain se compose de deux volumes simples : un volume principal reprenant la volumétrie des maisons traditionnelles (RDC + étage sous combles à 2 pans) associé à un volume de plain-pied en toiture-terrasse (fig. 8.4).
Le projet s'inscrit dans le prolongement des constructions existantes de manière à conserver le front bâti sur la rue. Sa forme en « L » permet de maîtriser et d'augmenter les apports solaires (photo 8.17). Une résille de bois ajouré en bardage et en couverture et un double mur en pierres du Vexin habillent respectivement chaque volumétrie (photo 8.18).



Plan de rez-de-chaussée

Plan de l'étage

Fig. 8.4 Plan de la maison Source : Atelier 970





Photo 8.17 Une maison en L mitoyenne d'un côté
Crédit photos : M. Gosselin



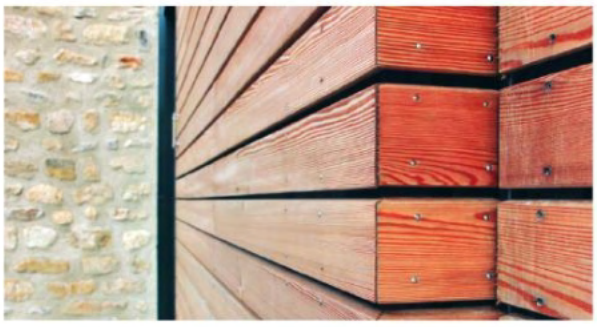




Photo 8.18 La façade nord de la maison a peu d'ouvertures et alterne pierre et bardage bois
Crédit photos : M. Gosselin

Caractéristiques de l'enveloppe

Une cave se situe au milieu du bâtiment entre deux parties sur vide sanitaire (fig. 8.5).
Le choix du bois s'est imposé par son bilan environnemental à la fois pour le propriétaire, l'architecte et le constructeur, les isolants retenus étant la ouate de cellulose et la fibre de bois (fig. 8.6).
Un complément d'isolation avec un doublage en polyuréthane a dû être ajouté pour satisfaire les exigences de l'ABF (continuité de la façade sur rue et non pas orientation au sud) et tenir compte des masques solaires voisins (photo 8.19 et fig. 8.7).

La pierre du Vexin a été mise en œuvre *via* un système de double-mur sur semelle de fondation devant l'ossature bois. Une membrane « nid d'abeille » permet la fixation des pierres aux murs bois, en assurant une ventilation entre la maçonnerie et le mur bois (photo 8.20).
Les fenêtres de toit sont en quadruple vitrage et équipées de volets roulants extérieurs.
Dans le calcul RT 2012 les déperditions moyennes ($U_{bât}$) sont égales à 0,22 W/(m².K).

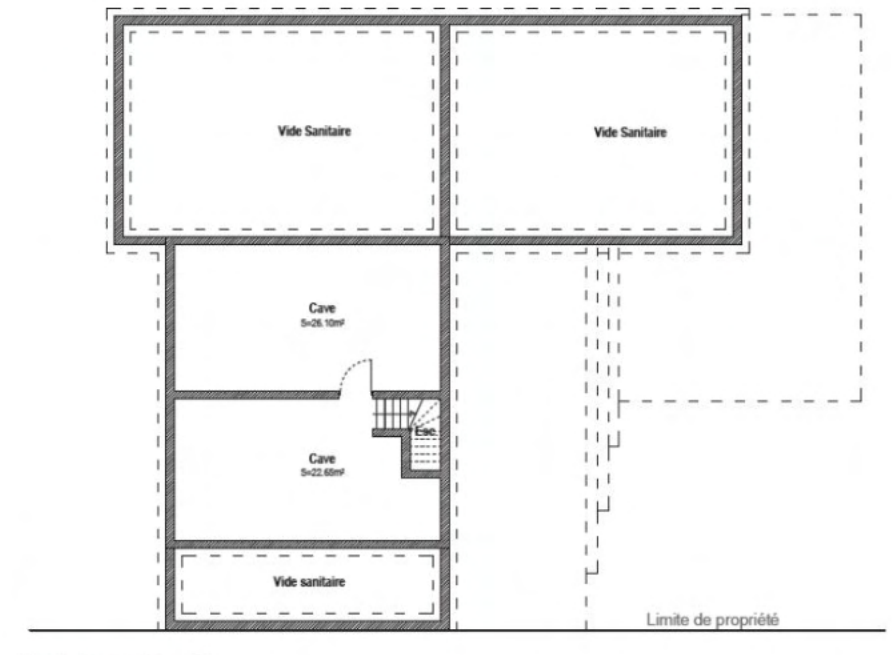


Fig. 8.5
Plan du sous-sol : deux caves accessibles encadrées par un vide sanitaire
Source : Atelier 970



Photo 8.19 Une sur-toiture en bois selon les exigences de l'ABF
Crédit photos : M. Gosselin

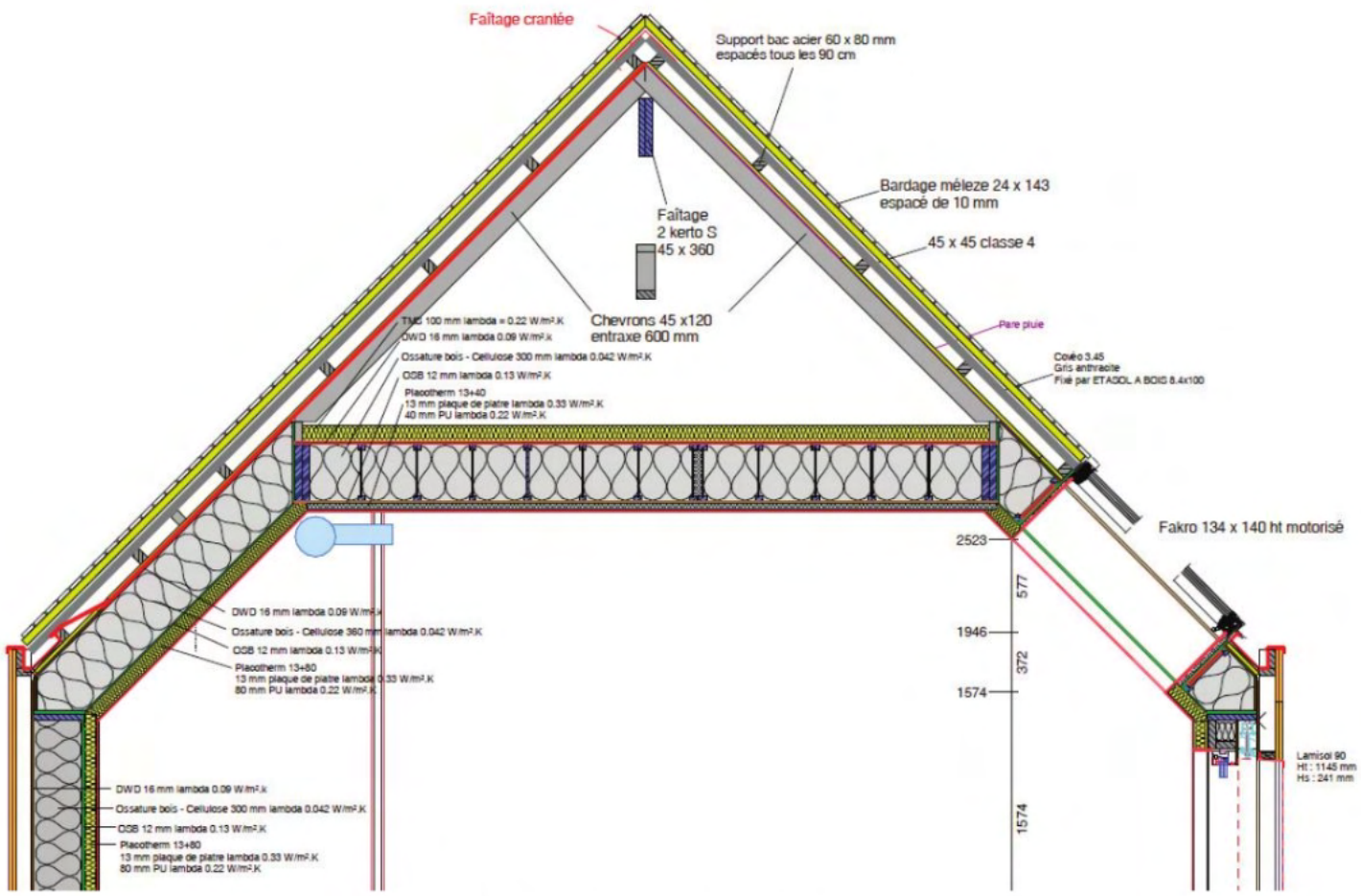


Fig. 8.6 Coupe de la toiture
Source : Les Airelles

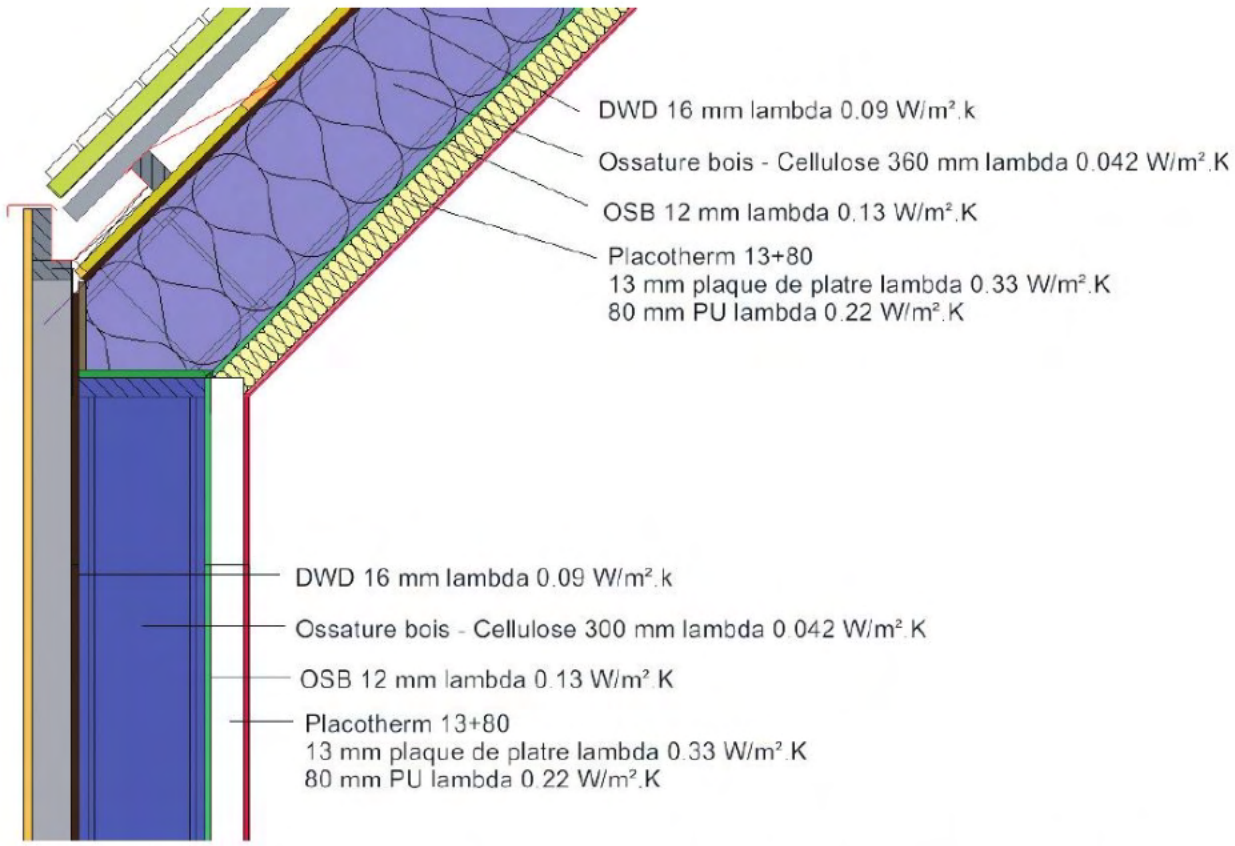


Fig. 8.7
Schéma de détail de la liaison mur de façade-toiture (rampants)
Source : Les Airelles



Photo 8.20 Mise en œuvre de la pierre du Vexin
Crédit photo : M. Gosselin

Tab. 8.5 Principales caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment selon le PHPP
Source : Les Airelles

Composants de l'enveloppe	Caractéristiques de l'enveloppe	Valeur U (W/(m².K))
Façades	Panneau de plâtre Placotherm, polyuréthane 80 mm de λ = 0,022 (Pavatherm), lame d'air, panneaux OSB, ossature bois avec ouate de cellulose 294 mm de λ = 0,042, fibre de bois 16 mm, bardage bois ajouré (mélèze) ou double-mur en pierre.	0,093
Plancher bas	Carrelage sur chape, Panneaux mousse polyuréthane 100 mm (TMS), Plancher léger à isolation thermique intégrée 370 mm (Isoltop), λ = 0,052.	0,084
Toiture	Panneau de plâtre, polyuréthane 80 mm de λ = 0,022 Pavatherm, panneaux OSB, ouate de cellulose 405 mm de λ = 0,042, pare-pluie, vide technique, support bac acier (60 x 80 mm), bardage bois (mélèze, 24 x 143 mm).	0,077
Menuiseries	Menuiseries André, Smartwin triples vitrages, facteur solaire g = 52 %.	U_g = 0,53 U_w = 0,80
Porte d'entrée	Porte Climatop Plus	U_d = 0,68

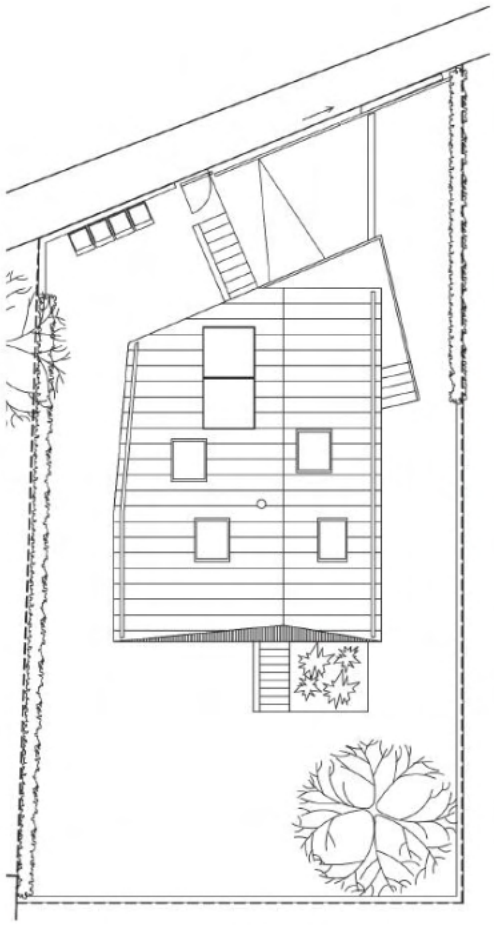


Fig. 8.8 L'emplacement très contraint de la maison sur la parcelle Source : Agence Karawitz



Photo 8.26 Ouverture de la maison sur la rue
Crédit photo : Schnepp Renou, Agence Karawitz

Projet architectural

Le projet a été conçu sur une surface de terrain extrêmement réduite de 300 m², dans une rue arborée de Marly-le-Roi, petite commune des Yvelines. Afin de préserver un maximum d'espaces verts, la maison est située en bordure de parcelle et se positionne sur la rue. Elle fait en quelque sorte un pas vers son voisinage pour créer un sentiment d'urbanité inédit dans cette zone pavillonnaire. Comme le PLU interdit toute ouverture sur les maisons mitoyennes, les ouvertures se situent sur l'arrière de la parcelle et plus largement sur la rue (fig. 8.9).

La maison comporte trois niveaux avec une entrée en contrebas (R–1).

De la rue, les clôtures en acier galvanisé perforé laissent filer le regard des passants vers le jardin dont le terrain glisse sous la maison. C'est aussi une invitation à entrer (photo 8.26).

La toiture en zinc et le bardage en mélèze pré-grisé s'accordent dans un ensemble résolument contemporain. La maison semble léviter grâce à la dépression de terrain qui permet l'accès (niveau – 1) et abrite un espace réservé à la voiture et au bois de cheminée (photo 8.27).

L'aménagement du rez-de-chaussée se caractérise par la fluidité de ses trois espaces (salon, séjour, cuisine) qui communiquent en s'organisant autour de la cheminée centrale qui assure à elle seule le chauffage de cette maison passive (fig. 8.10). La cuisine et un salon intimiste se situent de part

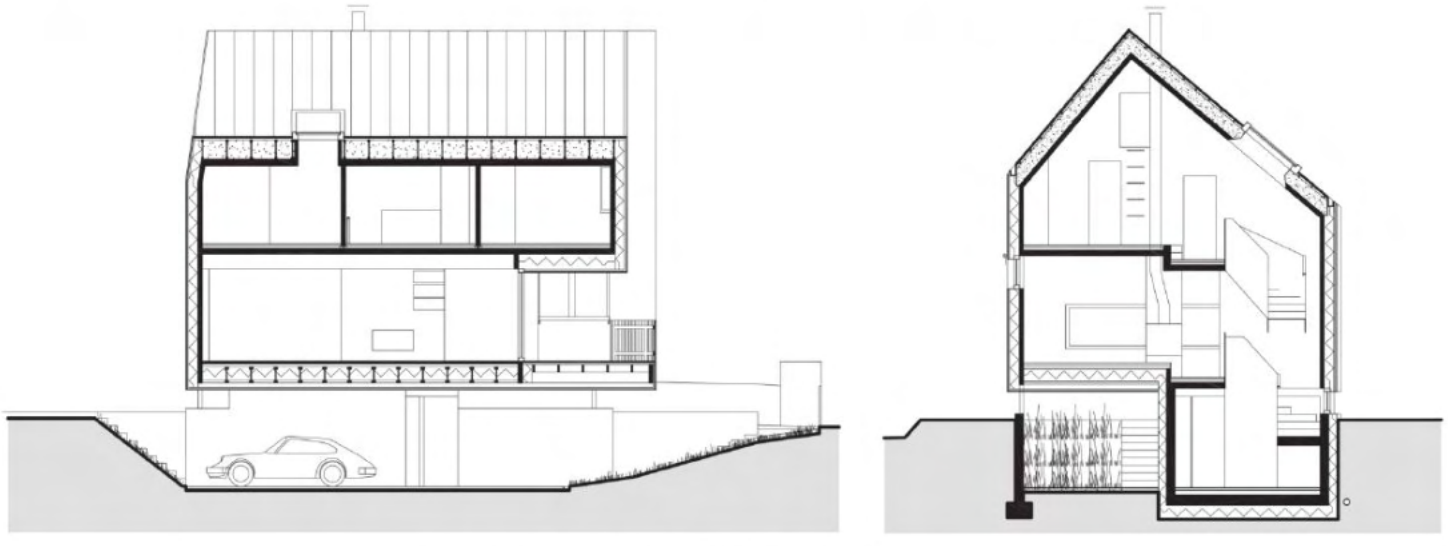
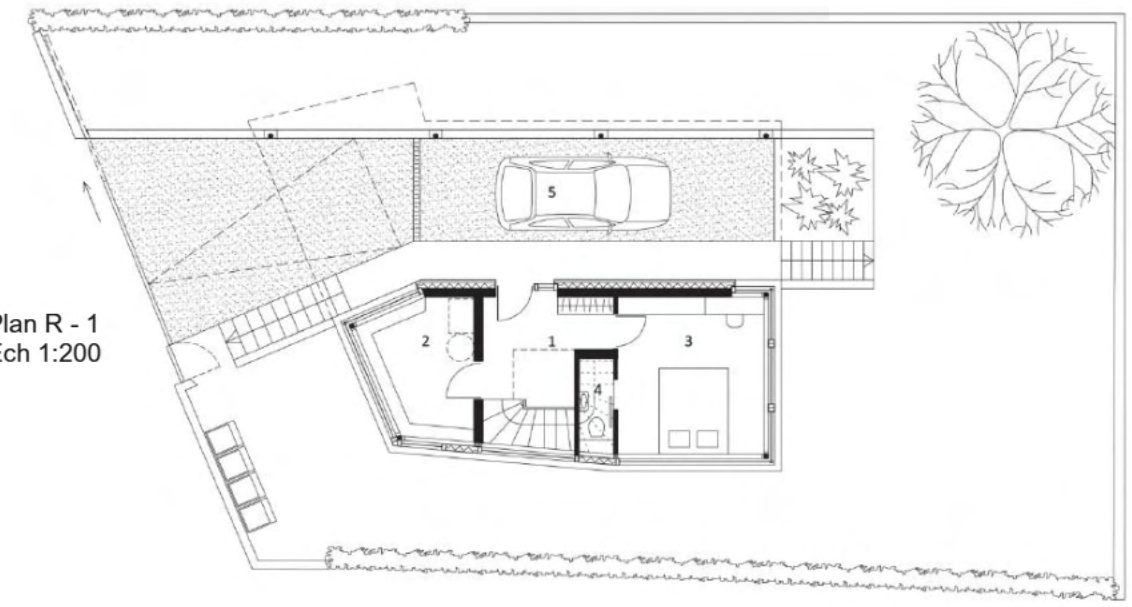
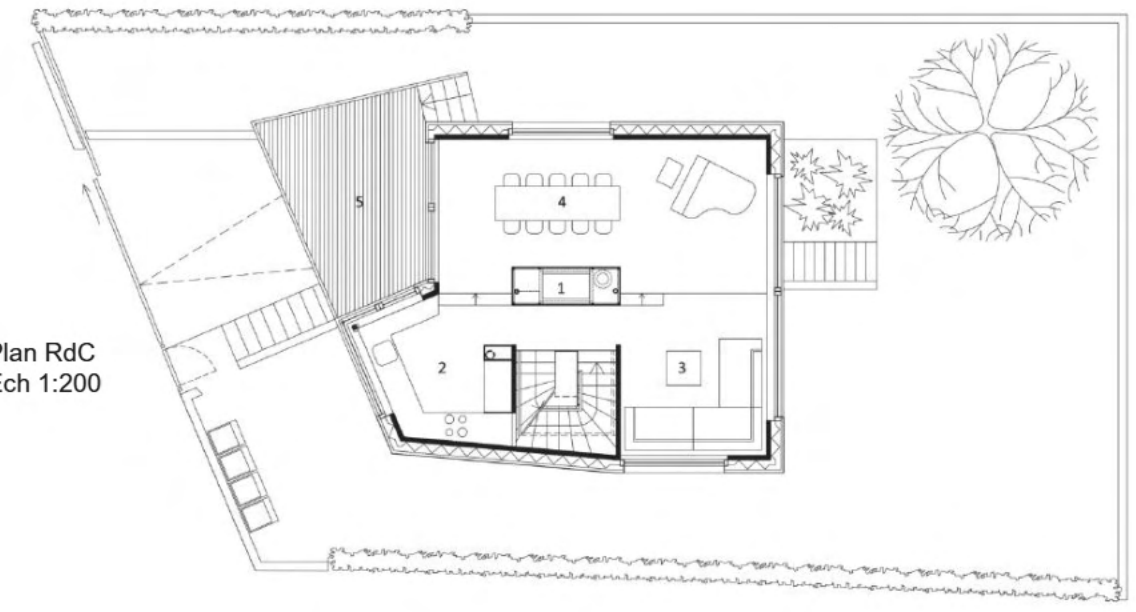


Fig. 8.9 Coupes de la maison Source : Agence Karawitz



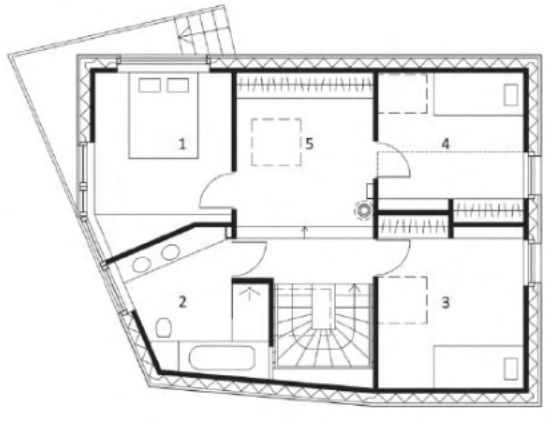
Plan R - 1
Ech 1:200

1. Entrée
2. Local technique
3. Chambre d'ami
4. Salle de bains
5. Carport



Plan RdC
Ech 1:200

1. Cheminée
2. Cuisine
3. Salon
4. Salle à manger
5. Terrasse



Plan R + 1
Ech 1:200

1. Chambre parents
2. Salle de bains
3. Chambre 1
4. Chambre 2
5. Aire de jeux

Fig. 8.10 Plan de la maison sur les trois niveaux
Source : Agence Karawitz

La maison a été construite sur une cave et un garage qui prennent toute l'emprise au sol de la maison. Le plancher bas est constitué d'une chape en béton isolée sur hourdis en polystyrène et recouvert de pierre naturelle de Bourgogne, moins froide aux pieds que du carrelage.
La construction a une forme courbe au sud et à l'est permettant en quelque sorte de mieux suivre la courbe du soleil et de bénéficier de ses rayons dès son lever jusqu'au coucher (fig. MI 01.1). Cette forme courbe améliore notablement la qualité acoustique de la pièce principale de la maison (bureau, séjour, cuisine).
Cet ensemble comporte de nombreuses fenêtres ouvertes sur le jardin qui favorisent les apports solaires.
La construction est en ossature bois constituée de poutres moisées (photo MI 01.5). Les murs sont constitués d'une double rangée de parpaings de chaux et chanvre (15 cm et 10 cm, produits en Isère), renfermant 15 cm de ouate de cellulose (55 kg/m^3) (photo MI 01.6).
Un enduit à la chaux habille l'extérieur alors que les finitions intérieures ont été réalisées avec de la terre crue… provenant du terrassement de la maison.
Afin d'alterner avec la couleur argileuse de la terre crue du mur, le maître d'ouvrage a mélangé de l'argile de son jardin avec celle, plus claire, provenant d'un terrassement voisin.
La toiture rampante est isolée par 40 cm de ouate de cellulose (les variations de densité des matériaux forment une barrière acoustique importante) (photo MI 01.7) et la finition est assurée par des panneaux de Fermacell laissés à l'état brut afin de conserver leurs capacités perspirantes.
Les menuiseries sont en triple vitrage sur les façades nord et ouest et en double vitrage peu émissifs avec argon sur les autres façades. Ce choix différencié vise à bénéficier des rayons bas du soleil en hiver côté sud.
Ce choix de paroi perspirante a été réalisé après évaluation de différents matériaux et réalisation de plusieurs calculs,



Photo MI 01.4 Côté nord : l'entrée et la descente vers le garage et le sous-sol
Crédit photo : C. Charlot-Valdieu

notamment du point de rosée au sein du mur (pour éviter les condensations dans le mur, qui le dégraderaient à terme).

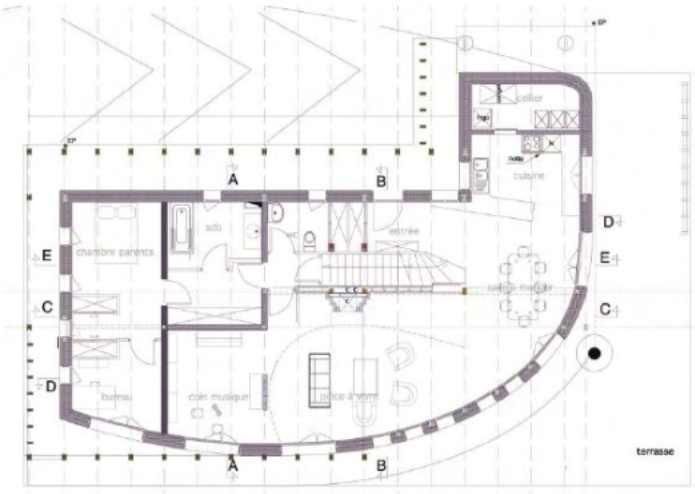


Fig. MI 01.1 Plan du rez-de-chaussée de la maison avec sa façade courbe au sud-est
Source : Altana Architectures



Photo MI 01.5 L'ossature bois prend appui sur une dalle plane en béton
Crédit photo : le maître d'ouvrage



Photo MI 01.6 Des parpaings de chaux et chanvre (Chanvribloc) à l'extérieur comme à l'intérieur
Crédit photo : le maître d'ouvrage

Cette exigence de l'ABF a conduit à augmenter la surface de panneaux solaires pour assurer l'apport énergétique en hiver mais aussi à faire installer un deuxième ballon de stockage d'eau chaude (photo MI 01.12) pour absorber l'excès de chaleur l'été. Ce deuxième ballon peut assurer un appoint en cas de besoin.
L'insert au centre de la maison qui diffuse sa chaleur dans le mur radiateur et à l'étage (photos MI 01.13 et MI 01.14).
Ce mur de briques en terre crue situé au centre de la maison (photo MI 01.13) apporte l'inertie et le déphasage nécessaires entre les périodes où il accumule la chaleur et celles où il la restitue. Les premiers apports sur ce mur radiateur sont aussi les apports directs du soleil.
Ce mur radiateur a occasionné quelques soucis pour trouver des artisans compétents pour le poser. C'est le maître d'ouvrage lui-même qui s'est chargé de trouver et recruter des artisans (des Turcs arrivés en France depuis peu qui connaissaient cette technique).
La régulation du système est assurée de manière très classique par une sonde extérieure et une sonde intérieure.



Photo MI 01.12 Le ballon principal d'ECS (à gauche) et le 2e ballon de délestage (consécutif aux exigences de l'ABF)
Crédit photos : C. Charlot-Valdieu



Photo MI 01.13 L'insert et le mur de briques en terre crue au centre de la maison
Crédit photos : C. Charlot-Valdieu

Pour que la rotation de 45 ° par rapport à l'alignement soit acceptée, le maître d'ouvrage a dû contacter l'ensemble des acquéreurs de lots (18 lots) afin de recueillir au moins 75 % d'avis favorables. Ceci fut assez compliqué car il a fallu identifier les acquéreurs (ceux-ci résidant dans des communes différentes parfois éloignées), les contacter et les rencontrer. Cela a donc pris beaucoup de temps. Cependant le maître d'ouvrage a recueilli 100 % d'avis favorables et, dès juin 2010, la fête des voisins fut une vraie réussite…
Le règlement du lotissement imposait également la plantation de 10 à 15 arbres, ce qui posait la question des ombres portées dans les années à venir.

PROJET ARCHITECTURAL

La maison est à ossature bois sur dalle de terre-plein, sur deux niveaux (fig. MI 02.2 et MI 02.3) :

- 90 m^2 en rez-de-chaussée avec un séjour et une cuisine ouverte, une chambre-bureau, des toilettes et un cellier ;
- 40 m^2 à l'étage avec trois chambres dont deux au sud, une salle de bains et des toilettes.

Le garage (18 m ^{2}) est accolé à la maison, sur une cave et avec un grenier (15 m²), les murs et plafonds de la cave comme du grenier étant isolés (fig. MI 02.2).
Le maître d'ouvrage souhaitait une fenêtre (0,5 m²) à l'ouest au-dessus du plan de travail de la cuisine et une extraction d'air vers l'extérieur pour pouvoir mettre un poêle à bûches. Enfin, il ne voulait pas de BSO sur la façade vitrée au sud et souhaitait des lamelles orientables non motorisées.

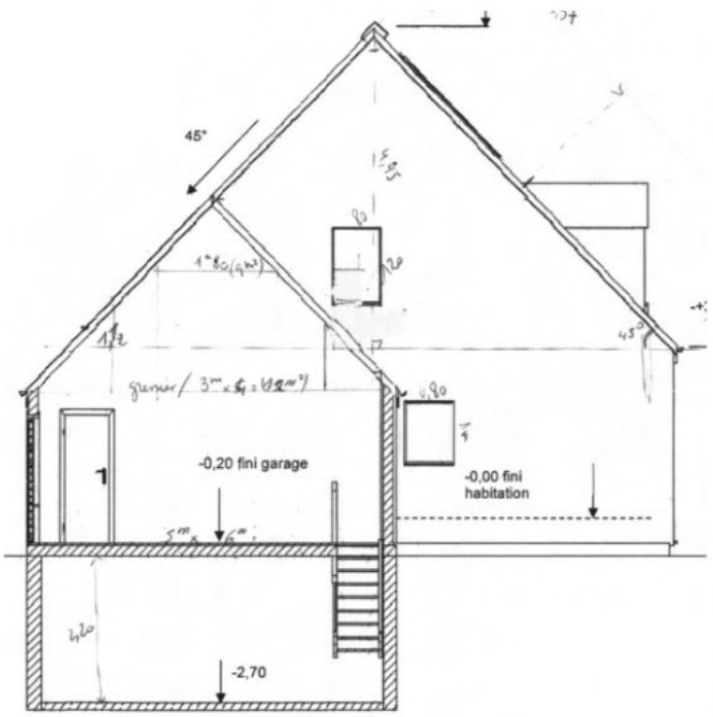


Fig. MI 02.2 Coupe de la maison
Source : Les Airelles

CARACTÉRISTIQUES DE L'ENVELOPPE

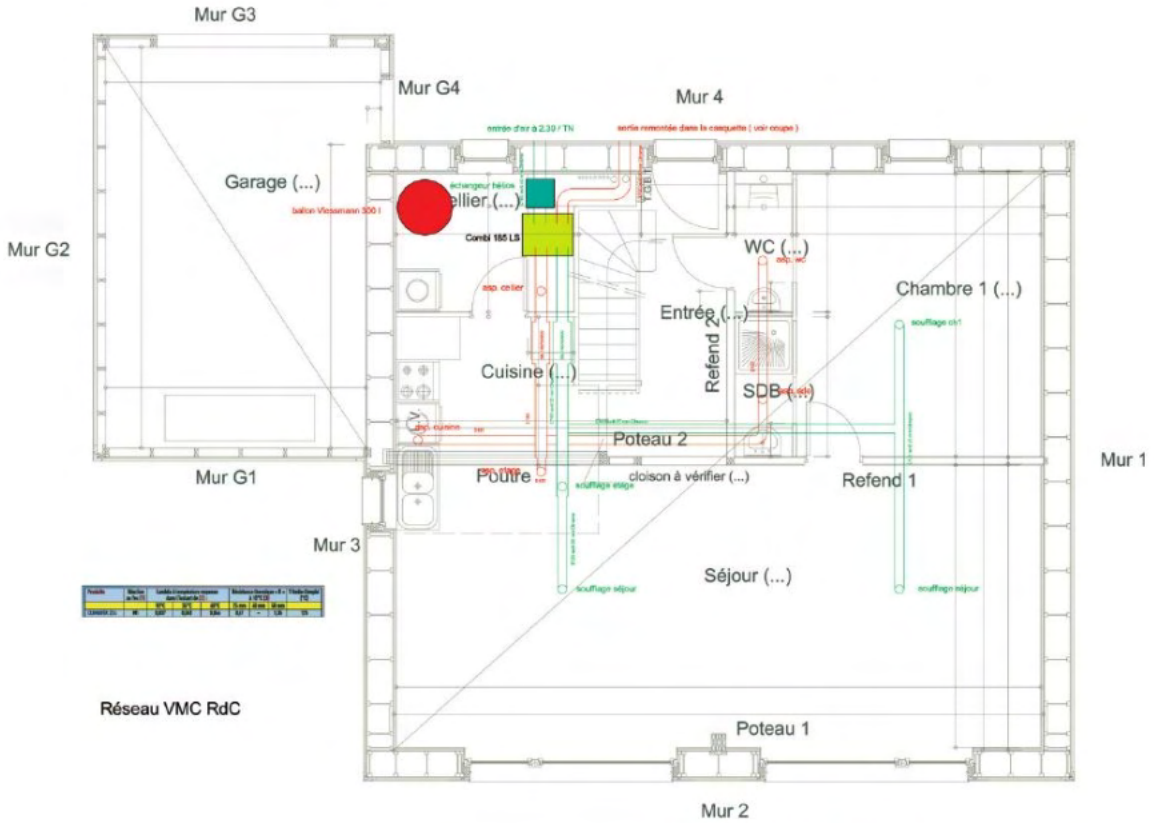




Photo MI 02.2 Excavation pour créer la cave
Crédit photo : Les Airelles



Photo MI 02.3 Une forte isolation des fondations
Crédit photo : Les Airelles



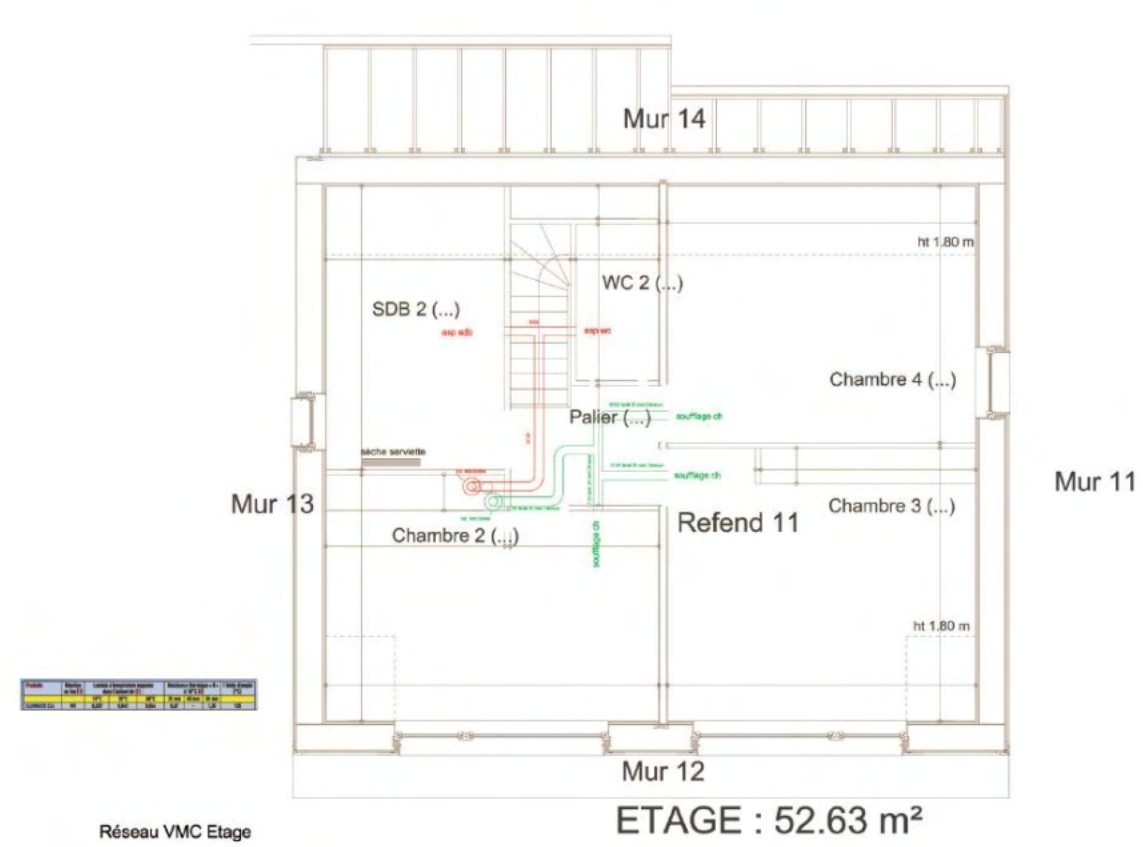


Fig. MI 02.3 Le réseau VMC au rez-de-chaussée et à l'étage

Crédit photo : Les Airelles et Energélio

PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE RÉELLE

Les factures montrent qu'entre mars 2009 et le 1er octobre 2018 (~ 10 ans) **la consommation d'énergie finale s'est élevée à 37 kWh/(m².an)**.

ANALYSE DU CYCLE DE VIE, EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE

Une cuve de récupération des eaux pluviales en béton de 5 000 litres permet :

- l'alimentation des toilettes (environ 40 m³ pour les deux WC) ;
- l'arrosage du jardin ;
- l'approvisionnement en eau chaude du lave-linge et du lave-vaisselle l'été (l'hiver l'ECS est fournie par la Genvex qui a un ballon de 185 litres).

SANTÉ ET CONFORT

La température intérieure est constante, autour de 20 °C, bien répartie entre l'étage et le rez-de-chaussée.
Le confort d'été est atteint grâce à l'utilisation quotidienne des rideaux à lamelles orientables (BSO) « Griessler » (photos MI 02.1 et MI 02.4) et à une sur-ventilation nocturne (la VMC double flux étant coupée). « *Cependant les BSO étant d'utilisation manuelle il est parfois difficile d'occulter les baies vitrées lorsque nous sommes absents et le soir il fait chaud… L'idéal serait que les BSO soient automatisés et réglés en fonction du vent et du soleil.* »

COÛTS

Le coût de construction est de 240 000 € TTC, soit 1 791 € HT/m² habitable.
Les coûts d'entretien de la maison sont limités. Seul 50 % du bardage (120 m²) avaient été traités avec l'huile mais il y a peu de différence entre les deux parties du bardage.
Un traitement du bardage (avec échafaudage) était prévu pour 2015 et il a été effectué par le maître d'ouvrage lui-même en 2016 : ponçage et huilage trois couches au pinceau (35 litres à 22 € TTC, soit 770 € pour 120 m² ou 6,5 €/m² hors main-d'œuvre).
Par ailleurs, la consommation moyenne annuelle d'énergie (en énergie finale facturée) s'élève à 4 650 kWh dont les 2/3 sont en heures pleines et 1/3 en heures creuses, pour tous usages électriques avec une mensualisation de 75 €/mois (sur 10 mois), soit **750 €/an ou 62,5 €/mois**.

Le surcoût du passif et de la labellisation BEPOS effinergie

Le surcoût de la maison a été estimé à 70 000 € par rapport à un pavillon RT 2005 coûtant 200 000 € (1 600 €/m²).
Ce surcoût de 70 000 € comprend :

- **45 000 € investis en supplément pour le concept passif** (CESI Viessman, isolation renforcée en ouate de cellulose, triple vitrage, frais d'études thermiques, enveloppe étanche de la maison) ;
- 8 000 € pour l'installation d'un poêle à bûches étanche et 16 700 € pour 11 m² de PV, soit **24 700 € qui correspondent au surcoût du BEPOS** (10 % du coût de construction).

Tab. MI 2.1 Surcoût et amortissement du surcoût du passif et du BEPOS (sans actualisation)
Source : le maître d'ouvrage

	Surcoût et amortissement du surcoût du passif et du BEPOS (en millier d'euros par an)										
Années	2008	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9	+10
Surcoût à la construction	– 69,7										
Subventions		23,4									
Crédit d'impôt			8								
Intérêts d'emprunts bonifiés			2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,2		
Exonération impôts fonciers			0,3	0,3	0,3	0,3	0,3				
Revente électricité PV		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Économie de fonctionnement		1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
Économies cumulées	**– 69,7**	**25,52**	**38,24**	**42,96**	**47,68**	**52,36**	**57,08**	**61,5**	**65,82**	**67,94**	**70,06**

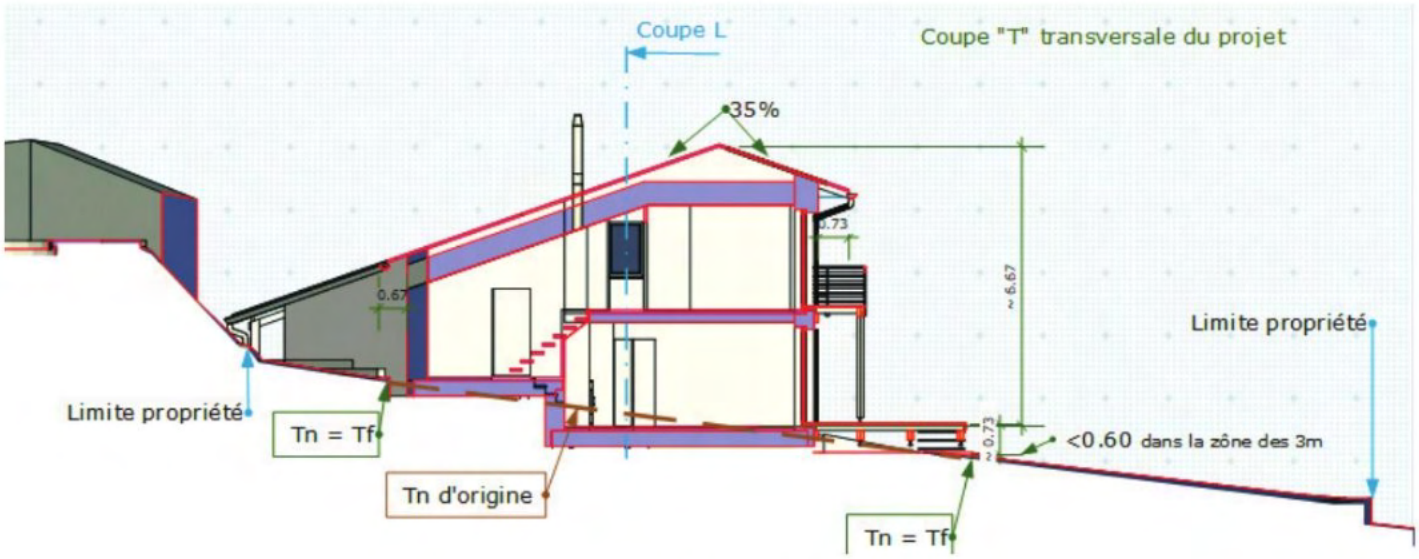


Fig. MI 04.2 Coupe et plan de la maison
Source : Eco2travaux

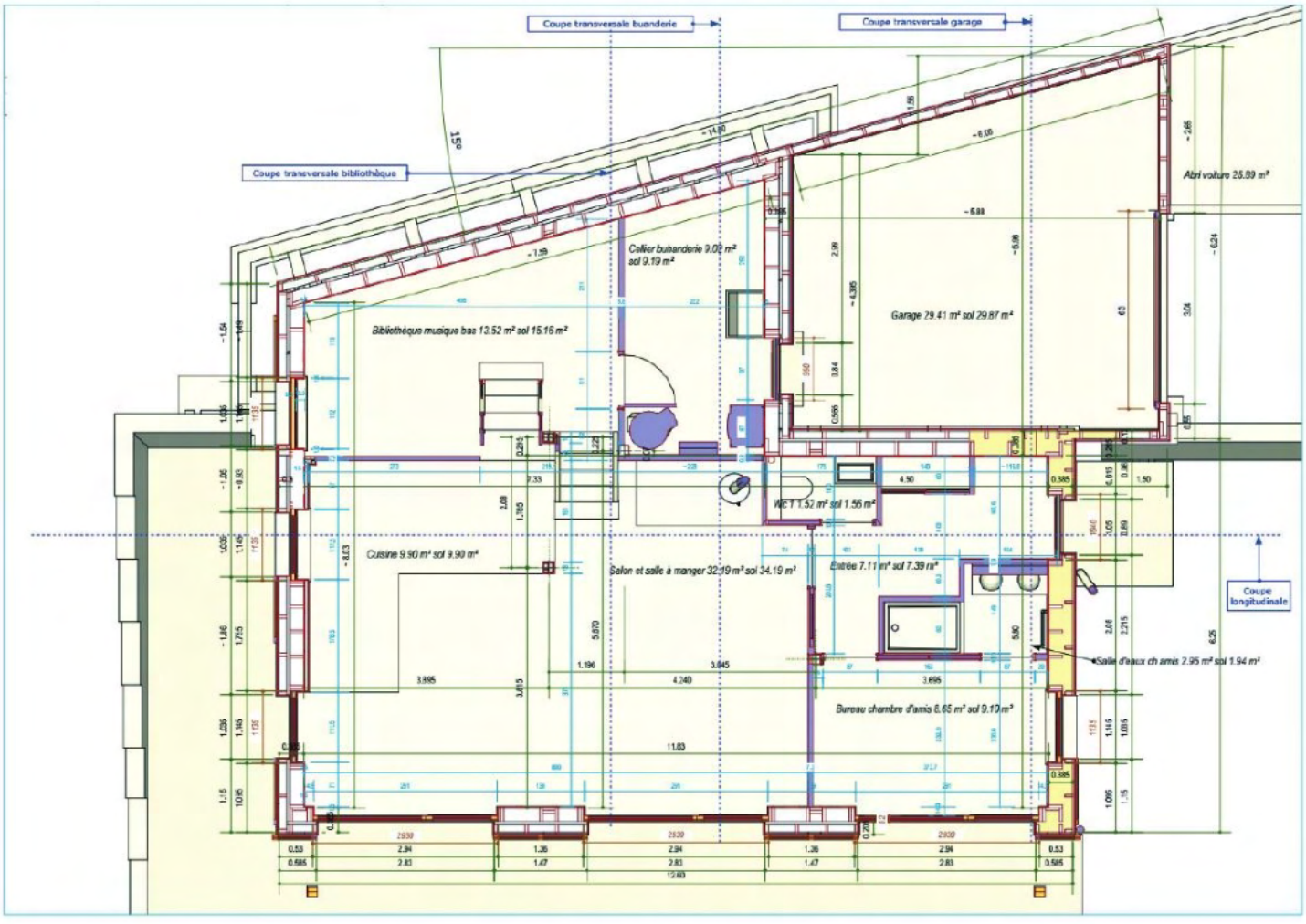


Fig. MI 04.3 Plan du rez-de-chaussée : le garage n'est pas dans le volume chauffé
Source : Eco2travaux

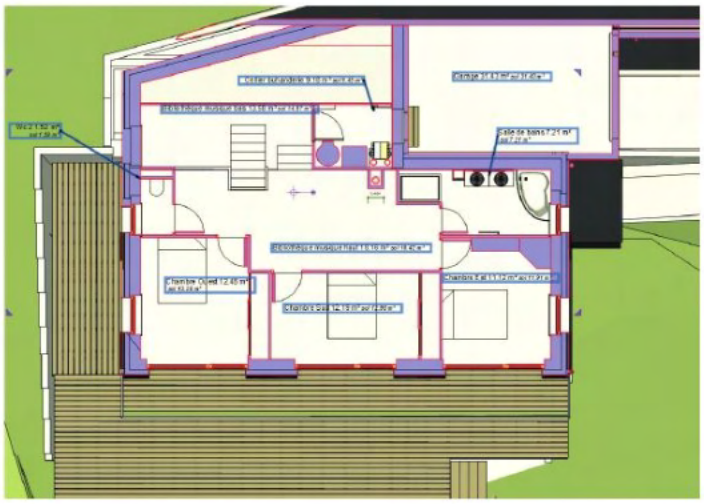


Fig. MI 04.4 Plan de l'étage : les trois chambres ont de grandes baies vitrées au sud
Source : Eco2travaux

CARACTÉRISTIQUES DE L'ENVELOPPE

La structure de la maison est constituée d'une double ossature en bois massif (sapin) et de panneaux Fermacell en parement de tous les murs extérieurs, des plafonds et des planchers. Les panneaux Fermacell sont perspirants (laissant passer la vapeur d'eau) et répondent à eux seuls à cinq fonctions : parement intérieur, contreventement, frein-vapeur, étanchéité à l'air et inertie.

Ce système constructif exige une attention particulière concernant l'implantation rigoureuse de chaque panneau en bois d'ossature et de chaque composant de l'appareillage électrique (interrupteurs et prises) du fait de l'absence de vide technique. La réussite de la conception passive nécessite, entre autres, de limiter fortement tout percement de la paroi et de l'enveloppe thermique. Ainsi, elle permet de garantir et d'optimiser la perméabilité à l'air tout en diminuant encore davantage l'impact de chaque pont thermique persistant à chaque traversée d'enveloppe. Par exemple, sur la maison d'Ancy, seule l'énergie utile à l'intérieur de l'enveloppe est acheminée à l'intérieur de cette même enveloppe. Pour répondre aux attentes environnementales, de confort et de santé, l'isolant retenu est la ouate de cellulose Isofloc (photo MI 04.3).

Afin de fournir l'inertie nécessaire à la maison (notamment pour le confort d'été) et en évitant le recours au béton, le concepteur a décidé de charger chaque plancher (rez-de-chaussée et étage) avec 55 mm de sable mélangé avec 7 % de chaux. Cette charge minérale contribue à la parfaite planimétrie du sol avant la pose de la dalle sèche constituée de plaque en Fermacell et permet la pose de la gaine utile à la distribution des lots technique, sanitaire et électrique. Le local technique comprend, en plus des équipements utiles au fonctionnement de la maison (tableau électrique,



Photo MI 04.2 Le garage est au nord-est et en dehors du volume chauffé
Crédit photo : J.-C. Goutte-Fangeas, Eco2travaux



Photo MI 04.3 Ossature bois et panneaux Fermacell avec ouate de cellulose insufflée
Crédit photos : J.-C. Goutte-Fangeas, Eco2travaux

chauffe-eau et adoucisseur), l'installation d'un surpresseur permettant la distribution de l'eau récupérée depuis la cuve de collecte des eaux pluviales. Du fait de la présence de ces équipements techniques plus ou moins bruyants, le concepteur a proposé la mise en place d'une cloison acoustique avec une double peau de Fermacell. Cette dernière contribue également au renfort de la charge minérale au bénéfice du confort d'été en améliorant l'inertie thermique.
Les menuiseries (portes, portes-fenêtres et fenêtres) sont en bois d'épicéa de 92 mm d'épaisseur, certifiées passives (photo MI 04.4). Elles sont équipées de triple vitrage et les volets coulissants sont également en bois (Douglas) de 40 mm d'épaisseur (fig. MI 04.5). Sous chaque linteau, un rupteur de pont thermique en laine de bois dense (Buitex) est mis en place de manière à limiter le pont thermique de pose des menuiseries. Les rails hauts des volets coulissants sont intégrés par un débord de façade de 60 mm au niveau de chaque linteau, ainsi l'épaisseur du mur s'accroît de 60 mm à chaque linteau. Les rails bas des volets coulissants de porte-fenêtre sont, eux aussi, intégrés à la terrasse en bois d'essence robinier naturel classe 4 sans traitement (photo MI 04.5).



Photo MI 04.4
La pose des menuiseries extérieures
Crédit photo : J.-C. Goutte-Fangeas, Eco2travaux

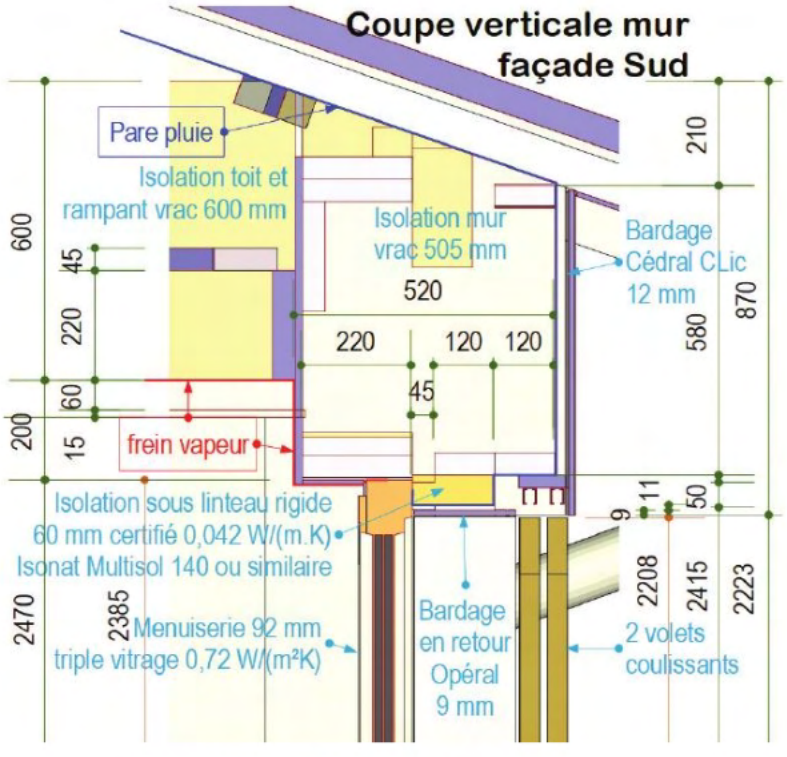


Fig. MI 04.5 Détail des menuiseries extérieures
Source : Eco2travaux

Le niveau de performance (passif) a été obtenu à l'issue **d'un long et patient travail de réflexion**, de conception et d'optimisation du projet au sein d'un dialogue permanent caractérisé par une confiance renouvelée entre maître d'ouvrage et maître d'œuvre.

PROJET ARCHITECTURAL

Étant donné les objectifs élevés de performance énergétique, le choix s'est porté sur la construction en ossature bois et, par souci d'économie et de réduction des déperditions thermiques, sur la compacité et l'optimisation de l'espace de manière à limiter les espaces perdus, les circulations inutiles et à bénéficier d'un maximum de luminosité et de profiter du jardin tout en favorisant l'évolution de la propriété dans le temps (fig. MI 05.2).

Afin de minimiser le nombre de mètres carrés « perdus ou inutiles », le concepteur s'est appuyé sur le principe des espaces commandés. Au rez-de-chaussée, la communication se fait d'une pièce à l'autre, sans couloir de distribution. L'entrée positionnée en façade est donne sur un vestibule qui commande directement les accès à la salle d'eau/buanderie, aux toilettes côté nord, à l'escalier et à la pièce de vie principale où la cuisine, la salle à manger et le salon se succèdent. À l'étage, l'escalier débouche sur un espace de dégagement qui dessert les chambres des enfants côté sud, l'appartement des parents et une grande salle d'eau, côté nord. Il a été positionné non pas de façon centrale mais un peu décalé à l'est pour libérer de l'espace en amont à l'étage et pouvoir intégrer un dressing dans la chambre des parents. Enfin, les grandes baies vitrées au sud permettent d'emmagasiner un maximum d'apports solaires passifs en hiver.



Rez-de-chaussée (55,4 m²) :
1 - Vestibule ;
2 - WC ;
3 - Buanderie / Salle d'eau ;
4 - Cuisine / Séjour ;
5 - Salon / Couchages ;
6 - Débarras ;
7 - Terrasse extérieure.

Étage (56,6 m²) :
8 - Dégagement ;
9 - Salle d'eau (13,5 m²) ;
10 - Chambre parents / Dressing (15,7 m²) ;
11 - Deux chambres (11,6 m²).

Fig. MI 05.2 Plans par niveau
Source : Architecture Bioclimatique Auvergne

SYSTÈMES TECHNIQUES

Ventilation : une VMC double flux avec échangeur thermique de marque Hélios avec bouches chauffantes plafonnières (thermostat individuel et puissance maxi 400 Wdans les 3 chambres) ; celles-ci sont utilisées ponctuellement, notamment en soirée (photo MI 05.8). Une surventilation nocturne est prévue.
Chauffage d'appoint : un poêle à granulés de bois avec prise d'air extérieur (Palazetti Aida 6/ 9kW) et 2 sèche-serviettes dans les pièces d'eau (un par étage).
ECS : chauffe-eau électrique individuel avec ballon de 300 litres (le coût d'un chauffe-eau thermodynamique ne rentrant pas dans le budget).



Photo MI 05.8 Mise en place de la VMC double flux dans le placard de la salle d'eau de l'étage (caissons collecteurs + conduits). La distribution du réseau s'effectue par le plancher intermédiaire.
Crédit photo : F. Ribeiro

PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE RÉELLE

La consommation d'énergie primaire (tous usages) s'est élevée à 113,8 kWhep/(m².an) en 2014-2015 et à 119,8 kWhep/(m².an) en 2017-2018.

Les consommations d'énergie la première année

Les consommations d'électricité de la première année d'exploitation (2014-2015), toutes utilisations confondues pour une famille de quatre personnes dont deux enfants en bas âge, se sont élevées à **4 434 kWh**. Cette consommation comprend l'éclairage, l'électroménager, les équipements divers, le ballon électrique, le poêle à pellets, deux petits sèche-serviettes, la VMC double flux et quatre bouches chauffantes.
Le coût de la première année d'exploitation s'est élevé à **818,10 € TTC (68,17 € TTC sur 12 mois)**. La part de la consommation électrique représente 57 % de cette somme, le reste concernant l'abonnement, les taxes et les frais divers.
Pour ce qui concerne le chauffage (poêle à granulés), en considérant que 1 kg de pellets correspond à 5 kWh en moyenne, la consommation de pellets pour la première année correspond à 17,5 sacs de 15 kg, soit 262,5 kg, soit 1 312,5 kWh, ce qui représente un coût total pour la première année d'exploitation de 84,65 € TTC **(7,05 € TTC par mois** sur 12 mois)[1]. Le poêle est équipé d'un thermostat et se met en route dès que la température descend en dessous de 20,5 °C.
En tout état de cause, les objectifs initiaux ont été très largement dépassés dès la première année et les maîtres d'ouvrage en ont été très satisfaits.

Les consommations de 2015 à 2018

Sur la saison 2015-2016, la consommation de granulés a été divisée par deux car l'hiver a été plutôt clément. Les consommations électriques ont également baissé de 12 % environ. La mensualisation effectuée par le fournisseur d'énergie est passée à 72 € /mois sur 10 mois.
La saison 2017-2018 a été assez froide, notamment en février, et la consommation de pellets s'est élevée à 25 sacs de 15 kg (qualité DIN+) pour un budget de 82,8 € TTC.
Les occupants ont mis également en fonctionnement des bouches de ventilation chauffantes dans les trois chambres, notamment en soirée (elles doivent développer 3 × 400 W), et la consommation totale d'électricité s'est élevée à :

- en 2015-2016 : 4 429 kWh pour 764 € TTC ;
- en 2016-2017 : 4 754 kWh pour 824 € TTC ;
- en 2017-2018 : 4 452 kWh pour 768 € TTC ;
- de janvier à fin septembre 2018 : 2 851 kWh pour 492 € TTC (à noter que depuis mars 2018 les occupants ont un véhicule électrique avec borne de recharge au domicile, ce qui augmente la consommation, chaque recharge représente entre 30 et 40 kW).

En moyenne, de 2014 à 2018, la consommation électrique s'est élevée à 4 500 kWh/an et la consommation de bois a été de 1 125 kWh/an, soit une consommation d'énergie finale moyenne de 5 625 kWh/an ou **50 kWhef/m².an (soit 114 kWhep/m².an, exactement ce qui était prévu par le PHPP…)**.
Enfin, depuis début 2018, la maison est équipée d'un compteur Linky. Nous savons ainsi que la consommation d'électricité est d'environ **1 €/jour en cas d'absence** (et donc pour la ventilation double flux, le réfrigérateur, le congélateur et les appareils électroniques) **et entre 2 et 3 €/jour lorsque la maison est occupée** (pour l'ECS notamment).

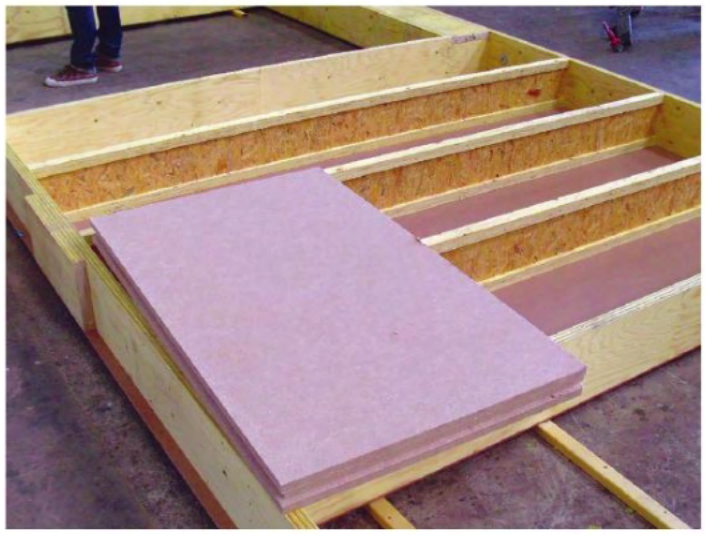


Photo MI 08.3 Des murs en ossature bois préfabriqués
Crédit photo : O2 Concept Architecture



Photo MI 08.4 Un mur en briques de terre crue apporte de l'inertie
Crédit photo : O2 Concept Architecture

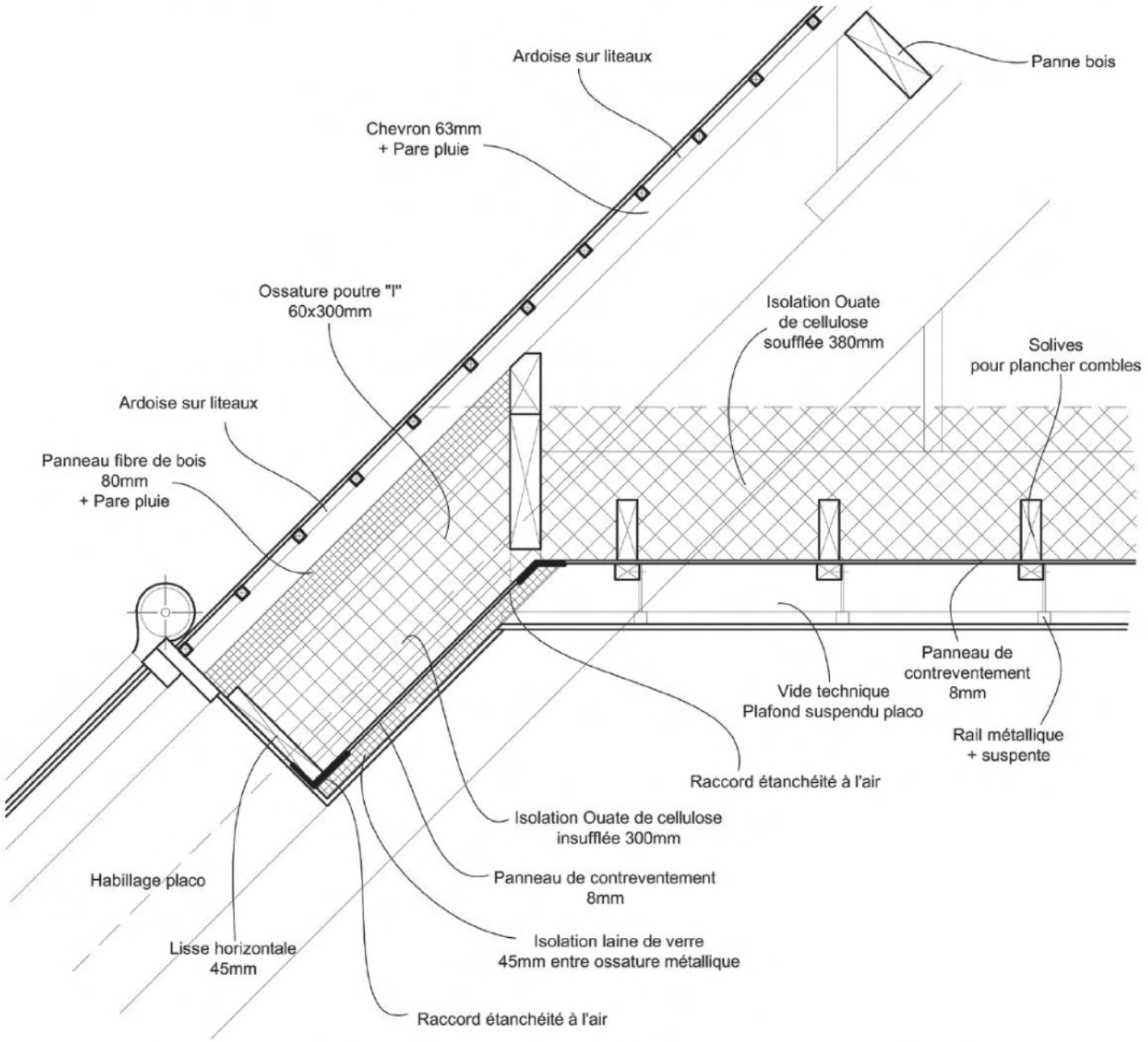


Fig. MI 08.4 Schéma de détail de l'isolation des combles Source :O2 Concept Architecture /Ekube

Le choix s'est porté sur des menuiseries antieffraction au rez-de-chaussée. Le ratio de surface vitrée est de 28,3 %. Dans les premières intentions du projet, la toiture à 45° devait se prolonger façade sud par un débord de toit en ossature bois, afin de créer une protection solaire fixe en été constituée de pannes bois et de consoles. Cependant ce système très efficace en été pour stopper le rayonnement solaire et les laisser passer en hiver était très défavorable en mi-saison et faisait chuter les apports solaires. Ce système a donc été abandonné au profit de brise-soleil orientables (BSO). Ainsi, les lames en aluminium sont descendues ou relevées suivant le besoin en apport solaire de la maison.

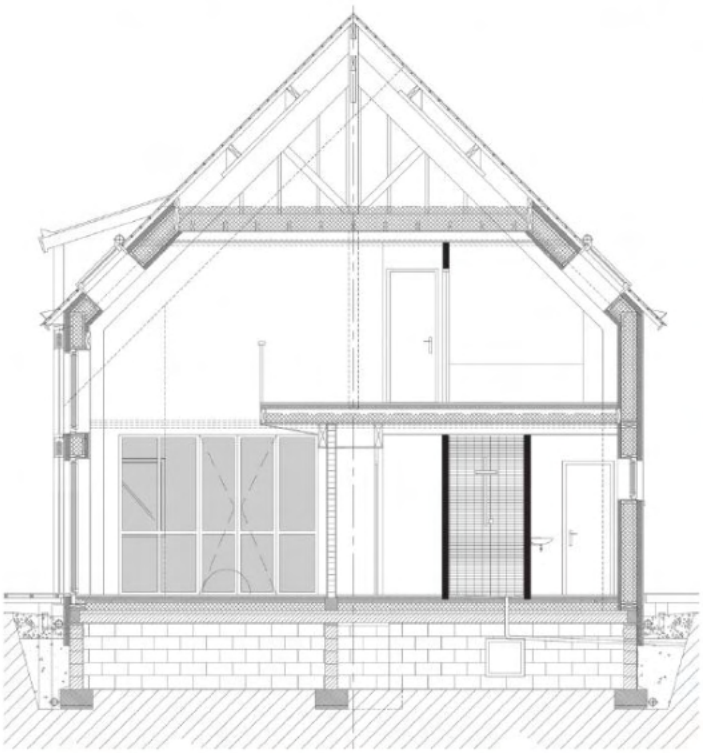


Fig. MI 08.6 Coupe sur séjour
Source : O2 Concept Architecture/Ekube



Photo MI 08.6 L'isolation des murs d'enveloppe et les trois piliers en béton cellulaire
Crédit photo : O2 Concept Architecture

Ces BSO automatiques retenus pour les menuiseries situées sur la façade sud sont fixés en applique extérieure de la façade et non dans l'épaisseur du mur, afin d'éviter tout pont thermique. Un travail précis de positionnement des coffres et des coulisses a été fait pour éviter d'ajouter des masques solaires supplémentaires. Afin d'alimenter en électricité les brise-soleil et aussi pour renforcer l'esthétique de la façade, une ossature métallique vient les encadrer (fig. MI 08.5).
Afin de compléter les apports solaires, des châssis de toit prennent place sur les toitures sud et nord.
Les murs de façades ont été pensés comme des murs-rideaux : ils ne portent pas le poids de la toiture. Une structure composée de poteaux et fermes bois reprennent les charges de la charpente. Seuls des points de fixation ponctuels liaisonnent ces poteaux aux façades, les panneaux de fibre de bois denses servant de contreventement et à l'étanchéité à l'air (fig. MI 08.7).

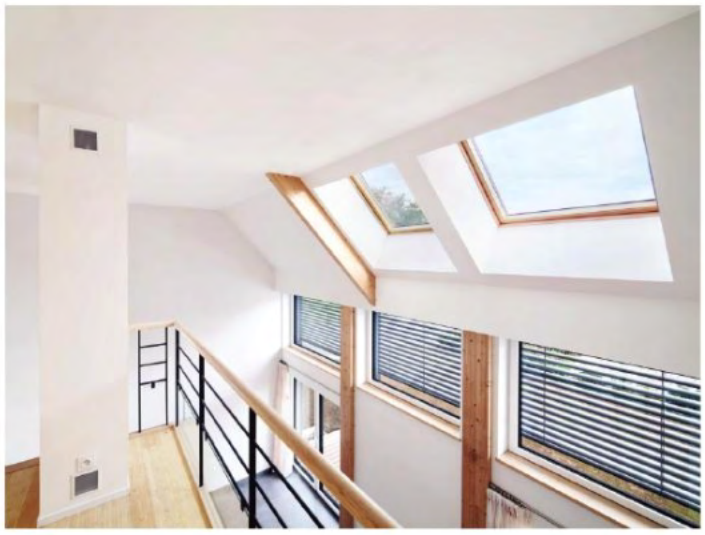


Photo MI 08.5 Les ouvertures en façade sud
Crédit photo : Rachel Rousseau Photographe



Photo MI 08.7 La façade nord avec un minimum d'ouvertures
Crédit photo : Rachel Rousseau Photographe



Photo MI 09.2 Pose des panneaux de façade préfabriqués en OSB
Crédit photos: O. Batmalle

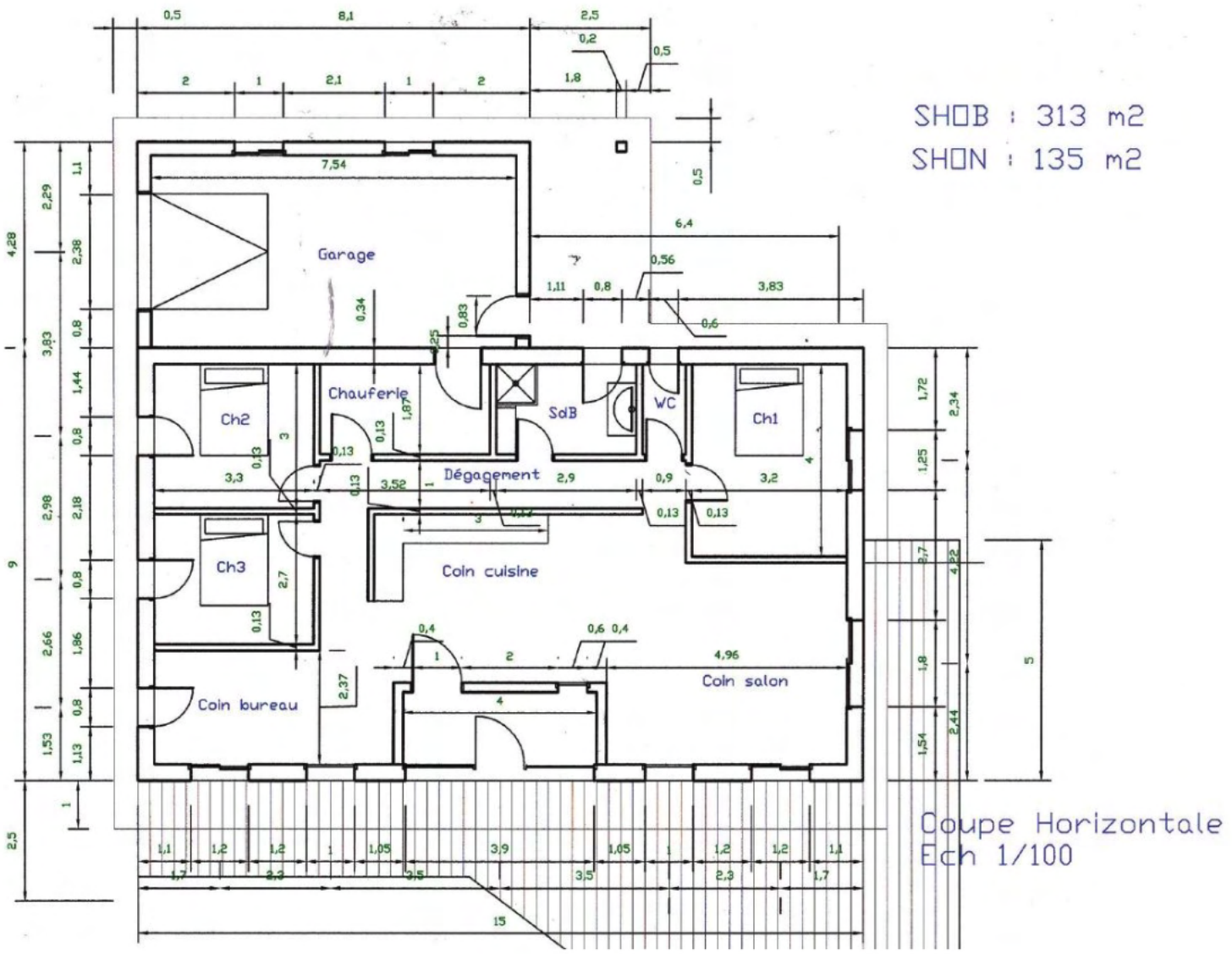


Fig. MI 09.2 Plan de la maison
Source : ETS Olivier Batmalle

Les eaux de pluies sont récupérées dans des cuves (15 m ^{3}) pour être ensuite injectées dans le réseau des WC et pour l'arrosage extérieur. Le volume de récupération annuelle possible, suivant les données de pluviométrie à Aix-en-Provence, est de 120 m^3.

COÛTS

Le coût de la construction est de l'ordre de 900 € TTC/m^2 pour le lot hors d'air et hors d'eau, pour atteindre les 1 800 € TTC /m^2 en final.

OPINION DES OCCUPANTS

Selon Monsieur Frédéric Claudet, « *il n'y a aucune sensation de paroi froide, aucun pont thermique, aucune entrée d'air parasite, aucun bruit de l'extérieur. Le carrelage placé devant les baies vitrées au sud permet d'avoir un apport de chaleur dans la soirée. De même, l'été, le carrelage ventilé la nuit permet de rafraîchir la maison tout au long de la journée. La maison a été construite avec des matériaux de qualité et on le ressent à l'utilisation. Nous avons une sensation de bien-être intérieur exceptionnel, un autre monde comparé à l'habitat traditionnel. Après une année dans la maison, quand on voit que l'on peut se passer de chauffage l'hiver et de climatisation l'été, avoir de*



Photo MI 10.21 Filtre zéolithe pour arrosage avec kit Irrigo Crédit photo : F. Claudet

l'eau chaude solaire complètement gratuite 10 mois sur 12, avoir une consommation électrique très réduite, on comprend que le standard passif est LA SOLUTION pour demain et que l'énergie la moins polluante est celle que l'on ne consomme pas !
Lorsque nous avons la visite de voisins :

- *ils sont surpris par la sensation de bien-être à l'intérieur de la maison ;*
- *un ami est passé un après-midi ensoleillé de janvier avec un fort mistral et il ne croyait pas qu'il n'y avait pas de chauffage, surtout au sol !* »



Photo MI 10.22 De grandes baies vitrées donnent sur la nature et les vignes
Crédit photo : F. Claudet

la terrasse et l'autre davantage destiné à l'accueil. Ceci a conduit à élaborer un plan au rez-de-chaussée en forme de T (fig. MI 11.3 et photo MI 11.5).
L'étage est très rectiligne et ouvert au maximum au sud (fig. MI 11.4).
Entre le rez-de-chaussée et l'étage, le maître d'ouvrage souhaitait une double hauteur sous plafond, à la fois pour accueillir l'escalier « architectural » et pour relier visuellement les deux espaces. Imaginée tout d'abord en façade sud avec une grande baie vitrée, cette double hauteur a été placée sur le mur nord, aveugle, afin de pouvoir placer les deux salles d'eau en premier jour. Une grande fenêtre de toit, très performante et équipée d'un store extérieur motorisé, a permis d'éclairer naturellement l'espace de l'étage et celui du rez-de-chaussée le long de l'escalier. La structure de la maison a été adaptée pour tenir le porte-à-faux au sud et la double hauteur au nord (photo MI 11.11).
Les échanges avec Fiabitat pendant la phase de préparation du dossier du permis de construire ont principalement porté sur :

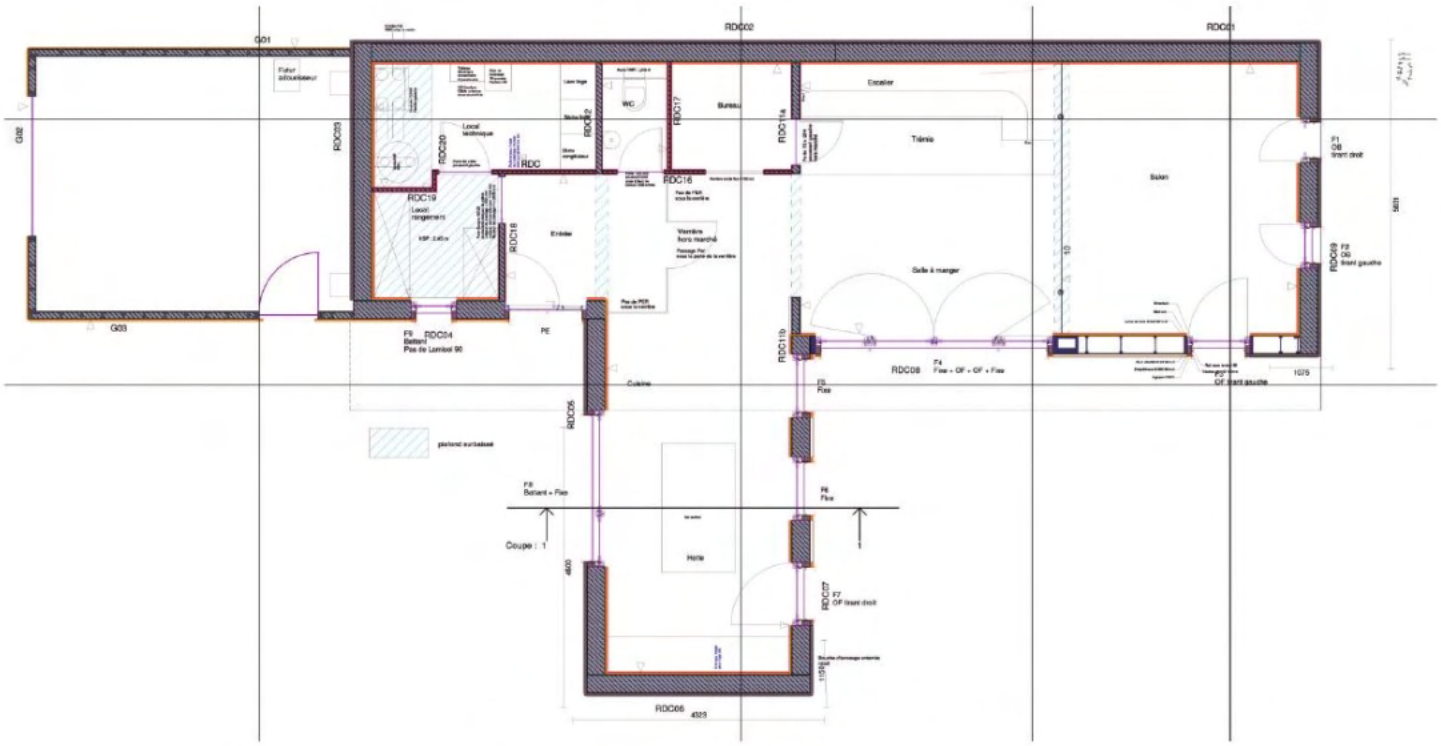


Fig. MI 11.3 Plan du rez-de-chaussée Source : Les Airelles

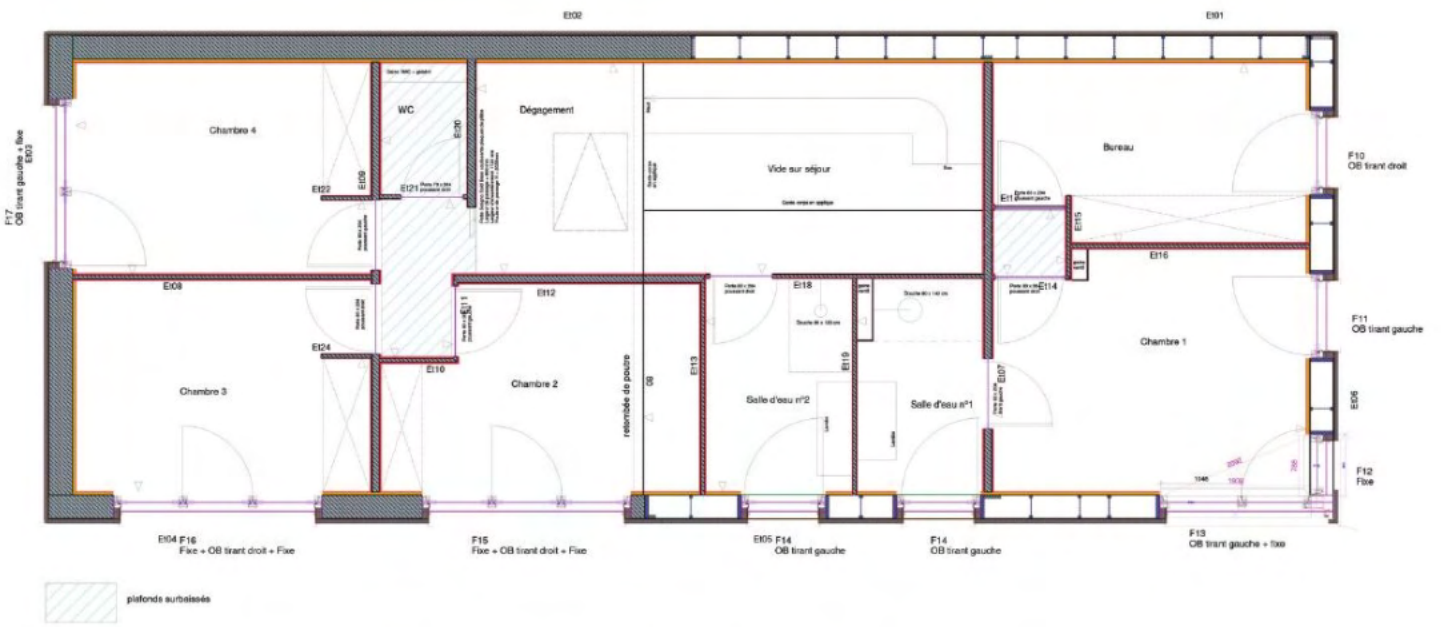


Fig. MI 11.4 Plan de l'étage Source : Les Airelles





Photo MI 11.14 L'isolant sur la toiture-terrasse de la cuisine avant la pose de l'étanchéité (*cf.* végétalisation)
Crédit photos : C. Tirard

Tab. MI 11.1 Principales caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment selon le PHPP
Source : Les Airelles

Composants de l'enveloppe	Caractéristiques de l'enveloppe	Valeur U (W/(m².K))
Façades	Fermacell 12,5 mm ; lame d'air ; OSB 3 Krono, λ = 0,13, 12 mm ; Isolation ouate de cellulose, λ = 0,042, 300 mm Panneau en fibre de bois Agepan λ = 0,090, 16 mm Fibre de bois λ = 0,048, 40 mm	0,124
Plancher bas sur terre-plein	Chape béton + carrelage, 50 mm Dalle portée isolée en sous face par 150 mm de PSE λ = 0,038 et 100 mm de polyuréthane λ = 0,022	0,117
Appui des murs	Béton cellulaire TMS Efisol λ = 0,022, 150 mm Polystyrène λ = 0,038, 150 mm Parpaing de 100 mm et enduit	0,083
Toiture	Étanchéité ; Efisol ALU 40 mm de polyuréthane λ = 0,022 ; OSB 18 mm ; isolation ouate de cellulose λ = 0,042, 450 mm ; OSB, membrane ; lame d'air, Fermacell	0,088
Menuiseries	Menuiseries André Smartwin équipée de triple vitrage avec facteur solaire élevé au sud. Facteur solaire g = 0,63	U_g = 0,69 U_f = 0,83
Porte d'entrée	–	U_d = 0,92



Photo MI 11.15 Une cuisine lumineuse avec de grandes baies au sud
Crédit photo : C. Tirard

MI 15 Un projet de 18 maisons réalisées pour l'accession aidée



Photo MI 15.1 « Les jardins Clemenceau » : ensemble de maisons mitoyennes sur deux niveaux avec un jardin privatif situé impasse Georges Clemenceau à Saint-Étienne conçues par l'Atelier d'architecture Rivat
Crédit photo : Yun

Localisation	Saint-Étienne (Loire, 42)
Maître d'ouvrage	Ville de Saint-Étienne (vente en accession sociale dans un quartier ANRU)
Année de construction	2016-2018
Année de livraison	octobre 2017 (2019 pour les 5 suivantes)
Architecte ou maître d'œuvre	Atelier d'architecture Rivat
Physique et thermique du bâtiment	HELIASOL
Surface habitable	93 à 103 m²
Surface nette SRT	1 571,40 m² et SRE (PHPP) : 1 283,7 m²
Surface totale du terrain	5 300 m²
Coût de construction	2 000 000 € pour les 13 premières maisons
Coût/m²	1 950 € HT/m²
Distinction	label Bâtiment Passif en mars 2018 (n° ID 5574)
Type de marché	en lots séparés

Performance énergétique par maison (méthode de calcul PHPP)	
Besoin de chaleur pour le chauffage	12,6 kWh/(m².an) en moyenne
Puissance de chauffe	12,4 W/m² en moyenne
Consommation d'énergie primaire (tous usages)	96,9 kWhep/m²/an en moyenne
Étanchéité à l'air	n50 = 0,49 vol/h en moyenne

PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE RÉELLE

La consommation annuelle totale (tous usages) varie entre 3 565 kWh et 3 900 kWh pour une famille de 4 personnes (moyenne sur 5 années pleines d'exploitation, de 2014 à 2018, fig. MI 17.3, MI 17.4 et MI 17.5).

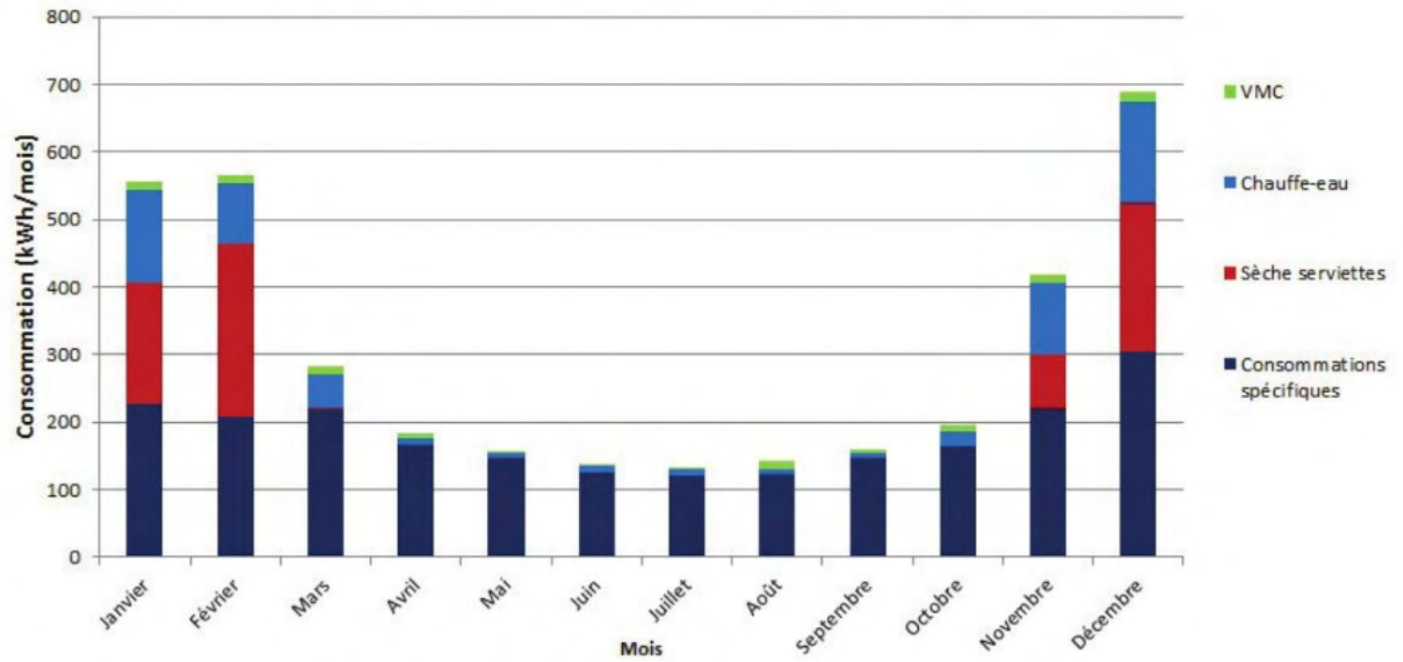


Fig. MI 17.4 Détail des consommations d'énergie en 2018
Source : Maison passive 7

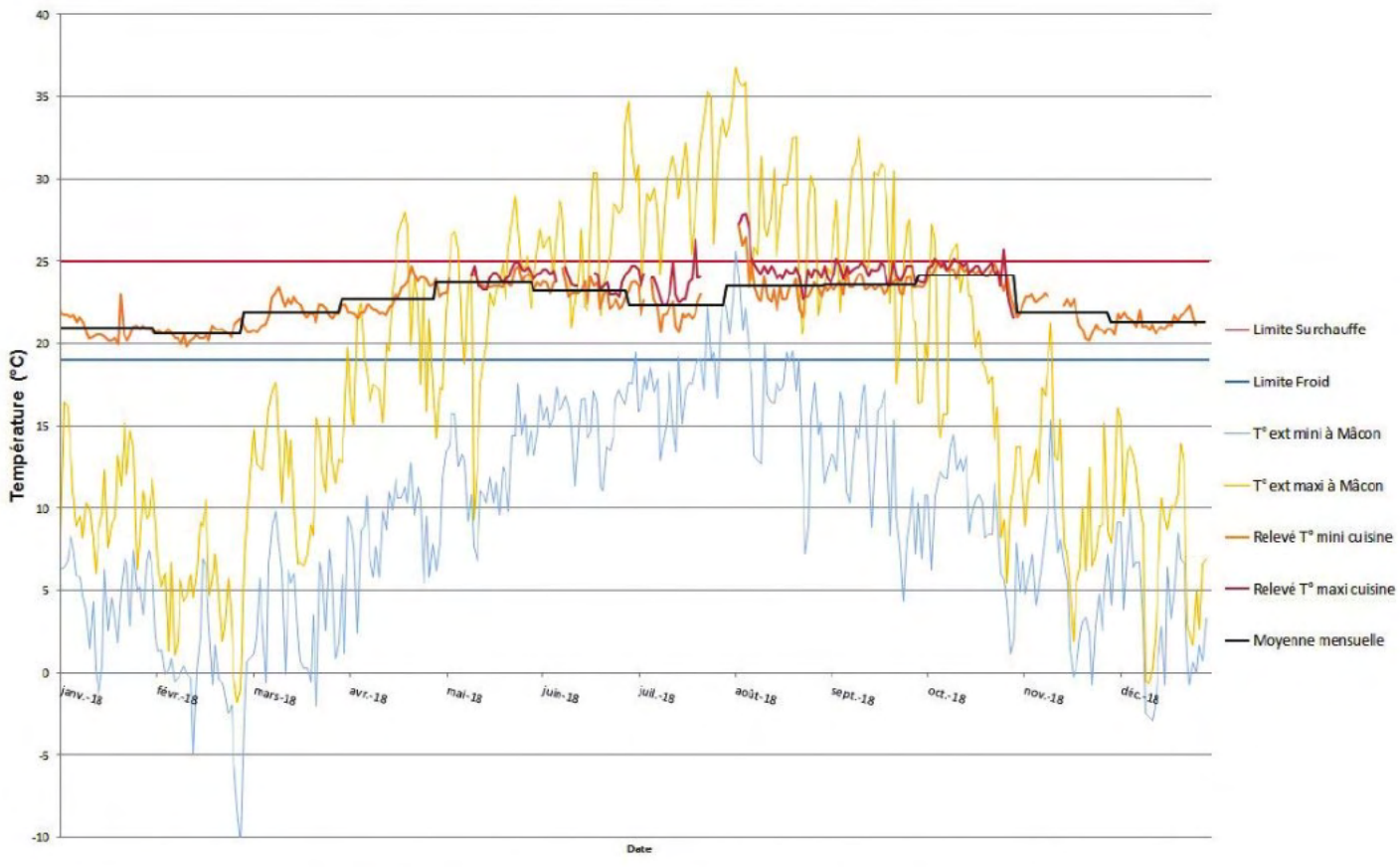


Fig. MI 17.5 Les températures intérieures et extérieures en 2018
Source : Maison passive 71

CONTEXTE ET ORIGINE DU PROJET

« Nous vivons à Romans-sur-Isère depuis février 2014 et nous occupions précédemment un appartement construit en 2006 exposé est/ouest en R+1. L'été, nous avions du mal à conserver une température supportable, malgré l'occultation des fenêtres. La température dans les chambres à l'ouest montait régulièrement à 28-30 °C.

Nos motivations pour une maison passive étaient multiples. D'une part, une volonté écologique d'avoir une habitation économe en énergie, au vu des enjeux climatiques et des problèmes liés aux ressources naturelles. Et, d'autre part, les courants d'air froid dans les prises électriques, les sensations de froid lorsque l'on s'assied près d'une fenêtre, les pièces que l'on a du mal à chauffer et les surchauffes fréquentes l'été nous poussaient à vouloir une maison bien isolée sans courant d'air.

Nous n'avions pas de préférence entre un projet de construction ou de réhabilitation. Finalement c'est la rénovation qui a été trouvée la première car celle-ci répondait à nos critères :

- *une maison située en ville à moins d'1 km de la gare,*
- *une exposition au sud,*
- *la possibilité d'effectuer une rénovation thermique par l'extérieur,*
- *un garage permettant le stockage facile des vélos et remorques vélos,*
- *pas de rénovation thermique récente et légère qui aurait réduit l'intérêt économique de rénover correctement. »*

(Pierre Leriche)

PROJET ARCHITECTURAL

La maison des années 1950 était en béton et parpaing (photo MI 19.2) et elle était chauffée au gaz (classe F). Elle n'avait aucune isolation : les tuiles étaient posées sur un voligeage apparent depuis les combles, ni les murs ni le plancher bas n'étaient isolés. Seuls quelques papiers journaux étaient étalés sur le plancher des combles.

L'escalier extérieur et le balcon ont été démolis pour supprimer les ponts thermiques et pour des raisons pratiques (l'isolation par l'extérieur et le nouvel enduit réduisant d'environ 30 cm leur superficie).

Les combles ont été modifiés pour recevoir des chambres et une salle de bains et pour ajouter des surfaces vitrées au sud et à l'ouest.

Pour les fenêtres créées au sud en R+2 l'occultation solaire a été réalisée par une casquette composée de panneaux photovoltaïques, cette solution étant moins onéreuse qu'un débord de toiture ou que la mise en place de brise-soleil orientables (BSO). Les volets roulants ont été écartés d'office pour leur faible performance thermique.

La porte d'entrée a été remplacée par une porte-fenêtre donnant sur la nouvelle terrasse, l'accès au logement se faisant par la porte du garage (au nord) et un escalier intérieur existant.

Les deux petites fenêtres au nord ont été réunies en une seule ouverture. Deux fenêtres de toit ont été créées pour apporter de la lumière et permettre le rafraîchissement nocturne en été par tirage thermique.

Enfin, à l'intérieur, la distribution des volumes a été repensée pour pouvoir loger la VMC (idéalement située au nord avec un réseau donnant vers l'extérieur au plus court), un escalier distribuant l'étage a été créé et une arche porteuse imposante a été remplacée par une poutre en acier (H.E.A.). La cage d'escalier montant du garage a été isolée sur toutes ses faces car elle créait un point froid important. Une couverture en bac acier gris clair a été retenue pour limiter l'échauffement des villes (photo MI 19.3).



Photo MI 19.2 La maison avant travaux : façades nord-ouest sur rue et façade ouest sur jardin
Crédit photos : P. Leriche

Pourquoi construire ou réhabiliter en passif et promouvoir le passif ?

POURQUOI CONSTRUIRE ET RÉHABILITER EN PASSIF ?

Le bâtiment passif est sain

Les bâtiments passifs bien conçus (à l'aide du PHPP) et bien construits répondent à beaucoup des aspects présentés dans une note du Groupe de travail RBR 2020-2050 initié par le Plan Bâtiment Durable intitulée « *Réflexion Bâtiment Responsable 2020-2050* » (mars 2019) mettant en relation bâtiment responsable et santé. Bien évidemment, il faut insister sur la bonne conception et la bonne réalisation du bâtiment. Le bon usage renforcera évidemment les aspects positifs du bâtiment passif.

Les bâtiments passifs se caractérisent en effet par un certain nombre d'effets qui **répondent aux enjeux sanitaires des bâtiments** :

- **Les bâtiments passifs présentent un taux de renouvellement d'air suffisant répondant aux exigences des normes DIN 1946 Partie 6 et évitant la non-conformité des installations**.
  Dans le résidentiel passif, le taux de ventilation est de 30 m³/h par personne dans le foyer et le renouvellement d'air hygiénique doit être au strict minimum au moins égal à 0,3 volume par heure. Les concepteurs de maison passive s'obligent à respecter ce taux de 0,3 vol/h minimal, même lorsque l'habitation n'est pas occupée, ce qui n'est pas le cas de la RT 2012. Ce taux minimal permet un brassage constant de l'habitation et évite l'accumulation des COV et autres polluants intérieurs.
  En règle générale, les maisons passives présentent des taux de renouvellement d'air compris entre 0,4 vol/h et 0,5 vol/h, en constant. Avec une ventilation simple-flux hygro B, solution grandement majoritaire sur les bâtiments RT 2012, le renouvellement d'air global est entre 1,5 à 2 fois inférieur.
  Dans le non-résidentiel, le débit moyen doit être déterminé à partir d'une demande d'air frais d'environ 30 m³/h et par personne dans les bureaux (EN 13779 : au moins 24 m³/h), pouvant être plus élevée pour certains bâtiments ou activités (bâtiments sportifs ou exigences du Code du travail).
  La question principale est le respect des normes, ce qui est exigé par le moteur de calcul PHPP (incontournable pour qu'un bâtiment puisse être défini comme passif).
- **La qualité acoustique et la suppression des transmissions de vibrations sonores**.
  Du fait de la quasi-constance de la température à l'intérieur d'un logement passif, l'absence de courant d'air favorise la réduction des vibrations sonores. Les niveaux sonores des équipements techniques, et notamment celui de la ventilation, se doivent d'être très faibles. Dans les pièces de vie, le standard passif impose un niveau de bruit quasi inaudible. Le triple vitrage permet aussi cette isolation par rapport aux bruits extérieurs et de faire régner le silence à l'intérieur des bâtiments.

Nous avons présenté dans cet ouvrage les maisons de nombreux mélomanes y ayant installé un salon de musique.

- **Le transfert de l'air extérieur vers les logements est supprimé par les filtres de la ventilation double flux, évitant ainsi l'entrée des particules fines dans les logements (sauf évidemment au moment de l'ouverture des fenêtres)**.
  La ventilation double flux est munie de filtres qui arrêtent jusqu'à 95 % les particules fines (filtres de catégories F7 à F9).
- **Les émissions de polluants dues à la consommation d'énergie et aux appareils de combustion sont réduites**.
  Dans la maison individuelle, les énergies fossiles peuvent être totalement éradiquées. Notre enquête sur les maisons individuelles montre que le gaz est inutile dans les maisons passives. On y trouve cependant des poêles à granulés qui ne sont toutefois utilisés que quelques jours par an (1 stère par an en moyenne pour une maison de 130 m²) en chauffage d'appoint.
  Dans le collectif, une seule chaudière collective gaz de 27 kW peut suffire pour alimenter en chauffage d'appoint et eau chaude sanitaire un immeuble de 25 logements (1 kW par logement)[1].

développement progressif du passif. Le PLH et le PCAET de Rennes Métropole peuvent servir d'exemple aux collectivités qui poursuivent l'un ou l'autre, voire l'ensemble de ces objectifs.
Les PLU (PADD, OAP, ZAE et règlement) permettent eux aussi de poursuivre ces objectifs de manière opérationnelle avec une montée en puissance progressive du passif pour permettre aux professionnels du bâtiment de monter en compétence et d'acquérir les savoir-faire nécessaires, garants de la qualité des projets d'aménagement comme de la qualité des constructions et réhabilitations des bâtiments publics comme des bâtiments privés et notamment des bâtiments résidentiels (logements sociaux, maisons individuelles, etc.), en termes de qualité architecturale, de qualité de construction (réduction des malfaçons notamment) et de prescriptions environnementales.
Enfin la maîtrise d'œuvre des maisons individuelles est principalement le fait de constructeurs de maisons individuelles (62 % du marché en 2017) lesquels ne sont pas enclins à construire en passif car ils auraient des difficultés à répercuter le surcoût sur leur prix de vente et les économies de charges (pas de chauffage) ne les intéressent pas directement. Il est donc essentiel (si l'on veut atteindre les objectifs de la transition énergétique fixés au niveau national et souvent repris au niveau local) que ce soient les documents d'urbanisme qui les amènent au passif. Et la moindre des choses serait de ne pas entraver leur bonne volonté…

Le passif est une démarche gagnant-gagnant et toutes les collectivités devraient en faire la promotion dans leurs documents structurants : PLH, PLU et PCAET.

Tous les maîtres d'ouvrage sont satisfaits du confort et du faible coût d'entretien-gestion-maintenance de leur logement et referaient construire ou réhabiliter une maison passive.

Comme 62 % du marché de la construction de maisons individuelles sont le fait de promoteurs constructeurs en 2017, il convient de promouvoir le passif auprès des constructeurs de maisons individuelles : dans le PLH et le PDU (comme Rennes Métropole), voire de le prescrire dans le cahier des charges des aménageurs.

« LE PASSIF S'IMPOSE COMME L'ENJEU DE DEMAIN » (OPECST)

L'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques (OPECST) du Parlement Français écrivait en 2014 que « *le label de la Maison Passive (Bâtiment Passif Passivhaus) s'impose comme un standard de référence en Europe.* […]. *Il pourrait être dès lors prudent de reconnaître ce label comme une modalité de la réglementation thermique française :* ***le passif s'impose comme le standard de demain.*** »
Construire ou réhabiliter au standard passif est l'enjeu de demain[9] car c'est :

- s'assurer de la performance du bâti (qualité architecturale et sanitaire, qualité d'usage et confort, performances thermiques…) grâce à une ingénierie de qualité (et à des outils fiables) ;
- limiter les besoins de chauffage et de climatisation (la performance de l'enveloppe du bâtiment permettant de se passer de l'un comme de l'autre) et donc les charges (améliorant ainsi le « reste à vivre » des ménages) ;
- anticiper les hausses de prix de l'énergie ;
- limiter les besoins de réhabilitation ultérieurs ;
- s'assurer d'une gestion locative plus rentable (la qualité d'usage et le confort associés à de faibles charges étant des atouts compétitifs) ;
- œuvrer pour la réduction de la précarité énergétique (celle-ci étant impossible dans un bâtiment passif) ;
- poursuivre les objectifs nationaux de développement des énergies renouvelables (géothermie, solaire pour l'ECS, photovoltaïque…)
- **entrer dans la transition écologique et énergétique**.

Les pouvoirs publics au niveau national comme local devraient faire en sorte que le standard passif se développe, dans le résidentiel privé comme social, notamment en montrant l'exemple et en contribuant à l'acquisition par les acteurs économiques locaux des compétences indispensables.

NOTES

1 Voir *Nouvelles architectures écologiques* (Éd. du Moniteur, 2016) et *Réhabilitation énergétique des logements* (Éd. du Moniteur, 2018).
2 Voir les nombreux exemples de bâtiments présentés dans notre ouvrage *Bâtiments passifs tertiaires* (Éd. du Moniteur, 2017).
3 Ces résultats sont à comparer avec ceux de la RT 2012, toujours inférieurs aux consommations réelles, l'écart étant le plus souvent expliqué par le comportement des consommateurs ou habitants…
4 Voir *Mener un projet de construction ou d'aménagement en coût global*, Éd. du Moniteur, 2018.
5 Ces résultats sont à comparer avec ceux de la RT 2012, toujours inférieurs aux consommations réelles, l'écart étant le plus souvent expliqué par le comportement des consommateurs ou habitants…
6 Voir *Conception, réalisation et évaluation d'un quartier à très basse énergie*, C. Charlot-Valdieu et Ph. Outrequin, Éd. du Moniteur, 2014.
7 Rappelons que lors de sa finalisation, en 1993, soit il y a près de 30 ans, la démarche HQE avait pour objectif de faire travailler architectes et ingénieurs ensemble…
8 Il est à noter que le moteur de calcul réglementaire de la RT 2012 n'est pas un moteur de prévision et que les estimations effectuées avec ces moteurs de calcul ne sont pas fiables et ne permettent pas d'affirmer qu'un bâtiment est passif.
9 Des pays (Luxembourg) et des régions (Bruxelles-Capitale) ont d'ores et déjà défini le passif comme leur standard réglementaire de 2020 ; de nombreuses villes (New York, Munich, Hanovre, etc.) ont opté pour le passif.