

La Maison Zen

Dossier de présentation



CYTHELIA Expertise et Conseil

La Maison ZEN, Chef lieu

73000 Montagnole

Tel : +33(0)4 79 25 31 75

Fax : +33(0)4 79 25 33 09

www.cythelia.fr

La première maison Zéro Energie française

Le 21^{ème} siècle s'ouvre sur d'importants défis environnementaux. En outre, le bouleversement des modes de vie que vont engendrer les conséquences des changements climatiques et l'épuisement des ressources d'énergies fossiles nous impose d'imaginer rapidement des solutions concrètes et opérationnelles.

Le secteur résidentiel et tertiaire représente 43% de la consommation énergétique finale en France et 25% des émissions de CO₂. Alors que 230 000 logements individuels et 200 000 logements collectifs sont construits annuellement en France, les techniques visant à réduire les consommations énergétiques de l'habitat ne sont hélas pas encore généralisées.



Alain RICAUD

Gérant de Cythelia et
Professeur à l'Université
de Savoie

« Chaque individu doit contribuer au développement durable. L'habitat est le premier lieu où la prise de conscience individuelle puisse se traduire en un impact visible, sensible et mesurable »

Cythelia est un cabinet de conseil créé en 1994, historiquement spécialiste du solaire photovoltaïque. Cythelia s'intéresse depuis de nombreuses années aux problématiques climatiques et énergétiques et travaille depuis 2004 à la conception d'une maison Zéro Energie Net (ZEN). C'est une habitation qui produit globalement sur l'année au moins autant d'énergie qu'elle en consomme pour ses besoins de chauffage, de rafraîchissement, d'eau chaude sanitaire et d'électricité spécifique. Ce type de construction est déjà répandu au Japon, en Suisse, en Allemagne et aux Etats-Unis.

Le projet novateur de la maison ZEN s'est concrétisé en 2007 sur la commune de Montagnole, en Savoie. C'est le premier concernant l'habitat individuel en France. Il présente une solution aux problèmes énergétiques et environnementaux liés au secteur du bâtiment. Il a pour ambition de démontrer qu'il est possible de construire avec les techniques disponibles aujourd'hui des maisons « zéro émissions » et « zéro énergie net » en tirant partie notamment des avantages de l'énergie photovoltaïque dont les gens ignorent les possibilités technico-économiques réelles, bien que l'opinion sur le solaire soit excellente au sein de la population.

Nous avons mis en œuvre ce concept en combinant des fonctions non encore économiquement rentables mais porteuses d'avenir à court terme (production d'électricité par le solaire photovoltaïque intégré au bâti et connecté au réseau) et des fonctions dont la rentabilité est prouvée (super-isolation, économies d'énergie, chauffage par pompe à chaleur, puits canadien), mais encore insuffisamment connues et exploitées.

Ce document de présentation, qui synthétise les travaux effectués, permettra au lecteur de découvrir et de comprendre les principales caractéristiques de cette maison.

Un projet pédagogique

La maison ZEN a été conçue pour être exemplaire et reproductible. Dans cette optique, nous avons décidé de faire partager nos découvertes dans une pièce de la maison qui sera spécialement aménagée pour accueillir des visiteurs.

Ainsi, en plus de voir l'aboutissement d'un peu plus de 3 années de travail, ils peuvent, grâce aux différents posters et projections vidéo, découvrir le cheminement de nos recherches ainsi que les raisons de nos choix. Le visiteur peut trouver des informations simples et précises sur les matériaux de construction, les ouvrants, l'isolation, le système de chauffage, l'eau chaude sanitaire ou encore l'électricité photovoltaïque connectée au réseau. Ces outils de communication sont, nous l'espérons, de véritables outils pédagogiques répondant aux multiples questions que le public peut se poser. Nous veillons également à faire connaître les différents partenaires ayant participé à l'élaboration et au financement du projet.

D'autres opérations sont menées pour populariser le concept de la maison ZEN auprès du grand public. Nous comptons principalement sur la presse écrite, les associations, les points info énergie et les grandes chaînes de télévision nationales.

A terme, nous sommes persuadés qu'un public sensibilisé aura envie de posséder sa propre maison ZEN.

Une démarche scientifique

Des calculs prévisionnels de consommations énergétiques ont été réalisés lors de la conception de la maison. Pour valider ce projet expérimental, il convient de réaliser des mesures de suivi, qui dans notre cas, sont effectuées pendant toute l'année 2008.

Pour ce qui est de l'installation photovoltaïque, l'onduleur fournit les indications nécessaires pour s'assurer de son bon fonctionnement. En outre, des relevés réguliers des compteurs de production permettent de déceler rapidement les incohérences entre les valeurs attendues et les valeurs mesurées.

Pour fournir les autres données nécessaires au monitoring, un système de mesure, muni d'un data logger (dispositif permettant la sauvegarde des données mesurées) et d'un modem relié à une centrale d'acquisition de données, analysera :

- la production des deux champs de modules photovoltaïques en fonction de l'éclairement (avec des modules de référence calibrés de chaque côté du toit),
- les consommations d'électricité spécifique (cuisine éclairage, HIFI, télévision...),
- les consommations électriques des pompes à chaleur pour le chauffage, le rafraîchissement, l'eau chaude sanitaire (ECS) et la ventilation,
- l'efficacité du puits provençal, en fonction de la température extérieure et de la température à la sortie du puits,
- le niveau de confort avec la mesure de l'hygrométrie de l'air intérieur et des températures dans les différentes pièces de vie.

L'intérêt du monitoring dans cette maison est multiple. Il apporte un grand nombre de données expérimentales dans le domaine des maisons à basse consommation qui en manque cruellement. Grâce à cette démarche, la maison ZEN est un véritable instrument de mesure scientifique. Les résultats obtenus sont un support idéal pour les étudiants des différentes formations dans lesquelles Alain Ricaud intervient en tant que professeur (Master Verdec, Master Ceder, Master MAT'ERE, ASDER, INES...).

Par ailleurs, le monitoring offre à l'occupant la possibilité de connaître ses consommations et donc de pouvoir les maîtriser grâce à une lecture en direct sur le panneau électrique de la maison : la prise de conscience des dépenses énergétiques est le premier pas vers une démarche de sobriété.

SOMMAIRE

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES ET ENERGETIQUES 5

Réduction des besoins énergétiques	6
Conception bioclimatique	6
Super-isolation	8
Efficacité énergétique	9
Sobriété énergétique	10
Utilisation raisonnée des énergies renouvelables	11
Le Chauffage, la ventilation et la climatisation	11
L'Eau Chaude Sanitaire	12
L'intégration du photovoltaïque	13
Le « toit photovoltaïque » en substitution des tuiles	13
Une maison qui ne consomme que de l'électricité	13
Bilan énergétique	15

CARACTERISTIQUES ENVIRONNEMENTALES 16

Maîtrise des émissions de gaz à effet de serre	17
Utilisation de matériaux naturels	18
Récupération de l'eau de pluie	18
Voiture électrique ZEN	19

DESCRIPTIF ECONOMIQUE 20



Caractéristiques techniques et énergétiques

La maison ZEN a d'abord été conçue pour être performante énergétiquement et préfigurer de ce que doit être le bâtiment de demain. L'objectif affiché était de réaliser une construction dont la consommation énergétique globale tous postes confondus, n'excède pas **50 kWh/m².an.**

L'étude de faisabilité a montré qu'il fallait, pour remplir cet objectif, satisfaire 4 conditions :

- réduire les besoins, en mettant en œuvre l'architecture bioclimatique et en utilisant les matériaux les plus performants,
- appliquer le principe d'efficacité énergétique dans le choix du matériel électrique et électroménager,
- être sobre dans ses comportements quotidiens,
- utiliser les énergies renouvelables pour le reste des besoins.

Réduction des besoins énergétiques

●●● conception bioclimatique

Les principes de l'architecture bioclimatique ont été appliqués dès la conception de la maison. Les choix dans les formes, l'orientation et l'organisation des pièces de vie, ainsi que la prise en compte du climat et des apports solaires passifs ont permis, dès le départ, de réduire les besoins énergétiques et de satisfaire les exigences de confort thermique et visuel des occupants.

Une orientation des pièces qui valorise les apports solaires passifs

Les pièces de vie sont orientées au Sud, à l'Est et à l'Ouest tandis que les pièces de service, moins fréquentées (cuisine, salles d'eau, entrée, escaliers) sont disposées en face Nord.

La façade **Sud** est munie de larges ouvertures vitrées afin de valoriser les apports solaires en hiver et de bénéficier du confort de la lumière naturelle.

Pour limiter les surchauffes d'été, une « casquette » a été conçue. Elle permet de stopper 60 % de l'ensoleillement sur les trois mois d'été. Toutefois, en hiver, elle laisse largement pénétrer la lumière pour réchauffer l'intérieur de la maison.



Façade Sud-Ouest

Les façades **Est** et **Ouest** sont également protégées par l'avancée du premier étage et du toit. La façade **Nord** comporte un nombre limité de petites fenêtres afin d'assurer une bonne protection contre les vents dominants et de limiter le vis-à-vis avec le voisinage.

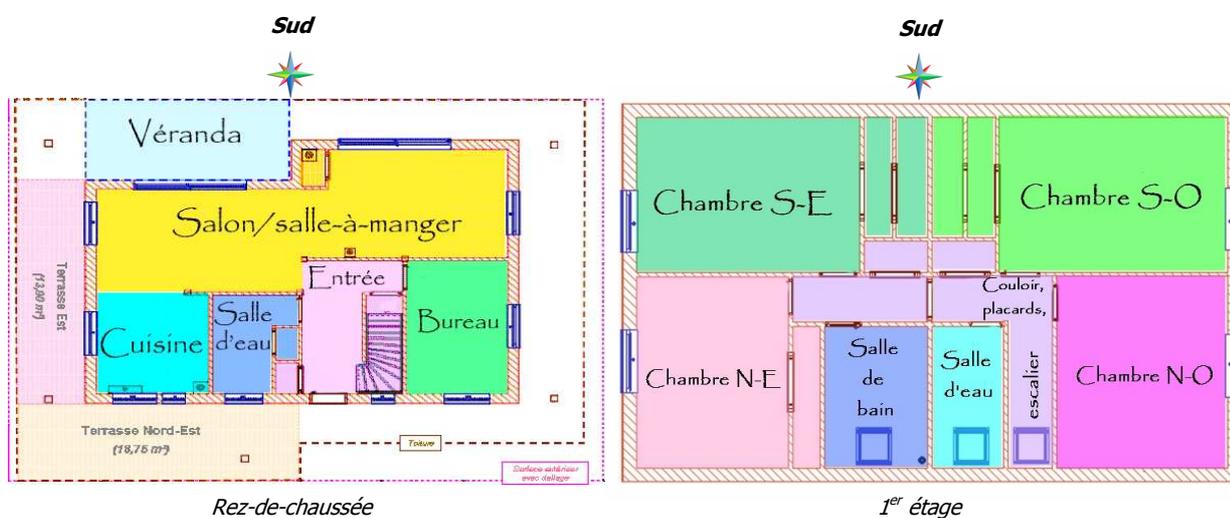


Façade Nord



Façade Sud-Est

La conception de la maison est telle que toutes les pièces (sauf la cave à vin) reçoivent de la lumière naturelle. Cela accroît le confort et permet de réduire les consommations énergétiques liées à l'éclairage.



Une maîtrise du volume pour limiter les déperditions

Afin de limiter les déperditions il est nécessaire de minimiser le ratio surface déperditive/volume et donc de maximiser la compacité du bâtiment. La meilleure forme pour cela est la yourte mongole.

Nous avons adopté un style simple, qui reprend l'esthétique des constructions savoyardes, avec un toit à deux pentes égales de 38°, l'inclinaison optimale pour une installation photovoltaïque. La Surface Hors-d'Oeuvre Nette est de 225 m² et la surface habitable : 192 m².

●●● super-isolation

La lutte contre le gaspillage d'énergie passe en priorité par l'isolation thermique des bâtiments chauffés, qui permet de réduire considérablement les déperditions et par conséquent les dépenses de chauffage tout en améliorant le confort.

Ossature bois en KLH

La maison Zen est construite avec une ossature bois en « KLH ». Ce matériau de construction, outre le fait qu'il offre la possibilité de bâtir une maison en une journée, présente d'excellentes propriétés thermiques, une certaine inertie et absorbe l'humidité.

Les 94 mm d'épaisseur du KLH, en couches de bois croisées, renforcent donc la capacité naturelle du bois à limiter les flux de chaleur. En effet, 3,5 cm de bois équivalent à 1 cm d'isolant classique mais à plus de 35 cm de béton.



Isolation extérieure en liège

L'isolation extérieure permet d'exploiter l'inertie thermique du bâtiment, synonyme de confort et de supprimer les ponts thermiques. On estime ainsi de façon générale qu'elle permet de diviser par 2 ou 3 les pertes de chaleur. Le surcoût apparent qu'elle présente est en réalité assez minime dans un bilan économique global.

Nous avons choisi du liège expansé pour réaliser l'isolation. C'est un matériau de construction renouvelable, ayant une conductivité thermique comparable à celle du polystyrène :
 $\lambda_{\text{polystyrène}} = \lambda_{\text{liège}} = 0,04 \text{ W/m.K}$

Au total, les murs sont constitués d'épicéa KLH (94 mm), de liège expansé (150 mm), d'une lame d'air (27 mm) et d'un bardage (19 mm), ce qui correspond à une résistance thermique de $4,40 \text{ m}^2.\text{K./W}$. Une construction classique en parpaings (100 mm) isolée par l'intérieur avec de la laine de verre (100mm) présente une résistance thermique bien plus faible de $2,67 \text{ m}^2.\text{K./W}$. La toiture constituée de KLH (94 mm) et de liège expansé (200 mm) a une résistance thermique de $5,1 \text{ m}^2.\text{K./W}$.



Triple vitrage

En général, les pertes par les vitrages représentent 25 à 35% des pertes totales. Pour lutter contre cela, nous avons choisi des ouvrants à la pointe de la technologie, composés de triple vitrage peu émissif avec lame d'argon (laissant passer les rayons lumineux venant de l'extérieur mais bloquant l'émission de chaleur provenant de l'intérieur).

Pour éviter les déperditions liées aux cadres, ces derniers sont en bois et comportent une isolation supplémentaire en liège.

U_{verre} : 0,55 W/m².K

U_{fenêtre} : 0,8 W/m².K

Cette configuration a pour avantage, au Nord de limiter au maximum les déperditions et au Sud, de lutter contre les surchauffes d'été.



... efficacité énergétique

L'efficacité d'un appareil est caractérisée par sa capacité à consommer moins d'énergie pour un service rendu identique. Une attention particulière a donc été apportée au choix des équipements de la maison en terme d'électroménager et d'éclairage.

L'éclairage

Alors qu'une ampoule classique de 75 W, d'un rendement de 2% (énergie utile/énergie primaire) a une espérance de fonctionnement de 1 000h, une lampe fluo-compacte d'une puissance comprise entre 15 et 20 W, avec un rendement de 10% environ, peut espérer fonctionner 6 000 h.

La lampe à DEL (diode électroluminescente) quant à elle, bien que possédant une intensité lumineuse légèrement inférieure à la lampe fluo-compacte, possède une durée de vie d'environ 50 000 à 100 000 h sans risque de claquage lors des alternances allumage/extinction.



Lampe DEL



Lampe fluo-compacte

Les lampes classiques sont donc obsolètes car peu durables, très énergivores et peu rentables.

Nous avons donc privilégié les lampes fluo-compactes pour les pièces de vie, en utilisant les lampes à DEL pour les pièces à faible taux d'utilisation (salles de bain, WC, couloirs...)

●●● sobriété énergétique

La manière de vivre des occupants d'une maison induit une variation (positive ou négative) de leur consommation d'énergie. Cette différence devient prépondérante dans un bâtiment à faible consommation.

Ainsi, lorsque le comportement des occupants mène à une diminution des besoins, on parle de sobriété énergétique. Le levier d'action le plus évident est une moindre utilisation des appareils domestiques. Un habitant de la maison ZEN se fera donc un devoir de n'éclairer que la pièce dans laquelle il se trouve et de l'éteindre à sa sortie, il veillera aussi à ne pas laisser les appareils électroménagers en « veille »...

La sobriété énergétique concerne aussi d'autres points, qui souvent relèvent du bon sens, tels qu'une bonne gestion des ouvertures et une bonne régulation des températures des pièces.

De manière générale, la sobriété énergétique amène à une redéfinition du confort tel que définit dans nos sociétés actuelles, en se fondant sur une gestion réfléchie des consommations énergétiques.

Le tableau ci-dessous présente les consommations annuelles d'électricité spécifique selon trois types de comportements. Il met en évidence les marges de progression dont nous disposons pour réduire considérablement nos consommations électriques.

Electricité spécifique pour 4 personnes, 200m²	Standard (kWh/an)	Efficace (kWh/an)	Sobre (kWh/an)
<i>Eclairage</i>	883	321	305
<i>Electroménager</i>	2641	1789	1183
<i>Cuisine</i>	2063	1289	760
TOTAL	5587	3399	2248

Tableau comparé des consommations électriques en fonction de scénarios de comportements

Utilisation raisonnée des énergies renouvelables

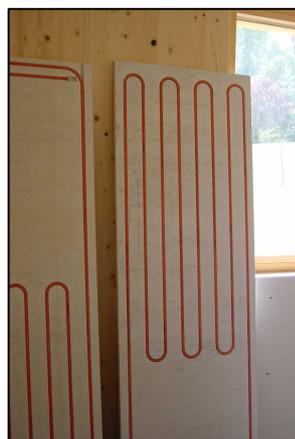
... chauffage, ventilation et rafraîchissement

Le chauffage, la ventilation et le rafraîchissement de la maison ZEN sont assurés par une pompe à chaleur air-extrait/air, couplée à un puits canadien de 40 m de long enterré à 2,5 mètres de profondeur.



Les besoins de chauffage actif sont de 11 000 kWh_{th}/an. Grâce à la pompe à chaleur, qui possède un Coefficient de Performance (COP) de 3, ces besoins se réduisent à 3 700 kWh /an (électrique).

En complément de ce système, nous avons choisi pour les grands froids, d'installer des parois chauffantes basse température, alimentées par une pompe à chaleur air/eau (qui produit également l'eau chaude sanitaire). Leur faible épaisseur permet un système de chauffage réactif. Par exemple, lors des froides journées d'hiver, le système apporte la chaleur nécessaire à la satisfaction des besoins plus rapidement que ne l'aurait fait un plancher chauffant, soumis à une plus forte inertie.



La pompe à chaleur air extrait/air assure également le renouvellement d'air de la maison au rythme d'un demi volume par heure. Cela permet de garantir un intérieur sain et de réduire les déperditions énergétiques liées à l'ouverture intempestive des fenêtres.

En été, en cas de fortes chaleurs, le puits canadien agit comme une climatisation passive en envoyant dans la maison de l'air préalablement refroidi dans le sol.

Si l'on raisonne en énergie primaire, cette habitation alimentée par de l'électricité issue d'une centrale nucléaire nécessiterait 9 500 kWh /an pour répondre aux besoins de chauffage (soit 47 kWh/m².an). Dans notre cas, l'électricité étant issue de panneaux photovoltaïques, l'énergie primaire est égale à l'énergie finale, soit pour le chauffage, 3 700 kWh/an (18 kWh/m²/an).

... l'eau chaude sanitaire

Les besoins en eau chaude sanitaire sont assurés par la pompe à chaleur air/eau, qui possède l'originalité d'être placée sous le toit. En effet, de cette manière, elle utilise l'air du grenier, préchauffé par les modules photovoltaïques, plutôt que l'air extérieur. Cela permet également d'améliorer le rendement des modules, la ventilation réduisant leur température de fonctionnement.



L'eau chaude sanitaire est stockée dans un cumulus de 200 litres bien isolé. Dans notre scénario de sobriété énergétique, nous nous sommes basés sur une hypothèse de consommation d'eau (à 50°C) de 30 l/pers/jour soit une énergie nécessaire de l'ordre de 4 800 kWh pour 5 personnes, compte tenu des pertes inhérentes au stockage et à la distribution. Cela induit une consommation de 1 600 kWh/an électriques lorsque l'on prend en compte le Coefficient de Performance de 3 de la pompe à chaleur.

Pour atteindre ces objectifs, les douches seront préférées aux bains. De plus elles seront équipées de douchette à turbulence, et les robinets d'embouts mousseurs. Ces deux systèmes permettent de réduire la consommation d'eau de 40 à 50%. Pour laver la vaisselle, nous avons privilégié l'option lave-vaisselle (qui consomme en moyenne 15 litres d'eau par lavage contre 30 à 45 litres pour un lavage à la main). Pour le lave-linge, on a opté pour une machine de classe énergétique A qui fonctionne à l'eau de pluie. Elle utilise moins de 50 litres d'eau par lavage contre près de 80 litres pour une machine classique.

L'intégration du photovoltaïque

Une fois les besoins énergétiques d'une habitation bien maîtrisés, il devient pertinent d'installer des modules photovoltaïques de manière à ce que le productible annuel couvre l'ensemble des consommations énergétiques. La maison devient alors Zéro Energie. De plus, compte tenu des conditions financières avantageuses mises en place en France en 2006, qui fixent le tarif d'achat des installations intégrées en toiture à 0,57 €/kWh, cela devient financièrement très intéressant.

Le photovoltaïque n'a aujourd'hui de réelle justification technique, économique et sociétale que par son utilisation intelligente en intégration sur les immenses surfaces de toitures disponibles et non utilisées. En effet, ce choix présente de nombreux avantages :

- la disponibilité des surfaces évite l'achat de terrains et la construction de supports,
- l'intégration à la conception évite du travail supplémentaire d'installation et de raccordement,
- la production décentralisée d'électricité au point de consommation diminue les pertes par distribution et transmission,
- cela mène vers l'habitat à énergie positive.



Nous avons installé sur la maison ZEN une puissance photovoltaïque de 7 kWc sur la face SSE qui produira annuellement 8 000 kWh et 6.5 kWc sur la face NNO qui produira annuellement 4 000 kWh. Au total 12 000 kWh attendus pour 13.5 kW installés. Les modules, couplés avec un système d'intégration remplacent les éléments classiques de toiture. Ainsi, l'ambition de ce projet est de faire la promotion de l'énergie photovoltaïque, qui quand elle est pensée dès la conception d'un projet s'avère pertinente à la fois techniquement, financièrement et esthétiquement.

... le « toit photovoltaïque » en substitution des tuiles

Plusieurs technologies ont été étudiées, notamment celle des modules en silicium cristallin à haut rendement.

L'utilisation de modules en couches minces en substitution totale des éléments classiques de toiture a finalement été préférée. Ce choix résulte des multiples avantages qu'offrent les modules en couches minces.



Bien qu'affichant de plus faibles rendements que les technologies multi ou mono-cristallines (7.5%), ils ont le mérite d'être bien moins coûteux au m².

L'association de ces deux caractéristiques fait de cette technologie un candidat idéal à la substitution aux tuiles ou aux ardoises car le différentiel d'investissement est rapidement comblé par la revente de l'électricité produite par le toit. Dans notre cas, cela représente une rente annuelle de 6 000€.

Ainsi, la maison ZEN est un parfait exemple démontrant qu'il est aujourd'hui possible de couvrir son toit de « tuiles solaires ». De plus, le noir profond et uniforme des modules aboutit à un résultat particulièrement réussi du point de vue esthétique.

Enfin, contrairement aux idées reçues, cette configuration prouve qu'il n'est pas impossible d'installer des modules photovoltaïques orientés au Nord, pourvu que leur inclinaison reste faible. C'est tout à fait envisageable dans le cas d'une construction neuve pour laquelle les modules se substituent aux tuiles. Compte tenu de la composante diffuse du rayonnement solaire relativement importante dans nos régions (environ 44% en Savoie), la face Nord de la maison Zen reçoit 50 % de l'irradiation annuelle reçue par la face Sud. Le choix de modules en couches minces au CIS (Cuivre Indium Soufre) a de plus permis d'optimiser le productible de la face Nord. En effet, cette technologie convertit relativement mieux que le Silicium cristallin la composante diffuse du rayonnement solaire.

●●● une maison qui ne consomme que de l'électricité

L'une des spécificités de la maison ZEN est qu'elle n'échange que de l'air et de l'électricité avec le monde extérieur.

Ce fut un choix délibéré que de baser le système énergétique de la maison sur le vecteur électricité. Sa croissance annuelle mondiale est deux fois plus rapide que celle des autres formes d'énergie. Dès lors, outre le fait que l'accès à l'électricité est un facteur important du développement des pays les moins avancés, nous pensons que d'un point de vue global, ce vecteur énergétique tiendra une place prépondérante dans le bouquet énergétique futur. Ses applications potentielles sont en effet multiples et des synergies sont possibles entre l'habitat et le transport, deux secteurs importants au niveau de la consommation énergétique et des émissions de gaz à effet de serre.

Néanmoins, et ce fut l'une des préoccupations principales lors de la conception, l'objectif premier est d'utiliser rationnellement et intelligemment cette énergie.

Grâce aux efforts consentis sur la demande d'électricité, nous avons pu utiliser le photovoltaïque pour concevoir une maison zéro énergie qui ne consomme et produit donc plus que de l'électricité.

Bilan énergétique

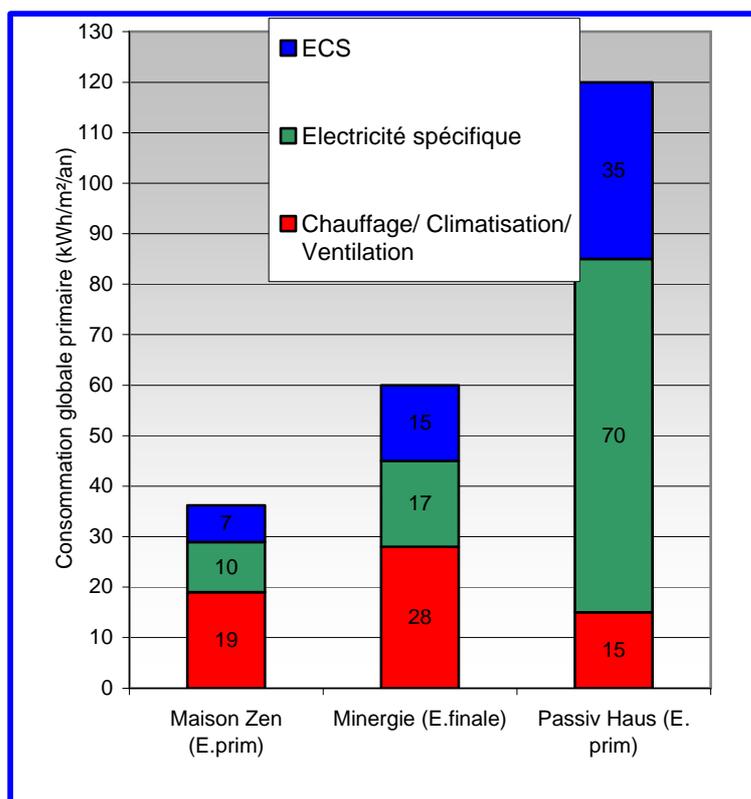
Le solde énergétique de la maison ZEN, intégré sur l'année, est positif comme le montre le tableau ci-dessous.

Bilan consommation électrique				
Chauffage/ Climatisation/ Ventilation	4 272	kWh/an	19,0	kWh/m²/an
Electricité spécifique	2 248	kWh/an	10,0	kWh/m²/an
ECS	1 631	kWh/an	7,2	kWh/m²/an
Total des besoins	8 151	kWh/an	36	kWh/m²/an
Puissance PV nécessaire	9,1	kWc		

Cette simulation présente les consommations « actives » ; elle tient compte des apports passifs (occupants, appareils domestiques, apports solaires passifs) qui participent à la satisfaction du confort thermique. Si nous nous basons pour l'électricité spécifique et l'eau chaude sanitaire sur le scénario d'efficacité énergétique, notre objectif est atteint puisque la consommation annuelle estimée est de 46 kWh/m².an. Elle devient 36 kWh/m².an en prenant en compte la sobriété des habitants.

Le monitoring nous servira à confirmer ou à infirmer ces prévisions. L'énergie supplémentaire produite par les modules photovoltaïque pourra très facilement être valorisée dans une voiture électrique.

Le tableau suivant illustre les bonnes performances de la maison ZEN par rapport au label Allemand Passiv Haus et au label Suisse Minergie. Elles s'expliquent par le fait que la consommation d'électricité finale est égale à la production d'électricité primaire, cette dernière étant photovoltaïque.





Caractéristiques environnementales

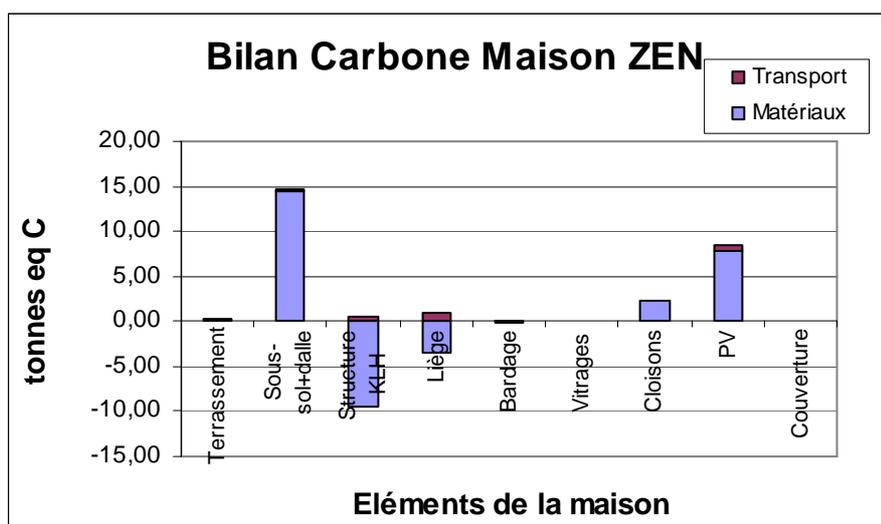
Ce projet n'a pas seulement consisté à concevoir une maison efficace énergétiquement. Nous avons pris en considération les impacts environnementaux en amont comme en aval de la construction. Ainsi, en fonction de la disponibilité des matériaux, du coût et de la rentabilité, nous avons optimisé les paramètres suivants :

- maîtrise des émissions de gaz à effet de serre,
- utilisation de matériaux naturels,
- économies d'eau potable,
- limitation de l'impact lié au transport pour une maison individuelle en milieu rural.

Maîtrise des émissions de gaz à effet de serre

Nous avons vu qu'en fonctionnement, la maison ZEN n'émet aucun gaz à effet de serre puisqu'elle n'utilise pas d'énergies fossiles. Par contre, il a fallu en émettre pour construire et transporter les matériaux qui la constituent.

Notre objectif a donc été de maîtriser les émissions de gaz à effet de serre en tenant compte de l'énergie grise utilisée, en trouvant un compromis entre le choix des matériaux et leur disponibilité locale. Pour la construction, le Bilan Carbone de la Maison ZEN est d'environ 14 t eq C, soit environ 64 kg eq C/m², ce qui représente deux fois moins que la moyenne nationale (source ADEME). Le Bilan Carbone a été calculé sur la base de panneaux photovoltaïques fabriqués avec de l'électricité européenne (contenu carbone moyen européen : 0.096 kg eq C/kWh), il est détaillé par poste dans le graphique ci-dessous :



La Maison ZEN produisant sa propre énergie grâce à sa toiture photovoltaïque, elle économise des émissions de gaz à effet de serre. Le temps permettant d'économiser autant de gaz à effet de serre qu'il en a fallu pour la fabrication des modules photovoltaïques seuls (« temps de retour Carbone ») et pour la construction de la maison dans sa totalité est présenté dans le tableau ci-dessous, en substitution à l'électricité d'origine française, européenne et allemande

	Modules PV seuls	Maison en totalité
Electricité française	34 ans	59 ans
Electricité européenne	8 ans	14 ans
Electricité allemande	5.5 ans	10 ans

L'électricité française ayant un contenu carbone très faible (0.023 kg eq C/kWh) due à son bouquet énergétique très peu carboné, basé à 80% sur le nucléaire, les « temps de retour Carbone » par rapport à celle-ci sont très long comparativement aux autres électricités plus carbonées.

Utilisation de matériaux naturels

La maison est essentiellement constituée de bois pour les murs et la façade. Celui-ci constitue une ressource renouvelable et fixe plus de CO₂ qu'il n'en consomme : les émissions de GES du bois sont considérées comme nulles si le bois est replanté, comme en France.

L'utilisation de bois massif s'inscrit dans une politique de développement durable, le bois étant l'un des rares matériaux de construction renouvelable. Les forêts d'Autriche, exploitées de manière durable, fournissent la matière première pour le KLH. Ce matériau de construction a reçu un avis favorable du CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment)

Le bois Red-Cedar est utilisé dans le monde entier pour des bardages durables et de qualité supérieure des maisons, les panneaux intérieurs, les portes, etc ... En provenance du Canada, son transport par bateau a un impact négligeable sur le bilan carbone de la maison.

L'essence de ce bois lui permet de résister au pourrissement et à l'attaque des insectes, augmentant ainsi sa résistance aux intempéries et son « espérance de vie », sans nécessiter de traitement chimique. En raison de sa faible densité, il possède un pouvoir isolant supérieur à celui de la plupart des autres essences.

Léger, facile à travailler et à finir, le cèdre rouge est un bois de choix pour les revêtements de façades. C'est une « essence noble qui offre un aspect général très chaleureux ».

L'isolant en liège est fabriqué à partir de l'écorce du chêne liège, en provenance du Portugal. Chauffé à 300° avec de la vapeur d'eau il s'expande et se colle avec sa propre résine. Ce processus demande très peu d'énergie grise. Au-delà d'être un matériau écologique, il présente l'avantage pour une maison à ossature bois, d'être imputrescible et incombustible.

Récupération de l'eau de pluie

Afin d'économiser l'eau potable, nous avons installé un système de récupération d'eau de pluie pour les toilettes, le lavage du linge et l'arrosage. L'eau de pluie collectée sur le toit est acheminée jusqu'à un filtre enterré puis stockée dans deux cuves en polyéthylène de 4.5 m³ chacune. Pour utiliser l'eau stockée dans la cuve, une pompe immergée a été installée.

Le volume d'eau récupérable pour la toiture de la maison Zen est estimé à 163 m³/an, ce qui est amplement suffisant pour satisfaire les besoins en eau pour les toilettes et le jardin (39 m³/an).



Une voiture électrique ZEN

Nous savons que nous dépendons du pétrole et du gaz pour 68% de notre approvisionnement en énergie finale. Les transports utilisent près du tiers de l'énergie consommée en France (51 Mtep d'énergie finale pour 16 Mtep d'énergie utile, écart dû au rendement des moteurs). Même si le pétrole semble irremplaçable pour les transports dans le moyen terme, nous pouvons montrer que pour les déplacements locaux (qui ne dépassent pas 40 km par jour en moyenne), la solution véhicule électrique rechargé au photovoltaïque représente un plus énergétique et environnemental très important.

Les déplacements annuels de 15 000 km effectués en 300 heures à bord d'un véhicule diesel Tdi consommant 5,6L/100 km représentent une consommation annuelle de 840 L de gaz-oil (soit 8 400 kWh d'énergie finale pour 2 600 kWh d'énergie utile) qui coûtent 966 € (1,15 €/litre soit 0,115 €/kWh) et qui génèrent 672 kg eqC/an dans l'atmosphère.

Recharger les batteries d'un véhicule électrique sur le réseau pour les mêmes déplacements annuels consommerait 2 600 kWh d'énergie utile, soit en tenant compte du rendement de charge-décharge des batteries et du rendement du moteur : 4 200 kWh d'énergie finale, ce qui ne coûterait que 400 € (0,95 €/kWh au tarif de nuit), soit moins de la moitié du coût du gaz-oil, et généreraient par an entre 330 et 95 kg eqC dans l'atmosphère. Une puissance solaire de 3,5 kWc permet de générer les 4 200 kWh nécessaires.

Si l'on prend en compte d'autres paramètres tels que la durée de vie comparée des moteurs électriques et thermiques, la faible maintenance, le couple au démarrage, l'absence totale de nuisances (bruit, pollution, GES,...), on peut facilement montrer que le véhicule rechargé au soleil n'est finalement pas si coûteux... et que ce projet est une superbe opportunité pour en donner l'exemple.



Exemple de voiture électrique disponible sur le marché

Descriptif économique

L'étude de faisabilité a permis de calculer le surcoût pour plusieurs options de substitution (bois, gaz, fioul ou tout électrique), pour quatre configurations de matériaux de construction différents (parpaing, ossature bois, bois massif et brique type « Monomur ») et pour deux applications différentes (habitation ZEN et bâtiment tertiaire ZEN).

Pour la maison de démonstration de 200m², les surcoûts bruts sont de l'ordre de 150 000 €, par rapport à une construction de base qui coûterait 300 000 € (1 500 €/m²). Ces surcoûts proviennent pour 80 000 € des aspects liés au concept de « Zéro Énergie Net », pour 40 000 € des aspects liés à la qualité des matériaux et des équipements mis en œuvre, et pour 30 000 € des aspects expérimentaux liés au prototype.

Le surcoût d'une deuxième maison semblable, moins exigeante sur la qualité des matériaux ne serait plus que de 100 000 €, soit un total de 400 000 € (2 000 €/m²).

Avec le nouveau crédit d'impôt à 50%, plafonné à 8 000 € pour un couple, et la tarification favorable à 0,57 €/kWh, pour le photovoltaïque intégré au bâti, le temps de retour du surcoût total d'une telle installation est inférieur à 20 ans ; il est de moins de 10 ans pour la simple partie photovoltaïque.

Les paramètres économiques ont été déterminants dans tous les arbitrages lors de la conception de cette maison. Nous avons avant tout recherché la simplicité dans les choix des formes, des structures et des matériaux. En effet, ce projet exemplaire se veut certes innovant, mais aussi et surtout reproductible, de sorte que tout un chacun puisse également construire sa maison ZEN.

Le montant total de l'opération est de 450 000 €.

Les partenaires du projet

Nous tenons à remercier l'ensemble des partenaires qui ont participé à la réalisation de ce projet :



VMC double flux thermodynamique et puits canadien



Pose des modules photovoltaïques



Fourniture et pose de la structure en KLH



Participation financière



Electricité et pose de la pompe à chaleur air/air



Modules photovoltaïques



Pose de la pompe à chaleur air/eau