

## **TRAVAIL INTERDISCIPLINAIRE ORIENTE PROJET**

### De la consommation à l'autonomie : Comparatif de deux villas

Etude réalisée par :

Bovigny Simon

Emonet Pierre

## Table des matières

1. Introduction .....	4
1.1. Description du sujet.....	4
1.2. Choix du sujet.....	4
1.3. Attentes et craintes .....	4
1.4. Branches de travail .....	4
1.5. Structure .....	5
2. Les villas.....	6
2.1. Descriptif.....	6
2.1.1. Villa classique .....	6
2.1.2. Villa autonome .....	6
3. Comparatif.....	8
3.1. Modifications apportées au bâtiment .....	8
3.1.1. Isolation .....	8
3.1.2. Ventilation.....	8
3.1.3. Vitrage.....	9
3.1.4. Chauffage .....	9
3.1.5. Eau chaude sanitaire.....	11
3.2. Apports des matériaux et systèmes innovants.....	11
3.2.1. Panneaux photovoltaïque .....	11
3.2.2. Panneaux solaires .....	12
3.2.3. Récupérateur d'eau de pluie .....	12
3.2.4. LED .....	12
3.3. Consommation électrique.....	12
3.4. Consommation chauffage.....	13
3.5. Consommation ECS .....	13
3.6. Coûts de construction .....	14
3.6.1. Maçonnerie.....	14
3.6.2. Charpente .....	14
3.6.3. Fenêtres .....	14
3.6.4. Isolation .....	15
3.6.5. Installation électrique .....	15
3.6.6. Installation de chauffage .....	15
3.6.7. Installation de ventilation .....	15
3.6.8. Fumisterie et poêle .....	16
3.7. Amortissement et graphiques .....	17
4. Matériaux et systèmes innovants.....	18
4.1. Minergie-P.....	18
4.1.1. Description .....	18
4.1.2. Normes et recommandations.....	18
4.1.3. Moyen d'obtention .....	18
4.1.4. Avantages et subventions .....	19
4.1.5. Ventilation contrôlée .....	19
4.2. Bilan thermique .....	20
4.2.1. Description .....	20
4.2.2. Valeur lambda .....	20
4.2.3. Valeur U .....	20

4.2.4.	MJ et KWh .....	21
4.3.	Isolations .....	21
4.3.1.	Déphasage .....	21
4.3.2.	Polystyrène .....	21
4.3.3.	Polyuréthane .....	22
4.3.4.	Laine de verre .....	22
4.4.	Panneaux solaires .....	23
4.5.	Panneaux photovoltaïques .....	24
4.6.	Récupérateur d'eau de pluie .....	25
4.7.	Puits canadien et échangeur de chaleur .....	25
4.8.	Vitrage triple .....	26
4.9.	Poêle .....	26
4.10.	LED (Light Emiting Diode) .....	26
4.10.1.	Description .....	26
4.10.2.	Technique .....	27
4.10.3.	Utilisation .....	27
4.10.4.	Ecologie et Santé .....	27
5.	Interview .....	28
5.1.	Choix du spécialiste .....	28
5.2.	Avis de la spécialiste .....	28
6.	Sensibilisation .....	30
6.1.	Mode de communication .....	30
6.2.	Subventionnement et coûts .....	30
6.3.	Description .....	31
6.4.	Impact espéré .....	31
7.	Conclusion .....	34
7.1.	Synthèse .....	34
8.	Bilan .....	36
8.1.	Bilan du groupe .....	36
8.2.	Bilan Simon .....	36
8.3.	Bilan Pierre .....	36
9.	Sources .....	38
9.1.	Liens internet .....	38
9.2.	Bibliographie .....	39

## 1. Introduction

### 1.1. Description du sujet

Dans ce travail interdisciplinaire orienté projet, nous allons traiter du thème des villas dites passives, et des systèmes d'économie d'énergie actuels.

En effet, nous vous présenterons un comparatif entre une villa de haut standing construite en respectant les minimums des normes énergétiques et sa version retravaillée, conçu pour ne consommer presque aucune énergie. Ainsi, nous analyserons la différence de coût entre ces deux méthodes de constructions, tout comme la possibilité d'amortissement au long terme engendrée par une construction super isolée.

### 1.2. Choix du sujet

Ce projet est le résultat d'un désir commun de faire prendre conscience aux futurs propriétaires et maîtres d'ouvrage de la possibilité de construire de manière écologique tout en leur permettant d'économiser de l'argent.

Effectivement, à l'heure actuelle, il existe un grand nombre de technologies innovantes et encore méconnues d'une grande partie de la population. Ce comparatif aura pour but d'exposer les possibilités disponibles lors d'une construction respectueuse de l'environnement, d'attester la rentabilité d'un tel bâtiment et de promouvoir ce qui devra être dans les années à venir la norme en termes de construction écologique.

### 1.3. Attentes et craintes

Durant les premières semaines de travail, notre principale crainte a été de voir trop grand en prenant un projet que nous n'aurions pas réussi à mener à terme. Puis au fur et à mesure de notre progression dans le projet, cette crainte s'est estompée pour faire place à une autre. Celle de fournir un travail pouvant comprendre une part de technique trop importante et qui n'aurait pas assez de créativité au goût des examinateurs. Heureusement, à l'aide de notre accompagnatrice, nous avons réussi à trouver les moyens de rendre ce travail plus accessible et de lui donner une touche de fraîcheur par l'introduction du développement d'un moyen de diffusion de notre travail.

Ce n'est pas pour autant que cela nous a facilité la tâche. Etant tout deux de piètres graphistes ou informaticiens, nous avons dû user de toutes les ressources mises à notre disposition pour élaborer des interfaces servant au mieux notre désir de partager avec les futurs propriétaires, l'envie de construire écologiquement et ceci dans le but de préserver notre environnement.

Quoi qu'il en soit, ce travail nous a tout de suite captivés, nous plongeant ainsi totalement au cœur de l'ouvrage, avec pour motivation de rendre un TIP qui réponde pour le mieux au besoin d'initier la population à la responsabilisation écologique.

### 1.4. Branches de travail

Dans le cadre de ce TIP, nous toucherons à deux branches qui sont l'économie et droit ainsi que la physique.

La démarche nous ayant menée vers le choix de l'économie et droit est relativement simple, en effet notre but étant de promouvoir les constructions écologiques, il était clair pour nous que, dans le processus de réalisation de ce projet, il nous faudrait tôt ou tard convaincre de l'intérêt d'une villa passive par une comparaison des coûts, ceci nécessitant des offres et des calculs de rentabilité au long terme. Deuxièmement, étant donné que nous souhaitions aussi mettre à disposition des brochures d'information, il nous faudrait développer un moyen de les subventionner. Que cela soit par des sponsors ou en les vendant à des entreprises telles que des banques ou des bureaux d'architecture.

D'autre part, l'aspect technique des matériaux et des systèmes utilisés nous intéresse fortement, la physique allait nous permettre de dresser un dossier contenant des informations sur les coefficients thermiques des isolants, sur le fonctionnement des systèmes d'économie d'énergie ainsi que de créer un bilan thermique et d'en expliquer les principes de base.

### 1.5. Structure

Dans les pages à venir, nous vous décrirons tout d'abord la villa qui nous a servi à établir notre comparatif. Vous trouverez ensuite un dossier comprenant une description simplifiée des transformations appliquées à la structure du bâtiment ainsi que des différentes installations ajoutées à notre villa dite autonome. De plus, les apports des différentes améliorations vous seront exposés ainsi que les plus-values qu'elles ont engendrées. Les calculs de la consommation en chauffage et en électricité vous seront expliqués et serviront à dresser le calcul de rentabilité qui comprend les graphiques de comparaison de coûts ainsi que l'amortissement au long terme.

Ensuite, le fonctionnement et les différentes caractéristiques des matériaux et des systèmes installés dans la villa autonome vous seront décrits, à l'instar du système Minergie-P et du bilan thermique. Après quoi, le moyen de sensibilisation que nous avons choisi ainsi que son subventionnement et son aspect vous seront exposés.

Finalement, vous trouverez notre analyse quant à l'intérêt d'une telle construction et notre avis personnel sur le sujet de l'écologie dans la construction et sa rentabilité.

## 2. Les villas

### 2.1. Descriptif

Il est tout d'abord important que vous soyez avertis que le plan que nous allons utiliser pour établir notre comparatif est l'œuvre du bureau Deillon Delley Architecture. Nous disposons donc de l'autorisation d'en faire usage en tant que base de travail. L'étude de cette villa est relativement complexe. Les changements de règlements entre les communes et cantons ainsi que les différences d'altitude font qu'il est important d'avoir conscience que les paramètres tels que l'épaisseur de l'isolation et la puissance des installations installées pourront différer en cas de construction dans un environnement distinct.

#### 2.1.1. Villa classique

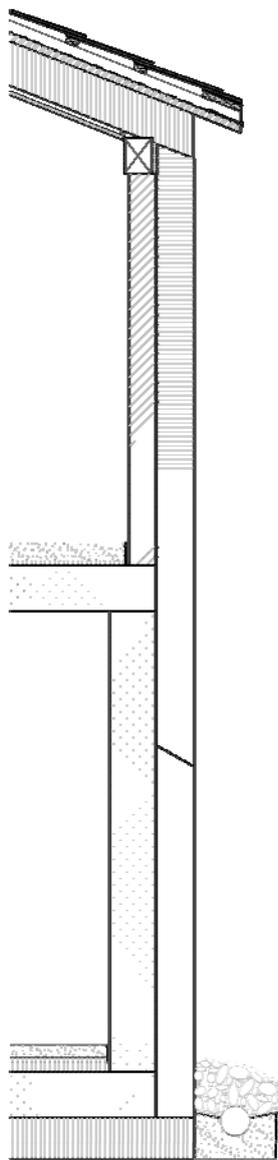
La villa de la famille Zaugg est une habitation d'un certain standing. Elle a été construite et pensée pour les besoins d'une utilisation quotidienne et doit pouvoir abriter 4 ou 5 personnes sans pour autant générer un sentiment d'étroitesse. L'architecture de cet ouvrage est épurée et simple. L'emploi de vitrages de grandes envergures sur la façade Sud-ouest (voir photo ci-dessous) contribue à l'économie d'énergie grâce à l'apport de soleil. L'ensemble du bâtiment est compact, afin de diminuer la surface de contact des façades avec la température extérieure. C'est une maison avec un toit à quatre pans qui permettent une utilisation des panneaux solaires optimale. Le quartier, qui est situé sur la commune de Blonay, dans le canton de Vaud, offre un cadre idyllique et reposant pour tous ses habitants. L'orientation du domicile a été pensée pour réunir les paramètres de l'apport solaire sur la vue incroyable du lac et de la rive française que possède ce terrain.



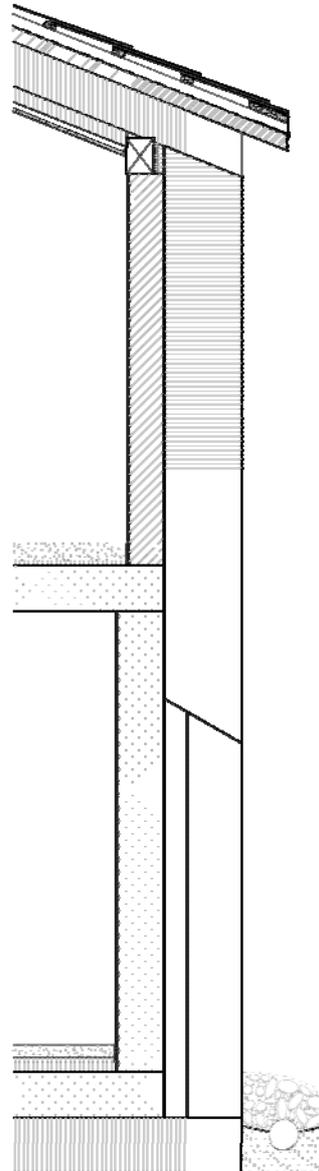
#### 2.1.2. Villa autonome

Depuis la fin des trente glorieuses et du choc pétrolier en 1973, l'isolation des bâtiments a graduellement augmenté. Les premiers travaux pour faire face aux courants d'air et aux absences d'étanchéités ont souvent supprimé les ventilations naturelles, ce qui a engendré certains problèmes de moisissures et de mauvaise qualité de l'air interne. Dans les années 80, l'utilisation de matériaux novateurs comme le polystyrène et les ventilations mécaniques ont grandement amélioré la viabilité des habitations. Actuellement, la recherche et la constante amélioration des produits et de leur procédé de fabrication ont permis l'arrivée des maisons autonomes et passives.

L'augmentation de l'épaisseur d'isolation dans cette villa a été rapidement obligatoire pour pouvoir atteindre les exigences des normes Minergie. Tout comme pour les isolants, l'amélioration des vitrages ainsi que l'utilisation des énergies renouvelables sont devenues nécessaires et assureront, au long terme, une meilleure qualité de vie et d'une grande satisfaction personnelle. De plus elles permettront la diminution des coûts de chauffage, de consommation électrique et préserveront notre environnement. Finalement, avoir un système de ventilation mécanique permettant un apport d'air neuf constant est incontournable pour assurer une qualité optimale de l'air à l'intérieur.



**Villa standard :**  
**Coupe de principe**



**Villa autonome :**  
**Coupe de principe**

### 3. Comparatif

#### 3.1. Modifications apportées au bâtiment

##### 3.1.1. Isolation

Par rapport à la construction de base, le passage à Minergie-P a nécessité que nous doublions l'isolation prévue pour la construction standard. En effet, alors que 18 cm d'isolation suffisent à une construction classique, notre villa passive exige quelques 34 cm d'isolation en façade. De plus nous avons encore dû augmenter l'isolation en toiture et sous le radier. Alors que de manière générale, on ne dépasse jamais les 20 cm d'isolation pour une villa normale, le projet de la villa autonome demande aussi 30 et 32 cm d'isolation pour la toiture et les dalles contre l'extérieur.

Mur villa autonome

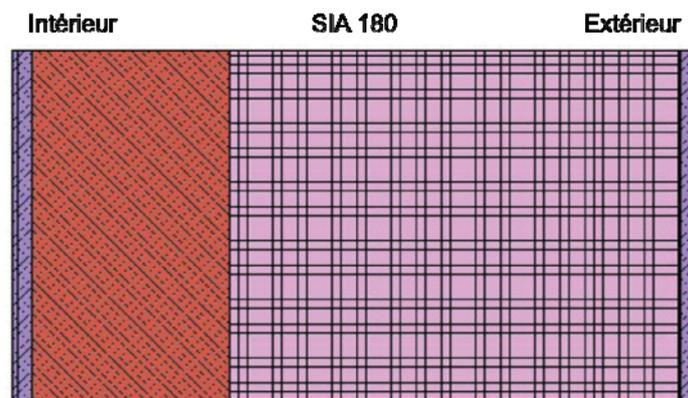
#### **M5 - Mur brique terre cuite**

Utilisation: Mur  
Contre extérieur

Capacités thermiques  
[kJ/m<sup>2</sup>K]

Cm 10cm (24h): 91  
Cm 3cm (2h): 32

Géométrie  
Epaisseur [mm]: 520



Valeur U  
 Statique  
 **0.0824** [W/m<sup>2</sup>K]

Déphasage  
 **12.53** [h] -12h  
 +12h  
 **11.47** [h] 0h  
 24h

Res: **0.04** [m<sup>2</sup>K/W]

De cette manière, l'enveloppe thermique du bâtiment est optimale mais en plus, son étanchéité à l'air est nettement améliorée, à tel point que cela nous oblige à trouver des solutions pour subvenir aux besoins d'aération du bâtiment. En effet, l'optimisation de l'isolation empêche l'air de circuler, ce qui est un avantage au niveau thermique, vu que cela empêche que de la chaleur soit perdue par un apport non-contrôlé d'air frais. Mais le côté hermétique de la construction peut mener à l'inconfort des habitants si une aération contrôlée n'est pas mise en place.

##### 3.1.2. Ventilation

En comparaison d'une villa standard, qui est aérée par l'ouverture manuelle des fenêtres, par les entrées et sorties des occupants et par l'infiltration de l'air à travers les murs, une villa passive nécessite la mise en place d'un système mécanique d'aération de l'air permettant premièrement un apport constant d'air pur au sein de l'habitation, deuxièmement d'assurer un minimum de perte de chaleur dans l'opération d'aération.

Ainsi, il faut ajouter à la construction tout un système de canaux, de distribution et d'évacuation d'air, cachés dans les dalles et qui font le lien entre l'intérieur et l'extérieur de l'habitation. De plus, nous avons aussi projeté l'installation d'un récupérateur de chaleur, Un autre engin mécanique capable de transmettre la chaleur du flux d'air sortant, au flux d'air entrant. Cette mesure est aussi complétée par la création d'un puits canadien.

Dès lors, alors qu'une villa classique ne nécessite aucun investissement pour l'aération, le système Minergie-P oblige à déboursier quelques milliers de francs en installations techniques.

### 3.1.3. Vitrage

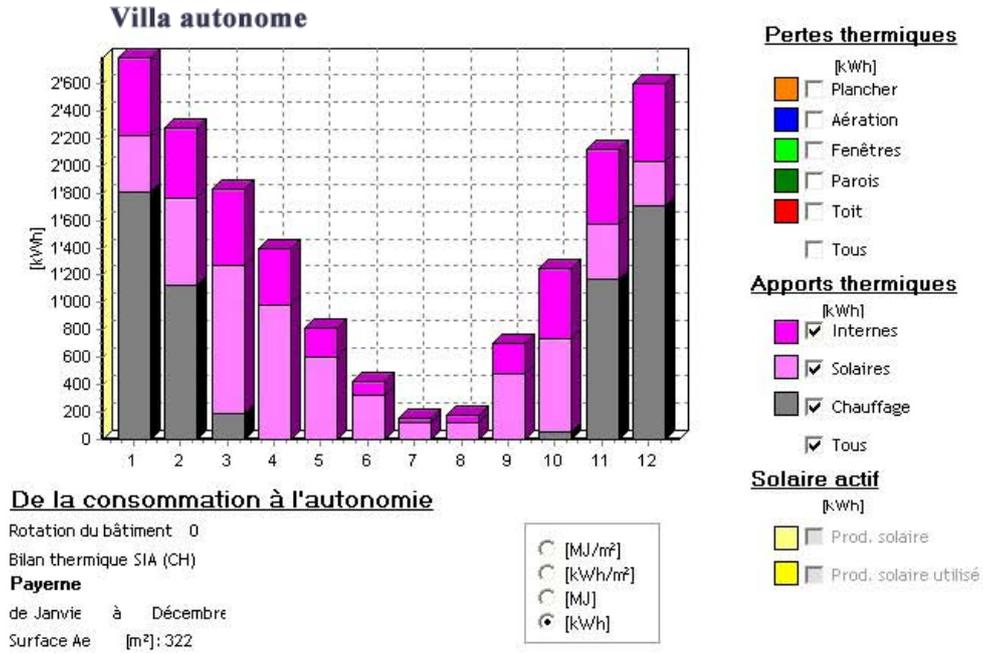
Au même titre que l'isolation, le vitrage est la cible d'une amélioration de son coefficient thermique. Il lui faut mieux préserver la chaleur et donc il est nécessaire de se fournir en un produit de qualité supérieure pour combler la différence. Ainsi l'utilisation du triple vitrage est actuellement le meilleur moyen d'atteindre ces objectifs thermiques, par rapport au double vitrage.

### 3.1.4. Chauffage

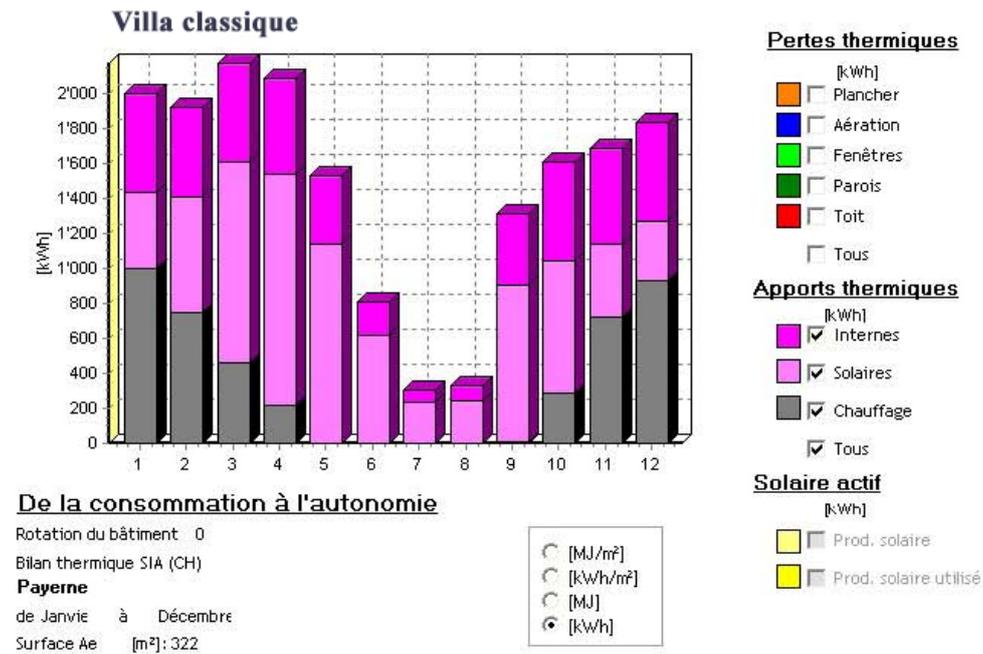
C'est sûrement la modification la plus avantageuse d'une construction Minergie-P, car c'est sur celle-ci que se feront la majeure partie des économies d'un système de construction passif. En effet, alors que la plupart des ménages en Suisse consomment du mazout ou du gaz pour se chauffer, ou lors d'une construction assez récente, dépendent de l'utilisation d'une pompe à chaleur ou d'une sonde thermique, une villa autonome n'a besoin d'aucune source de chaleur externe pendant six mois de l'année ! Mais encore, la consommation durant les six autres mois de l'année est nettement inférieure aux autres systèmes. Alors qu'une villa standard nécessite en moyenne 180 MJ/m<sup>2</sup>, notre habitation elle en demande presque deux fois moins, soit seulement 87 MJ/m<sup>2</sup> sur toute l'année.

Dès lors, plus besoins de grandes et onéreuses installations pour couvrir les besoins en chaleur du bâtiment. Dans le cas présent, nous avons remplacé la pompe à chaleur air/eau par un simple poêle à bûches ne fournissant pas plus de 10W/m<sup>2</sup>. Cela pourrait vous paraître contradictoire, de renoncer à un type de chauffage considéré comme écologique pour un chauffage à bois. Mais il est important de préciser qu'une pompe à chaleur fournit de l'énergie sans discontinuer, à moins qu'on la désactive, qu'elle consomme de l'électricité et que nos besoins en chauffage seraient plutôt de type ponctuels que continus. De plus, la combustion du bois a un impact environnemental très faible, compte tenu de son faible taux d'émission d'énergie grise. En effet, durant la vie de l'arbre, celui-ci a consommé une certaine somme de CO<sup>2</sup> qui viendra compenser ce qui aura été utilisé pour sa transformation et son utilisation. Son bilan écologique est donc un des meilleurs que l'on puisse trouver.

### Bilan Energétique Mensuel SIA (CH)



### Bilan Energétique Mensuel SIA (CH)



### 3.1.5. Eau chaude sanitaire

Il est aussi important de parler de la production d'eau chaude, car la suppression de la pompe à chaleur pose le problème suivant : il supprime par la même occasion notre seul moyen de création d'eau chaude sanitaire. De ce fait, nous avons dû chercher un moyen de subvenir efficacement aux besoins sanitaires des habitants tout en évitant au maximum l'utilisation du chauffage à bois pour combler le manque de la pompe à chaleur. L'avènement récent des moyens de productions solaires nous aura donc fourni la meilleure solution, permettant d'assurer un stock d'eau chaude permanent dans l'habitation, tout en nécessitant très peu de dépense énergétique lors de son utilisation.

## 3.2. Apports des matériaux et systèmes innovants

En plus des modifications apportées pour permettre l'obtention du label Minergie-P, nous avons aussi voulu, dans une optique écologique, intégrer à notre construction les systèmes courants de création d'énergie alternative et d'économie d'énergie. Le but, est de refléter au mieux les économies possibles de ces différents moyens de production d'énergie verte, tout en promouvant leur rentabilité et leur efficacité.

### 3.2.1. Panneaux photovoltaïque

Grâce à la pose de panneaux photovoltaïques, un ménage verra sa consommation d'électricité lui coûter bien moins cher qu'en temps normal. En effet, du moment qu'une villa produit elle-même de l'électricité, deux choix s'offrent à son utilisation ; soit stocker l'énergie et l'utiliser totalement de manière personnelle, soit la revendre à la société d'exploitation électrique en charge du réseau, dans notre cas le Groupe E. Après analyse, bien que la première solution puisse paraître logique et avantageuse, il ressort clairement que les frais liés à l'installation de batteries suffisamment efficaces pour réussir à conserver l'électricité produite sont bien trop élevés et qu'au long terme ce choix ne mène qu'à de faibles économies aux vues des investissements conséquents qui lui sont nécessaires. De plus, on ne gagne que le prix de l'électricité non-consommée sur le réseau de distribution. Tandis que par la vente du courant à l'entreprise de gestion du réseau, le potentiel de gain est bien plus important. En effet, alors que le prix d'achat de l'électricité se situe aux alentours des 22 ct/KWh, il est possible de revendre l'électricité au prix de 54.5 ct/KWh grâce au subventionnement de Swissgrid et ceci pour une durée de 20 à 25 ans.

Etant donné qu'un panneau photovoltaïque standard fourni 135 Watts pour un rayonnement solaire de 1000W et qu'on compte en Suisse une moyenne de 1000 à 1100 heures d'ensoleillement par année, chaque m<sup>2</sup> de panneau photovoltaïque permettrait donc de créer un peu plus de 135 KWh.

Ainsi, en installant 20 m<sup>2</sup> il serait possible de créer en moyenne 2800KWh par année et de gagner par leur vente plus de 1520 CHF. Ceci, alors que la consommation moyenne de notre villa tourne autour des 7800 KWh et ne coûte pas plus de 1720 CHF par an. On peut ainsi réduire notre facture d'électricité à 190 CHF par année.

### 3.2.2. Panneaux solaires

C'est par ce moyen-ci que près de 80% de notre eau chaude sera produite. En effet, les panneaux solaires couplés à un boiler de 500 litres permettront d'emmagasiner suffisamment de chaleur pour pourvoir aux besoins ménagers de notre logis. Cependant, bien qu'un boiler de 300 litres suffise à alimenter en eau chaude une construction standard, la surface importante consacrée à l'accumulation de chaleur solaire nous oblige à créer un stock d'eau assez grand pour récupérer toute la chaleur produite par nos 10 m<sup>2</sup> de panneaux solaires. La production total de cette installation pourrait atteindre les quelques 3300 KWh en une année.

### 3.2.3. Récupérateur d'eau de pluie

Pour notre construction établie sur le sol suisse romand où la moyenne des précipitations annuelles est de 1000 litres/m<sup>2</sup>, on pourrait aisément récupérer sur un an quelques 135'000 litres d'eau sanitaire. Etant donné que la consommation d'eau de quatre personnes pour l'utilisation des WC, du lave linge et du nettoyage approche les 120'000 litres par an, il nous resterait en réserve 15'000 litres, avec lesquels nous pourrions aisément arroser durant l'année le jardin. En d'autres termes, une famille utilisant un système de récupération d'eau de pluie verrait sa facture de consommation d'eau baisser de 108 frs, ce qui revient à la diviser par deux. Cependant, cette solution n'est pas des plus rentables et aura donc été écartée de notre projet afin d'en maximiser la rentabilité.

### 3.2.4. LED

La consommation électrique d'un système d'éclairage à LED est en moyenne 5 fois inférieure à la consommation des spots. En effet, dans notre villa qui compte 73 points de lumière différents, les spots qui utilisent 50 Wh ainsi que les ampoules à incandescence, qui elle nécessite 25 Wh, consomment une quantité importante d'électricité. Sur une année, en comptant une utilisation de la villa de 6 heures par jour en moyenne, les spots et ampoules utilisent 6020 KWh. Dès que l'on utilise des LED la consommation baisse à 5 Wh, ainsi il ne nous faut plus que 800 KWh pour éclairer la villa durant un an.

Les coûts liés à l'utilisation de l'éclairage seront donc divisés par presque 8.

## 3.3. Consommation électrique

Notre villa dans sa conception classique était prévue pour consommer en moyenne plus de 12700 KWh par année. Ceci comprends les 2700 KWh nécessaire à l'utilisation des appareils électroménagers, les 6020 KWh utilisés pour faire fonctionner nos 73 points lumineux et encore les 5600 KWh que consomment la PAC à sondes géothermiques pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

En comparaison, notre villa autonome, grâce à l'utilisation des LED et par le remplacement de la pompe à chaleur par un chauffage à bois n'utilisant aucune électricité, ne consomment que 7800 KWh par année. La consommation est donc 1.6 fois inférieure ! En effet, les LED ne demandent que 800 KWh d'électricité par année, les 2700 KWh pour les appareils électroménagers, eux, restent inchangés. Par contre, les 5600 KWh de la PAC sont remplacés par les 4300 KWh nécessaires à la ventilation contrôlée du bâtiment. Au total c'est quelques 4900 KWh qui seront économisés chaque année.

Dès lors, on peut calculer que grâce aux modifications apportées, il est possible de consommer pour 1080 CHF d'électricité en moins chaque année.

### 3.4. Consommation chauffage

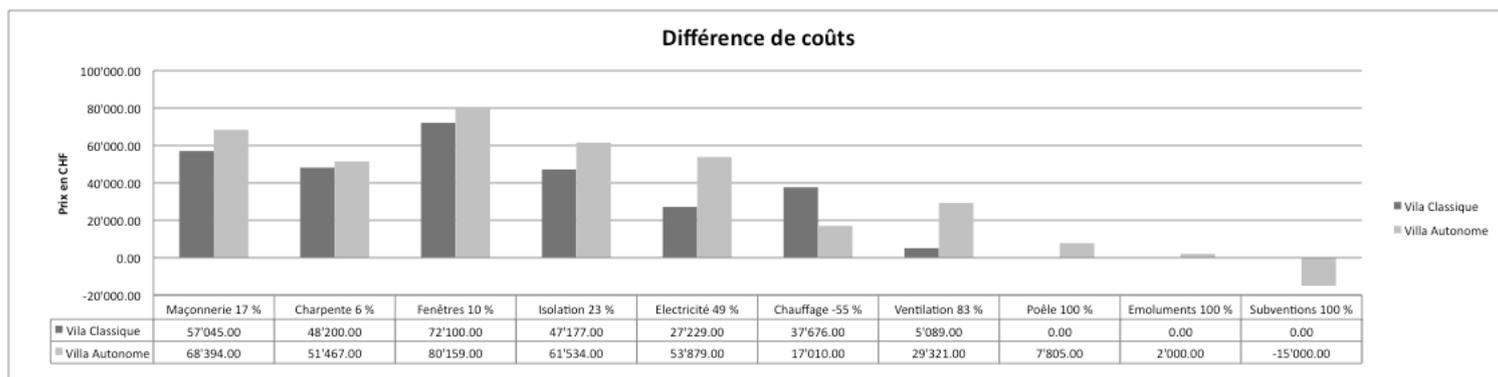
Grâce aux efforts fournis pour préserver la chaleur dans notre bâtiment autonome, nous arrivons à diviser par trois nos besoins d'énergie pour le chauffage. Ainsi nos 321 m<sup>2</sup> nécessitent pour la villa passive 4904 KWh/an alors que la villa classique demande environ 15693 KWh/an. Cependant le coefficient de performance (COP) de nos deux chauffages modifie la consommation réelle du bâtiment. Le COP de notre sonde géothermique atteint les 3,6. C'est-à-dire que la PAC produira 3,6 KWh de chaleur pour 1 KWh d'énergie consommée. Il ne faudra dès lors plus que 4359 KWh pour chauffer la villa classique. Quant à notre chauffage à bois, celui-ci dispose d'un COP de 0,80, il en résulte un besoin d'énergie réelle de 6130 KWh. Cela peut paraître contre-productif, mais le chiffre ayant le plus d'importance est plutôt le besoin de chauffage que la consommation réelle. De plus ces deux moyens de production ont des coûts d'exploitation bien différents.

En effet, avec 19 ct par KWh de consommation réelle pour une pompe à chaleur, le coût annuel de l'utilisation de ce chauffage pour la villa standard est de 828 CHF, alors que la villa autonome ne coûte que 428 CHF par année, avec un prix d'environ 6,99 ct par KWh pour des bûches de bois achetées en vrac.

### 3.5. Consommation ECS

Pour terminer nos calculs de consommation, il ne reste plus qu'à prendre en compte l'énergie nécessaire pour obtenir de l'eau chaude sanitaire. D'ordre général, on estime le besoin en eau chaude d'une villa à 50 MJ/m<sup>2</sup>. Avec nos 321 m<sup>2</sup>, il faudra donc 4458 KWh pour produire cette eau chaude. De ce fait, la villa classique, avec sa PAC au COP de 3,6, n'utilisera 1240 KWh pour effectuer cette opération. Du point de vue de la villa autonome, le COP de 0,8 du poêle aurait pu poser problème s'il n'y avait pas eu les 3300 KWh d'apport solaire thermique des panneaux solaires. Ainsi le poêle à bûche ne devra fournir plus que 1158 KWh et en consommera 1450 KWh. Finalement, le prix de revient du KWh étant différent entre les deux systèmes, il coûtera à la villa classique 235 CHF par an pour chauffer son eau alors que la villa passive ne paiera que 101 CHF pour pourvoir à ce besoin.

### 3.6. Coûts de construction



#### 3.6.1. Maçonnerie

Les changements majeurs de coûts dans le CFC de la maçonnerie, sont relatifs à une augmentation de l'épaisseur de la brique terre cuite et de l'isolation sur certaines parties du bâtiment. La brique de base utilisée dans cette construction est une brique MBB Morandi Bardonnex de 12cm d'épaisseur, son prix unitaire, fourni et posé, est de 74 CHF au m<sup>2</sup>. La surface à transformer est de 213 m<sup>2</sup>, ce qui nous fait un prix total de base de 15'762 CHF. Notre nouvelle brique, afin d'atteindre les résultats thermiques demandés, est la brique MXE modulable de Morandi et son épaisseur est de 15cm. Le nouveau prix pour ce matériau est de 88 CHF par m<sup>2</sup>. Seule l'isolation enterrée est posée par le maçon.

L'isolation sous radier permet une continuité de l'enveloppe isolante et protège le sous-sol du froid ambiant du terrain. Le type de panneau pour les façades contre terre passe d'un extrudé Swisspor XPS Jackodur 300SF de 180mm à une composition de Swisspor XPS Jackodur 300SF de 100mm recouvert d'un Swisspor EPS Drain périmétrique de 240mm d'épaisseur.

#### 3.6.2. Charpente

Les différences de prix dans la charpente sont principalement dues à l'augmentation de l'épaisseur d'isolants et du changement de produits utilisés. Nous divisons ainsi par deux nos pertes thermiques et améliorons grandement le confort dans les combles.

Alors que la charpente aurait pu être soumise à un redimensionnement, nous avons réussi à éviter ceci en privilégiant l'addition de couches isolantes supplémentaires plutôt que l'augmentation du volume entre les chevrons. Au final, il ne nous faudra que 3'267 CHF supplémentaires pour isoler convenablement le toit.

#### 3.6.3. Fenêtres

Les fenêtres, dans une construction Minergie-P, sont très importantes, étant donné que se sont les parties qui possèdent les plus faibles valeurs thermiques. Elles se doivent d'être les plus performantes possibles. Nous pouvons séparer les fenêtres d'une villa en deux parties bien distinctes. La première, le vitrage, qui, dans une construction standard, est généralement double, devra être modifiée pour atteindre les valeurs demandées. Ainsi, nous nous sommes vus dans l'obligation d'installer un triple vitrage. Heureusement pour nous, les entreprises favorisent de plus en plus la fabrication de ces verres et leurs prix ne représentent plus qu'une plus-value minime, comparée aux économies d'énergie qu'ils peuvent engendrer. La deuxième partie à améliorer est le cadre. En général, ceux en bois possèdent déjà une bonne valeur U. Cependant le cadre, qui comprend une partie fixe et un vantail qui en est la partie ouvrante, devra être réalisé en bois-métal avec un supplément d'isolation.

La plus-value totale pour la modification des fenêtres est de 8'059CHF.

#### 3.6.4. Isolation

L'augmentation du coût d'isolation est provoquée par la surépaisseur nécessaire au label Minergie-P. Il faut en effet mettre une couche d'isolation plus importante sur les façades en contact direct avec l'air libre. Cette modification nous fait changer notre isolation de base, un panneau en polystyrène expansé EPS 20, d'une épaisseur de 160mm et d'un coût de 86 CHF au m<sup>2</sup>, par une plaque en polystyrène expansé graphité Swisspor Lambda Plus d'une épaisseur de 340mm et qui représente un investissement de 146.5 CHF par m<sup>2</sup>. En ce qui concerne l'isolation enterrée, elle est essentiellement posée par le maçon, mais le façadier procédera à la jonction entre les deux. Pour cette tâche, il emploiera la même composition que le maçon cité précédemment. C'est-à-dire un panneau XPS Jackodur 300SF de 100mm recouvert d'un panneau Swisspor EPS Drain périmétrique de 240mm d'épaisseur. Le prix de cette composition est de 165 CHF. Le surcoût relatif à cette transformation est de l'ordre des 35% et représente un investissement supplémentaire de 14'357CHF.

#### 3.6.5. Installation électrique

Les deux principaux facteurs influençant le prix des installations électriques sont le changement des ampoules à incandescence par des ampoules fonctionnant aux LED et l'installation de panneaux photovoltaïques.

Nous avons pu déterminer deux différents types de luminaires, les spots encastrés dans les murs et plafond et les plafonniers. Vu sa plus grande complexité de mise en œuvre, le spot revient avec une installation de base à 175 CHF l'unité. Le passage aux LED encastrées représente une plus-value de 50 CHF. Le plafonnier, lui est nettement moins cher, il est vendu, monté, et installé pour la somme de 60 CHF et la plus-value est de 19 CHF pour le passage aux LED.

Il faut encore compter environ 23'400 CHF pour l'achat, la pose et le raccordement des panneaux photovoltaïques.

#### 3.6.6. Installation de chauffage

L'installation de chauffage et de production de chaleur est le seul CFC, qui nous permet de faire une moins-value direct sur le prix d'achat et de mise en place. En effet, nous avons pu supprimer la pompe à chaleur, les forages à grande profondeur qu'elle nécessite et leurs conduites de raccordement sous-pression. Nous avons aussi supprimé tout l'équipement de chauffage au sol, lequel comporte les serpentins à poser au sol et les appareils de distribution dans toutes les pièces. Cette moins-value s'élève à 37'780 CHF. Le seul élément que nous avons du rajouter dans ce CFC, est relatif à la production d'eau chaude sanitaire à l'aide de panneaux solaires. Nous avons prévu l'installation de 10m<sup>2</sup> de ces panneaux pour pouvoir couvrir le besoin en eau chaude de l'habitation familiale. Au final, on économise 20'660 CHF d'installations de chauffage.

#### 3.6.7. Installation de ventilation

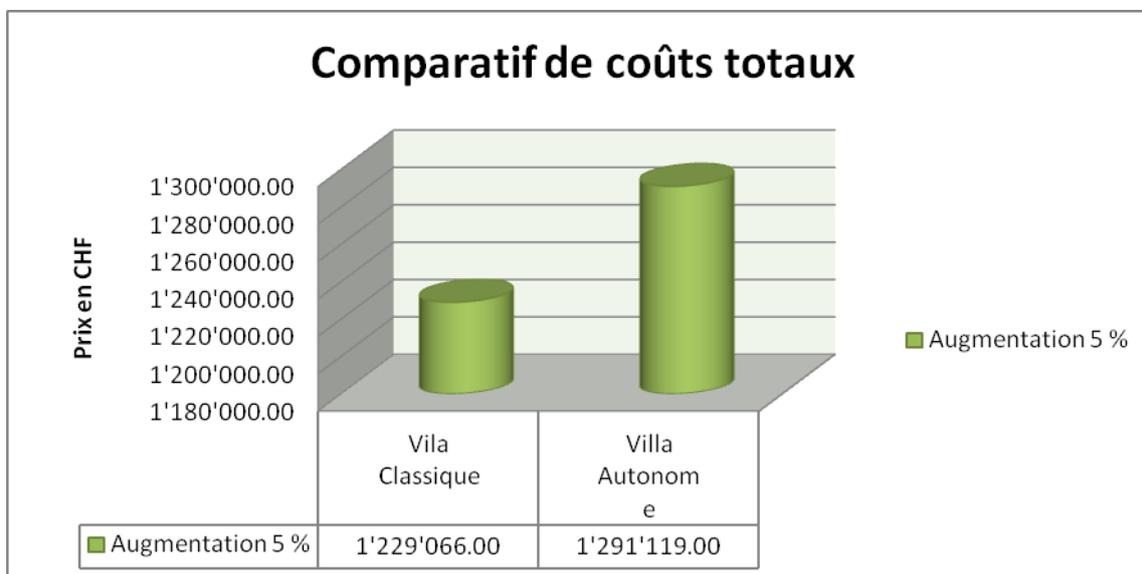
Tandis qu'à la base, notre bâtiment ne disposait que de ventilation pour les toilettes et la cuisine, il a fallu prévoir une installation globale desservant toute l'habitation. La première partie de cette installation, qui n'est pas la plus coûteuse, est le forage et la pose des gaines Spiro, qui alimentent toute la maison en air frais. La deuxième partie de cet équipement en est la pièce maîtresse : le monobloc Comfort 300T avec récupérateur de chaleur. Il coûte la somme de 7'278 CHF et permet la récupération de la chaleur de l'air vicié et de sa transmission à l'air pur qui va circuler à travers les pièces. Cette installation, nécessite le bétonnage d'un socle en béton pour reprendre le poids du monobloc et doit être prévu avant le coulage de la dalle du premier étage. Ensuite, il faut encore prendre en compte l'isolation des

parties en contact avec le béton pour éviter toute transmission de bruit à travers les gaines. Pour terminer, il ne faut pas oublier l'installation du mécanisme et la mise en place des prises d'air dans les pièces à odeur, comme les toilettes, la cuisine et la buanderie. Les ouvertures pour la pulsion d'air se feront dans les pièces à vivre.

Il faudra compter plus de 24'200CHF pour réaliser toute la ventilation contrôlée.

### 3.6.8. Fumisterie et poêle

Vu qu'aucune cheminée, ni aucun poêle n'était prévu à la base, la plus-value correspond au prix d'achat et d'installation de notre poêle à bûches, celui-ci coûtant justement 7'800CHF. L'ajout d'un poêle à bois était obligatoire, car il est le seul moyen de production de chaleur installé dans la maison. Son fonctionnement durant la période hivernale consommera 3 stères de bois. L'installation des conduits de cheminée pour le rejet de la fumée, ainsi que la prise d'air extérieure du poêle sont des aménagements qui nécessitent un travail d'isolation de bonne facture.



### 3.7. Amortissement et graphiques

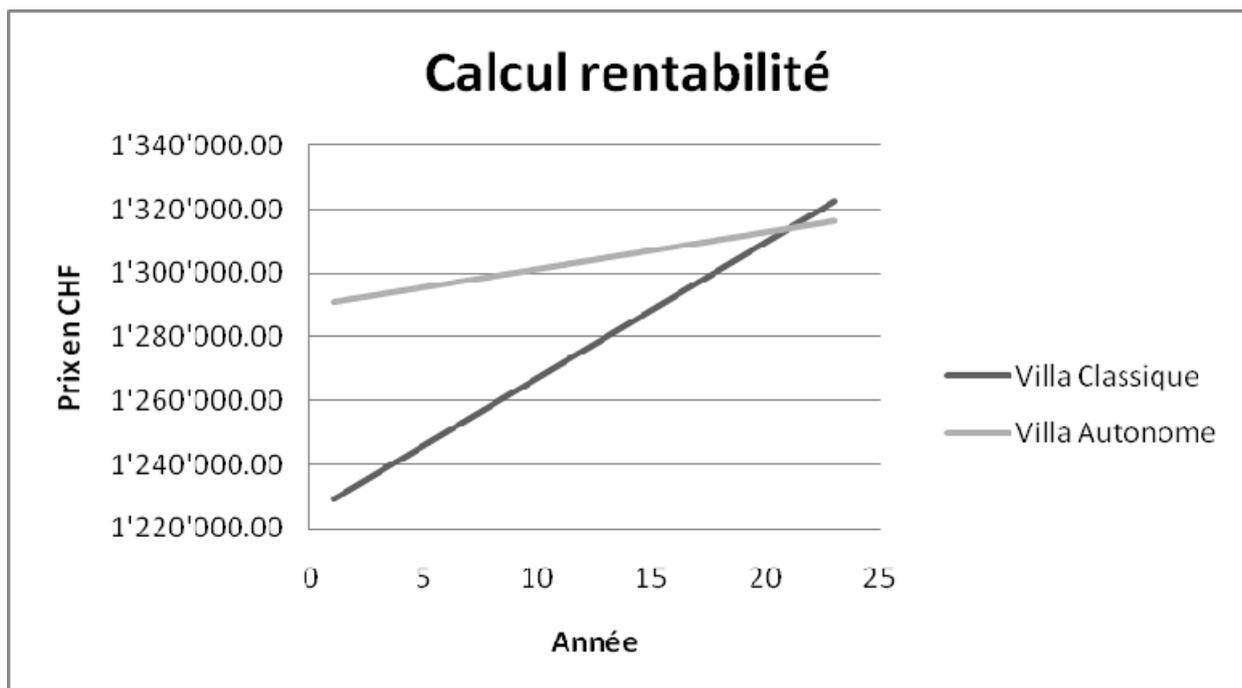
Afin de prouver la viabilité d'un tel projet, son intérêt et les économies qu'il engendre, nous avons décidé de dresser un bilan de sa rentabilité au long terme.

En effet, en se basant sur ses besoins et sur les coûts qu'ils engendrent, nous avons réussi à calculer la facture annuelle de l'utilisation de la villa passive ainsi que celle de la villa classique. Nous avons pris en compte pour cela, les besoins de chauffage, d'ECS, d'électricité et d'alimentation en eau courante ainsi que les frais relatifs à l'amortissement des lampes.

Dès lors, nous arrivons à 1131 CHF de frais annuel pour la villa passive, tandis que, d'autre part, la villa classique, elle, coûte 4217 CHF par année. Ainsi, il faudrait presque 20 ans pour que les coûts supplémentaires liés au passage à Minergie-P, qui s'élève à 62053 CHF, soient compensés par le faible coût d'utilisation du bâtiment autonome.

Il faudra donc attendre la vingt-et-unième année pour que l'on puisse réellement gagner les 3080 CHF qu'on économise sur la villa standard.

Malgré tout, sur ces vingt années nécessaires à l'égalisation des coûts totaux, il faut tenir en compte le fait que nous économisons une grande part d'énergie par rapport à une construction standard. En effet, on peut consommer jusqu'à 3 fois moins de chauffage et presque 8 fois moins d'électricité. Dès lors, bien que l'attente soit longue avant d'avoir un retour sur investissement, il ne faut pas oublier qu'au niveau de l'impact environnemental, c'est 215'000 KWh qui ne seront pas utilisés pour chauffer notre maison et 18'460 KWh qui seront économisés sur l'électricité en vingt ans. Par ailleurs, la production de nos installations solaires nous assurent 56'700 KWh d'énergie photovoltaïque et 69'300 KWh d'eau chaude solaire. Qui plus est, cette économie de ressource est très importante étant donné le climat économique tendu du secteur des matières premières et des ressources énergétiques. En effet, l'interdiction futur des centrales nucléaires, l'échéance prochaine des gisements pétroliers et le prix de production élevé des moyens écologiques de créations d'électricité, provoquera pour sûr une augmentation significative du coût de la vie et principalement des coûts relatifs aux besoins de chauffage et d'éclairage. De plus, l'inflation prévisible en Suisse jouera encore un rôle mélioratif dans l'intérêt d'une construction à très faible consommation.



## 4. Matériaux et systèmes innovants

### 4.1. Minergie-P

#### 4.1.1. Description

Minergie est un label suisse qui promeut les bâtiments durables et écologiques, assurant une qualité de vie optimale à ses occupants. Il a pour but d'encourager les maîtres d'ouvrage à réaliser des constructions respectueuses de l'environnement et met à disposition des architectes, les moyens de projeter des bâtiments de manière à respecter les différentes normes nécessaires à l'obtention du label Minergie.

Il existe plusieurs types de certification, ayant des exigences plus ou moins strictes mais qui gardent, en trame de fond, les mêmes objectifs principaux qui sont :

- la création d'un bâtiment salubre et confortable,
- le renoncement aux énergies fossiles et l'atteinte d'une haute efficacité énergétique,
- la mise en valeur de la construction et sa préservation au long terme.

En l'occurrence, le système Minergie-P est l'une des plus rigoureuses possibilités offertes. En effet, le but d'une telle construction est d'atteindre une quasi passivité du bâtiment. C'est à dire que la consommation d'énergie pour se chauffer devra être presque nulle et qu'un large éventail de modifications techniques sera mis en place pour limiter au maximum les déperditions de chaleur. Ainsi le seul moyen de parvenir à ces exigences est d'utiliser au mieux le potentiel de chaque technologie innovante arrivée récemment sur le marché.

#### 4.1.2. Normes et recommandations

Le système Minergie-P demande premièrement une enveloppe du bâtiment totalement étanche à l'air, une excellente isolation thermique ainsi qu'une consommation d'énergie minimale pour le chauffage. Qui plus est, il est nécessaire d'installer un système de renouvellement de l'air par aération douce, ce qui se résume à mettre en place dans chaque pièce une sortie d'air pour la ventilation contrôlée. De plus, il est fortement recommandé d'assurer le confort thermique en été, c'est à dire de mettre en place des protections solaires suffisantes pour éviter une chaleur excessive durant la période estivale. Finalement, en comparaison avec le système Minergie standard, Minergie-P demande obligatoirement un apport d'énergie renouvelable, des vitrages triples et une consommation énergétique globale plus basse. De ce fait, tout le matériel électroménager installé dans la maison se doit d'avoir une classe énergétique de type A.

#### 4.1.3. Moyen d'obtention

Le processus d'obtention du label suit un programme rigoureux, nécessitant la complétion de nombreux formulaires, la création d'un bilan thermique et d'un dossier de détails permettant une bonne compréhension de la future réalisation, ainsi que l'élaboration d'un justificatif des matériaux et systèmes utilisés contenant les données techniques de ceux-ci.

À l'achèvement des travaux, le bâtiment est soumis à un contrôle total afin de vérifier la cohérence entre les informations transmises et la qualité de la réalisation. Suite à quoi, la construction reçoit, si toutes les conditions sont remplies, un certificat ainsi qu'un numéro de label Minergie. Cette certification engendre, elle aussi, des coûts administratifs : les émoluments liés à une villa individuelle se montent à 2000 CHF.

#### 4.1.4. Avantages et subventions

Les avantages d'une telle conception sont, en premier lieu, une qualité de vie supérieure à celle obtenue dans une villa standard, des économies de chauffage et une augmentation de la valeur du bâtiment grâce au label Minergie-P. De même, Minergie se basant sur une utilisation à long terme, les constructions certifiées seront assurément d'excellente facture et résisteront mieux au passage du temps.

Par ailleurs, la possibilité d'obtenir des subventions cantonales n'est pas négligeable. Dans le canton de Vaud, par exemple, on peut aisément, en suivant les démarches administratives, obtenir une subvention de l'ordre de 15'000 CHF. D'autre part, certaines banques seront prêtes à faire des taux hypothécaires préférentiels pour les constructions qui seront certifiées Minergie, ou à rembourser les frais de certification.

#### 4.1.5. Ventilation contrôlée

Le système de ventilation contrôlée est une des pièces maîtresses de l'obtention du label. C'est en gérant mécaniquement le renouvellement de l'air et son flux au travers de l'habitation, que l'on peut parvenir à une qualité d'air excellente ainsi qu'à une forte économie d'énergie. Pour ce faire, chaque pièce vivable telle que le salon, la cuisine et les chambres à coucher, devra être équipée d'une introduction d'air. Il faudra, en parallèle, installer des extractions d'air équivalentes au mètre cube d'air pulsé afin d'assurer un renouvellement de l'air efficace et de créer par la même occasion un flux d'air dans le bâtiment permettant d'aérer toute les pièces. Dès lors, il sera primordial de bannir certaines habitudes : ouvrir les fenêtres pendant la nuit, ou vouloir aérer rapidement une pièce manuellement, étant donné que cela briserait le cycle de préservation de la chaleur qui est mis en place par la ventilation contrôlée.

De plus, la ventilation contrôlée requerra l'installation d'un récupérateur de chaleur entre l'air pulsé et extrait, afin de minimiser les pertes. L'installation d'un puits canadien peut aussi être très intéressante, vu que celui-ci permettra d'amener l'air extérieur à la bonne température de manière naturelle.



## 4.2. Bilan thermique

### 4.2.1. Description

A l'heure actuelle, le bilan thermique est la pièce centrale de l'élaboration de l'enveloppe thermique d'un bâtiment. Il permet, d'une part, de contrôler le respect des normes de préservation de la chaleur exigées par le système Minergie-P, mais aussi de définir les besoins de chauffage de la construction tout au long de l'année. Pour ce faire, on devra entrer au sein d'un programme, tel que Lesosai, toutes les surfaces chauffées du bâtiment (SRE) et donner également la composition de chaque élément de construction qui se trouve contre l'extérieur. Dès lors, on déterminera les faiblesses thermiques de la construction, puis on les insérera, à l'instar des ouvertures prévues, dans les tableaux de calcul du bilan thermique.

Il est important de savoir, pour bien comprendre un bilan thermique, que celui-ci prend en compte un grand nombre de paramètres tels que le type de chauffage utilisé, la localisation du projet, l'altitude et le type de sol de la parcelle, le nombre d'occupants, le type de construction, l'apport solaire des fenêtres ainsi que les déperditions de chaleur dues aux joints des portes et fenêtres tout comme celles dues aux faiblesses thermiques de la construction.

### 4.2.2. Valeur lambda

La valeur lambda est communément reconnue comme étant la représentation numérique de la conductivité thermique d'un matériau. En effet, tous les matériaux utilisés dans la construction possèdent ce coefficient. C'est donc par la combinaison de ceux-ci, au sein des compositions de chaque élément contre l'extérieur, que l'on peut définir si un bâtiment est bien isolé ou non.

D'un point de vue technique, la valeur lambda est obtenue en calculant la quantité de chaleur qui traverse une couche d'un mètre d'un matériau donné, sur un mètre carré, en une seconde, alors qu'il y a une différence d'un degré Celsius (équivalent au degré Kelvin) de part et d'autre dudit élément. Cette valeur s'exprime en watts par mètre et kelvin (W/m.k) et plus celle-ci est petite, plus l'isolation est efficace.

En comparaison, une brique terre cuite a une valeur de 0.25 W/m.k tandis que le polystyrène expansé graphité atteint les 0.030 W/m.k. Il faudrait donc presque dix fois l'épaisseur en brique pour atteindre l'efficacité du polystyrène.

### 4.2.3. Valeur U

La valeur U représente la transmission thermique d'une composition. En clair, c'est la quantité de chaleur qui filtre au travers d'un mètre carré d'un élément de construction, tel qu'un toit, une dalle ou une façade, en une seconde avec un différentiel d'un degré Celsius entre les deux côtés de l'élément. Ce coefficient se formule en watts par mètre carré et kelvin (W/m<sup>2</sup>.k) et est intimement lié à la valeur lambda, car c'est la mise en corrélation des différentes valeurs de conductivité thermique des matériaux qui permet de calculer la transmission d'une composition.

A titre de comparaison, un mur des années 1960 avait un coefficient de 0.26 W/m<sup>2</sup>.k, celui d'une villa classique actuelle tourne autour des 0.18 W/m<sup>2</sup>.k, tandis que le système Minergie-P demande d'arriver au minimum à 0.12 W/m<sup>2</sup>.k.

#### 4.2.4. MJ et KWh

Voici deux unités que vous rencontrerez de nombreuses fois, à partir du moment où vous vous intéresserez soit à la consommation électrique de votre bâtiment soit à ses besoins de chauffage.

Le Joule, tout comme le Watt-seconde, est une unité de mesure très petite qui quantifie, pour la première, une énergie et pour la seconde une puissance.

Le Watt-seconde et le Joule sont égaux. Dès lors, pour trouver la quantité d'énergie relative à un Kilowattheure, il suffit de multiplier le Watt-seconde par 1000 pour obtenir un Kilowatt-seconde puis par 3600 secondes pour avoir un Kilowattheure (60sec/min x 60min/heure). Ainsi un KWh vaut 3'600'000 Ws ou J. Comme le Mégajoule vaut  $10^6$  joules, il faut 3,6 MJ pour égaliser 1 KWh.

Pour se donner une idée de la valeur réelle d'une telle unité, on peut prendre l'exemple d'une ampoule et de sa consommation. Si on laisse allumée durant une heure une ampoule de 25W, elle consommera 25 Wh, il faudrait donc 40 ampoules fonctionnant simultanément pour utiliser 1 KWh ou alors laisser allumée votre seule ampoule durant 40 heures.

### 4.3. Isolations

Les isolants sont, dans le domaine du bâtiment, le seul moyen efficace de préserver la chaleur. Ils deviennent de plus en plus performants et la gamme de produits offerts par le marché ne cesse de s'étoffer. Cependant, lors d'une construction, il est important de bien choisir son produit et de le placer à l'endroit d'où l'on pourra en retirer un maximum et où il pourra répondre à toutes les exigences.

Concernant l'amélioration thermique du bâtiment, étant donné que la construction est neuve, les isolants utilisés lors des travaux ont déjà d'excellentes caractéristiques thermiques. Il nous a été dès lors uniquement possible d'augmenter l'épaisseur utilisée dans l'habitation pour ces différents produits.

#### 4.3.1. Déphasage

Le déphasage est le terme définissant le temps nécessaire à la chaleur pour traverser une couche de matériau. Il varie selon l'épaisseur de l'isolant, sa densité et surtout sa capacité calorifique (quantité d'énergie qu'il faut apporter à un kilogramme d'un matériau pour que sa température s'élève d'un degré). Au final, un déphasage élevé aide grandement au confort de l'habitation. En effet, il permet, pendant l'été, d'éviter que la chaleur ne s'accumule trop dans les combles, les gardant à une température fraîche et agréable. Ainsi l'ouverture d'une fenêtre pour réguler l'excès de chaleur n'est plus nécessaire. Prenons le cas de la laine de verre, dont le déphasage est de près de 12 heures pour une couche d'une trentaine de centimètre. Si à partir de 10h00, l'isolant est exposé à une forte chaleur, il faudra attendre 22h00 pour que cet effet se fasse ressentir. A ce moment-là, l'air extérieur étant devenu plus frais, cette capacité de déphasage empêchera le froid de se faire ressentir.

#### 4.3.2. Polystyrène

Le polystyrène est un polymère, c'est à dire qu'il est un produit issu du pétrole et qui est fabriqué grâce à une réaction chimique. Il est formé par l'expansion des billes de styrène en réaction à la vapeur. Sa structure est donc formée de multiples billes collées les unes aux autres et, grâce à un nouveau procédé qui introduit du graphite dans sa composition, il arrive désormais à atteindre la valeur lambda de 0.030 W/m.k. Il est tout particulièrement bien adapté à une utilisation en façade, car sa pose est simplifiée par son poids très faible. De plus c'est un support tout à fait adapté au crépi. Par contre, on ne l'utilisera pas en toiture, parce que son déphasage est très mauvais.

### 4.3.3. Polyuréthane

Le polyuréthane est lui aussi un polymère, sauf qu'à la différence du polystyrène, ses capacités thermiques sont nettement supérieures. Tandis que la structure en billes expansées du polystyrène lui assure une capacité thermique atteignant le 0.030 W/m.k, le polyuréthane, de part sa structure plus compacte et rigide, atteint facilement le coefficient record de 0.021W/m.k. Seule l'isolation de ZZ Wancor, une entreprise qui produit le vacuspeed, arrive à le surpasser et ceci par un procédé récemment développé, qui permet de créer un vide d'air dans l'isolant lui-même. Cependant, la fragilité du produit et son coût très élevé font, aujourd'hui encore, que le polyuréthane a un bien meilleur rapport qualité prix, sans oublier que sa mise en place est plus aisée.

Malgré tout, il a certains inconvénients non négligeables. Premièrement, le polyuréthane est relativement loin d'être un produit considéré comme écologique. Il est difficilement recyclable et son vieillissement est laborieux. Une fois qu'il est mis en place, il a tendance à se désagréger. Bien que cela n'altère pas sa conductivité thermique, cela rend sa réutilisation impossible. De plus, son application est limitée à une installation sous chape ou dans des cadres de fenêtre pvc ou métal. Ainsi, il est impossible d'utiliser son pouvoir isolant pour protéger des façades ou des toits.

### 4.3.4. Laine de verre

Cet isolant, d'apparence fibreuse est fait pour isoler les structures en bois. Effectivement, il peut être facilement compressé pour être inséré entre des chevrons ou dans un châssis bois. De plus, son excellent pouvoir de déphasage fait qu'il est particulièrement bien adapté à l'isolation de toiture.

Cependant, son coefficient de conductivité thermique est quelque peu supérieur à celui du polystyrène et atteint les 0.032 W/m.k.

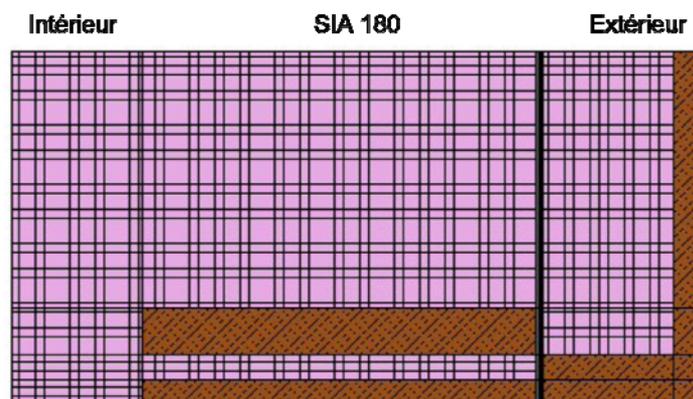
## M11 - Toiture

Utilisation:  
Toiture/plafond  
Contre extérieur

Capacités thermiques  
[kJ/m²K]

k1' : 12.5  
Cm 10cm (24h): 24  
Cm 3cm (2h): 8.77

Géométrie  
Epaisseur [mm]: 315



Valeur U

Statique  
**0.1158** [W/m²K]

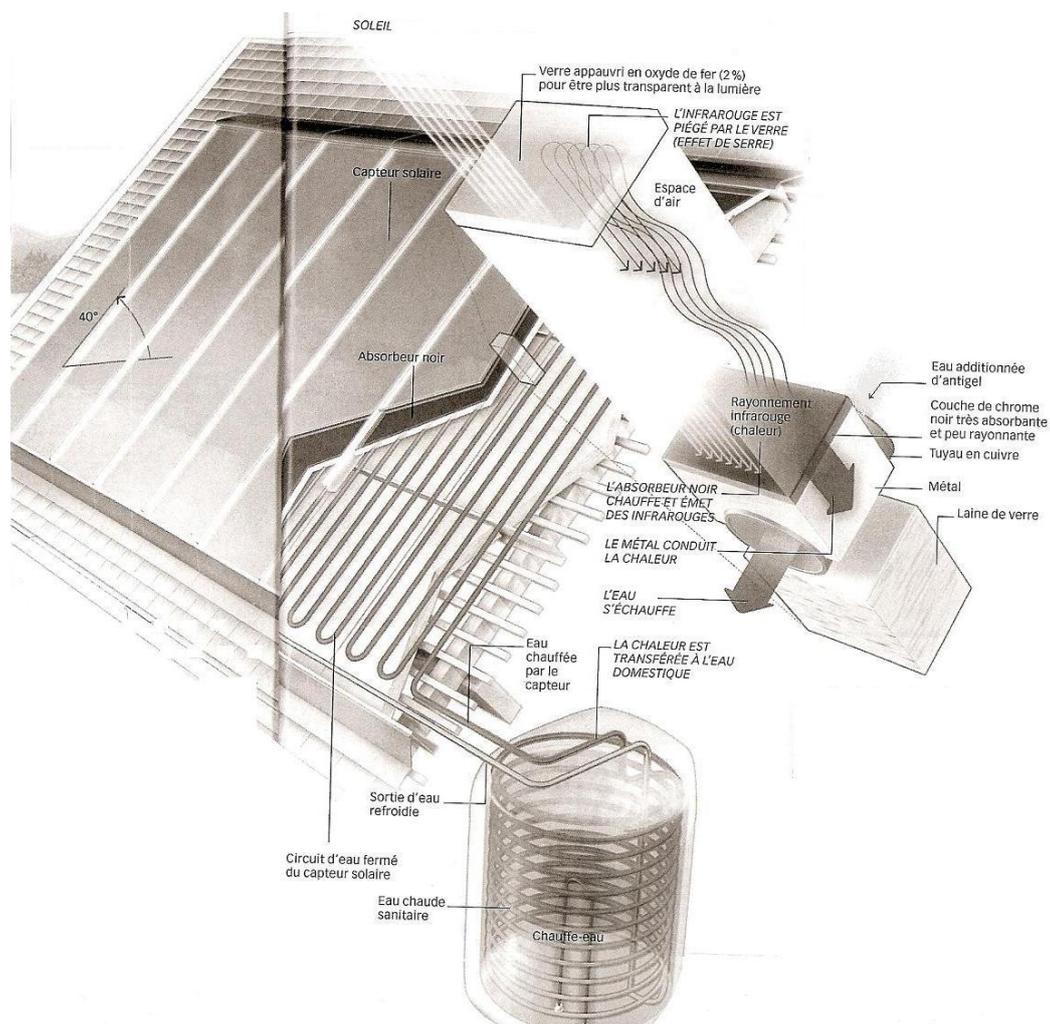
Dynamique  
**0.076** [W/m²K]

Déphasage  
**12.6** [h] -12h  
+12h  
**11.5** [h] 0h  
24h

Rse: 0.04 [m²KW]

#### 4.4. Panneaux solaires

Le panneau solaire, est à l'heure actuelle, un moyen très efficace d'économiser de l'énergie. Son principe de fonctionnement se base sur l'utilisation du rayonnement solaire pour chauffer l'eau sanitaire. Il permet, en cas d'ensoleillement, de se passer de tout autre type de chauffage, mais dispose toutefois, pour les périodes prolongées sans rayonnement solaire, d'un corps de chauffe électrique d'appoint. Les capteurs solaires se composent d'un vitrage extralucide contre l'extérieur, d'une lame d'air puis d'une plaque de métal couverte de chrome qui servira d'absorbeur de chaleur. Grâce au transfert thermique par rayonnement, cette plaque chromée arrive à récupérer jusqu'à 90% de l'énergie des rayons lumineux et émet, sous l'effet de la chaleur, des rayons infrarouges qui se retrouvent bloqués par le verre, créant un effet de serre à l'intérieur même du panneau solaire. Les tubes, contenant le liquide caloporteur, forment un circuit dans le métal qui a emmagasiné la chaleur. Dès lors, ce liquide, constitué la plupart du temps d'eau mélangée à de l'antigel, va s'échauffer puis être dirigé vers un boiler où est contenue l'eau chaude sanitaire. L'échange de chaleur va se produire entre l'eau sanitaire et le liquide caloporteur, permettant de créer une eau suffisamment chaude pour être utilisée partout dans la maison, puis le liquide ressort du boiler et entame un nouveau cycle de calorisation.



#### 4.5. Panneaux photovoltaïques

Dans la même démarche de récupération de l'énergie solaire, on peut envisager d'utiliser des panneaux photovoltaïques. Ceux-ci, tout comme les panneaux solaires, récupèrent l'énergie transmise par le soleil à ceci près qu'ils la transforment en électricité. Leur fonctionnement est un peu plus complexe que celui des précédents. Par ailleurs, leur développement est incessant et on peut s'attendre à l'augmentation de leur rentabilité dans les prochaines années.

Pour produire de l'électricité, l'énergie solaire doit être transmise à des semi-conducteurs tels que le silicium. Ceux-ci sont constitués de deux lames de silicium dopées négativement et positivement, respectivement par du bore et du phosphore.

Lorsque la charge du silicium est positive, c'est qu'il est en déficit d'électrons alors que s'il est négatif, il en est en excès.

Dans le domaine des semi-conducteurs, un dopant est un élément ajouté en infime quantité afin de modifier les propriétés de conductivité du matériau. Par cette opération, on peut justement ajouter des électrons ou créer des trous qui modifieront la charge du semi-conducteur. Elle sera positive en cas de manque d'électrons ou négative en cas d'excès. (Les semi-conducteurs sont des corps dont la résistivité est intermédiaire entre celle des conducteurs et celle des isolants.)

Ainsi, lorsqu'un photon, provenant de la lumière du soleil, entre en contact avec les semi-conducteurs dopés négativement, il engendre une rupture entre l'atome de silicium et son électron supplémentaire. Ceci a pour effet de modifier la charge électrique de l'atome, le rendant positif et le faisant aller dans la zone du dessous, composée de silicium de phosphore, elle-même positive. D'autre part, l'électron libéré, qui lui est chargé négativement, va dans la zone négative. Cette réaction est nommée effet photovoltaïque. Une différence de potentiel électrique est alors créée, donnant naissance à une tension électrique. Cette tension permettra la production d'électricité qui pourra être revendue au Groupe E ou bien tout simplement utilisée dans la maison.

Dans la gamme des panneaux photovoltaïques, il existe trois types de cellules. La cellule monocristalline est la plus efficace et la plus onéreuse. Elle transforme jusqu'à 16% de l'énergie reçue en électricité et son rendement est peu affecté par un rayonnement diffus ou par un ombrage des capteurs. Elle est nommée de la sorte car, pendant sa création, le silicium est fondu en un seul cristal qui est ensuite découpé en tranche.

La cellule multicristalline est le résultat de la refonte des restes de silicium de l'industrie électronique, qui, lors de leur refroidissement, ont formé plusieurs cristaux. Cette cellule coûte moins chère mais a un moins bon rendement (environ 12 à 14%).

Finalement, le silicium amorphe, surtout utilisé sur les petits appareils électroniques comme les calculettes, est constitué de silicium hydrogéné déposé sur un support en verre. Son rendement est très faible, à peine 7%.

#### 4.6. Récupérateur d'eau de pluie

La question des réserves d'eau potable de la planète commençant à faire débat, il est important d'agir au plus vite pour préserver nos ressources.

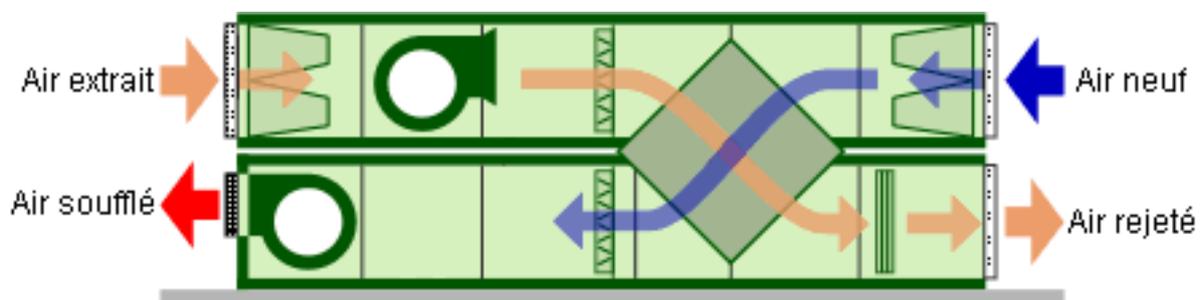
Ainsi, il est clair que l'utilisation d'un récupérateur d'eau de pluie est une manière efficace d'économiser de l'eau mais aussi de diminuer la facture annuelle d'un foyer.

Le principe du système est relativement simple. Il consiste en un raccordement des systèmes d'évacuation des eaux de toiture à une citerne enterrée. Celle-ci est alors directement reliée au réseau de distribution de l'eau sanitaire qui alimente directement les divers équipements ménagers ne nécessitant pas une eau potable. Le coût de l'installation est modique, du moment qu'elle est faite durant la construction de l'habitation, car il suffit, lors du terrassement, de prévoir l'emplacement de la citerne, d'aménager la place en même temps que se fait le gros œuvre, puis d'enterrer le tout en parallèle avec les travaux d'aménagements extérieurs. Cependant, sa rentabilité est faible car le prix de l'eau n'est pas très élevé. C'est donc avant tout par conscience écologique qu'on installera une citerne.

#### 4.7. Puits canadien et échangeur de chaleur

Le puits canadien est un système qui est d'une simplicité déconcertante et qui se trouve être un moyen redoutablement efficace d'économiser de l'énergie. Du point de vue de son fonctionnement, les installations nécessaires demandent très peu de travaux et ne coûtent donc pas cher. Il suffit juste de faire passer le canal, qui sert à alimenter la ventilation contrôlée, à environ deux mètres sous terre et de faire dépasser sa sortie à plus d'un mètre huitante de hauteur, afin que l'air qu'il utilise ne soit pas pollué, et qu'il profite de la température ambiante du sol relativement stable tout au long de l'année. En effet, alors que l'air extérieur peut varier entre  $-15$  et  $+30$  C°, la température du sol à quelques mètres de profondeur se maintient aux alentours des  $+12$  C°. Ainsi, pendant l'hiver, l'air servant à aérer la villa est préchauffé par son passage dans la canalisation enterrée tandis qu'en été ce même air est refroidi. On économise ainsi de l'énergie sur le changement de température potentiel à appliquer.

D'autre part, ce puits est de toute façon combiné avec un échangeur de chaleur. Celui-ci fonctionne par un système de superposition de plaques métalliques très fines (entre 0.1 et 0.8 mm) entre lesquelles transitent l'air pulsé et l'air extrait. La transmission de chaleur se fait par les plaques. De ce fait, les fluides ne sont pas en contact direct, préservant ainsi la pureté de l'air à pulser tout en permettant d'en échanger la chaleur avec l'air extrait à raison de 80%. On économise ainsi tous les frais relatifs au chauffage de l'air de la ventilation contrôlée.



## 4.8. Vitrage triple

C'est grâce au gaz contenu entre les verres d'un triple vitrage que celui-ci est isolant. Ces gaz rares, tel que le krypton ou l'argon, se trouvent dans l'air dans des quantités infimes et peuvent en être extrait par liquéfaction ou par distillation fractionnée.

Dès lors, à la construction des vitrages, ce gaz est injecté entre les verres qui sont hermétiquement fermés. La principale amélioration entre le double vitrage standard et le triple, réside dans le fait qu'un espace supplémentaire remplie de gaz rare y est créé.

Il ne reste alors plus qu'à développer des cadres suffisamment isolants pour éviter de trop grosses pertes de chaleur à chaque fenêtre. La solution a été trouvée en ajoutant du polyuréthane au sein même de la structure des cadres, d'où l'utilisation d'un cadre bois-métal dans notre projet. Le bois a déjà une bonne valeur isolante, mais elle est malheureusement insuffisante pour une telle construction. Il faut alors ajouter du côté extérieur de celui-ci une partie de cadre en métal qui, lui, sera isolé, permettant ainsi d'atteindre le coefficient de transmission thermique désiré.

Finalement, il vaut mieux placer les fenêtres vers le sud, l'est ou l'ouest afin qu'elles fassent bénéficier au bâtiment du meilleur apport solaire possible.

## 4.9. Poêle

Dans le concept de villa passive, le chauffage par le poêle est un chauffage d'appoint. C'est à dire qu'il n'endosse pas le rôle de chauffage principal, mais plutôt de soutien en cas de période de froid important ou d'insuffisance du premier chauffage. Il a cependant une place primordiale dans notre type de construction, car le chauffage principal est seulement assuré par la production de chaleur résultant de l'activité dans la maison. En clair, seule la chaleur produite par les éléments électroménagers tels le four ou les plaques de cuisson, par l'éclairage, qui sera en l'occurrence très faible, en raison de l'utilisation de lampes LED, par l'apport thermique du soleil sur les vitrages et baies vitrées et finalement par l'activité humaine en elle-même, devra suffire à chauffer la maison. D'où l'intérêt d'une excellente enveloppe thermique ainsi que d'une ventilation contrôlée pour éviter que cette chaleur, souvent considérée comme résiduelle et accessoire dans des constructions standards, ne soit perdue dans la villa.

## 4.10. LED (Light Emitting Diode)

### 4.10.1. Description

La technologie avançant à grands pas, les LED, aussi connues sous le nom de diodes électroluminescentes, deviennent de plus en plus économiques et performantes et, grâce à l'interdiction prochaine des ampoules à incandescences, trouveront bientôt une place de choix sur le marché pour devenir certainement la référence en terme d'éclairage dans l'habitat. Que ce soit en tant que source d'éclairage principale, de décoration ou de lumière d'appoint, cette nouvelle invention offre de nombreux avantages du point de vue écologique.

Nous avons déjà tous pu remarquer une lumière plus claire et plus nette que les autres dans une vitrine, dans un appartement ou en tant que décoration, il s'agissait, donc, certainement d'une LED.

Depuis l'invention de la lumière électrique, la fabrication et l'amélioration des moyens d'éclairages n'ont cessé d'être l'objet de recherches afin d'en améliorer l'impact écologique et d'en réduire la consommation. Qu'il s'agisse des néons, de la lumière halogène ou de lampes à économie d'énergie, le progrès est perpétuel et nécessaire pour nous assurer un accès sans restriction à cette ressource devenue vitale à notre mode de vie moderne. La propagation

de masse des lampes LED constituera l'aube d'une révolution qui ne peut être comparée qu'à l'introduction de la lumière électrique il y a plus de 120 ans.

#### 4.10.2. Technique

A la place du filament boudiné de l'ampoule classique, la LED est munie de deux couches de cristaux semi-conducteurs : la première, ayant un excès d'électrons, est au dessous de la deuxième qui, elle, est en déficit d'électrons. La zone située à la surface de raccord de ces deux couches de semi-conducteurs est nommée « zone active » car c'est dans cette partie que la création de la lumière s'opère. En effet, le passage de l'électricité entre les semi-conducteurs engendre une différence de potentiel, menant les électrons de la première couche à combler le manque de la deuxième, ce que l'on nomme un saut orbital en chimie. La réaction a pour effet la création d'un photon lorsque l'électron vient boucher le « trou » de la deuxième couche, d'où la diffusion de lumière.

De plus, étant donné que dans une LED aucun filament ne se consume dans un gaz, les dimensions de cette nouvelle technologie s'en trouvent fortement réduites au point que l'encastrement des luminaires LED ne mesure souvent que quelques millimètres et offre des possibilités de design et d'application incomparables. Si la taille des LED est bien plus petite, leur durée de vie est, à l'inverse, bien plus longue. En effet, une LED peut fonctionner pendant 50'000 heures alors qu'une ampoule classique peine à atteindre les 2000 heures de durée de vie. Partons du principe qu'une LED soit allumée 6 heures par jour tout au long de l'année, il faudrait dès lors attendre plus de 20 ans avant de devoir la changer.

#### 4.10.3. Utilisation

Les LED conviennent particulièrement bien pour le fonctionnement permanent, car elles ne dégagent quasiment aucune chaleur, consomment peu d'électricité et ont une durée de vie largement supérieure à tout autre moyen d'éclairage connu.

Même encastrées dans des plafonds, elles ne créent pas de jaunissement dû à la chaleur. Elles peuvent être utilisées dans les musées, pour les peintures de grandes valeurs, puisque la LED n'émet pas de lumière infrarouge ni de rayons UV, ce qui limite l'effet de blanchissement produit par les lumières claires.

De plus, elles ne demandent quasiment aucun entretien si ce n'est un dépoussiérage de temps à autre, vu leur longévité exceptionnelle, et elles sont totalement insensibles aux chocs et vibrations ce qui rend leur manipulation bien plus aisée.

#### 4.10.4. Ecologie et Santé

En dernier lieu, la LED ne contient aucune substance dangereuse telle que les gaz utilisés dans les lampes à incandescences, et ne présente ainsi aucun danger pour l'environnement même si elle se brise. Il est aussi intéressant de souligner le fait que les LED produisent un rayonnement électromagnétique cinq fois inférieur à celui d'une ampoule basse consommation. Certains spécialistes jugent que l'emploi de ces nouvelles sources de lumières pourrait, à long terme, nous faire souffrir de maux de tête et d'insomnies. Mais, cette théorie ne prend pas en compte que nous y sommes déjà exposés en permanence dans nos habitations. Que se soit par le wifi, la télévision ou les téléphones mobiles.

De par ailleurs, nous passons certainement bien plus de temps à discuter par l'intermédiaire de notre téléphone portable que l'oreille collée contre une lampe LED.

L'utilisation de cette nouvelle technologie est donc totalement inoffensive pour la santé et sa consommation électrique est 5 fois inférieure à une lampe classique.

## 5. Interview

### 5.1. Choix du spécialiste

Afin de pouvoir attester avec certitude du confort d'une construction de type Minergie-P, nous avons cherché à contacter une personne ayant de l'expérience dans ce système de construction et qui pourrait répondre à nos questions quant à l'utilisation d'un tel bâtiment au long de l'année.

Après quelques recherches, il était clair pour nous que Mme KASPAR Marie-Claude était la personne idéale à interroger. En effet, elle a suivi sa formation d'architecte à l'EPFL et a acquis une expérience solide dans la construction de bâtiment de type Minergie, de par ses multiples réalisations exemplaires en terme d'économie d'énergie. De plus, elle habite et travaille actuellement dans un bâtiment à très faible consommation énergétique.

### 5.2. Avis de la spécialiste

Suite à notre rencontre avec Mme Kaspar, nous sommes ressortis avec l'intime conviction que ce type de construction était, à l'heure actuelle, un des meilleurs si ce n'est le meilleur à disposition. En effet, bien qu'il faisait presque -10 °C le jour de notre interview, nous ne ressentions aucune impression de froid une fois à l'intérieur. Ceci alors que leur bureau n'est chauffé par aucune chaudière, si ce n'est un poêle à bûches dans l'arrière de la salle, qui est utilisé pour la totalité du bâtiment et qui, de plus, n'était même pas allumé.

Au fil de notre discussion, nous avons interrogé notre hôte sur ses impressions quant à l'utilisation quotidienne d'une villa passive, sur ses éventuelles contraintes et les désagréments qui pouvaient apparaître à longue échéance. Mme Kaspar nous a confié que ces anciens clients dormaient mieux, grâce à la ventilation contrôlée et qu'ils avaient moins de maux de tête, vu que l'oxygène est continuellement renouvelé. Elle nous a aussi dit qu'elle ne pourrait plus se passer de ce gain de confort et de cette meilleure qualité de vie.

De plus, il subsiste comme préjugé auprès des néophytes qu'une villa passive est très contraignante. Qu'elle oblige à une rigueur particulière de mode de vie, où privations et obligations sont monnaie courante. Que dire de plus, si ce n'est qu'il est aberrant qu'une telle pensée ait pu naître. Avec une villa Minergie-P, nous sommes aux antipodes d'une telle conception de l'habitation. Tout est fait pour faciliter le mode de vie des occupants. L'aération se fait automatiquement, plus besoin d'ouvrir les fenêtres, vos pièces ont toujours de l'air frais que ce soit aux toilettes, dans la cuisine ou bien au réveil dans votre chambre à coucher. Mais encore, il n'y a plus besoin de commander du mazout ou des pellets pour la chaudière, ainsi vous n'êtes pas obligés d'organiser votre temps de travail pour venir vous occuper de la réception des ressources de chauffage. Il vous suffit juste d'aller acheter, de temps à autre, de quoi alimenter votre poêle à bûche dans la période hivernale.

Quoiqu'il en soit, sur tous ses clients, aucun n'a été déçu de son choix de construire de manière respectueuse de l'environnement, ce qui prouve bien l'efficacité du système Minergie.

Nous nous intéressions aussi tout particulièrement au type de personnes plus enclin à choisir une réalisation de villa autonome. D'après Mme Kaspar, on ne peut pas réellement dégager de classe sociale plus sensible à ce type de construction. En effet, ils ont autant réalisé des villas ne coûtant que 700'000 CHF (minimum actuel pour construire) que de villas plus onéreuses, destinées à des personnes plus aisées. Dès lors, ce qui caractérise le propriétaire de villa passive type n'est pas ses revenus, ni son âge ni même ses origines mais bien plus sa sensibilité écologique et sa forte volonté d'agir pour le bien de l'environnement, quitte à devoir sacrifier le côté « m'as-tu vu » des nouveaux propriétaires classiques.

Par ailleurs, nous nous sommes aussi enquis au sujet des difficultés de réalisation de projet Minergie. Il en ressort que, bien qu'une telle construction nécessite des collaborateurs efficaces et adroits, du moment qu'elle est sous la surveillance régulière de l'architecte, qu'on se préoccupe de la réalisation en bonne et due forme de l'ouvrage, le processus suit son cours sans rencontrer d'obstacles majeurs. Il est cependant fortement recommandé de s'adresser à des spécialistes dans les constructions Minergie, car leurs expériences précédentes les auront à coup sûr menés à développer une capacité d'anticipation des contretemps. Ils connaissent et ont déjà testé les détails de construction, ont l'habitude de travailler avec des entreprises qui répondent aux exigences de qualité de travail et ils ont à l'esprit chaque élément de leur projet où ils s'étaient trouvés, auparavant, face à un problème. On économise ainsi du temps et de l'argent en s'adressant directement à des professionnels expérimentés.

A un niveau plus global, on s'entend facilement sur le fait que les architectes Kaspar sont les précurseurs de la construction autonome. En effet, ils ont commencé à développer des villas passives avant même que Minergie n'existe et que des subventions ne soient versées. A tel point, que depuis bientôt 15 ans, ils ont pu voir les mentalités gouvernementales évoluées, passant du refus catégorique de subventionner ce type de construction, à la considération du système passif comme étant un secteur de niche pour finir où nous en sommes actuellement, c'est-à-dire à un encouragement appuyé de ce type de réalisation. Leur expérience dans ce domaine est grande, car ils ont déjà pu construire 15 réalisations certifiées Minergie et Minergie-P.



## 6. Sensibilisation

### 6.1. Mode de communication

Dans notre démarche de sensibilisation, nous désirons toucher un maximum de personnes pouvant être amenées à construire et à devoir faire un choix écologique. C'est dans cette optique que nous nous sommes décidés à cibler en priorité les jeunes couples. Ainsi, nous pourrions inciter ces jeunes gens à se diriger, dans la mesure de leurs moyens, vers des villas passives, par la création d'une brochure expliquant les principaux avantages et les possibles économies d'une construction respectueuse de l'environnement et à très faible impact énergétique. En effet, à la suite de notre comparatif et à la vue de ses résultats, il est évident qu'une villa autonome a, au long terme, un intérêt financier évident.

De cette manière, nous donnerions la possibilité de faire un choix objectif, en donnant toutes les informations nécessaires à la comparaison des deux systèmes, passif et classique.

Notre brochure serait distribuée, gratuitement, dans des lieux susceptibles de voir passer des personnes désireuses de construire. Nous pensions donc à des banques, chez des promoteurs et dans des agences immobilières, des bureaux d'architecture ou encore même à la poste.

D'autre part, la création d'un site internet donnant accès à notre travail et à un éventuel récapitulatif simplifié de celui-ci pourrait être intéressant. De cette manière les informations non transmises sur la brochure pourraient être remplacées par leur lien internet et toute personne intéressée par ce système de construction pourrait trouver par une recherche Google un condensé d'information permettant de se faire rapidement une idée précise.

Finalement, une éventuelle publication dans un journal pourrait aussi être un excellent catalyseur pour la diffusion de nos résultats. Ce moyen de transmission étant largement répandu, il peut toucher un maximum de personnes en un temps record. Bien sûr, cette possibilité ne serait envisageable qu'au moment où le site internet et la brochure connaîtrait un réel succès, vu la nécessité de rédiger un article spécialisé.

### 6.2. Subventionnement et coûts

Pour pouvoir prétendre à la publication d'une brochure, à la création d'un site internet ou bien encore à la rédaction d'un article, il est vital de posséder les fonds suffisants, nécessaires aux besoins d'une telle entreprise.

Deux choix s'offraient à notre projet. La vente de notre brochure à des bureaux d'architecture et agences immobilières ou la recherche de sponsors figurant dans notre brochure, dont nous vanterions la qualité de leur produit et leur adéquation avec le principe de villa passive.

La première possibilité allant à l'encontre de nos convictions par son côté lucratif et surtout par la restriction de notre champ d'action qui en découlait, nous nous sommes donc décidés à explorer les opportunités offertes par le sponsoring.

En effet, les principaux avantages du sponsoring sont une très grande liberté du choix des lieux de distribution ainsi qu'une facilité, due au caractère gratuit de la brochure, de sa mise en place dans les endroits cités ci-dessus. Or, c'est bien là ce que nous recherchons, vu que nous visons une diffusion globale et sans contrainte. D'un autre côté, le sponsoring nous liant à nos donateurs, nous serons obligés d'avoir l'approbation de nos partenaires pour le contenu de notre brochure, afin qu'ils se voient assurés que leur participation pécuniaire soit justement rétribuée en publicité. De plus, nous devons plus orienter notre brochure sur un axe commerciale dépendant des entreprises ayant répondues positivement à notre demande de sponsors.

Concernant la liste des entreprises pouvant être contactées, nous nous sommes basés sur nos matériaux utilisés ainsi que sur les systèmes employés. Ainsi, nous avons pensé contacter : Minergie®, Swisspor, Pavatex, Isover, Groupe E, Saint-Gobain Glass et Oertli.

Le prix pour l'impression d'un demi-millier de nos brochures avoisinerait les 650.-, il nous faudrait dès lors la participation d'au moins cinq partenaires à raison de 130.- pour lancer les machines. Nous avons la quasi certitude de la participation de Minergie® vu que ce travail s'inscrit clairement dans une défense de leur concept, cependant la récolte de fonds auprès des autres entreprises sera plus ardue. Si les fonds obtenus se trouvent être insuffisant, il nous restera dès lors plus que la carte de la subvention par la loterie romande à jouer en dernier recours ou encore le subventionnement par Lesosai, entreprise créatrice du module de calcul thermique que nous avons utilisé.

Cependant, il est aussi clair que c'est une somme modique pour ce qui peut, dans de bonnes conditions, être un excellent vecteur promotionnel.

### 6.3. Description

Nous souhaitons principalement créer un support de distribution facilement transportable, contenant des informations condensées et d'une esthétique épurée mais dynamique, afin de générer un intérêt rapidement

Il nous faut réussir à capter l'attention du lecteur, de façon rapide, afin de pouvoir toucher par notre étude le plus grand public possible. Une brochure austère et truffée de termes techniques ne remplit en aucun cas ces exigences. C'est de ce besoin de facilité de communication que découle la présentation que nous avons voulu produire. En clair, notre brochure doit avant tout être attirante. La couleur vert clair répond bien à ce besoins, car elle attire l'œil, se démarque de tons plus foncés tels que les bleus ou les gris, elle porte une connotation d'espoir, de renouveau et est à l'heure actuelle le symbole de l'écologie dans notre société. Son aspect dynamique, plaira aux jeunes plus réceptifs aux couleurs flashies et permettra le cas échéant de guider le choix d'un potentiel lecteur sur notre brochure plutôt que sur une autre. Deuxièmement, notre analyse devra être résumée, vulgarisée, condensée à son essence même afin de convaincre de manière concise et concrète. Le succès d'une telle brochure dépend de sa capacité à captiver le lecteur, tout en lui en apprenant suffisamment pour mener l'intéressé vers une recherche personnelle d'informations complémentaires.

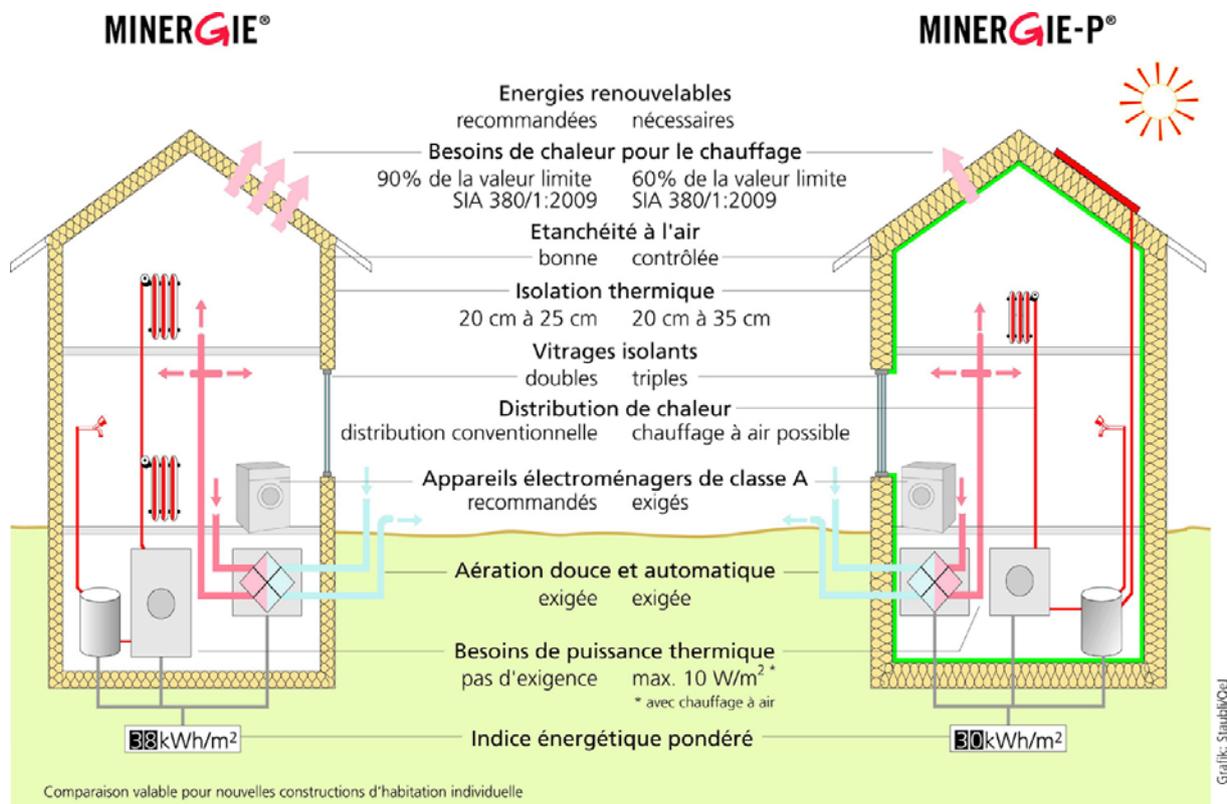
C'est donc la aussi que la brochure doit réussir à combler cette demande par la proposition de prestations supplémentaires. Il faut encourager le propriétaire potentiel à faire un choix écologique en lui donnant en main propre et de manière simple tout le savoir dont il aura besoin pour se décider. Ainsi le lien internet vers notre étude est essentiel mais, en plus, les entreprises qui nous auront sponsorisés, seront-elles aussi nommées avec leurs coordonnées afin de permettre au lecteur de choisir personnellement dans un panel d'informateurs variés. On donne ainsi un intérêt supplémentaire au sponsoring par cette publicité indirecte.

### 6.4. Impact espéré

Les attentes découlant de ce projet relèvent peut-être de l'utopisme, mais dans notre monde actuel, chaque effort individuel peut amener à un changement majeur, s'il arrive à trouver un public réceptif. C'est pourquoi, nous espérons que ce travail permettra, d'une part, à motiver les personnes hésitantes, quant au choix d'une villa passive, à le faire et ceci de manière sure, avec la pleine conscience de la viabilité d'un tel projet au long terme et de sa valeur ajoutée sur le marché de l'immobilier.

De plus, nous souhaiterions aussi provoquer un éveil écologique chez tous nos lecteurs. Une sorte de prise de conscience qui, lorsque le moment de construire, de rénover ou même d'acheter un bien immobilier sera venu, permettra d'influencer du côté de l'écologie et de la villa passive, les choix qu'ils auront à faire.

De manière générale, ce travail a pour but de faire connaître au plus grand nombre l'existence du concept de villa autonome et de permettre une compréhension claire et rapide des efforts qu'il suggère et des bienfaits qu'il apporte en contrepartie.



Exemple de moyen de communication - Minergie

## La villa passive une construction d'avenir



**MINERGIE®**



Partenaires principaux de l'étude:  
De la consommation à l'autonomie

De la consommation à l'autonomie  
Etude réalisée par Bovigny Simon et Pierre Emonet

Rue du Village 8  
1617 Tatroz

079 472 35 68  
079 539 52 60  
[www.autonomie.ch](http://www.autonomie.ch)

Proposition de page de couverture de notre brochure

## 7. Conclusion

### 7.1. Synthèse

Après l'analyse de nos frais de construction, des économies d'énergie, de la qualité de vie résultant des changements effectués lors de la construction et de la rentabilité d'un tel projet, il ressort clairement que la villa passive dispose des meilleurs atouts pour durer et pour satisfaire aux besoins de confort des futurs propriétaires, dans les années à venir. Cependant, notre villa étant de haut-standing, le pourcentage d'augmentation du coût de construction est relativement faible. Dès lors, on peut estimer que les frais supplémentaires relatifs au passage Minergie-P sont des frais fixes, indépendamment du prix de base de la villa. Dans le cas d'une villa à 700'000 CHF, il faudrait par exemple compter près de 10% d'augmentation.

Il est vrai qu'une villa dite de type standard est évidemment moins cher à la construction et demande moins d'investissement personnel tout au long de l'année. Cependant, les coûts liés à son utilisation demeurent élevés et leur méthode de construction implique une qualité de vie moindre pour ses utilisateurs. Ainsi, l'air intérieur n'est pas forcément toujours renouvelé, les pertes de chaleur sont importantes, l'humidité pourra, dans certains cas, s'infiltrer dans les murs et causer de sérieux dégâts, car certains matériaux utilisés lors de la construction ne sont pas d'une excellente qualité. Il en résultera une durée de vie du bâtiment moindre. Par ailleurs, habiter dans ce type de construction, c'est aussi un peu être dépendant du marché et des variations économiques mondiales. La maison ne produisant aucune énergie, elle est tributaire de l'apport extérieur d'énergie et de ressource. Ainsi, dans notre société actuelle, où le prix des différentes matières premières aura tendance dans les prochaines années à être sujet à une forte inflation, avoir des moyens de productions personnelles pourrait permettre, dans le futur, des économies bien plus significatives que celles calculées avec une prévision d'inflation nulle.

Par contre, avec une villa Minergie-P, le bâtiment est nettement plus efficace dans tous les domaines de la construction (étanchéité à l'air, résistance à l'humidité et protection thermique). De plus, posséder un label Minergie-P, ne pourra que faire augmenter la valeur de la villa au cours de ces prochaines années, car la demande en villas économes en énergie ne pourra que s'accroître. Qui plus est, ses frais d'utilisation arrivent tout de même presque à être 4 fois inférieurs au système classique, alors qu'il n'engendre que 5% de coûts de construction supplémentaires.

Dès lors, il est très intéressant de constater que la forte différence de température, lors des mois les plus froids, peut être comblée avec l'aide seule du poêle à bûches. Sans oublier qu'avec une meilleure installation électrique, comptant le changement des ampoules par des LED, les remplacements sont nettement moins fréquents et la consommation est considérablement amoindrie. Par ailleurs, on dort mieux dans un bâtiment bien aéré et notre forme physique n'en n'est que meilleure, cette meilleure qualité de vie est possible grâce à la ventilation contrôlée qui équipe chaque villa Minergie.

D'autre part, bien que la différence de coût d'utilisation ne soit que de 3090 CHF par an, il ne faut pas oublier l'économie globale d'énergie entre les deux constructions. Au total, c'est 233'460 KWh qui ne sont pas consommés sur vingt ans. Afin d'illustrer ce chiffre, cela correspondrait à la consommation de la ville de Lucerne et de ses 76'156 habitants durant 5 heures et 6 minutes. Finalement, notre villa passive, sur vingt ans, c'est aussi 126'000 KWh d'énergie produite, soit le tiers de la production de la centrale nucléaire de Mühleberg en une heure. Si 494'000 personnes suivaient notre exemple, cette centrale pourrait fermée.

Au final, la décision de construire une villa Minergie-P ou une villa standard ne devrait pas être un choix de budget, mais un choix de conscience écologique. Bien que l'investissement initial soit plus important, il est possible de faire les économies nécessaires à la construction d'un bâtiment respectueux de l'environnement en sacrifiant momentanément l'esthétique pour pouvoir construire de manière raisonnable. En effet, il est bien plus facile d'améliorer par après l'esthétique intérieur, que de vouloir augmenter l'épaisseur de l'isolation ou changer le système de chauffage quelques années après la construction.

La conscience écologique ne s'achète pas, c'est une volonté qui s'acquiert et qui nécessite de savoir où sont ses priorités et jusqu'où l'on est capable d'aller pour les défendre.

## 8. Bilan

### 8.1. Bilan du groupe

De manière générale, ce travail a été pour nous un subtil mélange de travail assidu, de bons moments de camaraderie et de réflexion commune sur un thème donné. Nous avons eu beaucoup de plaisir à collaborer et ceci a consolidé nos liens d'amitié tout comme nos aptitudes propres à un travail en groupe. Nous en sommes ressortis grandis, tout aussi bien au niveau professionnel que par l'approfondissement de nos connaissances techniques. En effet, nous avons beaucoup appris sur les procédés de production d'énergie renouvelable, sur les matériaux les composant et sur les moyens de préserver l'énergie accumulée. D'autre part, nous avons pu perfectionner nos connaissances sur les méthodes de construction caractéristiques du système Minergie.

Au final, bien que ce travail nous ait demandé un investissement assez conséquent, nous forçant à dépasser nos limites et à adapter notre quotidien pour pouvoir parvenir au résultat escompté, nous sommes largement satisfaits de notre choix et de l'investissement qu'il représentait.

### 8.2. Bilan Simon

Grace à ce travail, j'ai pu grandement améliorer mes connaissances dans les programmes informatiques qui gèrent le traitement de texte, les soumissions par CFC et par article, les formules mathématiques de base pour le bâtiment et la prise de contact avec des professionnels de chaque corps de métier. Car les informations sur les prix et les normes à devoir atteindre ne sont pas toujours faciles à trouver et à déchiffrer. Mais le travail en duo est un bon moyen de motivation et devoir apprendre à répartir la masse conséquente de travail équitablement permet de venir à bout de ce gargantuesque défi. L'utilisation du site Dropbox dans notre ouvrage, a été un gain de temps phénoménal. Ne pas avoir besoin de clé USB et pouvoir consulter, ainsi que modifier notre dossier sur tous les ordinateurs qui possède internet est un outil de travail non négligeable.

La mise en commun de notre calendrier respectif n'as pas été une partie de plaisir, même si nous étions libre au moins un jour par semaine, mais le fait que nous fassions les deux un sport, qui exigent une participation importante dans une équipe n'as pas été facile à installer avec nos plages horaires professionnelles et privées.

Au départ de notre travail, je n'avais pas beaucoup de stress et je ne réalisais pas la masse de recherche et d'analyse à effectuer. Cependant le fait que nous ayons planifié l'avancement de nos travaux et que nous ayons réparti les tâches, m'as permis de me calmer face à l'ampleur du projet. Bien que sur les dernières semaines, un travail gigantesque à été fourni par les deux parties pour réussir à poser le point final.

Pour résumer, le TIP fut pour moi très profitable professionnellement et m'as donné envie de tout mettre en œuvre pour le jour où je bâtirai ma propre demeure, elle réponde à ces standards. Le fait de travailler avec Pierre et son humour a été pour moi une motivation constante, ainsi qu'un plaisir renouvelé à chaque rencontre.

### 8.3. Bilan Pierre

Durant ce travail de TIP, j'ai largement eu l'occasion de développer mes capacités de recherche d'informations. En effet, il n'a pas été rare que nous ayons recours à des téléphones, à des contacts professionnels ou tout simplement à internet pour trouver les réponses à nos différentes questions. De plus, cela a aussi été un excellent moyen de remettre à niveau mon travail en collaboration. J'ai appris à faire confiance à mon partenaire, et à partager le travail sans douter de la qualité de celui rendu par Simon.

Bien que nous ayons organisé très tôt nos plages horaires de travail, nos jours de rencontre et les travaux à effectuer, j'ai tout de même été quelque peu surpris par la dimension du travail dans lequel nous nous étions lancés. Je m'attendais à ce que cela soit en quelque sorte un défi, mais je n'avais pas prévu que les semaines passent si vite jusqu'à l'année 2012. Bien que nous sommes à jour sur notre planning, j'ai tout de même un certain stress qui a commencé à naître dès le début des vacances de Noël.

C'est plus par son ampleur que par sa complexité que notre projet a pu nous poser des difficultés. En effet, la rédaction en elle-même ne compte que 75'000 caractères mais les domaines qu'elle touche tels que le courant photovoltaïque, les liquides caloporteurs ou les semi-conducteurs, sont d'une remarquable diversité obligeant de longue lecture avant que le moindre caractère ne puisse être inscrit. Cependant, ce travail a été très enrichissant et fort sympathique en compagnie de Simon.

Au final, je garderais de ce travail une sensibilité accrue à la protection environnementale. J'ai pu me rendre compte que les investissements nécessaires à la préservation de nos ressources et de notre environnement ne sont pas gigantesques et qu'il est possible, pour tout à chacun, de faire des choix raisonnables lors de la construction d'une villa, afin de créer en priorité des bâtiments écologiques plutôt que de penser, en premier lieu, à l'aspect intérieur de la construction. En effet, l'enveloppe thermique du bâtiment et les installations choisis seront difficilement améliorables au fil des ans, tandis que le revêtement au sol, les peintures et les installations sanitaires peuvent être aisément perfectionnés par après. De plus, après l'analyse du retour sur investissement possible au long terme, il serait clair, pour ma part, que ce type de construction a plus que de l'intérêt et ne pas en profiter serait, à mon goût, une erreur.

Finalement, le seul fait que seulement deux couples sur quinze, ayant bâti selon le système Minergie, soient divorcés devrait inciter fortement tous les jeunes couples à suivre leur exemple !

## 9. Sources

### 9.1. Liens internet

[www.swisspor.ch](http://www.swisspor.ch)  
[www.minergie.ch](http://www.minergie.ch)  
[www.wikipédia.com](http://www.wikipédia.com)  
<http://www.led-fr.net/fonctionnement.htm>  
<http://fr.ekopedia.org/%C3%89clairage>  
<http://rascol.free.fr/lampes.htm>  
<http://yapluka.wordpress.com/2006/01/11/isolation-dephasage-et-inertie/>  
[http://fr.ekopedia.org/Maison\\_passive](http://fr.ekopedia.org/Maison_passive)  
[www.fr.rockwool.be/files/RW.../De\\_Isolatiepremielijzer\\_FR.pdf](http://www.fr.rockwool.be/files/RW.../De_Isolatiepremielijzer_FR.pdf)  
<http://www.energie-environnement.ch/maison/renovation-et-chauffage/isolation/421>  
<http://www.puits-canadien.net/dossier-puits-canadien/puits-canadien-principe-geothermique/>  
[https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:YuG0BVoomQMJ:genie.industriel.iaa.free.fr/t\\_elechargements/cours/D.4.13/CH3.Echangedechaleur/D4.13.Ch3.1echangeurs.pdf+%C3%A9changeur+de+chaleur+fonctionnement&hl=fr&gl=ch&pid=bl&srcid=ADGEESgEKEdl-asYIIIQKNAOYFPtSsreJ4q7ux-7Bf1KU2hnEnAjeW2y3HaXdZr8sDqQ-7s5VoRYI28tX6gUOdshd86wuSDqydlF0eBG78v-DavC0-1FpcE9bCrdfv7-Ceb4dgFF7-1r&sig=AHIEtBS7XSsNI81L3DPjy-gL4-QiFLiw1Q](https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:YuG0BVoomQMJ:genie.industriel.iaa.free.fr/t_elechargements/cours/D.4.13/CH3.Echangedechaleur/D4.13.Ch3.1echangeurs.pdf+%C3%A9changeur+de+chaleur+fonctionnement&hl=fr&gl=ch&pid=bl&srcid=ADGEESgEKEdl-asYIIIQKNAOYFPtSsreJ4q7ux-7Bf1KU2hnEnAjeW2y3HaXdZr8sDqQ-7s5VoRYI28tX6gUOdshd86wuSDqydlF0eBG78v-DavC0-1FpcE9bCrdfv7-Ceb4dgFF7-1r&sig=AHIEtBS7XSsNI81L3DPjy-gL4-QiFLiw1Q)  
<http://mendeleviev.cyberscol.qc.ca/carrefour/familles/Inertes/CBourassa.html>  
<http://www.exchem.fr/Distillation.htm>  
<http://www.tpepanneauxsolaires.fr/rentabilite.html>  
<http://www.ines-solaire.com/solpv/page5.html>  
[http://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrologie\\_de\\_la\\_Suisse](http://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrologie_de_la_Suisse)  
[http://fr.wikipedia.org/wiki/Dopage\\_%28semi-conducteur%29](http://fr.wikipedia.org/wiki/Dopage_%28semi-conducteur%29)  
[www.acme-suisse.ch/IMG/pdf/HEG2\\_geographie\\_prix\\_eau.pdf](http://www.acme-suisse.ch/IMG/pdf/HEG2_geographie_prix_eau.pdf)  
<http://www.lamaisonpassive.be/standard-maison-passive>  
<http://www.fullprint.ch/fr/informations/prix/prix-a5-a6.htm>  
<http://www.groupe-e.ch/entreprises/producteurs-independants/1-swissgrid>  
[http://www.groupe-e.ch/sites/default/files/tarif\\_de\\_reprise\\_2.pdf](http://www.groupe-e.ch/sites/default/files/tarif_de_reprise_2.pdf)  
<http://www.ef4.be/fr/photovoltaique/aspects-techniques/kw-kwh-kva.html>  
[http://www.geconnect.ch/sites/default/files/connect-solar-a5\\_1.pdf](http://www.geconnect.ch/sites/default/files/connect-solar-a5_1.pdf)  
<http://www.electricitepourdemain.ch/contents/prix-electricite>  
<http://www.swissgrid.ch/swissgrid/fr/home/reliability/prices.html>  
[http://www.per-energie.fr/app/57.ft%20module%20sf-.datenblatt.c.zert.fr.neu\\_.pdf](http://www.per-energie.fr/app/57.ft%20module%20sf-.datenblatt.c.zert.fr.neu_.pdf)  
<http://chauffe-eau-thermodynamique.org/rubriques/approche-technique/eau-chaude-sanitaire-et-habitat-basse.html>  
[http://www.gaz-naturel.ch/fileadmin/customer/erdgasch/Data/Erdgas/Preise/comparaison\\_couts\\_f.pdf](http://www.gaz-naturel.ch/fileadmin/customer/erdgasch/Data/Erdgas/Preise/comparaison_couts_f.pdf)  
<http://www.convertworld.com/fr/energie/kWh.html>  
[http://www.spotenergie.ch/index.php?option=com\\_content&view=article&id=83:prix-du-bois-de-chauffage&catid=100:comparatifs&Itemid=121](http://www.spotenergie.ch/index.php?option=com_content&view=article&id=83:prix-du-bois-de-chauffage&catid=100:comparatifs&Itemid=121)  
<http://www.solar-project.ch/fr/products/kit-photovoltaique/Kit-photovoltaique-2-7-kWp-271.html>  
[http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page\\_10867.htm](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_10867.htm)  
<https://www.distrelec.ch/home>  
<http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=fr&msg-id=29638>  
<http://www.bfe.admin.ch/themen/00511/index.html?lang=fr>

## 9.2. Bibliographie

Liste de prix Isover (isolation en toiture)

Liste de prix Morandi (changement de brique)

Liste de prix Pavatex (isolation en toiture)

Liste de prix Swisspor (isolation des façades à l'air libre et enterrées)

Liste de prix Tiba (poêle et fumisterie)

Liste de prix Oertli (panneaux solaires)

Liste de prix Osram

Soumission de fenêtres - Maurice Beaud Construction

Soumission de ventilation – Construction d'une villa individuelle sur Clarens