

## UNIVERSITE VIRTUELLE DE TUNIS

# Projet de Fin d'Etude Pour l'obtention de la Licence de Management Intégré Qualité- Sécurité et Environnement

---

Sujet : Rénovation d'une habitation traditionnelle :  
Essai d'intégration des normes écologiques et  
économie d'énergie réalisée

**Rapport encadré par : Monsieur Fredj EZZRELLI**

**Présenté par : Najoua BEN ELBAHRI**

# Sommaire

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Introduction.....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>Contexte et origine de problème.....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>I. Première partie : Analyse de l'existant et élaboration du nouveau projet d'habitation ....</b> | <b>10</b> |
| 1. Etat existant :.....  | 10        |
| A. Description spatiale de l'habitat .....   | 10        |
| B. Diagnostic (Pathologie) .....   | 11        |
| 2. Elaboration du projet : Etat aménagé, rénové : .....  | 13        |
| A. Conception de la nouvelle habitation : .....  | 13        |
| B. Coûts Prévisionnels du projet: .....  | 15        |
| C. Planification :.....  | 16        |
| <b>II. Deuxième Partie : Processus de réalisation .....</b>  | <b>17</b> |
| A. Etendue des travaux :.....  | 18        |
| B. Matériaux utilisés :.....   | 19        |
| C. Travaux effectués :.....  | 20        |
| D. Répartition des Dépenses .....  | 26        |
| E. Contrôle : processus de la réalisation : .....  | 27        |
| <b>III. Troisième Partie : La maison Ecologique.....</b>   | <b>31</b> |
| 1. Définition :.....   | 35        |
| A. Les types de Construction : .....   | 36        |
| B. Concepts :.....   | 37        |
| 2. Réglementations et Normes .....   | 39        |
| 3. Technologie et Maîtrise des énergies écologique.....  | 42        |
| 4. Avantages de la maison écologique .....   | 54        |
| <b>IV. Quatrième Partie: Evaluation du projet réalisé .....</b>                                      | <b>61</b> |
| 1. Impact qualité.....   | 61        |
| 2. Impact financier.....   | 66        |
| 3. Impact sur l'environnement .....  | 67        |
| <b>CONCLUSION .....</b>  | <b>68</b> |
| <b>Annexes :.....</b>  | <b>69</b> |
| <b>Bibliographie .....</b>   | <b>80</b> |

# Liste des tableaux

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tableau 1 : Coûts Prévisionnels du projet .....</b>   | <b>15</b> |
| <b>Tableau 2 : Budget arrêté le 22 Mai .....</b>   | <b>26</b> |
| <b>Tableau 3 : Tableau de répartition statistique .....</b>                                    | <b>33</b> |
| <b>Tableau 4: Objectifs de la démarche HQE .....</b>   | <b>41</b> |
| <b>Tableau 5 : Les éco matériaux utilisés pour les murs porteurs et le second oeuvre .....</b> | <b>46</b> |
| <b>Tableau 6 : Les éco matériaux utilisés pour finition et décoration .....</b>                | <b>47</b> |
| <b>Tableau 7 : Les éco matériaux d'isolation.....</b>  | <b>53</b> |

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 : Vue de la zone urbaine et la zone industrielle de la ville d'Agareb ..... | 8  |
| Figure 2 : Le terrain de la maison .....   | 10 |
| Figure 3 : La construction des murs en moellon .....                                 | 11 |
| Figure 4 : La façade de la maison .....  | 12 |
| Figure 5 : Le hall de l'habitation .....   | 12 |
| Figure 6 : Le plancher en bois.....  | 13 |
| Figure 7 : Plan de premier étage.....  | 14 |
| Figure 8 : Plan de rez-de-chaussée.....  | 14 |
| Figure 9 : Sable, gravier et ciment.....   | 19 |
| Figure 10 : Les pierres (ressources disponibles).....                                | 19 |
| Figure 11 : Enduit grillagé .....  | 19 |
| Figure 12 : Briques.....   | 20 |
| Figure 13 : Fer .....  | 20 |
| Figure 14 : Une chambre à coucher nettoyée.....                                      | 20 |
| Figure 15 : Décapotage .....   | 21 |
| Figure 16 : Installation des circuits électriques .....                              | 21 |
| Figure 17 : Evacuation et canalisation des eaux usées .....                          | 22 |
| Figure 18 : Réparation des fissures, cassures avec l'enduit grillagé .....           | 22 |
| Figure 19 : Revêtement (2 couches) .....   | 22 |
| Figure 20 : Rénovation de trottoir .....   | 23 |
| Figure 21 : Rénovation de façade .....   | 23 |
| Figure 22 : Mise en place de la charpente .....                                      | 23 |
| Figure 23 : Couverture .....   | 24 |
| Figure 24 : Rénovation du puits.....   | 24 |
| Figure 25 : Construction de l'escalier.....  | 24 |
| Figure 26 : Construction et cloisons du premier étage .....                          | 25 |
| Figure 27 : Nettoyage du contour .....   | 25 |
| Figure 28 : Processus de 5S .....  | 27 |
| Figure 29 : Page de Face book de questionnaire .....                                 | 32 |
| Figure 30 : Graphique de répartition.....  | 34 |
| Figure 31 : Maison en pierre .....   | 36 |
| Figure 32 : La maison bioclimatique .....  | 38 |
| Figure 33 : Schéma passive.....  | 38 |
| Figure 34 : Panneaux solaires voltaïques .....                                       | 43 |
| Figure 35 : Les chauffe-eau solaire.....   | 44 |
| Figure 36 : Le diagramme d'Ishikawa .....  | 64 |
| Figure 37 : La maison énergivore .....   | 65 |

# Remerciement

Avant de commencer ce rapport, Je tiens d'une façon très cordiale à remercier la direction de l'université Virtuelle et en particulier **Madame Molka BELKADHI** qui m'a permis de bénéficier de cette expérience durant ces trois mois

Je remercie également **Monsieur Fredj EZZRELLI** le conducteur principal de mon travail, qui a pris la relève quelques semaines plus tard, et est devenu mon tuteur. Il a su me soutenir et m'orienter lors de ce projet de fin d'études.

Je remercie aussi, mon encadreur au stage l'architecte **Madame Lobna BERGUIGA** pour l'aide qu'elle a pu m'apporter et pour l'encadrement dont elle m'a fait bénéficier.

Tous mes remerciements pour **Monsieur Selim BEN FADHEL** pour m'avoir suivi lors de ce PFE. Il a su me guider dans l'avancement de ce projet, et ses commentaires ont toujours été très instructifs.

Je voudrais remercier tous ceux qui ont contribué à la bonne marche de mon stage et précisément, je remercie ma famille pour leur intérêt et leur soutien tout au long de mon stage.

Je présente ainsi, mes remerciements à tous les ouvriers du site, qui ont répondu à mes questions, et m'ont aussi permis de passer un agréable stage sur ce chantier et en particulier **Monsieur Brahim BEN NSIR**.

Enfin, je tiens à signaler ma gratitude à toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la concrétisation et au bon déroulement de ce stage.

# Préambule

De nos jours, la conscience autour de l'environnement est majeure et le domaine de la construction n'est pas une exception. Evidemment, avec le temps, les normes et les obligations par rapport à l'environnement sont de plus en plus exigeantes.

Bien plus, La diminution de la consommation énergétique et la réduction des émissions de gaz à effet de serre annoncées par les pays impliquent un effort consenti par tout, et dans tous les domaines. Notons, dans ce sens, que le monde du bâtiment a un rôle important à jouer car il est très énergétivore. L'énergie va devenir rapidement un des secteurs le plus influent dans tous les domaines d'activité, avec l'épuisement annoncé des énergies fossiles et les problèmes climatiques dus aux gaz à effet de serre. Par conséquent, le domaine du bâtiment, très énergétivore, apparaît au premier plan de cette tendance.

Dans ce contexte, mon projet, qui porte sur la rénovation et l'extension d'une habitation classique, vise à prendre en compte les exigences de qualité, de sécurité et d'environnement tout en essayant de respecter l'environnement davantage.

En effet, tout au long de mon travail, j'ai essayé de mettre en application les connaissances acquises durant mon cursus d'études à l'Université Virtuelle, et les renseignements pratiques que j'ai tirés de mon stage.

## **Introduction**

J'ai effectué mon stage dans un bureau d'architecte à Sfax, où j'ai participé au suivi des étapes de réalisation de projet de rénovation d'un bâtiment classique qui s'étend sur une surface de 144 m<sup>2</sup>.

### **Objectif de stage :**

Il s'agit de la Rénovation et l'Extension d'un bâtiment situé dans une zone rurale en essayant d'intégrer les exigences de qualité, sécurité et environnement en vue de la rendre écologique, en comparaison ainsi au concept de la maison écologique.

### **Plan :**

Première partie : Management du projet de la Rénovation et l'extension d'un bâtiment en tenant en compte les exigences de qualité, sécurité et environnement.

Deuxième partie : L'habitation écologique comme solution économique, environnementale et de sécurité des bâtiments

### **Partie préliminaire pour commencer le projet :**

Elle consiste à collecter les informations de diverses administrations : le ministère de l'équipement, le ministère de l'agriculture, la municipalité, Steg, installateurs panneaux solaire et panneaux photovoltaïques, installateurs des différents matériels d'isolation (acoustique et thermique), l'INNORPI, l'ANME.

En effet, j'ai rencontré tant de difficultés dans la collecte des informations d'une part je n'ai pas de connaissance dans ce secteur de construction et dans les techniques de rénovation ; c'est pourquoi j'ai cherché à communiquer le maximum avec les architectes de différents types de bâtiments (décoration, énergie,...). Et d'autre part, la maison écologique est encore nouvelle dans la loi et l'architecture Tunisienne (quelques réglementations et normes sur l'isolation et des lois sur l'énergie renouvelables), même la diffusion de la loi concernant ce sujet se fera dans une année ou plus sur l'architecture des hôpitaux, cliniques et les hôtels. Pour cela, j'ai dû chercher individuellement les normes ou les techniques de l'installation des fournitures de la maison écologique, les normes de rénovation des constructions et tout ce qui est documenté à propos de l'architecture de la maison écologique.

## Contexte et origine de problème

La ville d'Agareb est située à une vingtaine de kilomètres à l'ouest de Sfax. Caractérisée par un climat semi aride et surtout l'augmentation de la température en été, elle a vu depuis l'année 1990 une extension rapide au niveau des logements urbains, comptant plus que 10000 habitants (9640 h, en 2004). Conséquemment, elle est devenue encombrée, causant une pollution sonore. Avec aussi la présence à proximité de sa zone industrielle, la zone urbaine a vécu une évolution rapide de la pollution (fumé, nuisance olfactif, effet de serre...).



Figure 1 : Vue de la zone urbaine et la zone industrielle de la ville d'Agareb

Par conséquent, nous constatons une migration de la majorité des habitants vers les zones rurales. Et c'est le cas de ce projet, dont j'ai profité de l'occasion pour mettre en pratique mes connaissances concernant à la fois le management de projet (la rénovation) et le degré d'intégration des dimensions de qualité, sécurité et environnement dans un bâtiment classique en saisissant ainsi l'importance des impacts provenant de nos logements que nous ne prenons pas de leurs importances, pour mettre en œuvre par la suite le rôle d'un habitat écologique dans la réduction des impacts environnementaux et des risques sanitaires sur l'Homme.

Ce travail m'a permis aussi de découvrir les impacts et les dangers qu'une construction peut engendrer sur la santé et l'environnement. Et puisque nous avons étudié plus les impacts menés par les activités de l'Homme (industrie et autres), je projette dans ce projet de leur accorder un intérêt pas moins important que ce qu'on a l'habitude de leur donner. Ce sont les impacts et les dangers liés aux logements et la construction et en particulier en Tunisie.

Ce travail est basé sur une étude, exposée dans la deuxième partie et faite par des spécialistes, concernant l'impact des bâtiments résidentiels et leur importance en participant à l'effet de serre et à la consommation intensive des énergies renouvelables, ainsi que leurs effets néfastes sur la santé et la sécurité des habitants.

## **Idée de projet :**

Le présent projet porte sur la Rénovation et l'Extension d'une habitation traditionnelle située dans une zone rurale: Essai d'intégration des normes écologiques et économie d'énergie réalisée: Autrement dit, il s'agit de la rénovation d'un Bâtiment en incluant le niveau d'intégration de la dimension Environnementale et Sécurité au sein de la construction et ce en terme d'utilisation de la matière première, de la gestion énergétique et de la lutte contre la nuisance, déchets, eaux usées et pollution.

Quels sont les caractéristiques et les inconvénients du bâtiment ?

Quelles sont l'étendue et les étapes de la rénovation ?

Quels sont les coûts à dépenser pour la rénovation ?

Les contraintes Budgétaires, techniques de la rénovation selon les exigences QSE.

Et ça mène par la suite à extraire les inconvénients de la rénovation de cette habitation en termes de QSE. (Les points forts et faibles) de la maison.

Ce qui m'amène à mettre en œuvre le concept de la maison écologique comme solution pour une maison classique et énergivore en raison de leurs effets néfastes sur l'économie, l'environnement et la santé.

Alors,

C'est quoi la maison écologique ?

Le rôle de la loi tunisienne concernant ce type de logement ?

Quels techniques et matériaux utilisés ?

Quels sont les avantages concernant la santé et sécurité et l'environnement ?

Quels sont ses avantages au futur en l'économie d'énergie, l'économie financière?

Combien on doit dépenser ?

En comparant l'habitat réalisé avec l'habitat écologique.

# I. Première partie : Analyse de l'existant et élaboration du nouveau projet d'habitation

---

La rénovation désigne les opérations par lesquelles un bâtiment ou l'un de ses éléments voit sa condition améliorée, par l'utilisation des matériaux neufs, modernes en remplacement des parties endommagées.

## 1 Etat existant :

### A. Description spatiale de l'habitat

Ce bâtiment, d'une surface de 144 m<sup>2</sup>, se situe dans une zone rurale à 3 Km de la ville d'Agareb, une zone calme, éloignée de toute sorte de pollution, et caractérisée par des ressources naturelles abandonnées et y disponibles.

La maison, objet de ce projet, est un bâtiment classique et simple comprenant un hall sans plafond entouré par 3 chambres à coucher, un salon, une cuisine, et une toilette externe située à quelques mètres en dehors de la maison. De plus, elle comprend un comble et un cave.

La cuisine comprend un puits pour la récupération de l'eau de pluie utilisée dans les besoins familiaux et quotidiens.

La maison profite d'une vue sur la campagne environnante. Elle est entourée par un vaste terrain de 9000 m<sup>2</sup> abandonné et non exploité, envahi par les herbes. Les déchets se trouvent partout ayant des effets néfastes sur les habitants et l'environnement. Il est à noter que le terrain est aride, mais il comprend des arbres fruitiers (olives,...) et entouré par le cactus, un moyen de sécurité de la maison, et de limitation des frontières. Cependant, l'état actuel du cactus fait de sa présence une vraie menace puisqu'il est abandonné et offre un abri pour les insectes et les animaux sauvages qui présentent un danger pour les habitants.



Figure 2 : Le terrain de la maison

Enfin, nous notons que cette zone rurale est desservie par l'eau potable, le réseau téléphonique fixe et internet et l'électricité, tout en enregistrant l'absence de l'assainissement et du gaz naturel dont ils consistent des avantages parmi ceux de la zone urbaine de la ville d'Agareb. Toutefois, la maison comprend un système d'évacuation individuel des eaux usées et de toilette.

### ***B. Diagnostic (Pathologie)***

Il s'agit d'un ancien bâtiment construit depuis 1970 et abandonné depuis environ 19 ans. La chaux vive, le sable et le moellon faisaient les principaux ingrédients de construction. En fait, la construction des murs porteurs et de refonds en moellon présente plusieurs avantages. En effet, elle favorise l'isolation thermique du bâtiment en améliorant l'inertie thermique des murs par la restitution de la chaleur en hiver et la fraîcheur en été. Cependant, les quantités déséquilibrées de chaux et de sable dans la construction ont mené, avec le temps et le facteur d'abandon, à augmenter la dégradation des murs, le toit, et le sol surtout du hall puisqu'il est non couvert et disposé aux facteurs climatiques (pluie, soleil, vent...). De plus, les planchers en bois des chambres sont devenus perméables à l'eau de pluie de façon qu'on puisse constater la présence des fissures et les traces de l'humidité, surtout que la maison n'a pas été rénovée depuis sa construction, sauf quelques réformes en quelques endroits. Cependant et malgré cette dégradation, le bâtiment reste jusqu'à aujourd'hui solide grâce à la solidité de ses bases.



**Figure 3 : La construction des murs en moellon**

Alors, et à ce stade, le diagnostic des structures du bâtiment a révélé les sinistres suivants :

- ✓ Fissuration et Détérioration à la surface des murs porteurs
- ✓ L'humidité interne (surtout des planchers en bois)
- ✓ La façade et les murs sont moisissés, lézardés;
- ✓ Les fissures et les cassures sont presque sur tous les côtés des murs du bâtiment.
- ✓ Les fenêtres et les portes sont presque brisées;
- ✓ Le sol contient aussi des fissures
- ✓ Le trottoir est envahi par les herbes et fissuré également.



**Figure 4 : La façade de la maison**

Bien plus, concernant une des chambres à coucher qui comprend un comble et un cave, elle est dans un très mauvais état et en dégradation : elle est sale, fait sentir de mauvaises odeurs, ses murs sont moisis, les portes et fenêtres brisées, le plafond est en bois (perméable à l'eau de pluie), le comble est sans escalier.

#### **L'Eclairage et qualité de l'air :**

La maison est orientée vers le Sud. Et avec son hall sans plafond, elle est bien ensoleillée et éclairée et ventilée.

#### **Isolation :**

Malgré l'isolation des murs par le moellon, il reste un problème thermique dont le soleil couvre toute la maison en été ce qui participe bien à chauffer les chambres, tout en ajoutant l'infiltration de l'air en hiver par les ouvertures (menuiserie traditionnelle en bois à simple vitrage).



**Figure 5 : Le hall de l'habitation**



Figure 6 : Le plancher en bois

## 2 Elaboration du projet : Etat aménagé, rénové :

J'ai adopté la méthode de gestion de projet pour limiter et pouvoir piloter les phases de projet (qu'est ce qu'on va faire ? et comment ?) et pour maîtriser et gérer les problèmes survenus (réduire les pertes de coût, délai, ressources tout en respectant les aspects techniques (spécifications et contraintes de mise en œuvre)).

Le projet en général répond à l'Objectif **SMART** :

**Spécifique** : décrit précisément la situation à atteindre et les résultats à atteindre. L'objectif est précis et sans équivoque : Rénovation du bâtiment en tenant en compte le maximum des exigences QSE.

**Mesurable** : par des indicateurs nécessaires et suffisants. En répondant à des questions simples, nous pouvons savoir si l'objectif est atteint ou non.

**Accessible** : Il doit être possible et réaliste d'atteindre l'objectif étant données les ressources, les contraintes et le contexte.

**Réaliste** : prend en compte les moyens, les compétences disponibles et le contexte.

**Temporellement** : défini dans le Temps avec une durée, une date de début spécifique, des étapes, etc.

### A. Conception de la nouvelle habitation :

#### Objectif :

Il s'agit d'une Rénovation et Extension d'un bâtiment situé dans une zone rurale en essayant à intégrer les exigences de qualité, sécurité et environnement.



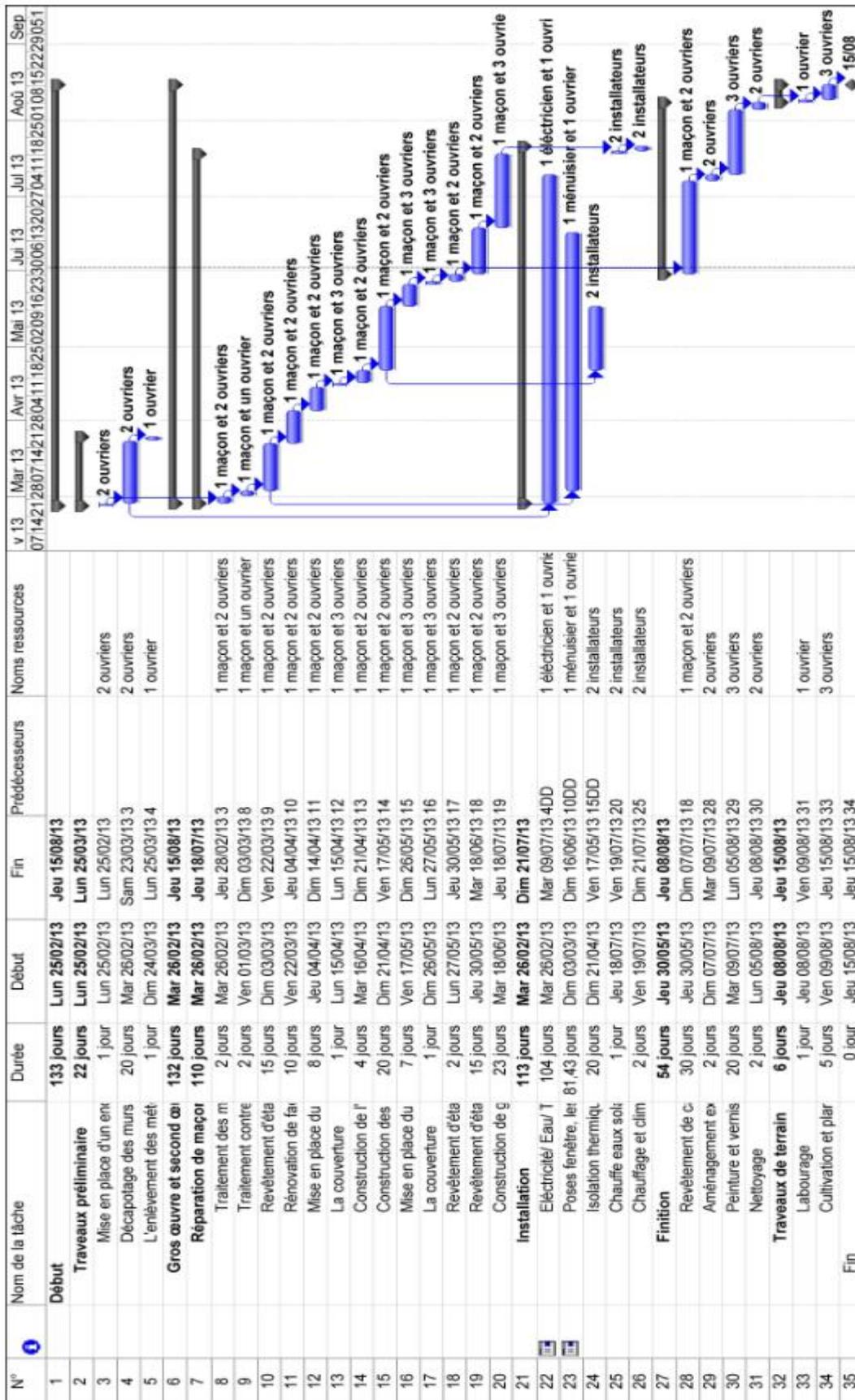
## B. Coûts Prévisionnels du projet:

Table 1 : Coûts Prévisionnels du projet

| <b>Le Budget Prévisionnel</b>        |                                |                        |                 |
|--------------------------------------|--------------------------------|------------------------|-----------------|
| <b>Elément</b>                       | <b>Quantité</b>                | <b>Prix Unitaire</b>   | <b>Montant</b>  |
| <b>Matières:</b>                     |                                |                        |                 |
| <b>Ciments</b>                       | 26 tonnes                      | 130000                 | 3380000         |
| <b>Briques</b>                       | 800 pièces platériel           | 450                    | 360000          |
|                                      | 3500 pièces N°12               | 480                    | 1680000         |
|                                      | 1200 pièces lourdi             | 880                    | 1056000         |
| <b>Fer</b>                           | 74 barsN°10                    | 10000                  | 740000          |
|                                      | 100 KgN6                       | 1400                   | 140000          |
|                                      | 225 barsN°12                   | 13500                  | 3037500         |
| <b>Sable</b>                         | 3m3 * 13                       | 70000                  | 910000          |
| <b>Gravier</b>                       | 3m3 * 7                        | 140000                 | 980000          |
| <b>Blocage: pierre</b>               | 3m3                            | 50000                  | 50000           |
| <b>Total</b>                         |                                |                        | <b>12333500</b> |
| <b>Faïence</b>                       | 84 m2                          | 15000                  | 1260000         |
| <b>Carrelage</b>                     | 3040 unités 190 m <sup>2</sup> | 16000 m2               | 3040000         |
| <b>Blinta</b>                        | 30 paquets                     | 15000                  | 450000          |
| <b>Marbre</b>                        |                                | 120000                 | 570000          |
| <b>Marbre pour l'escalier</b>        | 8 m2                           | 30000                  | 240000          |
| <b>Parterre</b>                      | 28m <sup>2</sup>               | 25000                  | 700000          |
| <b>Toilette</b>                      | 3                              | 2 à 100 D et 1 à 45 D  | 245000          |
| <b>Douche</b>                        | 2                              | 100000                 | 200000          |
| <b>Lavabo de la cuisine</b>          | 2                              | 100000                 | 200000          |
| <b>Lave main</b>                     | 4                              | 2 à 300 D et 2 à 90 D  | 480000          |
| <b>Placard</b>                       | 1                              |                        | 1000000         |
| <b>Total</b>                         |                                |                        | <b>8385000</b>  |
| <b>Installation eau:</b>             |                                |                        |                 |
| <b>Bargatère</b>                     | 30m                            | 2000                   | 60000           |
| <b>Canalisation eau usées</b>        | 2: 21m,diamète 100mm, 65mm     | 1800                   | 300000          |
|                                      | 2: 25m, diamètre 12cm          |                        | 90000           |
| <b>Installation</b>                  |                                |                        | 100000          |
| <b>Roubinet</b>                      | 2                              | 30000                  | 60000           |
| <b>mélangeurs</b>                    | 6                              | 120000                 | 720000          |
| <b>Portes</b>                        | 4                              |                        | 500000          |
| <b>Fenêtres</b>                      | 4                              |                        | 600000          |
| <b>Fer forger</b>                    |                                |                        | 500000          |
| <b>Installation électricité</b>      |                                |                        | 300000          |
| <b>Installation panneaux solaire</b> |                                |                        | 1150000         |
| <b>Coût de mains d'œuvre</b>         | 1 maçon et 2 ouvriers          | 30 D et 15 D en 6 mois | 9900000         |
| <b>Menuiserie</b>                    |                                |                        | 2270000         |
| <b>Plomberie</b>                     |                                |                        | 500000          |
| <b>Coût de l'architecte</b>          |                                |                        | 240000          |
| <b>Bétonnière et couverture</b>      |                                |                        | 670000          |
| <b>Peinture</b>                      |                                |                        | 3000000         |
| <b>Total</b>                         |                                |                        | <b>15400000</b> |
| <b>Total</b>                         |                                |                        | <b>20960000</b> |
| <b>Total</b>                         |                                |                        | <b>41678500</b> |

### ***C. Planification :***

Dans cette partie, j'ai essayé de préparer et limiter les différentes étapes de projet tout en limitant la durée du tout le projet et de chaque étape pour faciliter ainsi le suivie des étapes de projet.



Planification par Diagramme Gantt

|   |                                       |  |  |
|---|---------------------------------------|--|--|
| Projet : Projet111<br>Date : Dim 02/06/13 | Tâche<br>Fractionnement<br>Avancement | Jalon<br>Récapitulative<br>Récapitulatif du projet | Tâches externes<br>Jalons externes<br>Échéance |
|---|---------------------------------------|--|--|

## II. Deuxième Partie: Processus de réalisation

---

C'est la phase la plus critique et gourmande en termes de ressources. Elle est caractérisée par un coût élevé et des tâches complexes et délicates. D'où, nous lui avons consacré un budget initial de 6000 D ; une répartition des dépenses sera détaillée dans cette partie.

### **A. Etendue des travaux :**

Le présent descriptif couvre l'ensemble des travaux faisant partie du projet : Maçonnerie, revêtement divers, menuiserie en bois, peinture, aménagement extérieur, quincaillerie, plomberie, vitrerie et miroiterie...

Les corps d'état sont des domaines spécifiques du bâtiment. Il peut s'agir par exemple de platerie, de maçonnerie, de peinture, de charpente, de plomberie...

Pour ce projet, nous sommes intervenus sur près de dizaine de corps d'état en gros œuvres et seconds œuvres : charpente et couverture, décapotage, revêtement de sol et mur, peinture, menuiserie en bois, plomberie, électricité.... Avec l'aménagement intérieur et extérieur.

Comme déjà annoncé dans le dernier paragraphe, la rénovation s'est intervenue au niveau de la charpente et la couverture du gros œuvre et pour tous le corps d'état du second œuvre afin de s'assurer de la sécurité du bâtiment, et ce en utilisant les matières de construction (Ciment, sable, gravier, enduits grillagés pour réparer les fissures dans les coins, pierres (ressources disponibles), fer, briques et tout autre matière concernant la charpente et la couverture.

En général, les travaux ont couvert :

- ✓ Une rénovation, extension et un peu modernisation du bâtiment (la maison) avec la préservation du côté traditionnel (les plafonds en bois, le comble, le cave, le puits).
- ✓ Aménagements extérieurs du terrain et de la cour en face de la maison.
- ✓ Plantation et conservation des ressources naturelles

- **Pilotage coût délai- ressources**

J'ai profité de la présence de plusieurs ressources disponibles pour réduire les coûts. En effet, les pierres extraites des murs et des structures sont réutilisées pour rénover la façade et les trottoirs. L'eau, existante dans le puits, est utilisée dans la couverture et l'arrosage du terrain. D'un autre côté, et concernant l'exploitation des ressources (matières), le maçon applique un contrôle strict quant à l'utilisation des matières (sable, ciment, gravier) afin de garantir une utilisation optimale des quantités des ressources (ni gaspillage, ni sur utilisation). De plus, le maçon effectue un contrôle permanent sur la propreté du milieu de travail, le nettoyage et le rangement du matériel dans sa place, et ce chaque jour avant de clôturer le chantier.

En général, le maçon est compétent, responsable dans son travail, actif, ponctuel et strict avec les ouvriers.

Par ailleurs, l'architecte fait des visites au chantier afin de se statuer sur le degré d'avancement des travaux, s'assure de la bonne application de ses directives et prend les mesures correctives s'il est nécessaire. Par exemple, elle demande parfois des modifications par rapport au travail déjà fait pour assurer la sécurité et la qualité de la construction.

### ***B. Matériaux utilisés :***



**Figure 9 : Sable, gravier et ciment**



**Figure 10 : Les pierres (ressources disponibles)**



**Figure 11 : Enduit grillagé**



**Figure 12 : Briques**



**Figure 13 : Fer**

### ***C. Travaux effectués :***

Nous présentons, ci-après, les grandes étapes effectuées :

#### **Tri**

Dans cette étape, les ouvriers ont opéré à collecter les bagages et les équipements existants dans la maison et les trier, dans le but d'alléger l'espace de travail et de se débarrasser de ce qui y est inutile.

#### **Nettoyage**

Cette étape consiste à éliminer les bagages inutiles, classer le reste dans un endroit protégé loin du milieu du travail et vider les chambres.



**Figure 14 : Une chambre à coucher nettoyée**

## **Décapotage**

C'est une étape préliminaire qui consiste à éliminer les parties lézardés et pourris des murs pour traiter les fissures et les moisissures.



**Figure 15 : Décapotage**

## **Installation des circuits électriques**

A partir du compteur électrique, les câbles électriques sont tirés et conduits dans les faux plafonds et à l'intérieur des cloisons. Le courant électrique devrait être acheminé vers toutes les pièces de la maison.



**Figure 16 : Installation des circuits électriques**

## **Evacuation et canalisation des eaux usées**

Dans cette phase, les tuyaux sont utilisés pour transporter et évacuer l'eau sanitaire dans l'habitation. Une fosse septique sera construire pour recevoir les eaux vannes, et une autre pour diffuser l'eau usée de la cuisine pour arroser le terrain. La fosse septique doit être vidangée tous les 4 ans et ses matières éliminées par traitement en station d'épuration,



**Figure 17 : Evacuation et canalisation des eaux usées**

### **Réparation des fissures, cassures avec l'enduit grillagé**

Pour éviter les risques des fissures qui proviennent de la dilatation entre différents matériaux (béton,..), nous avons utilisé l'enduit grillagé pour protéger les murs et les coins.



**Figure 18 : Réparation des fissures, cassures avec l'enduit grillagé**

### **Revêtement (2 couches)**

C'est une phase où le maçon s'assure de la solidité des murs par un revêtement de la première couche où se fait le traitement contre les fissures en générales et une deuxième couche pour la finition des murs.



**Figure 19 : Revêtement (2 couches)**

## Rénovation de façade de la maison

Dans cette phase, en premier lieu les trottoirs sont rénovés puis se faite la rénovation des murs porteurs et du porte. On voit dans cette photo l'ajout de la couverture aussi.



Figure 20 : Rénovation de trottoir



Figure 21 : Rénovation de façade

## Mise en place de la Charpente pour la couverture du rez-de-chaussée



Figure 22 : Mise en place de la charpente

## La Couverture :

C'est la couverture de hall de la maison



Figure 23 : Couverture

**Rénovation du puits :** les étapes importantes sont : (1) Vider le puits de l'eau par un moteur (2) puis le nettoyer (3) et enfin le rénover. L'eau y disponible a été exploitée dans la couverture et l'arrosage du terrain.



Figure 24 : Rénovation du puits

## Construction de l'escalier et Mise en place des murs et cloisons du premier étage

L'étape de construction du premier étage est encours avec la mise en place de la charpente et la couverture.



Figure 25 : Construction de l'escalier



**Figure 26 : Construction et cloisons du premier étage**

### **Nettoyage du contour**

Pour faciliter le travail et pour terminer l'aménagement extérieur de rénovation et construction des trottoirs des abords on a dû à nettoyer juste les côtés de la maison.



**Figure 27 : Nettoyage du contour**

### ***D. Répartition des Dépenses***

Les apports de financement de projet sont tranchés sur 6 tranches entre 6000 D et 5000 D chaque tranche.

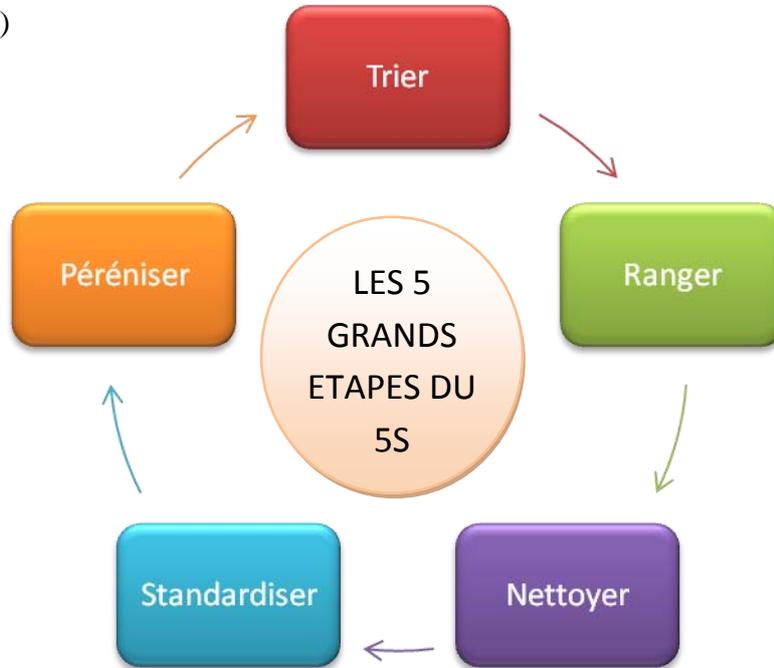
| <b>Elément</b>                                | <b>Quantités</b>       | <b>Prix (DT)</b> |
|---|------------------------|------------------|
| <b>Apport initial</b>                         |                        | 6000             |
| <b>Ciments</b>                                | 12 tonnes              | 1755             |
| <b>Sable</b>                                  | 6                      | 385              |
| <b>Gravier</b>                                | 5                      | 660              |
| <b>Briques</b>                                | 700 unités Platériels  | 323              |
|   | 1200 unités l'ourdi    | 1056             |
|   | 3500 N°12              | 1632             |
| <b>Fer</b>                                    | 2 bars N°1.5           | 6                |
|   | 115 bars N°12          | 1552,5           |
|   | 17 bars N°10           | 170              |
|   | 100 Kg N°6             | 140              |
|   | 7 bars N°14            | 140              |
| <b>Charges divers de recouvrement</b>         |                        | 511,1            |
| <b>Charges divers</b>                         |                        | 309              |
| <b>Transport</b>                              |                        | 15               |
| <b>Mains d'œuvre</b>                          |                        | 4080             |
| <b>Menuiserie</b>                             |                        | 320              |
| <b>Main d'œuvre et bétonnière</b>             |                        | 120              |
| <b>Portes et fenêtres</b>                     | 5 portes et 4 fenêtres | 665              |
| <b>ITMOI</b>                                  |                        | 411,5            |
| <b>Marbres</b>                                | 2                      | 75               |
| <b>Accessoires les portes et les fenêtres</b> |                        | 200              |
| <b>Nettoyage et transport de déchet</b>       |                        | 245              |
| <b>Toilette</b>                               | 1                      | 53,5             |
| <b>Gants et masque de protection</b>          | 10 masques et 3 gants  | 6                |
| <b>Lunettes de protection</b>                 | 2                      | 13               |
| <b>Canalisation</b>                           |                        | 100              |
| <b>Installation de l'électricité</b>          |                        | 200              |
| <b>Location de matériels de recouvrement</b>  |                        | 180              |
| <b>Charges divers</b>                         |                        | 200              |
| <b>Total</b>                                  |                        | 15 511,6         |

**Table 2 : Budget arrêté le 22 Mai**

### **E. Contrôle : processus de la réalisation :**

La méthode des 5 «S» est une méthode de management mise en œuvre par les japonais pour l'amélioration continue des tâches effectuées dans les bureaux, les ateliers des entreprises et les chantiers.

Cette méthode a été mise en place pour la première fois en 1962, par l'ingénieur japonais Taiichi Ōnodans, dans le système de production de Toyota (Toyota Production System ou TPS)



**Figure 28 : Processus de 5S**

La méthode permet de construire un environnement de travail fonctionnel, régi par des règles simples, précises et efficaces et met l'accent sur la propreté et la bonne organisation des postes de travail. Elle peut être appliquée dans les ateliers, dans les bureaux, etc.

Alors, et comme cette méthode est applicable aussi bien pour le travail dans les chantiers que dans les ateliers, j'ai essayé de l'appliquer dans le chantier de ce projet.

Le terme "5S" fait référence à la première lettre de chacune des 5 opérations à accomplir :

Seiri (整理) : débarrasser

Seiton (整頓) : ranger

Seiso (清掃) : nettoyer

Seiketsu (清潔) : ordonner

Shitsuke (躰) : être rigoureux

L'application des 5S sert pour plusieurs buts. Chaque S a un objectif propre :

- ✓ Alléger l'espace de travail de ce qui y est inutile ;
- ✓ Organiser l'espace de travail de façon efficace ;
- ✓ Améliorer l'état de propreté des lieux ;
- ✓ Prévenir l'apparition de la saleté et du désordre ;

L'ensemble du système permet par ailleurs :

- D'améliorer les conditions de travail (il est plus agréable de travailler dans un lieu propre et bien rangé) ;
- De réduire les dépenses en temps et en énergie ;
- De réduire les risques d'accidents et/ou sanitaires ;
- D'améliorer la qualité de travail.

### **Seiri (Débarrasser)**

Trier, c'est comprendre ce qui sert et qui ne sert plus afin d'éclaircir l'environnement.

Lors de cette étape, il s'agit d'éliminer de l'espace de travail tout ce qui n'est pas à sa place.

- C'est conserver seulement les matériels utilisés
- Cette hiérarchisation du matériel de travail conduit logiquement à Seiton

### **Seiton (Mettre en ordre)**

Cette étape consiste à ranger les différents outils et matériels pour le travail. « Une place pour chaque chose, et chaque chose à sa place ».

Lors de cette étape, nous cherchons à aménager l'espace de travail de façon à éviter les pertes de temps et d'énergie.

Les règles de Seiton:

- Arranger de façon rationnelle le poste de travail (proximité, objets lourds faciles à prendre ou sur support, ...),
- Rendre évident le placement des objets,
- Les objets d'utilisation fréquente doivent être près de l'ouvrier.

### **Seiso (Nettoyer)**

Une fois l'espace de travail dégagé (Seiri) et ordonné (Seiton), il est beaucoup plus facile de le nettoyer. Le non-respect de la propreté peut en effet avoir des conséquences considérables en provoquant des anomalies ou l'immobilisation de machines.

Quelques règles du Seiso :

- Décraquer, inspecter, détecter les anomalies,
- Faciliter le nettoyage et l'inspection,
- Supprimer l'anomalie à la source.

Ces trois étapes ont été appliquées tout au long du projet pour faciliter et améliorer la qualité de travail, prévenir l'apparition de la saleté et le désordre et par la suite prévenir certains risques ou accidents.

### **Seiketsu (Rendre évident, Maintenir la propreté)**

Seiketsu rappelle que l'ordre et la propreté sont à maintenir tous les jours.

### **Shitsuke (Être rigoureux)**

Cette étape est celle du contrôle rigoureux de l'application du système 5S. Si celui-ci est appliqué sans la rigueur nécessaire, il perd en effet toute son efficacité.

Il est ainsi clair que cette méthode s'applique bien au travail des chantiers surtout que ce dernier implique tant de risques sanitaires qu'il faut les prévenir avec des simples pratiques et pour préserver un environnement de travail sain et propre .

De plus, c'est une méthode qui s'effectue tout au long du projet. C'est un processus qui montre l'enchaînement ou la succession des étapes de travail tout en assurant l'amélioration de la qualité de travail et la performance.

Ce processus est bien applicable pour notre chantier ; en effet, le maçon est soucieux à l'égard de la propreté et l'organisation des espaces de travail et des matériaux tous les jours (Les objets d'utilisation fréquente doivent être près de l'ouvrier, les autres sont rangés).

C'est pourquoi, je n'ai pas remarqué des problèmes ou des dysfonctionnements dans l'exécution du travail et ceci revient au fait d'être rigoureux (Le maçon fait des contrôles permanents pour s'assurer l'organisation du chantier).

### **Conclusion :**

Dans cette partie, mon objectif a été focalisé sur le suivi du projet de la rénovation fondé sur les exigences de qualité, sécurité et environnement. Toutefois, j'ai trouvé qu'à cause de plusieurs contraintes de construction, la maison a tant de limites et inconvénients qu'ils la rendent énergivore et a des effets néfastes sur l'environnement et sur les habitants (absence d'utilisation des matériaux écologiques) justifiés par la culture et les traditions des tunisiens dans la construction, et ce malgré qu'elle a des caractéristiques qui la confèrent d'être une habitation écologique respectant surtout les exigences environnementaux.

En effet, la maison a été caractérisée, avant la rénovation, par des aspects écologiques à savoir, l'isolation thermique, l'ensoleillement, la ventilation et la présence des autres facteurs (le puits, la vue sur la nature...)

Entre Autre, il est à noter que tout ce qui est constaté dans ce projet reflète la qualité de la plupart des logements résidentiels, leur relation avec la consommation d'énergie et la contribution au réchauffement planétaire. Et ça se manifeste par l'augmentation d'émission du gaz à effet de serre et la consommation d'énergie d'un taux de 27%, résultat direct d'un taux de croissance de 2% de la demande en énergie primaire. Le chauffage, la climatisation, la

conservation des aliments etc. sont des facteurs énergivores qu'il faut les observer et tenir en compte pour prévenir certains risques.

C'est pourquoi, j'ai consacré la deuxième partie pour présenter la maison écologique, ses avantages à la protection de l'environnement, la conservation des ressources naturelles, l'économie d'énergie et le confort qui le procure.

### III. Troisième Partie : La maison Ecologique

---

Le réchauffement climatique ou le réchauffement planétaire est par définition l'augmentation de la température moyenne des océans et de l'atmosphère, observée à l'échelle mondiale sur plusieurs années.

Ce phénomène est normal, s'il reste naturel, car en l'absence de cette chaleur atmosphérique la vie serait impossible sur la Terre. Mais, ce sont les émissions provoquées par les activités des hommes qui sont responsables du réchauffement climatique, en grande partie. Cela est dû à plusieurs causes, à savoir la pollution industrielle par l'énergie fossile (émission de 25 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>) telle que le pétrole, le gaz et le charbon, le transport (routier, aérien, maritime et ferroviaire), l'agriculture (élevage), etc. Le réchauffement climatique constaté depuis des décennies serait dû, d'après les spécialistes, aux gaz à effet de serre (GES) rejetés par les activités humaines. La terre se chauffe davantage chaque fois que le taux des gaz à effet de serre augmente. "La vie sur Terre est impossible sans effet de serre, mais avec trop d'effet de serre, nous risquons d'étouffer". L'avenir de notre planète toute entière est menacé. Les experts annoncent déjà le réchauffement de la partie sud de la Méditerranée dont la Tunisie. En Tunisie, le climat change. Depuis 1975, on constate une hausse de température par rapport aux cinquante années passées. En Tunisie, l'émission des GES est en progression. Elle est évaluée annuellement à 3 tonnes par habitant, et provient principalement du secteur de l'énergie à un taux de 53,4 %. Cette élévation est due au fait que le secteur énergétique consomme près de 54 % des produits pétroliers et 45 % du gaz naturel.

Entre autre, selon les chiffres disponibles (du ministère de l'Industrie et de la Technologie), le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire) a représenté, en 2010, le 3ème consommateur d'énergie, c'est parmi les premiers rang des secteurs énergivores, derrière l'industrie et le transport avec un taux de 27% et 2,1 millions de tonnes équivalent pétrole (TEP), et pourrait en occuper la 2ème place en 2020 avec 3,3 millions de TEP et la première en 2030 avec 5,2 millions de TEP.

Malgré l'importance des GES produits en Tunisie, et son évolution industrielle, le taux d'émission y reste inférieur à la moyenne souhaitée mondialement, bien que le pays occupe une position favorable.

Force est de constater que le danger du réchauffement climatique est réel. La situation s'aggravera davantage d'ici 2030 devant aussi le fait de l'épuisement des ressources non renouvelables (pétrole, gaz, charbon...).

#### **Alors, Que pouvons-nous faire ?**

Par ailleurs, La Tunisie adopte une politique énergétique, qui intègre l'exploitation des énergies renouvelables (solaire, éolienne, géothermique, biomasse...) pour réduire l'émission des GES, principale cause du réchauffement climatique à notre époque. Elle a pris les mesures techniques relatives à l'utilisation d'un minimum de moyens de maîtrise de l'énergie dans les bâtiments à usage résidentiel qui sont entrées en vigueur à partir du 1er janvier 2010, dont

fixer la limite supérieure du besoin énergétique annuel du bâtiment du chauffage et de refroidissement en kwh/m<sup>2</sup>/an. Ainsi, la Banque de Tunisie offre désormais un nouveau crédit «verts», dénommé «BT Energie», destiné aux ménages ; il finance l'acquisition et l'installation d'appareils de chauffage (chauffe-eau solaire, chauffe-eau combiné gaz naturel électricité), l'installation et le raccordement au réseau gaz naturel, l'achat d'équipements portant étiquetage énergétique (ANME 1, 2 et 3), l'acquisition de matériaux et produits d'isolation thermique...

Des conditions avantageuses sont accordées par la banque pour un financement sans apport personnel allant jusqu'à 5.000 DT et une durée de remboursement jusqu'à 60 mois avec 3 mois de grâce.

A cet effet, je projette de mettre en œuvre la notion de la maison écologique comme solution pour réduire l'effet de réchauffement climatique (pollution sur la terre et sur l'Homme), une solution préoccupe davantage le citoyen.

En effet, c'est une solution pour réduire la pollution et les effets néfastes sur l'environnement parce que les matériaux de construction utilisés dans cette maison sont 65% recyclables et ne sont pas énergétivores. Ce qui implique une réduction de la consommation des ressources non renouvelables et les compenser par la consommation d'énergie renouvelable qui n'a pas d'effets nuisible sur les personnes et sur l'environnement, et par la suite une solution pour réduire l'effet de stress dû à l'encombrement et notre vie actuelle.

A ce propos, j'ai fait une étude statistique via facebook de huit questions en demandant l'avis des tunisiens par rapport à la maison écologique pour savoir entre autre le degré de conscience des tunisiens concernant ce sujet. Ci-après leurs réponses sur les questions :

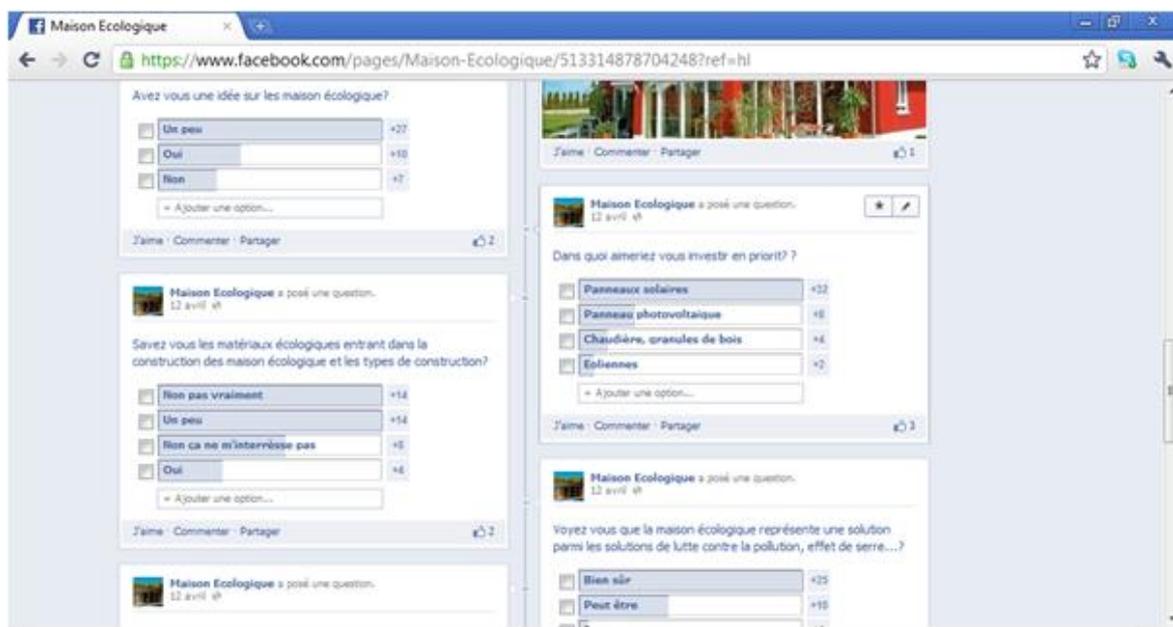
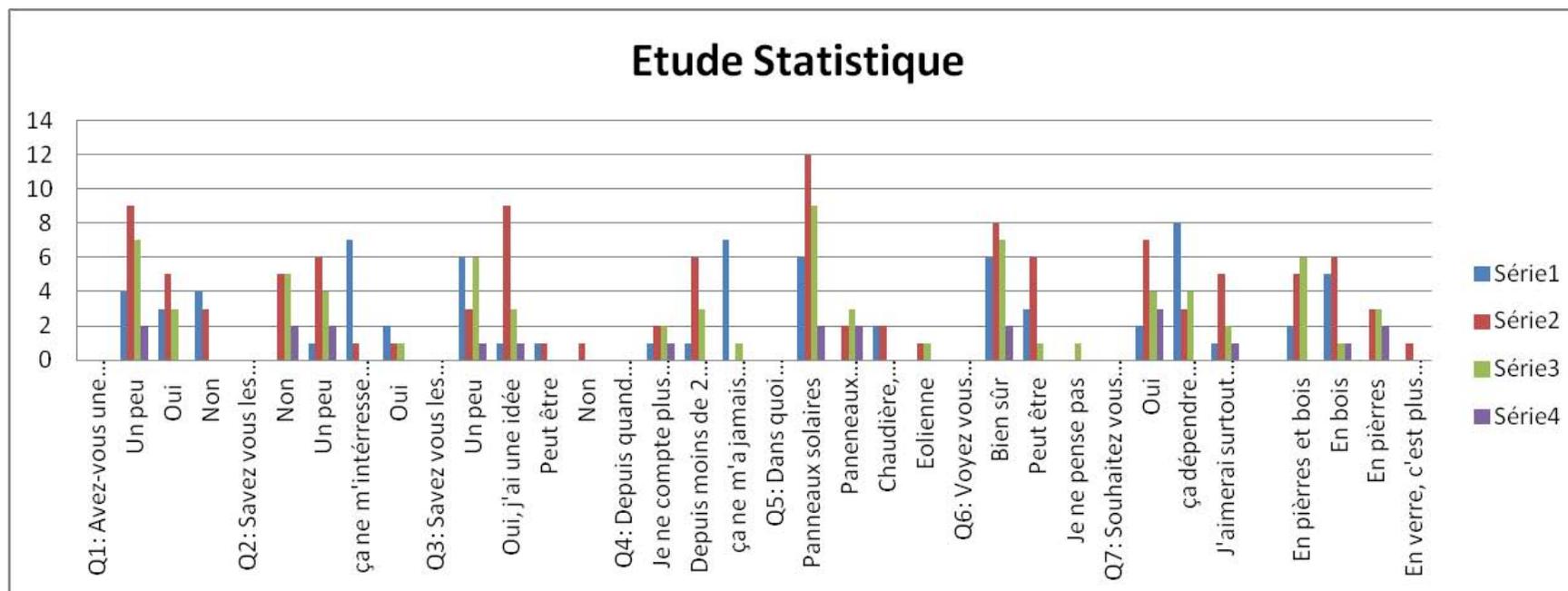


Figure 29 : Page de Face book de questionnaire

| Questions   | Ages   |        |         |        |
|---|--------|--------|---------|--------|
|   | 20 -24 | 26- 34 | 35 - 44 | 45 -54 |
| Q1: Avez-vous une idée sur la maison écologique   |        |        |         |        |
| Un peu  | 4      | 9      | 7       | 2      |
| Oui   | 3      | 5      | 3       |        |
| Non   | 4      | 3      |         |        |
| Q2: Savez vous les matériaux écologiques entrant dans la construction de la maison écologiques et les types de construction           |        |        |         |        |
| Non   |        | 5      | 5       | 2      |
| Un peu  | 1      | 6      | 4       | 2      |
| Ça ne m'intéresse pas   | 7      | 1      |         |        |
| Oui   | 2      | 1      | 1       |        |
| Q3: Savez vous les avantages environnementaux ainsi qu'en économie d'énergie et financières de ce type de logement                    |        |        |         |        |
| Un peu  | 6      | 3      | 6       | 1      |
| Oui, j'ai une idée  | 1      | 9      | 3       | 1      |
| Peut être   | 1      | 1      |         |        |
| Non   |        | 1      |         |        |
| Q4: Depuis quand vous vous intéressez au habitat écologique   |        |        |         |        |
| Je ne compte plus ça fait longtemps   | 1      | 2      | 2       | 1      |
| Depuis moins de 2 ans   | 1      | 6      | 3       |        |
| ça ne m'a jamais intéressé et ça ne changera pas  | 7      |        | 1       |        |
| Q5: Dans quoi aimerez vous investir en priorité   |        |        |         |        |
| Panneaux solaires   | 6      | 12     | 9       | 2      |
| Panneaux photovoltaïques  |        | 2      | 3       | 2      |
| Chaudière, granules de bois   | 2      | 2      |         |        |
| Eolienne  |        | 1      | 1       |        |
| Q6: Voyez vous que la maison écologique représente une solution parmi les solutions de lutte contre la pollution, l'effet de serre... |        |        |         |        |
| Bien sûr  | 6      | 8      | 7       | 2      |
| Peut être   | 3      | 6      | 1       |        |
| Je ne pense pas   |        |        | 1       |        |
| Q7: Souhaitez-vous construire une maison écologique   |        |        |         |        |
| Oui   | 2      | 7      | 4       | 3      |
| Ça dépendra surtout du prix   | 8      | 3      | 4       |        |
| J'aimerais surtout faire des travaux pour rendre ma maison plus écologique  | 1      | 5      | 2       | 1      |
| Q8: Si vous construisez votre maison écologique, elle sera  |        |        |         |        |
| En pierres et bois  | 2      | 5      | 6       |        |
| En bois   | 5      | 6      | 1       | 1      |
| En pierres  |        | 3      | 3       | 2      |
| En verre, c'est plus lumineux   |        | 1      |         |        |

Table 3 : Tableau de répartition statistique

## Le graphique :



**Figure 30 : Graphique de répartition**

Commentaire : J'ai constaté d'après ce questionnaire qu'il y a un peu de gens qui connaissent la maison écologique. Cependant, ils sont conscients du rôle de cet habitat dans la protection de l'environnement. Mais le fait de l'adopter dépend du prix qui reste à nos jours très chers surtout concernant l'exploitation des énergies renouvelables (les panneaux photovoltaïques) et les différentes autres matières nécessaires pour la construction comme l'isolation (bétons cellulaires, laine de verre,...), malgré les incitations et les subventions accordés par l'Etat. Toutefois, ça revient essentiellement à la culture des tunisiens avec l'insuffisance d'information et de sensibilisation en ce qui concerne surtout la matière utilisée (isolation,...) et le rôle de l'habitation écologique à assurer l'économie de l'énergie, car les réponses à propos de la connaissance des matières écologiques de construction se sont restreints en 4 qui répondent Oui et qui savent ces matières mais les restes réponses sont Non. Avec ça, les questions concernant les matières écologiques et l'intérêt de construire une maison écologique les jeunes entre 20 et 24 ans déclarent leur désintérêt. A ce propos, j'ai préparé la deuxième partie pour une étude de la maison écologique comme solution devant les problèmes environnementaux et sanitaires, et pour montrer ces multiples avantages.

Le but de cette étude sera donc dans un premier temps d'expliquer et d'analyser la notion de la maison écologique ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients.

Une construction compatible avec le développement durable peut être définie comme une construction qui répond au mieux à un besoin clairement identifié, qui s'avère économique pour sa construction et son exploitation, enfin qui conduit au plus faible impact environnemental possible.

- Répondre au mieux au cahier des charges établi
- Tenir en compte de l'ensemble des coûts
- Faire appel à des matériaux locaux, abandonnés ou renouvelables.
- Consommer le minimum possible d'énergie non renouvelable.
- Avoir un faible impact sur le paysage et l'environnement.
- Générer peu de déchets.

Il existe désormais des architectes experts en audit énergétique qui peuvent auditer chaque projet avant qu'il se passe devant la commission de permis de bâtir qu'il répond ou pas à la réglementation en vigueur de la maîtrise de l'énergie.

Alors, les surcoûts de réalisation du projet dus à l'utilisation des nouveaux matériaux de construction ou de procédés de maîtrise de l'énergie seront supportés en raison de 20% par le fond national pour la maîtrise de l'énergie. Pour les 80% restant un crédit au taux bonifié et en cours de mise en place par le même fond.

## 1. Définition :

La « maison écologique » est rapidement devenu un terme valise, faisant tantôt référence à un habitat performant et tantôt à un habitat utilisant des matériaux eux-mêmes écologiques. C'est une maison plus respectueuse de l'environnement. Et, cela peut se réaliser de différentes manières, en fonction de la situation du propriétaire, de ses moyens et de ses envies. En gardant à l'esprit qu'il s'agit aussi d'une occasion de réaliser de substantielles économies.

Ce qui donne cette approche triangulaire :

- ✓ **La performance énergétique** : un logement écologique est économe, à basse consommation, passive voire positive en énergie,
- ✓ **La santé et le bien-être** : un logement écologique met l'utilisateur au cœur de sa réflexion et optimise son bien-être, et minimise les impacts négatifs sur sa santé,
- ✓ **Le respect de l'environnement** : un logement écologique limite son impact sur l'environnement pendant sa construction et durant sa vie.

Donc, c'est une solution économique rentable devant les prix fluctueux de l'énergie fossiles, l'épuisement des réserves des ressources naturelles (énergies fossiles, eaux...) et une protection de l'environnement pour réduire la nuisance écologique. Et ceci représente un moyen de lutte individuelle contre les gaspillages dont éviter le recours à la climatisation et le chauffage...

#### **A. Les types de Construction :**

Il y a tant de types de maisons à savoir la maison en terre, en chanvre, en paille, en bois mais dans ce projet je me limite à montrer la maison en pierre puisque ce type d'habitation est le plus existant en Tunisie et présente plusieurs avantages et facile dans sa construction par rapport aux autres types de construction.

#### **La maison en pierre**

La construction de la maison en pierre existe depuis plusieurs siècles et dans de nombreuses civilisations. Elle existe de tailles et de formes différentes et est d'une solidité remarquable. La pierre est en effet un matériau qui sait vivre avec son temps mais qui peut également être utilisée pour tous types de construction.

D'un point de vue écologique, la maison en pierre est très respectueuse de l'environnement. En effet, son principal matériau qui est la pierre appartient lui-même à la nature. De plus, elle n'émet que très peu d'énergie grise, elle peut être amortie sur du long terme et a l'avantage de retenir l'air chaud pour le diffuser à l'intérieur de la maison.

Par ailleurs, la pierre a l'avantage d'être très facilement disponible puisqu'on peut la trouver sur l'ensemble du territoire. De même, elle est recyclable et va principalement être utilisée pour la fabrication des murs et des cloisons.

Ainsi, ce type d'habitat correspond bien aux normes écologiques, non seulement par son empreinte écologique mais aussi par sa durabilité dans le temps.



**Figure 31 : Maison en pierre**

## ***B. Concepts :***

### **La maison autonome**

La maison autonome est un habitat entièrement indépendant d'un point de vue énergétique, c'est à dire qu'il produit lui-même son énergie. Si ce type d'habitat est bien construit, il peut faire économiser d'importantes sommes d'argent. Une telle maison sera bâtie à partir de matériaux écologiques tels que le bois, la pierre... et orientée plein sud afin de profiter des bienfaits du soleil.

L'utilisation de panneaux solaires photovoltaïques sera utile pour couvrir les besoins en électricité. Le surplus de production peut quant à lui être stocké pour être utilisé plus tard. L'éclairage sera bien entendu à basse consommation avec des ampoules à leds ou néon. Selon l'aménagement de la maison, ce type d'ampoules peut bien éclairer l'habitat.

Le mobilier de la maison autonome est quant à lui réduit et économe. Par exemple, des pompes à eau seront installées pour récupérer l'eau, un poêle à bois sera entièrement suffisant pour se chauffer puisque la maison est isolée grâce au bois et autre isolant. L'eau de la douche est chauffée grâce à un panneau thermique ou un poêle. On utilise aussi des toilettes sèches qui permettent de faire des économies d'eau. La maison autonome est ainsi respectueuse de l'environnement et permet à ses habitants de devenir plus écolo dans leur manière de vivre.

### **La maison solaire**

La maison solaire fonctionne grâce à l'aide du soleil. On peut dire que cet habitat est une construction efficace et n'est pas toujours bâtie à base de matériaux écologiques. Son énergie est fournie à l'aide des panneaux solaires.

Les panneaux solaires placés sur le toit permettront de capter rapidement la chaleur du soleil du moment où la maison sera orientée plein sud. A noter qu'un arbre à feuilles caduques positionné devant la maison permettra lors de la période estivale de limiter l'entrée des rayons de soleil dans la maison.

La maison solaire va essentiellement aider à la production d'eau chaude et d'électricité, mais pas seulement.

Malgré tout, il faut savoir que la construction d'une maison solaire sera plus onéreuse qu'une maison classique. En effet, les fondations et l'édification du bâtiment auront un prix plus élevé afin que la maison puisse être efficace sur du long terme.

### **La maison bioclimatique**

Ce type d'habitat est entièrement écologique puisqu'il est bâti en fonction du climat et de l'environnement. On entend par là que cette maison utilise les avantages de la nature pour se chauffer et se ventiler. Pour fonctionner aussi, l'habitat doit être orienté plein sud afin de profiter des bienfaits du sud et fabriqué à partir de matériaux respectueux de l'environnement.

Ainsi, le climat joue un rôle non négligeable dans le fonctionnement de la maison bioclimatique. On note que chaque élément naturel remplit une fonction bien précise. Par exemple, les arbres à feuilles caduques seront utiles pour faire de l'ombre tandis que les plantes grimpantes permettront d'isoler les murs de la chaleur en été. L'environnement permet donc à cet habitat de limiter la production de gaz à effet de serre mais aussi de faire des économies en termes d'énergie.

L'orientation de l'édifice, le choix des matériaux ainsi que la structure des pièces est important pour sa construction afin de tirer un maximum de bénéfices. On note d'ailleurs qu'on obtiendra une forte inertie thermique grâce au béton et que les murs pourront respirer grâce à une construction en bois. A noter toutefois que l'isolation sera renforcée côté nord car on profitera moins des rayons du soleil.

En fait, la maison bioclimatique offre un certain confort de vivre. Elle est entièrement écologique et permet à chacun de vivre en harmonie avec l'environnement. A noter également que ce type d'habitat permet de réduire considérablement ses factures énergétiques.

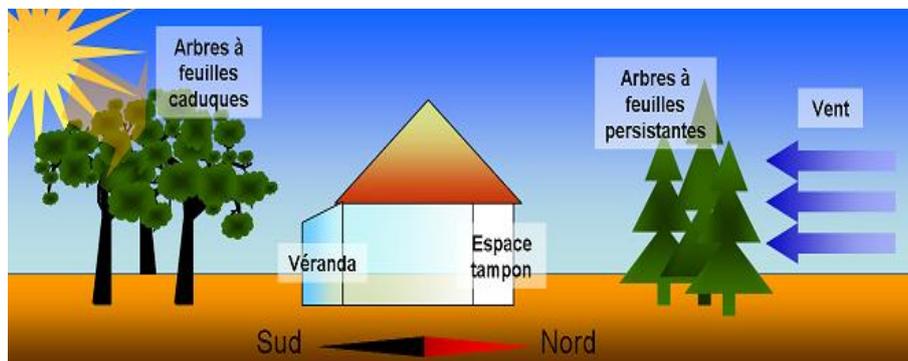


Figure 32 : La maison bioclimatique

### La Maison passive :

Une maison passive n'est pas une maison où les gens sont calmes, mais une maison qui ne consomme presque pas d'eau ou d'énergie. Le concept vient d'Allemagne.

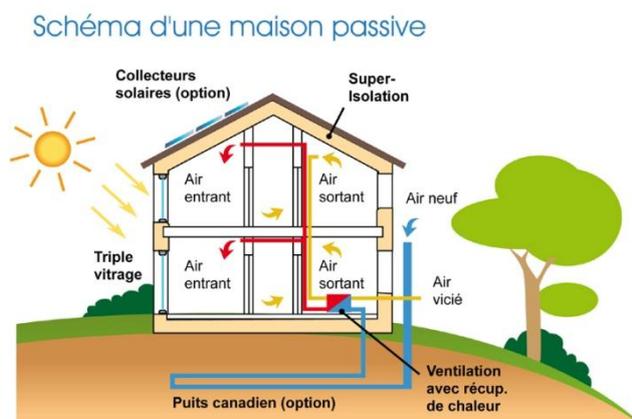


Figure 33 : Schéma passive

Les principes de la maison passive sont faciles compréhensibles:

### **1. La maison passive est orientée au sud afin de capter au mieux le soleil**

Orienter une maison au sud, signifie que les pièces qui présentent les plus grandes ouvertures se situent du côté qui sera le plus ensoleillé (le côté sud). Normalement, ce sont également les pièces à vivre (séjour, cuisine) qui ont le plus besoin de chauffage, les chambres, par exemple, étant des pièces pouvant être orientés nord, car le besoin de chauffage y est inférieur.

### **2. La conception des maisons passives minimise les échanges de chaleur avec l'extérieur**

Il s'agit de faire disparaître autant que faire se peut les ponts thermiques: une fenêtre simple vitrage constitue par exemple, un joli pont thermique.

### **3. La maison passive est isolée**

Il faut y incorporer des matériaux très isolants.

### **4. La maison passive gère ses courants de chaleur**

Grâce à un système d'aération centralisée (une sorte de climatisation non polluante et à très faible consommation d'énergie), la maison autorégule les mouvements de chaleur.

### **5. La maison passive recourt aux énergies renouvelables.**

Panneaux solaires thermiques, présentent un moyen de ne pas recourir à l'énergie de l'extérieur.

### **6. La maison passive nécessite moins de 15kwh/m2 pour se chauffer**

### **7. La maison passive est étanche à l'air.**

Cela signifie que la circulation d'air est soigneusement contrôlée et que les murs, les jointures, etc. ne laissent passer l'air ni dans un sens, ni dans l'autre.

### **8. La maison passive consomme moins de 120kwh/m2 et par an.**

## ***2. Réglementations et Normes***

Dans ce cadre, je n'ai pas parvenu à trouver les réglementations régissant la maison écologique dans la loi tunisienne car elles ne sont pas encore développées. Elles se limitent à un programme de préparation des règlements en ce qui concerne les cliniques, les hôpitaux et les hôtels. C'est pourquoi, j'ai essayé de collecter quelques réglementations et quelques perspectives et initiative concernant l'économie de l'énergie et l'exploitation des énergies renouvelables ou la protection de l'environnement par l'Etat Tunisienne.

Alors sur cette base, j'ai concentré mon étude, dans la deuxième partie du projet, sur la maison écologique vu ses divers avantages. En effet, elle représente une solution parmi les solutions de lutte contre la pollution. Elle participe aussi à l'exploitation des énergies

renouvelables pour compenser et réduire l'exploitation des énergies non renouvelables (pétrole et gaz ...). Ainsi, par son type de construction, la maison écologique permet de réduire l'effet de stress et de maladies, aussi bien dans les logements urbains encombrés (isolation phonique thermique, chaudière en granule de bois, toit végétalisés, panneaux solaires et photovoltaïques...) que les logements ruraux. Nous espérons que ce type de construction entrera en vigueur dans l'économie et la loi de la Tunisie.

Dans ce contexte, et en réponse au réchauffement planétaire, dû au rejet des gaz à effet de serre, essentiellement d'origine énergétique, et suite à la Conférence de Rio en 1992, un processus de négociation internationale a été lancé pour réduire les émissions des gaz à effet de serre, qui ont abouti au Protocole de Kyoto et aux différents ronds de négociations pour sa mise en œuvre effective.

La Tunisie, signataire de la Convention Cadre dès 1993 et du protocole de Kyoto depuis le début de 2002, s'est engagée activement dans la dynamique mondiale. La Tunisie, à l'instar des autres pays en développement, n'a pas d'engagements contraignants en matière de réduction de gaz à effet de serre.

### **Réglementation :**

- Arrêté du 1er juin 2009 pour les bâtiments à usage résidentiel :

Arrêté conjoint du ministre de l'équipement, de l'habitat et de l'aménagement du territoire et du ministre de l'industrie, de l'énergie et des petites et moyennes entreprises du 1er juin 2009, fixant les spécifications techniques minimales visant l'économie dans la consommation d'énergie des projets de construction et d'extension des bâtiments à usage résidentiel.

- Article 5 de la loi n° 2004-72 du 02 Août 2004 relative à La maîtrise de l'énergie :

Les nouveaux projets consommateurs d'énergie ainsi que les projets d'extension des établissements consommateurs d'énergie doivent être soumis avant le début de leur réalisation à l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie prévue à l'article 17 de la présente loi et ce, en vue de s'assurer de leur efficacité énergétique.

- La circulaire du premier ministre n°02/1738 du 09 mai 2007 relatif à l'obligation de l'isolation thermique des terrasses des bâtiments publics.

- La circulaire du premier ministre N°29 du 08 juin 2001 relative à l'obligation au recours à la production de l'eau chaude sanitaire par l'énergie solaire dans les bâtiments publics.

- Arrêté conjoint du ministre de l'équipement, de l'habitat et de l'aménagement du territoire et du ministre de l'industrie, de l'énergie et des petites et moyennes entreprises du 1er juin 2009, fixant les spécifications techniques minimales visant l'économie dans la consommation d'énergie des projets de construction et d'extension des bâtiments à usage résidentiel.

## Normes et Labels

### La démarche HQE (Haute Qualité Environnementale)

La démarche HQE a pour objectif le développement de bâtiments respectueux de l'environnement, sains et confortables. La démarche HQE® est associée à la marque NF Maison Individuelle en partenariat avec l'Association HQE, et aux cinq niveaux du label « haute performance énergétique » dont Effinergie, dans le cadre des maisons basse consommation.

Pour aider les Maîtres d'Ouvrages à structurer leurs objectifs, elle présente quatorze cibles organisées autour de quatre thèmes :

| Maîtriser les impacts sur l'environnement extérieur  | Créer un environnement intérieur satisfaisant   |
|--|---|
| <b>Eco construction Confort</b><br>1. Relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat<br>2. Choix intégré des procédés et produits de construction<br>3. Chantiers à faibles nuisances | <b>Confort</b><br>8. Confort hygrothermique<br>9. Confort acoustique<br>10. Confort visuel<br>11. Confort olfactif    |
| <b>Eco Gestion Santé</b><br>4. Gestion d'énergie<br>5. Gestion de l'eau<br>6. Gestion des déchets d'activité<br>7. Gestion de l'entretien et de la Maintenance   | <b>Santé</b><br>12. Qualité sanitaire des espaces<br>13. Qualité sanitaire de l'air<br>14. Qualité sanitaire de l'eau |

Table 4: Objectifs de la démarche HQE

La démarche HQE avec tous les professionnels du bâtiment vise à la réalisation de construction dans une perspective de développement durable.

Elle privilégie pour l'habitat: la santé, le confort, les économies de charges d'habitation. Et contribue au respect de l'environnement par la gestion écologique du chantier, du logement et de son implantation.

### Normes Tunisiennes:

- NT 30.226(2010) : Développement durable dans la construction - Principes généraux
- NT 30.235-1(2010) : Construction immobilière - Expression des exigences de l'utilisateur - Partie 1: confort thermique
- NT 61.54(2011) : Critères d'ambiance intérieure pour la conception et évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, la thermique, l'éclairage et l'acoustique

### Normes Nationales et internationales :

- 3218531CD : Construction et développement durable - Pour une qualité environnementale des bâtiments.
- 3505034 : Les documents spécifiques du management environnemental - Construction et gestion.
- 3132061 : Fenêtres et portes - Performances de confort thermique et d'économie d'énergie.
- DD CLC/TS 61836:2009 : Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire. Termes, définitions et symboles
- DIN 4108-10 : Isolation thermique et économie d'énergie dans les bâtiments - Partie 10: Exigences d'application pour produits isolants thermiques - Produits isolants thermiques manufacturés

### ***3. Technologie et Maîtrise des énergies écologique***

Verte, écologique, bioclimatique, autonome... Il existe autant d'appellations que de solutions envisageables pour un habitat prenant davantage en compte l'environnement. Idéalement, celui-ci doit à la fois permettre d'émettre le moins de polluants possible, tout en réduisant ses besoins en énergie et les pertes qui y sont liées. Pour cela, on agit à la fois au niveau de la conception du bâtiment, de ses installations (eau, chauffage notamment), ou du type de matériaux utilisés.

#### **Panneaux solaires photovoltaïques**

Source d'électricité 100% propre, Fiable, modulable. L'électricité solaire photovoltaïque est écologique. Une énergie 100% naturelle

Le panneau photovoltaïque utilise le rayonnement solaire : une énergie silencieuse et inépuisable, ne produisant ni déchets encombrants, ni nuisance de fonctionnement. Le panneau photovoltaïque convertit la lumière naturelle, en électricité. Cette production d'énergie, consommée sur place ou vendue aux compagnies d'électricité, se fait donc sans rejet de polluants.

Une installation photovoltaïque raccordée au réseau comprend les composants suivants :

- Un ensemble de panneaux photovoltaïques.
- Un ensemble d'onduleurs transformant le courant continu en un courant alternatif.
- Un système de comptage permettant de mesurer l'énergie électrique totale produite par le système et celle injectée au réseau électrique.

La production annuelle moyenne d'un système photovoltaïque varie de 1 500 à 1 800 kWh pour une puissance installée de 1 kW, selon l'emplacement géographique du bâtiment et les performances des équipements.

La rentabilité économique des installations solaires est maximale pour les clients ayant une consommation annuelle d'électricité dépassant 5 000 kWh.

Une installation photovoltaïque de puissance 1 kW permet de réaliser une économie annuelle sur facture STEG allant de 300 DT au nord de la Tunisie à 360 DT au sud. Cette économie est calculée sur la base du tarif actuel d'électricité pour les clients consommant plus que 5 000 kWh/an.

Leurs coûts selon l'installateur à Sfax « Spectra » sont entre 4500D pour 1kwc et 7000D pour 2 Kwc



Figure 34 : Panneaux solaires voltaïques

### Les chauffe-eau solaires :

Le chauffage solaire thermique consiste à utiliser un capteur, constitué d'une tuyauterie en circuit fermé, exposé au rayonnement solaire afin de porter à 80°C le fluide qui y circule. Cette chaleur est ensuite communiquée aux radiateurs ou planchers chauffants grâce à un échangeur.

Le chauffage solaire thermique est aujourd'hui envisageable aussi bien pour le neuf que pour l'ancien.

Concernant la production d'eau chaude, tous les systèmes de chauffage solaire thermique prélèvent une partie de la chaleur pour le chauffage de l'eau sanitaire. On trouve aussi des chauffe-eau solaires autonomes, d'installation simple. Ce sont d'ailleurs les équipements à énergie renouvelable les plus appréciés. Et pour cause, ce type de chauffage solaire thermique peut couvrir entre 50 et 70% des besoins quotidiens.

Pour les chauffe-eau solaires en Tunisie, les coûts sont entre 1150 D pour 200 litres payable au comptant et 1550 D pour 300 litres (prix lancé d'après le fournisseur **Biome Solar Industry – BSI** situé à Sfax).

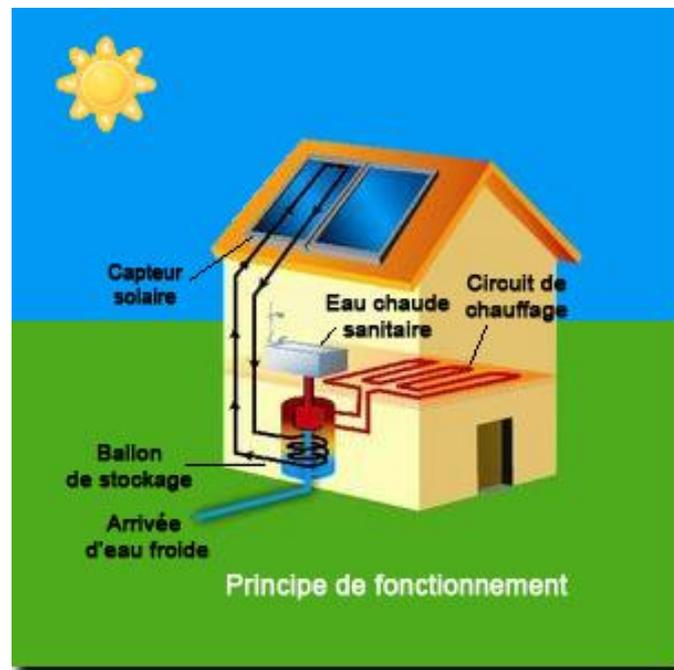


Figure 35 : Les chauffe-eau solaire

### EOLIENNE PARTICULIER ÉOLIENNE DOMESTIQUE

Une éolienne pour les particuliers, ou éolienne domestique, produit de l'électricité grâce à la force du vent. C'est un mode de production écologique bien adapté aux zones rurales.

L'énergie produite est consommée sur place, stockée dans des batteries ou vendue au réseau d'électricité. Il y a une étude préalable avant l'installation pour avoir la certitude que les conditions météorologiques sont bien réunies pour exploiter au maximum le potentiel éolien du site.

Or, elle est une source d'énergie naturelle et inépuisable. Cependant, c'est une énergie renouvelable non polluante. Disponible localement, son utilisation permet de produire une électricité écologique et économique sans impact sur l'environnement. L'électricité éolienne est produite localement et ne génère aucune pollution et aucuns déchets.

Bien plus, produire l'électricité gratuitement avec une éolienne domestique est une démarche économique, et elle peut être vendue en plus. La rentabilité de l'éolienne domestique sera conditionnée par la qualité du vent dans la zone habitée.

Une éolienne convertit l'énergie du vent en énergie mécanique, elle-même transformée en électricité grâce à un générateur.

Les éoliennes domestiques sont généralement à axe horizontal mais il existe aussi des éoliennes domestiques à axe vertical pouvant être installée sur le toit d'un bâtiment.

Une éolienne domestique est dimensionnée pour atteindre un maximum de puissance par rapport à la vitesse du vent exprimée en mètre par seconde. Une éolienne d'une puissance nominale de 10 kW produit au maximum 10 kWh d'énergie pour une vitesse de vent de 14 m/s. Le modèle de l'éolienne, sa hauteur, le type du mât, le diamètre du rotor vont être les critères permettant d'évaluer la puissance nécessaire pour obtenir la production électrique qui correspond à la consommation. D'où, l'installation de qualité effectuée par un professionnel.

#### **Systèmes de récupération d'eau de pluie**

L'eau est une ressource précieuse tenant une place importante dans l'habitation. Cette ressource est menacée par les pollutions et la surconsommation, elle doit par conséquent être préservée et protégée.

Ce système a pour but de stocker l'eau de pluie dans des cuves, de la traiter, puis de l'utiliser à des fins sanitaires ou pour une utilisation jardinière.

#### **TOITURE VÉGÉTALE**

Le principe de la toiture végétale est utilisé depuis des siècles par les pays du Nord de l'Europe.

La technique du toit végétal consiste à recouvrir de verdure les toits plats ou peu pentus et à profiter ainsi d'une isolation naturelle des bâtiments. Le mélange de terre et de végétaux permet de réaliser des toitures étanches à l'air et à l'eau.

Signalant enfin qu'il y a aussi comme technologie d'un habitat écologique le VMC (Ventilation Mécanique Contrôlée) pour ventilation, la pompe à chaleur et le puits canadien pour le chauffage et d'autres nouvelles technologies qui rendent une habitation écologique et plus confort.

#### **LES ÉCO-MATÉRIAUX POUR LA CONSTRUCTION**

Les éco matériaux sont utilisés pour la construction de murs, de cloisons ou de sols. Ils sont particulièrement adaptés pour une construction qui respecte une démarche de haute qualité environnementale.

| Matériaux                         | Caractéristiques  |
|-----------------------------------|---|
| Brique en terre cuite             | Monomur de briques pleines ou alvéolées composée d'argile et d'eau<br>Solidité, élasticité<br>Ajout de ciment ou de chaux   |
| Pierre                            | Monomur composé de blocs en granulat de pierre volcanique composés de pierre ponce, de ciment et d'eau  |
| Béton cellulaire ou thermo pierre | Monomur composé de cellules d'air à 70%, chaux, sable, et ciment<br>Isolation thermique<br>Imputrescible, ininflammable   |
| Bois                              | Privilégier les bois qui bénéficient du label PEFC et des essences locales<br>Structure poteaux-poutres avec remplissage en fibres naturelles (chanvre, paille, terre cuite) ou laine naturelle<br>Murs-panneaux à ossature |
| Argile                            | Panneaux ou blocs d'argile mélangée à des copeaux de bois<br>Perméable, résistance aux champs magnétiques et aux radiations   |
| Chanvre                           | En brique, en béton, en bloc (Chanvribloc)  |
| Fermacell                         | Plaque rigide composée de gypse et de fibre de cellulose<br>Coupe feu, hydrofuge, isolant phonique  |
| Paille                            | En mur terre-paille ou en botte   |
| Chaux                             | Enduits   |
| Terre                             | Brique et enduit  |

Table 5 : Les éco matériaux utilisés pour les murs porteurs et le second oeuvre

### **LES ÉCO-MATÉRIAUX POUR LES FINITIONS ET LA DÉCORATION**

A base de terre, de végétaux ou de minéraux, nombreux sont les produits écologiques disponibles pour l'aménagement et la décoration de votre habitation. Les éco matériaux sont respectueux de notre santé et de notre environnement.

| Matériaux         | Caractéristiques   |
|-------------------|--|
| Terre             | Argile, chaux utilisée en enduit   |
| Peinture          | Peinture naturelle à partir de végétaux ou de minéraux sans solvant ni composant toxique (craie, chaux, argile, sable)<br>Liant à base d'huiles (de lin, de chanvre)<br>Solvant à base d'eau<br>Pigments naturels (terres, minéraux, oxyde de végétaux...)<br>Lasures extérieures à base de goudron végétal et d'asphalte naturelle<br>Produits à taux de Cov (composés organiques volatiles) quasi nul.<br>Attention aux peintures naturelles qui peuvent utiliser des composants naturels allergisants ! |
| Huile et cire     | Huile de lin, huile de bois, huiles végétales, huile de ricin, utilisées en peinture, laque, lasure  |
| Colle et mastic   | Colle sans formaldéhyde (solvant toxique)<br>Colle naturelle à base de substances végétales latex, caséine, résine, amidon ou animales extraits d'os ou de poisson<br>Biodégradable, réversible à chaud pour certaines   |
| Bois              | Privilégier des produits labellisés (PEFC ou équivalent) et les essences locales plutôt que les bois exotiques   |
| Terre cuite       | En revêtement de sol<br>Variété de tons en fonction de la terre utilisée dans sa composition   |
| Pierre            | En revêtement de sol<br>Privilégier une pierre extraite à proximité (empreinte écologique)   |
| Liège             | Habituellement utilisé dans les pièces d'eau<br>Hydrofuge, isolant, antiallergique, anti-acarien   |
| Lino (linoleum)   | Toile de jute imperméabilisée à l'huile de lin, à la poudre de bois ou de liège  |
| Fibres naturelles | Coco de mer, sisal, bambou pour revêtement de sol<br>Coton et fibres végétales en revêtements muraux<br>Choix multiples mais attention à l'empreinte écologique pour les produits exotiques  |
| Crin              | Fibres de palmier ou de coco   |

**Table 6 : Les éco matériaux utilisés pour finition et décoration**

## Les éco matériaux pour l'isolation :

- **Les isolants en vrac :** disponibles sous forme de billes, granulats, paillettes, flocons, laines en vrac. Ils sont fournis en sac et sont destinés à être mis en œuvre par différentes méthodes. Ils sont moins coûteux mais leur mise en œuvre est délicate et doit être réalisée par des professionnels à l'aide de machines.

- **Les isolants en rouleaux ou en panneaux semi-rigides :** ils sont texturés et façonnés pour être posés manuellement entre les éléments de structure. Leur mise en œuvre est relativement aisée et demande un outillage réduit.

- **Les isolants en panneaux rigides et les isolants composites :** ils sont conçus pour résister à la compression et participent aux efforts structurels.

Plusieurs types de matériaux et plusieurs systèmes sont disponibles pour isoler les murs de la construction.

Les éco matériaux qu'on dispose en Tunisie sont en général, Les laines de verre, le polystyrène, le béton cellulaire...

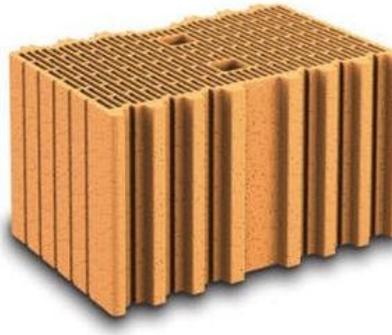
Le tableau ci-dessous compare les principaux isolants, thermiques et phoniques : Mais chaque isolant comme il a des avantages il a aussi et bien sûr des inconvénients aux niveaux d'énergie grise ou d'autres effets.

**L'énergie grise** est une donnée intéressante, elle est la quantité d'énergie nécessaire au cycle de vie d'un matériau ou d'un produit.

Les performances des isolants thermiques sont indiquées par la conductivité,  $\lambda$  (**lambda**). **Plus le lambda est petit, plus le matériau est isolant.**

**Le certificat ACERMI (Association pour la certification des matériaux isolants),** est une garantie de qualité et de fiabilité des données d'isolation du fabricant. Qui valide les qualités d'isolation thermique du matériau et les bonnes conditions de son usage.

Les matériaux sont disponibles sous les différentes formes présentées dans le tableau ci-après :

| Isolant   | Utilisations   | Longévité  | Certificat ACERMI           | Divers  | Images   | Prix  | Fournisseur |
|---|--|------------|-----------------------------|---|--|---|-------------|
| <p>Béton cellulaire (Thermopierre)</p> <p>en isolation répartie</p> <p><math>\lambda</math> de 0.09 à 0.13 W/m.K</p> <p>énergie grise &gt;400 kWh/m<sup>3</sup></p> | <p>Composé de sable, de ciment et de chaux</p> <p>Utilisé en panneaux ou blocs à coller pour les murs, les cloisons, les planchers, les bardages</p> | Excellente | Non Certificat NF ou CSTBat | <p>incombustible et ininflammable</p> <p>Résiste à la compression</p> <p>Adoucit l'air sec en restituant la vapeur ou en absorbant l'humidité excessive</p> |   | <p>54000 Le m<sup>3</sup></p> <p>84000 Le m<sup>3</sup></p> | ST FOOOM    |
| <p>Monomur en terre cuite</p> <p>en isolation répartie</p> <p><math>\lambda</math> de 0.12 à 0.37 W/m.K</p> <p>énergie grise &gt; 600 kWh/m<sup>3</sup></p>         | <p>En briques alvéolées (air) posées à joints minces pour les murs porteurs</p> <p>Revêtements en enduit traditionnel ou plaques de plâtre</p>       | Excellente | Non Certificat NF ou CSTBat | <p>bonne isolation thermique et phonique Résiste à l'écrasement, au feu, au gel et aux rongeurs</p>   |  |   |             |

|  |   |                   |            |   |  |   |  |
|--|---|-------------------|------------|---|--|---|--|
| <p><b>Verre cellulaire</b></p> <p><math>\lambda</math> de 0.04 à 0.05 W/m.K</p> <p>énergie grise &gt; 1600 kWh/m<sup>3</sup></p> | <p>En plaques, en panneaux, en granulés pour toitures-terrasses, toits plats, murs, fondations,</p>   | <p>Excellente</p> | <p>Oui</p> | <p>bonne isolation thermique et phonique</p> <p>Peut être recyclé, incombustible, étanche</p>   |   |   |  |
| <p><b>Laine de verre</b></p> <p><math>\lambda</math> de 0.03 à 0.04 W/m.K</p>  | <p>Isolant minéral à base de sable et de verre recyclé</p> <p>En rouleaux, panneaux semi-rigides, vrac pour les toitures, les combles, les cloisons, les murs, les plafonds</p> | <p>Médiocre</p>   | <p>Oui</p> | <p>bonne isolation thermique et phonique Incombustible</p> <p>Peut entraîner des irritations cutanées ou respiratoires lors de la pose, mais sans danger connu sur la santé</p> <p>Recyclable</p> |  | <p>Epaisseur 50 cm :</p> <p>Prix : 5,300 le m<sup>2</sup></p> <p>Epaisseur 45 cm :</p> <p>Prix : 5,100 le m<sup>2</sup></p> | <p>Isolmax :</p> <p>Ceinture Bourguiba Gremda - Kâid M'hamed - 3002 – Sfax</p> |

|   |  |                   |            |   |  |   |                 |
|---|--|-------------------|------------|---|--|---|-----------------|
| <p><b>Laines de roche</b></p> <p><math>\lambda</math> de 0.03 à 0.04 W/m.K</p>  | <p>Isolant minéral à base de basalte.</p> <p>En rouleaux, panneaux, vrac pour les toitures, les combles, les cloisons, les murs, les plafonds</p>                    | <p>Bonne</p>      | <p>Oui</p> | <p>Bonne isolation thermique et phonique Incombustible</p> <p>Peut entraîner des irritations cutanées ou respiratoires mais Sans danger pour la santé</p> <p>Recyclable</p> |   | <p>Epaisseur 4 cm :<br/>Prix : 13900 le m<sup>2</sup></p> | <p>Isol max</p> |
| <p><b>Perlite expansée</b></p> <p><math>\lambda</math> de 0.05 à 0.06 W/m.K</p> <p>énergie grise &gt; 230 kWh/m<sup>3</sup></p> | <p>Isolant minéral (roche volcanique)</p> <p>En panneaux ou vrac pour les toitures-terrasses, les chapes en association avec du béton, les combles non aménagés.</p> | <p>Très Bonne</p> | <p>Oui</p> | <p>Nécessite un traitement hydrofuge</p> <p>Incombustible, isolation thermique moyenne</p> <p>Sans danger pour la santé.</p>  |  |   | <p>Isol max</p> |

|  |  |                   |            |   |  |   |                |
|--|--|-------------------|------------|---|--|---|----------------|
| <p><b>Polystyrène expansé</b></p> <p><math>\lambda</math> de 0.03 à 0.04 W/m.K</p> <p>énergie grise &gt; 450 kWh/m<sup>3</sup></p> | <p>Isolant synthétique à base de pétrole brut</p> <p>En plaques associées avec plaques de plâtre, en vrac pour les toitures, les combles habitables, les planchers, les murs</p> | <p>Bonne</p>      | <p>Oui</p> | <p>Bonne isolation thermique</p> <p>Inconvénient : inflammable, parement de type plâtre nécessaire.</p> <p>Pas écologique</p>   |   |   |                |
| <p><b>Polystyrène extrudé</b></p> <p><math>\lambda</math> de 0.03 à 0.04 W/m.K</p> <p>énergie grise &gt; 850 kWh/m<sup>3</sup></p> | <p>Isolant synthétique à base de pétrole brut</p> <p>En panneaux pour les toitures-terrasses, les sols, les planchers, les murs.</p>   | <p>Très Bonne</p> | <p>Oui</p> | <p>Insensible à l'humidité et résistant à la compression. Très bonne isolation thermique</p> <p>Inconvénient : Inflammable. Pas écologique</p>                              |   | <p>Epaisseur 4 cm :</p> <p>Prix : 13,200m<sup>2</sup></p> | <p>Isolmax</p> |
| <p><b>Polyuréthane</b></p> <p><math>\lambda</math> de 0.02 à 0.03 W/m.K</p> <p>énergie grise &gt; 1100 kWh/m<sup>3</sup></p>       | <p>Isolant synthétique</p> <p>En panneaux et en mousse projetée pour les toitures, toitures-terrasses, les sols, les murs en doublage</p> <p>très bonne isolation thermique</p>  | <p>Très Bonne</p> | <p>Oui</p> | <p>Insensible à l'eau et imperméable à la vapeur d'eau, étanchéité à l'air</p> <p>inconvénient : Inflammable</p> <p>Danger au monoxyde de carbone</p> <p>Pas écologique</p> |  |   |                |

|  |   |                   |            |   |  |  |   |
|--|---|-------------------|------------|---|--|--|---|
| <p><b>Liège expansée</b></p> <p><math>\lambda</math> de 0.035 à 0.045 W/m.K</p> <p>énergie grise &lt; 90 kWh/m<sup>3</sup></p> | <p>Isolant 100% naturel (chêne-liège) et écologique</p> <p>En plaques et en vrac pour l'expansé et en dalles et rouleaux pour l'aggloméré</p> <p>Utilisé pour les toitures, les planchers, les murs, et déversé dans les combles non habitables</p> | <p>Excellente</p> | <p>Oui</p> | <p>Résistant à la compression et à l'humidité</p> <p>Très bonne isolation thermique et bonne isolation phonique</p> <p>Imputrescible, auto extinguible. Sans danger pour la santé</p> | <p><u>Liège Expansée</u></p>  <p><u>Liège Aggloméré</u></p>  | <p>Pour la liège aggloméré :</p> <p>Isolation phonique :</p> <p>Epaisseur 2 cm : Prix : 4,900 m<sup>2</sup></p> <p>Epaisseur 3 cm : prix : 7,500 m<sup>2</sup></p> <p>Isolation phonique et thermique :</p> <p>Epaisseur 4 cm : Prix : 9,700 m<sup>2</sup></p> <p>Epaisseur : 5 cm : Prix : 12,000 m<sup>2</sup></p> | <p>Le Liège Aggloméré :</p> <p>Avenue Arbi Zarrouk 2014 Mégrine Riadh-Tunis</p> |
|--|---|-------------------|------------|---|--|--|---|

Table 7 : Les éco matériaux d'isolation

Dans ce tableau, je limite la présentation sur quelques matériaux qui existent en Tunisie, mais le meilleur choix conseillé est de choisir les isolants écologiques (naturels) et abandonnés (lièges, laines végétales ou animales et isolants à base de cellulose, de liège, de chanvre ou d'autres sources renouvelables...) en raison de leur impact réduit sur l'environnement en phase de fabrication (énergie grise) et leur durée de vie 50 ans et plus. (Exemple : total d'émission de gaz à effet de serre par le liège expansé est de 1,27 kg et son durée de vie est de 50 ans). En Tunisie, en général, on a comme isolant naturel le liège aggloméré.

C'est pour cela, Dans les choix il est conseillé de penser à la protection de l'environnement, à la santé et au confort, en cherchant à réduire l'impact environnemental de la construction en privilégiant des matériaux locaux et renouvelables.

#### ***4. Avantages de la maison écologique***

##### **Coût global**

Le logement écologique ne se réfléchit pas uniquement en coût d'achat, mais également en coût d'usage. Cet avantage de charges faibles (en comparaison avec des logements énergivores) va certainement se renforcer compte tenu de l'augmentation du coût de l'énergie. Le surcoût écologique sera donc beaucoup moins évident, et de toute évidence, largement plus avantageux que l'utilisation des énergies fossiles.

##### **La santé des usagers**

Notre air intérieur est pollué et cela pourrait avoir des conséquences importantes sur de nombreuses maladies, voir sur certains cancer (Tout le monde est exposé aux polluants présents dans l'atmosphère des environnements clos. Les problèmes de santé dus à cette pollution sont multiples et recouvrent des manifestations cliniques très diverses, qui, pour la plupart, ne sont pas spécifiques des polluants détectés. (Le monoxyde de carbone émis par des appareils à combustion défectueux (cuisson, chauffage, production d'eau chaude sanitaire, etc.) est la cause d'intoxications oxycarbonées)...). Ce souci de la santé des hommes fait parti intégrante de la démarche de l'habitat écologique. Cet aspect est intégré dès la conception (ventilation adéquate, bonne étanchéité à l'air...) et est un des paramètres dans le choix des matériaux et équipements (isolation naturelle...).

Car en réalité, la « maison écologique » renferme une variété de possibilités architecturales et esthétiques qui ne fait pas uniquement référence à la « maison écologique » isolée au cœur d'un lotissement lui-même déconnecté de la ville.

Surtout c'est une bonne solution pour les maisons des zones urbaines encombrées.

## **Installation panneaux solaire :**

La mise en à disposition en Tunisie des chauffe-eaux solaires payables à 5 ans et subventionnés par le gouvernement de 15 et 20 % du prix, selon la capacité du matériel. A cette aide, s'ajoute un processus de crédit à taux d'intérêt attractif pour payer le reste de l'investissement. Le chauffe-eau est ainsi réglé tous les deux mois sur la facture d'électricité de la Société tunisienne d'électricité et de gaz (la STEG est l'équivalent d'EDF en France).

## **L'installation des panneaux photovoltaïques**

### **Avantages économiques**

Des subventions importantes : Une subvention du Fond National de la Maîtrise de l'Energie (FNME) représentant 40% du coût de l'investissement de l'installation photovoltaïque et plafonnée à 3.000 dinars par KWc .

Réduction jusqu'à 80% sur facture d'électricité de la STEG.

Une très bonne rentabilité et un amortissement rapide.

La valeur d'une maison augmentée grâce à la mise en place d'une installation photovoltaïque.

### **Les avantages techniques**

Des systèmes de panneaux solaires photovoltaïques simples et rapides à installer.

Des installations photovoltaïques robustes et nécessitant très peu de maintenance.

Garantie de 25 ans sur rendement.

Garantie de 10 ans sur matériel et équipement.

Pas de combustion : peu d'usure thermique des composants.

Des systèmes fiables et stables : résistance aux intempéries, aux rayonnements UV et aux variations de température.

Risque de panne quasiment nul.

### **Les avantages écologiques**

Une énergie 100% naturelle, propre et inépuisable.

Le photovoltaïque contribue à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> (réduction de 850 kg de CO<sub>2</sub> par KWc installé), à la réduction des rejets polluants et à la préservation des ressources naturelles.

Le photovoltaïque contribue à l'évolution des consciences vers la préservation de la nature.

Un capteur photovoltaïque "rembourse" l'énergie dépensée dans sa fabrication (énergie grise) en trois ans environ. Bien que les fabricants garantissent généralement leurs cellules pendant 20 à 25 ans, leur durée de vie réelle peut atteindre 30, voire 40 ans. Un panneau photovoltaïque peut donc produire 7 à 14 fois plus d'énergie qu'il en a fallu pour le réaliser. Et avec un entretien minime: il suffit de vérifier de temps à autre l'état de l'installation, de nettoyer la surface des panneaux et d'effectuer un contrôle approfondi une fois par an.

## **L'isolation :**

La rénovation énergétique représente un enjeu important, avec un potentiel assez facilement mobilisable de diminution des émissions de gaz à effet de serre pour l'amélioration de la qualité de vie pour les habitants (diminution de la facture énergétique et amélioration du confort). L'isolation des murs est complexe elle comprend une isolation internes et externes et chaque types présente des avantages et des inconvénients, le choix et souvent plus restreint.

Ainsi, 30% de la chaleur s'échappe par le toit, 25% par les Murs, 13% par les vitres, 15% par les sols et 12% par les portes et fenêtres.

A cet effet, l'isolation thermique présente plusieurs avantages puisqu'elle permet à la fois de réduire la consommation d'énergie de chauffage et/ou de climatisation et d'améliorer le confort d'étanchéité à l'air et à la chaleur).

### **L'isolation, une priorité**

Dans la mesure du possible, il est préférable d'agir sur l'isolation extérieure qu'intérieure. En effet, la première est à la fois plus efficace et permet de conserver l'effet d'inertie thermique, c'est-à-dire que le mur conservera la chaleur lorsqu'il fait froid et la fraîcheur lorsque le thermomètre monte.

#### La toiture Végétalisée

Une cible privilégiée en matière d'isolation, le toit. Il conjugue des avantages écologiques, esthétiques et économiques : Gestion de l'énergie : amélioration de l'isolation thermique, gestion de l'eau : absorption des pointes de pluviométrie et filtration des eaux de pluie. Son impact environnemental est l'utilisation de produits renouvelables et intégration du bâtiment dans l'environnement urbain

Le toit végétal a un impact positif à la fois sur la durabilité et le confort de construction et sur l'environnement. Faire le choix d'un toit végétal c'est s'inscrire dans une démarche de haute qualité environnementale.

Elle lutte contre l'effet de serre. Elle absorbe les ondes sonores et agit comme un véritable isolant acoustique. Une toiture végétale améliore aussi la qualité du paysage, la biodiversité et favorise l'intégration d'un bâtiment dans l'environnement urbain.

Le toit végétal conserve une température oscillant entre 10 et 25° selon les saisons. L'été la maison est naturellement plus fraîche tandis que l'hiver vous gagnez quelques degrés.

Cette régulation de température engendre d'importantes économies d'énergie l'hiver sur le chauffage et l'été sur la climatisation donc des économies d'argent.

Les toitures végétales retiennent une partie des eaux de pluie. Cette eau de pluie est évacuée par les canalisations.

Ce qui constitue autant d'effets bénéfiques sur les coûts de traitement de l'eau et les réseaux d'assainissement.

#### Isolation et climatisation

Le chauffage et l'isolation climatisation d'un logement représentent actuellement la première source d'émissions de gaz carbonique avec les transports.

Améliorer l'isolation de l'habitation est donc une des meilleures façons de réduire émissions de gaz carbonique et, dans un contexte où le prix de l'énergie va croître de façon linéaire dans les 30 prochaines années, est donc aussi un bon investissement.

Actuellement, il y a deux mouvements complémentaires :

- L'optimisation de l'isolation de bâtis existants (via la pose de double ou triple vitrage, la pose d'isolant, l'installation de système de ventilation, de pompe à chaleur ou de puits canadiens)
- La construction de nouveaux logements dont la conception donne la priorité à l'isolation et s'appuie sur des approches mêlant le meilleur des constructions traditionnelles et des technologies de pointe.

#### Isolation et économie d'énergie

Dans un bâtiment mal isolé, les déperditions thermiques sont importantes et engendrent des consommations d'énergie importantes pour le chauffage des pièces et de l'eau chaude sanitaire en hiver voire le recours à la climatisation en été. En plus des économies énergétiques directes, l'isolation thermique alliée à une bonne ventilation réduit les coûts d'entretien et les risques d'humidité et augmente la durée de vie de la maison.

Comme j'ai annoncé avant, Les déperditions thermiques sont localisées au niveau du toit, des fenêtres, des murs, du sol et sont également dues au renouvellement d'air et aux ponts thermiques qui sont à isoler en priorité.

#### L'isolation des murs

L'isolation des murs réduit les pertes de chaleur et permet d'augmenter la température intérieure des parois. Pour l'isolation par l'intérieur, des panneaux sont installés, alors que pour l'isolation extérieure, un isolant est réparti sur la surface extérieure du mur puis il est protégé des intempéries par un bardage ou un enduit.

Quel que soit en réalité le mode d'isolation utilisé, une bonne isolation thermique permet de réduire la consommation énergétique et donc la facture, de diminuer les rejets dans

la nature, d'améliorer son confort au quotidien, mais également de protéger un bâtiment contre un vieillissement prématuré. Les intérêts de l'isolation thermique sont nombreux.

Si l'isolation permet de réaliser des économies d'énergie, c'est en raison :

- L'hiver : d'une réduction de la déperdition énergétique via les murs d'une maison ou d'un bâtiment,
- L'été : d'une perméabilité à la chaleur extérieure moins importante. On estime ainsi que l'hiver, 20 à 25 % de la chaleur d'une maison non isolée s'échappent par les murs, 10 à 15 % par les fenêtres et même 25 à 30 % par la toiture ! Quand la même maison est correctement isolée, il est possible de baisser le thermostat du chauffage et de profiter pleinement de son intérieur. L'été, utiliser la climatisation...

#### L'isolation des parois vitrées

Elle est augmentée grâce à la présence de fermetures (volets ou autres), qui réduisent les déperditions thermiques la nuit, et protègent des rayons du soleil en évitant les surchauffes le jour.

La pose de double vitrage est un autre élément incontournable d'une bonne isolation, à condition que les joints soient bien étanches.

Vitrages solaires ou films autocollants sur les vitrages. Plus le vitrage est isolant, c'est à dire plus son coefficient de déperdition est bas. Plus les déperditions thermiques seront réduites à travers sa surface en hiver. Plus le vitrage est chaud sur sa face intérieure et donc moins la température de l'air intérieur doit être élevée pour assurer le confort en hiver.

Plus le vitrage laisse passer de la lumière, c'est à dire plus son facteur de transmission lumineuse est grand, moins grande est la consommation d'éclairage électrique. La consommation de chauffage n'est a priori pas modifiée. Plus l'éclairage est naturel et le contact avec l'extérieur agréable.

L'énergie grise émise par la fabrication des isolations s'inverse dans une courte période par les économies d'énergies.

## **Ventilation**

Maîtriser la ventilation du logement est aujourd'hui d'autant plus important avec la réglementation thermique (RT) qui impose une isolation de plus en plus importante pour les nouvelles constructions.

Une ventilation efficace permettra de :

- Lutter contre l'humidité par une aération efficace : l'humidité est la première cause d'insalubrité d'une maison ou d'un local en général et a un impact direct sur la santé des résidents du logement ;
- Limiter la condensation ainsi que l'apparition de moisissures ;

- D'évacuer vers l'extérieur de la maison les vapeurs et/ou odeurs des produits polluants qui sont entre autres les produits d'entretien ménager, des gaz d'aérosol, etc. ;
- Renouveler l'air ambiant.

Le renouvellement de l'air est très rapide pour une maison ancienne et moins isolée (entre 1 h et 1 h 30mn) et beaucoup plus lent dans les maisons modernes bien isolées (à peu près 10 h).

Une fois encore, les débits d'air n'étant pas contrôlés, la quantité d'air renouvelé peut être très supérieure à ce qui serait nécessaire. Il en résulte une consommation en chauffage importante ainsi qu'un sentiment de courant d'air froid près des fenêtres

Ventiler permet d'apporter un air neuf, d'évacuer l'air vicié et ainsi pourvoir à nos besoins en oxygène.

Une aération performante du logement, il faut tout de même à être alimenté en air frais et non pollué, et surtout à évacuer l'humidité. C'est le principe de la VMC (Ventilation Mécanique Centralisée). L'air neuf arrive par les pièces principales, l'air vicié lui est évacué par les pièces humides.

### **Récupération d'eau de pluie :**

Récupérer l'eau de pluie c'est un geste écologique. En effet, l'eau est une ressource rare. La population mondiale augmente. L'eau est de plus en plus polluée (pollution industrielle, agriculture intensive, utilisation de pesticides et d'engrais). En récupérant l'eau de pluie c'est en agissant pour la préservation de l'environnement et apportant une réponse au problème des nappes phréatiques. Ainsi, notre usage quotidien de l'eau est impressionnant. Arroser un jardin demande 15 à 20 litres d'eau par m<sup>2</sup>. Une chasse d'eau consomme 6 à 12 litres d'eau. Pour laver la voiture on a besoin de 200 litres d'eau !

En récupérant l'eau de pluie on agit pour réduire la consommation d'énergie et les coûts qui sont liés à sa gestion.

Avec aussi, L'eau de pluie rejetée coûte très chère à la collectivité. Le traitement de l'eau entraîne des dépenses croissantes. En 10 ans, le prix du m<sup>3</sup> d'eau a augmenté de 90%. Alors, récupérer l'eau de pluie soulage le réseau public et réduit considérablement la facture d'eau.

Bref, tout ça nous ramène aux objectifs suivants:

- Optimiser le cycle de l'eau et réduire la consommation ; récupération des eaux de pluie.
- Économiser l'énergie et indirectement réduire les émissions de CO<sub>2</sub> et d'autres matières à l'atmosphère ;
- Réduire la demande énergétique du bâtiment,

- Augmenter le rendement des installations et intégrer des énergies renouvelables.

Je veux signaler enfin, que La construction en bois est, de préférence, issue de la filière labellisée (PEFC pour les bois européens et FSC pour les bois tropicaux) pour la gestion durable des forêts et apporte une réponse concrète et quantifiable dans la lutte contre le réchauffement climatique.

**Conclusion :**

Ainsi, je vois que ces différents matériaux entrant dans la construction écologique sont plus favorables pour les logements urbains encombrés surtout par l'isolation acoustique et thermique qui procurent le confort ou la toiture végétalisée qui réduire les effets des émissions de CO2 avec un confort visuel et olfactif.

Alors, dans ce projet, qu'est ce qu'on a utilisé comme matières de construction ou nouvelles technologie ?

## IV. Quatrième Partie : Evaluation du projet réalisé

---

Lors de mon suivi, j'ai effectué des visites quotidiennes sur le chantier, j'ai pris de nombreuses photos et j'ai surtout cherché à communiquer au maximum avec le maçon afin qu'il me donne une estimation juste de travail qu'il avait accompli.

### 1. Impact qualité

En général, il y a un respect de côté traditionnel dans la rénovation suite à la demande du propriétaire (conserver la cave, le puits, le toit en bois et le comble), tout en essayant d'améliorer la situation de l'habitation pour la rendre conviviale. Alors, la rénovation vient à parfaire et étendre la maison pour la rendre confortable, sécurisée et plus viable.

Nous avons gardé les cloisons en moellon pour conserver l'isolation thermique de l'habitation

- Analyse des écarts entre ce qui est planifié et réalisé

Nous sommes arrivés à effectuer presque la moitié de travail planifié. Le travail accompli couvre la rénovation de toute la maison et la mise en place des murs et les cloisons de premier étage. Nous avons réhabilité l'ancienne cave pour la rendre prête à l'utilisation et le comble pour le rendre habitable. Une extension vient parfaire l'agrandissement de la maison. Ainsi, elle prend sa nouvelle forme par l'ajout de premier étage qui comprend trois autres chambres à coucher, une salle de bain, un salon et une kitchenette avec une vaste terrasse.

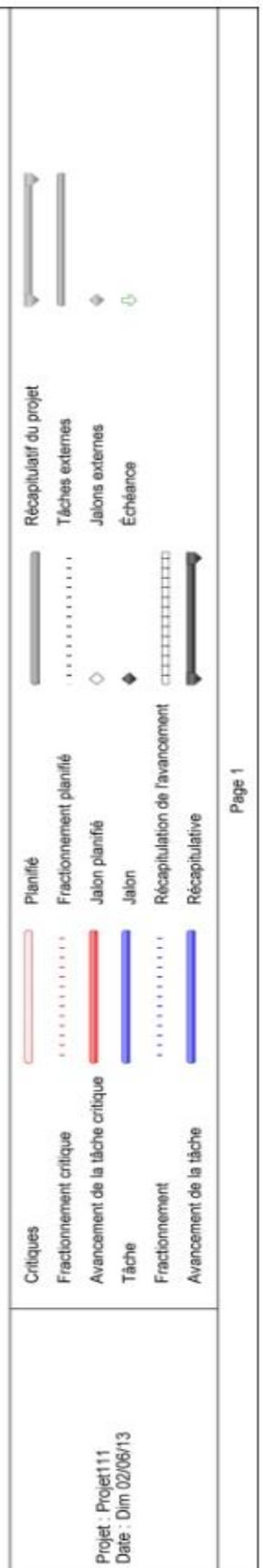
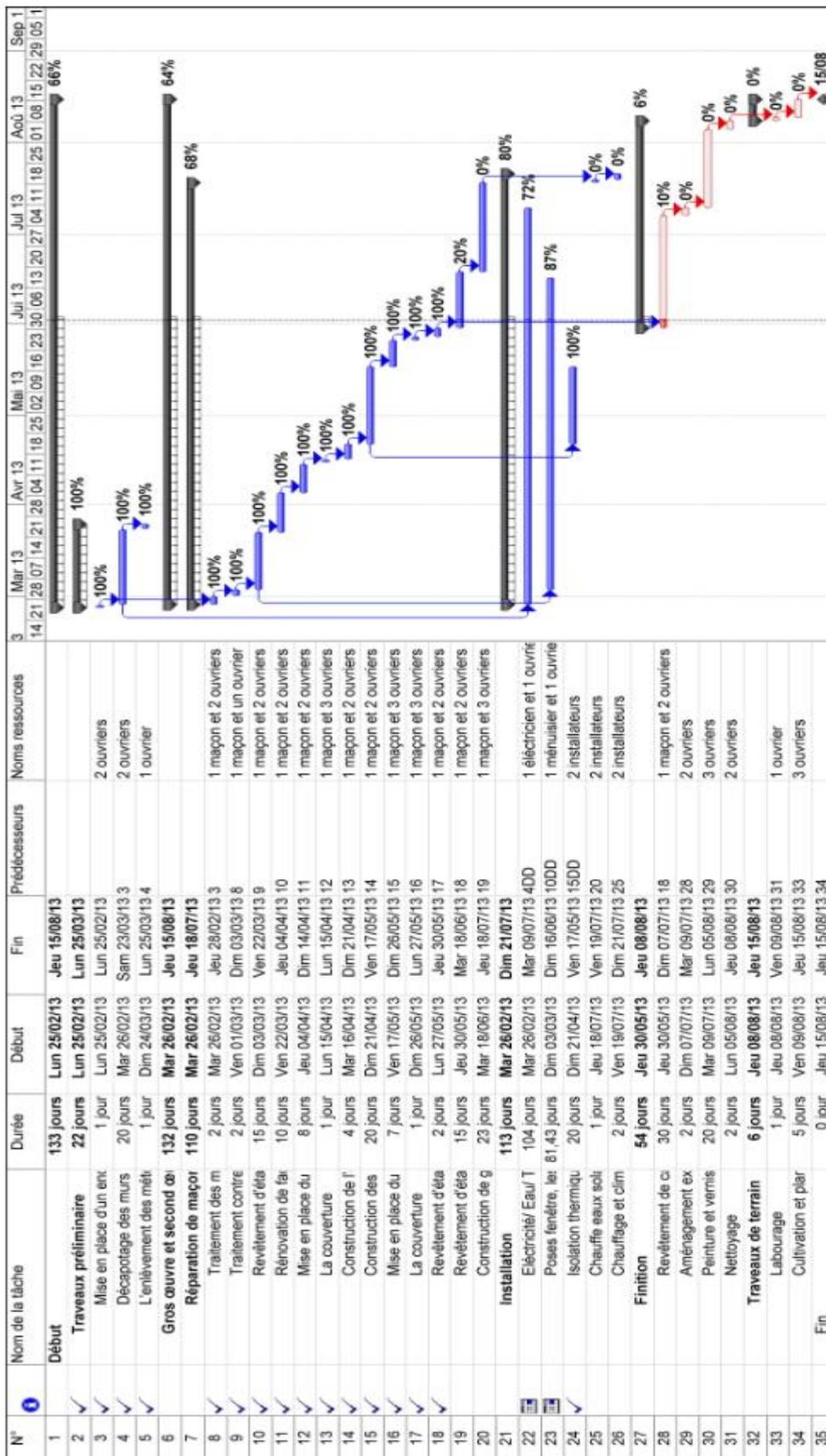
- Ce qui reste

Les travaux qui restent sont, la mise en place de la charpente et la couverture du premier étage avec les phases de finition et peinture.

Concernant les travaux sur le terrain, ils sont encore reportés à l'achèvement des travaux de maçonnerie. Toutefois, nous avons effectué le nettoyage extérieur autour de la maison pour faciliter le travail sur chantier.

- Suivi par MSP

Le suivi a montré ainsi, le décalage entre la planification et ce qui est fait en réalité, alors il y a un retard en rénovation concernant la mise en place de la charpente et la couverture. Actuellement, la mise en place de la charpente est en cours et la couverture peut prendre une semaine plus tard.



Suivre de projet par Gantt

Et ceci est à cause des contraintes ci-après :

### **Contraintes :**

Nous n'avons pas pu bien estimer les coûts et les délais dès le début et ça dû à la situation de l'habitation et à l'instabilité de l'économie du pays après la révolution.

Les contraintes ayant des incidences à allonger la durée de projet :

- Les ressources humaines : indisponibles, le travail a été accompli toujours par le maçon et un ou deux ouvriers. Ce qui a provoqué l'arrêt du travail pour 2 jours.
- Fluctuation des prix des matières (ciment surtout)
- les opérations d'approvisionnement en matières ne sont pas effectuées à temps souvent à cause de l'indisponibilité des ressources.
- Contraintes budgétaires : à cause de la fluctuation des prix, et la situation très mauvaise de la maison rendant l'estimation et l'approvisionnement des matières difficiles à gérer.

Alors, tout ceci vient pour justifier le retard du 'réalisé' par rapport au 'planifié'. Ce qui nous a empêchés à faire des améliorations au niveau des choix des matériaux pour la qualité de l'habitation (Ex. Isolation du premier étage qui est bâti en briques) sauf les exigences pour une habitation sécurisée.

### **La méthode de diagramme d'Ishikawa**

J'utiliserai la méthode 5 M pour analyser de manière synthétique les différentes causes possibles qui ont conduit à allonger la durée du projet, un principal problème de ce projet. En effet, le diagramme d'Ishikawa est une représentation graphique en forme de poisson pour matérialiser de manière structurée le lien entre les causes et leurs effets (défaut, panne, dysfonctionnement...) et qui sont classés en 5 grandes familles : les 5M.

Matière : les différents consommables utilisés, matières premières...

Milieu : le lieu de travail, son aspect, son organisation physique...

Méthodes : les procédures, le flux d'information...

Matériel : les équipements, machines, outillages, pièces de rechange...

Main d'œuvre : les ressources humaines, les qualifications du personnel.

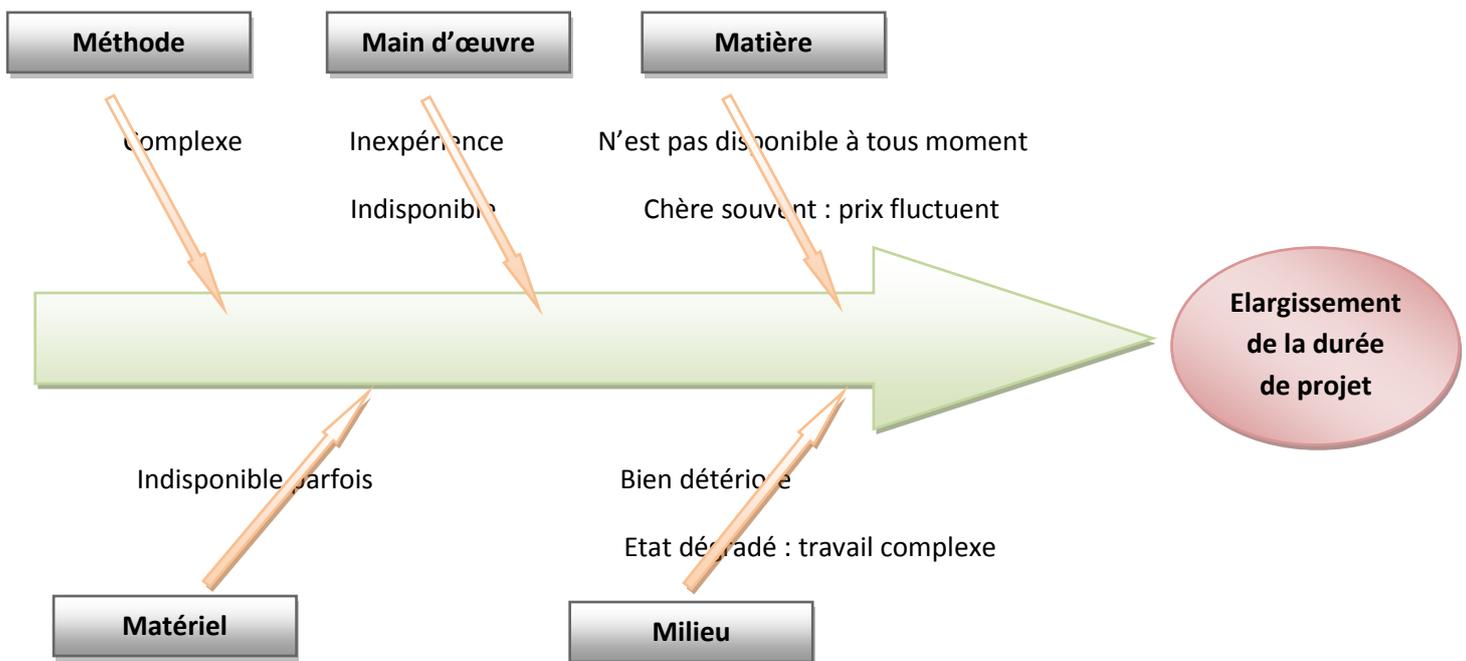


Figure 36 : Le diagramme d'Ishikawa

### Les économies réalisées :

Localité de la maison : Bien située (orienté au sud) et ensoleillé : l'orientation de la maison au sud favorise l'ensoleillement

L'isolation : La construction du rez de chaussé avec le moellon favorise l'isolation phonique et thermique et contribue à une économie d'énergie d'environ 30%.

Concernant le toit et après des recommandations, nous allons utiliser la chaux vive comme matière isolante et imperméable : elle est moins coûteuse et a des avantages en économie d'énergie et financière, et elle favorise l'isolation thermique.

Le jardin : Le jardin participe à l'esthétique de la maison et du paysage. C'est une source de fraîcheur.

### Economie en ressources d'eaux :

- Le puits pour la récupération de l'eau de pluie : l'utilisation domestique permet une économie en ressource d'eau.

Ainsi, pour une économie des eaux potables, il est recommandé d'utiliser des appareils adaptables sur les robinets ou les douches permettent d'économiser l'eau. Les embouts limiteurs de débit sur les robinets, réduisent le flux et donc les pertes inutiles.

- Réutilisation des eaux usées de la cuisine en arrosage du terrain : l'eau sera transportée puis stockée dans un réservoir alimentant des canaux qui s'écoulent dans le jardin.

L'éclairage : Optimiser la gestion de la lumière et diminuer le gaspillage par l'utilisation des ampoules économiques.

Malgré une forte utilisation de la lumière naturelle, la lumière artificielle s'avère indispensable. Une solution permettant de réduire la consommation énergétique liée à l'éclairage est de mettre en place l'utilisation de tubes fluorescents à basse consommation ou de luminaires à LED qui constituent également une alternative intéressante.

Les énergies renouvelables : La ville d'Agareb située au sud du pays bénéficie d'un ensoleillement de huit mois par ans, ce qui favorise l'exploitation des rayons solaires dans la production de l'énergie électrique et les chauffe-eaux.

Dans ce projet, nous avons choisi d'investir en chauffe-eau solaire.

La ventilation : Une ventilation naturelle se fait à travers les ouvertures avec des grilles hautes et basses (fenêtres et portes). En effet, le renouvellement d'air dans la maison est indispensable car il apporte de l'air neuf et extrait l'air vicié. Cet apport d'air doit couvrir les besoins en oxygène des occupants et des appareils de combustion pour qu'ils fonctionnent sans danger, évacuer les odeurs et les polluants et éliminer l'excès d'humidité.

### Les économies non réalisés :

Après la rénovation de la maison, il reste des soucis par rapport à :



Figure 37 : La maison énergivore

L'isolation : environ 16 % des pertes de chaleur se font via les murs. Et le premier étage s'est bâti par les briques comme matière essentielle de construction car la pierre participe à minimiser l'espace (les cloisons en moellon sont en 50cm d'épaisseur). Entre autre, ce choix représente un point faible pour la construction surtout que la région est en général caractérisée par un climat très chaud en été, et sec et froid en hiver, ce qui fait augmenter la déperdition de l'air en hiver et de la chaleur en été par les parois. De plus, il augmente le besoin en chauffage et climatisation.

A cet effet, une cloison avec 35 cm d'épaisseur est recommandée pour une isolation extérieure, une performance thermique et économie d'énergie (Un vide de 7 cm entre deux cloisons permet une économie d'énergie d'environ 30%). Il offre, par conséquent, un confort aux habitants.

Les ouvertures : Concernant les fenêtres, nous avons fait le choix pour des fenêtres de 1,20 m de dimensions en bois et de simple vitrage. Cependant, ce choix favorise la déperdition de chaleur et de l'air, et ne permet pas l'entrée efficace de l'ensoleillement aux chambres.

Tandis qu'une fenêtre en aluminium ou PVC à double ou triple vitrage participe bien à l'isolation thermique et phonique. De plus, et en terme de coût, elle est plus économique puisque son prix est entre 180 D et 190 D en comparaison avec une fenêtre en bois qui est de l'ordre de 280 D.

Les vitres : Ils sont de simple vitrage, qui renforcent la condensation et la conductivité thermique à la maison, d'où une augmentation de la chaleur de l'habitation en été et du besoin en climatisation par conséquence.

### Ventilation :

La ventilation des logements permet d'assurer à la fois la qualité de l'air et la pérennité du bâti. Elle doit pour cela éliminer les odeurs, limiter les polluants, éviter la condensation tout en limitant les déperditions d'énergie dues à l'introduction d'air froid. Et si les débits d'air ne sont pas contrôlés, la quantité d'air renouvelé peut être très supérieure à ce qui serait nécessaire. Il en résulte une consommation en chauffage importante et un sentiment de courant d'air froid près des fenêtres.

L'espace vide entre le rez-de-chaussée et le premier étage avec ses deux fenêtres permettent la déperdition de l'air et de la chaleur, surtout que les fenêtres sont simples et en bois, donc une consommation intensive de la climatisation et du chauffage

### Energies renouvelables :

Comme j'ai annoncé avant, l'environnement où se trouve la maison favorise l'exploitation d'énergies renouvelables. Cependant, pour ce projet, nous avons investi en chauffe-eaux solaire uniquement, bien que l'utilisation l'énergie solaire ou éolienne en produisant l'électricité présente une opportunité importante, de fait de leurs avantages. Cependant, les contraintes financière nous ont entravés à les exploiter.

## **2. Impact financier**

Le prix cher des matériaux d'isolation et de l'installation des technologies (panneaux photovoltaïques) constitue un investissement important pour construire une maison écologique nécessitant tout d'abord une étude globale et un audit énergétique de la construction.

Ce pendant, dans ce projet, nous enregistrons l'installation des chauffe-eaux solaires d'une part, et l'éclairage extérieur par des ampoules économiques et utilisant les rayons solaires pour produire l'énergie d'une autre part.

La construction de la maison avec de la pierre a présenté un avantage pour le projet de rénovation, en favorisant l'isolation et contribuant à une économie financière dans la rénovation et à l'économie d'énergie, dans le futur, avec les avantages de confort.

Au-delà, les dépenses en construction reflètent, dans certains cas, une mauvaise conduite car certaines matières utilisées ont des effets néfastes sur la santé (le confort) et sur l'environnement par leur consommation d'énergie par la suite. Nous la considérons une perte économique au niveau du choix des matières de construction à savoir les briques.

Nous avons dépensé environ 15 000 DT pour le rez-de-chaussée (phases du décapotage des murs au revêtement d'étanchéité).

En conclusion, si nous avons fait un audit énergétique et nous avons bien choisi les matières utilisées, la maison sera plus conviviale et écologique.

### **3. Impact sur l'environnement**

La maison est isolée. Cet avantage est un facteur favorable pour l'exploitation des ressources naturelles (la nature, le soleil, le vent...).

En effet, je vois que cette habitation isolée est un exemple idéale pour être une habitation bioclimatique, construite en fonction du climat et l'environnement puisqu'elle est orientée au sud, bâtie en moellon, et entourée par les arbres pour faire de l'ombre et les plantes grimpantes une isolation thermique pour les murs contre la chaleur de l'été. De plus, le soleil représente une ressource renouvelable pour la production de la chaleur et l'électricité pour la maison.

L'environnement permet donc à cette habitation de limiter la production de gaz à effet de serre et aussi de faire des économies d'énergie et financières.

Cependant, ce qui est mené en réalité, par la rénovation, montre que c'est une maison un peu énergivore surtout par la construction du premier étage en brique à 25 cm et la sur ventilation par le nombre important des ouvertures (portes et fenêtres) ce qui augmente les déperditions de l'air et de la chaleur par ces ouvertures et par les parois, ce qui implique une consommation intensive en chauffage en hiver et en climatisation en été, surtout au premier étage.

## CONCLUSION

La rénovation est un projet souvent difficile qui ne peut réussir que si tous les acteurs de la chaîne qualité : maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvres, architectes, bureau d'études techniques, entreprises, utilisateurs ou occupants, sont animés par le même désir de redonner vie et valeur à un ouvrage tout en respectant son histoire, sa technique, sa valeur culturelle.

Dans ce projet, la maison dans sa construction obéit quelque peu aux exigences de qualité, sécurité et environnement. Cependant, nous ne pouvons pas dire qu'elle est écologique mais elle est moins polluante de fait de l'économie d'énergie, la récupération d'eau de pluie...

D'un autre côté, la maison écologique par sa construction en utilisation des différentes matières et technologies présente de nombreux avantages pour l'environnement, la santé et la sécurité de l'habitant (un confort), mais ça reste toujours restreint au choix des matières utilisées dans l'isolation par exemple (utilisation des matières naturelles et plus écologiques).

D'ailleurs, construire une maison écologique est une pensée positive pour la protection de l'environnement et pour améliorer notre vie (plus de confort et d'hygiène), malgré qu'elle représente un investissement important mais elle implique tant d'avantages au futur qui couvrent les dépenses de construction.

## Annexes :

### Réglementation et normes :

#### Réglementations :

Le développement économique et social de la population constitue depuis une dizaine d'années l'axe principal de la politique du pays. Ainsi, la création d'emplois pour les jeunes et l'amélioration des conditions de vie des populations les plus démunies sont toujours avancées comme une priorité absolue de l'Etat.

Conscient de cette situation, l'Etat tunisien a accordé un intérêt à l'exploitation de toutes les opportunités pour atteindre ces objectifs. Le développement des filières des énergies renouvelables (ENRs) constitue l'une des réponses aux trois préoccupations simultanément. Les énergies renouvelables permettent, en effet, de participer à la réduction du déséquilibre prévu de la balance énergétique nationale, à travers les économies d'énergies potentielles. Sur le plan environnemental, l'utilisation des ENRs à grande échelle est un moyen intéressant pour contribuer à la protection de l'environnement global à travers la réduction des émissions des gaz à effet de serre. Le développement des ENRs permettra également à la Tunisie d'exploiter les opportunités de financement prévues dans le cadre des accords internationaux sur les changements climatiques.

Ainsi, Depuis le début des années 90, le secteur de l'énergie en Tunisie est caractérisé par une tendance lourde vers le déséquilibre de la balance énergétique. En effet, d'une situation énergétique excédentaire d'environ 1,5 Mtep en 1990, la Tunisie est passée actuellement à une balance à peine équilibrée.

Dans les prochaines années, l'écart entre l'offre et la demande énergétique va s'accroître d'avantage sous l'effet de l'épuisement des deux principaux gisements pétroliers de BORMA et ASHTART, d'une part, et l'accroissement rapide de la consommation énergétique, d'autre part.

Ainsi, il est prévu que le déficit énergétique atteindra environ 8 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep) à l'horizon 2010.

Ajoutant, Sur le plan environnemental, les années 90 ont été marquées par une préoccupation de plus en plus importante de la communauté internationale des questions de réchauffement planétaire, dû au rejet des gaz à effet de serre, essentiellement d'origine énergétique.

Ces préoccupations ont été matérialisées par la signature de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), suite à la Conférence de Rio en 1992. Depuis, un processus de négociation internationale a été lancé pour réduire les émissions des gaz à effet de serre, qui ont abouti au Protocole de Kyoto et aux différents ronds de négociations pour sa mise en œuvre effective.

La Tunisie, signataire de la Convention Cadre dès 1993 et du protocole de Kyoto depuis le début de 2002, s'est engagée activement dans la dynamique mondiale. La Tunisie, à l'instar des autres pays en développement, n'a pas d'engagements contraignants en matière de réduction de gaz à effet de serre. Cependant, l'adoption d'une politique favorable à l'atténuation a un double mérite :

- Se préparer aux éventuels engagements futurs que pourraient imposer les négociations internationales aux pays en développement

- Tirer profit des nouvelles opportunités et des possibilités de financement mises en place en faveur des pays en développement dans le cadre du Protocole (MDP, etc.)

## **LE CADRE INSTITUTIONNEL DES ENERGIES RENOUVELABLES EN TUNISIE**

L'organisation institutionnelle est constituée de l' Agence Nationale des Energies Renouvelables (ANER) qui est l'élément central pour la coordination avec un certain nombre d'organismes impliqués dans ce domaine.

### **L'Agence Nationale des Energies Renouvelables (ANER)**

L'Agence Nationale des Energies Renouvelables (ANER) a été fondée en 1985 et constitue actuellement le principal outil institutionnel pour la conception et la mise en œuvre de la politique de l'Etat dans le domaine.

L'ANER est placée sous la tutelle du Ministère de l'Industrie et de l'Energie (MIE), avec ses directions sous sectorielles telles que : Energies Renouvelables, Utilisation Rationnelle de l'Energie, Transports, Etudes et Planification.

La stratégie nationale pour le développement futur des ENRs est basée sur les principales orientations suivantes :

\* La diffusion à grande échelle des technologies matures vers les marchés accessibles notamment le solaire thermique pour le chauffage de l'eau et l'énergie solaire photovoltaïque dans plusieurs applications (électrification rurale, connexion au réseau, dans le milieu urbain etc.

\* La création d'un marché favorable à la promotion des énergies renouvelables qui ont connu un développement important sur le plan international à l'instar des filières éoliennes et biogaz...

### **Le Ministère de l'Industrie et de l'Energie**

Le Ministère de l'Industrie et de l'Energie dispose d'une Direction Générale pour l'énergie, qui s'occupe essentiellement des politiques énergétiques. Ce Ministère est l'institution de tutelle de la STEG (Société Tunisienne pour l'Electricité et le Gaz) et du CETIME (Centre Technique pour les Industries Mécaniques et Electriques) et de l'API (Agence de Promotion de l'Industrie).

## **CADRE REGLEMENTAIRE DES ENRS EN TUNISIE**

### Les textes de lois :

Le cadre législatif et fiscal relatif à la promotion de la maîtrise de l'énergie en général et les énergies renouvelables en particulier est régi principalement par les lois et les décrets suivants:

- Loi 90-62 du 24 juillet 1990, relative à la maîtrise de l'énergie
- Loi 93-120 du 27 décembre 1993, relative au code des investissements
- Décret d'application n° 87-50 du 13 janvier 1987, portant institution des audits énergétiques obligatoires et périodiques
- Décret d'application n° 87-51 du 13 janvier 1987, portant institution de l'obligation de la consultation préalable de l'Agence pour la Maîtrise de l'Energie pour les projets grands consommateurs de l'énergie.

- Décret d'application n° 94-537 du 10 mars 1994, fixant les montants et conditions d'octroi de la prime spécifique inhérente aux investissements dans le domaine de la maîtrise de l'énergie.

- Décret d'application n° 94-1191 du 30 mai 1994, fixant les conditions de bénéfice des avantages fiscaux prévus aux articles 37-41-42 et 49 du Code d'Incitation aux Investissements.

### Avantages et incitations

Selon ce cadre, les avantages accordés pour la promotion de la maîtrise de l'énergie sont les suivants:

- Une aide à la réalisation des audits énergétiques fixée à 50% du coût de l'audit avec un plafond de 20.000 dinars tunisiens;

- Une aide financière à la réalisation des projets de démonstration, fixée à 50% du coût globale du projet et plafonnée à 100.000 dinars tunisiens;

- Une aide financière aux projets d'investissements dans le domaine de l'utilisation rationnelle de l'énergie et des énergies renouvelables, fixée à 20% du montant de l'investissement et plafonnée à 100.000 dinars tunisiens;

- Les investissements visant à réaliser des économies d'énergie et à développer la recherche, la production et la commercialisation des énergies renouvelables et de la géothermie, ouvre droit au bénéfice de la réduction des droits de douane au taux minimum de 10% et la suspension de la taxe sur la valeur ajoutée (TVA) au titre des biens d'équipement et matériels importés n'ayant pas de similaire fabriqués localement et la suspension de la taxe sur la valeur ajoutée des biens d'équipement et matériels acquis localement ;

### Les perspectives du cadre réglementaire

Les décisions présidentielles annoncées en mai 2001 démontrent la réaffirmation de la détermination du gouvernement à s'engager pleinement en faveur de l'utilisation rationnelle de l'énergie et de la promotion des énergies renouvelables. Ces décisions visent essentiellement l'adaptation du cadre de développement et de la maîtrise de l'énergie sur le plan légal organisationnel et financier. Il s'agit notamment des actions suivantes :

1. Instaurer une journée nationale de la Maîtrise de l'Energie et un prix du président de la république dans ce domaine ;

2. Instituer la fonction « homme-énergie » dans l'administration et les établissements publics ;

3. Mobiliser les ressources financières nécessaires au soutien et au développement de la Maîtrise de l'Energie ;

4. Mise à jour du cadre réglementaire relatif à la Maîtrise de l'Energie ;

5. Généralisation des audits énergétiques et de la consultation préalable par la révision du seuil d'assujettissement des établissements consommateurs d'énergie;

6. Amélioration des incitations financières pour l'encouragement à la Maîtrise de l'Energie ;

7. Promotion de la co-génération dans les secteurs industriel et tertiaire ;

8. Encouragement des sociétés de services énergétiques à investir dans le domaine de la Maîtrise de l'Energie ;
9. Généralisation et décentralisation de l'implantation des bancs de diagnostic des moteurs des véhicules ;
10. Obligation de l'audit énergétique préalable à la construction des nouveaux et grands bâtiments (audit sur plan) ;
11. Sensibilisation des hôteliers à l'utilisation de matériels et équipements économes en énergie ;
12. Accélérer l'achèvement des plans directeurs de transport pour les grandes villes (Tunis, Sousse et Sfax) ;
13. Inciter les municipalités à réaliser les audits énergétiques dans leur patrimoine et à utiliser les technologies énergétiquement efficaces dans les réseaux d'éclairage public ;
14. Adoption des normes correspondant à des seuils limites de consommation d'énergie pour les équipements électroménagers considérés comme les plus énergivores (climatiseurs, réfrigérateurs, fours électriques et fer à repasser) ;
15. Incitation à l'utilisation de l'énergie électrique en dehors des heures de pointe ;
16. Augmentation de la contribution du gaz naturel dans la consommation d'énergie dans les différents secteurs d'activité ;
17. Obligation de l'utilisation des chauffe-eau solaires dans les nouveaux bâtiments publics ;
18. Optimisation de l'exploitation de l'énergie photovoltaïque dans les différents domaines ;
19. Développement de l'utilisation de l'énergie éolienne pour la production de l'électricité ;
20. Incitation à la valorisation énergétique des déchets, des eaux géothermales, des chutes d'eau et des gaz associés à la production du pétrole.

La mise en application de ces décisions va certainement se traduire par un réaménagement du cadre réglementaire et la promulgation des lois et des décrets inhérents. Une Commission Interministérielle a été déjà chargée du suivi des travaux des sous commissions constituées pour la mise en œuvre de ces décisions.

#### Bilan des réalisations

Les principales réalisations enregistrées au cours des 10 dernières années dans le domaine des énergies renouvelables sont essentiellement les suivantes :

- L'électrification par des systèmes utilisant l'énergie solaire photovoltaïques de plus de 10 000 foyers et 200 écoles situés dans le milieu rural ainsi que l'équipement par ces systèmes de plus de 40 stations de pompage d'eau et de plusieurs centres dizaines de postes frontaliers et de gardes forestiers;

- L'implantation de plus de 90 000 m<sup>2</sup> de capteurs solaires pour le chauffage de l'eau sanitaire dans le secteur résidentiel et tertiaire dont environ 60 000 m<sup>2</sup> ont été réalisés durant les 5 dernières années;

- L'expérimentation d'une cinquantaine de digesteurs familiaux pour la production du biogaz dans le milieu et d'une unité industrielle pour la production du biogaz à partir des déjections animales ;

- L'implantation d'une centrale éolienne d'une capacité de 10 MW dans la région du Cap Bon au Nord- Est de la Tunisie ;

- La diffusion de plus 10 000 couvercles pour des fours de cuisson de pain et destinés à la réduction de la consommation de bois.

→ En dépit des résultats atteints, le bilan des actions menées aussi bien dans le domaine des énergies renouvelables que dans celui de l'utilisation rationnelle de l'énergie montre que la contribution de la maîtrise de l'énergie dans le bilan énergétique tunisien demeure inférieure à 5%. Ceci s'explique par les principales raisons suivantes :

- Les coûts encore assez élevés de certaines filières de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables ;

- Les bas prix actuels des énergies conventionnelles qui restent en deçà des prix internationaux;

- L'absence d'un cadre institutionnel et réglementaire adéquat permettant la diffusion à grande échelle de certaines technologies jugées techniquement matures ;

- Les marchés d'équipements très limités empêchant de bénéficier des effets d'échelle et le développement sur une base commerciale;

- L'absence d'une valorisation des externalités positives de l'utilisation rationnelle de l'énergie et des énergies renouvelables en termes de protection de l'environnement et de création d'emploi ;

- L'insuffisance d'information, de sensibilisation et de promotion auprès des usagers potentiels tant publics que privés ;

- L'insuffisance au niveau de l'existence d'une industrie locale pour la fabrication des équipements des énergies renouvelables et d'utilisation rationnelle d'énergie.

#### Perspectives :

La stratégie nationale pour le développement futur des ENRs est basée sur les principales orientations suivantes :

- La diffusion à grande échelle des technologies matures vers les marchés accessibles notamment le solaire thermique pour le chauffage de l'eau et l'énergie solaire photovoltaïque dans plusieurs applications (électrification rurale, connexion au réseau, dans le milieu urbain etc.

- La création d'un marché favorable à la promotion des énergies renouvelables qui ont connu un développement important sur le plan international à l'instar des filières éoliennes et biogaz...

### Réglementation tunisienne en domaine environnemental :

LOI N° 73-21 DU 14 AVRIL 1973, RELATIVE A L'AMENAGEMENT DES ZONES TOURISTIQUES INDUSTRIELLES ET D'HABITATION ;

Loi n° 2003-78 du 29 décembre 2003, modifiant et complétant le code de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme.

### Gestion des ressources hydrique

Décret n° 94-1885 du 12 septembre 1994 fixant les conditions de déversement et de rejet des eaux résiduaires autres que domestiques dans les réseaux d'assainissement implantés dans les zones d'intervention de l'office de l'assainissement.

Décret n° 2002-335 du 14 Février 2002, fixant le seuil duquel la consommation des eaux est soumise à un diagnostic technique, périodique et obligatoire des équipements, des travaux et des modes de production liés à l'utilisation des eaux, les conditions de désignation des experts, la nature des diagnostics et leurs périodicité.

### Energie

Arrêté 1er juin 2009 pour les bâtiments à usage résidentiel :

Arrêté conjoint du ministre de l'équipement, de l'habitat et de l'aménagement du territoire et du ministre de l'industrie, de l'énergie et des petites et moyennes entreprises du 1er juin 2009, fixant les spécifications techniques minimales visant l'économie dans la consommation d'énergie des projets de construction et d'extension des bâtiments à usage résidentiel.

Article 5 de la loi n° 2004-72 du 02 Août 2004 relative à La maîtrise de l'énergie :

Les nouveaux projets consommateurs d'énergie ainsi que les projets d'extension des établissements consommateurs d'énergie doivent être soumis avant le début de leur réalisation à l'agence nationale pour la maîtrise de l'énergie prévue à l'article 17 de la présente loi et ce, en vue de s'assurer de leur efficacité énergétique.

Article 10 de la loi n° 2004-72 du 02 Août 2004 relative à La maîtrise de l'énergie

Les nouveaux bâtiments sont assujettis à des spécifications techniques visant l'économie dans la consommation d'énergie qui seront fixées par arrêté conjoint du ministre chargé des collectivités locales, du ministre chargé de l'équipement et de l'habitat et du ministre chargé de l'énergie.

Arrêté du 11 juin 2007

Arrêté du ministre de l'industrie de l'énergie et des PME du 11 juin 2007, portant approbation du cahier des charges relatif à l'audit énergétique sur plan dans les secteurs résidentiel et tertiaire

### L'intégration des énergies renouvelables

Décret n°2007-1098 du 2 mai 2007, modifiant et complétant le décret n°95-744 du 24 avril 1995, portant application des articles 88 et 89 de la loi n°94-127 du 26 décembre 1994 portant loi des finances pour la gestion 1995 relatifs à la fixation des listes des matières premières et des produits semi-finis nécessaires à la fabrication des équipements utilisés dans la maîtrise de l'énergie ou dans le

domaine des énergies renouvelables et des équipements utilisés dans la maîtrise de l'énergie ou dans le domaine des énergies renouvelables. (Réf. JORT n°38 du 11/05/07).

Décret n° 2009-2773 du 28 Septembre 2009, fixant les conditions de transport de l'électricité produite à partir des énergies renouvelables et de la vente de ses excédents à la société tunisienne de l'électricité et du gaz (JORT n°79 publié le 2 Octobre 2009).

Décret n° 2010-1521 du 21 juin 2010, modifiant et complétant le décret n°95-744(JORT n° 50 publié le 22 juin 2010), portant loi de finances pour la gestion 1995 relatifs à la fixation des listes des matières premières et des produits nécessaires à la fabrication des équipements utilisés dans la maîtrise de l'énergie ou dans le domaine des énergies renouvelables et des équipements utilisés dans la maîtrise de l'énergie ou dans le domaine des énergies renouvelables (JORT n°36 publié le 5 Mai 1995).

Outre, l'Etat a instauré une prime à la hauteur de 30% du coût total de l'installation des panneaux photovoltaïques avec un plafond de trois mille dinars (3 000 D) par kilowatt installé et de quinze mille dinars (15 000 D) par bâtiment solaire. Cette subvention est directement débloquée par l'ANME à la société installatrice après la réalisation du projet en question. Quant à la participation initiale du bénéficiaire de ce mécanisme, elle ne dépasse pas les 10% du coût de l'investissement et de l'exploitation.

#### L'isolation thermique

La circulaire du premier ministre n°02/1738 du 09 mai 2007 relatif à l'obligation de l'isolation thermique des terrasses des bâtiments publics.

Décret n° 2009-2617 du 14 septembre 2009, portant réglementation de la construction des bâtiments civils

#### Cadre réglementaire relatif à la maîtrise de l'énergie dans les bâtiments

La circulaire du premier ministre N°29 du 08 juin 2001 relative à l'obligation au recours à la production de l'eau chaude sanitaire par dans les l'énergie solaire dans les bâtiments publics.

La circulaire du premier ministre N°20 du 30 avril 2005 relative à la maîtrise de la consommation de l'énergie dans les administrations et les établissements publics.

La circulaire du premier ministre n°37 du 15 novembre 2006 fixant les périodes de climatisation et de chauffage dans les administrations et les établissements publics.

Arrêté du 23 juillet 2008 fixant les spécifications techniques minimales visant l'économie de l'énergie dans les bâtiments à usage de bureaux ou assimilés.

Arrêté conjoint du ministre de l'équipement, de l'habitat et de l'aménagement du territoire et du ministre de l'industrie, de l'énergie et des petites et moyennes entreprises du 1er juin 2009, fixant les spécifications techniques minimales visant l'économie dans la consommation d'énergie des projets de construction et d'extension des bâtiments à usage résidentiel.

## **Normes et Labels :**

### **Règlement Thermique RT**

Réglementation thermique. La RT 2012 fédère l'ensemble des règles obligatoires à observer lors de la construction des bâtiments. Elle est entrée en application depuis le 1er janvier 2011 pour les bâtiments publics et tertiaires privés (bureaux, commerces, entrepôts, etc.) et sera obligatoire à partir du 1er janvier 2013 pour tous les bâtiments résidentiels.

La Réglementation Thermique « Grenelle Environnement » 2012 (RT2012) veut limiter les consommations énergétiques des bâtiments neufs et des émissions de CO<sub>2</sub>. Le niveau de performance énergétique retenu est celui défini par le label BBC-Effinergie : une consommation d'énergie primaire (avant transformation et transport) en moyenne inférieure à 50 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>/an.

L'application de la RT 2012 promet une consommation globale d'énergie réduite et des besoins de chauffage divisés par 2 ou 3 grâce à une meilleure conception des bâtiments. Et ce, à travers la généralisation des techniques les plus performantes, des bâtiments mieux pensés et moins standardisés, et une véritable « analyse bioclimatique » dès les premiers stades de la conception. De grandes ambitions, à confirmer par des modalités de contrôle des résultats et de la mise en œuvre.

#### **Le label BBC-Effinergie concrètement**

2ème niveau du label Haute Performance Énergétique, le label BBC-Effinergie est un label de qualité certifiant des bâtiments neufs ayant une très faible consommation d'énergie (label BBC - arrêté du 8 mai 2007) et offrant un confort supérieur à la moyenne.

Pour une maison neuve, le label BBC Effinergie fixe un objectif de consommation d'énergie primaire de 50 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.an. Cette limite, modulée en fonction du climat de chaque région, prend en compte le chauffage, l'eau chaude sanitaire, les auxiliaires de chauffage et de ventilation, l'éclairage et la climatisation. L'étanchéité à l'air doit être inférieure à 0,6 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup> pour une maison individuelle et inférieure à 1 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup> pour un logement collectif.

Une maison ou un bâtiment BBC garantit à ses occupants une haute performance énergétique grâce à :

- une bonne isolation thermique,
- une bonne étanchéité à l'air,
- une ventilation mécanisée contrôlée optimisée,
- l'utilisation des énergies renouvelables pour le chauffage, le rafraîchissement et l'eau chaude sanitaire

Pour bénéficier du label BBC-Effinergie, une étude thermique du bâtiment doit être réalisée par un bureau d'étude. Un certificateur indépendant vérifie ensuite que la maison atteint bien les performances requises. Un test d'étanchéité à l'air sera également réalisé par un professionnel agréé.

#### **Le label BBC rénovation**

Depuis l'arrêté du 29 septembre 2009, les bâtiments rénovés peuvent également prétendre à la labellisation BBC.

Le seuil de consommation d'énergie primaire ne doit pas excéder 80 kWh/m<sup>2</sup> de SHON par an.

Il est également possible d'obtenir le label BBC si les travaux de rénovation permettent de réduire de 40% la consommation en énergie primaire par rapport aux exigences fixées par la RT 2005.

En rénovation, aucun seuil de perméabilité à l'air n'est fixé pour l'instant.

Les labels "haute performance énergétique"

Le label "haute performance énergétique" comporte 5 niveaux. Tous ces niveaux bénéficient d'une consommation d'énergie pour le chauffage, le refroidissement et l'eau chaude sanitaire, inférieure à la consommation de référence définie par la RT2005.

HPE 2005 - Consommation énergétique des logements inférieure d'au moins 10% par rapport à la RT2005.

THPE 2005 - Consommation énergétique des logements inférieure d'au moins 20% par rapport à la RT2005.

HPE EnR 2005 - label HPE 2005 avec des obligations supplémentaires d'installation d'équipements d'énergie renouvelable pour le chauffage, et éventuellement la production d'eau chaude sanitaire :

- chaudière utilisant la biomasse, et en particulier le bois.

THPE EnR 2005 - Consommation énergétique des logements inférieure d'au moins 30% par rapport à la RT2005, avec obligations d'installation d'équipements d'énergie renouvelable :

- capteurs solaires thermiques, capteurs photovoltaïques, éoliennes ou pompes à chaleur très performantes.

BBC 2005 : bâtiment basse consommation énergétique. Ce niveau vise une consommation très fortement inférieure à la consommation énergétique réglementaire avec :

- 50 kWh/m<sup>2</sup> en énergie primaire pour la consommation globale d'un logement (chauffage, refroidissement, production d'eau chaude, ventilation et éclairage), adaptable selon les zones climatiques de la RT2005 et l'altitude du projet de construction.

Le label BBC correspond au niveau A sur l'étiquette énergie, il entrera en vigueur à partir du 1er janvier 2013, actuellement, une maison conforme à la RT 2005 consomme en moyenne entre 91 et 150 kWh/m<sup>2</sup>.

### **Le label Haute Performance Énergétique rénovation**

Selon l'ADEME, fin septembre 2009, un arrêté est venu définir le contenu et les modalités d'application du label " haute performance énergétique rénovation " qui concerne tous les bâtiments achevés après 1948, sans condition minimale de surface ou de coûts de travaux. Les exigences de ce nouveau label, qui vient compléter le label Haute Performance Énergétique (HPE) mis en place pour les bâtiments neufs depuis mai 2007 sont les suivantes :

Pour les bâtiments d'habitation : niveau HPE rénovation 150 kWh/m<sup>2</sup>.an ; niveau BBC rénovation 80 kWh/m<sup>2</sup>.an

Pour les bâtiments non résidentiels : Créf-40% 1.

Le label Effinergie est attribué aux maisons individuelles qui répondent aux exigences du label Bâtiment Basse Consommation (BBC) avec en plus, l'obligation de réaliser une mesure d'imperméabilité à l'air.

Normes Tunisiennes :

- NT 30.203-3(2009) : Réseaux d'évacuation gravitaire à l'intérieur des bâtiments - Partie 3: Systèmes d'évacuation des eaux pluviales, conception et calculs
- NT 30.235-2(2010) : Construction immobilière - Expression des exigences de l'utilisateur - Partie 2: pureté de l'air
- NT 30.235-3(2010) : Construction immobilière - Expression des exigences de l'utilisateur - Partie 3: confort auditif
- NT 30.241(2010) : Normes de performance dans le bâtiment - contenu et format des normes pour l'évaluation des performances
- NT 61.51(2011) : Ventilation des bâtiments - Méthode de calcul des pertes d'énergie dues à la ventilation et aux infiltrations dans les bâtiments commerciaux
- NT 61.53(2011) : Ventilation des bâtiments - Calcul de la température des pièces, de la charge et de l'énergie pour les bâtiments équipés de système de conditionnement d'air
- NT 79.141(2011) : Performance thermique des bâtiments - Calcul des besoins d'énergie pour le chauffage et le refroidissement des locaux - Critères généraux et procédures de validation
- NT 31.317-2(2011) : Endiguement du feu - Éléments de construction - Partie 2: Conduits de ventilation de la cuisine
- NT 59.353(2011) : Ventilation des bâtiments - Procédures d'essai et méthodes de mesure pour la réception des installations de ventilation et de climatisation installées
- NT 61.15-7(2011) : Ventilation des bâtiments - Essais de performance des composants/produits pour la ventilation des logements - Partie 7: Essais de performance des centrales double flux (y compris la récupération de chaleur) pour les systèmes de ventilation mécaniques prévus pour des logements individuels

Normes nationales et internationales :

DIN 4108-2 : Protection thermique et économie d'énergie dans la construction immobilière - Partie 2: Exigences minimales à l'isolation thermique

• DIN 4108-3 : Protection thermique et économie d'énergie dans la construction immobilière - Partie 3: Protection contre l'humidité conditionnée par le climat; Exigences et directions pour le calcul et l'exécution

• DIN V 18599-4 : Performance énergétique des bâtiments - Calcul de la consommation nette et finale d'énergie et de l'énergie primaire pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation,

l'approvisionnement en eau chaude et l'éclairage - Partie 4: Consommation nette et finale d'énergie pour l'éclairage

- DIN V 18599-3 : Performance énergétique des bâtiments - Calcul de la consommation nette et finale d'énergie et de l'énergie primaire pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, l'approvisionnement en eau chaude et l'éclairage - Partie 3: Consommation nette d'énergie de climatisation

- DIN V 18599-2 : Performance énergétique des bâtiments - Calcul de la consommation nette et finale d'énergie et de l'énergie primaire pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, l'approvisionnement en eau chaude et l'éclairage - Partie 2: Consommation nette d'énergie pour le chauffage et le refroidissement des zones des bâtiments

- DIN V 18599 Beiblatt 1 : Performance énergétique des bâtiments - Calcul de la consommation nette et finale d'énergie et de l'énergie primaire pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, l'approvisionnement en eau chaude et l'éclairage - Supplément 1: Equilibrage de demande et de consommation

- DIN V 4108-4 : Isolation thermique et économie d'énergie en bâtiments immeuble - Partie 4: Valeurs de calcul hygrothermiques

- DIN V 4701-12 : Economie d'énergie des besoins en chaleur en énergie - Partie 12: Chauffage, eau chaude

**Les Factures :**

## Bibliographie

<http://www.24pm.fr/maison-ecologique>

<http://www.placo.fr/Conseils-et-Prescription/Conseils-reglementations/Isolation-thermique/Isolation-thermique-par-l-exterieur-ou-par-l-interieur2/Isolation-thermique-par-l-exterieur>

<http://www.placo.fr/Conseils-et-Prescription/Conseils-reglementations/Isolation-thermique/Isolation-thermique-par-l-exterieur-ou-par-l-interieur2/Isolation-thermique-par-l-exterieur>

<http://isolation.comprendrechoisir.com/comprendre/comparatif-isolants>

[http://www.notre-planete.info/ecologie/habitat/normes\\_labels.php](http://www.notre-planete.info/ecologie/habitat/normes_labels.php)

<http://pnq.industrie.gov.tn/energie/index.php/2009/05/faq-les-batiments-solaires/>

[http://www.made-in-tunisia.net/data/et\\_recherche.php?id\\_ps=257702&mode\\_recherche\\_et=ps](http://www.made-in-tunisia.net/data/et_recherche.php?id_ps=257702&mode_recherche_et=ps)

<http://www.mon-habitat-durable.fr/maison-ecologique/energies-renouvelables.php>

Ministère de l'équipement

ANME: Agence nationale de maîtrise de l'énergie

Spectra: Installateur de panneaux photovoltaïques

MIG service: Installateur de panneaux photovoltaïques

Biome Solar Industry – BSI: Installateur des chauffes eaux solaires

STEG : Société Tunisienne d'électricité et de gaz

Isolmax : Entreprise spécialisée dans la fabrication et la vente des produits d'isolation

Liège agglomérée : Entreprise spécialisée dans la fabrication et la vente de liège agglomérée