

REPUBLIQUE DU SENEGAL  
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



Gm.0502

Ecole Supérieure Polytechnique  
Centre de THIES

DEPARTEMENT GENIE MECANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR DE CONCEPTION

Titre : CONCEPTION ET REALISATION D'UN  
CHAUFFE-EAU SOLAIRE

Auteur : Alioune Diop SY  
Directeurs : Professeur Salif GAYE  
Professeur Alassane DIENE  
Professeur Ngor SARR

Président du Jury : Dr Mamadou SARR chef département Génie Civil

Année : 2006/2007

## **DEDICACES**

*A*

*Mon père Ibrahima SY*  
*Ma mère Ndeye Ami SENE*  
*Ma tata Socé DIOP*  
*Et à tous mes frères et soeurs*

## **REMERCIEMENT**

J'aimerais exprimer toute ma reconnaissance aux personnes qui ont contribué à l'accomplissement de ce travail. Plus particulièrement :

- Le Dr Salif GAYE, chef de département GEM, pour l'intérêt qu'il porte au sujet, son encadrement et son soutien continu et la mise à notre disposition de documents de base.
- Mr Alassane DIENE, Ingénieur chef atelier mécanique, pour l'intérêt qu'il porte au sujet, son encadrement et son soutien continu et la mise à notre disposition de documents de base et de moyens techniques, ainsi que sa grande disponibilité.
- Le Dr Mamadou SARR, chef de département GC, pour l'intérêt qu'il porte au sujet, son soutien continu et la mise à notre disposition de documents de base.
- Mr Mamadou SECK, agent à la CERER, pour l'aide bibliographique et la supervision de l'étude.
- Le Dr Ngor SARR, enseignant à l'ESP, pour son soutien dans la correction du document.
- Le Dr Ibrahima NDIAYE, enseignant à l'ESP, pour son soutien dans la correction du document.
- Mme FALL Aline GOMEZ, secrétaire du CSA de l'EPT, pour la mise à notre disposition de matériel d'impression.

## **SOMMAIRE**

Dans un contexte de hausse de coût et d'insuffisance de l'énergie, nous nous sommes proposés de répondre aux besoins en eau chaude sanitaire d'une famille de 15 personnes à un coût abordable ; ceci par le biais des énergies renouvelables du fait de leur disponibilité. Nous avons utilisés précisément l'énergie solaire.

Ce projet vise à contribuer, de manière pratique, à l'application des connaissances acquises ces trois dernières années par la conception et la réalisation d'un chauffe-eau solaire.

Une étude détaillée des besoins et des facteurs d'influences (saison, jour de la semaine, niveau de vie, etc.) de ceux-ci a permis d'en faire une évaluation précise. Nous avons ainsi pu déterminé la surface de l'insolateur et le volume du réservoir nécessaires. Et donc, après un choix judicieux des matériaux, nous avons fait le design de notre modèle de chauffe-eau.

Après cette étape de conception, nous avons réalisé et expérimenté notre chauffe-eau. Les tests menés sur notre produit permettent de constater l'efficacité de celui-ci. En effet, il répond aux exigences de fonctionnalité (température minimale de 50 °C au niveau du réservoir).

Une analyse économique a permis de voir la compétitivité de notre produit sur le marché solaire et sa plus grande rentabilité par rapport au chauffe-eau électrique.

Le contrôle du produit s'est fait à l'aide de thermocouple Chromel-Allumel. Nous avons ainsi tracé l'évolution de la température en fonction de l'heure à trois différents points (entrée capteur, sortie capteur et réservoir). Ces mesures ont été effectuées sur trois jours après vidange et remise en service. Pour l'étude économique nous avons utilisé le délai de récupération et le critère de la VAN.

**Mots-clés :** Energie ; renouvelable ; Chauffe-eau ; Solaire ; Conception ; Réalisation ;  
Insolateur ; Design ; Efficacité ; Expérimentation ; Thermocouple ; Température.

## TABLE DES MATIERES

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| LISTE DES SYMBOLES .....                                   | i   |
| LISTE DES FIGURES .....                                    | iii |
| LISTE DES TABLEAUX .....                                   | v   |
| ANNEXES .....                                              | v   |
| INTRODUCTION .....                                         | 1   |
| CHAPITRE I GENERALITES SUR LES CHAUFFE-EAUX SOLAIRES ..... | 3   |
| I.1 LES PHENOMENES PHYSIQUES MIS EN JEU .....              | 3   |
| I.1.1 La conduction .....                                  | 3   |
| I.1.2 La convection .....                                  | 4   |
| I.1.3 Transferts combinés .....                            | 6   |
| I.1.4 Le rayonnement .....                                 | 7   |
| I.1.5 L'effet de serre .....                               | 8   |
| I.1.6 L'effet thermosiphon .....                           | 9   |
| I.2 LE CAPTEUR .....                                       | 9   |
| I.2.1 Le Principe de fonctionnement .....                  | 10  |
| I.2.2 Les types de capteurs .....                          | 10  |
| I.2.3 Le choix d'un modèle de capteur .....                | 13  |
| I.3 LE RESERVOIR ET LES CANALISATIONS .....                | 14  |
| I.3.1 Le réservoir .....                                   | 14  |
| I.3.2 Les canalisations .....                              | 15  |
| I.4 BILAN THERMIQUE .....                                  | 15  |
| I.4.1 Mécanisme de pertes .....                            | 15  |
| I.4.1.1 Pertes par conduction .....                        | 15  |
| I.4.1.2 Pertes par convection .....                        | 16  |
| I.4.1.3 Pertes par réémission .....                        | 17  |
| I.4.1.4 Pertes par réflexion .....                         | 18  |
| I.4.1.5 Pertes totales .....                               | 18  |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.4.2 Calcul du rendement -----                                         | 18 |
| 1.5 MODE DE FONCTIONNEMENT D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE-----                | 20 |
| 1.5.1 Mode de circulation -----                                         | 20 |
| 1.5.1.1 Circulation naturelle (par thermosiphon) -----                  | 20 |
| 1.5.1.2 Circulation forcée (par pompe)-----                             | 21 |
| 1.5.2 Types de stockage -----                                           | 22 |
| 1.5.2.1 Stockage avec échangeur : système à deux fluides -----          | 22 |
| 1.5.2.2 Stockage sans échangeur : système à un fluide -----             | 22 |
| CHAPITRE II DIMENSIONNEMENT -----                                       | 23 |
| II.1 ETUDE DES BESOINS -----                                            | 23 |
| II.1.2.1 Besoins en fonction des habitants-----                         | 25 |
| II.1.2.2 Besoins en fonction des logements et des équipements -----     | 25 |
| II.2 CHOIX DES MATERIAUX -----                                          | 28 |
| II.2.1 Le vitrage -----                                                 | 28 |
| II.2.2 L'absorbeur et le serpentin -----                                | 29 |
| II.2.3 L'isolation -----                                                | 29 |
| II.2.4 Le cadre (ou coque) -----                                        | 29 |
| II.2.5 L'enveloppe intérieure du réservoir-----                         | 29 |
| II.3 DIMENSIONNEMENT DU CAPTEUR-----                                    | 30 |
| II.3.1 L'absorbeur-----                                                 | 30 |
| II.3.2 Le serpentin-----                                                | 30 |
| II.3.3 L'isolation -----                                                | 32 |
| II.3.4 La coque -----                                                   | 33 |
| II.4 DIMENSIONNEMENT DU RESERVOIR-----                                  | 33 |
| II.4.1 L'enveloppe intérieure -----                                     | 33 |
| II.4.2 L'isolant-----                                                   | 34 |
| II.4.2.1 Les pertes nocturnes q -----                                   | 34 |
| II.4.2.2 L'épaisseur e de l'isolant -----                               | 35 |
| II.5 APPLICATION : Cas particulier du domicile de la famille SARR ----- | 36 |
| II.5.1 Définition du cahier de charge-----                              | 36 |
| II.5.2 Dimensionnement du modèle -----                                  | 36 |
| II.5.3 Design du modèle-----                                            | 37 |
| CHAPITRE III REALISATION, INSTALLATION ET EXPERIMENTATION -----         | 41 |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| III.1 REALISATION -----                                           | 41 |
| III.1.1 Réalisation du capteur-----                               | 41 |
| III.1.2 Réalisation du réservoir-----                             | 41 |
| III.2 INSTALLATION -----                                          | 42 |
| III.2.1 Implantation du capteur-----                              | 42 |
| III.2.2 Raccordement de la tuyauterie-----                        | 42 |
| III.3 ETUDE EXPERIMENTALE -----                                   | 43 |
| III.3.1 PRINCIPE DE L'ETUDE -----                                 | 43 |
| III.3.2 MONTAGE EXPERIMENTAL -----                                | 43 |
| III.3.3 RESULTATS ET INTERPRETATIONS-----                         | 44 |
| CHAPITRE IV ETUDE ECONOMIQUE -----                                | 53 |
| IV.1 EVALUATION ECONOMIQUE DU CHAUFFE-EAU SOLAIRE -----           | 53 |
| IV.1.1 Capteur plan -----                                         | 53 |
| IV.1.2 Réservoir de stockage -----                                | 54 |
| IV.1.3 Accessoires de plomberie -----                             | 54 |
| IV.1.4 Main d'œuvre et transport-----                             | 55 |
| IV.1.5 Prix de revient du chauffe-eau-----                        | 55 |
| IV.2 DELAI DE RECUPERATION DE L'INVESTISSEMENT (DRC) -----        | 56 |
| IV.3 COMPARAISON ENTRE LES CHAUFFE-EAUX SOLAIRE ET ELECTRIQUE- 57 |    |
| CONCLUSION -----                                                  | 58 |
| BIBLIOGRAPHIE-----                                                | 59 |
| WEBOGRAPHIE -----                                                 | 61 |
| ANNEXES -----                                                     | 8  |

## LISTE DES SYMBOLES

### Lettres latines

- $a$  : diffusivité thermique supposée constante en  $m^2.s^{-1}$   
 $A$  : surface de l'insolateur en  $m^2$   
 $A_b$  : aire du fond capteur  
 $A_e$  : la surface d'échange en  $m^2$ ;  
 $A_f$  : aire du fond et latérale du capteur  
 $C$  : besoins journaliers en kWh/j  
 $C_1 = 3,74 \times 10^8 W. \mu m^4/m^2$   
 $C_2 = 1,6729 \times 10^4 \mu m.K.$   
 $C_p$  : chaleur massique de l'eau  
 $D$  : diamètre serpentin en m  
 $e_i$  : épaisseur de l'isolation  
 $E$  : l'ensoleillement en kWh/m<sup>2</sup>.j  
 $e_a$  : épaisseur de l'absorbeur  
 $e_b$  : épaisseur du cadre  
 $e_i$  : désigne l'épaisseur de la couche i  
 $f$  : des besoins couverts pendant la période la plus défavorisée en %  
 $g$  : accélération de la pesanteur en m/s<sup>2</sup>  
 $h$  : coefficient d'échange convectif en  $W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$ ;  
 $H$  : distance entre les deux plans médians horizontaux du réservoir et du capteur en m  
 $h_j$  : le coefficient d'échange convectif relatif au fluide j  
 $J$  : coefficient global de pertes de charge dans les conduites de circulation  
 $M$  : émittance d'un corps  
 $m$  : masse d'eau  
 $M_o$  : émittance du corps noir  
 $P_{disponible}$  : pression disponible dans le réseau en mce  
 $P_r$  : pression résiduelle en mce  
 $P_u$  : puissance utile  
 $q$  : source de chaleur en  $W.m^{-3}$ .  
 $Q^B$  : désigne le débit de base de l'appareil desservi en l/s  
 $Q_u$  : quantité de chaleur  
Présenté par Alioune Diop SY  
2007

## Conception et Réalisation d'un chauffe-eau solaire ESP/THIES

$r_i$  : rayon intérieur du réservoir

$T$  : température en  $^{\circ}\text{C}$  ;

$t$  : variable temporelle en seconde en s ;

$T_1$  : température de la surface absorbante

$T_2$  : température de la surface inférieure du cadre

$T_e$  : température de la surface latérale du cadre

$T_i$  : température à la surface de l'isolant au niveau des flancs

$T_v$  : température de la vitre

$U$  : vitesse d'écoulement du fluide donnée par la formule en m/s

$V_s$  : volume de stockage

$x$  : variable d'espace en mètre en m

### Lettres grecques

$\Delta h$  : dénivellation entre le point de puisage et le point le plus bas de la canalisation

$\Delta T$  : la différence de température entre la surface de la paroi du solide et le fluide loin de la paroi en  $^{\circ}\text{C}$ .

$\varepsilon$  : émissivité

$\varepsilon_a$  : émissivité de l'absorbeur

$\varepsilon_v$  : émissivité de la vitre

$\zeta$  : longueur d'onde en  $\mu\text{m}$

$\eta_{\text{sys}}$  : rendement du système

$\theta$  : température absolue en K

$\lambda$  : conductivité thermique en  $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

$\lambda_a$  : conductivité thermique de l'absorbeur

$\lambda_{\text{air}}$  : conductivité thermique de l'air

$\lambda_b$  : conductivité thermique du cadre

$\lambda_i$  : la conductivité de la couche i

$\lambda_j$  : conductivité thermique de l'isolation

$\rho$  : masse volumique en  $\text{kg.m}^{-3}$  .

$\rho_c$  : masse volumique de l'eau chaude en  $\text{kg/m}^3$

$\rho_f$  : masse volumique de l'eau froide en  $\text{kg/m}^3$

$\rho_m$  : masse volumique moyenne de l'eau en  $\text{kg/m}^3$

$\sigma = 5,6697 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$  : constante de STEFAN-BOLTZMANN

## LISTE DES FIGURES

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure I-1 : Conduction à travers un mur .....                                                                 | 4  |
| Figure I-2 : Convection au niveau de la surface d'un mur .....                                                 | 5  |
| Figure I-3 : Conduction et convection combinées.....                                                           | 6  |
| Figure I-4 : Spectre d'émission du soleil [1] .....                                                            | 8  |
| Figure I-5 : Description schématique de l'effet de serre .....                                                 | 9  |
| Figure I-6 : Capteur plan vitré .....                                                                          | 11 |
| Figure I-7 : Capteur non vitré.....                                                                            | 12 |
| Figure I-8 : Capteur sous vide .....                                                                           | 13 |
| Figure I-9 : Modèle de capteur plan vitré.....                                                                 | 14 |
| Figure I-10 : Mécanisme de pertes .....                                                                        | 15 |
| Figure I-11 : Perte par convection .....                                                                       | 17 |
| Figure I-12 : Rendement d'un insolateur à absorbeur peint en noir,.....                                        | 19 |
| Figure I-13 : Fonctionnement en thermosiphon .....                                                             | 20 |
| Figure I-14 : Fonctionnement avec circulateur.....                                                             | 21 |
| Figure I-15 : Stockage avec échangeur.....                                                                     | 22 |
| Figure I-16 : Stockage sans échangeur.....                                                                     | 22 |
| Figure II-1 : Variation de la consommation d'eau chaude en .....                                               | 23 |
| Figure II-2 : Variation de la consommation d'eau chaude en fonction des jours et l'heure<br>de la journée..... | 24 |
| Figure II-3 : Schéma de l'absorbeur .....                                                                      | 31 |
| Figure II-4 : Vue partielle de l'isolation du capteur .....                                                    | 32 |
| Figure II-5 : Répartition des températures autour de l'isolation de réservoir .....                            | 34 |
| Figure II-6 : Planning d'utilisation de l'eau chaude .....                                                     | 36 |
| Figure II-7 : Vue éclatée du capteur .....                                                                     | 38 |
| Figure II-8 : Vue en coupe du réservoir .....                                                                  | 39 |
| Figure III-1 : Bouchon avec thermocouple (sortie capteur).....                                                 | 44 |
| Figure III-2 : Bouchon avec thermocouple (réservoir).....                                                      | 44 |
| Figure III-3 : Graphe de températures pour le mercredi.....                                                    | 46 |
| Figure III-4 : Graphe de températures pour le Jeudi .....                                                      | 47 |
| Figure III-5 : Graphe de températures pour le vendredi.....                                                    | 48 |
| Figure III-6 : Graphe de températures en entrée capteur.....                                                   | 49 |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Figure III-7 : Graphe de températures au niveau du réservoir ..... | 50 |
| Figure III-8 : Graphe de températures en sortie capteur.....       | 51 |

## LISTE DES TABLEAUX

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau II-1 : Besoins journalier par personne en l/j .....                    | 25 |
| Tableau II-2 : Besoins d'eau chaude par équipement sanitaire.....              | 26 |
| Tableau II-3 : Dimensions de base du modèle .....                              | 36 |
| Tableau III-1 : Relevés de températures.....                                   | 44 |
| Tableau IV-1 : Evaluation du prix de revient du capteur .....                  | 53 |
| Tableau IV-2 : Evaluation du prix de revient du réservoir.....                 | 54 |
| Tableau IV-3 : Evaluation du prix de revient des accessoires de plomberie..... | 54 |
| Tableau IV-4 : Coûts supplémentaires .....                                     | 55 |
| Tableau IV-5 : Prix de revient de notre chauffe-eau .....                      | 55 |

## ANNEXES

|                                                                                                                                                          |   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| ANNEXE 1 : VARIATION DES FACTEURS DE REFLEXION, DE TRANSMISSION<br>ET D'ABSORPTION DU VERRE ORDINAIRE EN FONCTION DE L'INCIDENCE DU<br>FLUX SOLAIRE..... | a |
| ANNEXE 2 : CLASSIFICATION PAR FORME DES SERPENTINS [1].....                                                                                              | b |
| ANNEXE 3 LISTE ISOLANTS.....                                                                                                                             | c |
| ANNEXE 4 MISE A L'EPREUVE DU RESERVOIR (enveloppe interne) .....                                                                                         | d |
| ANNEXE 5 Dessins de définition du modèle .....                                                                                                           | l |
| ANNEXE 6 LA REALISATION EN IMAGE .....                                                                                                                   | m |
| ANNEXE 7 THERMOCOUPLE .....                                                                                                                              | v |

*Conception et Réalisation d'un chauffe-eau solaire*  
*ESP/THIES*

*Présenté par Alioune Diop SY*  
*2007*

vi

2006 /

## INTRODUCTION

Actuellement, l'un des défis majeurs mondiaux est la maîtrise de l'énergie du fait que l'énergie pétrolière, qui se trouve être la plus utilisée, devient de plus en plus chère et tend à se raréfier. De plus l'utilisation du pétrole comporte des risques pour l'environnement. C'est pourquoi dans le souci d'économiser de l'énergie et de limiter l'émission des gaz à effet de serre, on trouve une grande motivation à s'orienter vers les énergies dites renouvelables telles que le soleil, le vent, l'eau et la biomasse qui sont inépuisables grâce au cycle naturel. L'énergie solaire est utilisée depuis longtemps pour répondre à un certain nombre de besoins thermiques, notamment, le séchage, la cuisson, le chauffage de l'eau domestique et de piscines, le dessalement des eaux saumâtres, la stérilisation et la réfrigération.

L'eau chaude sanitaire constitue un volet important dans la recherche de confort des personnes. Cependant, son obtention demande une quantité d'énergie considérable. Nous adopterons donc la solution du chauffe-eau solaire compte tenu de ses avantages économiques et environnementaux plutôt que les systèmes à accumulation ou thermodynamique.

Ce projet vise à mettre en place un chauffe-eau solaire pour usage domestique répondant au besoin quotidien en eau chaude sanitaire à un coût abordable.

Une analyse des capteurs existants et une évaluation des propriétés thermiques des matériaux constitutifs complétées par une étude économique permettront de proposer un modèle de chauffe-eau qui convient face aux exigences précédemment citées.

Pour ce faire, nous ferons cette étude en évoquant dans un premier temps quelques généralités sur les chauffe-eaux (principe général, capteur, réservoir, etc.), ensuite nous procéderons au dimensionnement des différents constituants, la réalisation constituera la dernière partie.



# **CHAPITRE I GENERALITES SUR LES CHAUFFE-EAUX SOLAIRES**

## CHAPITRE I GENERALITES SUR LES CHAUFFE-EAUX SOLAIRES

### I.1 LES PHENOMENES PHYSIQUES MIS EN JEU

Le chauffe-eau solaire est une unité de production d'eau chaude à partir du rayonnement solaire. Ce système se compose d'un capteur solaire, généralement placé sur les toitures, qui capte l'énergie solaire pour élever la température de l'eau présente dans une tubulure le parcourant et d'un réservoir permettant de stocker l'eau chaude. Son fonctionnement repose sur le principe de l'effet de serre.

L'échange thermique est un transfert d'énergie sous forme microscopique désordonnée. Il intervient lorsque deux corps sont à des températures différentes. Il existe trois modes de transfert de chaleur : la conduction, la convection et le rayonnement.

Dans ce paragraphe, nous nous proposons de donner quelques rappels sur ces phénomènes qui sont à la base du principe des chauffe-eau solaires.

#### I.1.1 La conduction

C'est le mode de transfert de chaleur dans un corps solide. Il obéit à la loi de Fourier qui stipule que la densité de flux de chaleur est proportionnelle au gradient de température.

Cette loi s'écrit, pour la conduction 1D :

$$\vec{\varphi} = -\lambda \cdot \overrightarrow{\text{grad}T} \quad (1)$$

$$\Rightarrow \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \Delta T = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

où

$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \times c}$  désigne la diffusivité thermique supposée constante en  $m^2.s^{-1}$  ;

$T$  : la température du point M du corps en  $^{\circ}C$  ;

$t$  : la variable temporelle en seconde en s ;

$x$  : la variable d'espace en mètre en m ;

$\lambda$  : la conductivité thermique en  $W.m^{-1}.K^{-1}$  , c'est une grandeur physique qui caractérise la capacité des matériaux à résister au passage de la chaleur ;

Présenté par Alioune Diop SY

3

2006 /

2007

$\rho$  : la masse volumique en  $kg.m^{-3}$ .

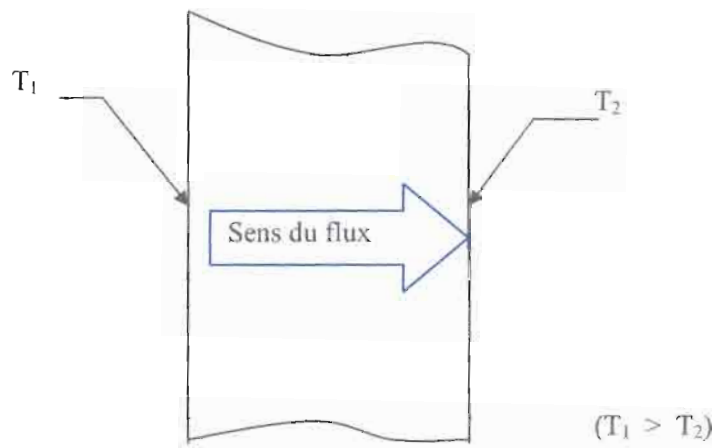


Figure I-1 : Conduction à travers un mur.

Dans le cas d'une conduction avec source interne de chaleur, l'équation (2) devient :

$$\Delta T - \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{q}{\lambda} = 0 \quad (3)$$

où

$q$  représente la source de chaleur en  $W.m^{-3}$ .

### I.1.2 La convection

C'est un échange de chaleur entre une surface d'un solide et un fluide, les deux étant à des températures différentes.

On distingue essentiellement deux types de convection : la convection naturelle et la convection forcée.

a) La convection naturelle :

Aussi appelée convection libre, elle caractérise le mode de transfert où le fluide se déplace sous l'effet de la variation de masse volumique.

b) La convection forcée :

La convection est dite forcée lorsque le mouvement du fluide est imposé par un élément extérieur (pompe, ventilateur, ...).

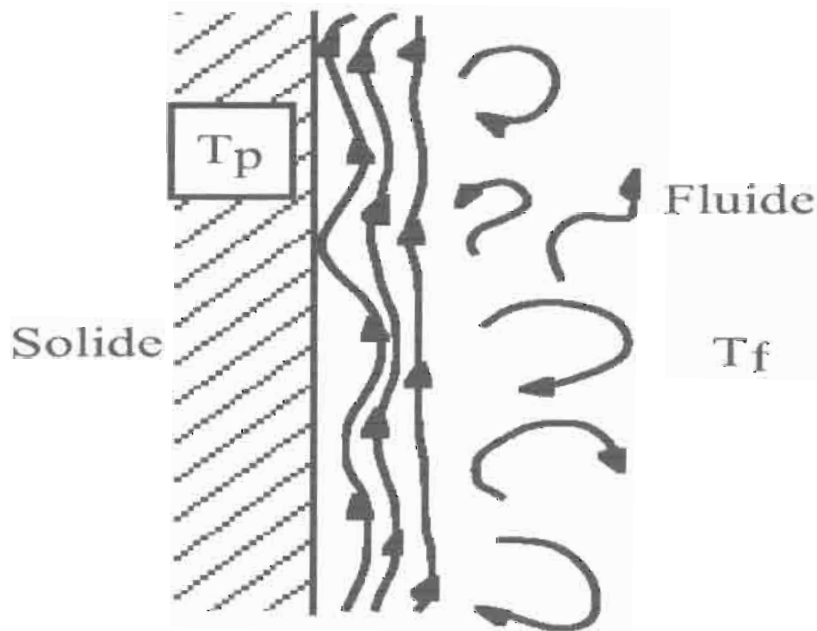


Figure I-2 : Convection au niveau de la surface d'un mur

Ce mode de transfert de chaleur met en jeu une quantité de chaleur  $Q_c$  (en  $W$ ) qui est donnée par la formule de NEWTON-RIEMANN :

$$Q_c = h \times A_e \times \Delta T \quad (4)$$

où

$h$  : représente le coefficient d'échange convectif en  $W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$ ;

$A_e$  : la surface d'échange en  $m^2$ ;

$\Delta T$  : la différence de température entre la surface de la paroi du solide et le fluide loin de la paroi en  $^{\circ}C$ .

Notons que  $h$  se détermine par l'intermédiaire de corrélations empiriques faisant intervenir des nombres adimensionnels déterminés à partir des propriétés du fluide, que l'on ne traitera pas dans ce projet.

### I.1.3 Transferts combinés

En général la conduction se combine à la convection faisant ainsi intervenir un facteur appelé coefficient global d'échange de chaleur.

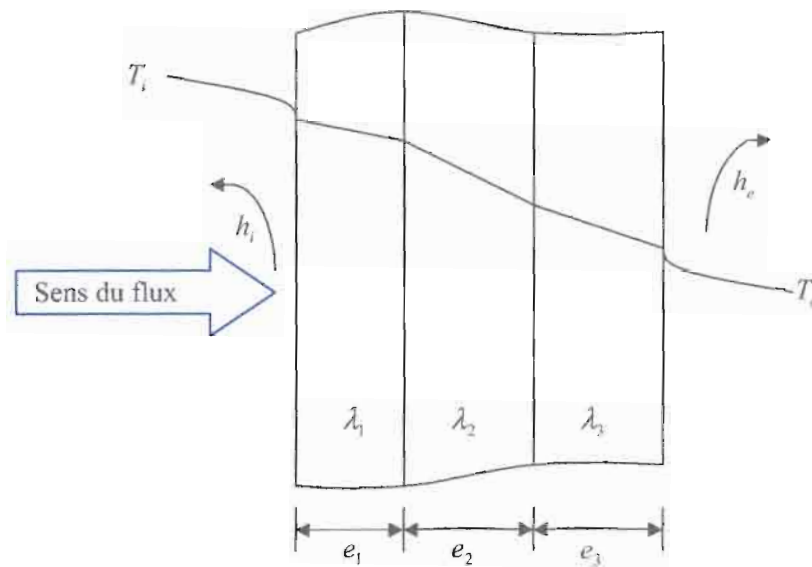


Figure I-3 : Conduction et convection combinées

Pour une paroi constituée de n couches, ce coefficient, souvent noté  $h_{eq}$ , est donné par la relation :

$$h_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_e}} \quad (5)$$

où

$e_i$  : désigne l'épaisseur de la couche i

$\lambda_i$  : la conductivité de la couche i

$h_j$  : le coefficient d'échange convectif relatif au fluide j

Ainsi, la quantité de chaleur transmise s'écrit :

$$Q = h_{eq} \times A_e \times (T_i - T_e) \quad (6)$$

### 1.1.4 Le rayonnement

Contrairement aux autres formes de transfert de chaleur, le rayonnement est un mode d'échange thermique entre deux corps séparés par le vide ou par un milieu non matériel, par le biais d'ondes électromagnétiques.

Dans cette étude, nous nous intéressons particulièrement au rayonnement solaire.

Cependant, nous allons rappeler quelques notions sur le rayonnement thermique.

#### a) Le corps noir :

C'est un concept théorique qui désigne un corps qui absorbe tout rayonnement qui lui parvient, il ne réfléchit et ne transmet rien.

L'énergie émise par un corps noir est donnée par la relation de STEFAN-BOLTZMANN :

$$Q = \sigma \times A_e \times T^4 \quad \text{en } W \quad (7)$$

avec

$\sigma = 5,6697 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$  est la constante de STEFAN-BOLTZMANN ;

$A_e$  : surface d'échange en  $\text{m}^2$  ;

$T$  : température absolue en  $K$ .

On définit aussi :

- L'émittance  $M$  qui représente la puissance émise par unité de surface sur toute la gamme de longueur d'ondes. L'émittance spectrale  $M_{\theta,\lambda}$  d'un corps réel est inférieure à celle du corps noir, elle est donnée par la loi de PLANCK :

$$M_{\theta,\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \times (e^{C_2/\lambda\theta} - 1)} \quad \text{en } W.m^2 \quad (8)$$

avec :

$\lambda$  = longueur d'onde en  $\mu\text{m}$  ;

$\theta$  = température absolue en Kelvin (K) ;

$C_1 = 3,74 \times 10^8 \text{ W.}\mu\text{m}^4/\text{m}^2$  ;

$C_2 = 1,6729 \times 10^4 \mu\text{m.K}$ .

- L'émissivité  $\varepsilon$  est le rapport entre l'émittance  $M$  d'un corps et l'émittance  $M_0$  du corps noir à la même température, on a :

$$\varepsilon = \frac{M}{M_0} \quad (9)$$

L'émittance du corps noir est donné par :  $M_0 = \sigma.T^4$

#### b) Le rayonnement solaire :

Situé à environ 150 millions de kilomètres de la terre, le soleil est une étoile de 750 000 km de rayon qui émet  $3,85.10^{26}$  W par seconde. Son rayonnement est un rayonnement électromagnétique assimilé à celui d'un corps noir à 5770 K. Il rayonne suivant des longueurs d'ondes principalement comprises entre 0,3 et 3 micromètres.

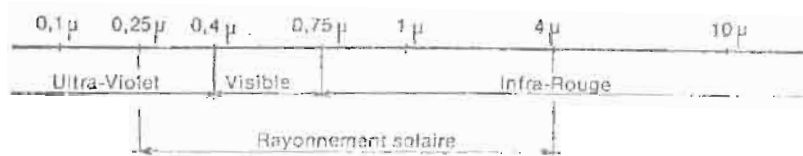


Figure I-4 : Spectre d'émission du soleil [1]

L'éclairement énergétique ou irradiance défini par le flux de rayonnement électromagnétique, par unité de surface, incident sur un plan donné, dépend de plusieurs facteurs : la saison, l'heure, la latitude du lieu considéré, l'altitude de ce lieu, mais surtout de l'état de l'atmosphère et de l'angle d'incidence.

On définit aussi la constante solaire comme étant l'éclairement énergétique d'une surface normale aux rayons solaires et située à la limite de l'atmosphère. Sa valeur est estimée à  $1353 \text{ W/m}^2$ .

### 1.1.5 L'effet de serre

Une grande partie de l'énergie solaire est retenue par l'atmosphère et certains gaz qui y sont présents, ceci permet d'avoir à la surface de la terre une température moyenne de  $15^\circ\text{C}$  au lieu de  $-18^\circ\text{C}$  en l'absence de l'atmosphère.

Ce phénomène naturel de réchauffement est appelé l'effet de serre. Il a favorisé la vie sur notre planète.

Mais avec l'évolution industrielle, l'homme rejette une grande quantité de gaz dit gaz à effet de serre car participant à la rétention des rayons solaires. Parmi ces gaz on a principalement :

- les gaz non artificiels tels que : la vapeur d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ), le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), le méthane ( $\text{CH}_4$ ), le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ) et l'ozone ( $\text{O}_3$ ) ;
- les gaz industriels tels que : les chlorofluorocarbones (CFC) et HCFC-22 comme le fréon, le perfluorométhane et l'hexafluorure de soufre ( $\text{SF}_6$ ).

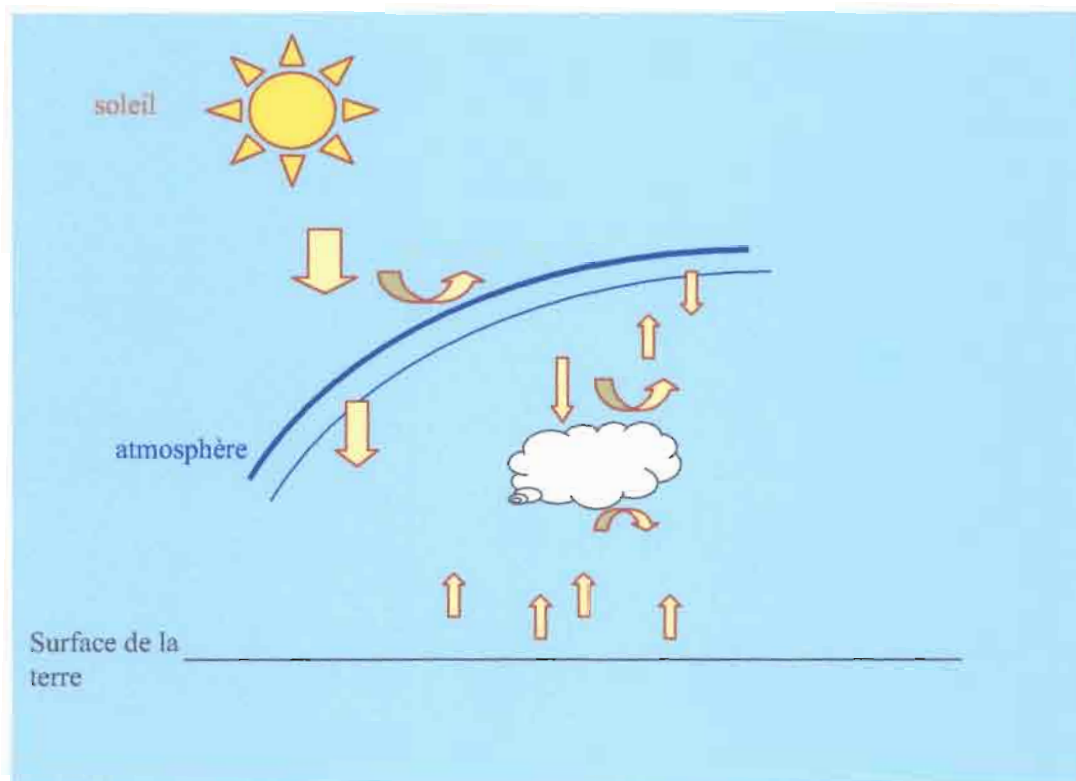


Figure I-5 : Description schématique de l'effet de serre

### I.1.6 L'effet thermosiphon

C'est la circulation naturelle d'un liquide dans une installation du fait de la variation de sa masse volumique en fonction de la température. Dans un chauffe-eau solaire en thermosiphon, le liquide caloporteur réchauffé dans les capteurs solaires se dilate, et, plus léger, monte vers le ballon de stockage. Il est remplacé par le liquide froid descendant du ballon.

## I.2 LE CAPTEUR

De constitution simple, le capteur est l'élément par l'intermédiaire duquel le rayonnement solaire est piégé. Cette énergie est ensuite transmise au fluide caloporteur (ici l'eau).

### **I.2.1 Le Principe de fonctionnement**

Le capteur solaire est constitué généralement d'un cadre, d'une tôle inférieure peinte en noire mate (absorbeur), d'une tubulaire (serpentin), d'une isolation, d'un couvercle transparent (vitrage).

Le rayonnement solaire est transmis par le vitrage à l'absorbeur qui s'échauffe et rayonne à son tour sous de grandes longueurs d'ondes. Ces dernières émissions emprisonnées par le vitrage contribuent à l'échauffement de l'absorbeur. Ainsi cette chaleur est transmise, par le biais du serpentin, à l'eau qui transporte la chaleur vers le réservoir de stockage.

### **I.2.2 Les types de capteurs**

Compte tenu des utilisations différentes, les besoins en eau chaude sont caractérisés par une température et un volume. Pour répondre à la diversité des demandes plusieurs types de capteurs ont été élaborés.

Ainsi, on peut les classer selon les plages de température d'utilisation ou selon le fluide utilisé (eau ou air).

On peut les répartir en trois groupes : les capteurs plans vitrés, les capteurs non vitrés et les capteurs sous vides.

#### **a) Les capteurs plans vitrés :**

Ils sont appropriés pour le chauffage de l'eau et sont indiqués pour les températures de l'eau de 30° à 60° C.



Figure I-6 : Capteur plan vitré

Pouvant être intégrés dans les toits en pente et à des façades ou posés sur des toits plats et sur le sol, ces capteurs sont très répandus dans les logements et bâtiments de service. Ils ont une durée de vie estimée à environ 20 ans.

b) Les capteurs non vitrés :

Dans cette catégorie, on dénote les capteurs métalliques et les capteurs synthétiques.

- Capteurs métalliques : Indiqués pour le chauffage des piscines et le préchauffage de l'eau chaude sanitaire, ils sont utilisés pour des températures entre 10° et 40° C.
- Capteurs synthétiques : Ils sont indiqués pour des applications nécessitant de basses températures par exemple le chauffage des piscines. Pouvant être installés sur les toits plats ou inclinés, leur durée de vie est estimée à 30 ans.

Il est à noter qu'une protection contre le vent accroît leur efficacité. En effet, les pertes de chaleur sont trop importantes du fait de l'absence de vitrage et d'isolation.

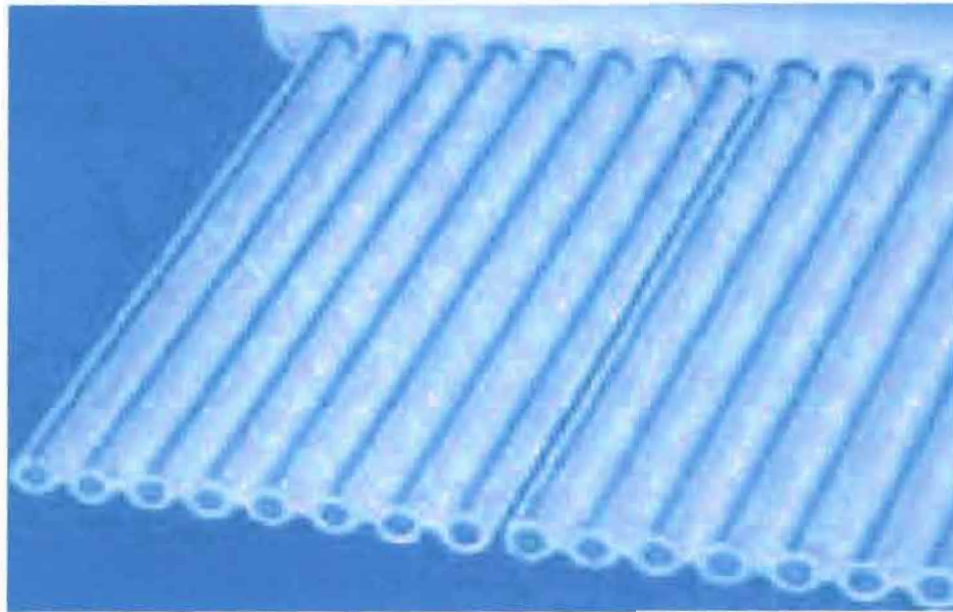


Figure I-7 : Capteur non vitré

c) Les capteurs sous vide :

Appropriés aussi bien pour les techniques que pour le chauffage de l'eau et le chauffage d'appoint, ce type de capteur utilise le vide comme isolation thermique pour minimiser les pertes de chaleur et donc permet d'augmenter le rendement (entre 50% et 70%). Ils comportent aussi des réflecteurs en métal ou en verre pour augmenter le facteur de concentration sur l'absorbeur. Ils peuvent ainsi fournir des températures jusqu'à 150°C. Cependant, il ne faut pas perdre de vue que ces capteurs sont très fragiles et que la moindre fissure sur le tube élimine son principal avantage. Il existe peu de manufacturiers et de fournisseurs pour ce type de capteur.

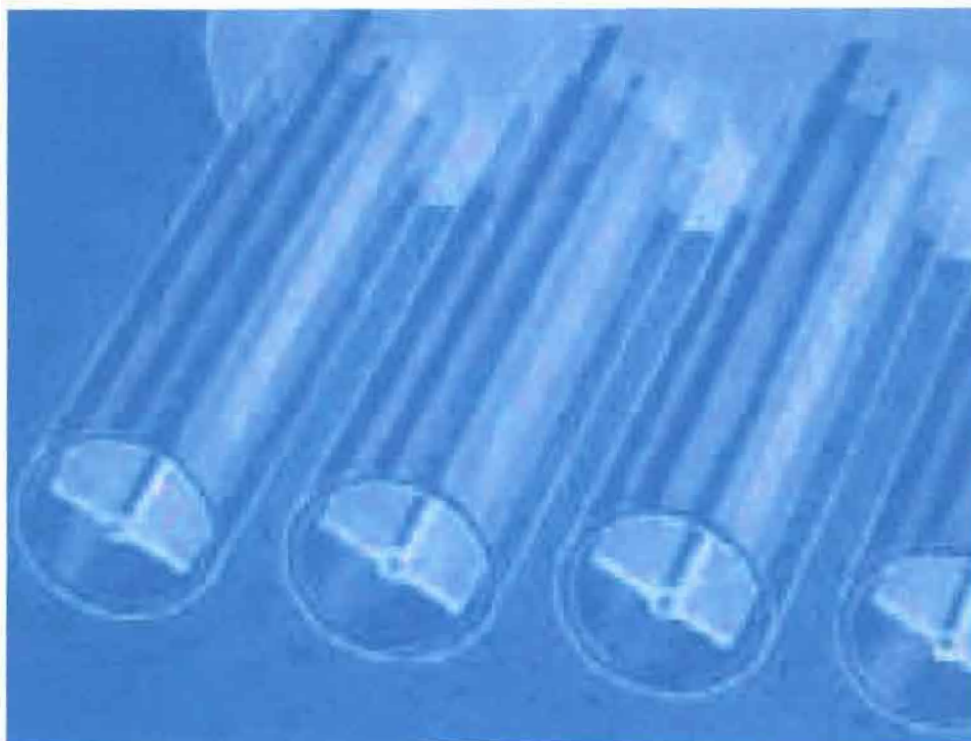


Figure I-8 : Capteur sous vide

### I.2.3 Le choix d'un modèle de capteur

Compte tenu de nos besoins (alimentation en eau chaude sanitaire) et des caractéristiques des différents capteurs existants, notre choix porte sur le capteur plan vitré.

La figure ci-après nous donne une idée générale de sa constitution.

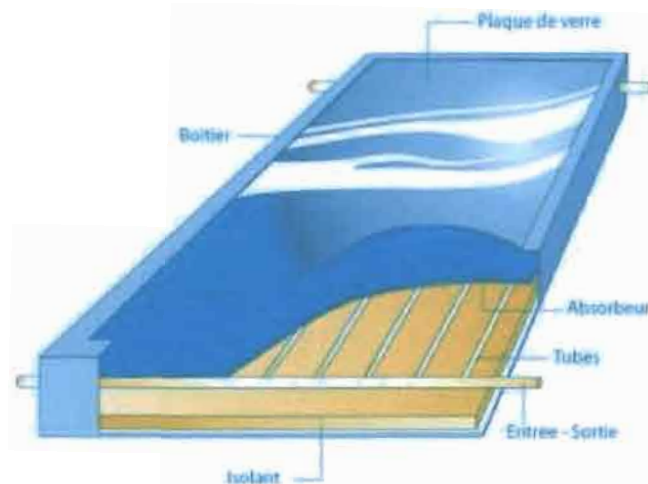


Figure I-9 : Modèle de capteur plan vitré

### **I.3 LE RESERVOIR ET LES CANALISATIONS**

On distingue deux modes de production d'eau chaude : la production instantanée et la production par accumulation. La première peu fréquente et très coûteuse, nous choisissons la seconde méthode qui consiste à produire et à stocker l'eau chaude. Et donc pour le convoyement et le stockage, le réservoir et les canalisations devront répondre à certaines exigences que nous tenterons de résumer dans les paragraphes suivants.

#### **I.3.1 Le réservoir**

Le réservoir devra être à mesure de subvenir aux besoins journaliers de l'habitation tant en terme de température d'utilisation désirée qu'en terme de quantité souhaitée. Il est à noter cependant que la température de stockage est différente de celle d'utilisation du fait des pertes occasionnées selon le type de montage. Il devra en outre résister à la pression du liquide qui souvent ne dépasse pas 2 bars [1].

### I.3.2 Les canalisations

Pour la circulation de l'eau entre l'insolateur, le réservoir et le point d'utilisation, on a les canalisations qui sont siège de pertes de chaleur. Pour vaincre ces déperditions thermiques, on a besoin d'un bon calorifugeage du circuit de canalisation. Cette dernière tient compte du type de circulation (naturelle par thermosiphon ou forcée par une pompe), de la longueur de circuit et des températures désirées.

## I.4 BILAN THERMIQUE

### I.4.1 Mécanisme de pertes

L'ensemble des pertes est résumé à la figure 10.

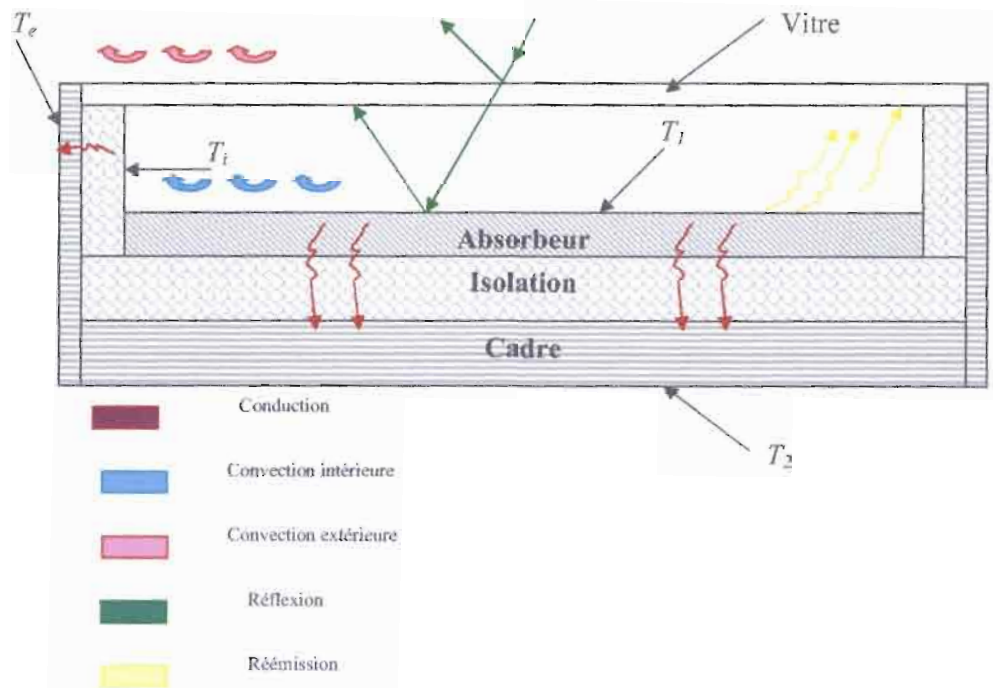


Figure I-10 : Mécanisme de pertes

#### I.4.1.1 Pertes par conduction

Observées sur la face arrière et sur les cotés de l'insolateur, les pertes par conduction sont données par la relation [2]:

$$Q_c = \frac{T_i - T_e}{\frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{e_b}{\lambda_b} + \frac{e_a}{\lambda_a}} \times A_b + \frac{T_1 - T_2}{\frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{e_b}{\lambda_b}} \times A_f \quad (10)$$

$A_b$  et  $A_f$  sont respectivement les aires du fond et latérale du capteur

$e_i$  et  $\lambda_i$  sont respectivement l'épaisseur et la conductivité thermique de l'isolation

$e_b$  et  $\lambda_b$  l'épaisseur et la conductivité thermique du cadre.

$e_a$  et  $\lambda_a$  l'épaisseur et la conductivité thermique de l'absorbeur

$T_1$  : température de la surface absorbante

$T_2$  : température de la surface inférieure du cadre

$T_e$  : température de la surface latérale du cadre

$T_i$  : température à la surface de l'isolant au niveau des flancs

Remarque :

Le premier terme représente les pertes sur le bas et le second terme celles sur les flancs.

Notons cependant, que dans cette formule il est supposé qu'on a le même isolant sur toutes les faces.

#### I.4.1.2 Pertes par convection

On note deux cas de convection : en dessous de la vitre (entre vitre et absorbeur) et celle au dessus comme représenté à la figure I.11.

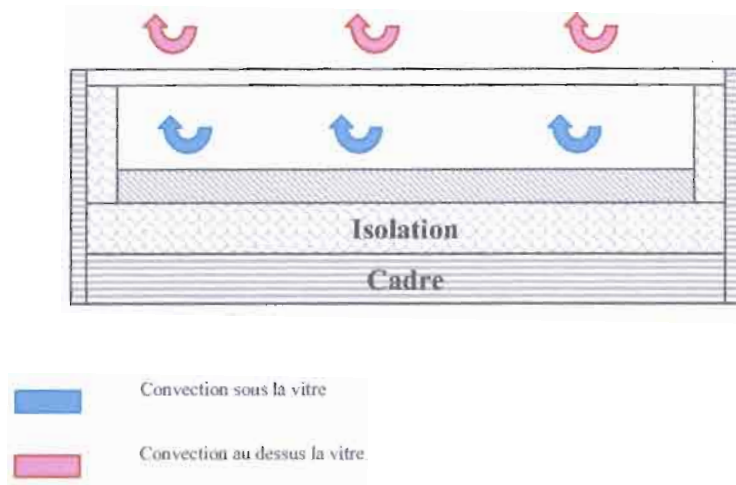


Figure I-11 : Perte par convection

Ces pertes correspondent au transfert de chaleur par conduction dans l'air entre l'absorbeur et la vitre distants de  $e$ . Elles sont alors données par la relation :

$$Q_{cv} = \frac{\lambda_{air}}{e} (T_1 - T_v) \quad (11)$$

Où  $\lambda_{air}$  est la conductivité thermique de l'air,  $T_1$  et  $T_v$  sont respectivement les températures de l'absorbeur et de la vitre.

Remarque :

Pour réduire ces pertes, on a deux alternatives :

- ✓ réduire  $\lambda_{air}$  c'est à dire remplacer l'air par un autre gaz par exemple le dioxyde de carbone
- ✓ augmenter  $e$

L'augmentation de l'espacement semble plus facile mais se trouve être inefficace du fait de la convection.

#### I.4.1.3 Pertes par réémission

Cette quantité notée  $Q_r$  est obtenue par le biais de la relation suivante [2]:

$$Q_r = \frac{\sigma_0 \times S \times (T_1^4 - T_v^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_v} - 1} \quad (12)$$

Où :

$T_f$  et  $\varepsilon_f$  représentent respectivement la température et l'émissivité de l'absorbeur

$T_v$  et  $\varepsilon_v$  représentent respectivement la température et l'émissivité de la vitre

Remarque :

Un vitrage multiple permet de réduire la réémission (cf. Figure I.12). Soulignons par ailleurs que, dans ce cas, la première vitre doit être placée à 28 mm environ de l'absorbeur puis l'interface entre les autres à 15 mm. Seule la vitre supérieure sera à fixer rigidement, pour les autres on devra prévoir un jeu de 2 mm pour leur permettre de se dilater librement.

#### I.4.1.4 Pertes par réflexion

Elles s'observent au niveau du couvercle transparent et de l'absorbeur.

Le verre ordinaire réfléchit 7 à 8% du rayonnement incident et la peinture noire mate en réfléchit 2 à 6% [3].

On a alors :

$$Q_{rf} = (\rho + 0,61 \times \alpha) \times E \times S + 0,006 \times E \times S \quad (13)$$

Le premier terme représente la réflexion du vitrage et le second celle de l'absorbeur. Les coefficients  $\alpha$  et  $\rho$  sont donnés par la courbe à l'annexe I.

#### I.4.1.5 Pertes totales

Les pertes totales notées  $Q_T$  est la somme de l'ensemble des pertes évaluées dans ces paragraphes.

Et donc, on a :

$$Q_T = Q_c + Q_{cv} + Q_e + Q_{rf} \quad (14)$$

#### I.4.2 Calcul du rendement

Il dépend de l'ensoleillement et de l'écart de température entre le milieu ambiant et l'absorbeur, ainsi que des vents (qui favorisent les pertes par convection).

Il est donné par :

$$\eta = 1 - \frac{Q_r}{EA} \quad (15)$$

avec :

A : surface de l'insolateur en  $m^2$  ;

E : l'ensoleillement en  $kWh/m^2$ .

La figure ci-après est un récapitulatif du rendement des capteurs en fonction de la température [1].

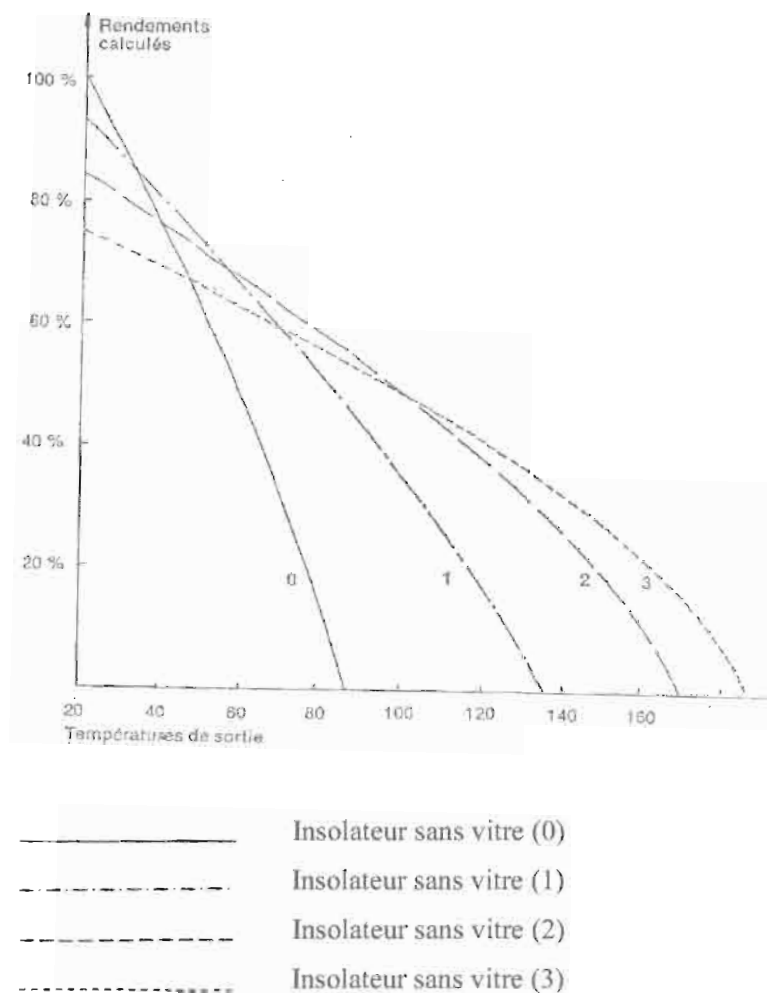


Figure I-12 : Rendement d'un insolateur à absorbeur peint en noir,  
sous un rayonnement de  $1\,000\text{ W/m}^2$

## I.5 MODE DE FONCTIONNEMENT D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE

### I.5.1 Mode de circulation

#### I.5.1.1 Circulation naturelle (par thermosiphon)

La mise en mouvement du fluide se fait par le principe de thermosiphon décrit au paragraphe I.1.6 à la page 8.

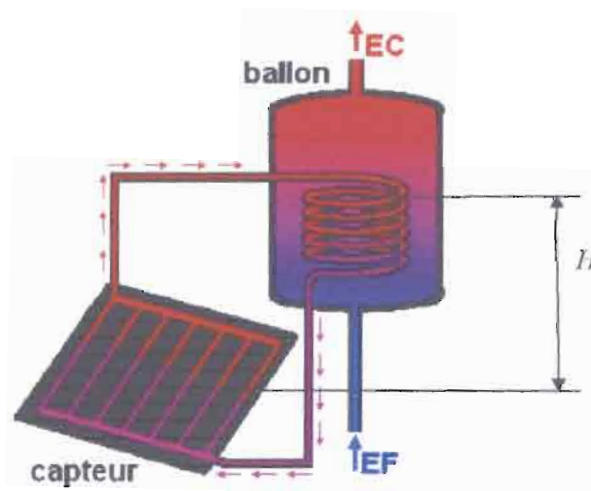


Figure I-13 : Fonctionnement en thermosiphon

Le mouvement du fluide est caractérisé par la relation suivante [4]:

$$H \times g \times (\rho_f - \rho_c) = \frac{f \times U^2}{2} \times \rho_m \quad (16)$$

avec :

$H$  distance (en mètre) entre les deux plans médians horizontaux du réservoir et du capteur. On a l'effet thermosiphon dès que  $H = 300$  mm.

$g$  accélération de la pesanteur en  $m/s^2$

$\rho_f$  masse volumique de l'eau froide en  $kg/m^3$

$\rho_c$  masse volumique de l'eau chaude en  $kg/m^3$

$\rho_m = \sqrt{\rho_f \times \rho_c}$  masse volumique moyenne de l'eau en  $\text{kg/m}^3$

$J$  coefficient global de pertes de charge dans la conduite de circulation

$U$  vitesse d'écoulement du fluide donnée par la formule

$$U^2 = \frac{2}{J} \times H \times \Delta T$$

$\Delta T$  différence de température entre le fluide chaud et le fluide froid

L'effet thermosiphon dépend donc de la charge  $H$  et la variation de température  $\Delta T$ .

### I.5.1.2 Circulation forcée (par pompe)

Dans ce cas la circulation devient plus souple et donc on a moins de contraintes pour le dimensionnement de l'échangeur de chaleur. Comme la circulation est forcée, le parcours des tubes dans le capteur n'a pas grande importance, contrairement à l'exemple ci-dessus.

La bonne circulation du fluide devient indifférente à la position du réservoir. (cf figure I.14)

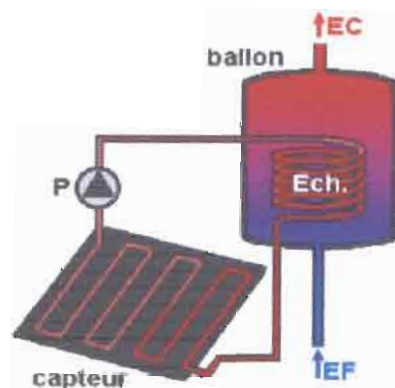


Figure I-14 : Fonctionnement avec circulateur

Le circulateur ne fonctionne que si la température en sortie de capteur est supérieure à la température du fluide en sortie de ballon. Un système de régulation simple est nécessaire.

## I.5.2 Types de stockage

### I.5.2.1 Stockage avec échangeur : système à deux fluides

Le fluide primaire 1 circule dans un échangeur placé à la base du réservoir R. Il transmet ainsi de la chaleur au fluide secondaire 2 par le biais de l'échangeur [5]. (cf figure I.1.6)

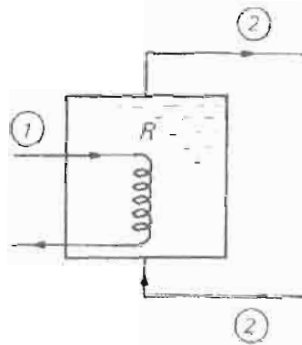


Figure I-15 : Stockage avec échangeur

### I.5.2.2 Stockage sans échangeur : système à un fluide

Pour cette disposition le fluide récupère la chaleur de lui-même du capteur. L'échange se fait donc par mélange.

L'inconvénient réside dans le fait que le fluide qui circule dans le capteur est continuellement renouvelé favorisant ainsi l'entartrage de l'absorbeur [5]. (cf figure I.1.6)

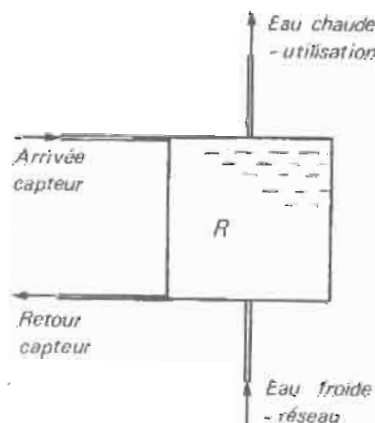


Figure I-16 : Stockage sans échangeur

# CHAPITRE II LE DIMENSIONNEMENT

## CHAPITRE II DIMENSIONNEMENT

### II.1 ETUDE DES BESOINS

La première étape dans le dimensionnement d'un chauffe-eau solaire est la détermination de la consommation individuelle. Cependant, cette quantité dépend de plusieurs paramètres et sa valeur est différente selon les auteurs.

#### II.1.1 Variables qui influent sur la consommation

Les besoins individuels en ECS sont rattachés aux éléments suivants :

- la nature de l'utilisation qui correspond au type de local (habitation, hôtel, bureau ou hôpital) ;
- le genre de vie des utilisateurs qui tient compte du pays, des coutumes, de la région, du climat et du niveau de vie ;
- l'équipement sanitaire thermique ;
- la saison : selon qu'on soit en période de froid ou non, la consommation en eau chaude sanitaire varie fortement comme on peut le voir sur la figure ci-dessous [6].

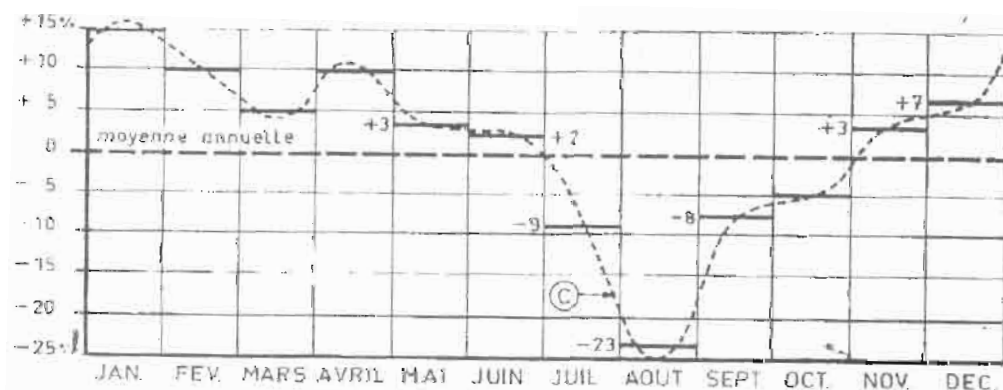


Figure II-1 : Variation de la consommation d'eau chaude en

Cette courbe caractérise les relevés dans un ensemble de logements existants.

Et on y voit que la consommation varie d'un mois à l'autre. Néanmoins, il est à noter que dans le dimensionnement, seule la valeur maximale est pertinente.

- le jour de la semaine et le moment de la journée : son influence se voit sur la figure suivante qui est obtenue à partir de données des HLM de la région parisienne [6].

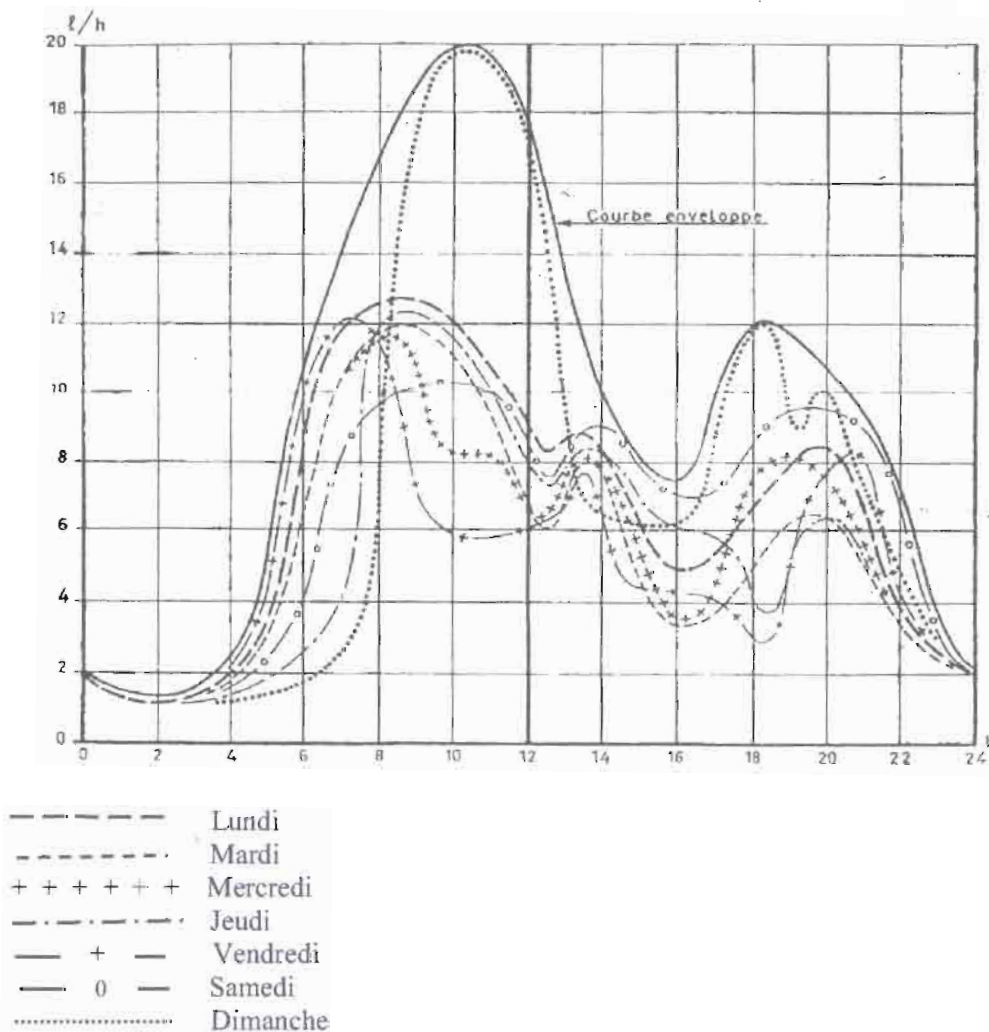


Figure II-2 : Variation de la consommation d'eau chaude en fonction des jours et l'heure de la journée

Ce graphique illustre la variation de consommations en une journée et entre les jours de la semaine. Cependant, les valeurs à considérer dans les calculs sont celles de la courbe enveloppe.

## II.1.2 Besoins dans les habitations

Les quantités d'eau chaude sanitaire nécessaires pour une habitation peuvent être déterminées de deux manières différentes : soit par le biais du nombre d'habitants, soit par celui des équipements. Notons par ailleurs que les valeurs données ci-après doivent être reconsidérées pour les pays en voie de développement.

### II.1.2.1 Besoins en fonction des habitants

Le tableau suivant est un récapitulatif des consommations journalières par personne [6].

Tableau II-1 : Besoins journalier par personne en l/j

| Habitations                                | Confort minimal        | Confort normal | Confort maximal |
|--------------------------------------------|------------------------|----------------|-----------------|
| Consommation (l/j)<br>par personne à 50 °C | 30                     | 50             | 75              |
|                                            | Dans la décade à venir |                |                 |
|                                            | 35                     | 55             | 80              |

Pour une construction habitée où l'on connaît le nombre d'habitants, les besoins s'obtiennent en faisant le produit du nombre d'habitants par la valeur de la consommation pour le niveau de confort désiré. Pour une construction nouvelle, on utilise la valeur moyenne du taux d'occupation normal qui est d'environ 1,5 personne par pièce.

### II.1.2.2 Besoins en fonction des logements et des équipements

Généralement, on connaît le nombre d'équipements sanitaires installés (ou à installer). Dans ce cas, les besoins constituent le cumul des quantités que nécessite chaque appareil. Le tableau ci-après donne les quantités par équipement et par type logement [6].

**Tableau II-2 : Besoins d'eau chaude par équipement sanitaire**

| DOCUMENTS<br>TECHNIQUES                        |                            | TECHNIQUE<br>EAU CHAUDE - QUANTITÉS NÉCESSAIRES                   |                              |       |                                 |                                                           | FICHE N°<br>03-101                                                     |                                                       |
|------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| En litres par jour - Température de base 50° C |                            |                                                                   |                              |       |                                 |                                                           | R. DELEBECQUE<br>Reproduction Interdite                                |                                                       |
| Nombre de pièces principales                   |                            | 1                                                                 | 2                            | 3     | 4                               | 5                                                         | Observations                                                           |                                                       |
| Nombre d'occupants                             |                            | 1 à 2                                                             | 2 à 3                        | 3 à 5 | 4 à 7                           | 5 à 9                                                     |                                                                        |                                                       |
| HABITATIONS                                    | Appareils                  | Evier                                                             | 20                           | 30    | 40                              | 50                                                        | 60                                                                     | * 1 ou 2 lavabos<br>mêmes quantités                   |
|                                                |                            | Lavabo (s)                                                        | 8                            | 12    | 16                              | 20 *                                                      | 24 *                                                                   |                                                       |
|                                                |                            | Douche                                                            | 20                           | 20    | 40                              | 40                                                        | 60                                                                     | Chiffres pouvant<br>varier de ± 20 %                  |
|                                                |                            | Bidet                                                             | 5                            | 5     | 5                               | 10                                                        | 10                                                                     |                                                       |
|                                                |                            | Baignoire<br>L < 1,30                                             | 70                           | 70    | 70                              | 140                                                       | 140                                                                    | Valeurs<br>moyennes                                   |
|                                                |                            | Baignoire<br>L > 1,30                                             | 110                          | 110   | 110                             | 220                                                       | 220                                                                    | Valeurs<br>moyennes                                   |
|                                                |                            | Bac<br>à laver                                                    | 16                           | 24    | 40                              | 50                                                        | 65                                                                     |                                                       |
|                                                |                            | Machine<br>à laver                                                | 50                           | 50    | 70                              | 90                                                        | 120                                                                    | Variable suivant<br>les machines                      |
|                                                | Groupes d'appareils        | Evier, Lavabo,<br>Douche,<br>Bac à laver                          | 64                           | 86    | 136                             | 160                                                       | 209                                                                    | Valeurs convenant<br>pour<br>habitations courantes    |
|                                                |                            | Evier, Lavabo,<br>Bidet, Baignoire<br>L > 1,30<br>Machine à laver | 193                          | 207   | 241                             | 390                                                       | 434                                                                    | Valeurs convenant<br>pour<br>habitations confortables |
| DIVERS                                         | Hôpitaux<br>et Cliniques   | Par jour et par lit                                               |                              |       |                                 | 300 à 400 litres                                          |                                                                        |                                                       |
|                                                | Hôtels                     | Par chambre et par jour                                           |                              |       |                                 | 40 litres (sans baignoire)<br>200 litres (avec baignoire) |                                                                        |                                                       |
|                                                | Bureaux                    | Par personne et par jour                                          |                              |       |                                 | 8 litres                                                  |                                                                        |                                                       |
|                                                | Ecoles<br>et Casernes      | Par pensionnaire et par jour                                      |                              |       |                                 | 8 litres (sans douche)<br>25 litres (avec douche)         |                                                                        |                                                       |
|                                                | Cantines<br>et Restaurants | Repas                                                             | Vaisselle faite<br>à la main |       | Vaisselle faite<br>à la machine |                                                           | Observations                                                           |                                                       |
|                                                | Par<br>rationnaire         | 1                                                                 | 6                            |       | 15                              |                                                           | Pour les restaurants<br>de luxe,<br>doubler ou tripler<br>ces chiffres |                                                       |
|                                                |                            | 2                                                                 | 12                           |       | 30                              |                                                           |                                                                        |                                                       |
|                                                |                            | 3                                                                 | 15                           |       | 35                              |                                                           |                                                                        |                                                       |

### II.1.3 Besoins journaliers d'une habitation en kWh

Les besoins en eau chaude sanitaire peuvent être exprimés en termes de puissance. La relation suivante permet de passer des besoins en litre par jour (l/j) à ceux en kWh/j [7] :

$$C = 0,0011611 \times V \times (T_c - T_f) \quad (17)$$

avec :

la puissance  $C$  qui représente les besoins en kWh/j ;

le volume  $V$  représente les besoins en l/j ;

la température de l'eau froide  $T_f$  en °C ;

la température de l'eau chaude  $T_c$  en °C.

## II.2 CHOIX DES MATERIAUX

Le choix des matériaux occupe une place très importante dans la conception. En effet, il constitue une étape de référence dans le dimensionnement et a un impact sur la réalisation. Il est tributaire des exigences que l'on se fixe dans la conception (dimensionnement et fabrication) et dans la commercialisation.

Dans ce paragraphe nous n'aborderons pas l'ensemble des parties du chauffe-eau mais juste les plus essentielles.

Notons cependant que le choix des matériaux étant très important, tous les organes de notre appareil ont été soumis à un choix rigoureux.

### II.2.1 Le vitrage

Le couvercle transparent est placé devant l'absorbeur pour deux raisons :

- L'isolation : il évite à l'absorbeur d'être atteint par l'air extérieur et ainsi lui permet de bien s'échauffer.
- L'effet de serre : en permettant au rayonnement solaire de passer et en retenant les émissions de l'absorbeur, il réalise l'effet de serre. L'espace optimal qu'il faut laisser entre la vitre et l'absorbeur est de 28 mm (en pratique 25 à 40 mm) [1].

Le matériau qui convient le mieux est le verre à vitre ordinaire le plus blanc et de 4mm d'épaisseur. Mais ce dernier se fait de plus en plus rare dans le marché et donc on utilisera celui qui est vendu maintenant. Car la présence d'oxydes métalliques dans celui-ci ne se ressent presque pas dans l'utilisation.

Le verre « martelé » ou trempé ainsi que le Mylar, le Tedlar ou l'Adlar peuvent aussi être utilisés mais les premiers (martelé ou trempé) coûtent très chers et les autres vieillissent rapidement sous l'action du soleil.

### **II.2.2 L'absorbeur et le serpentín**

Cet ensemble permet de chauffer le fluide circulant dans la tuyauterie. L'absorbeur sera en tôle galvanisée peinte en noire mate et le serpentín en cuivre à cause de ses bonnes propriétés thermiques et que le cuivre résiste bien à la corrosion.

Pour que le thermosiphon s'amorce facilement, le circuit d'eau dans l'insolateur doit lui être favorable [1]. A cet effet, classification des formes de serpentín donnée à l'annexe 2, nous choisissons le modèle aux tubes verticaux parallèles.

### **II.2.3 L'isolation**

Le capteur et le réservoir doivent être bien calorifugés pour un rendement optimal. Et donc, un choix judicieux s'impose.

L'annexe 1 répertorie quelques isolants avec leurs propriétés.

A cause de sa disponibilité et de ses caractéristiques adéquates, nous choisissons le polystyrène expansé thermocomprimé.

### **II.2.4 Le cadre (ou coque)**

Il maintient rigide l'ensemble. Les matériaux possibles pour son élaboration sont :

- ✓ Tôle noire ordinaire : bon marché, mais facilite les pertes thermiques et nécessite un matériel lourd (plieuse, poste de soudure, ...)
- ✓ Bois : bon marché, mais durée de vie relativement faible.
- ✓ Plastique : fibre de verre et résine, sure et pas très chère, ne nécessite aucun matériel particulier, demande beaucoup de soins, mais de plus en plus utilisé

Dans notre cas nous choisissons d'utiliser le bois car plus accessible dans le marché.

### **II.2.5 L'enveloppe intérieure du réservoir**

Elle sera faite avec de la tôle galva pour éviter sa corrosion. On pourra prévoir un revêtement anti-rouille pour une meilleure protection.

## II.3 DIMENSIONNEMENT DU CAPTEUR

Nous n'aborderons, dans cette partie, que le dimensionnement de l'absorbeur, du serpentin et de l'isolation. En effet, les autres dimensions dépendent de celles de ces éléments.

### II.3.1 L'absorbeur

Le premier pas dans la conception du capteur est la détermination de la surface de l'insolateur. Cette aire de captation est donnée par la relation suivante [7]:

$$A = \frac{1}{\eta_{sys}} \times \frac{f \times C}{E} \quad (18)$$

avec :

la surface A en m<sup>2</sup> ;

le rendement souhaité  $\eta_{sys}$  du système ;

la fraction f des besoins couverts pendant la période la plus défavorisée ;

les besoins C en kWh/j donnés par l'équation (17) ;

l'ensoleillement E en kWh/j (on utilisera sa valeur maximale  $E_{max}$  pour un système avec appoint et sa valeur minimale  $E_{min}$  pour un système 100% solaire).

### II.3.2 Le serpentin

Le dimensionnement de l'échangeur consiste en la détermination de son diamètre D car sa longueur est tributaire des dimensions de l'absorbeur.

Ce diamètre est donné par la relation [8]:

$$D_{in} = \sqrt{\frac{4Q^B}{\rho\pi U}} \quad (19)$$

où

$Q^B$  désigne le débit de base de l'appareil desservi ( $Q^B$  est donné dans les abaques pour la norme française et la norme REEF, dans ce qui suit nous considérerons que l'appareillage se résume en un robinet de puisage et nous utiliserons la norme REEF) ;

U, la vitesse de circulation du fluide caloporteur ici l'eau (choisi entre 0,5 et 2 m/s);

$\rho$ , sa masse volumique.

Cependant, il conviendra de vérifier la pression résiduelle  $P_r$  au point d'utilisation.

Exemple de calcul :

Cas d'un serpentin avec  $U = 0,7 \text{ m/s}$ , pression disponible  $P_{\text{disponible}} = 30 \text{ mce}$

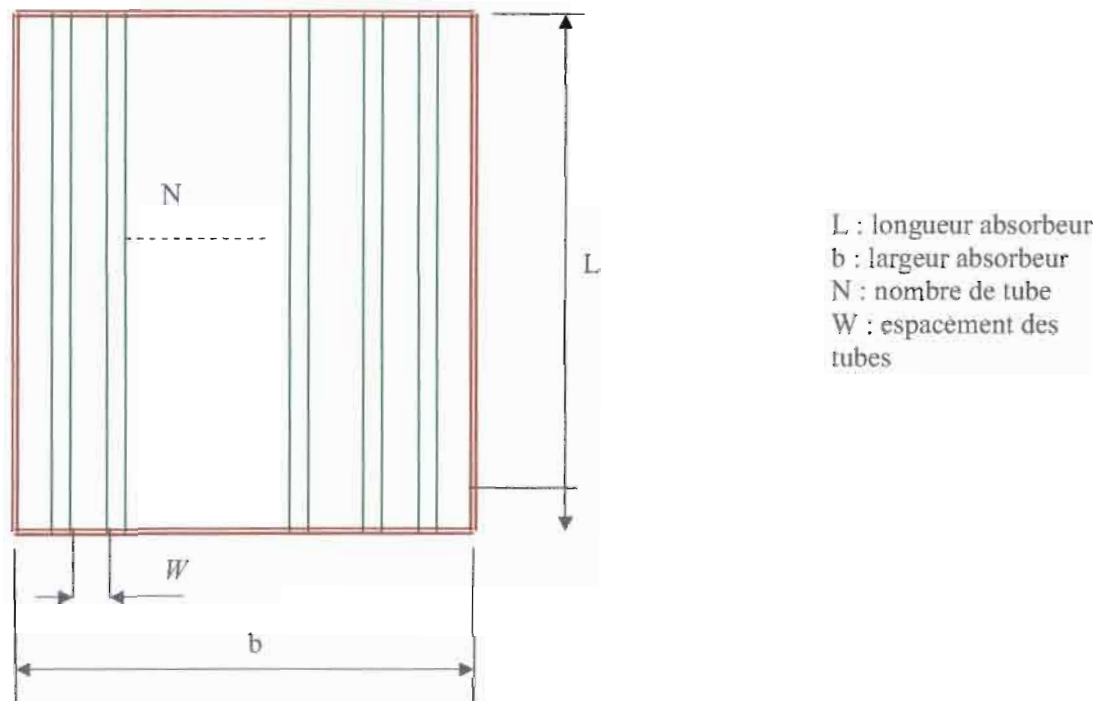


Figure II-3 : Schéma de l'absorbeur

Le fluide caloporteur est de l'eau et on utilise la norme REEF, donc on a :

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  ;  $Q^B = 0,7 \text{ l/s}$ .

Appareillage : robinet de puisage  $\Rightarrow Pr = 2 \text{ mce}$

| $Q_{\text{brut}} (\text{l/s})$ | Total equip. | $\gamma$ | $Q_{\text{proba.}}$ | $V_c$ | $D_{\text{théorique}}$ | $D_{\text{normalisé}}$ | $V_{\text{réelle}}$ | $J$      |
|--------------------------------|--------------|----------|---------------------|-------|------------------------|------------------------|---------------------|----------|
| 0,05                           | 1            | 1        | 0,05                | 0,7   | 9,536545               | 10                     | 0,63662             | 2,35E-05 |

$J$  représente les pertes de charges.

Vérification de la pression :

$\Delta h$  est la dénivellation entre le point de puisage et le point le plus bas de la canalisation, elle est prise égale à 1,2 mètres.

| $J$         | $\Delta h$ | $P_{\text{résiduelle}}$ | $N \times L$ | $P_t$    |
|-------------|------------|-------------------------|--------------|----------|
| 2,34735E-05 | 1,2        | 2                       | 26,15        | 6,700706 |

On a :  $P_e \text{ disponible} = 30 \text{ mce}$

Or,  $P_s = P_{\text{edisable}} - P_{\text{eculée}}$

Présenté par Alioune Diop SY  
2007

$$P_s = 23,3 \text{ mce} > P_r$$

Conclusion : La pression au point de puisage est suffisante.

### II.3.3 L'isolation

Pour ce calcul, nous admettons une baisse de température de l'air ( $\rho=0,998 \text{ kg/m}^3$  et  $C_p = 1009 \text{ J/kg.K}$  à  $350\text{K}$ ) confiné entre l'absorbeur et le vitrage, et que son volume est de  $0,2 \text{ m}^3$ .

L'isolant utilisé est le polystyrène expansé thermocomprimé ( $\lambda = 0,029 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$ ),

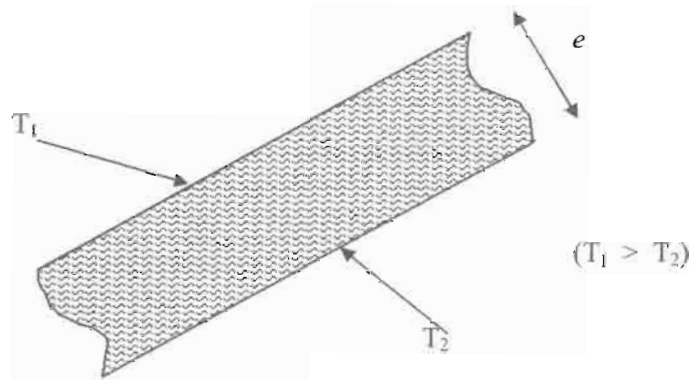


Figure II-4 : Vue partielle de l'isolation du capteur

$e$  est l'épaisseur de l'isolant ;

$T_1$  est la température du côté du vitrage ;

$T_2$  est la température du côté opposé au vitrage.

On prendra  $T_1 = 80^\circ\text{C}$  et  $T_2 = 25^\circ\text{C}$ .

Le flux de chaleur  $\varphi$  à travers l'isolation s'écrit :

$$\varphi = \frac{\lambda}{e} (T_1 - T_2) \quad (20)$$

Les pertes évaluées au paragraphe I.4 à la page 13 sont généralement de l'ordre de 100 à 200  $\text{W/m}^2$  [9]. Nous prendrons des pertes de l'ordre 150  $\text{W/m}^2$ .

Ce nous permet d'avoir l'épaisseur, et donc on a :

$$e = \frac{\lambda \times (T_1 - T_2)}{\phi} \quad (21)$$

L'application numérique donne  $e = \frac{0,041 \times (80 - 25)}{150}$

D'où  $e = 15,03 \text{ mm}$

Remarque :

Nous choisissons de renforcer l'isolation du bas avec une feuille d'aluminium de 4/10 [1]. Elle sera disposée entre le polystyrène et l'absorbeur en veillant à ce que ce dernier ne soit pas en contact avec elle.

Sa contribution dans l'isolation réside dans le fait qu'elle réfléchit le rayonnement infrarouge de l'absorbeur.

### II.3.4 La coque

Elle est de constitution assez simple. C'est une boîte en bois avec un fond et quatre cotés. Pour une bonne rigidité il est conseillé de les prendre avec une épaisseur de 50 à 100 mm. [1]

Cependant, vu la taille de notre capteur nous optons pour une épaisseur de 30 mm ce qui donne néanmoins une bonne résistance.

## II.4 DIMENSIONNEMENT DU RESERVOIR

Il ne sera question dans cette partie que de détermination des dimensions de l'enveloppe intérieure et de l'isolant pour les mêmes raisons que dans le dimensionnement du capteur.

### II.4.1 L'enveloppe intérieure

Le volume de stockage  $V_s$  en litre est donné par la relation [7]:

$$V_s = 350 \times E \times \frac{A}{T_s - T_f} \quad (22)$$

Ainsi, en fixant la longueur  $L_o$  (en mètre) du réservoir supposé cylindrique on obtient son rayon intérieur  $r_i$  (en mètre) en posant :

$$V_s = 0,001 \times \pi \times r_i^2 \times L_o$$

$$\Rightarrow r_i = \sqrt{\frac{V_s}{0,001 \times \pi \times L_o}} \quad (23)$$

Remarque :

L'épaisseur de cette enveloppe a été dimensionnée grâce au logiciel de CAO Solidworks.  
Les résultats sont donnés à l'annexe 2.

## II.4.2 L'isolant

Cette partie concerne la détermination de l'épaisseur de l'isolation. Pour cela, nous avons besoin de déterminer le flux de chaleur à travers celle-ci.

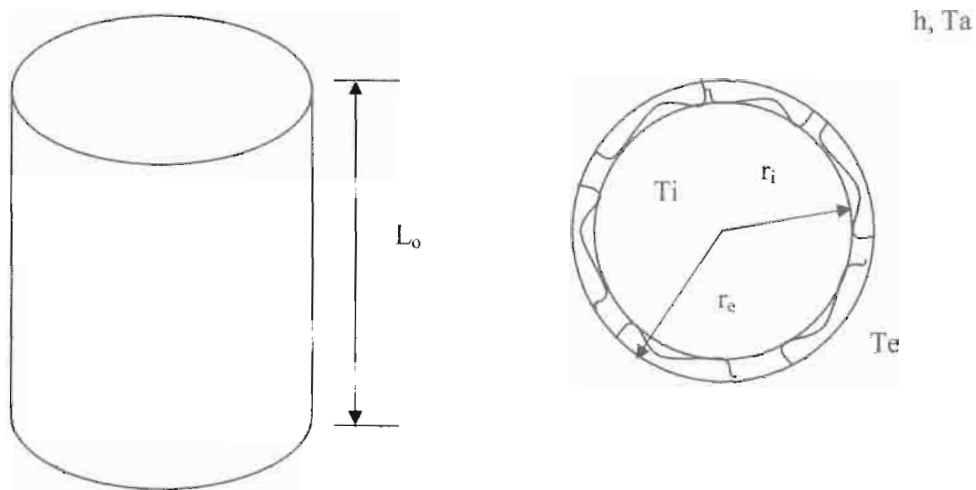


Figure II-5 : Répartition des températures autour de l'isolation de réservoir

L'essentiel des pertes thermiques se résume aux pertes nocturnes que nous aurons à déterminer. Ainsi, nous allons déterminer ces pertes en premier lieu.

### II.4.2.1 Les pertes nocturnes q

Hypothèse de calcul :

- la température  $T_i$  dans le réservoir à 18h00 est  $T_i = 60^\circ\text{C}$  ;

- la température  $T_i'$  dans le réservoir à 8h00 est  $T_i' = 57^\circ\text{C}$  ;
- la masse d'eau  $M$  dans le réservoir est  $M = 250 \text{ kg}$ .

Calcul de  $q$  :

On a :  $q = MC\Delta\theta$

avec :

$M$  : masse d'eau ;

$C$  : chaleur massique de l'eau ;

$\Delta\theta$  : variation de température entre 18h00 et 08h00.

$$q = 250 \times 4180 \times 3$$

$$q = 3135000 \text{ J soit } 60,20 \text{ W}$$

#### II.4.2.2 L'épaisseur $e$ de l'isolant

La quantité de chaleur à travers l'isolation est donnée par la relation :

$$q = \frac{2\pi \times \lambda \times L_o \times (T_i - T_e)}{\log\left(\frac{r_o}{r_i}\right)} \quad (24)$$

Posons :  $r_o = r_i + e$

$$(24) \text{ devient : } q = \frac{2\pi \times \lambda \times L_o \times (T_i - T_e)}{\log\left(1 + \frac{e}{r_i}\right)} \quad (25)$$

$$\text{D'où } e = r_i \left( \exp\left(\frac{2\pi \times \lambda \times L_o \times (T_i - T_e)}{q}\right) - 1 \right) \quad (26)$$

En plus des hypothèses du 4.2.1, nous supposons que  $T_e = 20^\circ\text{C}$ ,  $L_o = 1,2 \text{ m}$  et que l'isolant est le polystyrène expansé thermocomprimé ( $\lambda = 0,029 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).

On a :  $V = 250 = 0,001 \times \pi \times r_i^2 \times L_o$

$$\Rightarrow r_i = \sqrt{\frac{V}{0,001 \times \pi \times L_o}} \quad (27)$$

$$\Rightarrow r_i = 257 \text{ mm}$$

En mettant, ces valeurs numériques dans (26), on obtient :

$$e = 40,76 \text{ mm}$$

## II.5 APPLICATION : Cas particulier du domicile de la famille SARR

### II.5.1 Définition du cahier de charge

Il est demandé de fournir de l'eau chaude (destinée au lavage corporel exclusivement), à la température de 36°C, à une maison de 15 personnes.

Chaque occupant devra pouvoir se laver deux fois par jour selon le planning suivant :

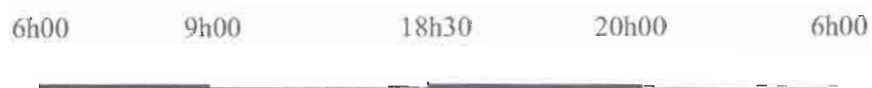


Figure II-6 Planning d'utilisation de l'eau chaude

La maison se situe dans la ville de THIES.

### II.5.2 Dimensionnement du modèle

Le model est dimensionné avec une marge de 10% sur les besoins individuels.

Par les différentes méthodes exposées aux paragraphes II.3 (page 26) et II.4 (page 30), nous obtenons les valeurs données au tableau II.3.

Tableau II-3 : Dimensions de base du modèle

|                                        |             |
|----------------------------------------|-------------|
| Besoin par personne (l/j)              | 15          |
| Besoin pour 15 personnes (l/j)         | 250         |
| Besoin pour 15 personnes (kWh/j)       | 8,70825     |
| Surface de captation (m <sup>2</sup> ) | 2,327371938 |
| Volume de stockage (l)                 | 162,9160356 |

### **II.5.3 Design du modèle**

Compte tenu des dimensions, nous avons élaboré le dessin.

Nous avons aux figures II.7 et II.8 respectivement la vue éclatée de notre capteur et la vue en coupe de notre réservoir, et nous vous proposons à l'annexe 5 des dessins de notre chauffe-eau.

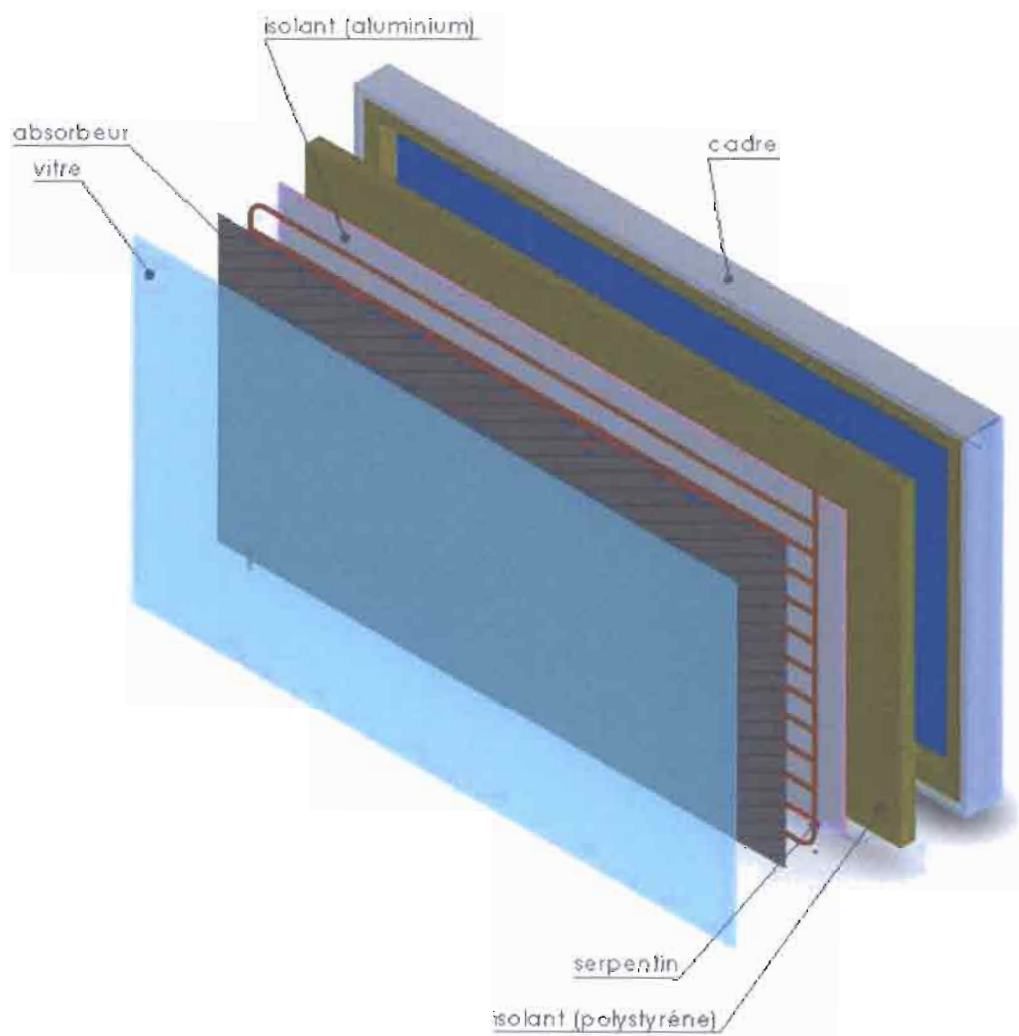


Figure II-7 : Vue éclatée du capteur

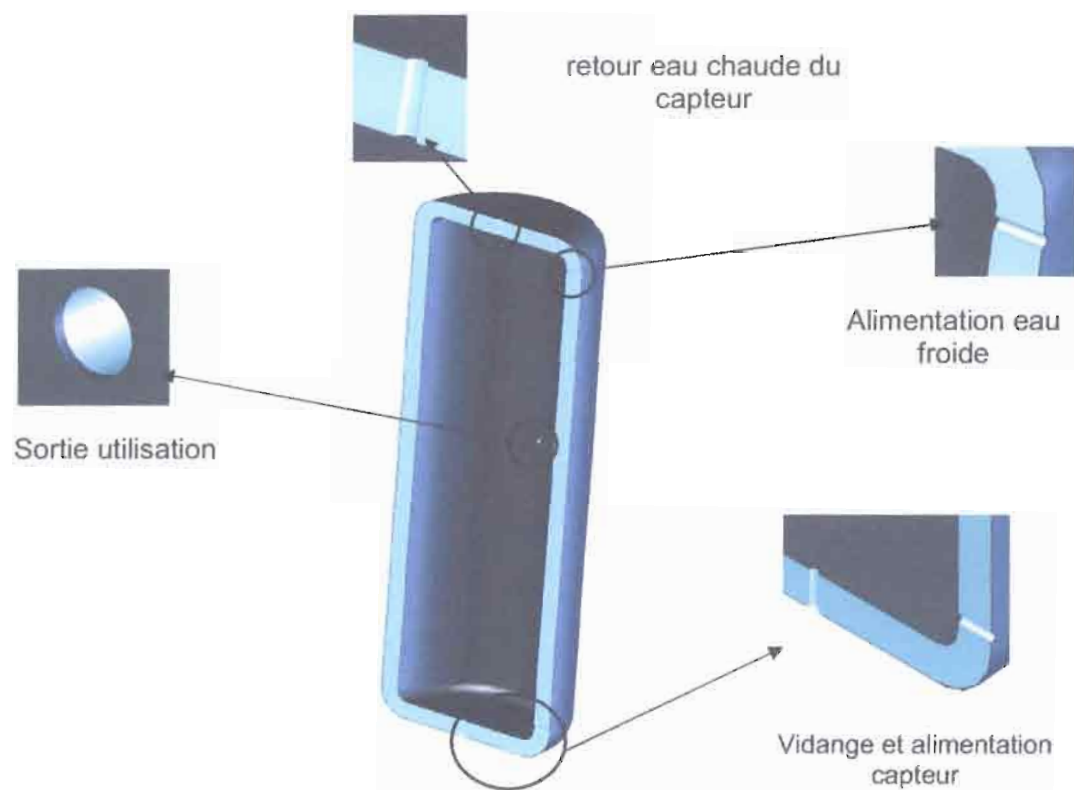


Figure II-8 : Vue en coupe du réservoir

# **CHAPITRE III REALISATION; INSTALLATION ET EXPERIMENTATION**

## CHAPITRE III REALISATION, INSTALLATION ET EXPERIMENTATION

### III.1 REALISATION

Dans ce paragraphe, nous donnons une description sommaire des opérations de fabrications. Elle est complétée par l'annexe 4.

#### III.1.1 Réalisation du capteur

##### ✓ L'absorbeur

Celui-ci est constitué d'un serpentín fixé sur une tôle peinte en noire mate.

Sa réalisation se fait en deux phases : confection de l'échangeur et fixation de celui-ci sur la tôle.

Les étapes de la fabrication du serpentín sont le découpage du tube, le cintrage suivi du perçage (pour la fixation des traverses) des deux tubes en bordure et l'assemblage par soudure des différents éléments.

La durée de l'ensemble des opérations est de 2 heures.

##### ✓ Le cadre

La mise en œuvre du cadre en bois est relativement facile, elle consiste au découpage du bois aux dimensions souhaitées, sciage pour les onglets, le rainurage pour le contre-plaqué de fond et pour la vitre, enfin le collage et cloutage des flancs et du contre-plaqué.

La durée de l'ensemble des opérations est de 3 heures.

##### ✓ Le support du capteur

Ici, les opérations se résument au sciage et soudage des cornières.

#### III.1.2 Réalisation du réservoir

Le réservoir est constitué de deux enveloppes séparées par l'isolation. Le principe de la réalisation de ces dernières est le même. Il consiste en des opération de cintrage de la tôle, de perçage (pour les entrées et sorties d'eau) et de soudure pour l'assemblage.

Il faudra prévoir un revêtement anti-rouille pour l'intérieur du réservoir et la mise en place d'un robinet flotteur au niveau du remplissage.

### III.2 INSTALLATION

#### III.2.1 Implantation du capteur

Il existe plusieurs modes de pose du capteur.

✓ Sur une toiture inclinée :

C'est souvent une bonne solution parce que le toit peut difficilement avoir un autre usage (vérifier l'ombre portée).

En outre, les capteurs plats peuvent servir de couverture.

✓ Sur un toit plat :

Excellente solution: l'orientation et l'inclinaison des capteurs peut être choisie de manière optimale.

✓ En façade / contre un parapet de balcon :

Mauvais rendement si les capteurs sont placés verticalement en été. Un angle de  $15 - 20^\circ$  environ améliore sensiblement le rendement (solution adéquate pour le chauffage d'appoint).

✓ Sur un talus / jardin :

Solution acceptable lorsque le champ de capteurs ne se trouve pas dans la zone de l'ombre portée (bâtiments, arbres, bosquets, etc.).

#### III.2.2 Raccordement de la tuyauterie

- ✓ Le diamètre des conduites est choisi de sorte à faciliter la circulation du fluide. Il est important de réduire le nombre de singularités (coude, changement de section,...) afin de limiter les pertes de charges.

- ✓ La tuyauterie de la boucle solaire est isolée pour améliorer le rendement. Cette isolation devra résister à l'humidité et au rayonnement ultraviolet. Certains projets-pilotes ont suggéré l'utilisation d'un matériau souvent disponible en région ensoleillée et peu coûteux à remplacer: la tige poreuse de bambou fendue en deux, évidée puis recollée autour des tuyaux [7].

- ✓ Tous les raccordements, matériaux et soudures doivent respecter les normes locales d'utilisation. Eviter l'utilisation de métaux différents pouvant causer des problèmes de corrosion galvanique.
- ✓ Dans les systèmes à thermosiphon, il est recommandé de conserver une montante tout au long du parcours de la base du capteur jusqu'en haut du réservoir la hauteur du retour de la boucle solaire sur réservoir thermosiphon joue sur la stratification des températures dans celui-ci. Plus on veut récupérer rapidement de l'énergie, plus on a intérêt à placer le retour vers le haut. Si on veut utiliser pleinement et efficacement la capacité de stockage pour une consommation de nuit par exemple, on a intérêt à placer plus bas le niveau du retour.

### **III.3 ETUDE EXPERIMENTALE**

#### **III.3.1 PRINCIPE DE L'ETUDE**

Cette phase consiste en la vérification de l'efficacité du système par le biais de mesure des températures d'entrée et de sortie du capteur ainsi que la température au niveau du ballon de stockage: pendant une durée de 24 heures, cette opération sera renouvelée à trois reprises.

Ces températures seront mesurées à l'aide de thermocouple dont le montage et la courbe l'étalonnage sont donnés à l'annexe 5. Nous y donnons aussi une table des types de thermocouples.

#### **III.3.2 MONTAGE EXPERIMENTAL**

Le montage expérimental est celui de la figure IV.1 et IV.2

Il s'agit de placer des bouchons avec les thermocouples chromel-Allumel au niveau de l'entrée et de la sortie du capteur ainsi qu'au niveau du réservoir.



Figure III-1 : Bouchon avec thermocouple (sortie capteur)



Figure III-2 : Bouchon avec thermocouple (réservoir)

### III.3.3 RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Tableau III-1 : Relevés de températures

| Jour     | Horaires | Sortie <sub>Capteur</sub> | Réservoir | Entrée <sub>Capteur</sub> | Sortie <sub>Capteur</sub> | Réservoir | Entrée <sub>Capteur</sub> |
|----------|----------|---------------------------|-----------|---------------------------|---------------------------|-----------|---------------------------|
|          |          | mV                        |           |                           | °C                        |           |                           |
| Mercredi |          |                           |           |                           |                           |           |                           |
|          | 10:30    | 1                         | -0,1      | -0,5                      | 69,366                    | 39,6044   | 28,782                    |
|          | 11:15    | 1,4                       | 0,2       | -0,5                      | 80,1884                   | 47,7212   | 28,782                    |
|          | 12:10    | 2,1                       | 0,4       | -0,4                      | 99,1276                   | 53,1324   | 31,4876                   |
|          | 13:08    | 2,1                       | 0         | -0,1                      | 99,1276                   | 42,31     | 39,6044                   |
|          | 14:15    | 2,2                       | 0,5       | -0,1                      | 101,8332                  | 55,838    | 39,6044                   |
|          | 15:05    | 1,7                       | 0,5       | 0                         | 88,3052                   | 55,838    | 42,31                     |

Présenté par Alioune Diop SY  
2007

|          |       |      |     |      |          |         |         |
|----------|-------|------|-----|------|----------|---------|---------|
|          | 16:00 | 0,8  | 0,4 | 0    | 63,9548  | 53,1324 | 42,31   |
|          | 17:08 | 0,7  | 0,4 | -0,2 | 61,2492  | 53,1324 | 36,8988 |
|          | 18:07 | 0,5  | 0,4 | 0,2  | 55,838   | 53,1324 | 47,7212 |
|          | 19:00 | 0,4  | 0,4 | 0,3  | 53,1324  | 53,1324 | 50,4268 |
|          |       |      |     |      |          |         |         |
| Jeudi    |       |      |     |      |          |         |         |
|          | 7:05  | -0,1 | 0,3 | -0,2 | 39,6044  | 50,4268 | 36,8988 |
|          | 11:05 | 1,7  | 0,3 | -0,4 | 88,3052  | 50,4268 | 31,4876 |
|          | 12:10 | 2,2  | 0,4 | -0,4 | 101,8332 | 53,1324 | 31,4876 |
|          | 13:08 | 2,2  | 0,5 | -0,1 | 101,8332 | 55,838  | 39,6044 |
|          | 14:15 | 2,2  | 0,5 | -0,1 | 101,8332 | 55,838  | 39,6044 |
|          | 15:05 | 1,7  | 0,5 | 0    | 88,3052  | 55,838  | 42,31   |
|          | 16:00 | 0,9  | 0,4 | 0    | 66,6604  | 53,1324 | 42,31   |
|          | 17:08 | 0,7  | 0,4 | -0,2 | 61,2492  | 53,1324 | 36,8988 |
|          | 18:07 | 0,5  | 0,4 | 0,2  | 55,838   | 53,1324 | 47,7212 |
|          | 19:00 | 0,4  | 0,3 | 0,3  | 53,1324  | 50,4268 | 50,4268 |
|          |       |      |     |      |          |         |         |
| Vendredi |       |      |     |      |          |         |         |
|          | 7:05  | -0,1 | 0,2 | -0,2 | 39,6044  | 47,7212 | 36,8988 |
|          | 9:10  | 0,2  | 0   | -0,3 | 47,7212  | 42,31   | 34,1932 |
|          | 12:10 | 1,4  | 0,2 | -0,2 | 80,1884  | 47,7212 | 36,8988 |
|          | 13:02 | 1,6  | 0,2 | -0,1 | 85,5996  | 47,7212 | 39,6044 |
|          | 14:12 | 1,8  | 0,4 | -0,1 | 91,0108  | 53,1324 | 39,6044 |
|          | 15:05 | 1,8  | 0,5 | -0,1 | 91,0108  | 55,838  | 39,6044 |
|          | 16:00 | 1,7  | 0,7 | 0,1  | 88,3052  | 61,2492 | 45,0156 |
|          | 17:08 | 1,5  | 0,7 | 0,1  | 82,894   | 61,2492 | 45,0156 |
|          | 18:07 | 1    | 0,7 | 0    | 69,366   | 61,2492 | 42,31   |
|          | 19:00 | 0,9  | 0,6 | 0    | 66,6604  | 58,5436 | 42,31   |
|          |       |      |     |      |          |         |         |
| Samedi   | 07:00 | -0,2 | 0,3 | -0,2 | 36,8988  | 50,4268 | 36,8988 |

A partir de ces valeurs, nous avons ainsi tracé l'évolution de la température en fonction de l'heure à trois différents points (entrée capteur, sortie capteur et réservoir).

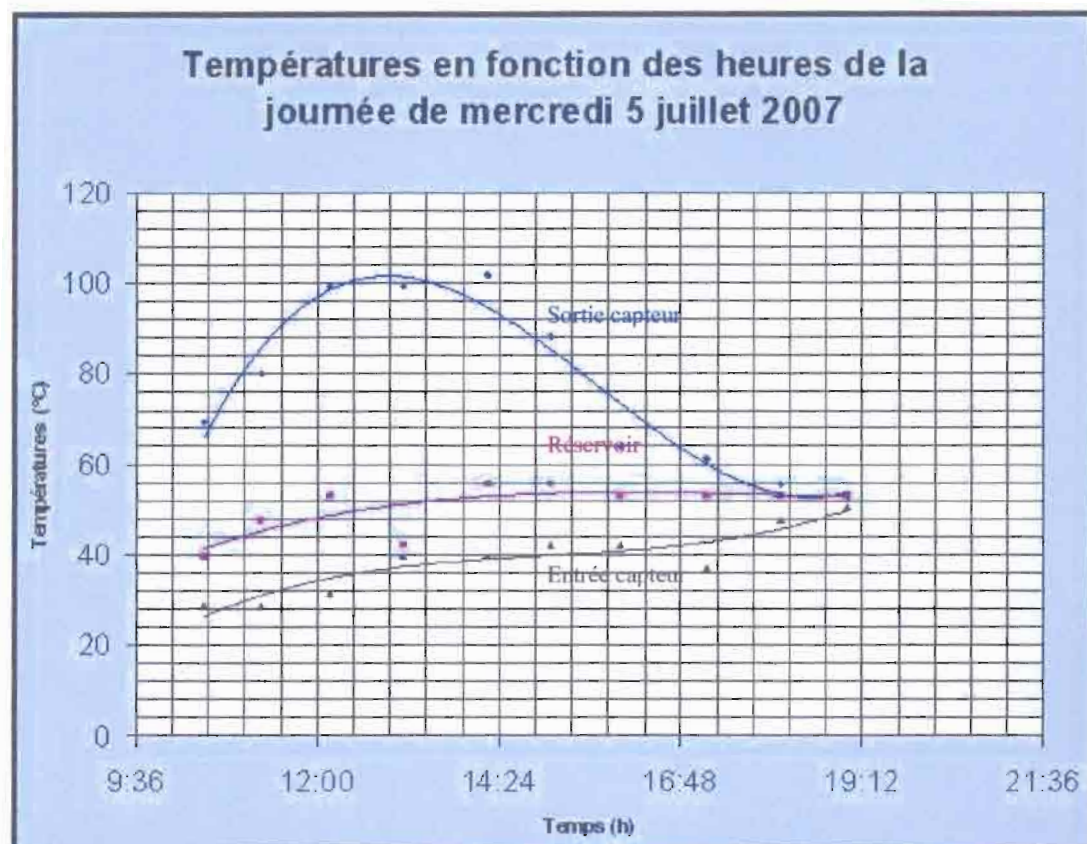


Figure III-3 : Graphe de températures pour le mercredi

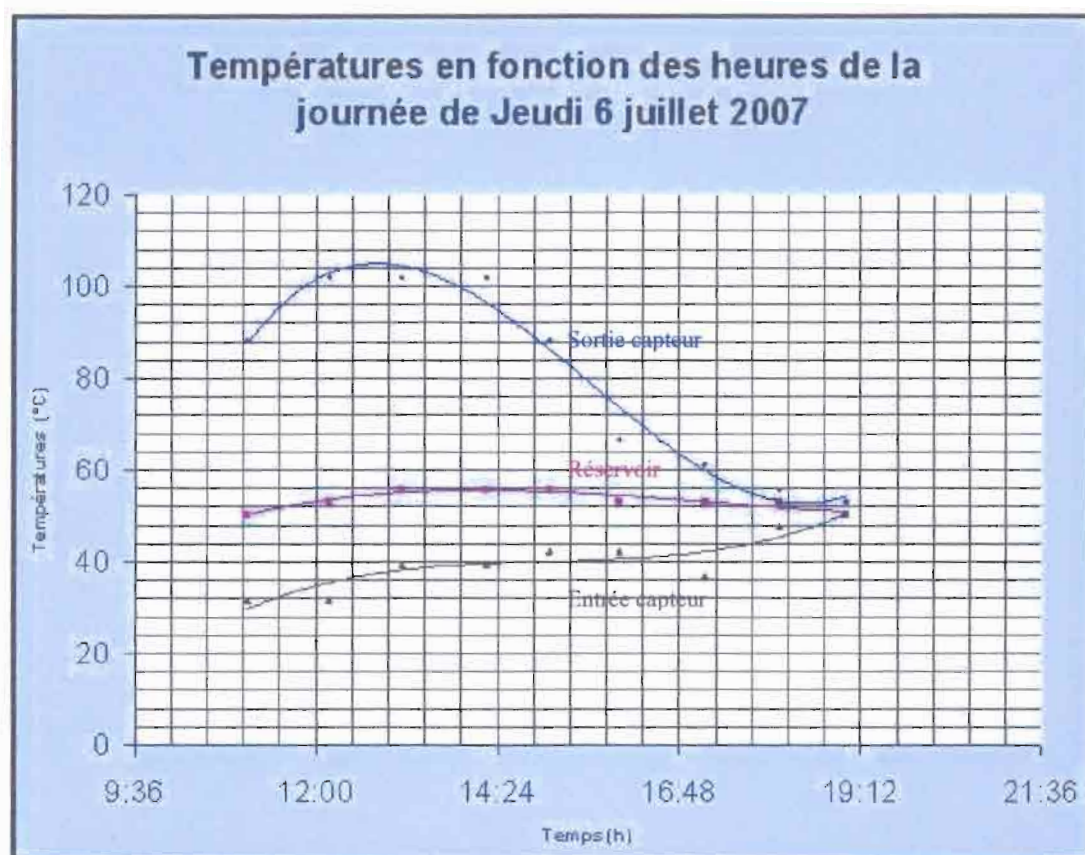


Figure III-4 : Graphe de températures pour le Jeudi

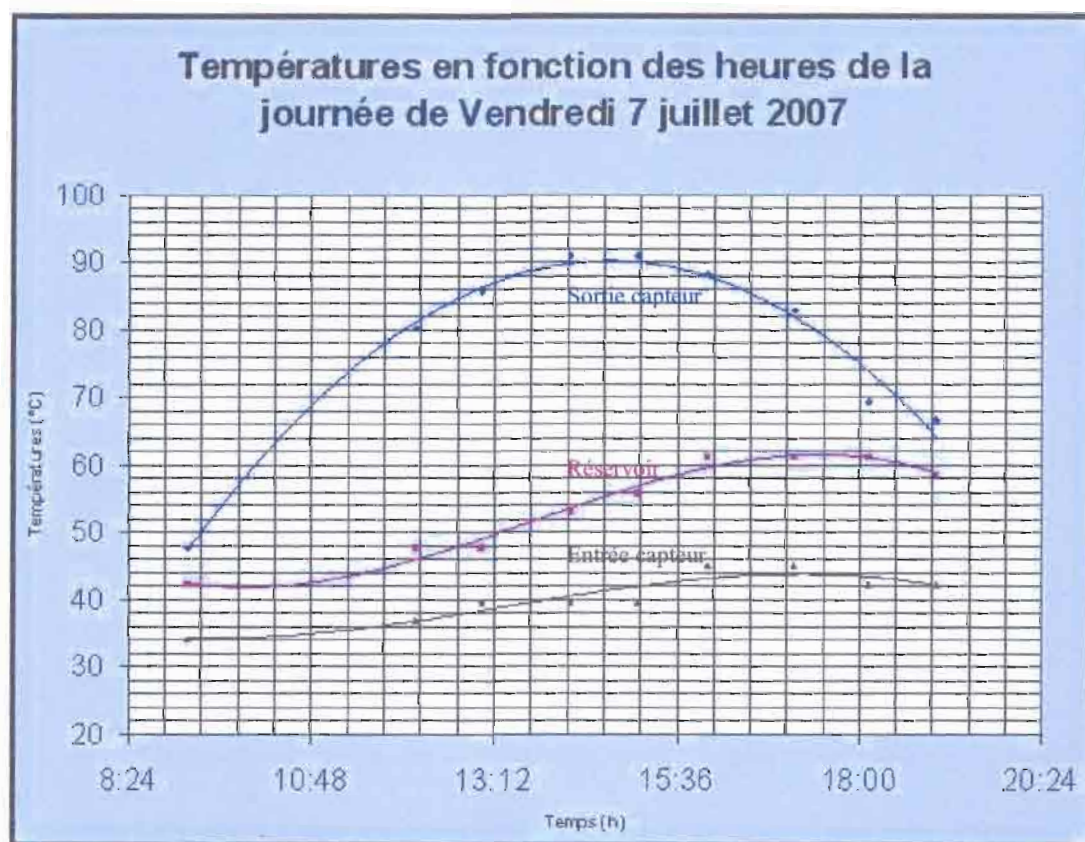


Figure III-5 : Graphe de températures pour le vendredi

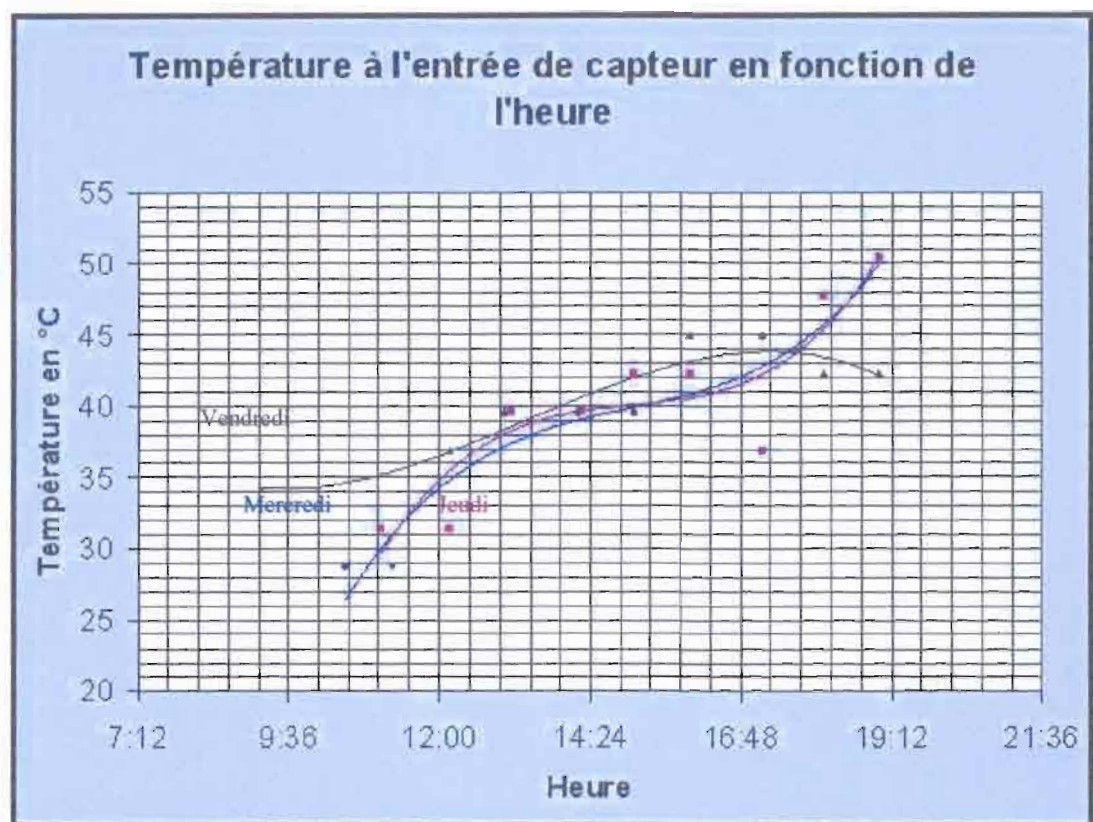


Figure III-6 : Graphe de températures en entrée capteur

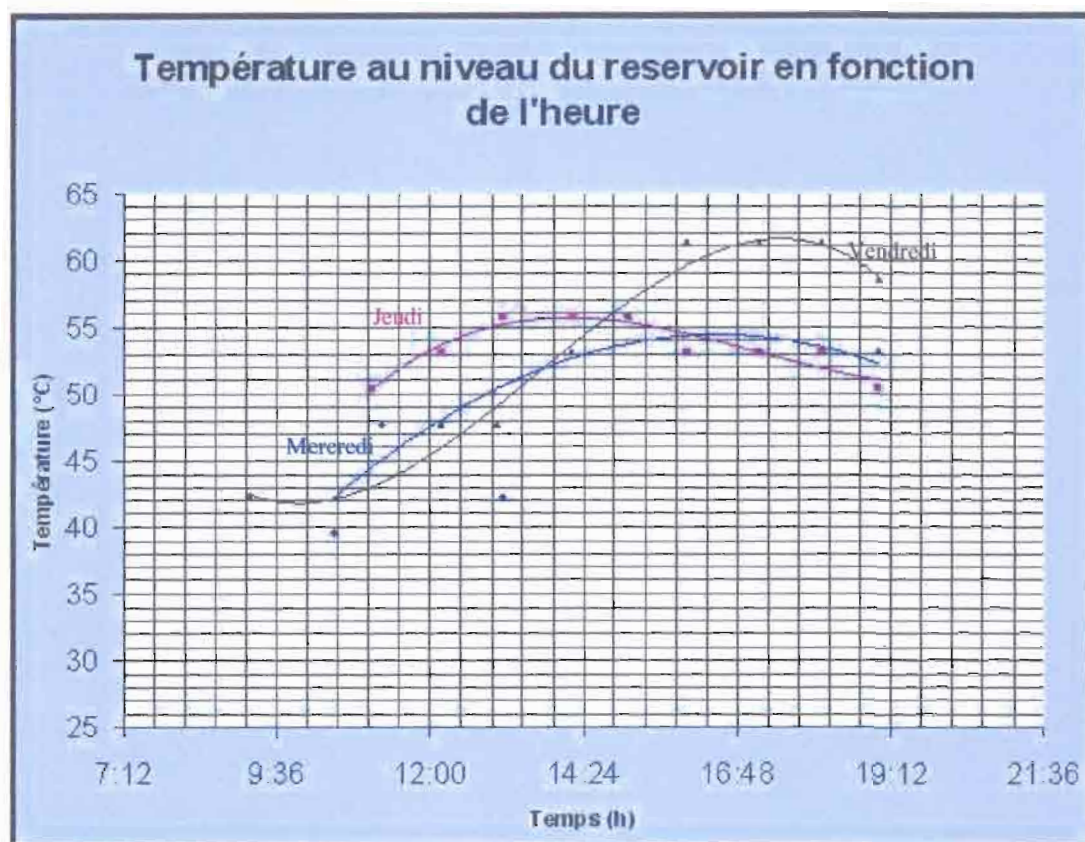


Figure III-7 : Graphe de températures au niveau du réservoir

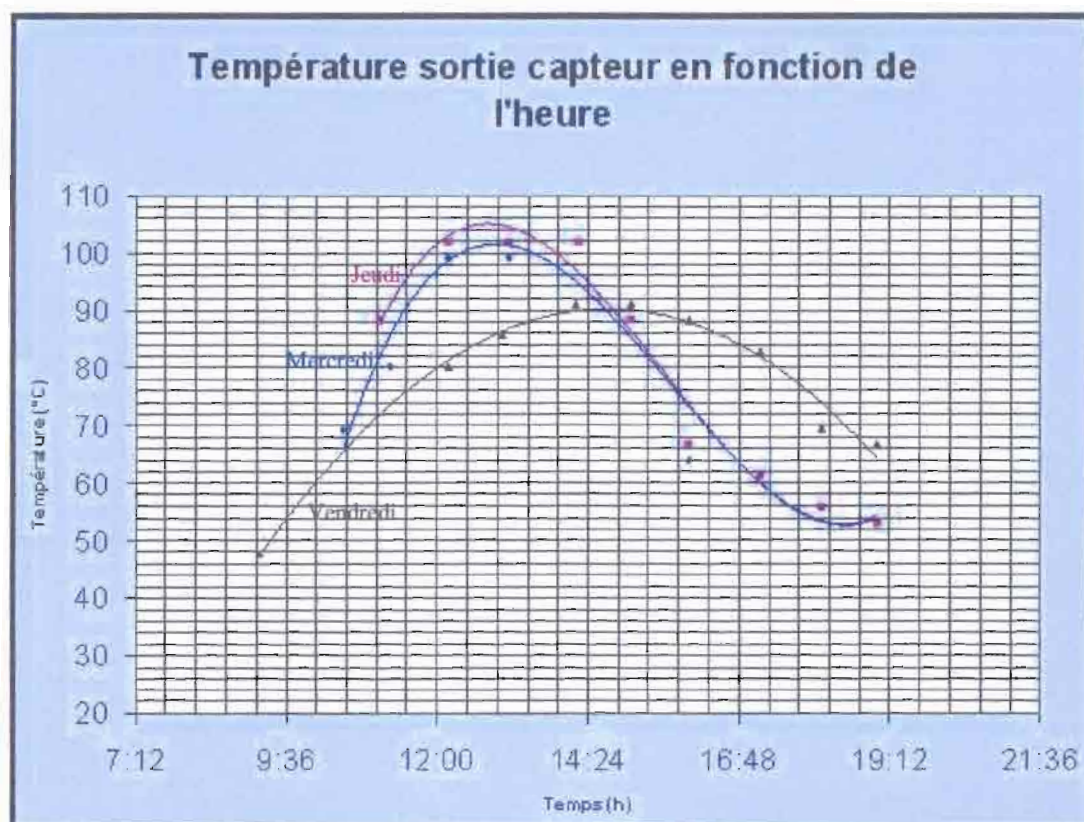


Figure III-8 : Graphe de températures en sortie capteur

### INTERPRETATIONS

On voit que les températures augmentent jusqu'à un maximum vers 13h30 au niveau de la sortie du capteur. Cette période correspondant à l'ensoleillement maximum. Pour le réservoir et l'entrée du capteur on voit qu'elles croissent et tendent à se stabiliser jusqu'au environ de 19h mais on note une baisse de 2 à 3 °C de celles-ci entre 19h00 et 7h00. Cette baisse est due aux pertes nocturnes.

La température maximale atteinte est dépendante de la journée plus précisément des conditions climatiques. On voit sur le graphe 3 qu'elle ne dépasse pas 90 °C pour le vendredi alors qu'elle dépasse 100 °C pour le mercredi et le Jeudi. Notons que la journée du vendredi était un peu nuageuse.

## **CHAPITRE IV ETUDE ECONOMIQUE**

## CHAPITRE IV ETUDE ECONOMIQUE

### IV.1 EVALUATION ECONOMIQUE DU CHAUFFE-EAU

#### SOLAIRE

Dans cette partie, nous nous proposons d'estimer le prix de revient de notre chauffe-eau. Les matériaux et procédés utilisés sont ceux décrits au chapitre 3 et 4. Les prix sont donnés toutes taxes comprises. Le coût de la main-d'œuvre sera pris égal à 35% du coût de la matière première. Nous adopterons un montant forfaitaire de 5 000 FCFA pour le transport.

| Désignation | Unité | Quantité | Prix unitaire en FCFA | Prix Total en FCFA |
|-------------|-------|----------|-----------------------|--------------------|
|-------------|-------|----------|-----------------------|--------------------|

#### IV.1.1 Capteur plan

Tableau IV-1 : Evaluation du prix de revient du capteur

|                                    |                |      |        |        |
|------------------------------------|----------------|------|--------|--------|
| TUYAUTERIE                         |                |      |        |        |
| Tube de cuivre 10x12               | m              | 26,5 | 1 600  | 42 400 |
| Baguette argent                    | u              | 8    | 200    | 1 600  |
| VITRAGE                            |                |      |        |        |
| Verre ordinaire épaisseur 3mm      | u              | 1    | 6 000  | 6 000  |
| ABSORBEUR                          |                |      |        |        |
| Feuille de tôle galva de 1mm (2x1) | u              | 1    | 17 000 | 17 000 |
| Peinture noire mate                | u              | 2    | 4 000  | 8 000  |
| CADRE                              |                |      |        |        |
| Planche 2. traits                  | m              | 2    | 2 000  | 4 000  |
| Feuille de contre-plaquet de 4mm   | u              | 1    | 7 000  | 7 000  |
| ISOLATION                          |                |      |        |        |
| Polystyrène expansé (50mm)         | m <sup>2</sup> | 3    | 5 000  | 15 000 |
| Feuille d'aluminium 1mm (2x1)      | u              | 1    | 30 000 | 30 000 |
| Mastique                           | kg             | 1    | 1 300  | 1 300  |
| SUPPORT                            |                |      |        |        |
| cornière                           | m              |      |        | -      |
| Baguette ordinaire                 | u              | 20   | 15     | 300    |

|  |  |  |       |         |
|--|--|--|-------|---------|
|  |  |  | Total | 132 600 |
|--|--|--|-------|---------|

### IV.1.2 Réservoir de stockage

Tableau IV-2 : Evaluation du prix de revient du réservoir

| Désignation                                 | Unité | Quantité | Prix unitaire en FCFA | Prix Total en FCFA |
|---------------------------------------------|-------|----------|-----------------------|--------------------|
| Enveloppe interne (tôle galva de 1mm (2x1)) | u     | 1        | 17 000                | 17 000             |
| Enveloppe externe (tôle galva de 1mm (2x1)) | u     | 1        | 17 000                | 17 000             |
| Isolation                                   | u     | 2        | 5 000                 | 10 000             |
| Total                                       |       |          |                       | 44 000             |

### IV.1.3 Accessoires de plomberie

Tableau IV-3 : Evaluation du prix de revient des accessoires de plomberie

| Désignation                | Unité | Quantité | Prix unitaire en FCFA | Prix Total en FCFA |
|----------------------------|-------|----------|-----------------------|--------------------|
| manchon 20/27              | u     | 2        | 400                   | 800                |
| manchon 15/21              | u     | 1        | 400                   | 400                |
| coude 20/27                | u     | 2        | 500                   | 1 000              |
| coude 15/21                | u     | 3        | 500                   | 1 500              |
| Té 15/21                   | u     | 1        | 400                   | 400                |
| Raccord mixte male/male    | u     | 3        | 500                   | 1 500              |
| Raccord mixte male/femelle | u     | 2        | 500                   | 1 000              |
| réducteur 20/27            | u     | 3        | 500                   | 1 500              |

|                    |   |   |       |        |
|--------------------|---|---|-------|--------|
| Bouchon 15/21      | u | 1 | 400   | 400    |
| Robinet d'arrêt    | u | 1 | 2 500 | 2 500  |
| Robinet de puisage | u | 1 | 2 000 | 2 000  |
| Total              |   |   |       | 13 000 |

#### IV.1.4 Main d'œuvre et transport

Le coût de la main-d'œuvre sera pris égal à 35% du coût de la matière première. Nous adopterons un montant forfaitaire de 5 000 FCFA pour le transport.

Tableau IV-4 : Coûts supplémentaires

|              |        |      |
|--------------|--------|------|
| Main d'œuvre | 65 695 | FCFA |
| Transport    | 5 000  | FCFA |
| Total        | 70 695 | FCFA |

#### IV.1.5 Prix de revient du chauffe-eau

Le prix de revient de notre chauffe-eau est le cumul de toute ces sommes et donc, on a :

Tableau IV-5 : Prix de revient de notre chauffe-eau

|                           |         |      |
|---------------------------|---------|------|
| Capteur                   | 132 600 | FCFA |
| réservoir de stockage     | 44 000  | FCFA |
| Accessoire de plomberie   | 13 000  | FCFA |
| Main-d'œuvre et transport | 70 695  | FCFA |
| COUT DU CHAUFFE-EAU       | 260 960 | FCFA |

Remarque :

Un chauffe-eau solaire de même capacité que le notre (163 l) coûte 950 000 FCFA, donc notre produit est de loin plus abordable.

## **IV.2 DELAI DE RECUPERATION DE L'INVESTISSEMENT (DRC)**

Hypothèses de calcul

Température d'eau froide = 20 °C

Température d'eau chaude = 60 °C

On suppose que l'eau chaude sera utilisée journalièrement à hauteur de 85% du volume de stockage soit 138.48 l.

Calcul de la durée d'amortissement

La quantité de chaleur  $Q_u$  nécessaire pour porter à une température de 60 °C, 138.48 l d'eau à 20 °C est :

$$Q_u = M \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q_u = 138.48 \cdot (60 - 20)$$

$$Q_u = 5539,2 \text{ kcal}$$

Ce qui correspond à une puissance utile  $P_u$  égale à :

$$P_u = 5539,2 \cdot 4,18 / 3600$$

$$P_u = 6.43 \text{ kWh}$$

Le coût du kWh est 126,2 FCFA avec une TVA de 18 % et une taxe communale de 2,5 % donc cette puissance correspond à une économie journalière  $E$  de :

$$E = 6.43 \cdot 126,2 \cdot (1 + 0,18 + 0,25)$$

$$E = 1160,39 \text{ FCFA}$$

Le DRC est donnée par la relation suivante :

$$DRC = \frac{\text{Investissement}}{\text{Economie}}$$

Et donc, on obtient  $DRC = 223$  jours soit environ 7 mois et demi.

Le produit devra fonctionner correctement pendant une durée de 7 mois et demi pour être amorti.

#### IV.3 COMPARAISON ENTRE LES CHAUFFE-EAUX SOLAIRE ET ELECTRIQUE

Nous nous proposons dans cette partie de faire une étude comparative entre notre produit et un chauffe-eau électrique qui fournirais la même puissance journalière. Cette comparaison se fera sur une période de dix (10) ans avec un taux d'actualisation de 12 %.

Cette énergie nécessaire est de 8,70825 kWh/j soit 3178,51125 kWh/an.

L'évaluation du coût d'exploitation s'est fait de la même manière qu'au paragraphe V.2.

| CHAUFFE-EAU ELECTRIQUE |          |                 |            |
|------------------------|----------|-----------------|------------|
|                        | Valeur   | Valeur actuelle | VAN        |
| Investissement         | -320 000 |                 | -320 000   |
| Coût exploitation      | -428 741 | -1 331 604      | -1 331 604 |
| Coût entretien         | 0        | 0               | 0          |
| VAN                    |          |                 | -1 651 604 |

| CHAUFFE-EAU SOLAIRE |          |                 |          |
|---------------------|----------|-----------------|----------|
|                     | Valeur   | Valeur actuelle | VAN      |
| Investissement      | -260 960 |                 | -260 960 |
| Coût exploitation   | 0        | 0               | 0        |
| Coût entretien      | -15 000  | -46 588         | -46 588  |
| VAN                 |          |                 | -307 548 |

Ces résultats montrent que notre produit est plus rentable qu'un chauffe-eau électrique de même capacité.

## CONCLUSION

Né d'un besoin d'économie d'énergie et de confort du Professeur SARR, ce projet a permis de voir l'aspect pratique des connaissances acquises durant notre formation. En effet, nous avons eu à concevoir et à réaliser un chauffe-eau solaire (capteur + réservoir) pour une maison de 15 personnes et à l'expérimenter.

L'objectif visé, qui était de garantir de façon continue l'eau chaude sanitaire, ceci à un coût moindre, a été atteint (température minimale de 50 °C dans le réservoir).

Les études expérimentales et économiques effectuées sur notre produit ont témoigné de sa conformité avec nos exigences tant du point de vue coût que du point de vue fonctionnalité.

Nous avons montré par notre étude la rentabilité du chauffe-eau solaire par rapport à celui fonctionnant à l'électricité.

Des études menées en parallèle ont montré la forte demande de ce produit ainsi que la rentabilité d'une unité de fabrication de chauffe-eaux solaires.

Qu'est ce donc à dire si ce n'est que l'orientation vers les énergies renouvelables, en particulier le solaire, est une alternative d'envergure face à la problématique de l'énergie.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Thierry CABIROL – Albert PELISSOU – Daniel ROUX  
« L'INSOLATEUR PLAN A EFFET DE SERRE et LE CHAUFFE-EAU SOLAIRE »  
EDISUD, AIX-EN-PROVENCE 1978
- [2] Mamadou KANOUTE  
« SYSTEME CHAUFFE-EAU – CAPTEUR SOLAIRE »  
PROJET DE FIN D'ETUDES ; Ecole Polytechnique de Thiès (EPT) 1982
- [3] Youssou MBODJI  
« CONCEPTION D'UN NOUVEAU MODELE DE CHAUFFE-EAU SOLAIRE »  
PROJET DE FIN D'ETUDES ; Ecole Polytechnique de Thiès (EPT) 1989
- [4] Salif GAYE - Mamadou Syll KEBE  
« EQUIPEMENT DU C.F.P DAKAR – MARINE D'UN CHAUFFE-EAU  
SOLAIRE POUR LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE »  
MEMOIRE DE FIN D'ETUDES ; ENSUT (UCAD) 1986
- [5] R. BERNARD - G. MENGUY - M. SCHWARTZ  
« LE RAYONNEMENT SOLAIRE : CONVERSION THERMIQUE ET  
APPLICATIONS. »  
Technique & Documentation Lavoisier, 2<sup>e</sup> édition augmentée 1980
- [6] Paul DEMBA

- [7] Abdelhamine BENALLOU - Jacques BOUGARD  
*« GUIDE DE L'ENERGIE SOLAIRE : LE SOLAIRE THERMIQUE AU SERVICE  
DU DEVELOPPEMENT DURABLE »*
- [8] Henri Charlent  
*« TRAITE DE PLOMBERIE »*  
DUNOD, 14<sup>e</sup> édition révisée en 1984
- [9] Centre d'Etudes et de Recherche sur les Energies Renouvelables  
CERER (Hann DAKAR – SENEGAL)
- [10] Frank KREITH - William Z. BLACK  
*« BASIC HEAT TRANSFER »*  
HARPER & ROW, New York 1980
- [11] John A. Duffie – William A. Beckman  
*« SOLAR ENERGY THERMAL PROCESSES »*  
John Wiley & Sons, 1974

## WEBOGRAPHIE

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

<http://www.google.fr/url?q=http://www.retscreen.net/fr/home.php&sa=X&oi=smap&resnu m=1&ct=result&cd=2&usg=AFQjCNFVRN0nsbLYzpn9IO5tbznWYPEawA>

<http://perso.orange.fr/f5zv/AMIS/GAIA/GA04/GA04A07.html>

<http://domsweb.org/ecolo/solaire.php>

<http://pages.videotron.com/cluber/index.html>

<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>

<http://perso.orange.fr/f5zv/AMIS/GAIA/GA04/GA04A.html>

<http://www.onpeutlefaire.com/ilslontfait/regis-chauffe-eau-solaire.php>

<http://perso.orange.fr/f5zv/SOLAIRE/SM5/SM5.html>

<http://www.outilssolaires.com/premier/prin-thermosiphon.htm>

[http://www.tecsol.fr/st\\_fr/calcul2.htm](http://www.tecsol.fr/st_fr/calcul2.htm)

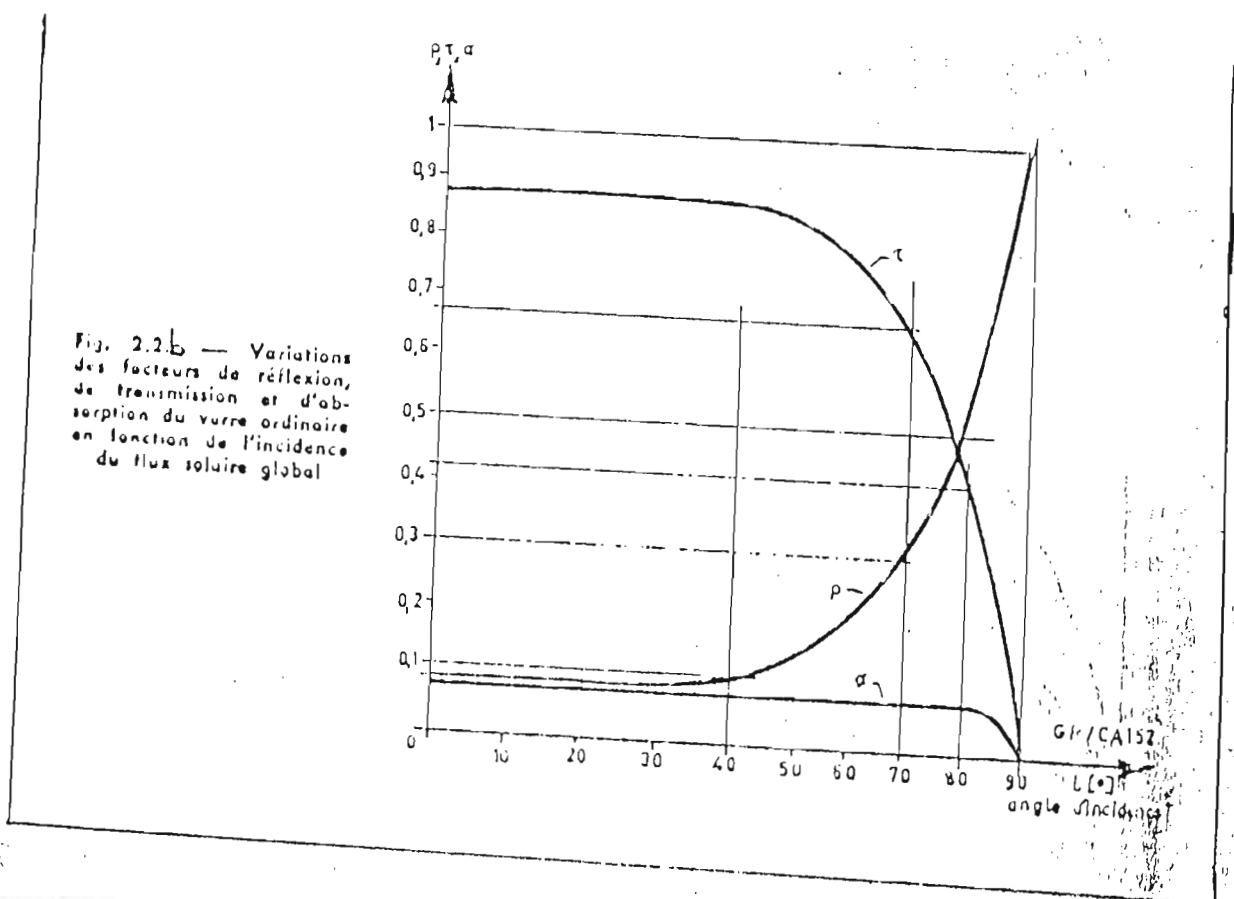
[http://www.alpilles-solaires.fr/CP\\_CSV\\_MN\\_I\\_Partout.html#mozTocId902938](http://www.alpilles-solaires.fr/CP_CSV_MN_I_Partout.html#mozTocId902938)



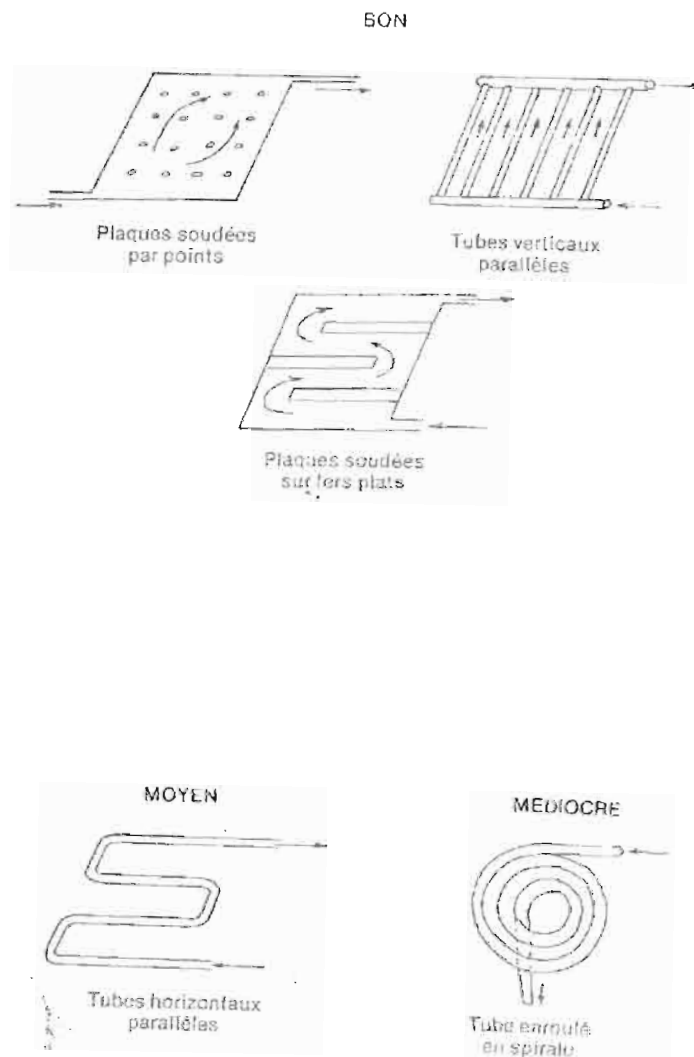
# ***ANNEXES***

## ANNEXES

### ANNEXE 1 : VARIATION DES FACTEURS DE REFLEXION, DE TRANSMISSION ET D'ABSORPTION DU VERRE ORDINAIRE EN FONCTION DE L'INCIDENCE DU FLUX SOLAIRE



**ANNEXE 2 : CLASSIFICATION PAR FORME DES SERPENTINS [1]**



## ANNEXE 3 LISTE ISOLANTS

|                                        | Masse volumique (kg/m³) | Conductivité thermique |                 | Température maximale d'utilisation    | résistance              |                                         |          |                      | Présentations courantes                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|----------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                        |                         | (W/m. °C)              | (kcal/h. m. °C) |                                       | Humidité                | Feu                                     | Rongeurs | chimique             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Laine de verre                         | 20 à 70                 | 0.041                  | 0.035           | Supérieur à 150°C                     | x nécessite pare vapeur | xxx<br>xxx bon<br>xx moyen<br>x mauvais | xxx      | xxx                  | - feutre souple<br>- panneaux rigides plans (meilleure résistance à l'humidité)<br>- coquilles cylindriques pour tuyauteries<br>- matelas de feutre cousu sur carton ou grillage<br>- remarque : les feutres, panneaux et coquilles peuvent être nus ou collés sur un pare vapeur (kraft bitumé, aluminisé...) |
| Laine de roche                         | 80 à 150                | 0.041                  | 0.035           | Supérieur à 150°C                     | x nécessite pare vapeur | xxx                                     | xxx      | xxx                  | Voir laine de verre (sauf bourrelets)<br>Remarques : 1/ résiste mieux à l'écrasement que la laine de verre<br>2/ la laine de roche est généralement utilisée pour des températures plus élevées                                                                                                                |
| Polystyrène expansé obtenu par moulage | 15 à 25                 | 0.042 à 0.039          | 0.036 à 0.034   | 85°C                                  | x nécessite pare vapeur | x                                       | x        | x solvants agressifs | - panneaux rigides<br>- coquilles pour canalisations<br>- segments pour réservoirs<br>- perles et copeaux                                                                                                                                                                                                      |
| Polystyrène expansé thermo comprimé    | 18 à 30                 | 0.038 à 0.036          | 0.033 à 0.031   | 85°C                                  | xxx                     | x                                       | x        | x solvants agressifs | Voir polystyrène obtenu par moulage<br>Remarque : bonne résistance à l'écrasement                                                                                                                                                                                                                              |
| Mousse de polyuréthane                 | 30 à 35                 | 0.029                  | 0.025           | Généralement un peu supérieur à 100°C | xxx                     | x mais ne propage pas la flamme         | xxx      | xx                   | - panneaux rigides<br>- plaques souples<br>- manchons souples pour tuyauteries<br>Remarque : certaines qualités sont variables selon les marques.                                                                                                                                                              |
| Mousse de polyuréthane en bombe        | 25                      | 0.027                  | 0.023           | 100°C ou plus                         | xxx                     | x mais ne propage pas la flamme         | xxx      | xx                   | Une bombe de 1kg donne un volume de 40 litres<br>Remarque : n'adhère pas sur les silicones, le téflon, le polyéthylène                                                                                                                                                                                         |
| Liège expansé pur                      | 210                     | 0.043                  | 0.037           | Supérieur à                           | xxx                     | x                                       | xx       | xx                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |



## ANNEXE 4 MISE A L'EPREUVE DU RESERVOIR (enveloppe interne)

### 1. Introduction

NOUS AVONS CHOISI DE LA TOLE GALVA AVEC UNE EPAISSEUR DE 1mm. IL NOUS FALLAIT DONC VERIFIER SON ADEQUATION.

---

### 2. Informations sur les fichiers

**Nom du modèle:** reservoir\_envintr

**Emplacement du modèle:** C:\Documents and Settings\ALIOUNE\Bureau\pr2main\NGOR\_REPRIS\reservoir\_envintr.SLDPRT

**Emplacement des résultats:** C:\Program Files\SolidWorks (2)\COSMOS\work

**Nom de l'étude:** COSMOSXpressStudy (-Défaut-)

### 3. Matériaux

| No. | Nom de la pièce   | Matériaux                     | Masse        | volumique         |
|-----|-------------------|-------------------------------|--------------|-------------------|
| 1   | reservoir_envintr | [SW]Acier allié<br>inoxydable | 35.233<br>kg | 0.00482644<br>m^3 |

### 4. Informations sur les chargements et les déplacements imposés

Déplacements imposés

|                                                   |                                              |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>Déplacement imposé1</b><br><reservoir_envintr> | sur 1 Face(s) immobile (pas de translation). |
| <b>Description:</b>                               |                                              |

#### Chargements

|                                           |                                                                                          |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Chargement1</b><br><reservoir_envintr> | sur 2 Face(s) avec pression 2e+005 N/m^2<br>le long de la normale à la face sélectionnée |
| <b>Description:</b>                       |                                                                                          |

### 5. Propriété d'étude

#### Informations sur le maillage

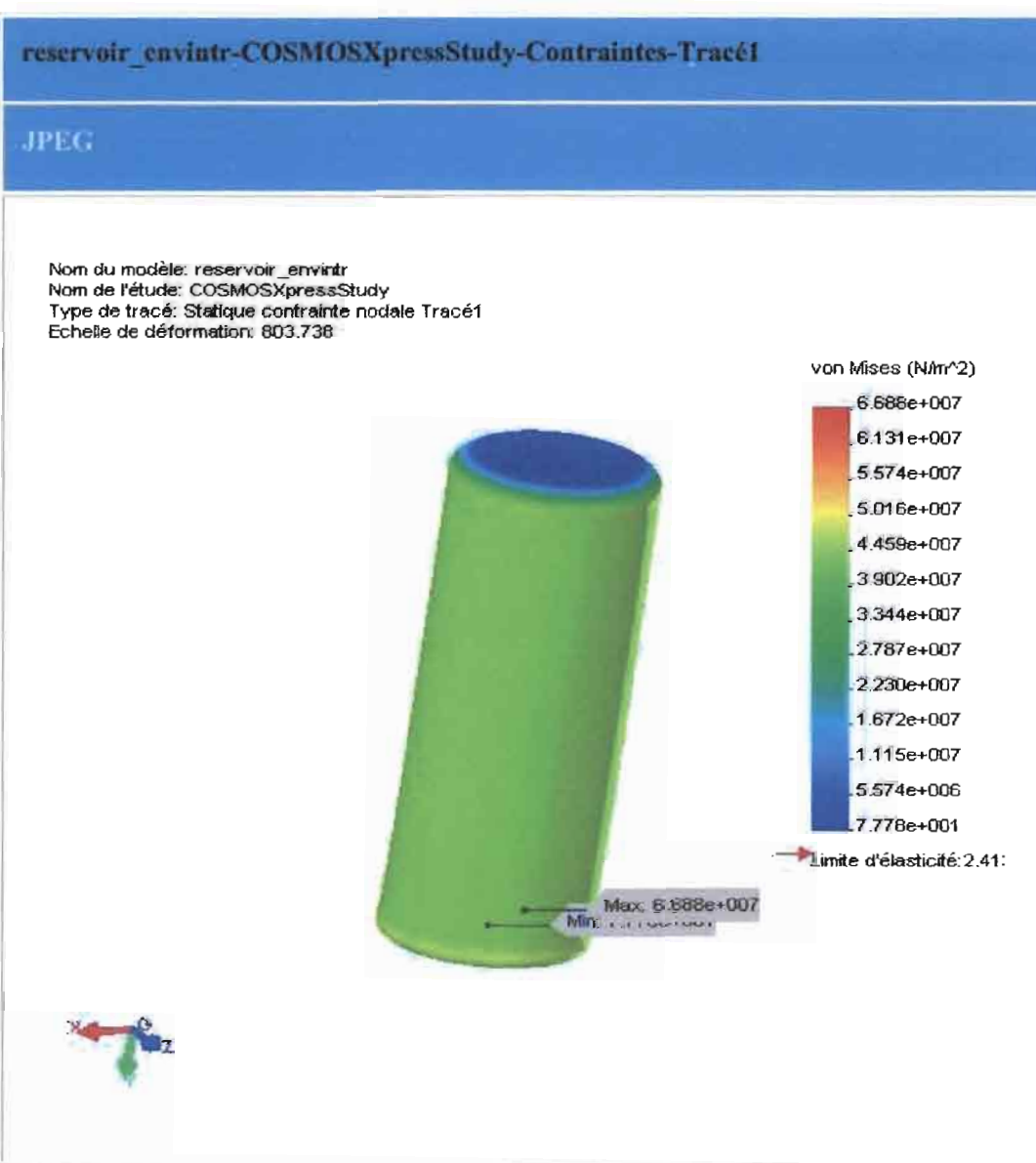
|                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| Type de maillage:       | Maillage volumique |
| Mailleur utilisé:       | Standard           |
| Transition automatique: | Désactivé(e)       |
| Maillage lissé:         | Activé(e)          |
| Vérif. du Jacobien:     | 4 Points           |
| Taille de l'élément:    | 16.903 mm          |
| Tolérance:              | 0.84513 mm         |
| Qualité:                | Haute              |
| Nombre d'éléments:      | 56223              |
| Nombre de noeuds:       | 108859             |

#### Informations sur le solveur

|                  |       |
|------------------|-------|
| Qualité:         | Haute |
| Type de solveur: | FFE   |

### 6. Contraintes

| Nom    | Type                                  | Min              | Emplacement     | Max                  | Emplacement      |
|--------|---------------------------------------|------------------|-----------------|----------------------|------------------|
| Tracé1 | VON:<br>contrainte<br>de von<br>Mises |                  | (94.8212<br>mm, |                      | (-47.1766<br>mm, |
|        |                                       | 77.7783<br>N/m^2 | 782 mm,         | 6.6885e+007<br>N/m^2 | 780 mm,          |
|        |                                       |                  | -12.4165<br>mm) |                      | -101.012<br>mm)  |

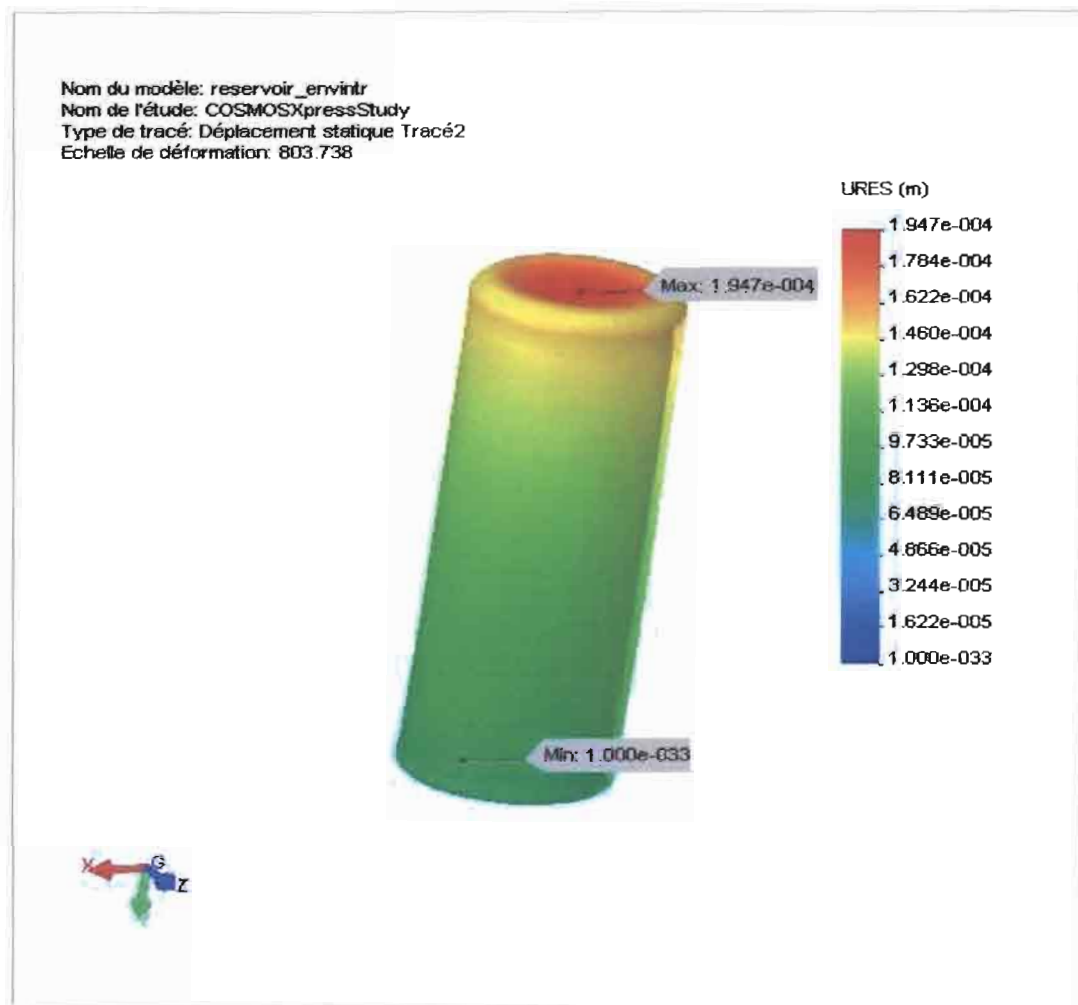


## 7. Déplacements

| Nom    | Type                              | Min    | Emplacement                            | Max              | Emplacement                                    |
|--------|-----------------------------------|--------|----------------------------------------|------------------|------------------------------------------------|
| Tracé2 | URES:<br>Déplacement<br>résultant | 0<br>m | (-51.4318<br>mm,<br>782 mm,<br>-94 mm) | 0.000194658<br>m | (111.904<br>mm,<br>-781 mm,<br>-2.76665<br>mm) |

reservoir\_cavitr-COSMOSXpressStudy-Déplacements-Tracé2

JPEG

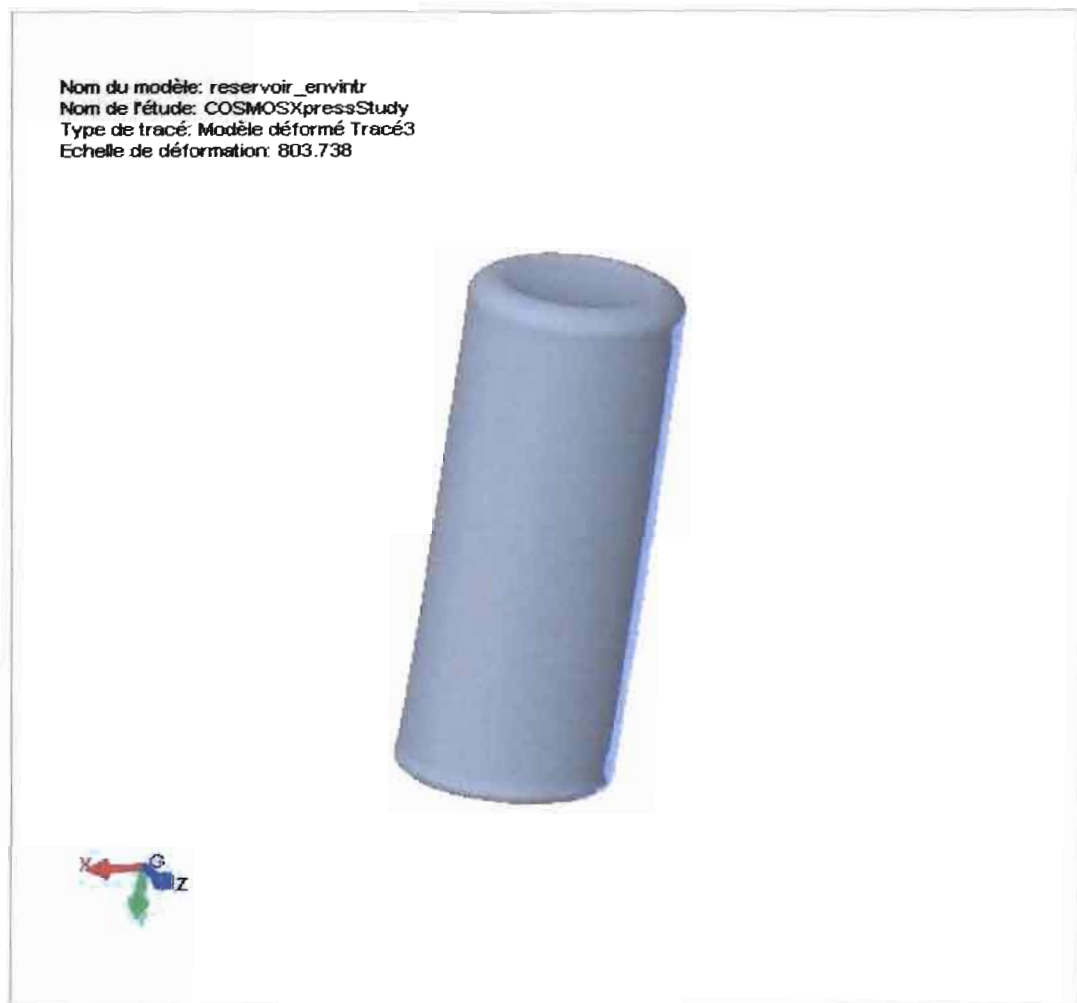


## 8. Déformées

| Tracé no. | Facteur d'échelle |
|-----------|-------------------|
| 1         | 803.74            |

reservoir\_envintr-COSMOSXpressStudy-Déformée-Tracé3

JPEG



## **9. Contrôle de conception**

**reservoir\_envintr-COSMOSXpressStudy-Contrôle de conception-Tracé4**

**JPEG**

**Nom de la bibliothèque de matériaux:** Matériaux SolidWorks

**Type de modèle de matériau:** Linéaire élastique isotropique

| Nom de la propriété               | Valeur      | Unités            |
|-----------------------------------|-------------|-------------------|
| Module d'élasticité               | 1.9e+011    | N/m <sup>2</sup>  |
| Coefficient de Poisson            | 0.26        | NA                |
| Module de cisaillement            | 7.8e+010    | N/m <sup>2</sup>  |
| Masse volumique                   | 7300        | kg/m <sup>3</sup> |
| Limite de traction                | 4.4808e+008 | N/m <sup>2</sup>  |
| Limite d'élasticité               | 2.4128e+008 | N/m <sup>2</sup>  |
| Coefficient d'expansion thermique | 1.5e-005    | /Kelvin           |
| Conductivité thermique            | 38          | W/(m.K)           |
| Chaleur spécifique                | 440         | J/(kg.K)          |

Note:

COSMOSXpress Les résultats sont basés sur la théorie de l'analyse statique linéaire et le matériau est supposé isotropique. L'analyse statique linéaire suppose que: 1) Le comportement du matériau est linéaire et suit la loi de Hooke, 2) les déplacements induits sont suffisamment petits pour ignorer les modifications de rigidité dus aux chargements, et 3) les chargements sont appliqués lentement et les effets dynamiques sont négligeables.

Ne basez pas vos décisions de conceptions uniquement sur les données présentées dans ce rapport. Utilisez ces informations en conjonction avec des données expérimentales et votre expérience pratique. Des tests réels sont indispensables pour valider votre produit final.

COSMOSXpress permet de réduire la durée de développement de vos produits en diminuant le nombre de tests réels, mais pas en les supprimant totalement.

**ANNEXE 5 Dessins de définition du modèle**

## **ANNEXE 6 LA REALISATION EN IMAGE**



1. Découpage des planches pour  
le cadre

2. Rainurage des faces latérales  
du cadre



3. montage du serpentin sur  
l'absorbeur

4. Mise en place de l'isolation



5. Assemblage cadre-absorbeur  
(1)

6. Assemblage cadre-absorbeur  
(2)

*Conception et Réalisation d'un chauffe-eau solaire  
ESP/THIES*



7. Découpage de la vitre

8. Préparation du cadre pour la vitre



*Présenté par Alioune Diop SY  
2007*

p

10. Fixation de la vitre 2006 /

9. Application du mastic sur les  
jointions cadre-vitre



11. support du capteur



12. Interconnexion des  
canalisations



13. Point de purge

*Présenté par Alioune Diop SY  
2007*

14. Mise en place de la vis de  
purge

*2006 /*



15. Capteur monté



16. Peinte du support du réservoir  
(1)



17. Ensemble capteur-réservoir

## ANNEXE 7 THERMOCOUPLE

Ils sont utilisés pour la mesure de température et leurs avantages résident dans le fait qu'ils sont bon marché et qu'ils permettent de mesurer une grande gamme de températures.

Cependant, un défaut de précision constitue leur véritable point faible. En effet, il est très difficile d'obtenir des mesures avec une erreur relative entre 0.1°C et -0.2°C.

La mesure de la température est basée sur l'effet Seebeck

Le thermocouple est un générateur thermoélectrique constitué de deux conducteurs de natures différentes réunis en un point par une soudure. Il fournit une force électromotrice dont la valeur est fonction de la température du point de jonction. Ce point est appelé soudure chaude ou soudure de mesure. L'autre point de jonction est la soudure froide.

Par effet Seebeck, le thermocouple génère une différence de potentiel qui dépend de la différence de température entre les deux jonctions  $T_1 - T_2$ .

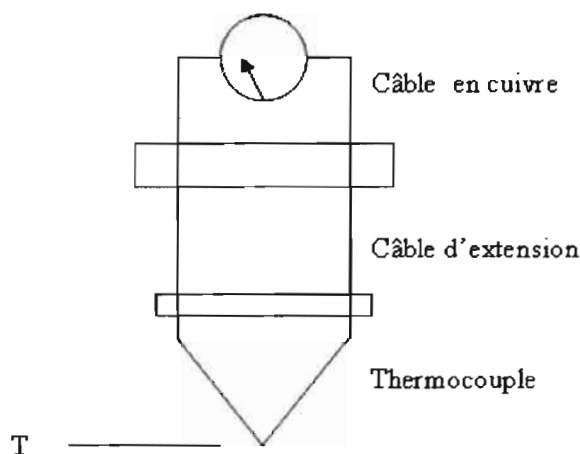


Fig. I .10. : Principe du thermocouple

Les thermocouples mesurent une différence de température et non pas proprement parler une température. Ainsi, pour mesurer la température inconnue c'est-à-dire celle de la soudure chaude, la jonction de la soudure froide doit être maintenue une température connue (température de référence)

Il existe plusieurs types de thermocouples .Tous sont utilisés pour une gamme précise de température de quelques degrés à quelques milliers de degrés. Les signaux électriques de ces sondes sont de l'ordre du microvolt au millivolt et sont non linéaires. Les signaux sont

traités par des modules électroniques intégrant une fonction adaptée au thermocouple qui linéarise le signal et le corrige avec la soudure froide.

Ainsi, à partir de points de référence de coordonnées (4mA, 0°C) et (20mA, 1200°C), l'automaticien peut à partir d'une mesure donnée du courant déduire la correspondance thermique.

Les thermocouples peuvent être classés selon les types de métaux qui les constituent .Ils diffèrent ainsi par leur gamme de température, leur précision, et aussi leur type d'isolation.

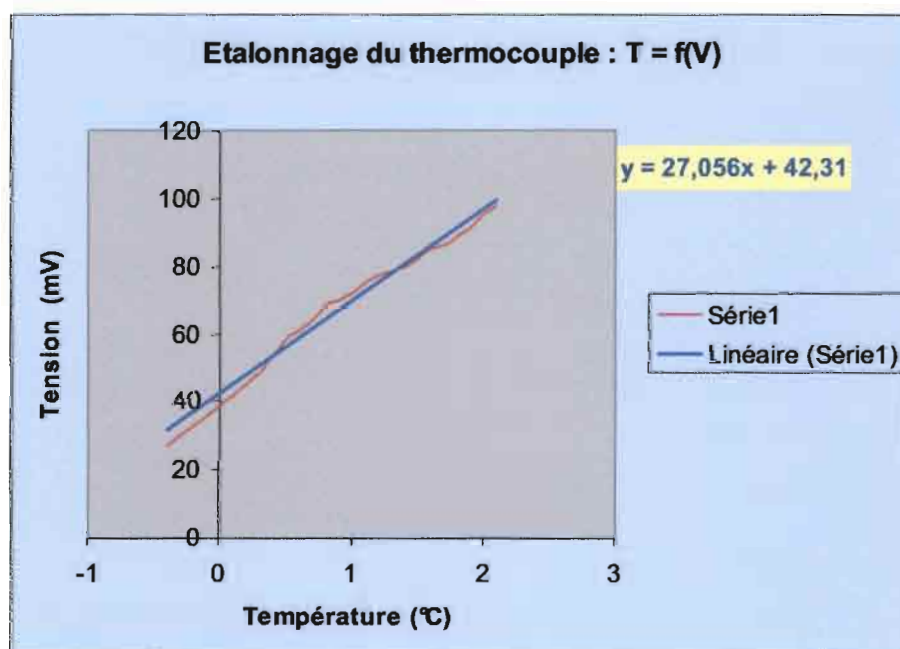
Nous pouvons citer :

**Tableau : Type Métal 1 Métal 2 Gamme de température**

| Types | Métal 1                               | Métal 2                      | Gamme de température        |
|-------|---------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| K     | Chromel (Nickel + Chrome)             | Alumel (nickel + aluminium)  | -200°C à 1200°C             |
| E     | Chromel (Nickel + Chrome)             | Constantan (cuivre + nickel) | Pour basses températures    |
| N     | Nicrisil (Nickel + chrome + silicium) | Nisil (nickel +silicium)     | Pour hautes températures    |
| J     | Fer                                   | Constantan (cuivre + nickel) | Fonctionnement dans le vide |
| T     | Cuivre                                | Constantan (cuivre + nickel) | Pour basses températures    |
| R     | Platine + Rhodium (13%)               | Platine                      | Pour hautes températures    |
| S     | Platine + Rhodium (10%)               | Platine                      | Pour hautes températures    |
| B     | Platine + Rhodium (30%)               | Platine + Rhodium (6%)       | Pour hautes températures    |



Montage d'étalonnage



## **MAINTENANCE**

Les systèmes solaires sont construits pour durer aussi longtemps que tout système de plomberie, et doivent être conçus pour résister aux intempéries. Il s'agit donc de systèmes fiables, demandant peu d'entretien. C'est en particulier la cas des systèmes du type thermosiphon qui ne possèdent aucun contrôleur pouvant faire défaut, ni pièce mécanique en mouvement. Des contrôles de routine permettront de détecter à temps tout problème sur le système solaire. Leur entretien maintiendra ses performances et prolongera sa durée de vie.

### **Boucle solaire**

Les suivants sont recommandés après chaque tempête. Il s'agit d'effectuer une inspection des capteurs solaires et de la tuyauterie.

- Détecter et corriger tout bris de vitre, de tuyauterie, ou d'isolant.
- Nettoyer si nécessaire les capteurs solaires.
- Vérifier l'état et la solidité des supports.
- Chercher et corriger toute fuite éventuelle.
- Dans les capteurs plans vitrés, surveiller l'apparition d'humidité. Si c'est le cas, vérifier et corriger le joint entre le cadre et la vitre. Il faut aussi vérifier que les drains placés en dessous du capteur soient bien dégagés, permettant à l'isolant du capteur de *respirer*

### **Réservoir de stockage**

Dans les endroits où l'eau est chargée en minéraux ou particules en suspension, il est recommandé de procéder régulièrement à une vidange complète et au nettoyage du réservoir. L'élimination des dépôts permet de conserver l'efficacité du système, de prévenir des risques d'obstruction de la tuyauterie, mais également des risques de prolifération bactérienne.

### **Sécurité**

Les capteurs en stagnation peuvent atteindre des températures d'autant plus élevées qu'ils sont performants. Même un capteur plan à simple vitrage peut monter en stagnation à une température supérieure à 100°C. Il existe un danger de brûlure au simple contact des pièces métalliques proches de la plaque absorbante. On recommande de porter des gants et d'utiliser une toile pour couvrir les capteurs pendant l'installation ou la maintenance.