

## TABLE DES MATIERES

<b>TABLE DES MATIERES .....</b>	<b>i</b>
<b>LISTE DES ABREATIONS .....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>v</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>vii</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : THERMOCOUPLE, DS1820 ET ARDUINO UNO .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1Laboratoire Thermodynamique Thermique et Combustion .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2Arduino .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.1.Présentation d’Arduino .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.2.But et utilité .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.3.Applications .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.4.Outils Arduino.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3Capteurs de température.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.1.DS18B20 .....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.2.Thermocouple Max .....</b>	<b>10</b>
<b>1.4Montage thermocouple, DS1820 et Arduino Uno .....</b>	<b>12</b>
<b>1.4.1.Thermocouple Max .....</b>	<b>12</b>
<b>1.4.2.Test .....</b>	<b>12</b>
<b>Chapitre 2 : THERMIQUE SOLAIRE ET CUISEUR SOLAIRE.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.Soleil.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.1Caractéristiques du soleil .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.2Présentation générale du soleil .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.Énergie solaire .....</b>	<b>16</b>
<b>2.5.1Origine .....</b>	<b>16</b>
<b>2.5.2Caractéristiques particulières .....</b>	<b>16</b>
<b>2.5.3Ressource solaire .....</b>	<b>17</b>
<b>2.5.4Gisement solaire en Afrique.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.Transferts thermiques.....</b>	<b>19</b>

2.3.1	Conduction (diffusion thermique) .....	19
2.3.2	Convection thermique.....	19
2.3.3	Rayonnement thermique.....	20
2.4.	Thermique solaire .....	21
2.5.	Cuiseur solaire .....	22
2.5.1	Définition .....	22
2.5.2	Principe de cuiseur solaire .....	22
2.5.3	Différents types de cuiseur solaire.....	22
Chapitre 3 : CONCEPTION D'UN CUISEUR SOLAIRE .....		24
3.1	Matériels de construction .....	24
3.2	Outils physico-mathématiques .....	28
3.3	Construction .....	29
3.3.1.	Concentrateur .....	29
3.3.2.	Support en bois.....	30
3.3.3.	Traverses.....	31
3.3.4.	Fixateur .....	31
3.3.5.	Panneau à marmite .....	32
3.3.6.	Schéma du montage .....	33
3.4	Résultats .....	34
3.4.1	Etude du point foyer.....	34
3.4.2	Prélèvement de données .....	35
3.5	Analyse de données.....	40
3.6	Calcul du rendement .....	41
3.7	Discussions .....	42
CONCLUSION GENERALE .....		43

## LISTE DES ABREVIATIONS

GES : Gaz à Effet de Serre

LTTC : Laboratoire de Thermodynamique, Thermique et Combustion

IME : Institut pour la Maîtrise de l'Énergie

ATM : Atmosphérique

EM : Électromagnétique

*Rapport-gratuit.com*   
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

## NOMENCLATURE

SYMBOLE	DEFINITION	UNITES
<b>Lettres latines</b>		
M	Masse	kg
p	Puissance	W/m <sup>2</sup>
S	Aire d'une Surface	m <sup>2</sup>
t	temps	second
T	Température	°C
Tex	Température extérieure	°C
Tint	Température intérieure	°C
M	Masse	kg
<b>Lettres grecques</b>		
$\Delta T$	Variation de température	°C
$\Phi$	Chaleur	W
$\Upsilon$	Rendement	%
$\theta_f$	Température finale de l'eau	°C
$\theta_i$	Température initiale de l'eau	°C
$\rho$	Masse volumique	kg/m <sup>3</sup>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Présentation de carte Arduino.....	5
Figure 2 : Logiciel Arduino.....	7
Figure 3 : Présentation des boutons.....	7
Figure 4 : Capteur de température DS18B20 .....	9
Figure 5: Thermocouple Max.....	10
Figure 6 : Schéma de principe d'effet Seebeck.....	11
Figure 7 : Photo du montage d'un Arduino et des capteurs de température .....	12
Figure 8: Soleil.....	14
Figure 9 : Cycle de vie du Soleil.....	15
Figure 10 : Carte mondiale du gisement solaire.....	17
Figure 11 : Cuiseur de type boîte .....	22
Figure 12 : Cuiseur à panneaux réfléchissants .....	23
Figure 13 : Cuisinières paraboliques .....	23
Figure 14 : Schéma d'une antenne parabolique .....	24
Figure 15 : Schémas de réflecteur parabolique .....	24
Figure 16 : Coup vitre .....	25
Figure 17 : Rabot.....	25
Figure 18:Perceuse .....	26
Figure 19 : Traitement des madriers.....	26
Figure 20 : Boulons .....	27
Figure 21 : Présentation de point de foyer .....	28
Figure 22 : Concentrateur d'énergie solaire .....	29
Figure 23 : Morceau de miroir .....	30
Figure 24: Photo de support de cuiseur.....	30
Figure 25 : Photo traverse .....	31
Figure 26 : Photo de montage de fixateur .....	31
Figure 27 : Panneau a marmite.....	31
Figure 28: Support en pied en bois, travers et fixateur .....	31
Figure 29 : Mise en place de concentrateur solaire sur le support .....	31
Figure 30 : Concentrateur solaire avec le Panneau de marmite .....	31

Figure 31 : Étude de déplacement de point de foyer.....	31
Figure 32 : Test de point de foyer .....	31
Figure 33 : Prélèvement de donnée .....	31
Figure 34 : Courbe de la quantité de chaleur (J) .....	40
Figure 35 : Fil du capteur de température DS18B20.....	41

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Différents types de thermocouple .....	11
Tableau2 : Données d'échantillonnage de la température DS1820 et thermocouple.....	13
Tableau 3 : Caractéristiques principales du Soleil .....	15
Tableau 4 : Valeur de rayonnement solaire en Afrique.....	18
Tableau 5 : Prélèvement de température .....	36

## INTRODUCTION

Depuis les révolutions industrielles, le monde entier se basait sur l'exploitation des sources d'énergie fossiles telles que le pétrole, le gaz naturel ou encore le charbon. Ces 3 ressources représentaient, à eux seuls, 80 % des énergies consommées dans le monde. Si on prend le cas du pétrole, surnommé l'or noir, sa consommation a augmenté de 11 % après le premier choc pétrolier (1973) jusqu'au début des années 2000 en dépit de l'augmentation de son prix. Et on estime que cette consommation va encore augmenter de 30 à 40 % à l'horizon 2030 en dépit de sa production qui est à son sommet en ce moment. [1]

Mais étant des énergies fossiles, leur utilisation provoque une émission de CO<sub>2</sub> dans la nature. Ce qui constitue la principale cause de propagation des Gaz à Effet de Serre (GES) dans notre atmosphère (GES). Pour Madagascar, les coûts du pétrole et du gaz naturel sont très onéreux, ce qui rend encore leur utilisation hors portée des ménages locaux. C'est pourquoi la plupart des populations, bien que ruraux ou urbains, utilisent le charbon de bois notamment pour l'énergie domestique.

Ainsi, Madagascar est parmi les pays les plus exposés au réchauffement climatique. Pour remédier à cela, on doit tourner vers des nouvelles sources d'énergies, dites renouvelables et qui préservent l'environnement terrestre. Nous pouvons citer, entre autres, l'énergie solaire, l'éolienne, la géothermique, la marée motrice ou encore la biomasse. En ce qui concerne Madagascar, on possède un peu de tous les potentiels de ces nouveaux types d'énergie même si c'est le solaire qui prédomine vu notre position géographique.

Le soleil étant une étoile ayant une source d'énergie colossale, l'homme essaie de l'exploiter au fil de son histoire en l'utilisant pour différentes raisons, à savoir la cuisson, le séchage dans les civilisations archaïques. Mais plus tard, on l'exploite pour produire de l'électricité même si son coût d'exploitation est nettement supérieur à ceux d'autres sources d'énergie malgré son abondance.

Dans le cadre de ce travail, nous allons mettre en exergue un type d'utilisation de l'énergie solaire à Madagascar, à savoir, l'utilisation des cuiseurs solaires pour la cuisson des aliments.



Ce mémoire se divise en trois chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous allons décrire par le déroulement des activités de stage au Laboratoire Thermodynamique Thermique et Combustion(LTTC). Pendant ce stage, nous avons fait des études approfondies, du capteur de température DS18B20, thermocouple et d'Arduino Uno.
- Dans le deuxième chapitre, nous décrivons les phénomènes donnant naissance à la thermique solaire qui intervient dans les cuiseurs solaires.
- Dans le troisième chapitre, nous présentons notre projet personnel qui consiste en la réalisation d'un prototype de cuiseur solaire à partir des matériaux recyclés.

# **Chapitre 1 : THERMOCOUPLE, DS1820 ET ARDUINO UNO**

## **1.1 Laboratoire Thermodynamique Thermique et Combustion**

Ce mémoire a été réalisé dans le Laboratoire de Thermodynamique, Thermique et Combustion (LTTC) de la Mention Physique et Applications du Domaine Sciences et Technologies de l'Université d'Antananarivo où nous avons fait notre stage de fin d'étude en partenariat avec le Laboratoire d'Énergétique de l'Institut pour la Maîtrise de l'Énergie (IME) de l'Université d'Antananarivo

Le Laboratoire LTTC est l'un de sept (07) laboratoires de recherche de la Mention Physique et Applications du Domaine Sciences et Technologies de l'Université d'Antananarivo. Différentes activités de recherche y sont effectuées. Mais de manière générale, ledit laboratoire permet aux étudiants et chercheurs de réaliser leur projet de fin d'étude et de développer leurs travaux de recherche. Ce laboratoire est placé sous la responsabilité par Madame RANDRIAMANANTANY Zely Arivelo Professeur Titulaire à l'Université d'Antananarivo.

## **1.2 Arduino [2]**

### **1.2.1. Présentation d'Arduino**

Arduino est un projet créé par une équipe de développeurs composée de six individus : Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino, David Mellis et Nicholas Zambetti.

Cette équipe a créé le "système Arduino". C'est un outil qui va permettre aux débutants, amateurs ou professionnels de créer des systèmes électroniques plus ou moins complexes.

### **1.2.2. But et utilité**

Le système Arduino nous donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique. Plus précisément, nous allons programmer des systèmes électroniques. Le gros avantage de l'électronique programmée : c'est qu'elle simplifie grandement les schémas électroniques et par conséquent, le coût de la réalisation, mais aussi la charge de travail à la conception d'une carte électronique.

L'utilité est sans doute quelque chose que l'on perçoit mal lorsque l'on débute, mais une fois que l'on est rentré dans le monde d'Arduino, on est fasciné par l'incroyable puissance dont il est question et des applications possibles.

### **1.2.3. Applications**

Le système Arduino nous permet de réaliser un grand nombre de choses qui ont une application dans tous les domaines. Effectivement, l'étendue de l'utilisation d'Arduino est gigantesque. Nous avons quelques exemples de ses utilisations :

- Contrôler les appareils domestiques,
- Fabriquer son propre robot,
- Faire un jeu de lumières,
- Communiquer avec l'ordinateur,
- Télécommander un appareil mobile (modélisme).

Avec Arduino, nous pouvons faire des systèmes électroniques tels qu'une bougie électronique, une calculatrice simplifiée, un synthétiseur, etc. Tous ces systèmes sont conçus avec pour base une carte Arduino et un panel assez large de composants électroniques.

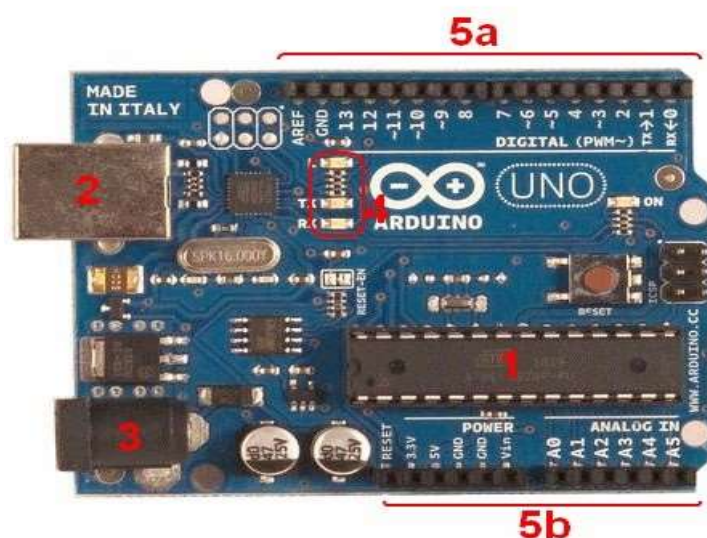
### 1.2.4. Outils Arduino

À présent, nous allons expliquer « l'utilisation » du système Arduino et voir comment il se présente. Il est composé de deux choses principales qui sont : le matériel et le logiciel. Avec ces deux outils réunis, il nous est possible de faire n'importe quelle réalisation, une fois que son fonctionnement est clair.

Il s'agit d'une carte électronique basée autour d'un microcontrôleur Atmega du fabricant Atmel.

#### a) Carte Arduino

Pour commencer notre découverte de la carte Arduino, nous allons vous présenter la carte en elle-même. Nous allons voir comment nous en servir tout en présentant sur la figure 1 la photo de ses points importants.



Source : [3]

Figure 1 : Présentation de la carte Arduino.

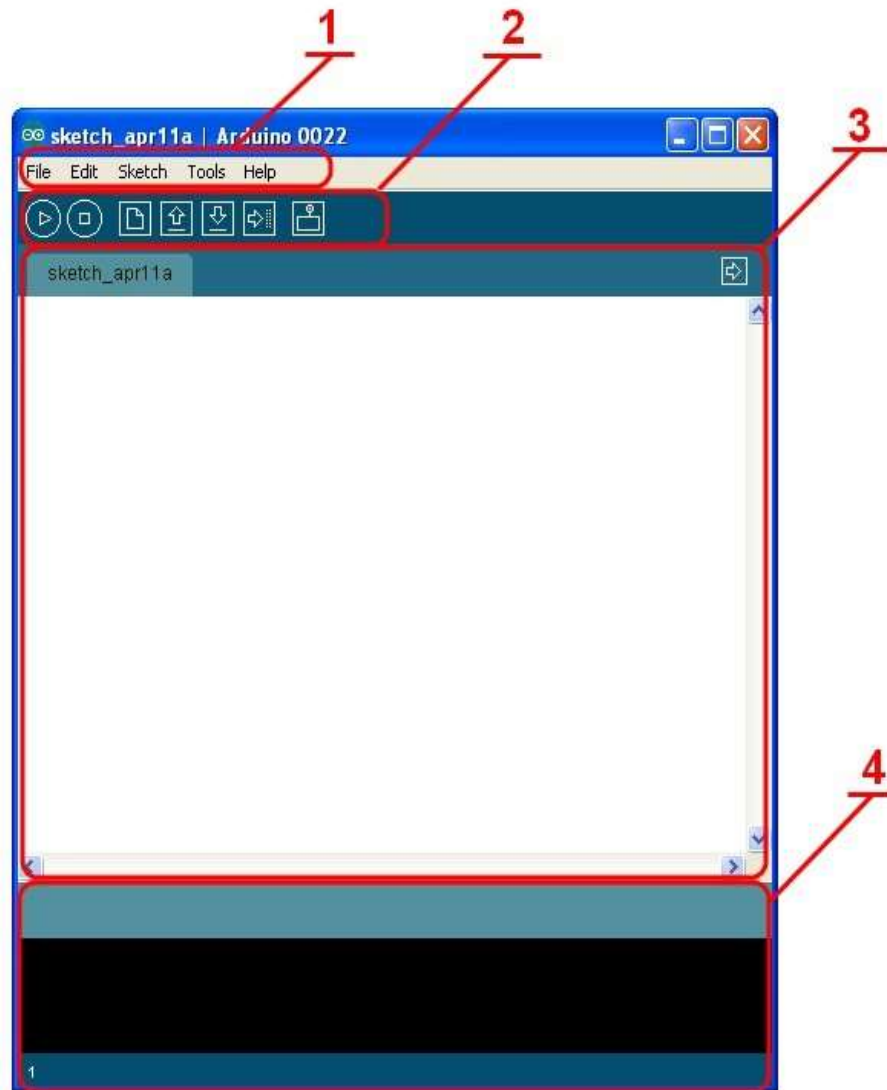
#### b) Constituants de la carte

Les composants importants de la carte Arduino sont tels que :

- **Microcontrôleur** : le cerveau de la carte (1). C'est lui qui va recevoir le programme créé en le stockant dans sa mémoire pour l'exécuter par la suite. Grâce à ce programme, il va savoir faire des choses qui peuvent consister à : faire clignoter une LED, afficher des caractères sur un écran, envoyer des données à un ordinateur, etc.

- **Alimentation** : pour fonctionner, la carte a besoin d'une alimentation. Le microcontrôleur fonctionnant sous 5V, la carte peut être alimentée en 5V par le port USB (2) ou bien par une alimentation externe (3) qui est comprise entre 7V et 12V. Cette tension doit être continue et peut, par exemple, être fournie par une pile 9V. Un régulateur se charge ensuite de réduire la tension à 5V pour le bon fonctionnement de la carte.
- **Visualisation** : les trois "points blancs" entourés en rouge (4) sont en fait des LEDs dont la taille est de l'ordre du millimètre. Ces LEDs servent à deux choses : celle tout en haut du cadre est connectée à une broche du microcontrôleur et va servir pour tester le matériel. Quand on branche la carte au PC, elle clignote quelques secondes. Les deux LEDs en bas du cadre servent à visualiser l'activité sur la voie série (une pour l'émission et l'autre pour la réception). Le téléchargement du programme dans le microcontrôleur se faisant par cette voie, on peut les voir clignoter lors du chargement.
- **Connectique** : la carte Arduino ne possédant pas de composants qui peuvent être utilisés pour un programme, mis à part la LED connectée à la broche 13 du microcontrôleur, il est nécessaire de les rajouter. Mais pour ce faire, il faut les connecter à la carte. C'est là qu'intervient la connectique de la carte (en 5a et 5b).  
Par exemple, on veut connecter une LED sur une sortie du microcontrôleur. Il suffit juste de la connecter, avec une résistance en série, à la carte, sur les fiches de connections de la carte.  
Cette connectique est importante et a un brochage qu'il faut respecter. C'est avec cette connectique que la carte est "extensible" et l'on peut y brancher tout type de montage et de module. Par exemple, la carte Arduino Uno peut être étendue avec des shields, comme le « Shield Ethernet » qui permet de connecter cette dernière à internet.

- **Logiciel** : le logiciel permet de programmer la carte Arduino. Il offre une multitude de fonctionnalités et la figure 2 montre à quoi il ressemble.



Source : [3]

Figure 2 : Logiciel Arduino.

- **Correspondance** : nous avons :
  - Le cadre numéro 1 contient les options de configuration du logiciel,
  - Le cadre numéro 2 contient les boutons qui vont servir lorsque l'on va programmer la carte,
  - Le cadre numéro 3 est le bloc qui va contenir le programme à créer,
  - Le cadre numéro 4 est important car il aide à corriger les fautes dans le programme : c'est le débogueur.

- **Boutons** : voyons à présent à quoi servent les boutons, encadrés en rouge et numérotés par le chiffre comme le montre la figure 3. Ainsi, il vient :



Source : [3]

Figure 3 : Présentation des boutons.

- Bouton 1 : ce bouton permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans le programme,
- Bouton 2 : est utilisé à créer un nouveau fichier,
- Bouton 3 : pour sauvegarder le programme en cours,
- Bouton 4 : on n'y touche pas pour l'instant,
- Bouton 5 : stoppe la vérification,
- Bouton 6 : charge un programme existant,
- Bouton 7 : pour compiler et envoyer le programme vers la carte.

## 1.3 Capteurs de température

### 1.3.1. DS18B20 [4]

L'acquisition de température fait partie des possibilités offertes par Arduino. L'un des composants les plus connus pouvant être connectés à Arduino est le capteur de température DS18B20 dont la photo est montrée sur la figure 4.



Figure 4 : Capteur de température DS18B20.

Les caractéristiques de DS18B20 sont indiquées par différentes propriétés et grandeurs physiques.

#### a) Plage de mesure

DS18B20 possède une plage de température allant de  $-55$  à  $125^{\circ}\text{C}$  avec une tolérance  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  si celle-ci se situe entre  $-10$  à  $80^{\circ}\text{C}$

#### b) Résolution

La température peut être codée dans une variable allant de 9 à 12 bits, ce qui offre une résolution de  $0.0625^{\circ}\text{C}$  sur 12 bits. Le prix à payer est un temps d'acquisition plus long de 93.75ms sur 9 bits, celui-ci passe à 750ms sur 12 bits.

#### c) Capteur de température numérique.

L'avantage d'un capteur numérique est que l'on peut le brancher sur n'importe quelle borne d'Arduino (et non pas uniquement sur l'une des 6 entrées analogiques) et qu'il est moins sujet aux parasites.



#### **d) Technologie de one-wire**

One-wire (1- wire) permet de pouvoir brancher plusieurs capteurs sur la même broche d'Arduino. En fait chaque capteur possède une adresse unique codée sur 64 bits qui est associée à une librairie chargée dans Arduino, ce qui permet de dissocier chacun des DS18B20. Autrement dit, là où il faut une carte Arduino Uno complète pour brancher 16 capteurs, avec le DS18B20, on peut tout mettre sur 1 seule entrée tout ou rien (car c'est un capteur numérique et non analogique).

### **1.3.2. Thermocouple Max**

#### **a) Définition**

Un thermocouple est physiquement un couple de matériaux dont l'effet Seebeck sert à mesurer la température. Il se compose de deux métaux de nature différente et reliés à leurs extrémités (voir figure 5). Quand la jonction des métaux est chauffée ou réfrigérée, une tension variable est produite et peut être ensuite transcrite en température. Les alliages thermocouples sont généralement disponibles en fils, [5].

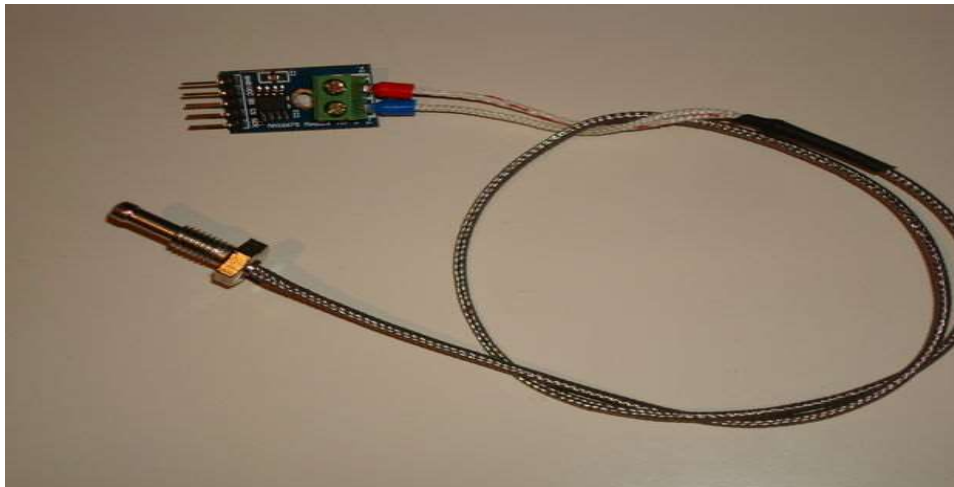


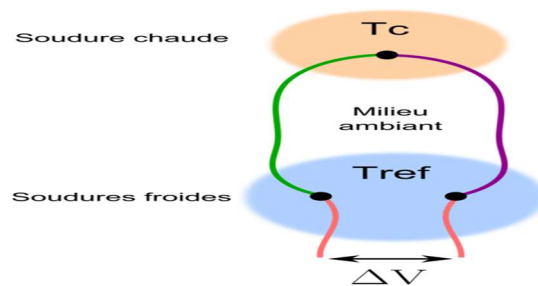
Figure 5: Thermocouple Max.

### b) Effet Seebeck

Lorsque deux métaux sont utilisés pour former une boucle ouverte (pas de courant circulant dans les fils) (voir figure 6), un potentiel électrique peut être généré entre les deux bornes non reliées de la boucle s'il existe un gradient de température dans la boucle. Le potentiel électrique généré peut être calculé à partir de l'équation suivante, [5] :

$$dV = S_{ab}(T) \cdot dT \quad (1)$$

$S_{ab}$  est nommé coefficient Seebeck (les indices a et b représentent la nature différente des métaux employés) ou le coefficient de sensibilité.



Source : [5]

Figure 6 : Schéma du principe d'effet Seebeck.

### c) Différents types de thermocouple

Le domaine d'utilisation d'un thermocouple dépend des deux métaux utilisés. A chaque couple de métaux, on associe une lettre normalisée. Le tableau 1 donne les désignations correspondant aux principaux thermocouples utilisés dans l'industrie.

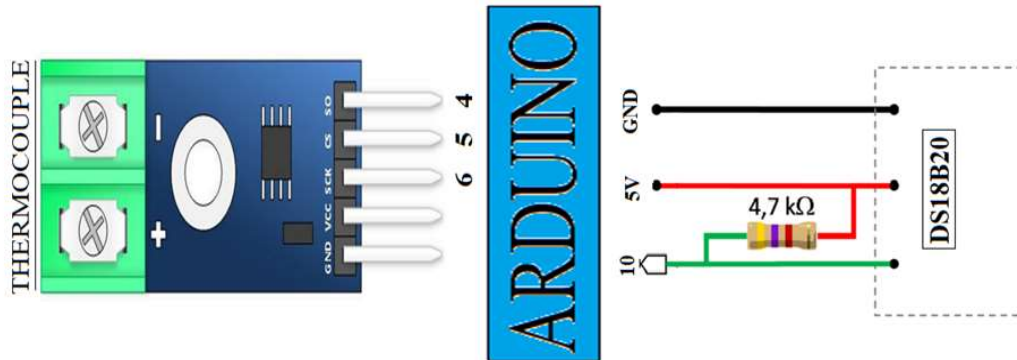
**Tableau 1** : Différents types de thermocouple, [5].

Type	Métal A (+)	Métal B(-)	Plage utilisation	Coef. Seebeck $\alpha(\mu V/^{\circ}C)$	Erreur standard
J	Fer	Constantan	-40 à +750°C	50,38 $\mu V/^{\circ}C$ à 0°C	2,2% à 0,75%
K	Chromel	Alumel	-40 à +1200°C	39,45 $\mu V/^{\circ}C$ à 0°C	2,2% à 0,75%
S	Platine 10% Rhodium	Platine	0 à +1600°C	10,21 $\mu V/^{\circ}C$ à 600°C	1,5% à 0,25%
T	Cuivre	Constantan	-40 à +350°C	38,75 $\mu V/^{\circ}C$ à 0°C	1% à 0,75%

## 1.4 Montage thermocouple, DS18B20 et Arduino Uno

### 1.4.1. Thermocouple Max

La figure 7 montre le montage du thermocouple, du DS18B20 avec le microcontrôleur Arduino.



**Figure 7 :** Photo du montage d'un Arduino et des capteurs de température.

Nous avons programmé la carte Arduino en utilisant deux bibliothèques telles que le One Wire et max6675.h, pour le DS18B20 et le thermocouple Max.

### 1.4.2. Test

Nous obtenons les données consignées dans le tableau 2 qui rapporte la correspondance entre la température donnée par DS18B20 et celle du thermocouple.

D'après ce tableau 2, nous avons vu que les températures données par ces deux modules dans un même endroit sont presque égales.

Dans la suite de notre travail, nous avons utilisé ces dispositifs pour étudier et optimiser un cuiseur solaire que nous avons conçu.

**Tableau2** : Données d'échantillonnage de la température DS18B20 et celle du thermocouple.

DS1820Température 1	Thermocouple : Température 2
27.50	28.50
28.31	29.12
29.06	30.75
29.06	30.75
29.12	30.50
29.06	30.50
29.12	29.75
29.12	29.75
29.12	30.50
29.12	30.50
29.12	30.25
29.12	30.25
29.12	30.00
29.12	30.00
29.12	30.25
29.19	30.25
29.19	30.00
29.19	30.50
29.19	30.50
29.19	29.75
29.19	30.25

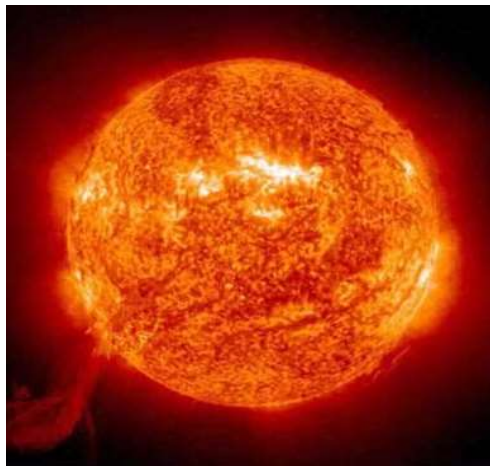
## Chapitre 2 : THERMIQUE SOLAIRE ET CUISEUR SOLAIRE

### 2.1.Soleil

Le Soleil, comme le montre la figure 8, produit en permanence une puissance 380 milliards de milliards de mégawatts ( $3,826 \times 10^{26}$  W) et cela depuis des milliards d'années.

Le Soleil fabrique son énergie à partir des réactions thermonucléaires de fusion, grâce à la pression et à la température énormes qui règnent en son cœur. Cette pression et cette température obligent les électrons à se détacher des atomes et à voyager libérés des noyaux atomiques.

L'énergie produite par la fusion nucléaire est véhiculée depuis le cœur du Soleil par des particules de lumière et de chaleur appelées photons, [6].



Source : [7]

Figure 8 : Soleil.

#### 2.1.1 Caractéristiques du soleil

Le Soleil est la seule étoile du système solaire et la plus proche de la terre, sa lumière met environ 8 mn pour atteindre le sol terrestre. Sur le plan humain, le soleil a une importance primordiale car il est à l'origine de toute vie sur Terre, en lui fournissant d'énormes quantités d'énergie. Ce qui permet la présence de l'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement solaire est aussi responsable du climat et des phénomènes météorologiques, [7].

### 2.1.2 Présentation générale du soleil

Le Soleil est une étoile naine de forme pseudo-sphérique comparable à une immense boule de gaz très chauds qui se composent de 80% d'hydrogène, de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus.

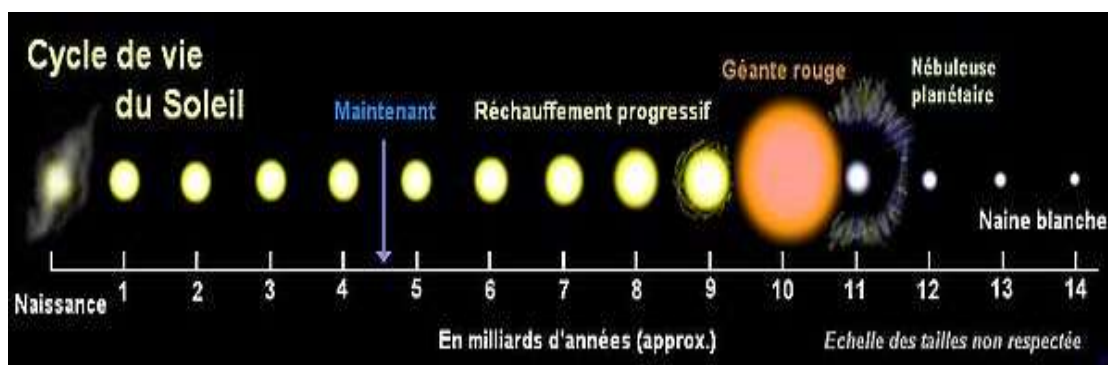
Bien que le Soleil soit une étoile de taille moyenne, il représente, à lui seul, 99.9% de la masse du système solaire qui est dominé par les effets gravitationnels de l'importante masse du soleil, [7].

Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristiques principales du Soleil,[8].

Diamètre (km)	1392000
Masse (kg)	$2.10^{30}$
Surface (km <sup>2</sup> )	$6.09.10^{12}$
Volume (km <sup>3</sup> )	$1.41.10^{18}$
Masse volumique moyenne (kg/m <sup>3</sup> )	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	$2.5.10^{17}$

Le cycle de vie du Soleil est présenté sur la figure 9.



Source : [6]

Figure 9 : Cycle de vie du Soleil.

## **2.2.Énergie solaire**

### **2.5.1 Origine**

L'énergie solaire est à l'origine des cycles de l'eau, du vent et de la photosynthèse réalisée par les végétaux dont dépend le règne animal via les chaînes alimentaires. Le Soleil est à l'origine de la plupart des énergies sur Terre à l'exception de l'énergie nucléaire et de la géothermie profonde.

Les conditions résidantes au cœur du Soleil favorisent l'interaction des différents atomes d'hydrogène qui subissent une réaction de fusion thermonucléaire. Le résultat de ce processus, lorsqu'il se répète, est la fusion de quatre noyaux d'hydrogène en un noyau d'hélium avec émission d'énergie sous forme de rayonnements gamma et X.

Chaque seconde, 564 millions de tonnes d'hydrogène se transforment en 560 millions de tonnes d'hélium, cette différence de 4 millions de tonnes par seconde correspond à la différence d'énergie de liaison entre les protons d'hydrogène et ceux d'hélium donnant une énergie sous forme de rayonnement, estimée à  $3.7.10^{26}$ J/s, [9].

### **2.5.2 Caractéristiques particulières**

L'énergie solaire est la seule source d'énergie externe de la Terre ET elle présente les propriétés suivantes

- Elle est universelle, sa densité de puissance maximale est de  $1\text{kW/m}^2$  à midi par ciel bleu sur toute surface terrestre.
- La densité de puissance maximale reçue au niveau du sol ( $1\text{kW/m}^2$ ) est peu dense, on parle alors d'énergie diffuse.
- Elle est abondante, notre planète reçoit plus de 104fois l'énergie que l'humanité consomme par jour.
- Elle est intermittente et variable à cause de l'alternance du jour et de la nuit, des variations saisonnières et quotidiennes de l'ensoleillement.
- L'énergie reçue par une surface donnée n'est pas récupérable en totalité ceci est dû aux pertes d'énergie sous formes conductrice, convective ou rayonnante.
- Elle est propre.[9].

### 2.5.3 Ressource solaire

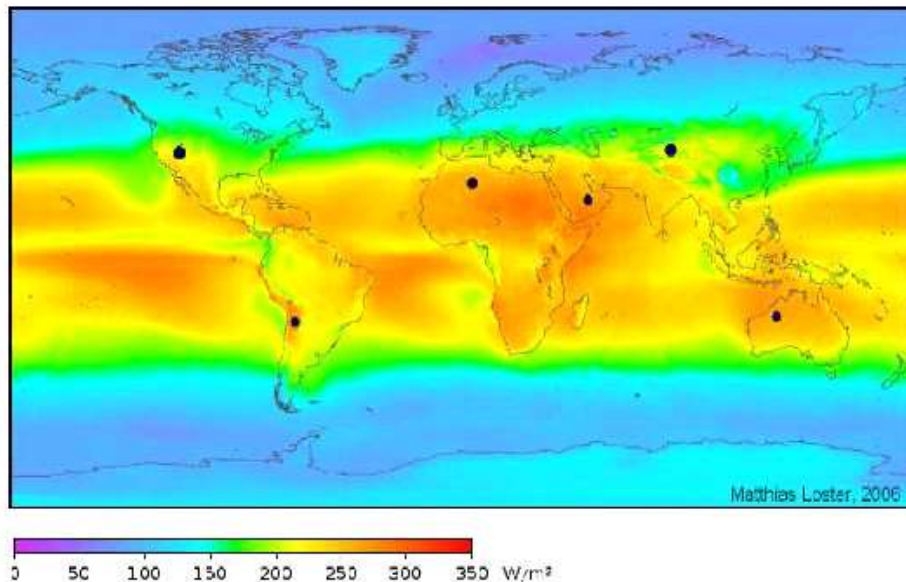
L'énergie solaire vient de la fusion nucléaire qui se produit au centre du Soleil. Elle se propage dans le système solaire et dans l'Univers essentiellement sous la forme d'un rayonnement électromagnétique de photons et d'un rayonnement infrarouge.

Le rayonnement solaire global quotidien moyen en kWh/m<sup>2</sup> pendant l'année au maximum est d'environ 1900 kWh/m<sup>2</sup> par an, [7].

### 2.5.4 Gisement solaire en Afrique

Le gisement solaire en Afrique se présente sous forme de :

- Énergie renouvelable disponible en grande quantité, en tout point de la surface terrestre, tout en étant gratuite,
- Source intermittente, diffuse (1 000 W/m<sup>2</sup>), peu prévisible, [7].



Source : [10]

Figure 10 : Carte mondiale du gisement solaire.

Comme l'indique la figure 10 qui donne la carte mondiale du gisement solaire et d'après sa légende, les zones de la carte colorées en jaune orange traduisent les régions fortement ensoleillées. C'est notamment le cas pour presque toute l'Afrique. En étudiant en profondeur, nous pouvons distinguer en Afrique les pays soumis à un ensoleillement extrême de ceux moyennement ensoleillés, [10].



En observant la carte mondiale de gisement solaire, on remarque que 47 % de la surface du continent bénéficie d'un ensoleillement annuel supérieur à 2100kWh/m<sup>2</sup>, 27 % entre 1900 et 2100kWh/m<sup>2</sup> et les 26 % restant entre 1500 et 1900kWh/m<sup>2</sup>. On remarque aussi que les valeurs les plus élevées de l'ensoleillement correspondent aux parties les plus denses de peuplement, excepté les déserts de Sahara et de Kalahari. Ainsi tous les paramètres géographiques sont favorables à une large utilisation de l'énergie solaire, [9].

Tableau 4 : Valeurs du rayonnement solaire en Afrique, [9].

Valeur de l'ensoleillement en kWh/m <sup>2</sup> /an	Supérieur à 2.100	1.900 à 2.100	1.500à1.900
Pourcentage de la surface	47 %	27 %	26%
Observations	Régions désertiques et denses périphériques	Régions de savane, très peuplée	Régions forestières, peu peuplées

## **2.3. Transferts thermiques [11]**

### **2.3.1 Conduction (diffusion thermique)**

Nous distinguons les deux exemples suivants :

- Cuillère métallique dont une extrémité est plongée dans de l'eau bouillante,
- Déperdition de chaleur à travers une fenêtre en plein hiver.

Dans ces deux cas, le transfert thermique considéré a lieu à travers un milieu matériel macroscopiquement au repos et c'est au niveau microscopique que le transfert d'énergie s'effectue de proche en proche. On parle de conduction (ou diffusion) thermique.

Les métaux sont bons conducteurs thermiques (cela est dû aux électrons libres qui participent à l'échange microscopique d'énergie).

Le bois, le verre, la laine de verre sont des solides mauvais conducteurs de la chaleur (et sont isolants électriques).

Les liquides et les gaz présentent également une conductivité thermique, beaucoup plus faible dans le cas des gaz.

La diffusion thermique, au même titre que la diffusion de particules et la conduction électrique, sont des exemples de « phénomènes de transport ».

### **2.3.2 Convection thermique**

A l'inverse de la conduction thermique (de type « diffusif »), la convection correspond à des transports s'accompagnant des mouvements macroscopiques de la matière.

Par exemple, dans un fluide (gaz ou liquide), les différences de température au sein du milieu entraînent des mouvements convectifs. L'air chaud au voisinage d'un radiateur d'une pièce d'habitation est plus léger, tend ainsi à s'élever et à être remplacé par de l'air plus froid, provoquant de la sorte une convection qui tend à uniformiser la température de la pièce.

Pour les gaz, la convection est bien plus efficace que la conduction dans un même gaz immobile.

### 2.3.3 Rayonnement thermique

Les corps chauffés émettent un rayonnement d'onde électromagnétique. Ce phénomène est appelé rayonnement thermique. Il ne s'agit pas d'un transfert thermique à proprement parlé. En particulier, il peut se propager dans le vide alors que la conduction thermique nécessite un support matériel. Toutefois, le rayonnement thermique doit intervenir dans les bilans énergétiques comme autres causes d'échange d'énergie.

Le rayonnement thermique a pour origine le mouvement des charges électriques présentes dans la matière (qui génèrent alors une onde électromagnétique) et il est d'autant plus important que la température est élevée. Un métal chauffé donne lieu au phénomène d'incandescence caractérisé par une émission de lumière utilisée pour l'éclairage dans des lampes à incandescence. Le métal apparaît d'abord rougeâtre, puis jaune, en fin de plus en plus blanc à mesure que la température s'élève. A l'inverse, à la température ambiante, c'est le rayonnement infrarouge qui domine.

On suppose dans la suite que les déséquilibres de température (responsables des phénomènes de transfert) restent faibles et on peut ainsi toujours définir en chaque point et à chaque instant, une température, une pression, une masse volumique, etc. (axiome « d'équilibre thermodynamique local »).

## 2.4. Thermique solaire

Des nombreuses installations exploitent maintenant les énergies renouvelables en particulier l'énergie solaire thermique. La cuisson solaire est ainsi obtenue en utilisant l'énergie solaire thermique

En général, le mode de transfert thermique est le rayonnement.

La quantité de chaleur pour chauffer l'eau de température initiale  $\theta_{\text{froid}}$  à la température finale  $\theta_{\text{chaud}}$  peut se calculer à partir de la relation suivante :

$$Q = CV \rho_{\text{eau}} (\theta_c - \theta_f) \quad (2)$$

Avec : C= capacité thermique massique de l'eau  $C = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ,

$\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg m}^{-3}$ ,

V = volume d'eau.

La puissance fournie par capteur pour chauffer l'eau pendant une durée t est donnée par la relation :

$$P_{\text{delivré}} = Q / t \quad (3)$$

t étant en seconde (s)

Le capteur parabolique à une surface S et le rendement de ce capteur est donné par la relation :

$$\gamma = P_{\text{delivré}} / P_{\text{recue}} \quad (4)$$

La puissance reçue par le capteur parabolique est telle que :

$$P_{\text{recue}} = S * I_r \quad (5)$$

$I_r$  étant l'irradiation journalière du milieu.

## **2.5.Cuiseur solaire**

### **2.5.1 Définition**

Le cuiseur solaire est un dispositif qui nous permet de cuire les aliments grâce à l'énergie du soleil.

La cuisson solaire est un processus lent. Elle nécessite une préparation et une organisation bien différente de la cuisson classique.

### **2.5.2 Principe de cuiseur solaire [12]**

Le premier principe de la cuisson solaire est de gagner de la chaleur. On va, pour cela, chercher à limiter les pertes par conduction (transfert par contact avec matériaux conducteur), par convection (transfert par contact avec l'air) et par radiation (tout corps chaud émet des radiations infrarouges).

### **2.5.3 Différents types de cuiseur solaire**

Le cuiseur solaire a des différentes options selon son principe de fonctionnement.

#### **a) Cuiseur de type "boîte"**

Ce modèle est constitué d'un ou plusieurs panneaux plans réfléchissants qui concentrent les rayons du soleil sur une boîte.



Source : [12]

Figure 11 : Cuiseur de type boîte.

### **b) Cuiseur à panneaux réfléchissants**

Ce modèle est constitué de différents panneaux plans qui concentrent les rayons solaires sur un pot placé sous une cloche en verre (voir figure 12). L'avantage de ce modèle est sa simplicité.



Source : [12]

Figure 12: Cuiseur à panneaux réfléchissants.

### **c) Cuisinières paraboliques**

Elles sont constituées de capteur parabolique qui focalisent la lumière solaire sur le fond du pot placé sur le foyer des surfaces paraboliques (voir figure 13). L'avantage est que la nourriture est cuite à peu près aussi vite que sur le feu habituel.



Source : [13]

Figure 13 : Cuisinières paraboliques.

## Chapitre 3 : CONCEPTION D'UN CUISEUR SOLAIRE

### 3.1 Matériels de construction

La plupart de matériels utilisés sont récupérés à partir des matériaux ayant servi dans les ménages et industries tels que les capteurs d'antenne parabolique et de coupons (morceau des miroirs), madriers. Mais pour les autres, on doit les chercher dans les quincailleries.

#### 3.1.1 Antennes paraboliques

Une antenne parabolique (voir figure 14) communément appelée parabole par le grand public, est une antenne disposant d'un réflecteur paraboloidal, basé sur les propriétés géométriques de la courbe nommée parabole et de la surface nommée paraboloides de révolution.



Source : [13]

Figure 14 : photo d'une antenne parabolique.

Mais dans notre application, nous prenons seulement son réflecteur parabolique qui est chargé de concentrer les rayons lumineux (ondes) reçus ou émis par le Soleil (voir figure 15).



Source : [13]

Figure 15 : photo d'un réflecteur parabolique.

### 3.1.2 Miroir

Un miroir en optique est une surface réfléchissante. Les miroirs, par opposition aux éléments dits « réfractifs » tels que les dioptries, lentilles, etc. sont dits éléments « réflectifs ». Un miroir est souvent un élément de verre de forme particulière dont une des faces est traitée de manière à réfléchir la lumière incidente mais peut aussi être une surface réfléchissante seule.

#### a) Différentes technologies

On distingue plusieurs catégories de miroirs : les miroirs métalliques et les miroirs en verre avec une couche réfléchissante métallique ou un traitement multicouche. La seule catégorie qui nous intéresse ici est le miroir en verre, car son émissivité est plus élevée que celles des autres.

#### b) Coupe vitre

Pour avoir la taille dont nous avons besoin, il faut couper les vitres avec précision avec un coupe vitre (figure 16).



Figure 16 : Coupe vitre.

### 3.1.3 Rabot

Le rabot comme le montre la figure 17 sert à polir la surface du madrier.



Figure 17 : Rabot.



### 3.1.4 Perceuse

Cet outil est utilisé pour percer des trous afin de faciliter l'assemblage des madriers (voir figure 18).



Figure 18 : Perceuse.

### 3.1.5 Madriers

Les madriers en bois sont destinés à la fabrication du support de cuiseur solaire tel que le pied en bois et les traverses (voir figure 19).



Figure 19 : Traitement des madriers.



### 3.1.6 Boulons

Le boulon est une pièce mécanique constituée par une vis et un écrou (voir figure 20). Le filet du boulon peut être complet ou partiel. En général on appelle par une vis un filetage total et par un corps de boulon un filetage partiel. Il crée une liaison « complète, rigide et démontable », entre les pièces qu'il traverse et presse l'une contre l'autre. Le boulon peut être complété par de la rondelle. La rondelle repartit le serrage de façon équilibrée et protège le support de fixation, [14].



Figure 20 : Boulons.

### 3.2 Outils physico-mathématiques

Tous les rayons solaires réfléchis par la surface parabolique se concentrent en un point F appelé foyer ou point focal de cette surface.

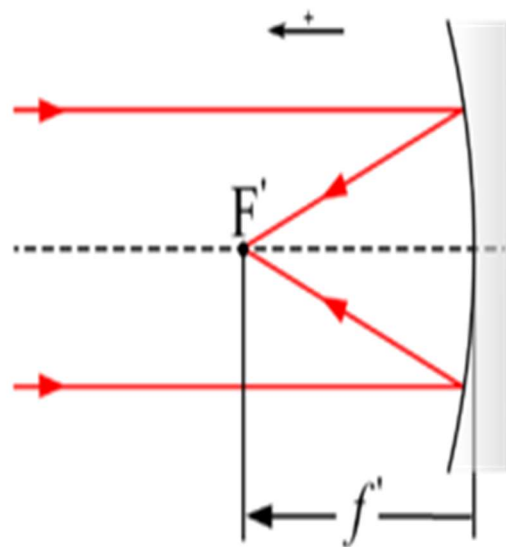
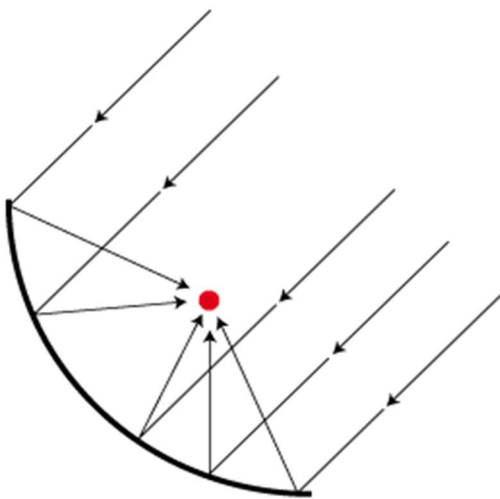
La courbe représentative d'une fonction polynômiale du second degré d'équation :

$$y = ax^2 + bx + c \quad (6)$$

Où a, b et c sont des constantes réelles (a étant non nul) d'une parabole. Dans le cas,  $a=1$ ,  $b=0$ , et  $c=0$ , on obtient une expression simple pour une parabole de la forme :

$$y = x^2 \quad (7)$$

Le point de foyer dépend des valeurs de x et y (voir figure 21). Plus  $x > y$ , le point de foyer est près de la surface du réflecteur mais dans le cas contraire on a  $x < y$ .



Source [4]

Figure 21 : Présentation de point de foyer.

### 3.3 Construction

#### 3.3.1. Concentrateur

Le concentrateur est réalisé avec un réflecteur parabolique recouvert des morceaux de miroir, fixés sur un support en bois, avec des traverses ayant une orientation variable verticale (voir figure 22).



Figure 22 : Concentrateur d'énergie solaire.

La puissance d'un cuiseur solaire dépend du matériel et de la surface du réflecteur. Ainsi, il est préférable d'utiliser les miroirs en verre, grâce à sa réflectivité meilleure que celles des autres (aluminium, inox).



Comme notre cuiseur est parabolique, nous avons dû couper le miroir à une taille plus petite mais de mêmes dimensions pour mieux l'installer et suivre la courbure de la surface (2cmx2cm) à l'aide de la colle fox (voir figure 23).



Figure 23 : Morceau de miroir.

### 3.3.2. Support en bois

Les pieds en bois servent à tenir les traverses et le concentrateur (voir figure 24).



Figure 24 : Photo du support du cuiseur.

### 3.3.3. Traverses

Les traverses jouent un rôle très important en étant la partie mobile sur ce cuiseur avec une rotation verticale de  $80^\circ$  (voir la figure 25). Ainsi on peut suivre le soleil entre 8h du matin jusqu'au 16h de l'après-midi selon les lieux d'utilisation à Madagascar.

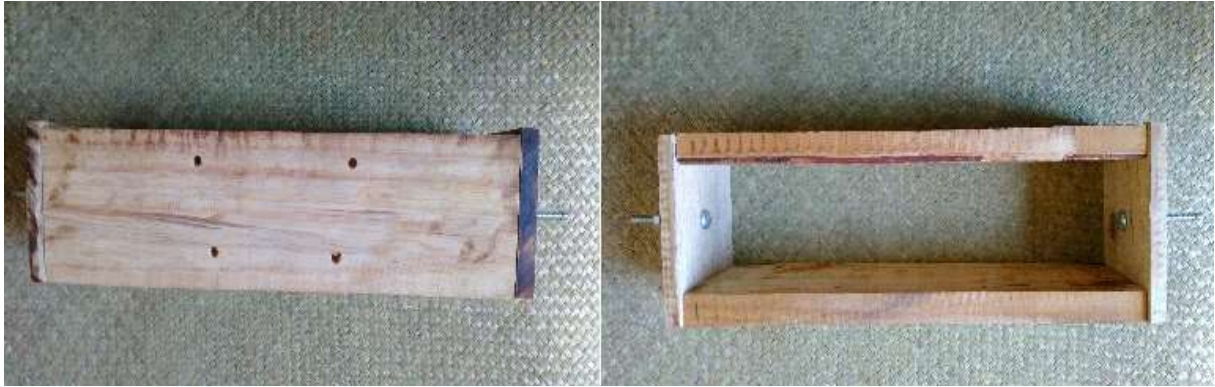


Figure 25 : Photo des traverses.

### 3.3.4. Fixateur

Le fixateur est la pièce de liaison entre le concentrateur et les traverses.



Figure 26 : Photo de montage du fixateur

### 3.3.5. Panneau à marmite

Avant toute, la question qui se pose est l'emplacement de la marmite. Alors, nous avons fabriqué un support sous forme d'un cerceau de basket de rayon de 20cm. Cette dimension ne veut pas dire une grande chose mais juste qu'il faut pour ce cuiseur mais il faut éviter de faire fuir le point de foyer (voir figure 27).

Il faut que le fond de la marmite soit coloré en noir car le corps noir absorbe la totalité d'énergie rayonnante incidente pour la réémettre intégralement par la suite.



Figure 27 : Panneau à marmite.

Un corps noir est un corps capable d'absorber complètement toutes les radiations électromagnétiques incidentes sur sa surface. Les corps noirs, comme tous les autres corps, émettent des radiations comprises dans un spectre caractéristique qui dépend exclusivement de leur température absolue.

Le but de ce système est de faire converger les rayons du soleil réfléchis sur sa surface parabolique en un point unique appelé point de foyer.

Le récipient est placé au cœur de la parabole et on le déplace ensuite manuellement pour une bonne concentration des rayons au fil de mouvement du Soleil.



### 3.3.6. Schéma du montage

Sur les photos ci-dessous, on voit le pilier ou le support, les traverse et fixateur. Du concentrateur solaire et panneau de la marmite placé selon l'ordre du montage.



Figure 28 : Support en pied en bois, traverses et fixateur.



Figure 29 : Mise en place du concentrateur solaire sur le support.



Figure 30 : Concentrateur solaire avec le panneau de la marmite.



### 3.4 Résultats

#### 3.4.1 Étude du point foyer

Pour connaître la vitesse du déplacement du point de foyer.

On place trois (3) planches différentes sur un même plan et on brule l'un après les autres, chaque 10 min (figure 29-a)



(a) (b)

Figure 31 : Étude du déplacement de point de foyer.

Nous avons vu que le point de foyer se déplace environ de 1cm pendant toutes les 10 minutes (voir figure 29-b).

En ciel clair, les résultats de test du point foyer en brûlant des morceaux de planche sont montrés sur la figure 32.



Figure 32 : Test du point foyer.

Pendant qu'on brûle les planches, après 5 secondes de contact il y a l'apparition des fumées sur les planches. On précise que l'étude est faite en ciel clair (nuages dégagés).

### 3.4.2 Prélèvement de données

Nous avons étudié qualitativement notre dispositif en utilisant les capteurs de température et le microcontrôleur Arduino Uno (voir figure 33) tels que :

- Le thermocouple sert à mesurer la température au point de foyer (températures ext) tandis que le DS1820 mesure l'évolution de la température de l'eau dans la marmite (températures int).
- Le microcontrôleur assure le fonctionnement de ces deux modules et affiche les températures prélevées toutes les 5secondes.



Figure 33 : Prélèvement de donnée

Les caractéristiques des mesures sont les suivantes :

- Lieu : Ambohipo Cité – Antananarivo,
- Température du jour : 28°C,
- Irradiation journalière : 4 680Wh/m<sup>2</sup>/an, [15],
- Température initiale de l'eau :  $\theta_f = 28,06^\circ\text{C}$ ,
- Durée : 35mn.

Les données ainsi prélevées avec 1l de l'eau naturelle sont rapportées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Prélèvements de température.

Température int	Température ext	1		
28.06	37.25		37.50	492.00
28.12	36.75		37.88	492.75
28.19	41.00		38.13	491.75
28.25	59.75		38.31	491.75
28.25	69.75		38.44	488.50
28.44	77.25		38.63	485.75
28.56	84.25		38.88	481.25
28.75	104.25		39.44	478.25
28.94	164.00		39.63	478.75
29.87	242.25		39.88	471.75
31.12	305.50		40.06	468.00
32.13	352.25		40.31	465.00
32.94	387.50		40.56	461.75
33.13	415.25		40.81	458.25
33.50	433.25		41.06	455.75
33.75	448.50		41.25	453.25
34.19	458.75		41.56	451.00
34.44	468.75		41.81	446.00
34.38	473.25		42.88	438.75
34.25	474.00		43.63	452.75
34.00	482.00		44.00	466.50
34.38	487.00		44.13	470.25
34.19	491.75		44.56	478.50
34.25	494.25		45.00	486.75
34.44	498.25		45.25	493.75
34.50	501.25		45.69	496.25
34.94	500.50		45.94	500.50
35.19	501.25		46.13	498.50
35.31	500.00		46.38	494.75
36.00	497.00		46.75	498.75
36.56	493.75		46.69	504.00
36.63	494.75		47.06	505.25
36.56	497.50		47.19	508.00
36.63	496.50		47.38	508.25
36.63	496.50		47.81	512.00
36.69	494.25		48.13	504.25
36.75	491.50		48.19	494.50
37.06	491.25		48.06	492.75

49.19	522.50	2	58.75	460.50
50.13	527.25		59.69	466.25
50.50	531.50		60.13	470.50
50.81	533.75		60.31	475.25
50.75	534.50		60.50	478.00
50.69	534.50		61.25	474.75
51.00	533.25		61.50	471.50
51.44	534.00		61.94	468.50
51.88	535.50		62.44	468.50
51.94	536.75		62.69	465.00
52.19	535.50		62.81	467.25
52.56	534.50		63.00	469.00
52.63	535.00		63.31	470.50
53.06	535.75		63.63	473.25
52.94	536.25		63.81	473.75
53.38	536.00		64.06	470.50
53.44	534.75		64.12	466.50
53.75	533.00		63.88	465.50
53.94	527.75		64.00	465.25
54.19	521.75		64.12	461.00
54.06	504.75		64.56	461.25
54.81	487.25		67.56	449.75
55.00	474.75		67.94	488.00
55.00	465.75		68.19	515.25
55.63	460.75		68.44	474.00
55.75	456.50		68.06	421.25
56.19	456.75		67.31	395.50
56.31	459.00		67.81	389.50
56.63	460.50		68.19	377.00
56.94	456.50		68.19	388.75
57.13	454.75		68.25	414.00
57.31	455.25		68.37	416.75
57.69	460.00		68.31	407.25
57.94	465.00		68.25	388.00
58.06	467.50		68.25	372.75
58.31	470.75		68.69	370.25
58.31	463.75		69.50	389.25
57.81	432.25		70.31	405.25
57.44	437.00		70.81	406.75

70.50	<b>394.75</b>	3	76.87	544.00
70.44	396.50		77.31	547.00
70.50	430.25		77.50	547.25
70.87	457.50		77.37	549.50
71.19	480.00		77.75	411.75
71.25	496.00		78.25	422.50
71.25	506.75		78.37	427.75
71.56	517.50		78.75	432.50
71.94	527.50		79.31	431.75
72.44	535.00		79.50	430.75
72.56	540.50		79.69	430.00
72.44	544.00		79.81	429.50
72.56	547.00		80.06	428.50
73.00	547.25		80.12	428.00
73.00	549.50		80.31	427.50
73.00	554.50		80.19	427.00
73.37	560.25		80.06	427.50
73.62	565.50		80.69	426.75
74.06	569.00		81.06	424.50
74.25	569.00		81.25	423.00
74.37	569.50		81.44	421.50
74.56	569.00		81.87	417.75
74.81	572.00		82.31	415.75
75.25	575.75		82.44	416.00
75.56	580.25		82.81	416.00
75.69	582.50		82.81	414.50
75.81	584.50		82.81	413.50
75.94	586.50		82.94	408.75
75.87	586.00		83.19	405.50
75.81	600.25		83.12	391.25
75.37	601.50		82.87	379.00
75.12	603.00		83.25	377.25
75.19	604.25		83.69	380.75
75.00	604.50		84.12	381.50
74.81	602.00		84.37	377.75
74.81	602.00		83.44	369.00
75.19	603.00		82.25	363.75
75.56	535.00		81.69	361.25
76.00	<b>540.50</b>		81.50	356.50

81.69	352.75	4	89.75	360.75
81.75	352.25		90.02	359.50
81.81	352.75		90.10	357.50
82.06	353.50		90.14	355.75
82.31	354.00		90.29	353.50
82.31	354.00		90.36	353.00
82.69	355.25		90.48	353.25
83.12	357.75		90.55	354.00
83.69	360.00		90.62	356.00
83.81	360.50		90.76	356.25
83.44	360.75		90.88	356.50
83.06	360.75		91.19	357.50
83.00	361.75		91.44	358.75
83.44	356.00		91.62	358.75
83.50	343.75		91.87	357.75
83.69	338.75		92.06	358.00
83.69	338.00		92.19	359.00
83.94	335.75		92.31	359.75
84.12	336.00		92.44	360.00
84.62	333.75		92.56	361.00
85.56	340.00		92.69	361.00
85.69	347.00		92.75	361.75
85.56	354.75		92.81	362.50
85.31	359.25		92.87	362.50
84.81	369.25		92.81	363.00
84.62	374.25		92.75	332.00
84.44	366.25		92.75	348.75
84.37	342.25		92.75	363.75
84.37	316.25		92.75	377.25
84.37	295.75		92.81	389.00
84.50	276.75		92.81	423.00
84.69	254.50		92.81	431.75
84.81	245.50		92.75	441.75
85.00	238.25		92.69	449.75
85.25	227.50		92.56	457.25
85.44	223.25		92.60	463.50
85.56	219.25		92.64	469.25
86.19	215.50		92.70	476.25
87.01	278.00			

### 3.5 Analyse de données

En tenant compte de la formule (1), la quantité de chaleur instantanée nécessaire pour chauffer l'eau jusqu'à son ébullition est donnée par la figure 34.

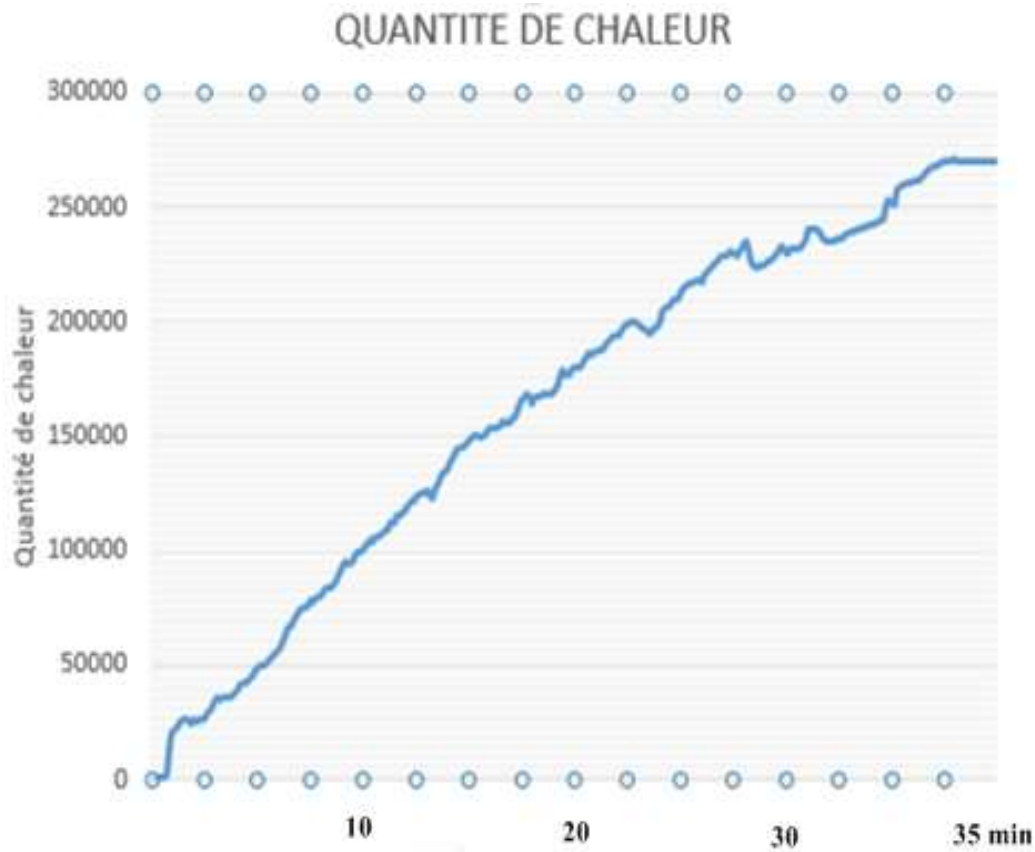


Figure 34 : Courbe de la quantité de chaleur (J).

D'après cette figure 34, la quantité de chaleur pour chauffer l'eau jusqu'à l'ébullition est de :

$$Q = 270905 \text{ J} = 75 \text{ Wh} \quad (8)$$

La puissance délivrée par le capteur est telle que :

$$P_{\text{délivrée}} = Q / t = 75 \text{ W} \cdot 60 \text{ mn} / (35 \text{ mn}) = 128 \text{ W} \quad (9)$$

### 3.6 Calcul du rendement

Le capteur parabolique a une surface d'environ  $S = 0.65 \text{ m}^2$ . Le rendement est ainsi :

$$\gamma = P_{\text{delivré}} / P_{\text{recue}} \quad (10)$$

La puissance reçue par le capteur parabolique est de :  $S \cdot I_r = 0.65 \text{ m}^2 \cdot 390 \text{ W/m}^2 = 253 \text{ W}$ .

$$\gamma = P_{\text{delivré}} / P_{\text{recue}} = 128 \text{ W} / 253 \text{ W} \quad (11)$$

D'où  $\gamma = 50,5 \%$ .

On voit que le rendement est un peu moyen parce que pendant le prélèvement de température à l'intérieur de casserole, il y a des pertes d'énergie à cause du fil du capteur de température qui donne l'échappement de chaleur par effet Joule.



Figure 35 : Fil du capteur de température DS18B20.



### **3.7 Discussions**

D'après les opérations de prélèvement et l'étude pratique de notre cuiseur solaire, nous avons vu que le temps de cuisson comme dans les cuissons quotidiennes (bois de chauffe, charbon) dépendent de la quantité des aliments. Il dépend aussi de l'ensoleillement.

Nous pouvons atteindre une température de pointe de 600°C au niveau du point foyer tandis que 92°C dans le cuiseur solaire possédant un capteur orienté à environ 65° par rapport à l'horizontal.

Notre cuiseur solaire a un rendement plus de 50%. Ainsi par rapport aux autres cuiseurs solaires, nous pouvons dire qu'il peut répondre à nos besoins de cuisson.

Nécessitant ni énergie électrique, ni fossile, la promotion de ce type de cuiseur permet évidemment de freiner la déforestation due à la collecte du bois de chauffe ou l'utilisation du charbon de bois pour la cuisson des aliments dans des régions du monde où les populations sont déjà en manque d'énergie et de diminuer, aussi en conséquence, la consommation des gaz naturels ou d'électricité dans notre pays.

## CONCLUSION GENERALE

En guise de conclusion, les travaux de recherche au sein du Laboratoire de Thermodynamique Thermique et Combustion nous ont permis d'avoir un point de vue plus aguerri de l'utilisation du capteur de température DS18B20 et le thermocouple commandés par le microcontrôleur Arduino Uno.

De même sur l'énergie solaire en le transformant en un cuiseur solaire. Cette innovation permet d'avoir une source d'énergie abordable vu la faiblesse des coûts y afférents mais aussi le potentiel de Madagascar d'un côté mais aussi la simplicité du principe de l'autre côté.

L'installation de ce cuiseur est facile et peut être fait à domicile. Ce qui le rend rentable, économiquement parlant, grâce aux prix des équipements mais aussi leurs facilités et la quasi-inexistence des entretiens. Tout ce qu'on a besoin reste alors l'investissement initial d'un faible montant par rapport à d'autres formes de cuissons.

Le microcontrôleur Arduino Uno nous a permis d'étudier les capteurs de température DS18B20 et thermocouple. Son rôle est de transcrire, sur un écran, les températures en temps réels détectée par ces dernières. On a relevé alors 600°C pour le point de foyer auquel il y a la concentration d'énergie solaire capté par le réflecteur parabolique. Tandis que l'eau chauffée à l'intérieur du récipient affiche 92°C, ce qui se rapproche progressivement de la température d'ébullition.

Pour aller plus loin, on peut transformer ce dernier en un central thermique par la vapeur d'eau chauffé dans un réservoir à grande échelle de plusieurs m<sup>2</sup> de champ de réflecteurs. Cela deviendra une forte alternative aux sources d'énergie traditionnelle.

Ce cuiseur solaire est praticable à Madagascar, notamment dans les régions à forte exposition solaire comme le littoral.

## REFERENCES

### WEBOGRAPHIQUES

- [1] :<http://samuel.benoit.online.fr/pétrole-consommation-mondial> [21/11/217]
- [3]:<http://www.arduino.cc> [18/12/17]
- [4]: [http:// planete-domotique.com](http://planete-domotique.com), [23/01/18]
- [5]:[http:// Thermocouple — Wikipédia.htm](http://Thermocouple—Wikipédia.htm), [18/01/18]
- [6]: [http// Soleil — Wikipédia.htm](http://Soleil—Wikipédia.htm), [28/01/18]
- [8]: <http://www.worldsolar.org> [28/01/18]
- [11] :<http://Analyse-des-pertes-thermiques>, [26/01/18]
- [12]: <http://fr.solarcooking.wikia.com> [15/11/17]
- [13] :<http://www.google.com/imgres> [15/11/17]
- [14] : [http://WikipédiaVis -express.fr](http://WikipédiaVis-express.fr) [23/01/18]

### BIBLIOGRAPHIQUES

- [2]: Louis REYNIER – C'est quoi Arduino ? [28/12/17]
- [7] : Énergie solaire /Jean Jacques BEZIAN [12/01/18]
- [9] : Programme solaire mondial 1996-2005 : Afrique, (PSA) [04/02/2017]
- [10]: L'énergie solaire en Afrique / livre de: SEDANKAMSIPA GUY BERTIN [05/11/17]
- [15]: NAZA

## ANNEXE 1

### **Programmation pour les capteurs de température**

```
#include <OneWire.h>
#include "max6675.h"

OneWireds(10); // on pin 10 (a 4.7K resistor is necessary)

intthermoDO = 4;
intthermoCS = 5;
intthermoCLK = 6;
MAX6675 thermocouple (thermoCLK, thermoCS, thermoDO);

void setup(void) {
  Serial.begin(9600);
  // use Arduino pins
  //Serial.println("MAX6675 test");
  // wait for MAX chip to stabilize
  delay(500);
  pinMode(3,OUTPUT);
  digitalWrite(3,HIGH);
}

void loop(void)
{
  byte i;
  byte present = 0;
  bytetype_s;
  byte data[12];
  byteaddr[8];
  floatcelsius, fahrenheit;

  if ( !ds.search(addr))
  {
    //Serial.println("No more addresses.");
    Serial.println();
    ds.reset_search();
    delay(250);
    return;
  }

  // Serial.print("ROM =");
  for( i = 0; i < 8; i++) {
    //Serial.write(' ');
```

```

//Serial.print(addr[i], HEX);
}

if (OneWire::crc8(addr, 7) != addr[7]) {
// Serial.println("CRC is not valid!");
return;
}
Serial.println();

// the first ROM byte indicates which chip
switch (addr[0]) {
case 0x10:
// Serial.println("Chip = DS18S20 et pt100");// or old DS1820
type_s = 1;
break;
case 0x28:
//Serial.println("Chip = DS18B20 et pt100");
type_s = 0;
break;
case 0x22:
//Serial.println("Chip = DS1822 et pt100");
type_s = 0;
break;
default
//Serial.println("Device is not a DS18x20 family device.");
return;
}

ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0x44, 1);// start conversion, with parasite power on at the end

delay(1000);// maybe 750ms is enough, maybe not
// we might do a ds.depower() here, but the reset will take care of it.

present = ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0xBE);// Read Scratchpad

```

```

//Serial.print("Data = ");
//Serial.print(present, HEX);
//Serial.print(" ");
for ( i = 0; i < 9; i++) { // we need 9 bytes
data[i] = ds.read();
// Serial.print(data[i], HEX);
//Serial.print(" ");
}
// Serial.print(" CRC=");
// Serial.print(OneWire::crc8(data, 8), HEX);
// Serial.println();

// Convert the data to actual temperature
// because the result is a 16 bit signed integer, it should
// be stored to an "int16_t" type, which is always 16 bits
// even when compiled on a 32 bit processor.
int16_t raw = (data[1] << 8) | data[0];
if (type_s) {
raw = raw << 3; // 9 bit resolution default
if (data[7] == 0x10) {
// "count remain" gives full 12 bit resolution
raw = (raw & 0xFFF0) + 12 - data[6];
}
} else {
bytecfg = (data[4] & 0x60);
// at lower res, the low bits are undefined, so let's zero them
if (cfg == 0x00) raw = raw & ~7; // 9 bit resolution, 93.75 ms
else if (cfg == 0x20) raw = raw & ~3; // 10 bit res, 187.5 ms
else if (cfg == 0x40) raw = raw & ~1; // 11 bit res, 375 ms
//// default is 12 bit resolution, 750 ms conversion time
}
celsius = (float)raw / 16.0;
//fahrenheit = celsius * 1.8 + 32.0;
Serial.print("Temperature 1 = ");
Serial.print(celsius+1);
Serial.print(" Celsius, ");
// Serial.print(fahrenheit);
//Serial.println(" Fahrenheit");
// read the input on analog pin 0:

```

```
Serial.print("Temperature 2 = ");  
Serial.print(thermocouple.readCelsius()-1);  
//Serial.print("F = ");  
//Serial.println(thermocouple.readFahrenheit());  
delay(5000);  
}
```

## ANNEXE 2

### Conseils d'utilisation du cuiseur solaire

#### Positionnement

Choisir un endroit où aucune n'ombre couvrirait le cuiseur durant la journée.

- Positionner le cuiseur dans la direction Nord/Est. À Madagascar est dans l'hémisphère sud donc la zone de cuisson doit être au sud, et le réflecteur au nord.
- Vérifier à nouveau qu'aucune ombre couvrirait le cuiseur.
- Positionner le cuiseur horizontalement. Si le sol n'est pas horizontal mettre des calles sous les pieds.
- Si possible, fixer le cuiseur au sol, afin qu'il ne puisse être couché en cas de fort vent

#### Sécurité:

Vérifier que le cuiseur est bien stable au sol,

- Vérifier qu'il n'y ait pas de produit inflammable à une distance inférieure de 1m autour du point focal.
- Ne pas regarder directement le point focal. Mettre des lunettes de soleil !
- Tourner le réflecteur autour de son axe de rotation en direction du soleil.
- Desserrer les deux ajustements saisonniers et changer l'inclinaison du réflecteur afin que les rayons réfléchis, viennent au fond de matériel de cuisson

2. Courber le réflecteur au niveau du côté où l'ajustement saisonnier est encore lâche, afin de réduire le plus possible focal. Lorsque la focal est minimal, garder la position et serrer l'ajustement saisonnier

4. Répéter les étapes 2 et 3, jusqu'à ce qu'aucun changement n'est visible

#### Cuisson:

- Il est conseillé d'utiliser des ustensiles de cuisine (casserole, poêle) de haute conductivité thermique (par exemple : aluminium ou le cuivre) et avec une base épaisse afin d'éviter de brûler les aliments au centre à l'endroit où la chaleur est plus importante.
- La base inférieure de l'ustensile doit être noire afin d'absorber un maximum la radiation solaire. Utiliser pour cela une peinture noire résistante aux hautes températures ou noircir la face inférieure,
- Une régulation de la chauffe peut être faite à l'aide de l'obturateur

#### Maintenance:

Nettoyer la surface réfléchissante à l'eau avec un peu de liquide vaisselle et une éponge.

Rincer à l'eau claire avec quelques gouttes de liquide vaisselle.



**TITRE : ETUDE DES CAPTEURS DE TEMPERATURE THERMOCOUPLE ET DS18B20.**

**PROJET : CUISEUR SOLAIRE A PARTIR DES MATERIAUX RECYCLES.**

**RESUME :**

L'utilisation de l'énergie renouvelable devient une solution et une alternative face aux besoins de la population : éclairage public, utilisation domestique (réfrigérateur, télévision, éclairage, cuisinier, etc.). Elle permet de réduire et de contribuer l'indépendance énergétique au développement durable et à la conservation de l'environnement. Les énergies renouvelables telles que l'énergie solaire et l'énergie éolienne sont disponibles et inépuisables.

Nous avons conçu un cuisinier solaire à usage domestique et l'analyse technique de ce cuisinier se fait grâce aux deux modules de température le DS18B20 et le thermocouple max6676 avec un microcontrôleur Arduino Uno. Ce cuisinier de rendement moyen est rentable à l'issue de nos analyses et étude. Il peut répondre aux besoins de la population en matière de cuisson, en évitant la déforestation et en diminuant l'émission des gaz à effet de serre.

**Mots clés :** cuisinier, capteur, thermocouple, environnement, concentrateur.

**ABSTRACT:**

The use of renewable energy becomes a solution and an alternative to the needs of the population: public lighting, domestic use (refrigerator, television, lighting, cooker, etc.). It reduces and contributes to energy independence to sustainable development and environmental conservation. Renewable energies such as solar energy and wind energy are available and inexhaustible. We have designed a solar cooker for domestic use and the technical analysis of this device is done with two temperature modules DS18B20 and the thermocouple max6676 with an arduino microcontroller Uno. This output material is for rent at the question of our analysis. It can meet the needs of the population, avoid deforestation and reduce the emission of greenhouse gases.

**Keys Words:** Cooker, sensor, thermocouple, environment, concentrator.

<b>Encadreurs :</b> RANDRIAMANTANY Zely Arivelo Professeur Titulaire MANDIMBY Junior Zöe Jean Tigana Docteur	<b>Impétrant :</b> ANDRIANASIDY Andreas Casimir. Adresse : Bloc 89 porte D2 CU Ambohipo Tel : 0342540293 / 0327759862 Email : <a href="mailto:ydadamanafo@gmail.com">ydadamanafo@gmail.com</a>
--	--