

Projet de Physique P6
STPI/P6/2013 – 26

**Estimation et mesure de l'énergie solaire
sur un plan incliné**



Etudiants :

Axel AIMEZ

Kamil BENJELLOUN

Mathilde EQUILBEC

Maxime AGUIRREGABIRIA

Mélanie NOCTURE

Shuang DING

Enseignant-responsable du projet :

Jamil ABDUL AZIZ

Date de remise du rapport : 10/06/2013

Référence du projet : STPI/P6/2013 – 26

Intitulé du projet : *Estimation et mesure de l'énergie solaire sur un plan incliné.*

Type de projet :

- *Calculatoire*
- *Expérimental*

Objectifs du projet :

Estimer et mesurer l'énergie solaire sur un plan incliné de façon expérimentale et théorique. Pour cela, il fallait comprendre les composantes solaires et trouver une formule générale pour calculer l'énergie solaire et également faire des mesures grâce à un appareil, le solarimètre.

Travailler en groupe et savoir communiquer et s'entraider.

Mots-clefs du projet :

- *Energie solaire*
- *Solarimètre*
- *Angles*
- *Travail de groupe*

Table des matières

INTRODUCTION	5
Méthodologie et organisation du travail.....	6
Travail réalisé et résultats	7
1. Partie théorique	7
1.1. Les composantes solaires et les angles.....	7
1.1.1. Les composantes solaires	7
1.1.2. Les angles	8
1.2. Calcul du rayonnement journalier global sur plan incliné	8
1.2.1. La constante solaire journalière sur un plan incliné hors atmosphère	8
1.2.2. L'irradiation journalière moyenne du mois sur un plan incliné au sol.....	9
1.2.3. L'indice de clarté moyenne du mois.....	9
1.2.4. Le rayonnement direct sur plan horizontal au sol.....	9
1.2.5. Rapport \bar{R}_b	9
1.2.6. Formule finale	10
1.3. Application de la formule finale	10
2. Partie pratique	12
2.1. Le système de l'expérience	12
2.1.1. Notice d'utilisation du solarimètre	12
2.1.2. Création du plan incliné	13
2.1.3. Premier test	14
2.2. Les résultats expérimentaux	14
2.2.1. Les résultats obtenus.....	14
2.2.2. Comparaison avec les résultats théoriques	17
2.2.3. Expérience supplémentaire	18
2.3. Comparaison avec des bases de données externes.....	18
2.3.1. Les données externes	18
2.3.2. Comparaison générale	19
2.3.3. L'angle optimal	20
Apport personnel.....	21
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	22
Bibliographie	23
Annexe.....	24



INTRODUCTION

Le soleil procure de la lumière et de la chaleur, il est également une source d'énergie inépuisable. C'est pourquoi il est intéressant de se concentrer dessus et de trouver les meilleures façons de l'utiliser pour la vie quotidienne de l'homme. L'apparition des panneaux photovoltaïques en est la preuve. La question est comment améliorer l'utilisation de cette ressource et la rendre plus performante pour le futur. Ainsi notre projet, consistant à mesurer et estimer l'irradiance sur un plan incliné, nous permet de comprendre la base de cette énergie solaire pour, pourquoi pas, plus tard travailler dans ce domaine.

Il est important de connaître le meilleur angle d'inclinaison pour utiliser au mieux l'énergie du soleil. Nous trouvons dans la vie de tous les jours de nombreux exemples qui le prouvent tels que les panneaux solaires. Pour des questions d'efficacité et de rendement, lorsque cela est possible, on règle l'inclinaison des panneaux en fonction du soleil. Dans l'agriculture également, il est courant que les vignes soient plantées sur des terrains inclinés et dégagés avec une orientation particulière vers le soleil. Mais il existe aussi des phénomènes non contrôlés par l'homme, on peut ainsi parler des tournesols qui changent l'inclinaison et l'orientation de leur fleur en fonction du soleil. Ils suivent la course du soleil tout au long de la journée, pour rester toujours face au soleil et ainsi avoir le plus d'énergie possible. Tous ces exemples accentuent notre idée de l'importance de l'énergie solaire et de l'angle d'inclinaison.

Pour ce projet, l'INSA a mis à notre disposition un solarimètre qui allait nous permettre de réaliser les mesures sur le plan incliné. Le professeur nous a recommandé d'emprunter un livre à la bibliothèque "Solar engineering of thermal processes", qui allait nous être utile pour les estimations.

Contrairement au projet de l'année précédente où les mesures se faisaient sur un plan horizontal, cette année nous avons fait les mesures sur un plan incliné. Il nous fallait donc trouver le meilleur angle d'inclinaison du capteur solaire, et cela, grâce aux calculs théoriques et aux mesures. En effet, en fonction de l'angle d'inclinaison du capteur, les valeurs de l'irradiance varient. C'est cette variation que nous voulons mettre en avant.



Méthodologie et organisation du travail

La toute première séance nous a permis de faire connaissance avec les membres du groupe et également de parler de nos connaissances sur le sujet de l'énergie solaire. Ces connaissances étaient très restreintes et nous nous sommes rendus compte qu'il fallait faire des recherches pour en apprendre davantage.

Après avoir élargi nos compétences dans ce domaine, l'intitulé du sujet nous a conduit à se répartir le travail suivant deux aspects :

- la théorie, pour trouver les équations qui nous ont amené à la mesure finale de l'énergie solaire sur un plan incliné.
- la pratique, pour pouvoir évaluer les mesures réelles et comparer ces valeurs avec les résultats théoriques.

La répartition s'est faite selon les envies de chacun et dès la deuxième séance nous avons commencé à travailler en deux groupes de trois étudiants.

Dans la partie théorique, au fil des séances, nous avons étudié toutes les données qui rentrent en compte dans l'équation finale, il a aussi fallu trouver les valeurs de certaines données et finalement nous les avons assemblées pour obtenir une équation finale qui donne l'énergie solaire.

Dans la partie pratique, nous avons préféré attendre les beaux jours pour faire les mesures, c'est à dire début mai. Durant toutes les séances précédentes, nous avons construit le plan incliné et commencé la rédaction du rapport. Nous avons également cherché des données externes de mesure d'énergie solaire selon les différentes inclinaisons pour avoir une troisième source de données. Lorsque les mesures ont pu être faites, nous avons comparé les valeurs expérimentales avec celles théoriques et celles trouvées sur internet.

Tous les documents que nous avons écrits ont été partagés entre nous tous pour pouvoir suivre les avancés et pour pouvoir comprendre la partie dans laquelle nous n'étions pas. Ainsi nous avons un aperçu global du travail.

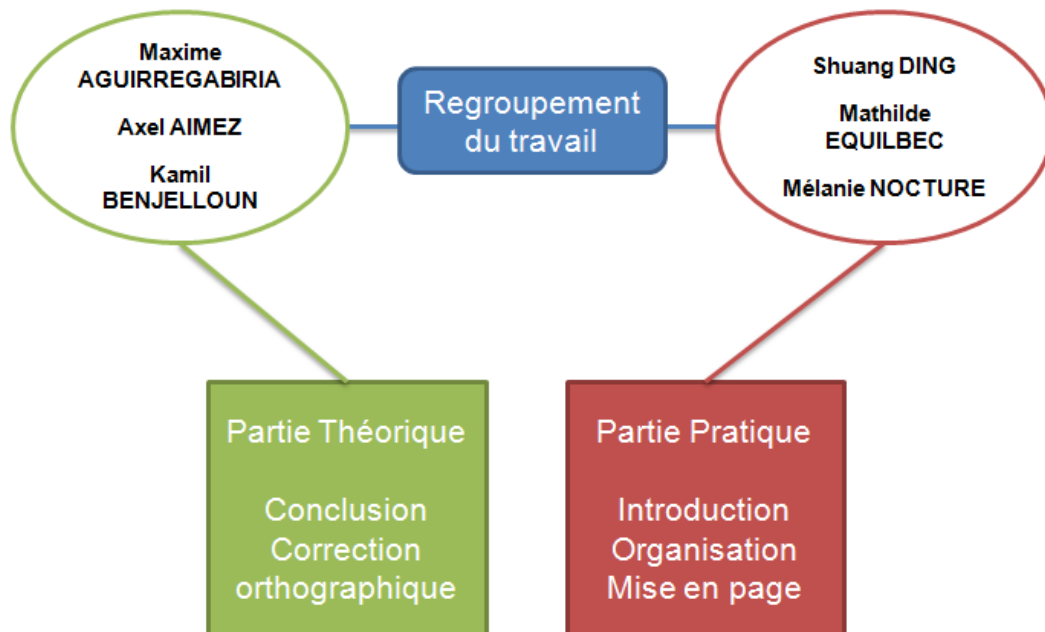


figure 1 : Organigramme des tâches réalisées et des étudiants concernés



Travail réalisé et résultats

1. PARTIE THEORIQUE

1.1. Les composantes solaires et les angles

Afin de comprendre les calculs permettant de chiffrer le rayonnement global journalier sur un plan incliné, il est important de définir les différentes composantes solaires, ainsi que les différents angles utilisés pour les calculs.

1.1.1. Les composantes solaires

Tout d'abord, définissons les composantes solaires. Le soleil émet une énergie sous forme d'un rayonnement électromagnétique. Le rayonnement émis par le soleil constitue un spectre allant des ultraviolets à l'infrarouge en passant par le spectre visible où il émet un maximum d'énergie. La constante solaire de 1350 W/m^2 est l'énergie atteignant une surface normale aux rayons solaires hors atmosphère, or nous cherchons à déterminer le rayonnement solaire après que les rayons aient traversés l'atmosphère. L'effet de la traversée de l'atmosphère réfléchit, absorbe ou diffuse des parties de ce rayonnement. On appelle ces différents rayonnements : composantes solaires.

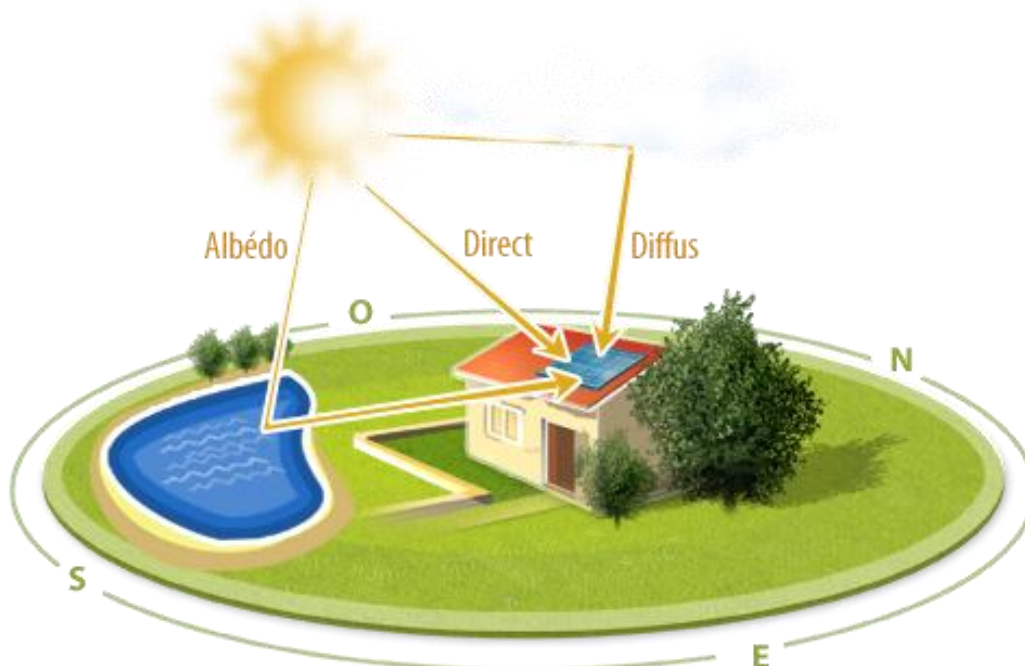


figure 2 : Les composantes solaires

- La composante directe représente le flux solaire qui atteint directement la paroi quand celle-ci est exposée au soleil. Elle dépend de la hauteur du soleil et de l'angle d'exposition de la paroi au soleil à l'instant considéré.



- La composante diffuse qui provient des multiples diffractions et réflexions du rayonnement solaire direct par les nuages.
- La composante réfléchie représente la partie du flux interceptée par la paroi suite aux réflexions solaires produites par l'environnement proche. L'environnement proche est représenté par un plan horizontal renvoyant une part du flux global incident (direct et diffus), la partie réfléchie dépend de l'albédo. L'albédo est le rapport entre l'énergie solaire réfléchie et l'énergie solaire incidente, il est lié à l'environnement alentour du capteur solaire, sa valeur est comprise entre 0 et 1, et il est d'autant plus important que la surface est réfléchissante (neige, miroir).

1.1.2. Les angles

Dans le calcul du rayonnement solaire global, différents angles doivent être pris en compte. Ces différents angles sont la latitude ϕ , l'angle horaire au lever du soleil ω_s , la déclinaison solaire δ , la pente du plan incliné β et l'angle de surface azimut égal à 0° .

- La latitude est une valeur angulaire qui donne la position d'un point de la terre au nord ou au sud de l'équateur, qui est le plan de référence.
- L'angle horaire correspond au déplacement du soleil vers l'est ou l'ouest par rapport au méridien local dû à la rotation de la terre à 15° par heure sur son axe. Il dépend donc de la latitude mais aussi de la déclinaison.

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan(\phi) \cdot \tan(\delta))$$

On définit $\omega'_s = \min \left[\begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\phi - \beta) \tan \delta) \end{array} \right]$

- La déclinaison solaire correspond à l'angle entre la direction soleil-terre et le plan équatorial. Le physicien Leon Neil Cooper a établi une équation en 1969 qui permet de calculer la déclinaison en fonction du jour de l'année.

$$\delta = 23,45 * \sin((360 * (284 + n))/365), \text{ avec } n \text{ le jour de l'année.}$$

- La pente du plan incliné correspond au degré d'inclinaison de la surface sur laquelle on fait les mesures.

1.2. Calcul du rayonnement journalier global sur plan incliné

Ci-dessous est représenté l'ensemble des calculs à effectuer pour déterminer le rayonnement journalier global sur plan incliné, en connaissant au préalable le jour de l'année n , l'angle horaire au coucher du soleil ω_s , la latitude ϕ , la déclinaison solaire δ , la pente du plan incliné β , l'albédo ρ_s et un angle de surface azimut égal à 0° .

1.2.1. La constante solaire journalière sur un plan incliné hors atmosphère

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 \times G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \times \left(\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\sin \phi \sin \delta}{180} \right) \text{ en J/m}^2.$$

Cette formule est à la fois valable pour des surfaces planes et inclinées.

Remarque : $\bar{H}_0 = H_0$ si et seulement si n le jour moyen du mois considéré.



Avec \bar{H}_0 la constante solaire journalière moyenne du mois sur un plan horizontal hors atmosphère.

1.2.2. L'irradiation journalière moyenne du mois sur un plan incliné au sol

Elle est liée d'une part à deux coefficients A et B qui dépendent directement de la climatologie locale. Nous retiendrons par la suite : A=0,19 et B=0,62. Elle dépend aussi de la constante solaire journalière du mois sur un plan horizontal hors atmosphère \bar{H}_0 et de la fraction d'insolation solaire σ .

$$\bar{H} = \bar{H}_0 \times (0.19 + 0.62\sigma) \text{ en J/m}^2.$$

Avec σ la fraction d'insolation solaire : $\sigma = \frac{d_i}{d_j}$ avec d_i la durée d'insolation et d_j la durée du jour.

1.2.3. L'indice de clarté moyenne du mois

Grâce à la définition de l'irradiation journalière sur un plan incliné ci-dessus, nous pouvons définir une nouvelle grandeur appelée l'indice de clarté moyenne par mois \bar{K}_T . Cet indice est obtenu à partir du rapport entre l'irradiation journalière moyenne par mois sur un plan horizontal et la constante solaire journalière moyenne par mois sur un plan horizontal hors atmosphère.

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0}$$

Maintenant, on va calculer la composante diffuse \bar{H}_d d'après la formule suivante :

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.391 - 3.560\bar{K}_T + 4.189\bar{K}_T^2 - 2.137\bar{K}_T^3$$

Pour les valeurs $\omega_s > 81.4^\circ$ et $0.3 \leq \bar{K}_T \leq 0.8$, qui correspondent à notre projet, on aura :

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.311 - 3.022\bar{K}_T + 3.427\bar{K}_T^2 - 1.821\bar{K}_T^3$$

1.2.4. Le rayonnement direct sur plan horizontal au sol

Le rayonnement direct moyen du mois est le rayonnement solaire atteignant directement la terre depuis le soleil. Sa valeur dépend de l'épaisseur de l'atmosphère et de l'inclinaison des rayons par rapport au soleil. On peut l'obtenir en utilisant la formule ci-dessous (le b en index signifie beam component) ou bien un pyréliomètre qui est un instrument permettant la mesure de l'intensité du rayonnement solaire direct :

$$\bar{H}_b = \bar{H} - \bar{H}_d \text{ en J/m}^2.$$

1.2.5. Rapport \bar{R}_b

C'est le rapport entre le rayonnement journalier direct moyen du mois sur un plan incliné par le rayonnement journalier direct moyen du mois sur un plan horizontal.

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \sin \omega'_s + (\pi/180)\omega'_s \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + (\pi/180)\omega_s \sin \phi \sin \delta}$$



Avec ω'_s l'angle horaire de lever du soleil sur un plan incliné pour le jour moyen du mois.

$$\omega'_s = \min \left[\begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\phi - \beta) \tan \delta) \end{array} \right]$$

1.2.6. Formule finale

Ainsi grâce à toutes ces équations, nous avons pu obtenir une formule finale pour calculer.

$$\bar{H}_T = \bar{H}_b \bar{R}_b + \bar{H}_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \bar{H}_g \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \text{ en J/m}^2.$$

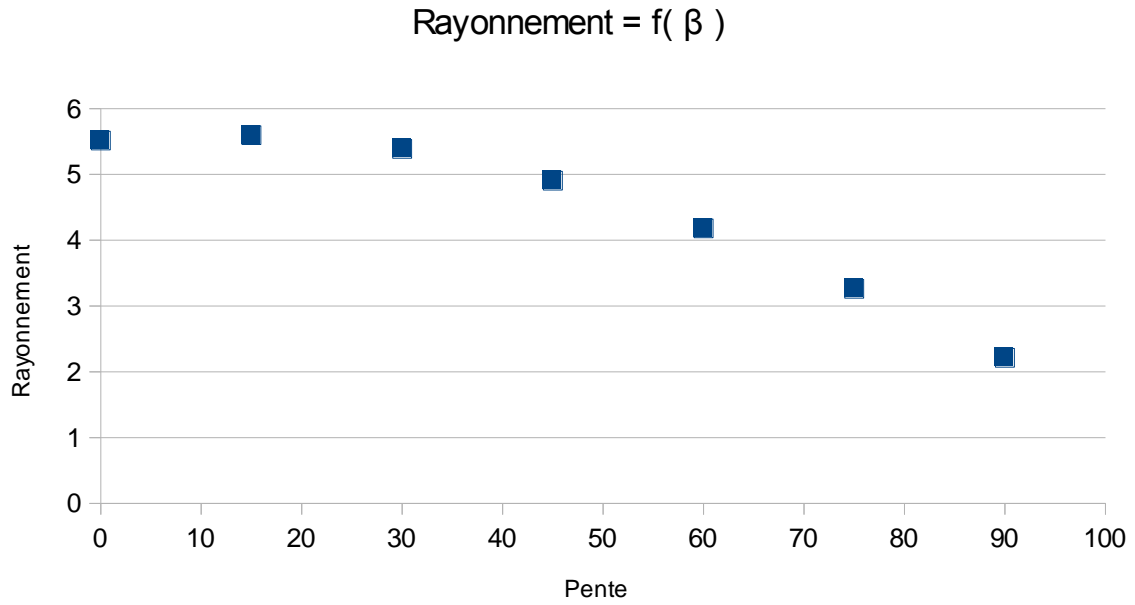
1.3. Application de la formule finale

Pour les calculs de la partie théorique, nous avons pris une date à la mi-mai (n= 135) pour la ville d'Orange dans le Vaucluse. Pour que les calculs soient les plus précis possibles, nous avons utilisé Libre Office Calc. Nos résultats sont résumés par le tableau ci-dessous:

Angles	radians	degrés	Nos calculs	
ϕ	0,7707373977	44,16	H_0 (J/m ²)	36606286,2051019
β	0,5235987756	30	H (J/m ²)	20096119,0008768
δ	0,3316125579	19	K_t	0,54898
ω'_s	1,6577137235	94,98	H_d (J/m ²)	7707304,17338033
ω	1,9116591297	109,53	H_b (J/m ²)	12388814,8274965
			R_b	0,974351869
σ	0,579		H_t (J/m ²)	19396696,0446271
n	135		H_t (kWh/m ²)	5,3879711235

Remarque : les mesures ci-dessus sont effectuées avec $\beta=30^\circ$, en changeant le β , on peut déterminer la pente optimale pour avoir le maximum de rayonnement.





D'après la courbe, le rayonnement maximal est obtenu pour un angle β de 15°. On peut aussi dire qu'il serait très surprenant que l'angle β expérimental soit plus grand que 45° car à partir de cette valeur, le rayonnement diminue beaucoup.



2. PARTIE PRATIQUE

2.1. Le système de l'expérience

2.1.1. Notice d'utilisation du solarimètre



figure 3 : Solarimètre

Le solarimètre mesure instantanément l'éclairement énergétique dite aussi l'irradiation qui est en W/m^2 .

Grâce à cet appareil, on peut faire des mesures sur une durée que l'on choisit mais la capacité de stockage maximale est de 31 jours. L'appareil fait des mesures 2 fois par secondes, il mesure l'irradiation et fait la moyenne sur chaque minute. L'appareil garde en mémoire les mesures effectuées.

Le solarimètre garde également en mémoire les grandeurs c'est-à-dire :

- la valeur maximale et la valeur minimale mesurées
- la valeur moyenne
- l'irradiance globale ou énergie cumulée ou exposition énergétique en Wh/m^2 .

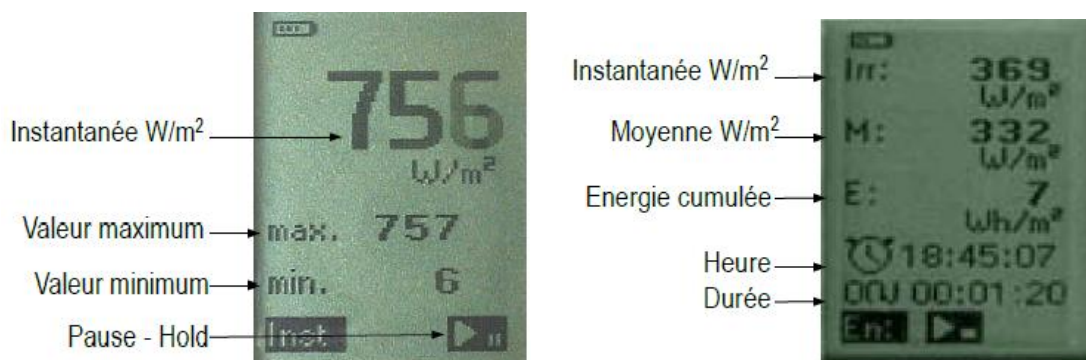


figure 4 : Captures de l'écran du solarimètre avec les données affichées.



La grandeur qui est la plus importante pour nous est l'énergie cumulée, c'est cette valeur que nous allons comparer avec les résultats théoriques.

Un logiciel permet de transférer et d'exploiter les mesures, gardées en mémoire dans le solarimètre, sur un ordinateur. Il nous permet de faire un graphique avec ses valeurs, sur toute la durée des mesures pour voir l'évolution entre les différents jours. Le tableau des valeurs permet d'avoir une valeur précise pour un certain temps. Et le graphique permet d'avoir l'évolution globale.

Le solarimètre est composé d'un boîtier et d'une cellule solaire. C'est la cellule solaire qui mesure et le boîtier qui enregistre les mesures. La cellule solaire a une surface active de 1cm^2 , et cette surface active est composée de silicium polycristallin.

2.1.2. Création du plan incliné

Nos recherches portent sur des mesures pour un plan incliné c'est pourquoi nous avons dû construire, par nous même, un plan qui puisse s'incliner.

Nous avons réfléchi à plusieurs façons de faire pour avoir un angle modifiable selon nos désirs, nous avons tout d'abord pensé à la technique des chaises "chilienne" où l'angle est bloqué grâce à des cales en bois.

Finalement nous avons opté pour un compas qui nous sert de guide pour nos deux plaques.

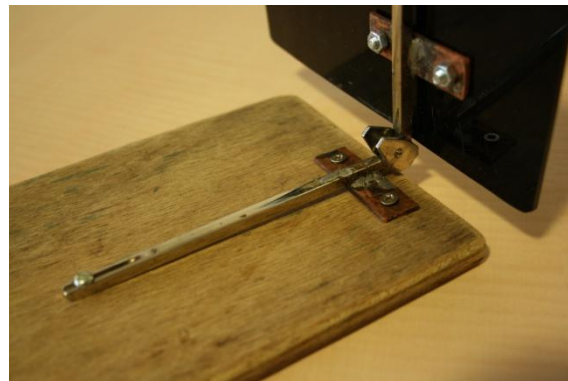


figure 5 : Compas qui sert de guide

La première plaque est en bois c'est elle qui repose sur le sol, la seconde est en plastique, c'est elle qui va varier avec l'angle. Le compas et la plaque (en bois ou en plastique) sont fixés avec une petite plaque de cuivre par des vis, cette petite plaque est, elle, soudée au compas.

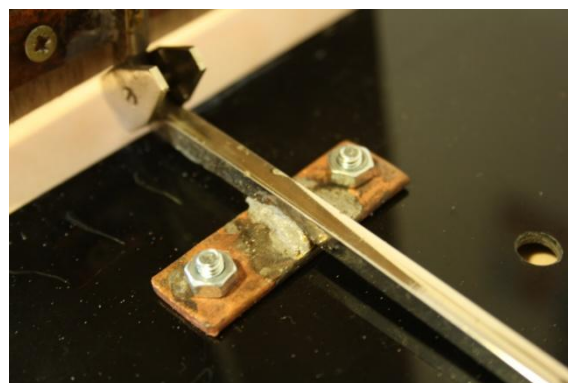


figure 6 : Soudure entre les différentes parties



Pour terminer il a fallu faire un trou pour pouvoir venir fixer le solarimètre sur la plaque mobile. Il restait cependant à savoir comment nous allons mesurer l'angle entre le sol et le solarimètre, pour cela nous devons mesurer l'angle entre nos deux plaques.



figure 7 : Le plan peut s'incliner selon différents angles

L'idée la plus simple qui nous est apparue consiste à créer des patrons avec un angle prédéfini. Nous avons retenu 5 angles différents pour construire nos modèles : 15°, 30°, 45°, 60°, 75°.

2.1.3. Premier test

Pour ne pas être pris au dépourvu lors de nos premières prises de mesure, et pour apprendre à nous servir du solarimètre, nous avons préféré faire un test le 25 mars à l'INSA.

Le ciel était couvert et la lumière n'était pas forte. Nous avons d'abord opté pour une inclinaison du capteur de 0°, nous avons alors regardé les valeurs indiquées par le solarimètre, environ 100 W/m². Ensuite nous avons modifié l'inclinaison à 30°, orienté vers le sud, les valeurs ont alors légèrement augmenté jusqu'à 120 W/m².

Nous nous sommes également aperçues que si un objet est trop proche du capteur même sans incidence directe, la valeur est réduite, il faut donc bien faire attention au lieu pour les mesures : pas d'ombre, pas d'arbre, pas de bâtiments...

2.2. Les résultats expérimentaux

Les mesures réalisées avec le solarimètre ont été effectuées à Bagnols-sur-Cèze dans le département du Gard (30), tout début mai. Le solarimètre a été orienté au sud, et il a été placé loin de toute source d'ombre.

Nous avons décidé de faire une série de 5 mesures, chacune durant une journée entière. Ce qui signifie que sur 5 jours différents, nous avons mesuré l'ensoleillement global de la journée. Chaque jour on changeait l'angle d'inclinaison du capteur solaire. Nous avons pris pour angles : 15°, 30°, 45°, 60° et 75°.

2.2.1. Les résultats obtenus

Concernant ces deux premiers enregistrements, il aurait fallu commencer les enregistrements plus tôt, avant le lever du soleil, pour que la valeur de l'irradiance globale corresponde à celle de la journée entière, et ainsi pouvoir comparer avec les valeurs théoriques et du site Tecsol qui sont des moyennes journalières.

Voici les différentes courbes que nous avons obtenues grâce à nos mesures :



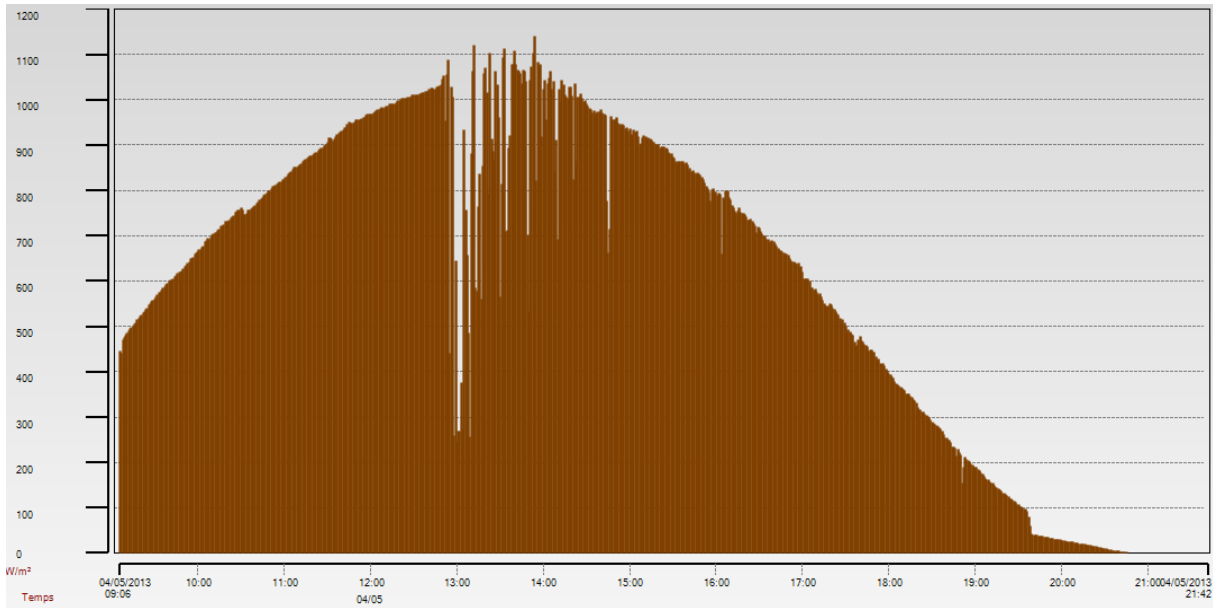


figure 8 : Courbe de l'enregistrement du 04 mai avec une inclinaison de 30°

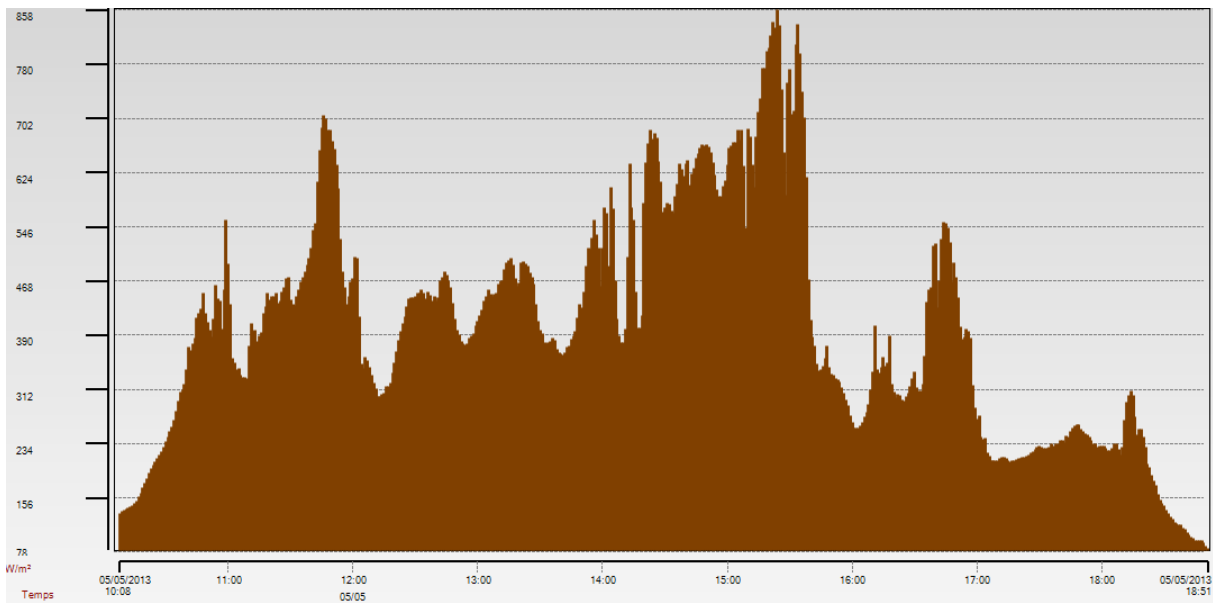


figure 9 : Courbe du 05 mai avec une inclinaison de 45°



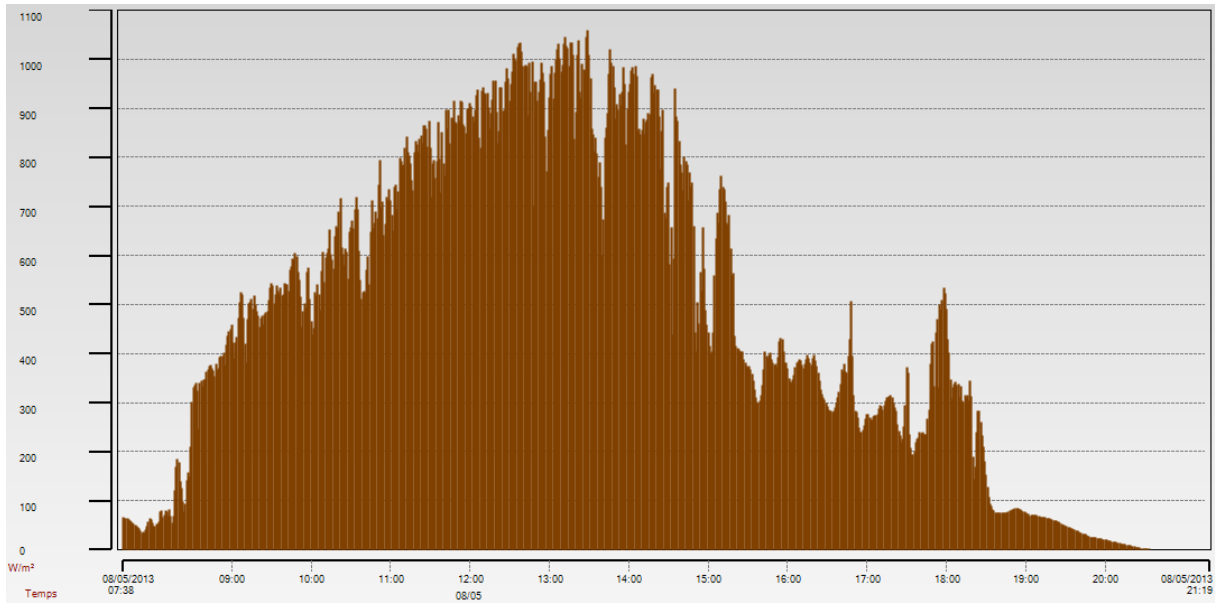


figure 10 : Courbe du 8 mai avec une inclinaison de 15°

Le 9 mai, nous avons voulu faire la mesure avec une inclinaison de 75°, mais nous n'avons pas de graphique, ni de valeurs, car il y a eu un problème lors de l'enregistrement des mesures.

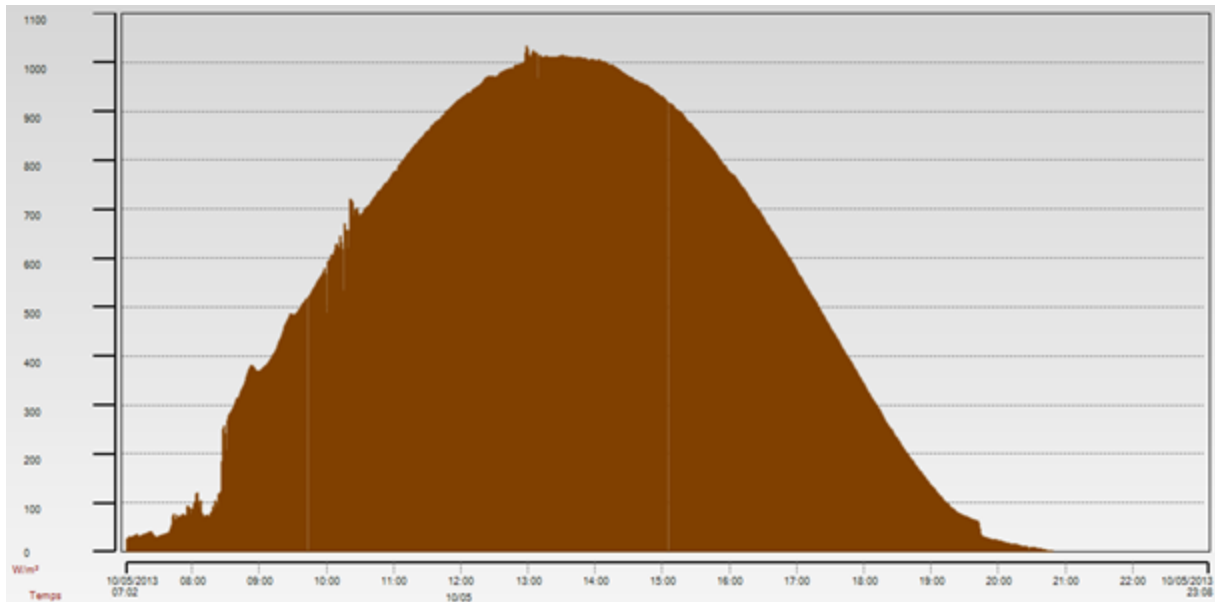


figure 11 : Courbe du 10 mai avec une inclinaison de 60°



Statistiques des enregistrements :

Date	8 mai	4 mai	5 mai	10 mai
Angle en °	15	30	45	60
Maximum en kW/m ²	1,0	1,140	0,858	1,033
Irradiance globale en kWh/m ²	6,172	7,454	3,487	7,557
Temps météorologique	ciel voilé l'après midi-midi	beau soleil, avec quelques nuages	nuageux, peu de luminosité	ensoleillé

2.2.2. Comparaison avec les résultats théoriques

Après avoir obtenu la formule finale, le groupe de la partie théorique a effectué les calculs pour obtenir la moyenne de l'ensoleillement sur le mois de mai. Ainsi les valeurs pour chaque inclinaison sont :

- 5,59 kWh/m² pour 15°
- 5,39 kWh/m² pour 30°
- 4,90 kWh/m² pour 45°
- 4,18 kWh/m² pour 60°
- 3,26 kWh/m² pour 75°

Nous avons calculé l'écart relatif pour avoir une idée, mais ces données ne sont pas vraiment comparables à cause de la durée de mesure qui est différente.

Avec l'angle de 15°, nous obtenons 10%. Cet écart reste correct et montre que cette journée est plutôt représentative de l'irradiance reçue par un capteur, avec un angle de 15°, pendant le mois de mai.

Avec l'angle de 30°, nous avons eu un écart relatif de 38%. Cette différence est explicable par le fait que la journée de mesure était une belle journée, bien ensoleillée. Ce qui n'est pas le cas sur la durée totale du mois de mai et donc sur la valeur théorique.

Avec l'angle de 45°, l'écart relatif est de 29%. Dans ce cas-ci, la valeur expérimentale est plus faible que la valeur théorique. En effet, il ne faisait pas beau et il y avait peu de rayonnement solaire ce qui peut expliquer l'écart.

Et avec l'angle de 60°, nous obtenons un écart relatif de 80%. Tout comme pour l'angle de 30°, l'explication peut être que cette journée était très ensoleillée.

Globalement ce que nous pouvons dire c'est que les valeurs théoriques et pratiques ont un même ordre de grandeur, ce qui valide les résultats pratiques. Les écarts trouvés peuvent s'expliquer par les incertitudes, et les approximations. Tout d'abord, comme toute expérience où l'homme participe il y a des erreurs de mesure dûes au facteur humain. Ensuite, nos mesures ont été faites sur une seule journée à chaque fois. Ce n'est donc pas une valeur moyenne et il est difficile de comparer avec les valeurs théoriques qui elles sont des moyennes sur le mois de mai. Enfin le solarimètre, instrument de mesure, a une certaine incertitude sur ces mesures.



2.2.3. Expérience supplémentaire

Nous avons fait des mesures instantanées avec l'appareil, le 11 mai qui était une journée ensoleillée. Nous avons placé le solarimètre face au soleil, vers 15h, nous avons fait varier l'angle et nous avons noté la valeur mesurée par l'appareil pour chaque angle. Ce qui donne les valeurs suivantes :

- 15° 860 W/m²
- 30° 1036 W/m²
- 45° 1096 W/m²
- 60° 1033 W/m²
- 75° 964 W/m²

Puis nous avons cherché la valeur maximale et nous avons mesuré l'angle qui correspondait à cette valeur. Ce qui nous donne une valeur maximale de 1118 W/m² avec un angle de 51°.

Cette valeur du meilleur angle est pour une heure donnée, précise qui est 15h.

Ce que l'on peut conclure de cette expérience, est que l'angle optimal, (pour lequel la valeur de l'irradiation instantanée est le plus grand), change au fil de la journée.

2.3. Comparaison avec des bases de données externes

2.3.1. Les données externes

A l'aide d'un site internet, nommé Tecsol, il nous a été possible d'obtenir des données et des valeurs de l'énergie solaire reçue par des capteurs.

Sur ce site il est possible de choisir le pays, la région et la ville la plus proche du lieu de mesure. Mais il permet également de définir une orientation par rapport au Sud appelé angle azimutal et un angle d'inclinaison du plan par rapport à la surface de la terre.

Le site étant conçu pour la pose de panneaux photovoltaïques, on trouve également des possibilités pour entrer la surface des capteurs et ainsi obtenir l'électricité produite. Cependant ces données ne nous sont pas utiles, nous les avons donc laissées de côté.

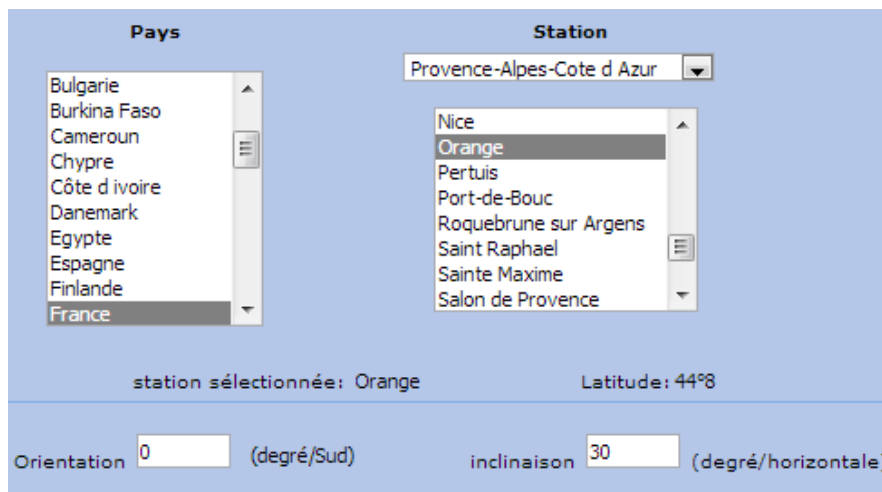


figure 12 : Obtention des données externes

Après l'obtention des données, nous les avons classées dans des tableaux selon l'angle d'inclinaison, sachant que le lieu, sa latitude et l'angle azimutal restent inchangés. Les tableaux avec toutes les valeurs sont disponibles en annexe. Nous avons seulement gardé ci dessous les valeurs du mois de mai, mois de notre prise de mesure.



Station Météo	Orange (près de Bagnols-sur-Cèze)
Latitude du lieu	44°8
Orientation	0°/Sud

Inclinaison par rapport à l'horizontale	Énergie solaire reçue par un plan horizontal en kWh/m ²	Énergie solaire reçue par le plan des capteurs en kWh/m ²
15°	5,799	5,954
30°	5,799	5,813
45°	5,799	5,405
60°	5,799	4,758
75°	5,799	3,914

On peut voir que pour les angles faibles, tel que 15° ou 30° la valeur de l'énergie est plus élevée que sur un plan horizontal. Alors que pour les angles élevés, 45°, 60° et 75°, la valeur de l'énergie est plus faible que sur le plan horizontal.

2.3.2. Comparaison générale

Il nous a donc été possible de comparer nos valeurs expérimentales, théoriques et les données externes.

Pour l'angle de 15°, nous avons trouvé :

- 6,172 kWh/m² pour l'expérience
- 5,590 kWh/m² pour la théorie
- 5,954 kWh/m² pour les données externes

Pour l'angle de 30°, nous avons trouvé :

- 7,454 kWh/m² pour l'expérience
- 5,390 kWh/m² pour la théorie
- 5,813 kWh/m² pour les données externes

Pour l'angle de 45°, nous avons trouvé :

- 3,487 kWh/m² pour l'expérience
- 4,900 kWh/m² pour la théorie
- 5,405 kWh/m² pour les données externes

Pour l'angle de 60°, nous avons trouvé :

- 7,557 kWh/m² pour l'expérience
- 4,180 kWh/m² pour la théorie
- 4,758 kWh/m² pour les données externes



Pour l'angle de 75°, nous avons trouvé :

- rien pour l'expérience (car problème lors de l'enregistrement)
- 3,260 kWh/m² pour la théorie
- 3,914 kWh/m² pour les données externes

On voit que globalement nous avons obtenu une valeur plus élevée pour l'expérience que pour les données externes. Ce qui est normal car pour les données externes la valeur de l'irradiation globale est une moyenne sur le mois, qui prend en compte les jours de beaux temps et les jours de mauvais temps. Alors que pour les données expérimentales c'est pour une journée bien particulière, et la météo de la journée.

2.3.3. L'angle optimal

Expérimentalement on a trouvé que c'était l'angle de 60° pour lequel on avait la valeur la plus élevée pour l'irradiation globale.

Les courbes expérimentales nous ont permises de déterminer avec quelle inclinaison du capteur solaire on obtenait l'irradiation globale la plus élevée. Mais on ne peut pas conclure uniquement avec ces courbes, car elles ont toutes été faites sur des jours différents. Et la météo pouvait beaucoup changer pour chaque jour. Elles permettent seulement d'avoir un ordre d'idée de la valeur de l'irradiation globale.

L'angle optimal pour obtenir l'irradiation la plus élevée dépend de l'heure de la journée. Car suivant l'heure de la journée le soleil n'est pas au même endroit dans le ciel, et donc n'a pas la même inclinaison avec le sol.

Lorsque le soleil est bas dans le ciel (lors du lever ou du coucher du soleil) l'angle optimal se trouve aux alentours de 15°, alors que lorsqu'il est au zénith l'angle optimal sera plutôt de 45°. Ces valeurs ont été constatées nous n'avons pas fait de mesures, car notre projet se limitait à une même inclinaison pour toute la journée.

A l'aide des comparaisons effectuées entre les données théoriques, externes et expérimentales, l'angle optimal obtenu est finalement au alentour de 15°.



Apport personnel

Axel AIMEZ

Ce projet m'a permis d'apprendre beaucoup de choses sur le soleil, les différents types de rayonnements, mais aussi la démarche à suivre pour calculer l'énergie solaire, qui est plus compliquée que ce que je pensais au début, il y a beaucoup de facteurs à prendre en compte. Ce projet m'a également permis de développer mon sens du travail en groupe, de la communication.

Kamil BENJELLOUN

N'ayant des connaissances que trop restreintes sur le sujet, j'ai dû beaucoup me documenter ce qui a considérablement étoffé ma culture dans le domaine de l'énergie solaire. De plus, ce projet m'a surtout appris à travailler en groupe et par conséquent à partager, échanger, écouter et apprendre des autres. Cela a en fait été pour moi une manière de me connaître à travers le regard d'autrui et de me redécouvrir notamment en réalisant que je cherche toujours à me surpasser pour satisfaire les attentes du groupe et donc d'être à la hauteur. Enfin, aujourd'hui nous sommes certes toujours collègues mais aussi amis puisque le fait de se retrouver au moins une fois par semaine nous a permis de nouer des liens humains forts.

Mathilde EQUILBEC

Avant ce projet je n'avais aucune, ou très peu de connaissances sur l'énergie solaire. Donc ce projet m'a permis d'en apprendre plus sur ce sujet. Et je me suis rendue compte que ce projet avait une application concrète, car toutes les observations peuvent servir lorsque l'on veut optimiser l'utilisation d'un panneau solaire. De plus ce projet m'a permis d'en apprendre plus sur le travailler de groupe et la gestion de projet.

Maxime AGUIRREGABIRIA

Grâce à ce projet, j'ai découvert comment on calcule l'énergie solaire principalement à un travers un gros ouvrage traitant du sujet.

Ainsi, il m'est désormais plus facile de cibler et comprendre des informations à partir d'un livre de physique. Enfin, j'ai pu améliorer mon sens du travail en groupe.

Mélanie NOCTURE

Ce projet m'a apporté de nombreuses connaissances dans le domaine de l'énergie solaire, que ce soit pour la mesurer, la calculer ou l'expliquer. Grâce à ce projet, il m'est dorénavant plus facile de comprendre certaines caractéristiques des composants solaires, un sujet important pour développer les énergies renouvelables. De plus, le travail d'équipe effectué durant ce projet est toujours un plus pour notre future carrière où la communication, l'entraide et l'initiative sont essentielles.

Shuang DING

Ce projet m'a permis d'élever mes capacités de manipulation et d'étudier par moi-même. J'ai appris à utiliser un solarimètre pour mesurer les valeurs pratiques. Le travail de groupe, et toutes les expériences de ce projet seront très utiles pour mes études et mon travail futurs.

Dans ce projet, j'ai pu connaître la différence entre la théorie et la pratique et découvert qu'il y a une grande quantité d'énergie dans le soleil, qui peut être utilisée par l'homme.



CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le but de ce projet a été d'étudier les composantes solaires, et de calculer leur énergie. Le projet a été divisé en deux parties, une partie théorique et une partie pratique.

La partie théorique avait pour objectif de déterminer l'angle optimal d'inclinaison de la surface pour avoir un rayonnement maximal. Nous avons été amenés à découvrir des angles spécifiques puis à sélectionner les équations du livre « Solar engineering of thermal processes » correspondant à notre étude. Après avoir effectué nos calculs sur Excel, nous avons trouvé que l'angle optimal était de 15° .

La partie pratique avait pour objectif de mesurer avec un appareil de mesure, le solarimètre, l'irradiation globale du soleil sur une journée. La particularité de notre projet est que nous pouvions faire varier l'angle d'inclinaison du capteur solaire, grâce au plan que nous avons construit. Après avoir fait une série de mesures nous avons vu que la valeur de l'irradiation globale variait avec cet angle. Suite aux différentes comparaisons que nous avons effectuées, nous avons trouvé que l'angle pour lequel cette valeur était maximale était de 15° .

Comme on l'a vu, l'angle optimal de l'inclinaison du capteur solaire varie au fil de la journée avec celle du soleil. Pour optimiser le rendement des panneaux solaires il faudrait des panneaux solaires dont on peut faire varier l'inclinaison au fil de la journée.

En ce qui concerne les perspective d'évolution du projet on peut imaginer le prochain projet sur des panneaux solaires qui suivent la course du soleil au long de la journée, de façon à toujours rester face au soleil, comme les tournesols. Ce type de panneaux solaire existe déjà mais reste sous la forme de prototype, il n'est pas encore commercialisé. Cependant une entreprise à déjà passé commande.

On peut aussi penser à un projet qui garderait l'angle optimal trouvé durant notre projet cependant les mesures seraient faites durant plusieurs jours pour obtenir une moyenne et donc des données plus réalistes.



Bibliographie

- [1] John A.DUFFIE et William A.BECKMAN, "Solar engineering of thermal processes", *John Willey & sons*, 2006.
- [2] La base du solaire
http://www.cogesol.be/pages/28_1.html (valide à la date du 18/02/2013)
- [3] L'énergie solaire
<http://herve.silve.pagesperso-orange.fr/solaire.htm> (valide à la date du 18/02/2013)
http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_solaire_photovolta%C3%AFque (valide à la date du 18/02/2013)
- [4] Les angles et l'orientation
<http://www.tpepanneauxsolaires.fr/rentabilite.html> (valide à la date du 25/02/2013)
- [5] Le solarimètre
http://www.kimo.fr/produits/243/sl_100.html (valide à la date du 18/02/2013)
- [6] La base de données externes
http://www.tecsol.fr/spv/pv_reseau.htm (valide à la date du 18/03/2013)
- [7] Les composantes solaires
<http://www.photovoltaique.info/Les-composantes-de-la-lumiere,239.html> (valide à la date du 15/04/2013)
- [8] Les panneaux photovoltaïques rotatifs
<http://www.greenetvert.fr/2012/08/22/des-panneaux-photovoltaïques-qui-suivent-le-soleil/66203> (valide à la date du 27/05/2013)

Crédits d'illustration

Page de couverture : Source Futura Science

Figure 2 : Les composantes solaires : Source Photovoltaïque info

Figure 3 : Solarimètre : Source Kimo

Figure 4 : Captures de l'écran du solarimètre avec les données affichées : Source Kimo



Annexe

Tableaux récapitulatifs des données externes

Station Météo	Orange
Latitude du lieu	44°8
Orientation	0°/Sud

Mois	Plan horizontal kWh/m ² .j	Angle 15° kWh/m ² .j	Angle 30° kWh/m ² .j
Janvier	1,607	2,171	2,616
Février	2,322	2,853	3,232
Mars	3,775	4,386	4,755
Avril	4,799	5,130	5,200
Mai	5,799	5,954	5,813
Juin	6,767	6,824	6,535
Juillet	6,929	7,051	6,803
Août	5,957	6,308	6,326
Septembre	4,474	5,048	5,358
Octobre	2,760	3,280	3,641
Novembre	1,791	2,329	2,751
Décembre	1,346	1,826	2,211

Mois	Angle 45° kWh/m ² .j	Angle 60° kWh/m ² .j	Angle 75° kWh/m ² .j
Janvier	2,918	3,057	3,021
Février	3,444	3,474	3,317
Mars	4,874	4,732	4,337

Avril	5,021	4,604	3,973
Mai	5,405	4,758	3,914
Juin	5,939	5,079	4,019
Juillet	6,218	5,340	4,232
Août	6,015	5,399	4,514
Septembre	5,383	5,119	4,582
Octobre	3,814	3,788	3,561
Novembre	3,026	3,134	3,066
Décembre	2,477	2,605	2,587