

NOM DE LA MATIERE

Rapport de stage

PARASSOURAMIN Alexandre
Master 1 Énergie
35003702

Sommaire

| | |
|---|----------|
| Introduction | 1 |
| 1 | 1 |
| 2 LES TRAVAUX EFFECTUÉS ET LES APPORTS DU STAGE | 1 |
| 3 Montage du CM121C | 1 |
| 3.1 Surface Horizontal | 1 |
| 3.2 Inclinaison de la barre coulissante | 2 |
| 3.3 Installation du pyranomètre | 3 |
| 3.4 Alignement nord-sud | 4 |
| 3.4.1 Pointage géographique | 4 |
| 3.4.2 Boussole solaire fixe | 6 |
| 4 Programmation | 9 |
| 4.1 Calendrier du Cm121 | 9 |
| 4.2 Analyse statistique | 10 |
| 4.2.1 Suppression des données non utilisés, non acquis et abérantes | 10 |
| 4.2.2 Calcul des facteurs de correction | 11 |
| 4.2.3 Etalonnage | 11 |
| 4.3 Représentation graphique de l'erreur relative | 11 |
| 4.3.1 Histogramme | 12 |
| 4.3.2 Selection des mesures entre deux intervalles | 13 |
| 4.3.3 exécution de l'analyse statistique | 13 |
| 4.3.4 Impact de la ventilation sur les mesures | 13 |

Introduction

Dans le cadre de mon Master1 j'ai du réaliser un stage de huit semaines, le stage s'est dérouler au sein du laboratoire LE2P de l'université de la Réunion.

Le stage avait pour objectif le montage d'un pyranomètre à arc d'ombrage cm121, l'élaboration d'un calendrier de maintenance pour le cm121, la mise en place d'un protocole permettant de régler la position Nord-sud du cm121, le développement de programme sous python permettant l'analyse statistique des mesures de DHI, mais aussi d'effectuer une étude montrant si les mesures du cm121 sont plus proche du spn1 que du tracker et finnalement de savoir quel dispositif ont les résultats les plus proche du tracker entre le cm121 et le spn1.

1

2 LES TRAVAUX EFFECTUÉS ET LES APPORTS DU STAGE

3 Montage du CM121C

Le CM121C comporte cinq partie, la base, le pilier, la barre transversale, la barre coulissante et le support pour pyranomètre. Le montage consiste juste à assembler chaque partie à l'aide des boulons fournis.



Figure 1: cm121

3.1 Surface Horizontal

La première étape pour le positionnement du cm121 consiste à s'assurer que la base du cm121 est plane, pour ce faire la base comporte 3 boulons permettant à l'aide d'un niveau à bulle de mettre

la base à l'horizontal.



Figure 2: Base horizontal

3.2 Inclinaison de la barre coulissante

La barre coulissante doit être parallèle à l'axe polaire, pour se faire l'angle entre l'horizon et la barre doit être égal à la latitude du site, pour l'Université de la Réunion cela implique un angle de -20.9° . L'angle est réglé grâce à une application mobile qui offre une précision suffisante le réglage pouvant se faire à 1-4 degrés près selon la datasheet.



Figure 3: Axe polaire

3.3 Installation du pyranomètre

Le pyranomètre est installé sur le socle prévu à cet effet, les pattes du pyranometre permettent de rattraper les erreurs d'angles lors du montage de la base. Une fois effectué la ventilation est installé est raccorder en 12 volts. La ventilation permet de garder le pyranomètre à température constante, permettant ainsi de faire l'aquisition des mesures dans les memes conditions de température toute l'année.

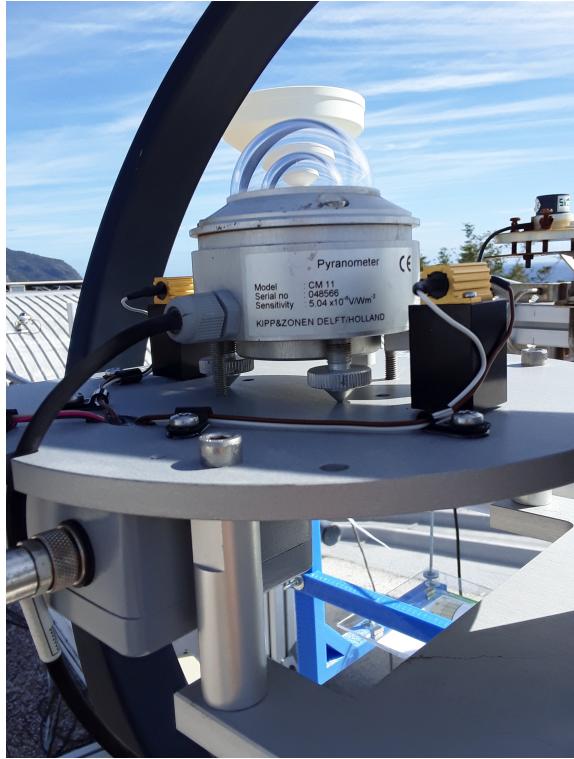


Figure 4: Installation pyranomètre

3.4 Alignement nord-sud

L'étape la plus importante et le réglage de la position nord-sud, un mauvais réglage nord-sud peut entraîner des données erronées du fait que le capteur est susceptible de capturer du rayonnement global à certain moment de la journée. Une première approche pourrait consister à utiliser un compas magnétique mais la présence d'un élément ferreux donne une indication erronée du nord. La méthode retenue est l'utilisation d'une boussole solaire.

Le principe de la boussole solaire est de projeter l'ombre du soleil sur une surface plane, sur cette surface plane se trouve un cadran gradué représentant l'azimut, en connaissant l'azimut du soleil et en reportant l'ombre sur le cadran nous obtenons la position nord-sud.

3.4.1 Pointage géographique

Le premier alignement Nord-sud fut effectué par une boussole solaire totalement indépendante de l'arc d'ombrage, le but consiste à l'aide d'une feuille Excel et de l'heure actuelle, de calculer l'azimut, de le reporter sur la boussole solaire en la faisant pivoter et de pointer un point géographique le plus lointain passant dans l'axe nord-sud de la boussole solaire. Une fois ce point géographique trouvé, nous effectuons la même démarche en reportant ce point dans l'axe de la barre coulissante. Cette méthode donne de bons résultats, mais elle nous expose à des erreurs d'angle notamment lors du pointage du point géographique et le vent faisant bouger le fil, elle a aussi pour inconvénient une mise en place assez lourde avec l'obligation d'avoir un ordinateur portable sous la main.

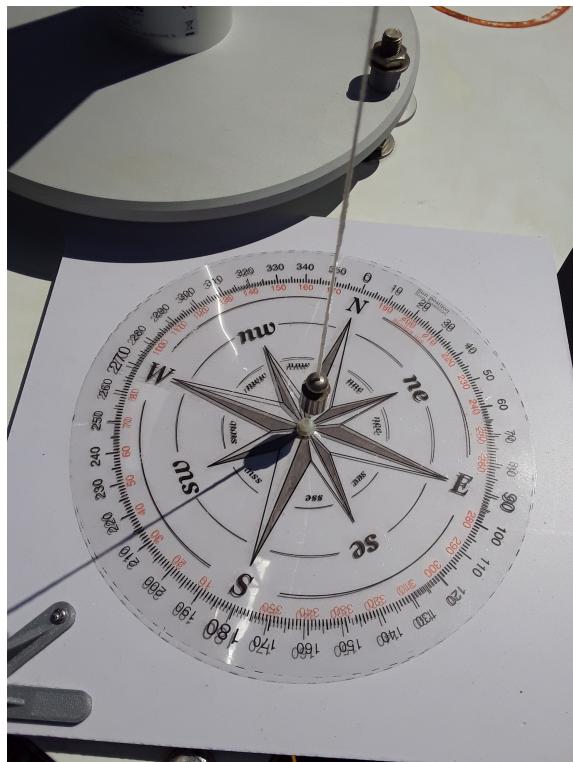


Figure 5: Boussole solaire



Figure 6: Point géographique

3.4.2 Boussole solaire fixe

Pour palier aux problèmes de la boussole solaire traditionnelle, il fut élaborer une boussole solaire fixe. Le but est de faciliter le réglage nord-sud, mais aussi de diminuer les erreurs d'angles de la boussole traditionnelle, pour se faire la boussole devras être fixer à la barre transversale du cm121.

Pour faciliter la maintenance le choix de la conception c'est porté sur l'impression 3D et la modélisation fut effectué sur le logiciel fusion 360 (figure *). La boussole comporte 4 parties imprimer en 3D (deux bases et deux longerons), une plaque de plexiglas permettant de placer notre cadran d'azimut et une tige filleté qui sert de support au fil.

Les quatre parties imprimé en 3D sont assembler à l'aide de quatre boulon de 3*20mm.

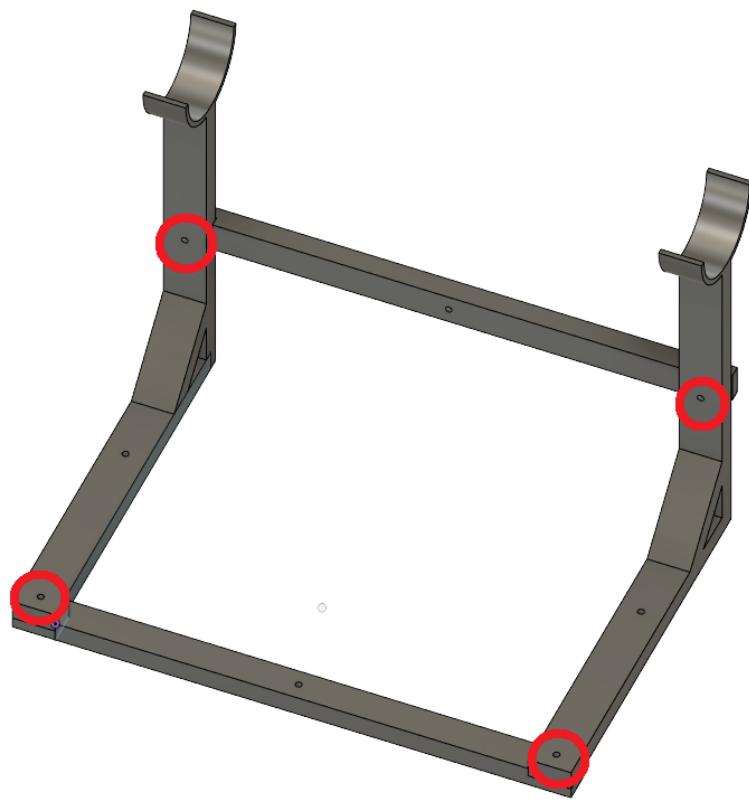


Figure 7: Assemblage bases et longerons

Trois boulons de 3*30mm viennent se placer au endroits prevus, ces boulons permettent de regler la plaque de plexiglas pour qu'elle soit horizontal. La plaque de plexiglass est coupé dans du plexiglass de 3mm et les passage de boulon sont percer par une meche de 3mm. La plaque repose sur les trois boulons de 3*30mm.

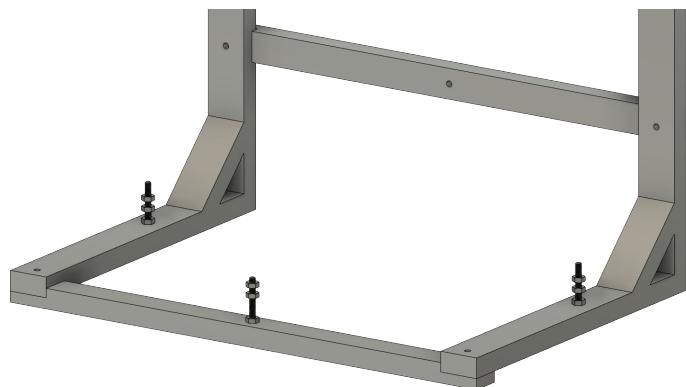


Figure 8: cadran d'azimut

Le cadran d'azimut est imprimé sur du papier ordinaire puis plastifier pour resister aux intempéries, il est fixer sur la plaque de plexiglas grace à huit aimants qui permettent de faire coincider les bords pour assurer la paralelité avec la plaque de plexiglass et donc indirectement avec la barre transversale du cm121.

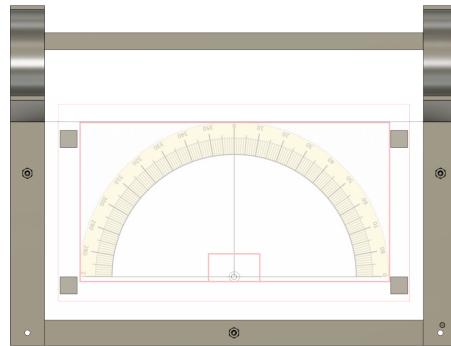


Figure 9: cadran d'azimut

Viens ensuite la mise en place de la tige fileté de 3mm qui supporte le fil. Le fil passe dans l'intersection du cadran d'azimut et la plaque de plexiglass par un trou de 3mm, cela permet de reduire les effets du vents sur l'oscillation du fil.

Le cadran est par la suite fixer à la barre transversale à l'aide de colier rilsan, la plaque de plexiglas doit ensuite etre regler à l'horizontal, pour se faire un niveau de surface est utilisé est les ajustement se font par les trois boulons de 3*30mm.

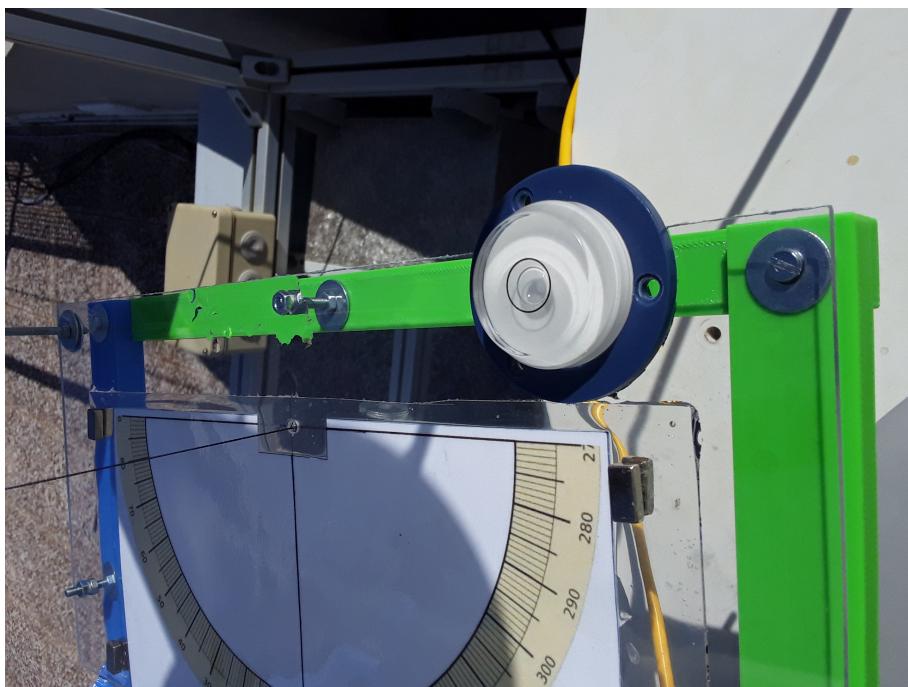


Figure 10: cadran d'azimut

Nous devons maintenant connaitre l'azimut du soleil, la solution la plus simple est d'utiliser un site internet comme par exemple suncalc.org. L'azimut obtenu doit ensuite etre reporté sur le cadran, pour se faire il suffit de faire pivoter la base du cm121 sur son axe vertical. Le positionnement Nord-sud est effectué.

Cette méthode comporte quand même des limites, elle ne marche que pour les jours ensoleillé et la présence de masque cache à certain moment de la journée le soleil ce qui empêche le positionnement nord-sud.

4 Programmation

4.1 Calendrier du Cm121

Le calendrier de maintenance du CM121 comporte deux informations, l'heure du midi solaire et la position de la barre coulissante.

La position de la barre coulissante est calculé en fonction de la déclinaison du soleil, par l'expression :

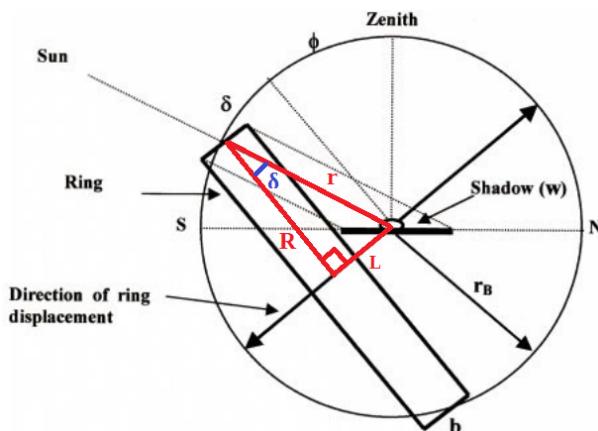
$$L = 297 \tan(\delta)$$

Avec :

L : la position de la barre coulissante

δ : la déclinaison du soleil

Nous pouvons retrouver cette équation en appliquant pythagore sur la figure suivante:



$$R = 297 \text{ mm}$$

$$\tan(\delta) = \frac{L}{R}$$

$$L = R \tan(\delta)$$

$$L = 297 \tan(\delta)$$

Les calendriers sont calculés par la fonction principale `calendrier.py` (voir annexe), pour faciliter l'exécution du programme, celui-ci s'exécute via un terminal par la ligne de commande :

```
$python calendrier.py anne
```

Le programme retourne alors trois calendrier, un calendrier au format csv, un calendrier au format xlsx et un calendrier ics. Le calendrier csv est obtenue par du texte brut ce qui signifie qu'il fonctionne avec tout les logiciels de traitement de texte, mais ne permet pas la mise en forme. Le calendrier xlsx permet d'intégrer la mise en forme au calendrier, nous obtenons ainsi des codes couleurs, en vert les jours fériés, en bleu les weekends et en rouge les maintenances minimum à effectuer sur le cm121. Le calendrier ics permet d'avoir les positions du cm121 au format iCalendar

ce qui permet entre autre d'avoir le midi-solaire et la position de la barre coulissante via son smartphone.

| calendrier_cm121_2021 | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|
| January | February | March | April | May | June | July | August | September | October | November | December |
| Fri 1 Cm121: 126 midisolaire : 12:21:40 | Sun 1 Cm121: 92 midisolaire : 12:31:39 | Mon 1 Cm121: 41 midisolaire : 12:30:23 | Thu 1 Cm121: 22 midisolaire : 12:21:55 | Tue 1 Cm121: 78 midisolaire : 12:15:10 | Wed 1 Cm121: 119 midisolaire : 12:21:56 | Thu 1 Cm121: 127 midisolaire : 12:21:56 | Sun 1 Cm121: 97 midisolaire : 12:24:25 | Mon 1 Cm121: 139 midisolaire : 12:1:39 | Wed 1 Cm121: 77 midisolaire : 11:8 | Thu 2 Cm121: 118 midisolaire : 12:1:38 | Fri 2 Cm121: 119 midisolaire : 12:7:43 |

Figure 11: calendrier au format csv

| January 2021 | February 2021 | March 2021 | April 2021 | May 2021 | June 2021 | July 2021 | August 2021 | September 2021 | October 2021 | November 2021 | December 2021 |
|--|---|---|---|--|--|--|---|---|---|--|---|
| Fri 1 Mid solaire : 12:21:40 Position = -26 | Sun 1 Mid solaire : 12:31:39 Position = -92 | Mon 1 Mid solaire : 12:30:23 Position = -41 | Thu 1 Mid solaire : 12:21:55 Position = -22 | Sat 1 Mid solaire : 12:15:10 Position = -119 | Tue 1 Mid solaire : 12:15:56 Position = -119 | Thu 1 Mid solaire : 12:21:59 Position = -127 | Sun 1 Mid solaire : 12:24:25 Position = -97 | Wed 1 Mid solaire : 12:18:3 Position = -44 | Fri 1 Mid solaire : 12:7:43 Position = -14 | Mon 1 Mid solaire : 12:1:39 Position = -76 | Wed 1 Mid solaire : 12:7:7 Position = -118 |
| Sat 2 Mid solaire : 12:22:8 Position = -126 | Tue 2 Mid solaire : 12:31:46 Position = -91 | Mon 2 Mid solaire : 12:30:11 Position = -39 | Tue 2 Mid solaire : 12:21:37 Position = -24 | Sun 2 Mid solaire : 12:15:3 Position = +80 | Wed 2 Mid solaire : 12:16:5 Position = +120 | Fri 2 Mid solaire : 12:22:10 Position = +126 | Mon 2 Mid solaire : 12:24:21 Position = +96 | Wed 2 Mid solaire : 12:17:44 Position = +42 | Thu 2 Mid solaire : 12:27:23 Position = +16 | Sat 2 Mid solaire : 12:1:38 Position = -70 | Thu 2 Mid solaire : 12:7:30 Position = -119 |
| Sun 3 Mid solaire : 12:22:36 Position = -125 | Wed 3 Mid solaire : 12:31:53 Position = -89 | Mon 3 Mid solaire : 12:30:50 Position = -37 | Sat 3 Mid solaire : 12:21:20 Position = -26 | Tue 3 Mid solaire : 12:14:57 Position = +81 | Thu 3 Mid solaire : 12:16:15 Position = +121 | Sat 3 Mid solaire : 12:22:21 Position = +126 | Tue 3 Mid solaire : 12:24:16 Position = +40 | Wed 3 Mid solaire : 12:17:25 Position = +75 | Thu 3 Mid solaire : 12:1:38 Position = -78 | Mon 3 Mid solaire : 12:1:39 Position = -78 | Wed 3 Mid solaire : 12:7:53 Position = -119 |
| Mon 4 Mid solaire : 12:23:3 Position = -124 | Thu 4 Mid solaire : 12:31:58 Position = -87 | Fri 4 Mid solaire : 12:29:45 Position = -35 | Sun 4 Mid solaire : 12:21:22 Position = -29 | Tue 4 Mid solaire : 12:14:51 Position = +63 | Fri 4 Mid solaire : 12:16:26 Position = +122 | Sun 4 Mid solaire : 12:22:32 Position = +75 | Mon 4 Mid solaire : 12:24:11 Position = +33 | Wed 4 Mid solaire : 12:17:5 Position = +38 | Thu 4 Mid solaire : 12:6:46 Position = -20 | Sat 4 Mid solaire : 12:1:39 Position = -80 | Mon 4 Mid solaire : 12:8:17 Position = -120 |
| Tue 5 Mid solaire : 12:23:30 Position = -124 | Wed 5 Mid solaire : 12:32:3 Position = -86 | Fri 5 Mid solaire : 12:29:32 Position = -33 | Sat 5 Mid solaire : 12:20:45 Position = -30 | Mon 5 Mid solaire : 12:14:46 Position = +85 | Wed 5 Mid solaire : 12:22:42 Position = +125 | Sat 5 Mid solaire : 12:24:5 Position = +91 | Tue 5 Mid solaire : 12:24:5 Position = +37 | Thu 5 Mid solaire : 12:6:28 Position = -22 | Fri 5 Mid solaire : 12:1:40 Position = -82 | Sat 5 Mid solaire : 12:1:40 Position = -82 | Mon 5 Mid solaire : 12:8:42 Position = -121 |
| Wed 6 Mid solaire : 12:23:57 Position = -123 | Thu 6 Mid solaire : 12:32:3 Position = -84 | Fri 6 Mid solaire : 12:29:18 Position = -31 | Sat 6 Mid solaire : 12:20:28 Position = -32 | Mon 6 Mid solaire : 12:14:42 Position = -88 | Thu 6 Mid solaire : 12:22:52 Position = +123 | Sat 6 Mid solaire : 12:23:58 Position = +90 | Mon 6 Mid solaire : 12:25:10 Position = +35 | Wed 6 Mid solaire : 12:12:42 Position = -24 | Thu 6 Mid solaire : 12:1:42 Position = -83 | Sat 6 Mid solaire : 12:1:42 Position = -83 | Mon 6 Mid solaire : 12:9:7 Position = -122 |
| Thu 7 Mid solaire : 12:24:23 Position = -122 | Sun 7 Mid solaire : 12:32:11 Position = -82 | Sun 7 Mid solaire : 12:29:4 Position = -34 | Wed 7 Mid solaire : 12:20:11 Position = -88 | Fri 7 Mid solaire : 12:14:38 Position = +88 | Mon 7 Mid solaire : 12:16:58 Position = +124 | Wed 7 Mid solaire : 12:23:2 Position = +124 | Sat 7 Mid solaire : 12:23:51 Position = +88 | Tue 7 Mid solaire : 12:16:4 Position = +33 | Thu 7 Mid solaire : 12:5:53 Position = -26 | Sun 7 Mid solaire : 12:1:45 Position = -85 | Tue 7 Mid solaire : 12:9:33 Position = -123 |

Figure 12: calendrier au formatxlsx

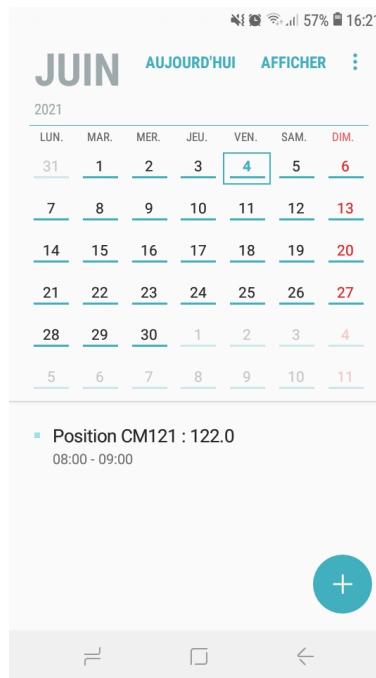


Figure 13: calendrier au format ics

4.2 Analyse statistique

J'ai du lors du stage dévelloper des programmes en python permettant d'effectuer l'analyse statistique d'un jeu de donnée. Pour ce faire mes programmes fonctionne avec des dataframes, j'ai porté mon choix vers les dataframes car elles sont facile à manipuler.

4.2.1 Suppression des données non utilisés, non acquis et abérantes

Le fichier de mesure comporte généralement des données non acquis pouvant bloquer l'exécution de certain programme, mais aussi les données pour la nuit qui sont inintéressante dans le cas de l'étude du DHI ou du GHI. La fonction nettoyage.py (voir annexe) permet d'enlever ces valeurs.

4.2.2 Calcul des facteurs de correction

Les données du cm121 doit être corrigés car l'arc d'ombrage masque une partie du diffus. L'expression permettant de calculer le facteur de correction donné dans la datasheet se base sur les travaux de Drummond, cette correction fait l'hypothèse que le ciel est isotropique ce qui donne une correction des mesures purement géométrique (voir annexe). Les mesures du CM121 sont corrigées par la fonction `correction_kippzonen.py` (voir annexe), cette fonction calcule le facteur de correction en se basant sur l'heure ou la mesure a été prise et l'applique aux mesures du cm121.

4.2.3 Etalonnage

Lors de l'étalonnage les mesures subissent une régression linéaire par rapport à des mesures de références, nous obtenons alors une droite d'équation $y = ax + b$ que nous voulons ramener pour obtenir une droite d'équation $y = x$.

La fonction `regression_lineaire.py` permet d'effectuer l'étalonnage (voir annexe). Outre l'étalonnage la fonction `regression_lineaire.py` effectue aussi l'analyse statistique. L'analyse statistique permet d'obtenir sur le graphique le coefficient de détermination R^2 , la variance, l'erreur quadratique moyenne et l'erreur absolue moyenne.

Le coefficient de détermination R^2 est un indicateur qui permet de juger la qualité d'une régression linéaire. Si le R^2 vaut 1, cela signifie que l'équation de la droite de régression est capable de déterminer 100 % de la distribution des points. Cela signifie alors que le modèle mathématique utilisé, ainsi que les paramètres a et b calculés sont ceux qui déterminent la distribution des points.

La variance est une mesure de la dispersion des valeurs d'un échantillon.

L'erreur quadratique moyenne (RMSE) fournit une indication par rapport à la dispersion ou la variabilité de la qualité de la prédiction, il est souvent relié à la variance car les valeurs de RMSE sont difficiles à interpréter parce que l'on est pas en mesure de dire si on a une variance faible ou forte, l'erreur quadratique moyenne donne plus de poids aux erreurs élevées.

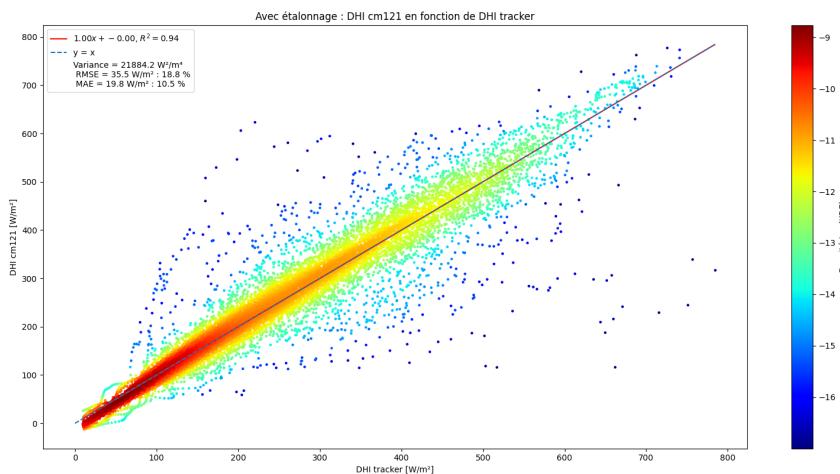


Figure 14: régression linéaire

4.3 Représentation graphique de l'erreur relative

La fonction `erreur_relative.py` donne la représentation de l'erreur relative en fonctions de l'azimut et de l'élévation du soleil permet de mettre en lumière des journées particulières comme par

exemple le dysfonctionnement de l'acquisition des mesures, mais aussi la présence de masque ou de reflet impactant le pyranomètre. Les erreurs aberrantes qui sont identifier grâce à cette méthode peuvent donc être supprimé.

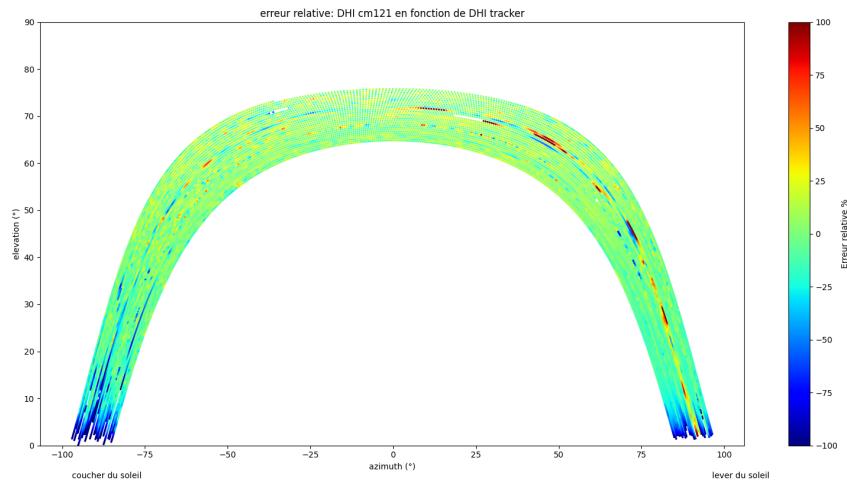


Figure 15: régression linéaire

4.3.1 Histogramme

La fonction histogramme.py donne la représentation graphique de la répartition d'une variable, dans notre cas la fonction donne la répartition du rayonnement diffus et de l'erreur relative.

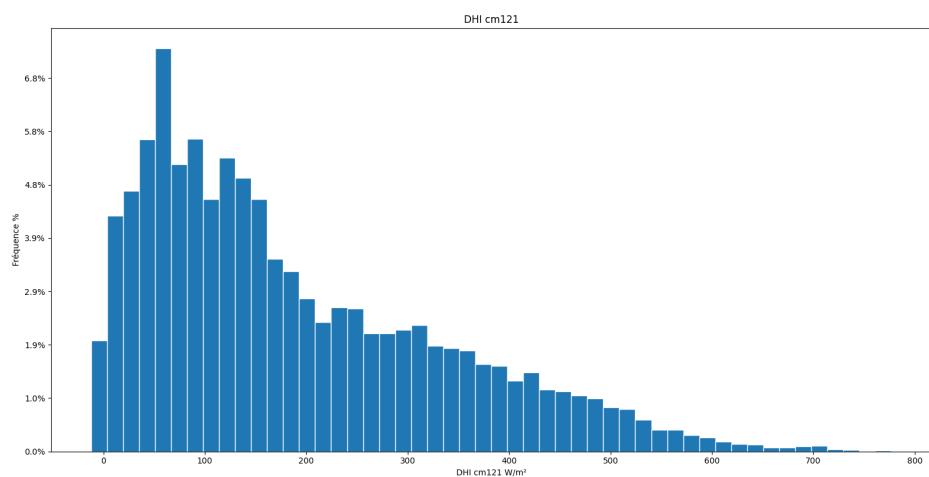


Figure 16: régression linéaire

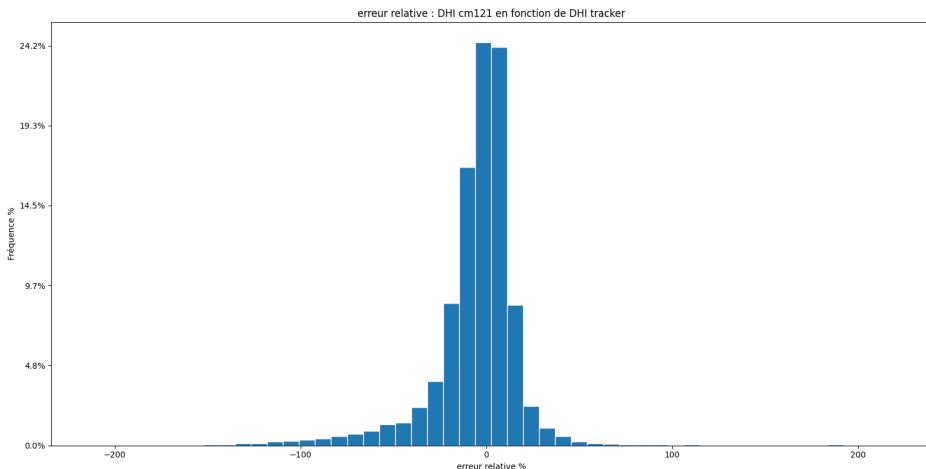


Figure 17: régression linéaire

4.3.2 Sélection des mesures entre deux intervalles

Deux fonctions ont été créées pour sélectionner les mesures entre une période donnée, la première permet d'avoir les mesures entre deux dates et la dernière permet d'avoir les mesures pour une tranche horaire spécifiée. Ces deux fonctions permettent de savoir qu'elles dispositif donne de meilleur mesure que ce soit pour le matin ou l'après-midi, et pendant les saisons été/hiver.

4.3.3 exécution de l'analyse statistique

Pour faciliter l'utilisation du programme celui-ci s'exécute via un terminal, pour ce faire l'utilisateur doit juste renseigner le nom de son fichier de mesure, choisir les valeurs tests et les valeurs pour la référence. Si l'utilisateur le souhaite il est aussi en mesure de renseigner la période sur laquel il souhaite l'analyse statistique.

4.3.4 Impact de la ventilation sur les mesures

Les mesures avec la ventilation opérationnelle ont été acquise entre le 21 avril 2021 et le 31 mai 2021, nous devons donc comparer les mesures avec ventilation et sans ventilation sur la même période de 41 jours, les mesures entre le 21 avril 2021 et le 31 mai 2021 sont comparées aux mesures entre le 11 mars et le 20 avril.

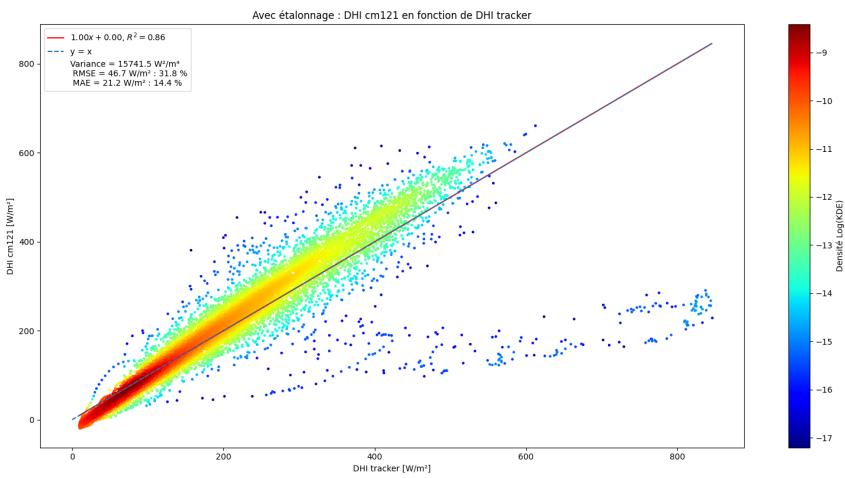


Figure 18: régression linéaire période avec ventilation

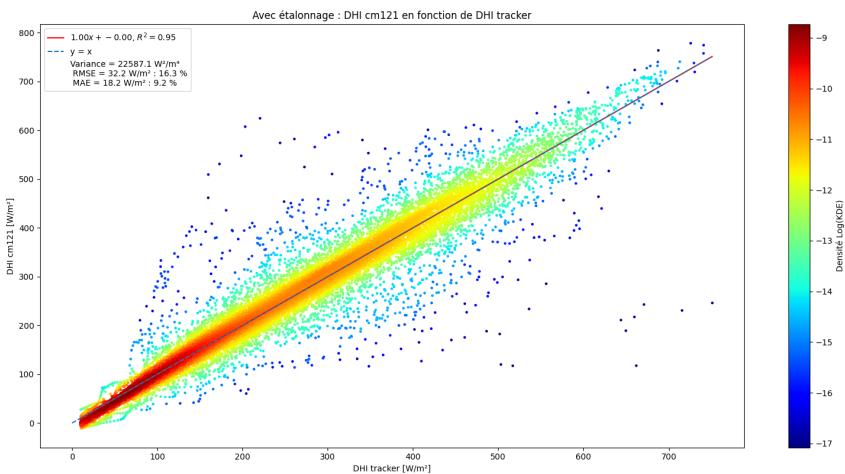


Figure 19: régression linéaire période sans ventilation

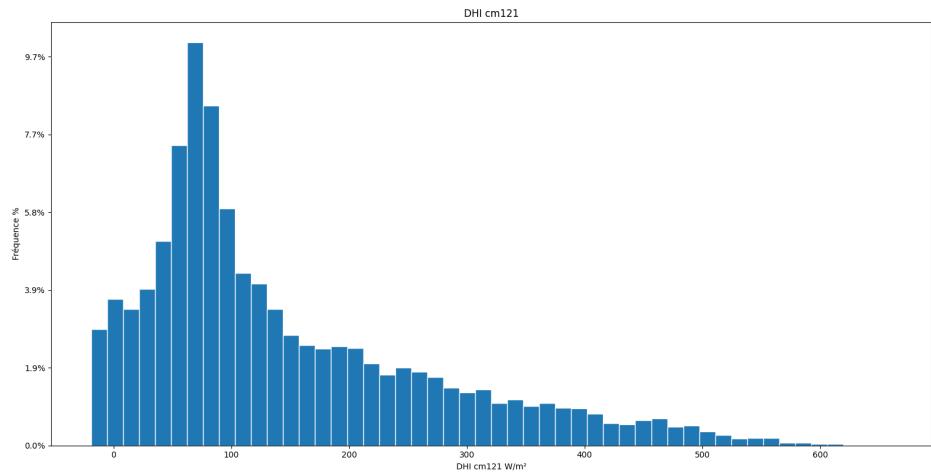


Figure 20: répartition du DHI avec ventillation

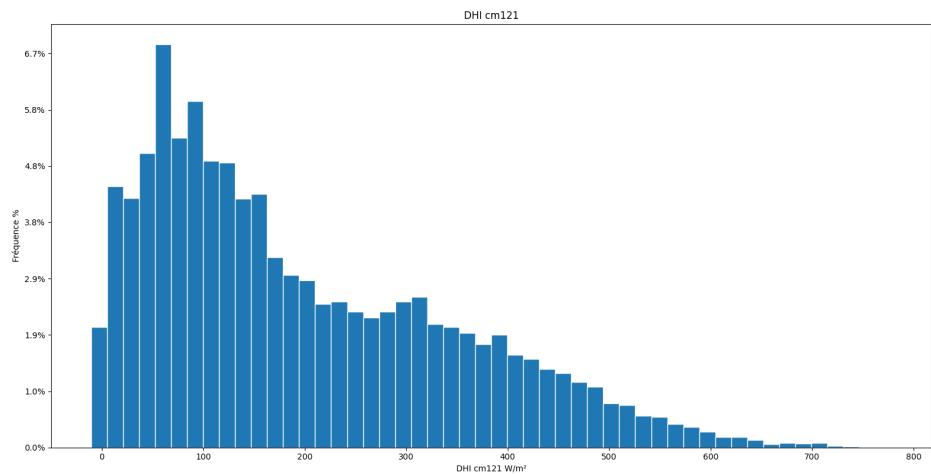


Figure 21: répartition du DHI sans ventillation

Nous obtenons avec la mise en place de la ventillation