

## L'énergie photovoltaïque : conception de travaux pratiques



**Etudiants :**

**Mouhawej Roman**

**Cacheux Nathan**

**Wu Yiheng**

**Deng Xuanze**

**Boujedaini Farès**

**Hauville Matthieu**

**Enseignant-responsable du projet :**

**Samuel Paillat**



Référence du projet : **STPI/P6/2022 – 47**

Intitulé du projet : **L'énergie photovoltaïque : conception de travaux pratiques**

Type de projet : ***bibliographique et expérimental***

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

L'objectif de notre projet est d'apporter des modifications à un TP d'électricité réalisé en STPI 1 et intitulé : Caractéristiques de dipôles. Dans celui-ci, les étudiants travaillent sur le fonctionnement d'une photodiode, en traçant dans un premier temps sa caractéristique puis en étudiant le mécanisme d'une télécommande comme application. Notre but est donc de remplacer la photodiode par un panneau photovoltaïque. Notre projet s'oriente donc dans un premier temps sur les caractéristiques de l'énergie lumineuse et des cellules photovoltaïques. Dans un second temps, nous avons comme ambition de travailler sur la conception d'un traqueur solaire, dont l'objectif est d'orienter le panneau et donc d'optimiser son rendement.

Mots-clefs du projet (4 maxi) :

- **Arduino**
- **Energie**
- **Rendement**
- **Traqueur**

Si existant, n° cahier de laboratoire associé : ***non existant***

## TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction	7
2. Méthodologie / Organisation du travail	8
2.1. Frise Chronologique	8
2.2. Organigramme	8
3. Travail réalisé et résultats	9
3.1. Partie théorique sur les caractéristiques du panneau solaire	9
■ 3.1.1. L'énergie photovoltaïque: principe de fonctionnement	9
■ 3.1.2. Caractéristique et rendement du panneau solaire	11
■ 3.1.3. Utilisation d'Arduino pour la détermination de la caractéristique	14
■ 3.1.4. Choix de la méthode pour un TP d'électricité	15
3.2. Conception d'un traqueur solaire	16
■ 3.2.1. Principe de fonctionnement d'un traqueur solaire	16
■ 3.2.2. Conception sous SolidWorks	16
■ 3.2.3. Code Arduino et montage électrique	17
■ 3.2.4. Assemblage et rendu final	18
4. Conclusions et perspectives	19
5. Bibliographie	20
6. Annexes (non obligatoire – exemples ci-dessous)	21
6.1. Documentation technique et ressources complémentaires	21
6.2. Listings des programmes réalisés	22
6.3. Schémas de montages et résultats expérimentaux	23
6.4. Propositions de sujets de projets (en lien ou pas avec le projet réalisé)	23

## **REMERCIEMENTS**

Nous remercions Samuel Paillat pour l'aide qu'il nous a apportée lors de ce projet.

Nous remercions également le personnel du pôle EAS pour l'impression des pièces du prototype 3D, notamment Mickael Jolli.

Enfin, nous remercions l'équipe technique pour leur soutien.

## 1. INTRODUCTION

Le projet physique de P6 consiste à étudier en groupe un sujet proposé par un enseignant. Le sujet que nous avons choisi est étroitement lié aux enjeux énergétiques actuels et s'intitule: "l'énergie photovoltaïque: conception de travaux pratiques".

Aujourd'hui, les énergies renouvelables représentent près de 20% de la consommation finale brute d'énergie en France. De 1990 à 2020, leur production a augmenté de 84%. Et sans aucun doute, les énergies renouvelables sont vouées à se développer encore plus fortement dans les prochaines années pour limiter l'empreinte carbone et redresser la situation climatique. Loin derrière l'hydraulique (18,7 % des énergies renouvelables en 2020) et l'éolien (12,3%), l'énergie solaire photovoltaïque ne constitue pour l'instant que 4,1% de la part des énergies renouvelables. Les caractéristiques et le rendement de cette énergie sont souvent discutés et c'est dans ce contexte que nous avons pu l'étudier.

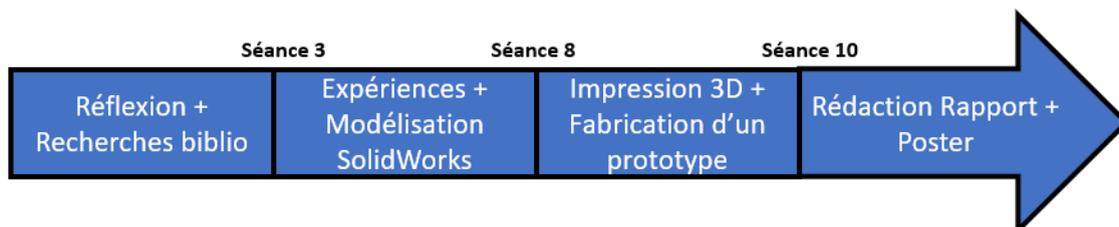
L'objectif premier de ce projet est de modifier un TP d'électricité réalisé par les étudiants de première année. Celui-ci s'intitule « Caractéristiques de dipôles » et traite du fonctionnement d'une photodiode. Nous devons donc remplacer ce dipôle par une cellule photovoltaïque. Nous nous sommes posé plusieurs questions. La photodiode et les panneau solaire fonctionnent-ils de la même manière ? Quel est le rendement d'un tel appareil ? Est-il possible de l'améliorer en favorisant son orientation au soleil ?

Toutes ces questions sont apparues au fil de notre projet et nous allons essayer dans ce rapport d'apporter des réponses et des solutions. Dans un premier temps, nous expliciterons notre organisation et notre méthode de travail. Par la suite, nous présenterons nos recherches et travaux, avec dans un premier temps une approche théorique sur le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque. Dans la continuité de cette partie nous nous intéresserons à la conception d'un traqueur solaire, système piloté par l'outil Arduino et ayant pour but d'optimiser les performances d'un panneau solaire. Enfin, on pourra se questionner et donner notre opinion sur l'intérêt de l'énergie photovoltaïque dans les années à venir.

## 2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

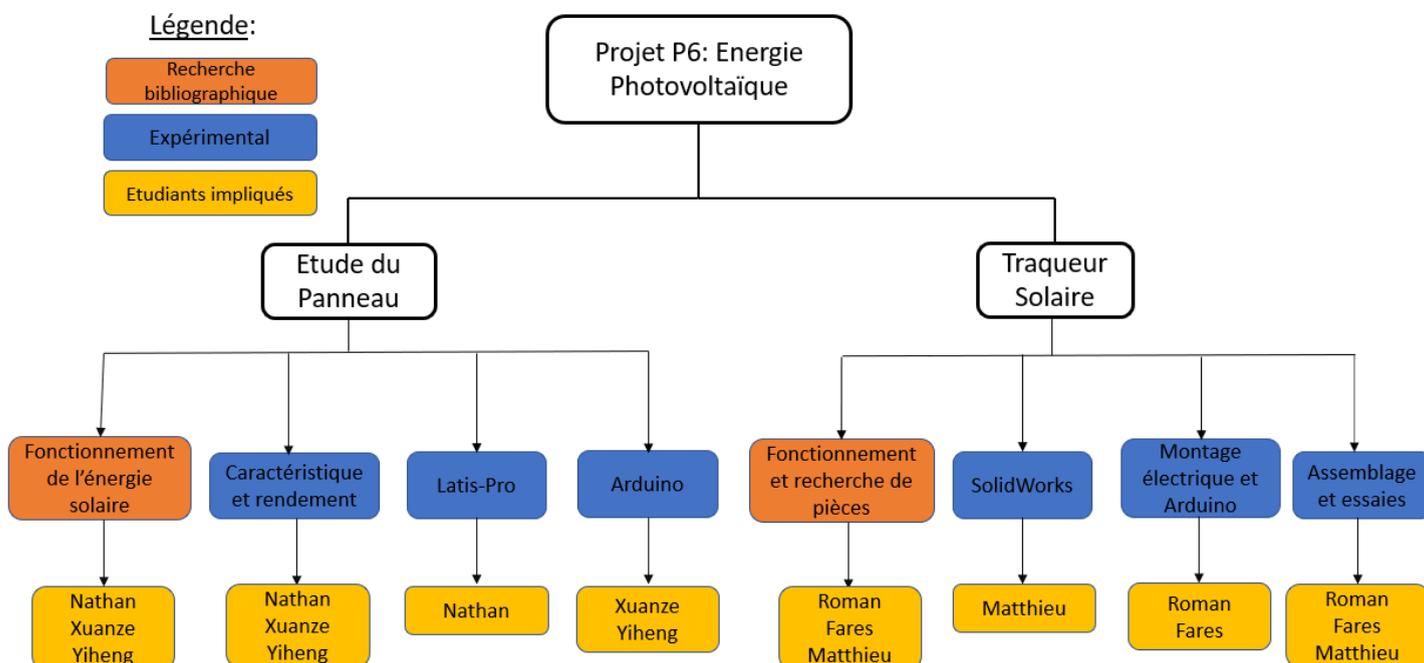
Le projet que nous avons travaillé rassemble une partie bibliographique et une partie expérimentale. En effet, nous avons étudié le fonctionnement d'un panneau solaire en effectuant des recherches et des expériences. Dans le même temps, nous avons conçu un traqueur solaire pour mettre en application nos résultats.

### 2.1. Frise Chronologique



### 2.2. Organigramme

La répartition du travail et les tâches réalisées sont présentées dans l'organigramme ci-dessous :



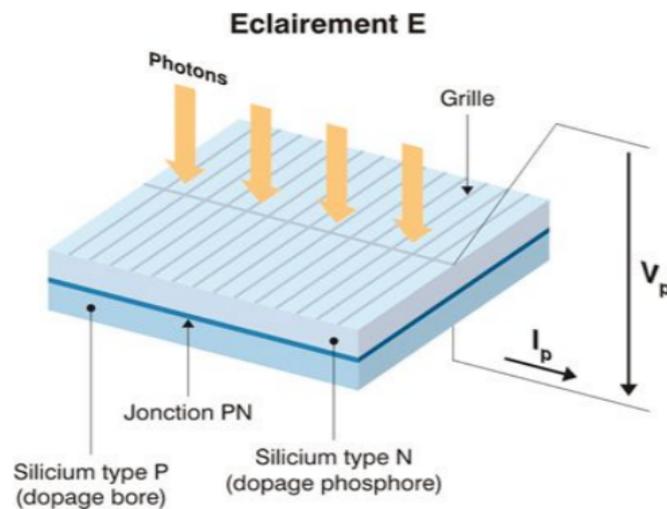
La réflexion sur le choix de nos recherches bibliographiques et de nos travaux pratiques ainsi que la rédaction de ce rapport ont été effectuées tous ensemble. Par ailleurs, nous avons régulièrement mis en commun nos recherches et résultats pour que chacun puisse être tenu au courant des avancées et du contenu du projet.

### 3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

#### 3.1. Partie théorique sur les caractéristiques du panneau solaire

##### ■ 3.1.1. L'énergie photovoltaïque: principe de fonctionnement

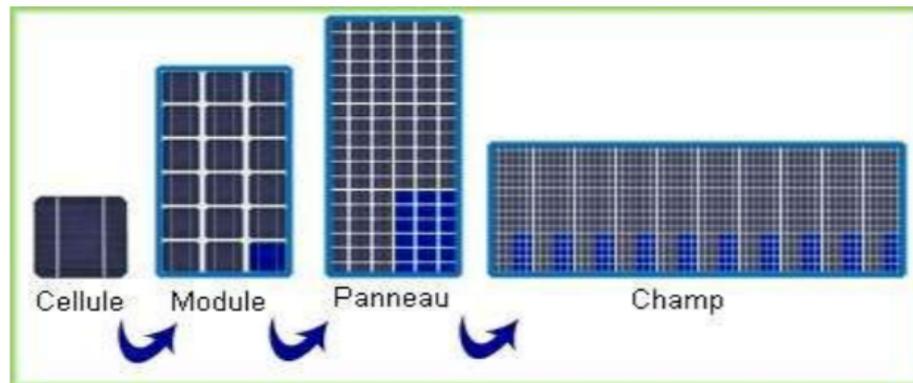
Une cellule photovoltaïque est également connue sous le nom de cellule solaire. Il s'agit d'un dispositif à semi-conducteurs qui utilise l'effet photovoltaïque pour convertir la lumière du soleil en électricité à courant continu. Pratiquement toutes les cellules solaires sont des photodiodes fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs tels que le silicium.



##### Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est fabriquée à partir de deux couches de Silicium (matériau semi-conducteur). Lorsqu'un photon de la lumière arrive, son énergie crée une rupture entre un atome de silicium et un électron, modifiant les charges électriques. C'est ce qu'on appelle l'effet photoélectrique. Les atomes chargés positivement vont alors dans la zone P et les atomes chargés négativement dans la zone N. Une différence de potentiel est ainsi créée, ce qui va libérer une tension électrique.

Comme le rendement des cellules solaires individuelles est très faible, un grand nombre de cellules solaires sont connectées les unes aux autres pour former un module solaire. La combinaison de modules solaires est appelée un panneau et la combinaison de panneaux est appelée un champ solaire. Ceci est fait afin d'obtenir la puissance de sortie requise du système photovoltaïque.



**Structure des outils photovoltaïques**

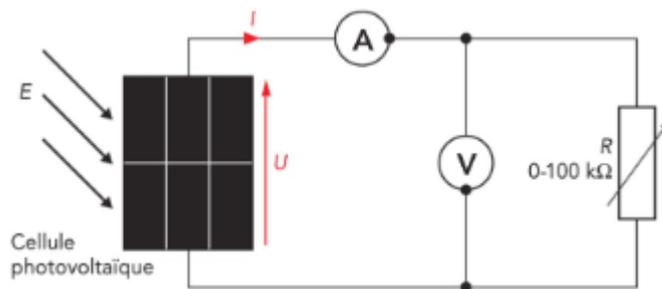
Dans le commerce, deux grands types de panneaux solaires sont disponibles. La différence entre les deux réside dans leur composition. Le panneau monocristallin est composé de cellules provenant d'un seul cristal de silicium dont la structure est homogène tandis que le panneau polycristallin est constitué de plusieurs cristaux de silicium de taille non homogène. Visuellement, cela se traduit par une différence de couleurs. Leurs caractéristiques sont présentés dans le tableau suivant :

	<b>Monocristallin</b>	<b>Polycristallin</b>
<b>Structure de la cellule</b>	Unique cristal	Plusieurs cristaux de taille non homogène
<b>Couleur</b>	Noir	Bleu
<b>Prix</b>	Elevé	Plus Faible
<b>Rendement</b>	Très bon (15 à 22%)	Moyen(10 à 13%)
<b>Utilité</b>	Meilleure rendement dans les zones froides et pluvieuses	Résistance plus élevée à la chaleur
<b>Durée de Vie</b>	30/35 ans	20/25 ans

L'énergie solaire et les systèmes de production ont beaucoup évolué ces dernières années et cela va continuer prochainement. Vous pouvez retrouver une frise chronologique sur l'histoire de l'énergie solaire en **ANNEXE 1**.

### ■ 3.1.2. Caractéristique et rendement du panneau solaire

- Objectif: tracer la caractéristique du panneau solaire pour établir son rendement en fonction de l'éclairement.
- Matériel:
  - Une cellule photovoltaïque de dimension 72 x 46 x 2 mm (photo et caractéristiques en **ANNEXE 2 et 3** et lien en bibliographie)
  - Un voltmètre
  - Un ampèremètre
  - Une résistance variant de 1Ω à 100kΩ
  - Un lampe
  - Un luxmètre
  - Fils électriques
  - Tableur Excel
- Protocole: Avec le matériel ci-dessus, nous réalisons un montage électrique permettant de calculer pour différentes valeurs de résistances la tension aux bornes de la cellule photovoltaïque et l'intensité du circuit.



**Montage expérimental (en convention générateur)**

Avec la lampe, nous éclairons la cellule photovoltaïque pour lui fournir un éclairement  $E$  exprimé en  $W/m^2$ . A noter que cet éclairement  $E$  reste constant tout le long des mesures de  $I$  et  $U$ . En effet, la distance lampe-cellule est fixe et l'intensité lumineuse ne varie pas.

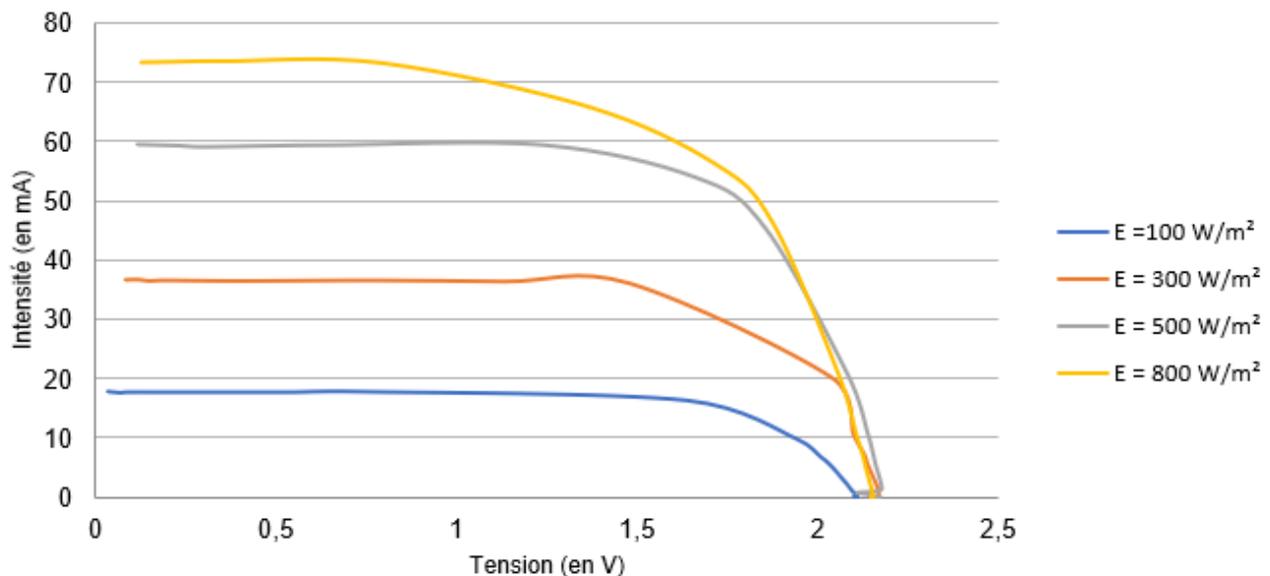
On va alors faire varier la résistance pour obtenir différente valeur d'intensité, et donc de tension. Grâce à un tableur Excel, on peut donc tracer la caractéristique  $I(U)$ . Par la suite, sachant que la puissance est égale au produit de l'intensité par la tension, on peut tracer  $P(U)$ .

Une fois les mesures effectuées, on rapproche la lampe du panneau solaire pour obtenir un éclairement  $E$  supérieur. On peut ainsi tracer sur le même graphique différentes caractéristiques.

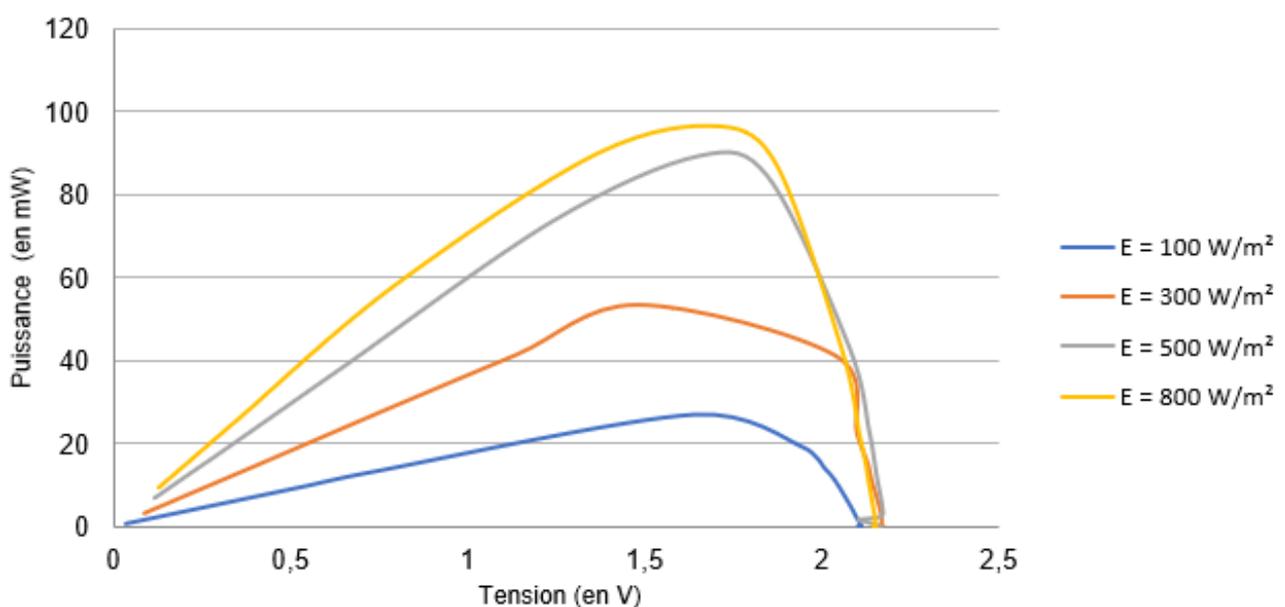
○ Résultats obtenus:

Nous avons réalisé quatre séries de mesures avec un éclairage de  $100 \text{ W/m}^2$ ,  $300 \text{ W/m}^2$ ,  $500 \text{ W/m}^2$  et  $800 \text{ W/m}^2$ . On peut ensuite effectuer une modélisation pour obtenir les graphiques suivants.

**Caractéristique Tension - Intensité**



**Caractéristique Tension - Puissance**



Les tableaux Excel regroupant les mesures et les calculs de rendement sont disponibles en **ANNEXE 3**.

○ Calcul du rendement :

Le rendement  $\eta$  d'une cellule photovoltaïque est le quotient de la puissance électrique maximale  $P_{\max}$  délivrée par la cellule par la puissance  $P_{\text{lum}}$  qu'elle reçoit. De plus, la puissance lumineuse correspond au produit de l'éclairement  $E$  par la surface  $S$  éclairée. Ainsi on obtient les résultats suivants :

**S = 0,003312 m<sup>2</sup>**

E (W/m <sup>2</sup> )	P <sub>max</sub> (W)	P <sub>lum</sub> (W)	$\eta = ( P_{\max} / P_{\text{lum}} )$ (en %) (avec 1 décimale)
100	0,0267	0,3312	8,1
300	0,0534	0,9936	5,4
500	0,0895	1,656	5,4
800	0,0963	2,650	3,6

○ Calcul d'incertitude:

Pour se rendre compte de la précision de nos mesures, un calcul d'incertitude sur la puissance générée par la cellule photovoltaïque peut-être réalisé. Pour interpréter par la suite le rapprochement des courbes P(U) à 500 w/m<sup>2</sup> et 800 w/m<sup>2</sup>, on décide de calculer l'incertitude pour Pmax( E=500W/m<sup>2</sup>). On a les données suivantes:

$$P_{\max} = 89,47 \text{ mW}$$

$$U = 1,657 \text{ V}$$

$$I = 54 \text{ mA}$$

Sachant que:  $P = U \times I$ , on obtient l'incertitude sur la puissance avec la formule suivante:

$$\Delta P = \sqrt{U^2 \times \Delta(I)^2 + I^2 \times \Delta(U)^2}$$

Incertitude sur U: 0,5% + 2d d'après la notice d'utilisation du multimètre.

$$\Delta U = 0.005 \times 1.657 + 2 \times 0.01 = 0.028V$$

Incertitude sur I: 1% +2d d'après la notice d'utilisation du multimètre.

$$\Delta I = 0.01 \times 54 + 2 \times 1 = 2.54 \text{ mA}$$

Incertitude sur P: Avec la formule précédente on trouve:

$$\Delta P = 5.00 \text{ mW (en arrondissant)}$$

Donc on obtient le résultat suivant:

$$P = 89,47 \pm 5,00 \text{ mW}$$

○ Interprétation des résultats et conclusion :

En étudiant les graphes et les résultats ci-dessus, on peut faire des interprétations. La caractéristique  $P(U)$  nous indique que la puissance générée augmente si l'éclairement est plus important. Cependant, en comparant les différents rendements obtenus, on note que le plus important correspond à la situation où  $E = 100 \text{ W/m}^2$ . Par ailleurs, le calcul d'incertitude nous donne des informations sur la précision de nos mesures. En effet, la faible incertitude ne permet pas d'expliquer pourquoi les courbes  $P(U)$  à  $500$  et  $800 \text{ W/m}^2$  se rapprochent à  $P_{\text{max}}$ . On peut donc penser que nous avons atteint la limite de la cellule photovoltaïque, avec ces niveaux d'éclairement. Ceci est sûrement lié aux performances du panneau en question, en supposant qu'il est capable de transformer un maximum d'énergie lumineuse en énergie électrique, pour des éclairements faibles.

De manière générale, le rendement reste insuffisant. En plus de la qualité du panneau solaire utilisé, ce faible taux peut-être expliqué en partie par l'éclairement reçu. En effet, une lumière artificielle n'est pas suffisante car elle ne fournit pas un flux par unité de surface supérieur à  $900 \text{ W/m}^2$ , sans risquer d'endommager la cellule. Un éclairement supérieur à  $1000 \text{ W/m}^2$  est facilement atteignable avec la lumière naturelle, et pourrait donc permettre une hausse du rendement avec un panneau plus performant. Malgré tout, comme vu précédemment, le rendement des panneaux solaires dépasse très rarement les 20%. En prenant en compte le coût du système, d'installation et de maintenance, on peut donc se questionner sur leur rentabilité à long terme. Pour pallier ça, nous avons eu comme objectif de construire un traqueur solaire, permettant au panneau solaire de s'orienter dans l'espace et donc de réceptionner un plus grand flux lumineux. C'est ce qui est présenté en partie 3.2.

### ■ 3.1.3 Choix de la méthode pour un TP d'électricité

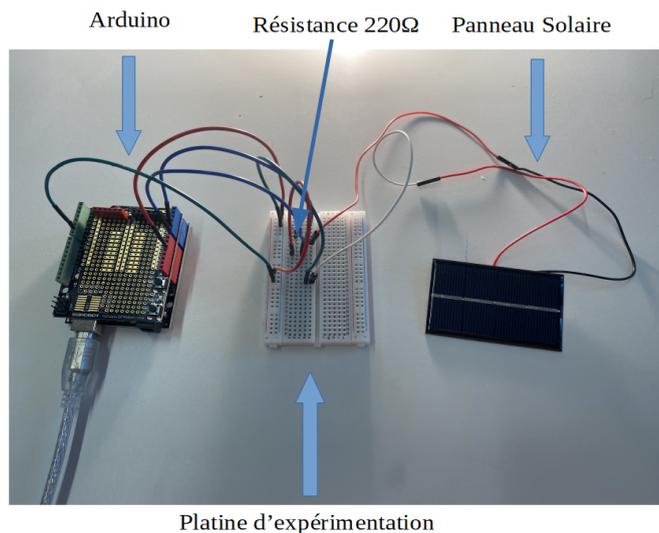
En parallèle, nous avons essayé d'effectuer les mesures en se servant de LatisPro, comme dans le TP de P3, et d'Arduino.

- Latis Pro :

Les résultats n'ont pas été concluants en remplaçant la photodiode par la cellule photovoltaïque. En effet, les mesures effectuées ne nous ont pas permis d'obtenir des courbes de caractéristiques satisfaisantes. En effet, nous avons obtenu un nuage de points ne correspondant qu'à une partie de la caractéristique.

- Arduino :

En utilisant l'outil Arduino, nous avons réalisé le dispositif suivant pour mesurer la tension de la cellule et l'intensité du circuit :



**Schéma du montage expérimental**

Ensuite, nous avons utilisé Spyder, le sub-logiciel d'Anaconda, pour exécuter le code python (voir **ANNEXE 4** ), afin de tracer la tension (exprimé en U) et l'intensité (exprimé en I) mesurés dans l'Arduino sur une période de temps donnée. Malheureusement, les courbes tracées ne présentent pas un grand intérêt. En effet, Arduino ne nous permet pas de faire varier la tension en entrée (fixe à 5V) et donc il n'est pas possible de fournir une tension sinusoïdale. De ce fait, cette méthode reste très limitée.

Par conséquent, en comparant ces 3 méthodes, nous arrivons naturellement à la conclusion que la méthode présentée en 3.1.2 semble la plus adaptée. C'est ce protocole qui pourrait être proposé dans le TP, en complément de l'étude de la résistance et de la partie application que nous allons traiter dans la prochaine partie.

## 3.2 Conception d'un traqueur solaire

Une seconde partie du travail s'est articulée autour d'un mécanisme de traqueur solaire permettant d'obtenir plusieurs résultats expérimentaux à mettre en relation avec les valeurs théoriques vu ci-dessus. Celui-ci est manœuvré automatiquement via une carte Arduino, afin de maximiser l'orientation du panneau solaire en fonction de la luminosité reçue dans chaque position, et ce afin d'obtenir le meilleur rendement possible.

### ■ 3.2.1 Principe de fonctionnement d'un traqueur solaire

Un traqueur solaire est un système, à commande manuelle ou automatisée, qui permet à un équipement de production d'énergie photovoltaïque de se positionner au mieux par rapport à la lumière du soleil. Le rendement d'une cellule photovoltaïque pouvant paraître relativement faible, ce système permet de maintenir une orientation optimale afin d'améliorer le rendement. Cela peut paraître fortement intéressant pour un parc de production d'énergie photovoltaïque, malheureusement, appliqué à grande échelle et donc sur des cellules plus grandes mais surtout plus lourdes, ce type de système se révèle trop énergivore pour représenter un gain considérable. En raison de cette contrainte et de son prix, ce système n'est donc pas réellement intéressant pour la production d'énergie photovoltaïque à grande échelle.

En revanche, dans le cas d'une étude comme la nôtre, et avec un panneau photovoltaïque comme celui que nous avons choisi pour réaliser nos expériences (diagonale de moins de 10 centimètres), ce traqueur peut se révéler avantageux. En effet, nous ne prenons pas réellement en compte la consommation énergétique du système, puisque le principale objet de cette étude est l'amélioration de la production d'énergie par le panneau lors de l'utilisation d'un traqueur solaire. De plus, tout notre système reste relativement léger comparé à ce que l'on peut trouver dans les parcs solaires pour la production à grande échelle. Il nous est donc bien plus facile d'étudier l'impact d'un traqueur sur le rendement d'un panneau solaire avec ces petits composants.

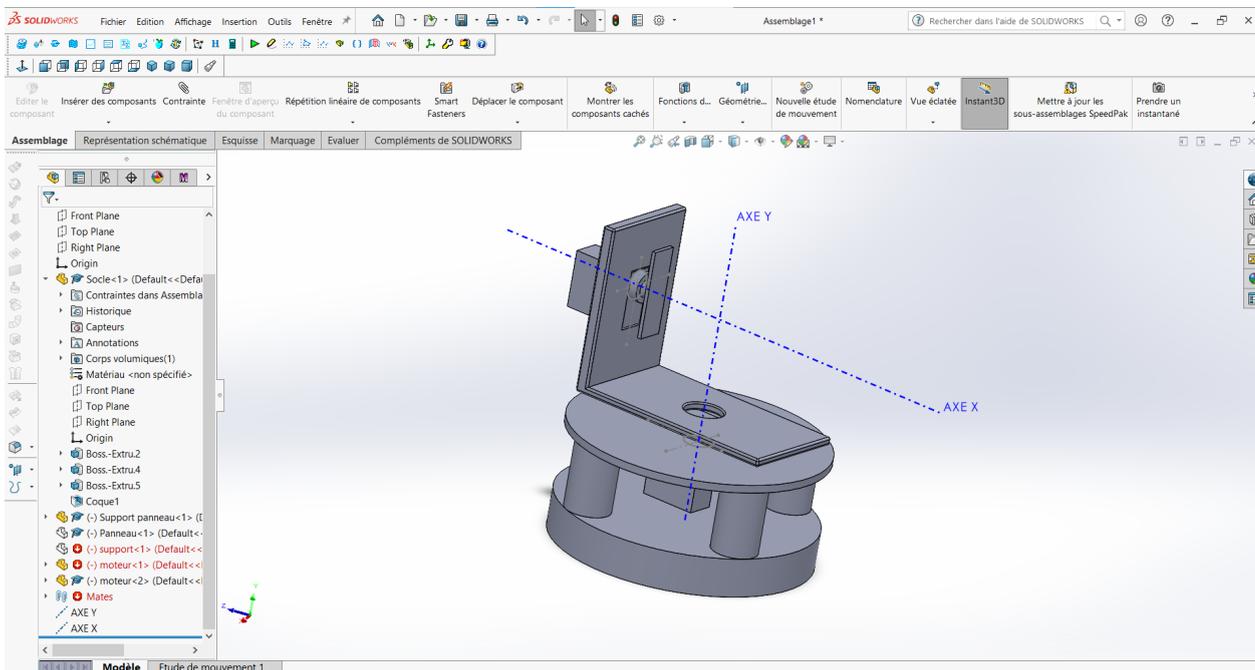


**Traqueur solaire installé dans un champ en Bretagne**

### ▪ 3.2.2 Conception sous SolidWorks

Le traqueur en lui-même est une structure imprimée en 3D, composée de 3 pièces et de deux moteurs électriques permettant la mise en mouvement du système. Nous avons donc à choisir notre solution technique afin de réaliser cette structure, et le choix s'est porté sur le logiciel de conception 3D SolidWorks. La tâche de conception a été décomposée en trois parties:

- Le socle
- Le support panneau
- L'attache du panneau



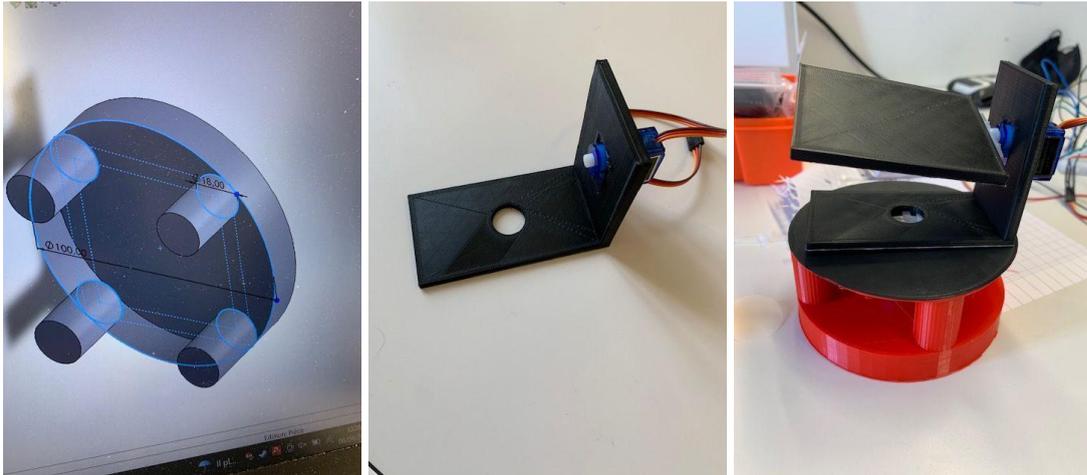
#### **Modélisation SolidWorks du Traqueur avec les axes de rotation**

Premièrement il nous a fallu être rigoureux sur le dimensionnement de notre première pièce. En effet le socle est la pièce sur laquelle repose l'entièreté du système, et sa structure devait pouvoir le lui permettre. En revanche, celui-ci devait être imprimé en 3D, et cela impose de nombreuses contraintes sur sa structure, les formes pleines étant bien plus difficiles à réaliser. Nous avons donc dû adopter une solution d'évidement des cylindres qui soutiennent la partie supérieure du système, ainsi que la partie circulaire inférieure, afin d'alléger l'ensemble et d'en permettre l'impression. Cette pièce devait de plus accueillir le premier moteur électrique, mettant en rotation la panneau autour de l'axe vertical (X,Z). La partie centrale du support est donc entièrement vide afin d'y loger ces composants, et nous avons donc dû dimensionner avec attention les cylindres de support.

La deuxième pièce conçue était le support du panneau, en L. Celui-ci devait correspondre aux contraintes imposées par les deux moteurs et leurs axes de transmission. En effet la rigidité du matériau utilisé par l'imprimante 3D afin de réaliser les pièces n'est pas très élevée, et cette structure en L doit tout de même être capable de supporter son propre poids. L'attention portée à la précision lors de la conception de cette pièce fut plus élevée,

car c'est sur celle-ci que les deux perçages permettant le logement des deux axes de moteurs ont été effectués. En effet les moteurs ne sont pas fixés sur la pièce, mais simplement encastrés dans leurs logements respectifs. Cette solution a été rendue possible grâce au faible poids des moteurs et de l'ensemble du système.

Une troisième pièce a ensuite été réalisée; une plaque permettant de fixer le panneau solaire, afin de permettre la mise en mouvement de celui-ci par le système. La principale difficulté résidait dans le perçage de celle-ci, afin de la lier au moteur permettant la rotation autour de l'axe X, le moteur étant de petite taille et la plaque, fine, il nous a fallu percer avec précision au fer dans la plaque avant de la visser à l'axe du moteur, sur lequel une attache pré-percée est présente.



**Photos des différentes pièces qui composent le système**

### ■ 3.2.3. Code Arduino et montage électrique

Dans le cadre de ce projet de traqueur solaire, nous avons cherché à faire tourner notre panneau autour de deux axes : l'axe z (Est - Ouest) et l'axe y (Nord - Sud) . Ces moteurs sont appelés servomoteurs car contrairement aux moteurs normaux qui ne peuvent tourner que dans un sens, ceux-ci prennent en paramètre d'entrée un angle variable entre 0 et 180 nous permettant ainsi de faire tourner le moteur librement sans contrainte de sens.

Dans un premier temps, n'étant que très peu familier avec ce langage et les montages à réaliser, nous avons donc passé les premières séances à étudier Arduino et ses composantes principales, le langage pouvant s'apparenter à du C et non malheureusement à du Pascal ou du Python. Nous sommes ainsi parvenus à faire fonctionner un servomoteur à notre guise puis à réaliser l'acquisition des données de tension d'une photorésistance. Là où cela a commencé à se corser fut lors de l'installation de plusieurs de ses composants puis leurs mises en relation au sein du même circuit, nous avons finalement tout mis en dérivation et tout rejoins sur une seule alimentation et une seule Terre. Durant ce projet, de nombreux codes et montages "tests" ont été réalisés : pour deux photorésistances, pour deux photorésistances et un moteur, pour trois photorésistances etc.... Ces nombreux tests nous ont permis d'arriver à notre montage final et fonctionnel que vous pouvez voir ci-après :

Concernant le code, ce dernier ne fut composé que d'instructions plutôt simples, ainsi une fois la prise en main du langage, nous n'avions plus qu'à enchaîner les instructions conditionnelles ayant pour conséquence de faire déplacer notre panneau selon une direction ou bien une autre. Cependant, cette prise en main a dû passer par une compréhension du paramétrage du système d'acquisition des données de résistance des photodiodes et du système de rotation des servomoteurs fastidieux. Vous pouvez retrouver le code détaillé et commenté ci-dessous :

```
#include <Servo.h>

Servo servoRL; //Définition des ServoMoteurs
Servo servoUD;

#define servoPin 9

int photodiodePinR = A0; // Paramétrage des Ports
int photodiodePinL = A2; //d'acquisition des 3 photodiodes
int photodiodePinUp = A4;
int axemoteurRL = 0; // Création des variables contrôlant
int axemoteurUD = 0; // l'axe de rotation des moteurs

void setup() {
  servoRL.attach(9); // Paramétrage des Ports de transmission
  servoUD.attach(11); // des angles souhaités aux servomoteurs
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  //Acquisition des données des photodiodes

  int anaValueR = analogRead(photodiodePinR);
  float voltageR = anaValueR;
  int anaValueL = analogRead(photodiodePinL);
  float voltageL = anaValueL;
  int anaValueUp = analogRead(photodiodePinUp);
  float voltageUp = anaValueUp;
```

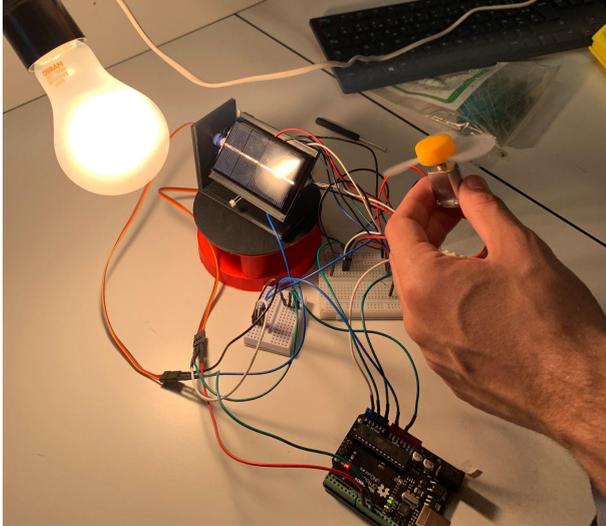
```
// Liste des conditions et des variations d'angle moteur résultantes
if (voltageR < voltageL && axemoteurRL > -2 && axemoteurRL < 180 )
{
  Serial.println("1");
  axemoteurRL++;
}
if (voltageR > voltageL && axemoteurRL > -1 && axemoteurRL < 180 )
{
  if (not (axemoteurRL == -1)){
    axemoteurRL--;
  }
  Serial.println("2");
}
if ((voltageR+voltageL)/2 - voltageUp < 0 && axemoteurUD > -2 && axemoteurUD < 90)
{
  axemoteurUD++;
  Serial.println("3");
}
if ((voltageR+voltageL)/2 - voltageUp > 0 && axemoteurUD > -1 && axemoteurUD < 180)
{
  if (not (axemoteurUD == -1)){
    axemoteurUD--;
  }
  Serial.println("4");
}
//Envoi des nouvelles positions aux moteurs
servoUD.write(axemoteurUD);
servoRL.write(axemoteurRL);
}
```

**Code permettant le Paramétrage  
des Composantes**

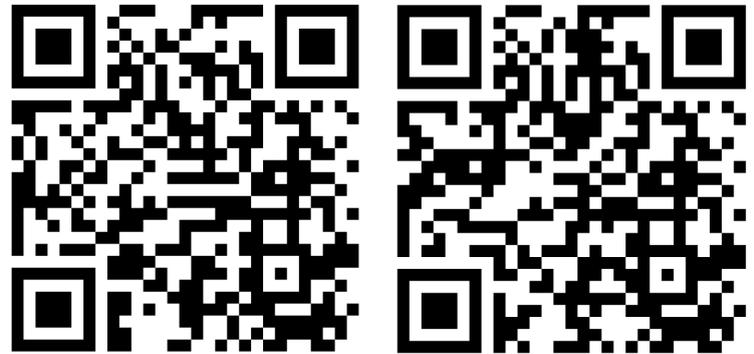
**Code rassemblant la Logique  
de notre Programme**

**■ 3.2.4. Assemblage et rendu final**

Un traqueur solaire comme son nom l'indique permet à notre cellule de suivre l'orientation du soleil peu importe où il se trouve, ainsi nous avons d'abord considéré l'option d'utiliser quatre photorésistances nous permettant ainsi d'obtenir l'éclairement aux quatre points cardinaux du panneau et donc d'orienter ce dernier dans la direction avec le plus forte éclairement. En quête d'optimisation de notre montage, nous nous sommes finalement rendu compte que nous n'aurions besoin que de 3 photorésistances dans le but de faire manœuvrer nos deux servo-moteurs : un au Nord et un à chacun des coins de la base du support du panneau. Pour tester notre système final, nous avons mis en rotation une hélice grâce au courant induit par la cellule solaire. Le résultat est satisfaisant et des vidéos du test sont accessibles par les QR-Codes en page suivante.

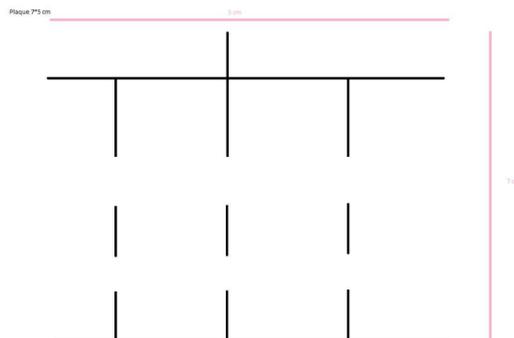


**Traqueur Solaire et Montage Électrique  
en fonctionnement**



**Ces QR-Codes vous amènent  
vers deux vidéos d'utilisation du  
traqueur solaire en temps réel**

Comme vous pouvez l'observer ci-dessus et sur les vidéos, le montage électrique ainsi que la carte Arduino prennent beaucoup de place ainsi nous avons eu pour projet de réaliser un circuit imprimé du montage qui nous aurait permis de nous désencombrer d'une grande partie des fils du montage. Nous avons schématisé ce circuit imprimé mais n'avons pas eu le temps de le réaliser.



**Schéma du Circuit Imprimé**

#### 4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'étude de l'énergie photovoltaïque s'est avérée être large et diversifiée. En effet, dans une approche plus théorique, nous avons pu effectuer des recherches sur son fonctionnement, et essayer de comprendre pourquoi cette énergie renouvelable reste peu développée à l'heure actuelle. Les expériences réalisées nous ont permis de mettre en évidence la caractéristique d'une cellule photovoltaïque bon marché. Les valeurs de rendement trouvées nous ont amené à nous questionner sur la rentabilité d'un tel dispositif. Dans l'optique de pallier ces inconvénients, nous avons entrepris la conception d'un traqueur solaire. Avec l'aide de l'outil Arduino et de SolidWorks, nous avons pu automatiser ce système afin de favoriser l'exposition lumineuse de la cellule. Le résultat obtenu répond à nos attentes et peut constituer une solution durable, environnementale et économique à grande échelle.

De manière plus générale, ce projet a été enrichissant pour l'ensemble du groupe. Dans un premier temps, nous avons acquis des connaissances sur un sujet que nous n'avons pas l'habitude de traiter dans les cours classiques, et qui constitue un enjeu d'avenir dans notre société. De plus, la réalisation de ce projet est avant tout passer par le développement de compétences variées. Effectivement, le choix de ce projet nous a permis d'utiliser de nombreux logiciels informatiques tels que Arduino, SolidWorks, Python ou encore LatisPro. Ce n'est pas négligeable dans la mesure où nous pourrions par la suite se servir à nouveau de ces outils. Par ailleurs, nous avons eu la sensation d'être réellement acteurs de ce projet. En nous fixant des objectifs peu précis et en nous aidant sur nos travaux pratiques, Monsieur Paillat nous a laissé prendre des initiatives. Nous avons apprécié cette liberté, car cela sort du cadre formel et parfois strict des cours reçus à l'INSA. Enfin, même si la communication est parfois compliquée au sein d'un groupe de 6, nous avons amélioré notre gestion du travail à plusieurs. Ce projet nous a incité à collaborer et à échanger avec des personnes que nous ne connaissions pas forcément, situation que nous rencontrerons probablement dans le monde professionnel.

Nous avons conscience que les objectifs du projet n'ont pas été tous atteints. Nous avons pu travailler tout au long du projet avec l'outil Arduino et les conclusions que nous avons tirées de son utilisation sont mitigées. Se servir d'Arduino peut-être une bonne solution dans le cas où les étudiants ont des bases solides dans cette matière. A l'inverse, utiliser Arduino sans en avoir fait au lycée (comme certains des membres du groupe) ajoute une difficulté car les montages électriques sont beaucoup moins lisibles et compréhensibles sur le microcontrôleur. Ainsi, il ne nous a pas semblé pertinent de modifier le TP en y ajoutant l'utilisation de cet outil. Cependant, il serait intéressant de poursuivre ce projet en réfléchissant à une manière de modifier le TP en intégrant le protocole présenté en 3.1.2 et une partie simplifiée de la conception du traqueur solaire.

## 5. BIBLIOGRAPHIE

[1]<http://www.universalis-edu.com.ezproxy.normandie-univ.fr/encyclopedie/energie-les-ressources/> . (Pas de date de mise en ligne)

[2]<https://www.sciencedirect-com.ezproxy.normandie-univ.fr/science/article/pii/S0038092X2200233X>. Mis en ligne le 10/05/2022.

[3] “L'énergie solaire pour le chauffage”, Techniques de l'ingénieur, ref: TBA 2640, publié le 7/03/2007.

[4] <http://www.apprendre-et-creer.fr/mesures-de-tension-et-intensite-avec-arduino/>, publié le 26/03/2020.

[5]<https://illustrationprize.com/fr/59-difference-between-photodiode-amp-phototransistor.html>, publié le 10/08/2016.

[6]<https://www.monkitsolaire.fr/blog/que-choisir-entre-panneau-solaire-monocristallin-et-polycristallin--n155>, publié le 14/10/2019.

[7] AL AJROUDI Remi, MOUHAWAJ Roman, DENIA Samy, KIRAT Denis, TPE intitulé “Le drone solaire”, 2019.

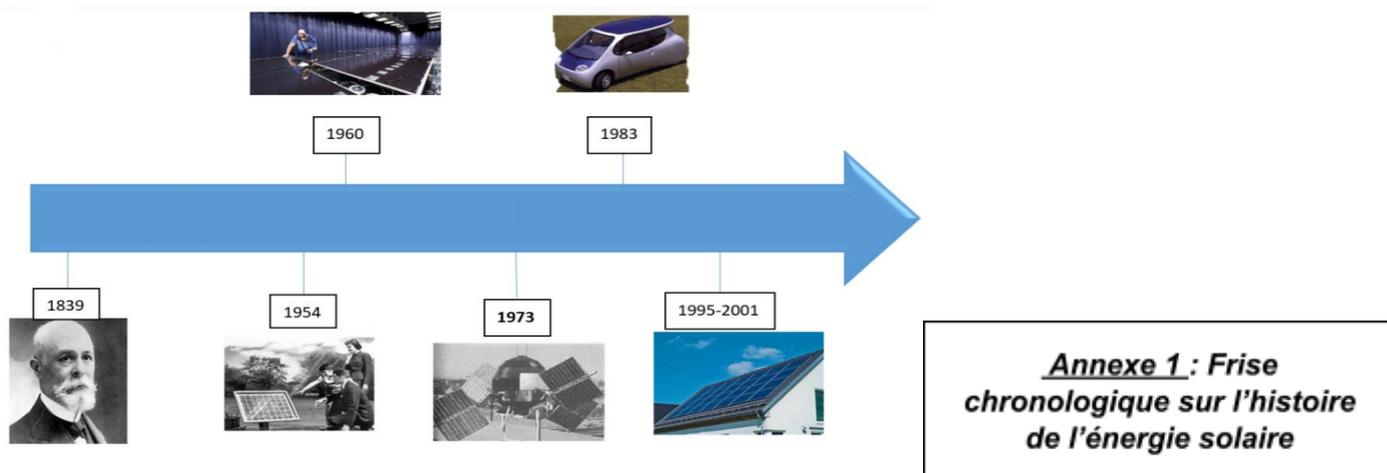
[8][http://www.fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=L%27%C3%A9nergie\\_photovolta%C3%AFque#:~:text=L%27%C3%A9nergie%20photovolta%C3%AFque%C3%A9signe%20la%20transformation%20d%27un%20rayonnement%20lumineux%20en,elle%20se%20d%C3%A9veloppera%20principalement%20gr%C3%A2ce%20%C3%A0%20l%27industrie%20spatiale.](http://www.fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=L%27%C3%A9nergie_photovolta%C3%AFque#:~:text=L%27%C3%A9nergie%20photovolta%C3%AFque%C3%A9signe%20la%20transformation%20d%27un%20rayonnement%20lumineux%20en,elle%20se%20d%C3%A9veloppera%20principalement%20gr%C3%A2ce%20%C3%A0%20l%27industrie%20spatiale.), mis à jour le 29/10/2018.

[9]<https://zhuanlan.zhihu.com/p/460968661> publié le 01/23/2022

[10]<http://www.apprendre-et-creer.fr/mesurer-intensite-arduino-circuit-simple-pile-led-resistance/> publié le 31/03/2020

## 6. ANNEXES (NON OBLIGATOIRE – EXEMPLES CI-DESSOUS)

### 6.1. Documentation technique et ressources complémentaires



1839 : découverte de l'effet photovoltaïque par Alexandre Edmond Becquerel, un physicien français.

1954 : premier panneau solaire construit par les laboratoires Bell

1960 : Avancé dans l'énergie solaire lors de la course à l'espace (les satellites ont besoin d'une source d'énergie fiable)

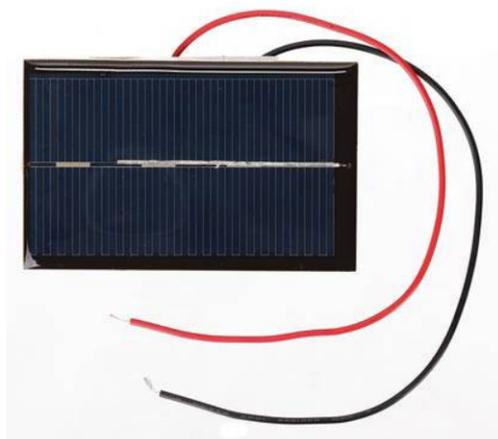
1973 : Première maison alimentée par l'énergie photovoltaïque, dans le Delaware.

Premier choc pétrolier qui permet à l'énergie solaire de connaître un essor considérable.

Première utilisation de panneaux photovoltaïques pour faire fonctionner les satellites.

1983 : véhicule parcourt 4000km uniquement alimentée en énergie solaire. Création d'une des premières central Solaire en Europe.

1995-2001 : Le Japon et L'Allemagne mettent au point des systèmes de toits photovoltaïques raccordés au réseau général. Il faudra attendre 2001 pour que ce type d'installation se généralise.



**Annexe 2 : Cellule photovoltaïque achetée pour les expériences**

## Informations techniques



Comparaison par catégorie

Longueur de câble	20.00 cm	
Dim.	(L x l x H) 72 x 46 x 2 mm	
Hauteur	2 mm	
Longueur	72 mm	
Largeur	46 mm	
Connexion	Câble	
Courant nominal	200 mA	
Tension nominale	2 V	<input type="checkbox"/>
Nombre de cellules	1	
Poids	14 g	
Type de produit	Module solaire polycristallin	<input type="checkbox"/>



Comparaison par catégorie

**Annexe 3 : informations techniques  
de la cellule solaire**

## 6.2. Listings des programmes réalisés

```

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:

  float Up,Upr,I;
  int ValeurA0,ValeurA1;
  ValeurA0=analogRead(A0);
  ValeurA1=analogRead(A1);

  Up=ValeurA0*5.0/1023.0;
  Upr=ValeurA1*5.0/1023.0;

  I=(Upr-Up)/10;
  //Serial.println("Tension:");
  Serial.print(Up);
  //Serial.println("Intensité:");
  Serial.print(" ");
  Serial.println(Upr);
  delay(100);
}

```

```

1 import serial.tools.list_ports
2 import time
3 import pandas as pd
4 import matplotlib.pyplot as plt
5 import numpy as np
6 from numpy.fft import fft, fftfreq
7
8 liste_Intensite = []
9 liste_Voltage = []
10 tempsEnregistrement = 100
11
12 def mesure():
13     temps = 0
14     Voltage = 0
15     Intensite= 0
16     with serial.Serial('COM7', 9600) as ser:
17         time.sleep(0.5)
18         while (ser.is_open) and (temps < tempsEnregistrement):
19             line1 = ser.readline()
20             liste_Données = line1.strip().split()
21             if len(liste_Données) > 1:
22                 Voltage = (float(liste_Données[0].decode()))
23                 Intensite = float(liste_Données[1].decode())
24                 liste_Voltage.append(Voltage)
25                 liste_Intensite.append(Intensite)
26                 temps=temps+1
27         return liste_Intensite, liste_Voltage
28
29 mesure()
30
31 ##enregistrement dans un fichier excel
32 #df = pd.DataFrame(liste_Voltage, liste_temps)
33 #df.to_excel("data_arduino.xlsx" )
34 #
35 #with open('data.txt', 'w') as f:
36 #    for voltage in liste_Voltage:
37 #        f.write(str(voltage))
38 #        f.write(', ')
39 #Tracé du graphe
40 plt.plot(liste_Intensite, liste_Voltage,'x')
41 xplt.plot(liste_Intensite, liste_Voltage)
42 plt.grid()
43 plt.show()
44
45
46

```

***ANNEXE 4 : Codes permettant la mesure de la tension et de l'intensité et l'affichage des courbes sur Arduino et Spyder***

### 6.3. Schémas de montages et résultats expérimentaux

éclairage (W/m <sup>2</sup> )		800		
Résistance (Ω)	Intensité (mA)	Tension (V)	puissance (mW)	
1	73,2	0,127	9,2964	
2	73,3	0,214	15,6862	
3	73,4	0,289	21,2126	
4	73,4	0,36	26,424	
10	73,1	0,792	57,8952	
20	65,7	1,366	89,7462	
30	56,1	1,716	96,2676	
40	46,2	1,875	86,625	
100	20,54	2,058	42,27132	
200	10,58	2,106	22,28148	
300	7,14	2,124	15,16536	
400	5,35	2,131	11,40085	
1000	2,16	2,145	4,6332	
2000	1,08	2,15	2,322	
3000	0,72	2,15	1,548	
4000	0,54	2,151	1,16154	
10000	0,22	2,152	0,47344	
20000	0,11	2,153	0,23683	
30000	0,07	2,152	0,15064	
40000	0,054	2,146	0,115884	
100000	0,218	2,149	0,468482	
P lum = E * S (en W)		2,6496		
P max générée par la cellule (en W)		0,0962676		
Rendement (Pmax/Plum) *100 (en %)		3,633288043		

**Annexe 5 : Tableaux Excel des résultats des mesures et calcul du rendement (500 et 800 W/m<sup>2</sup> comme exemple)**

éclairage (W/m <sup>2</sup> )		500		
Résistance (Ω)	Intensité (mA)	Tension (V)	Puissance (mW)	
1	59,5	0,114	6,783	
2	59,4	0,173	10,2762	
3	59,3	0,231	13,6983	
4	59,1	0,295	17,4345	
10	59,4	0,645	38,313	
20	59,4	1,24	73,656	
30	54	1,657	89,478	
40	45,6	1,85	84,36	
100	20,75	2,08	43,16	
200	10,75	2,136	22,962	
300	7,22	2,151	15,53022	
400	5,43	2,158	11,71794	
1000	2,19	2,173	4,75887	
2000	1,1	2,17	2,387	
3000	0,74	2,107	1,55918	
4000	0,53	2,125	1,12625	
10000	0,21	2,15	0,4515	
20000	0,1	2,16	0,216	
30000	0,07	2,168	0,15176	
40000	0,05	2,167	0,10835	
100000	0,02	2,17	0,0434	
P lum = E * S (en W)		1,656		
P max générée par la cellule (en W)		0,089478		
Rendement (Pmax/Plum) *100 (en %)		5,40326087		