

## Surveiller le climat avec une carte Arduino®



Travail réalisé par :

**BECHOUCHE Yacine, BERNAT Cléa, EL MABRAKI Mohamed, HARASSE Alan, KAPLAN Sinan, M'SAAF Sofiane et TRINH Hoai Nam, encadrés par MM. BOULANGER Julien et DETRE Cédric (professeurs de physique-chimie) du Lycée Henri Martin de Saint-Quentin, académie d'Amiens et avec l'expertise et l'aide technique de M. Marty Emmanuel, directeur de l'INSSET de Saint-Quentin.**

## **Résumé – Surveiller le climat avec une carte Arduino©**

A travers ce projet, nous souhaitons observer les réalités du changement climatique à l'échelle locale. Nous avons donc essayé de concevoir et d'implanter une station météorologique d'observation au sein de notre lycée permettant d'enregistrer des données climatiques fiables sur une longue période.

Dans le souci de s'inscrire dans une démarche de développement durable et pour mobiliser un maximum de monde autour de notre projet, nous avons tenté de réaliser cette station météorologique en utilisant un maximum de matériau de récupération (notamment en plastique). Mais, nous avons veillé à ce que cela ne nuise pas à la fiabilité ni à la durabilité des instruments fabriqués.

Pour concevoir nos divers instruments, nous avons travaillé avec différents capteurs et imaginer des protocoles expérimentaux afin de les étalonner le plus précisément possible. Nous avons ensuite utilisé un logiciel de modélisation 3D pour fabriquer certains éléments de nos instruments. Nous avons également programmé un microcontrôleur (carte Arduino©) afin de pouvoir enregistrer les mesures effectuées.

## Sommaire

<i>I- Les grandeurs physiques permettant de surveiller le climat .....</i>	<i>Page 3</i>
1. <i>Les grandeurs retenues .....</i>	<i>Page 4</i>
2. <i>Les instruments de mesure correspondant.....</i>	<i>Page 4</i>
• <i>Le thermomètre.....</i>	<i>Page 4</i>
• <i>Le pluviomètre.....</i>	<i>Page 5</i>
• <i>L'hygromètre.....</i>	<i>Page 6</i>
• <i>La girouette.....</i>	<i>Page 6</i>
• <i>Le baromètre.....</i>	<i>Page 7</i>
• <i>L'anémomètre.....</i>	<i>Page 7</i>
3. <i>L'abri météorologique.....</i>	<i>Page 8</i>
<i>II- Fabrication des instruments de mesure.....</i>	<i>Page 9</i>
1. <i>Le thermomètre.....</i>	<i>Page 9</i>
• <i>Montage électrique.....</i>	<i>Page 9</i>
• <i>Etalonnage du capteur.....</i>	<i>Page 9</i>
• <i>Programmation de la carte Arduino©.....</i>	<i>Page 10</i>
2. <i>Le pluviomètre.....</i>	<i>Page 12</i>
• <i>Maquette en papier d'un pluviomètre à augets.....</i>	<i>Page 12</i>
• <i>Montage électrique.....</i>	<i>Page 12</i>
• <i>Réalisation des augets à l'aide d'une imprimante 3D et             réalisation du pluviomètre enregistreur.....</i>	<i>Page 13</i>
• <i>Etalonnage du système.....</i>	<i>Page 14</i>
• <i>Programmation de la carte Arduino©.....</i>	<i>Page 15</i>
<i>III- Ce qu'il nous reste à faire .....</i>	<i>Page 17</i>
<i>Bibliographie.....</i>	<i>Page 18</i>

## I- Les grandeurs physiques permettant de surveiller le climat

### 1. Les grandeurs retenues

Pour pouvoir observer objectivement le changement climatique, nous avons choisi de mesurer six grandeurs physiques :

- La **température** : pour savoir comment l'atmosphère se réchauffe ;
- La **quantité de précipitation** tombée : afin d'identifier les périodes de sécheresse ;
- La **pression atmosphérique** : pour suivre la position des anticyclones (zone de haute pression) et des dépressions (zone de basse pression) ;
- La **vitesse** du vent : pour savoir comment évolue la « force » du vent ;
- La **direction du vent** : pour savoir si la direction des vents dominants change ;
- Le **taux d'humidité** : pour suivre l'évolution de l'humidité de l'air.

### 2. Les instruments de mesure correspondant

#### • Le thermomètre

Grandeur mesurée : **La température**

Unité utilisée en météorologie : **Le degré Celsius**

Symbole de cette unité : **°C**

Inventeur du premier thermomètre : **Ferdinand II de Médicis, Grand Duc de Toscane**

Année de l'invention du premier thermomètre : **1640**

Deux types de thermomètre utilisé aujourd'hui :

#### ➤ Le thermomètre à alcool

Il est constitué par un tube de verre gradué contenant un liquide : de l'alcool.

Lorsque la température s'élève, le liquide se réchauffe et son volume augmente (ce phénomène est appelé dilatation). Le niveau de liquide monte donc dans le tube.

A l'inverse, plus un liquide est froid, plus son volume diminue (ce phénomène est appelé contraction) : le niveau de liquide redescend.

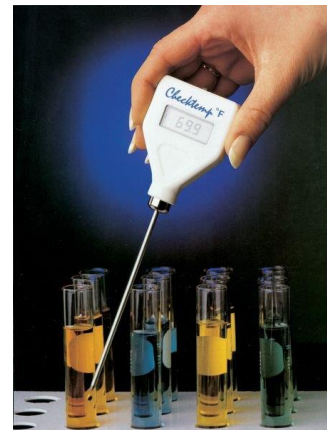
On utilise un tube très fin (appelé capillaire) pour amplifier le phénomène qui devient alors visible. En repérant sur une graduation le niveau de liquide, on peut lire la température.



#### ➤ Le thermomètre à thermistance

Il est constitué par une thermistance. Il s'agit d'un composant électrique dont la valeur de la résistance (en ohm) varie en fonction de la température.

La mesure d'une grandeur électrique permet donc d'accéder à la valeur de la température.



- **Le pluviomètre**

Grandeur mesurée : La quantité de précipitations tombées

Unité utilisée en météorologie : Le millimètre ou le litre par mètre carré

Symbole de cette unité : mm ou L/m<sup>2</sup>

Inventeur du premier pluviomètre : Benedetto Castelli

Année de l'invention du premier pluviomètre : 1639

Deux types de pluviomètre utilisé aujourd'hui :

➤ Le pluviomètre à lecture directe



Un pluviomètre est un récipient cylindrique étroit gradué en millimètre. Pendant une précipitation, l'eau vient s'accumuler directement dans le récipient.

Sa forme étroite permet de diminuer l'évaporation de l'eau et évite ainsi que les données soient faussées.

Pour prendre la mesure, il suffit de lire directement sur l'échelle graduée la quantité de pluie tombée. Après la lecture, il ne faut pas oublier de vider le récipient gradué.

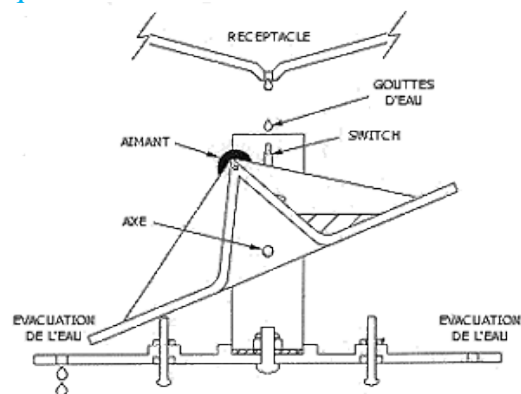
➤ Le pluviomètre à augets



Les pluviomètres enregistreurs actuels comportent deux augets de petite taille dont la contenance est équivalente à 0,1, 0,2 ou 0,5 mm d'eau.

L'eau en pénétrant dans le pluviomètre fait basculer l'auget d'un côté puis s'évacue sous son poids. Une fois basculé, l'eau s'accumule sur l'autre partie de l'auget et il va basculer de l'autre côté.

La quantité de précipitations est mesurée par le nombre de basculements effectués par les augets, détecté par un système mécanique ou optique.



- **L'hygromètre**

Grandeur mesurée : L'humidité de l'air

Unité utilisée en météorologie : Le pourcent

Symbole de cette unité : %

Inventeur du premier hygromètre : **Bénédict-Horace de Saussure**

Année de l'invention du premier hygromètre : 1781

Deux types d'hygromètre utilisé aujourd'hui :

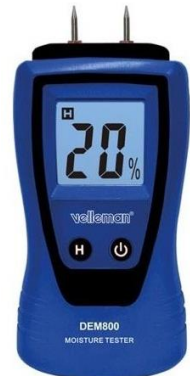
➤ L'hygromètre à cheveu :

Un hygromètre à cheveu est constitué d'un cheveu d'humain (blond ou roux de préférence), d'un système de levier et d'une aiguille tournant sur un cadran gradué de 0 à 100 %. Le cheveu humain a la propriété de changer de longueur en fonction de l'humidité. En sortant de la douche, les cheveux sont plus longs que lorsqu'ils sont secs. On attache donc un cheveu humain à l'horizontale et on place un poids à l'une des deux extrémités du cheveu. On relie le poids à un système de levier qui permet de connaître l'humidité de l'air grâce à l'allongement du cheveu.



➤ L'hygromètre numérique :

Un hygromètre numérique peut être fabriqué en utilisant un capteur d'humidité appelé "humidistance". Si l'humidité de l'air dans lequel se trouve l'humidistance change, alors la valeur de sa résistance (en ohm) change aussi. La mesure d'une grandeur électrique permet donc d'accéder à la valeur de l'humidité de l'air.



- **La girouette**

Grandeur mesurée : La direction du vent

Unité utilisée en météorologie : Les points cardinaux (Nord, Sud, Est et Ouest)

Symbole de cette unité : N, S, E, O

Inventeur de la première girouette : **Léonard de Vinci**

Période de l'invention de la première girouette : XV<sup>ème</sup> siècle

Principe de fonctionnement :



Lorsque le vent change de direction, il pousse sur la partie la plus grosse de la flèche (située à l'arrière) jusqu'à ce qu'elle soit parallèle à la direction du vent. Cela a pour conséquence de faire pointer la flèche (située à l'avant) dans la direction d'où provient le vent. On se réfère alors aux points cardinaux pour juger de la direction d'où vient le vent.

- **Le baromètre**

Grandeur mesurée : La pression atmosphérique

Unité utilisée en météorologie : L'hectopascal

Symbole de cette unité : hPa

Inventeur du premier baromètre : Evangelista Torricelli

Année de l'invention du premier baromètre : 1647

Deux types de baromètre utilisé aujourd'hui :

➤ Le baromètre anéroïde :

Ce baromètre est composé d'une capsule métallique sous vide et d'une aiguille pour indiquer la pression. Le principe de fonctionnement de ce baromètre est simple : une boîte métallique, dans laquelle on a fait un vide partiel (absence d'air), s'écrase ou se détend selon les changements de pression atmosphérique. Les mouvements de la boîte sont amplifiés par un système de leviers relié à une aiguille qui tourne autour d'un point central.



➤ Le baromètre numérique à capteur piézoélectrique :

La piézoélectricité est la propriété que possèdent certains matériaux à pouvoir transformer une énergie mécanique en une énergie électrique.

Ainsi, si la pression de l'air entourant le capteur piézoélectrique change alors la tension à ses bornes change aussi.

La mesure de cette grandeur permet donc d'accéder à la pression atmosphérique.



- **L'anémomètre**

Grandeur mesurée : La vitesse du vent

Unité utilisée en météorologie : Le kilomètre par heure

Symbole de cette unité : km/h

Inventeur du premier anémomètre : Robert Hooke

Année de l'invention du premier anémomètre : 1664

Deux types d'anémomètre utilisé aujourd'hui :

➤ L'anémomètre à coupelles :

Le vent fait tourner les coupelles, et, plus le vent est fort, plus les coupelles tournent rapidement. Un système électronique interne compte le nombre de tours que font les coupelles pendant un temps précis. La vitesse du vent est alors calculée par un ordinateur interne et apparaît sur l'écran.



➤ L'anémomètre à hélice :

Ce type d'anémomètre doit être orienté (ou s'orienter de lui-même) dans la direction du vent. Le vent fait ainsi tourner l'hélice, et, plus le vent est fort, plus l'hélice tourne rapidement. Un système électronique interne compte le nombre de tours que fait l'hélice pendant un temps précis. La vitesse du vent est alors calculée par un ordinateur interne et apparaît sur l'écran.





### 3. L'abri météorologique

Il reste nécessaire de placer certains des instruments retenus à l'intérieur d'un abri météorologique. En effet, l'abri, avec ses parois latérales et son toit, protège les instruments de la lumière solaire directe et des précipitations, qui pourraient fausser les mesures. Il existe un certains nombres de contraintes relatives à l'emplacement de l'abri :

- Il doit être situé au-dessus d'un sol engazonné ;
- Il doit être placé sur pilotis à environ 1,50 m du sol ;
- Il doit être situé assez loin de tout obstacle (idéalement, à quatre fois la hauteur de l'obstacle le plus proche) ;

Aussi, il doit être fabriqué en respectant ces quelques critères :

- L'abri doit être constitué de parois à persiennes pour favoriser la ventilation interne ;
- Il doit être peint en blanc pour éviter l'échauffement au soleil.

Les instruments qui doivent être placés à l'intérieur de l'abri sont :

- Le thermomètre, pour éviter qu'il ne s'abîme et pour éviter que les mesures de températures ne soient faussées à cause du vent ou à cause d'une exposition prolongée au soleil.
- Le baromètre, car le vent et les courants d'air pourraient faire varier la pression et fausser les mesures. Cela permet aussi de ne pas l'abîmer à cause de la pluie, de la neige...
- L'hygromètre, qui doit être placé à l'abri de la pluie et loin de toutes réserves d'eau puisqu'il est fait pour mesurer l'humidité de l'air.

Les autres instruments se placent à l'extérieur de l'abri :

- L'anémomètre et la girouette doivent être placés en hauteur. Idéalement, ils doivent être placés sur un mât de 10 m à l'écart de tout obstacle susceptible de gêner la mesure ;
- Le pluviomètre s'installe dans un endroit bien dégagé pour recevoir toutes les précipitations et rien que les précipitations. Il ne doit en aucun cas se trouver près d'un mur, près d'un toit ou sous un arbre. La règle est de l'installer, comme l'abri, à une distance minimale égale à trois fois la hauteur de l'obstacle le plus proche.

Nous avons fabriqué un abri répondant à ces critères en récupérant des coupelles pour pots de fleurs (les plans sont en annexe 1) :





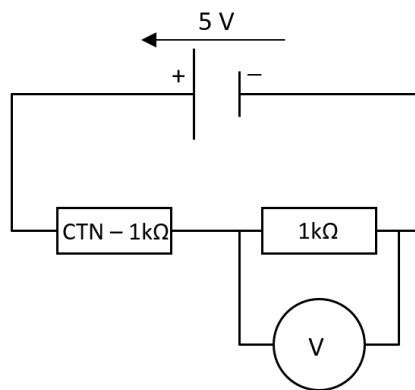
## II- Fabrication des instruments de mesure

### 1. Fabrication du thermomètre

- Montage électrique

Le capteur utilisé est appelé thermistance ou CTN. Il s'agit d'un dipôle électrique dont la résistance diminue (respectivement augmente) quand la température augmente (respectivement diminue).

Pour réaliser un thermomètre, il faut placer la thermistance dans un montage diviseur de tension :

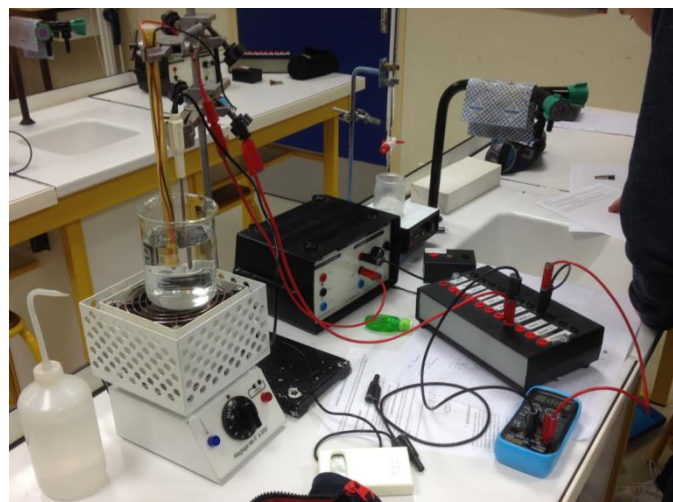


Avec ce circuit, si la température de la thermistance diminue (respectivement augmente) alors la tension aux bornes de la résistance diminue (respectivement augmente).

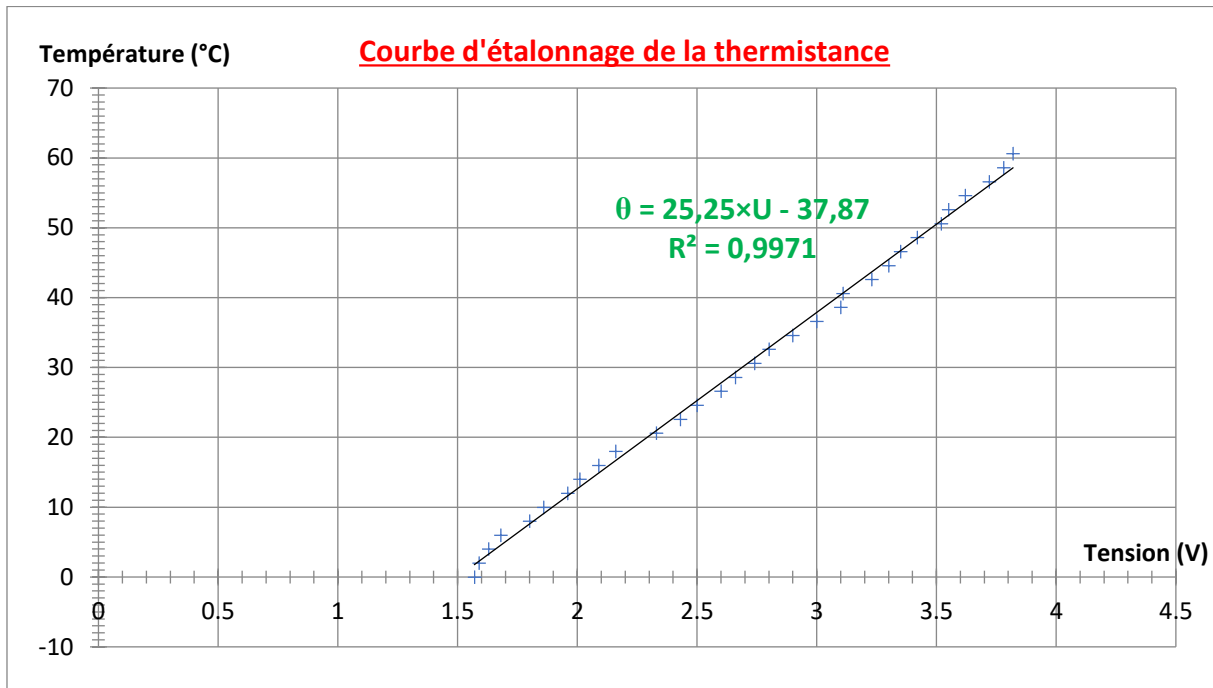
- Etalonnage du capteur

Le montage précédent permet de mesurer une tension dont la valeur change en fonction de la température. Pour réaliser un thermomètre, il faut déterminer à quelle valeur de température (en degré Celsius) correspond la tension mesurée.

La thermistance est plongée dans un bain de glace avec un thermomètre. Puis, on chauffe doucement le bain de glace. La température du mélange augmente et la tension aux bornes de la résistance est relevée tous les 2 °C.



On trace ensuite la courbe d'étalonnage, c'est-à-dire le graphique représentant l'évolution de la température en fonction de la tension :



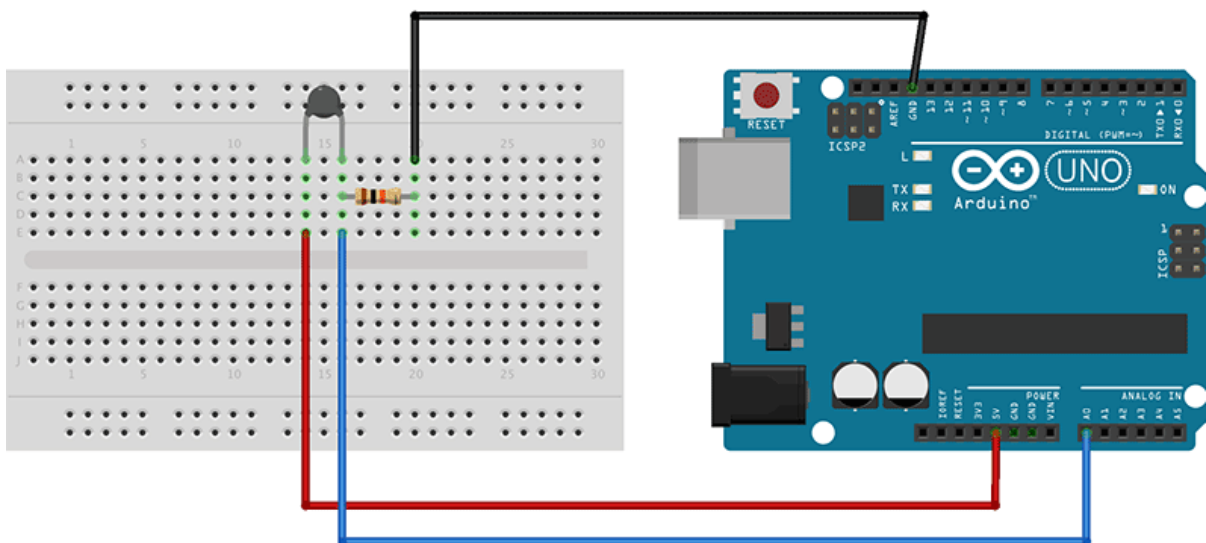
Le nuage de points obtenu est modélisé par une droite d'équation :

$$\theta = 25,25 \times U - 37,87$$

Cette relation donne la correspondance entre la tension aux bornes de la résistance et la température.

- **Programmation de la carte Arduino©**

L'alimentation en 5 V du circuit est assurée par la carte Arduino©. La tension aux bornes de la résistance est mesurée par la broche A0.



Le microcontrôleur transforme la valeur de cette tension  $U$  en une valeur  $V(A0)$  comprise entre 0 et 1023. Cela vient du fait que le microcontrôleur a une résolution de 10 bits soit  $2^{10} = 1024$  valeurs possibles.

La valeur 1023 correspond donc à 5 V, donc la relation permettant de déterminer la tension  $U$  correspondant à la valeur  $V(A0)$  renvoyée par le microcontrôleur est :

$$U = \frac{5 \times V(A0)}{1023}$$

Grâce à l'étalonnage du capteur, la relation suivante a été établie entre la température  $\theta$  et la tension  $U$  aux bornes de la résistance :

$$\theta = 25,25 \times U - 37,87$$

On obtient la relation entre la température et la valeur numérique renvoyée par le microcontrôleur :

$$\theta = 25,25 \times \frac{5 \times V(A0)}{1023} - 37,87$$

$$\theta = 0,1234 \times V(A0) - 37,87$$

Dans le script du programme, il faut commencer par déclarer en entrée la broche reliée à la résistance (ici, A0) et initialiser la communication série.

Dans la boucle du programme, la variable « température » est créée et reçoit la valeur obtenue à partir de la formule établie ci-dessus.

La phrase « Températures en °C » est affichée suivie de la valeur de la variable « température »

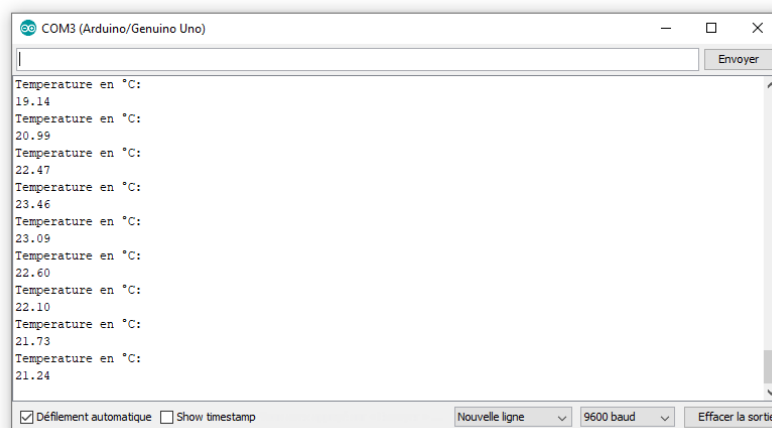
Le programme attend une durée donnée avant de repartir dans la boucle.

thermometre | Arduino 1.8.6  
Fichier Édition Croquis Outils Aide

```
void setup() {
  pinMode(A0, INPUT); //déclaration de la broche reliée à la résistance en entrée
  Serial.begin(9600); //initialisation de la communication série
}

void loop() {
  float temperature = analogRead(A0) * 0.1234 - 37.87; //création de la variable température
  Serial.println("Temperature en °C:"); //affiche le message sur l'écran
  Serial.println(temperature); //affiche la valeur de la variable température
  delay(1000); //attente de 1s
}
```

← Programme dans  
l'EDI (Environnement  
de Développement  
Intégré) Arduino



## 2. Fabrication du pluviomètre

- **Maquette en papier d'un pluviomètre à augets**

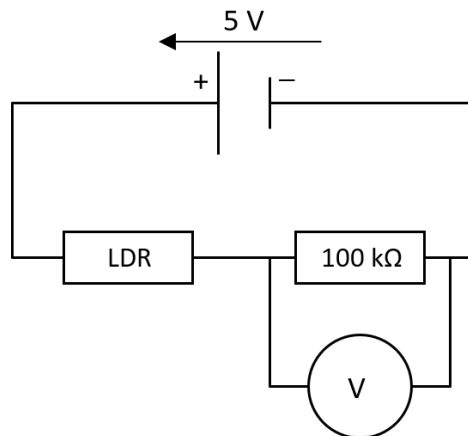
Une maquette en papier a d'abord été réalisée afin de comprendre le principe de la mesure de la quantité de précipitations par un pluviomètre à augets.

Les plans de la maquette réalisée sont en annexe 2.

Cette maquette nous a permis également de choisir le capteur permettant de compter le nombre de basculement des augets (qui correspond à la quantité de précipitations tombées).

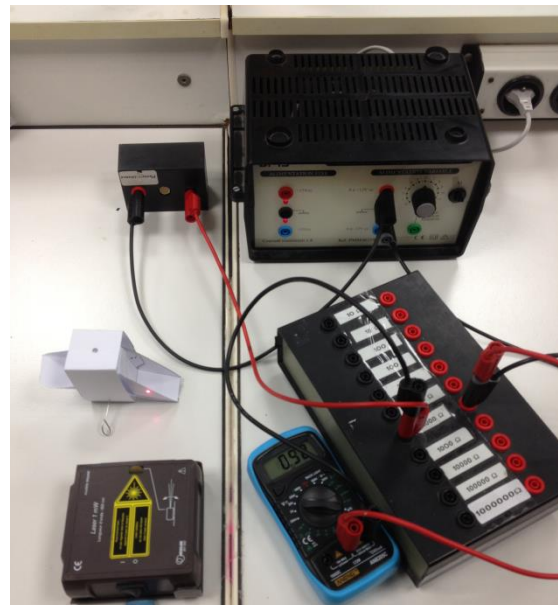
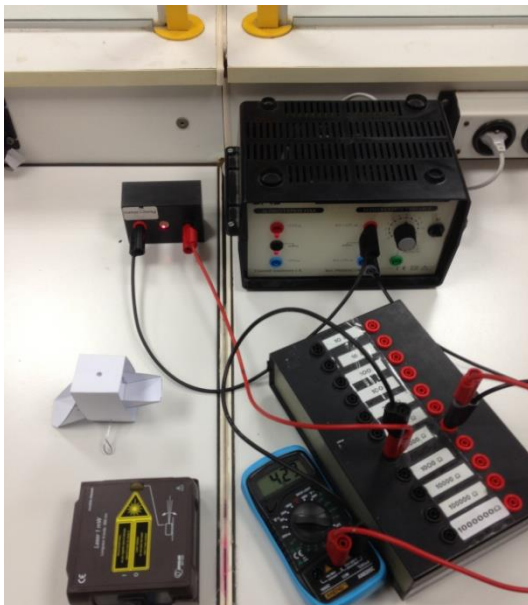
- **Montage électrique**

Le capteur utilisé est appelé photorésistance ou LDR. Il s'agit d'un dipôle électrique dont la résistance diminue (respectivement augmente) quand l'éclairement augmente (respectivement diminue).



Avec ce circuit, si la photorésistance est éclairée, sa résistance est quasi nulle donc la tension aux bornes de la résistance est très proche de 5 V.

En revanche, si la photorésistance est dans l'obscurité, sa résistance est très grande et la tension aux bornes de la résistance est proche de 0 V.



Avec le montage photographié ci-dessus, l'indication du voltmètre renseigne sur la position de l'auget de droite :

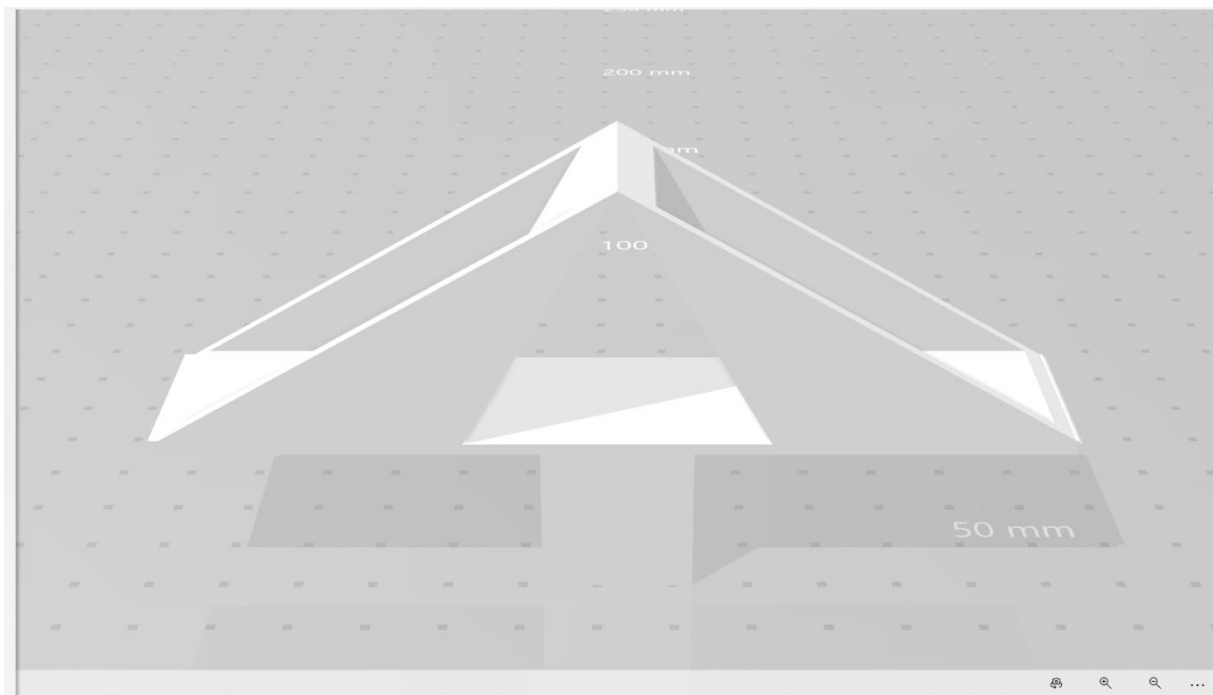
- s'il est en haut, la lumière du laser éclaire la photorésistance et le voltmètre indique environ 5 V ;
- s'il est en bas, il masque la lumière du laser qui n'éclaire plus la photorésistance et le voltmètre indique environ 0 V.

Connaître la position de cet auget permet de compter le nombre de basculements, qui permettra, après étalonnage d'accéder à la quantité de précipitations tombées.

- **Réalisation des augets à l'aide d'une imprimante 3D et réalisation du pluviomètre enregistreur**

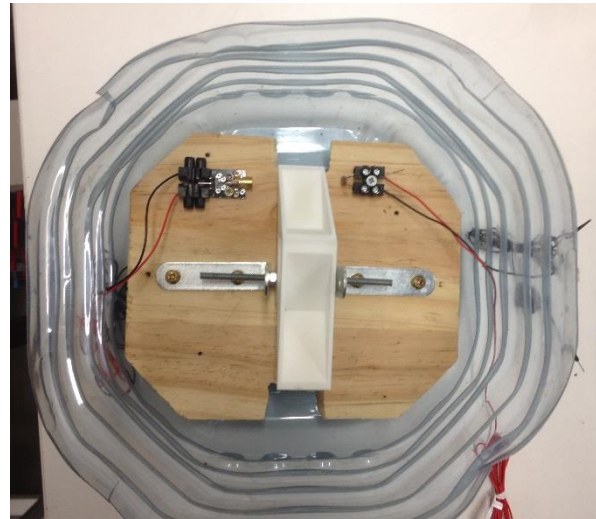
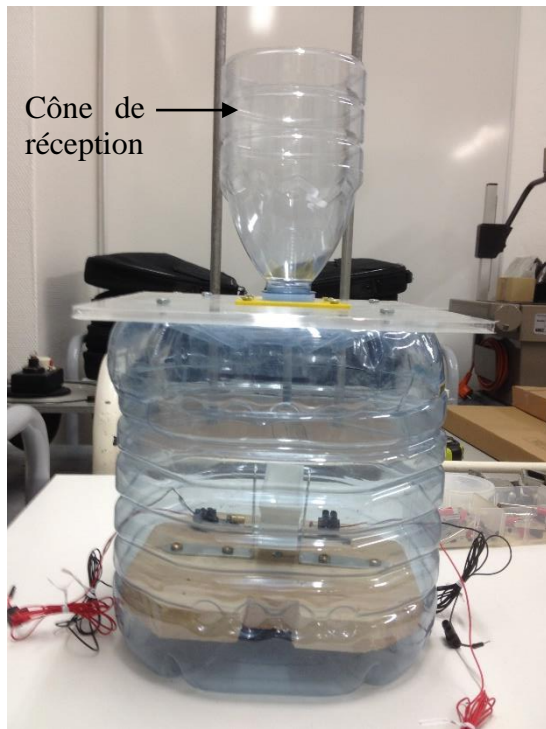
Les augets en papier fabriqués précédemment ne sont pas suffisamment solides pour pouvoir être utilisés dans un pluviomètre fiable.

Nous avons donc réalisé un plan imprimable en 3D de ces augets à l'aide d'un logiciel de modélisation 3D en ligne, appelé Tinkercad :



Nous avons pu ensuite réaliser l'impression en 3D grâce à une imprimante 3D se trouvant à l'INSSET de Saint-Quentin grâce à l'aide de M. Emmanuel Marty.

Les autres matériaux constituant notre pluviomètre sont des matériaux de récupération, essentiellement du plastique issu de bouteilles d'eau minérale :



*Intérieur du pluviomètre vu du dessus avec les augets (en blanc au centre), la photorésistance (à droite) et le laser (à gauche).*

- **Étalonnage du système**

Pour étalonner ce système, il faut déterminer quelle quantité d'eau (en mm = 1L/m<sup>2</sup>) entraîne un basculement des augets.

A l'aide d'une burette, nous avons donc déterminé le volume d'eau qui entraîne un basculement des augets :



Nous avons trouvé un volume  $V = 9,1 \text{ mL} = 9,1 \times 10^{-3} \text{ L}$

Pour convertir ce volume en mm, il faut le diviser par la surface du cône de réception qui va capter l'eau de pluie. Cette surface est un disque. A l'aide d'une ficelle, nous avons déterminé son périmètre en faisant plusieurs tours :



$$2 \times P = 52,6 \text{ cm donc } P = 26,3 \text{ cm}$$

Or,  $P = 2 \times \pi \times R$

Donc

$$R = \frac{P}{2 \times \pi} = \frac{26,3}{2 \times \pi} = 4,19 \text{ cm}$$

Soit une surface

$$S = \pi \times R^2 = \pi \times 4,19^2 = 55,0 \text{ cm}^2 = 55,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

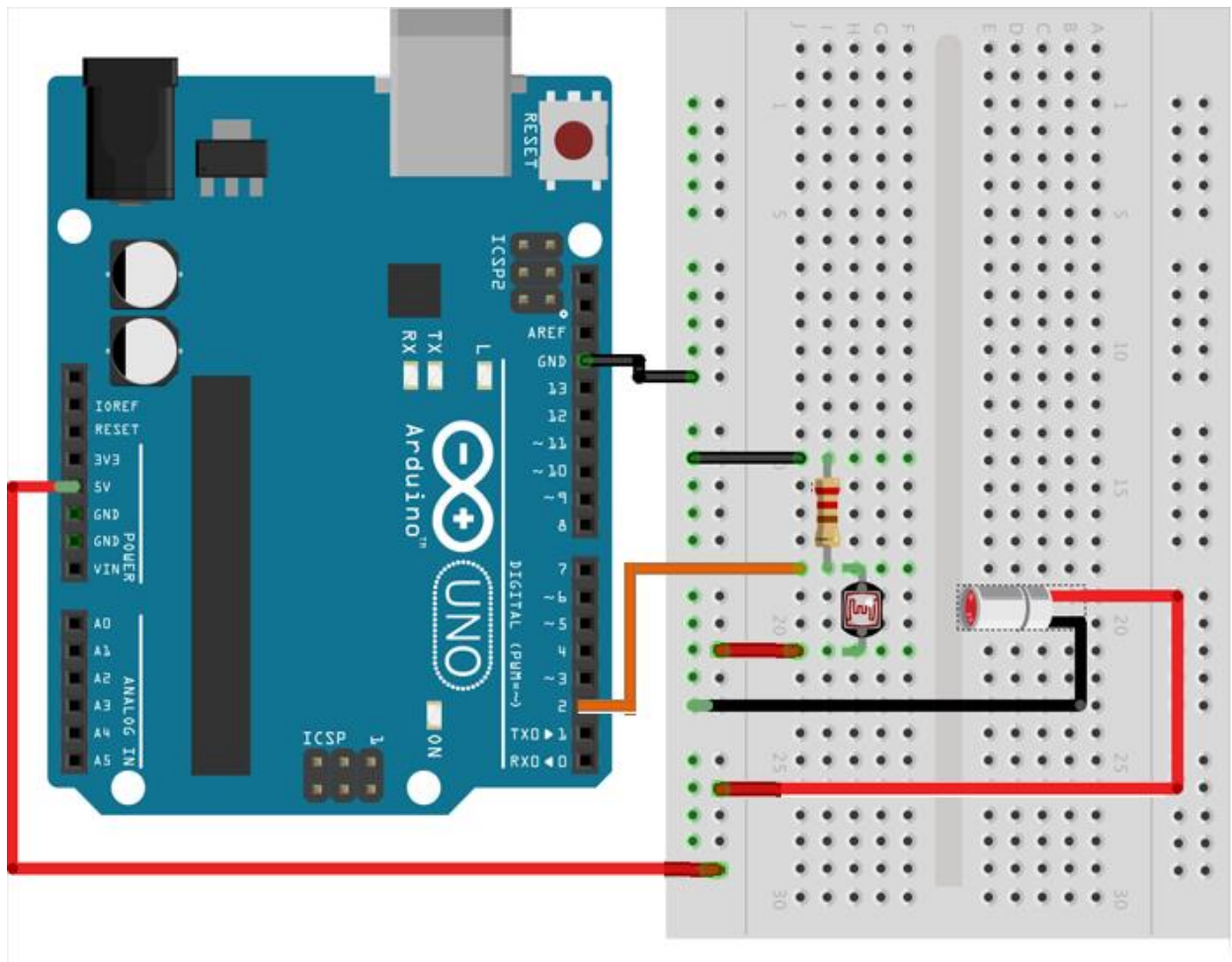
On calcule

$$\frac{V}{S} = \frac{9,1 \times 10^{-3}}{55,0 \times 10^{-4}} = 1,7 \text{ mm}$$

**On en déduit que les augets basculent à chaque fois que 1,7 mm de pluie tombent.**

- **Programmation de la carte Arduino©**

L'alimentation en 5 V du circuit est assurée par la carte Arduino© tout comme celle du laser. La tension aux bornes de la résistance est mesurée par la broche 2.





Dans le script du programme, il faut commencer par déclarer toutes les « variables » :

- « buttonPin » qui correspond à la broche reliée à la résistance ;
- « interval » qui est l'intervalle de temps au bout duquel la mesure du nombre de basculement est remise à zéro ;
- « basculement » qui correspond au nombre de basculement des augets ;
- « lumiere » qui correspond à l'état d'éclairement de la photorésistance (0 si la photorésistance est dans l'obscurité et 1 si elle est éclairée) ;
- « lumiereavant » qui correspond à l'état d'éclairement précédent de la photorésistance ;
- « previousmillis » qui correspond à la valeur minimale de l'intervalle de temps (0 au départ).

Ensuite, on déclare en entrée la broche reliée à la résistance et on initialise la communication série.

Dans la boucle du programme, la variable « currentmillis » est créée et reçoit la valeur de la fonction « millis », qui renvoie le nombre de millisecondes depuis que la carte Arduino© a commencé à exécuter le programme.

Ensuite on soustrait les variables « currentmillis » et « previousmillis ». Cela permet de savoir si on est toujours dans l'intervalle de temps choisi pour la mesure.

La variable « lumière » reçoit la valeur renvoyée par la broche 2 : 0 sur la tension est de 0V (photorésistance non éclairée) ou 1 si la tension est de 5V (photorésistance éclairée).

Si la valeur de la variable « lumière » est différente de celle de « lumiereavant » cela signifie que les augets ont basculé, dans ce cas la variable « basculement » est augmentée de 1.

On affiche alors le nombre de basculement et, grâce à l'étalonnage réalisé, on affiche le nombre de mm de pluie correspondant.

La variable « lumiereavant » reçoit la valeur de la variable « lumiere » et on repart dans la boucle si on est toujours dans le bon intervalle de temps. Dans le cas contraire, la variable « previousmillis » reçoit la valeur de « currentmillis » qui devient donc la valeur minimale de l'intervalle de temps et la variable « basculement » est remise à zéro. De cette façon, le nombre de mm de pluie tombée pourrait être mesuré de nouveau sur le même intervalle de temps.



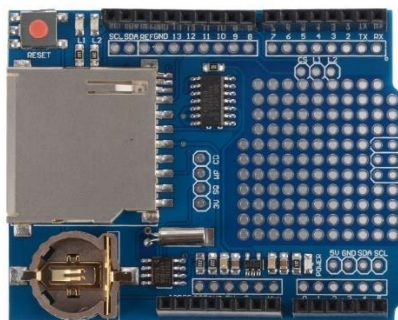
← *Programme dans  
l'EDI (Environnement  
de Développement  
Intégré) Arduino*

### III- Ce qu'il nous reste à faire

Nous avons pris beaucoup de temps pour réaliser nos deux premiers instruments de mesure et l'abri météorologique. Ce projet est donc loin d'être terminé.

Il nous reste à concevoir un anémomètre, une girouette, un hygromètre et un baromètre.

Nous devons aussi travailler sur la programmation d'un enregistreur de données (photo ci-dessous) afin de collecter sur une carte SD les valeurs détectées par nos capteurs.



Nous souhaiterions également réfléchir à une alimentation électrique autonome de notre station météorologique (trouver un système d'alimentation plus « propre » qu'avec des piles).

## **Bibliographie**

<http://education.meteofrance.fr/>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Barom%C3%A8tre>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Hygrom%C3%A8tre>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Pluviom%C3%A8tre>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Thermom%C3%A8tre>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Girouette>

<https://fr.wikipedia.org/wiki/An%C3%A9mom%C3%A8tre>

<http://elby-meteo.fr/abri-meteo-1/>

<https://www.tinkercad.com/>

[http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki\\_reference\\_arduino/pmwiki.php?n](http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n)