SAISONS, HAUTEUR DU SOLEIL ET PROGRAMMATION D'UN ARDUINO

Hervé Faivre, enseignant de sciences physiques,
Pierre Causeret, enseignant de mathématiques en retraite

Les auteurs proposent une maquette grand public montrant le rôle important de l'inclinaison des rayons solaires dans l'explication des saisons. Maquette entièrement autonome et qui peut être empruntée

Le Jardin de l'Arquebuse de Dijon (anciennement Jardin des Sciences de Dijon) regroupe un muséum, un jardin botanique et un planétarium. Chaque année, il réalise une exposition temporaire. En 2020, ce fut sur le thème des saisons. En raison de la pandémie et des confinements, cette exposition est restée deux années à l'affiche, jusqu'au tout début 2022.



Pour réaliser la première partie intitulée « Les saisons, c'est astronomique ! », le Jardin des Sciences a fait appel à l'enseignant chargé des relations du planétarium avec les scolaires, Hervé Faivre, ainsi qu'à celui qui occupait ce poste auparavant, Pierre Causeret. Nous avons alors tenté de répondre à la question « Comment expliquer les saisons au grand public ? » et ceci, seulement à partir de panneaux et de maquettes, sans l'intervention d'un médiateur scientifique.



Nous avons proposé quatre maquettes :

- une carte tournante du ciel pour montrer que les constellations visibles changeaient au cours de l'année ;
- une maquette représentant le mouvement apparent du Soleil aux solstices et aux équinoxes qui fera sans doute l'objet d'un prochain article ;
- une maquette représentant la révolution de la Terre autour du Soleil ;
- une maquette montrant l'importance de la hauteur du Soleil sur la température au sol.

C'est cette dernière maquette que nous allons présenter ici.

La hauteur du Soleil

Pourquoi fait-il plus chaud en été ? La réponse classique que vous trouverez développée dans différents articles des Cahiers Clairaut, c'est parce que les journées sont plus longues et que le Soleil est plus haut dans le ciel, ces deux phénomènes provenant de l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport au plan de son orbite.
Mais comment montrer le rôle de la hauteur du Soleil ? Pourquoi un soleil haut chauffe davantage le sol qu'un soleil bas, éclairant en lumière rasante ? Différents schémas ou calculs sont possibles mais l'expérience du chocolat, détaillée dans le n° 161 des Cahiers Clairaut, est assez convaincante.



Fig.1. **L'expérience du chocolat. Deux lampes identiques fixées au bout de bras de même longueur sont inclinées à 20° et 66° par rapport à l'horizontale. La première représente le soleil de midi au solstice d'hiver, la seconde, le soleil de midi au solstice d'été. On place à la base deux carrés de chocolat et on allume en même temps les deux lampes. Après 5 à 10 minutes, on appuie avec deux doigts sur les deux chocolats. Seul le second a fondu.**



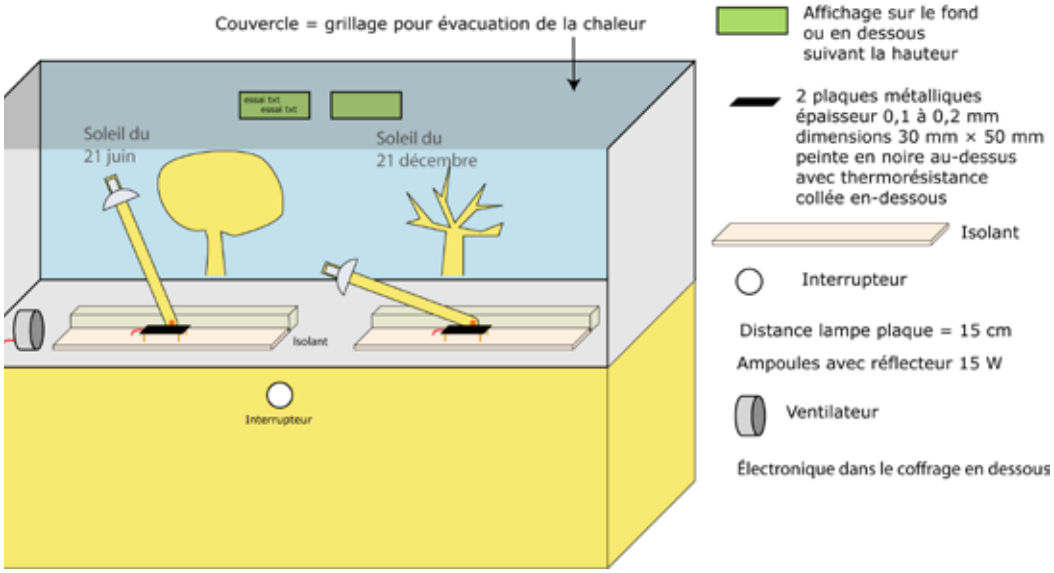
Fig.2. **Un schéma classique. Plus le faisceau lumineux est incliné, plus la surface à chauffer sera grande donc moins la température sera élevée. Le faisceau de droite correspond au soleil de midi du 21 décembre et celui du milieu, au soleil de midi du 21 juin, à une latitude de 47° N.**

Principe de la maquette

Nous avons voulu réaliser une maquette représentant l'expérience du chocolat, capable de fonctionner seule, sans animateur.
Nous avons choisi de remplacer le chocolat par une plaque métallique peinte en noir, sous laquelle était fixée une thermorésistance capable de mesurer la température de chaque plaque. La température devrait

s'élever plus rapidement sous la lampe « été » que sous la lampe « hiver ». Mais il fallait également que les deux plaques soient à la même température ou presque au départ. Pour éviter d'avoir à attendre trop longtemps entre deux expériences, nous avons prévu un ventilateur du côté de la lampe « été ». La figure ci-dessous montre le plan fourni au Jardin des Sciences.

Pour toute la partie électronique, achat des composants et programmation, c'est Hervé Faivre qui s'en est occupé.



La partie électronique

La maquette fonctionne avec des composants standards des projets Arduino. Un peu de recyclage et de récupération pour certains, pour les autres on les trouve facilement chez son fournisseur d'électronique préféré ou en ligne sur les sites spécialisés Arduino.

- un arduino (MEGA pour un nombre de ports E/S disponibles plus important que sur UNO) ;
- deux spots halogènes 30 W, les plus directifs possible sous 12 V avec leur transformateur ;
- deux relais 5V/230V ;
- un bouton (robuste) ;
- deux thermistances CTN 10 kΩ de précision ;
- deux écrans LCD 16 caractères sur 2 lignes. (un par saison pour séparer les affichages). On peut les connecter en série (sur un bus I2C) mais dans ce cas il faut changer l'adresse d'un des deux en utilisant un jumper (par défaut l'adresse est la même : 0x27). Ici ils sont connectés sur des broches numériques différentes ce qui représente, rien que pour l'affichage 12 sorties contre seulement 2 (SCL et SDA) en I2C d'où l'utilisation d'un Arduino Méga plutôt qu'un UNO (le surcoût est marginal) ;
- deux potentiomètres 10 kΩ pour régler l'intensité du rétroéclairage des écrans LCD (en I2C c'est déjà intégré sur le module pour à peine plus cher) ;
- une résistance 1 MΩ pour l'interrupteur ;
- un ventilateur pour réinitialiser l'expérience ;
- de la pâte thermique pour coller la sonde de température à la petite plaque métallique peinte en noir représentant l'unité de surface exposée aux rayons inclinés du soleil halogène ;
- une plaque d'essai breadboard pour les connexions (selon le budget, on peut opter pour une platine grove qui facilite grandement les connexions).



Le matériel pour la partie électronique : CTN 10K à 25 °C, bouton robuste, écrans LCD 1602, Spot 30 W, relais et ventilateur utilisés.

Le principe de fonctionnement

Le programme est téléchargeable sur le site du CLEA[1].

[1]=> L'affichage invite l'expérimentateur à appuyer sur le bouton pour démarrer l'expérience.



[2]=> L'expérience commence :

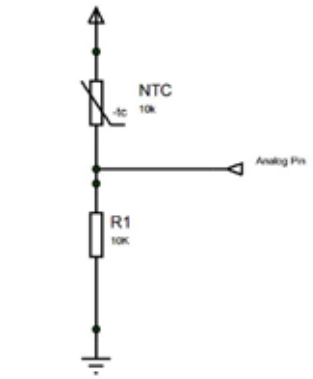
- le relais 1 est actionné et les spots s'allument ;
- les écrans affichent la température de chaque plaque et le temps d'expérience restant (entre 30 et 45 s semble être un bon compromis) avec le message clignotant « expérience en cours » ;
- la température est mesurée 10 fois en une seconde et une moyenne est effectuée sur ces valeurs avant le rafraichissement de l'affichage afin d'éviter un clignotement sur la première décimale ou une fluctuaction erratique de celle -ci.

[3]=> À la fin des 45 s, le relais 1 coupe les spots et le relais 2 démarre le ventilateur.
Les écrans affichent l'écart maximal enregistré entre les températures T1 (été) et T2 (hiver) ainsi que le message clignotant « ventilation en cours / patientez ».

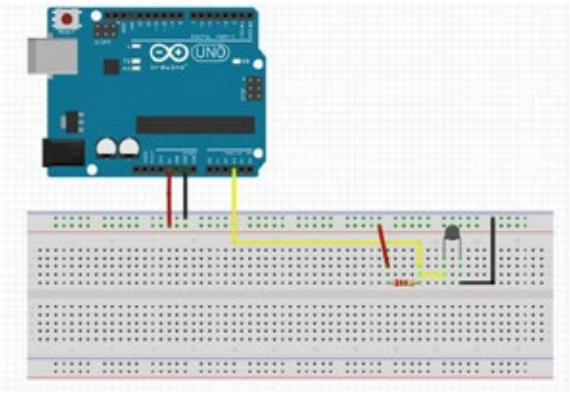


- La ventilation se poursuit jusqu'à ce que la différence de température entre les sondes soit inférieure à 0,5 °C (une durée maximum de 30 s est fixée pour éviter une poursuite intempestive de la ventilation en cas de problème sur une sonde).
- Le relais 2 est coupé, la ventilation s'arrête, la boucle principale du programme reprend à l'étape [1].

1 à l'adresse www.clea-astro.eu en cliquant sur Cahiers Clairaut n° 178 été 2022.



Pont diviseur de tension et mesure sur une entrée analogique (ici A3).



Quelques détails pour la programmation

Principe de la mesure d'une température avec une thermistance sur une entrée analogique de l'Arduino

Les CTN (coefficient de température négative) sont des thermistances dont la valeur de la résistance diminue lorsque la température augmente. La plage d'utilisation est assez vaste et le temps de réponse assez court. La valeur nominale de la CTN est sa résistance à une température de 25 °C.
La relation de Steinhart-Hart permet de déterminer la valeur de la résistance de la CTN en fonction de la température.

$$\frac{1}{T} = A + B\ln(R) + C[\ln(R)]^3$$

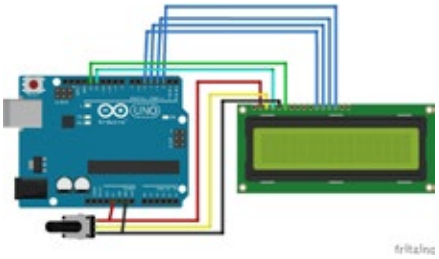
On peut étalonner la résistance en réalisant 3 mesures de résistance de la CTN pour 3 valeurs de température de référence connues avec précision, mais les coefficients sont heureusement donnés dans la fiche technique fournie. Pour la maquette, on inverse en fait la formule pour avoir la température en fonction de la résistance. Cette dernière est déterminée en mesurant sur une entrée analogique de l'Arduino le potentiel au point médian d'un diviseur de la tension de référence Vcc avec une résistance fixe de 10 kΩ. La valeur est codée sur 10 bits : une valeur est mesurée de 0 à 1 024 correspondant à un potentiel de 0 V à + Vcc.

Alimentation des spots

L'utilisation des relais permet de piloter les transformateurs d'alimentation des spots en 230 V. Avec cette tension il existe un danger, le montage est naturellement réalisé en ayant bien pris garde de ne pas brancher le cordon d'alimentation sur le secteur. Et il est conseillé de bien isoler le relais (ses bornes côté 230 V) pour éviter tout contact accidentel par la suite.

Connexion des écrans

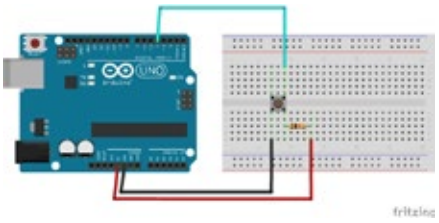
Pour les écrans LCD à 16 caractères sur 2 lignes (LCD 1602), il y a principalement deux options pour les connecter à l'Arduino :



- le montage en lignes parallèles en utilisant 6 pins par écran ;
- à présent, on trouve plus facilement des écrans utilisant le bus I2C. Cela permet de n'utiliser que 4 pins pour les deux écrans. (+Vcc, Gnd, Scl (horloge), Sda (data)) Il est impératif dans ce cas de bien changer l'adresse d'un des écrans en utilisant des jumpers.

Le bouton en INPUT PULL-UP

On peut relever le niveau bas sur le pin flottant pour détecter un appui sur le bouton mais des fluctuations du potentiel pour différentes raisons pourraient être interprétées par l'appareil comme un appui sur le bouton. Pour éviter cela on définit l'entrée en pull-up. En utilisant une forte résistance (typiquement 1 MΩ), l'entrée est maintenue au potentiel Vcc, à l'état HAUT et l'appui sur le bouton force un état BAS. Le programme doit alors réagir à un front descendant sur l'entrée



numérique.

Chonométrage

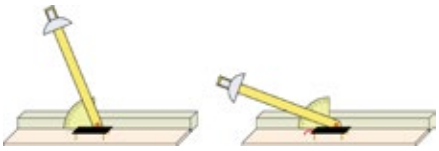
Pour le chronométrage, on utilise la fonction de l'horloge interne millis() qui renvoie une valeur de type unsigned long correspondant au nombre de millisecondes écoulées depuis le début du lancement du programme. On crée une variable Previous_millis du même type unsigned long qui prend la valeur de millis() avant d'entrer dans une boucle while qui doit être éxécutée pendant un certain temps : ici 45 s.

```
Previous_millis = millis();
while (millis() - Previous_millis <= 45000) {
        chose_à_faire() ;
}
```

Une variable entier long non signée stocke une valeur sur 4 octets (32 bits) nécessairement positive entre 0 et 2^{32} - 1 (= 4 294 967 295). En ms, cela représente environ 49,7 jours. En théorie, si on lance une expérience quelques secondes avant cette limite le programme plantera car **millis()** repart à zéro (compte tenu de la faible probabilité que la maquette reste en marche sans interruption aussi longtemps, ce « bug » n'est pas géré dans le code).

Quelques pistes d'amélioration

- ajouter des rapporteurs indiquant l'inclinaison des rayons du Soleil ;



Ajouts de rapporteurs.

- trouver des spots plus directionnels ou guider davantage le flux lumineux avec des tubes ? lentilles ?
- changer le type d'affichage ou ajouter un écran TFT 1,8" couleur pour tracer en couleurs différentes l'évolution des températures ;
- remplacer les connexions sur un breadbord par des connexions sur une platine grove plus solides. Les vibrations lors du transport pourraient créer des faux contacts ;
- ajouter des roulettes pour faciliter le déplacement.

Le résultat

Elle a bien fonctionné, nous pensons qu'elle a servi à un certain nombre de visiteurs à mieux appréhender le rôle de la hauteur du Soleil mais nous nous sommes aperçus que le principe n'était pas toujours bien compris. Surtout lorsque les visiteurs ne lisent pas les textes, que nous avions pourtant essayé de faire assez courts. Une personne qui explique, interroge et répond aux questions, est quand même très utile pour faire passer un message...

L'exposition est maintenant terminée, la maquette n'a pas été jetée, elle est depuis peu la propriété du Clea. Elle est à la disposition de tous les adhérents mais ses dimensions (L = 100 cm, l = 43 cm, h = 52 cm) font que le transport n'est pas très facile

■



La maquette terminée.

...