

MAQUETTE ANALEMMA

Atelier d'électronique, programmation informatique et astronomie
du collège de Semur-en-Auxois (21140) - Hervé FAIVRE

Cette maquette électronique est destinée à montrer en temps réel la course du Soleil au cours des saisons. Elle permet de visualiser l'éclairement d'une surface selon l'heure et la saison.

La maquette *Analemma* est une évolution très **L**augmentée d'une première maquette qui avait été réalisée pour l'exposition *Saisons* au planétarium de Dijon. L'intérêt de cette nouvelle version électromécanique est de montrer la course diurne du Soleil au cours des saisons avec des servomoteurs pilotés par un Arduino¹. Ils permettent d'actionner un bras en arc de cercle supportant une led pour simuler le Soleil et montrer sa course tout en permettant de voir l'évolution de l'éclairement d'une surface selon l'heure et les saisons.

L'idée de base de cette maquette a évolué tout au long de sa réalisation et inclut à présent plusieurs améliorations spectaculaires : au centre, 24 leds sur un anneau entourent un modèle du collège imprimé en 3D et indiquent l'azimut du Soleil. Deux écrans affichent des informations des éphémérides et les angles de position du Soleil. La maquette fonctionne en temps réel en un lieu donné grâce à un récepteur GPS ; on peut également programmer la date et l'heure.



Fig.1. La maquette terminée.

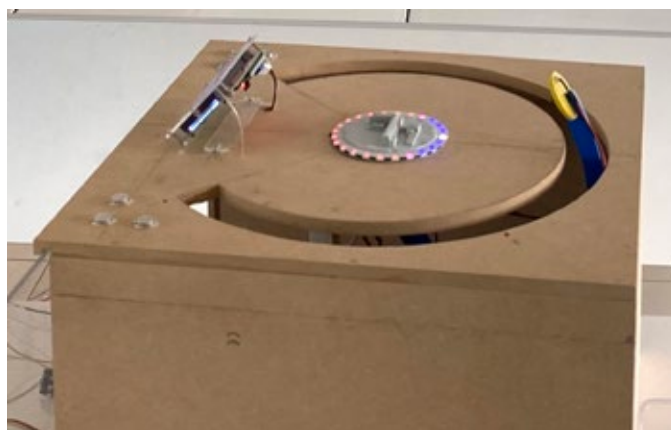


Fig.3. La maquette en construction.

Quelques modifications sont à prévoir si on compte la reproduire dans l'hémisphère sud, surtout au niveau de la rose des vents. Mais pour les hautes latitudes, ce sera plus difficile de ne pas faire se coucher le Soleil, le plan sous lequel se trouvent les moteurs ne pouvant être découpé sur 360°.



Fig.2. Servomoteur 270° ; Avec 270° de course maximum c'est suffisant pour suivre le Soleil à des latitudes pas trop élevées dans l'hémisphère nord.



Fig.4. Une petite équipe de 6 élèves a travaillé sur les différentes parties.

¹ Microcontrôleur introduit récemment dans les programmes scolaires, en particulier en techno et en sciences physiques.



Fig.5. Les différents boutons de commande.

Les boutons de commande

Avec six boutons, on peut interagir avec la maquette, programmer un changement de saison, commander une animation sur l'arc diurne ou même suivre l'analemma du Soleil sur une année par pas de 15 jours.

Les fonctions

Les boutons permettent d'appeler des fonctions. Sur la gauche, les boutons **RÉGLAGES** (+) et (-) permettent de sélectionner une date et une heure pour simuler pas à pas une journée ou voir les levers de Soleil vers l'est en fonction des saisons ou les heures de lever et coucher pour sa date anniversaire par exemple. Un appui long sur le bouton **RÉGLAGES** permet aussi de mettre le bras en position *park* (position neutre pour les servomoteurs en vue d'un transport).

Un bouton **SAISONS**, sur la droite, permet de se placer à midi vrai local pour les dates des équinoxes et solstices. Il permet de voir les différences d'éclairement du collège aux différentes saisons. Un appui long sur ce bouton démarre une animation de l'analemma par pas de 15 jours à midi moyen. On voit bien un grand 8 se dessiner autour du méridien.

Le bouton **AUTO** permet de revenir au mode automatique (heure et date du GPS). Il permet aussi d'éteindre ou d'allumer la led du projecteur.

ARC diurne est le plus amusant : pour la date sélectionnée il montre en jaune clignotant sur l'anneau de leds horizontal la projection de l'arc décrit par le Soleil au-dessus de l'horizon, et si l'appui est assez long, l'animation du bras commence. Le Soleil part se cacher sous l'horizon puis apparaît vers l'est. La course commence jusqu'au coucher vers l'ouest dans un mouvement aussi souple que peuvent permettre les servomoteurs. On peut nettement voir l'ombre des bâtiments évoluer au cours de la journée.

Une combinaison de pressions sur les boutons dans un ordre précis déclenche, paraît-il, un *easter egg*² caché par les programmeurs. Une petite animation des leds et des écrans affiche l'équipe des concepteurs, élèves et professeurs

(Noé, Bertille, Arthur P, Arthur B-L, Gabriel, Valérie, Vanessa, Armel...) chacun, chacune avec sa contribution dans une étape, une spécialité ou dans la programmation (servo, écrans, leds, boutons, Charly, 3D, le montage, les soudures...).

La réalisation

Un volume de 40 cm × 40 cm × 30 cm en médium de 10 mm est surmonté d'une demi-sphère en plexiglas. Le plan supérieur est défoncé sur une couronne de 270° de 2 cm de large pour permettre au Soleil de passer sous l'horizon. Les découpes, notamment celles en arcs de cercle, ont nécessité beaucoup de précision (merci Armel un ami bricoleur qui m'a beaucoup aidé).

Le bras support du Soleil est usiné en PVC au Charlyrobot³ en deux parties vissées entre elles. Il est fixé sur le servomoteur de hauteur lui-même fixé au servomoteur d'azimut qui est, lui, fixé sous le plan. Un petit projecteur qui se trouve à l'extrémité du bras accueille une led blanche haute luminosité représentant le Soleil (figures 6-7).

Au centre, se trouve une maquette 3D du collège de 7 cm de diamètre cerclée d'un anneau de 24 leds RGB (leds à couleur programmable). Un peu de couleurs et des petites étiquettes pour réaliser une rose des vents (figure 10).

³ Fraiseuse à commande numérique utilisée dans de nombreux collèges.



Fig.6 et 7. Le bras motorisé, à gauche sous le plan horizon et à droite au-dessus avec le spot.

² Easter egg (œuf de Pâques) : fonction cachée au sein d'un programme.

Les composants

Le microcontrôleur est un Arduino MEGA, il est posé sur un support imprimé en 3D et est surmonté d'une platine grove très pratique pour accueillir les nombreux composants. Parmi ceux-ci :

- une horloge RTC DS1307 (I2C) qui assure une redondance en l'absence de signal GPS ;
- un récepteur GPS NEO6M (connecté au port série UART) ;
- un anneau de 24 leds RGB type NeoPixel (sur 1 broche) ;
- un écran LCD 2004 20 caractères sur 4 lignes (I2C) ;
- un écran TFT 1,8» (connecté au bus SPI) 128×160 pixels ;
- un servomoteur 90° pour la hauteur (avec feedback analogique) ;
- un servomoteur 270° pour l'azimut (avec feedback analogique) ;
- 6 boutons, montés en pull-up avec une résistance commune ;
- des câbles Grove permettent d'apporter à chaque composant la masse et l'alimentation.

En mode automatique, sur l'écran LCD, on peut lire la date et l'heure, les coordonnées horizontales alt / azi (hauteur et azimut)⁴ du Soleil puis, alternativement (figures 8a et 8b), l'heure de son lever (ou son azimut), l'heure de son passage au méridien à midi solaire vrai (ou sa hauteur) et l'heure de son coucher (ou son azimut).

4 Les coordonnées horizontales d'un astre, hauteur et azimut, se disent « altitude » et « azimuth » en anglais, d'où l'abréviation alt qui désigne bien la hauteur du Soleil (et non l'altitude du lieu).

Fig.8. Affichage sur l'écran LD. Les 3 premières lignes sont fixes, la 4e ligne alterne entre deux affichages différents.

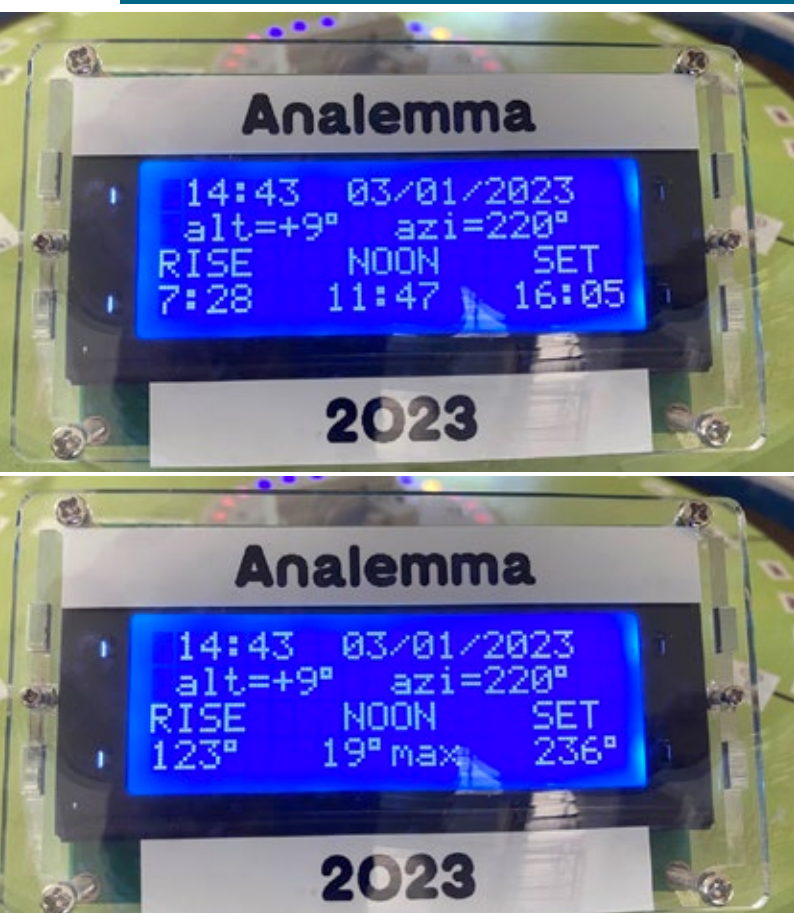


Fig.9. L'écran TFT avec les éphémérides

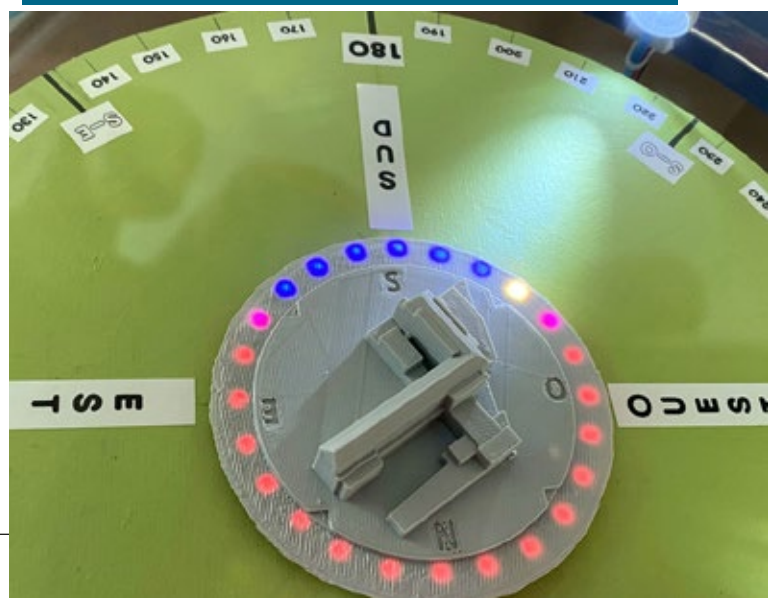
Les calculs sont précis à la minute près en tenant compte de la position GPS et de la correction due à l'altitude du lieu (évidemment on ne tient pas compte du relief à l'horizon). Les heures sont en UTC, il convient d'ajouter une heure en hiver et deux heures en été.

L'écran TFT est plus complet mais sert surtout à vérifier la bonne santé de la machine (signal GPS). Il affiche les données calculées par l'algorithme d'astronomie (figure 9).

On peut y lire la date, l'heure UTC, le différentiel de durée du jour comparé à la veille, l'heure et l'azimut du lever (RISE) et du coucher (SET), l'heure du passage au méridien (NOON), l'équation du temps pour le jour donné, les coordonnées équatoriales AD/DEC du Soleil, la distance à la Terre et son diamètre apparent. Les données GPS sont LAT, LON et Altitude du lieu (le nombre de satellites captés est affiché en rouge s'il est insuffisant pour une bonne précision).

L'anneau de leds indique en rouge les heures de nuit (arc nocturne) – la partie du cercle où le Soleil est sous

Fig.10. L'anneau de leds.



l'horizon – en bleu l'arc diurne, en violet les points de lever et de coucher, en jaune la position du Soleil s'il est au-dessus de l'horizon, clignotant s'il se trouve sur un point de lever ou de coucher (figure 10).

Plusieurs pièces ont été imprimées en 3D : le spot Soleil, la maquette du collège, un support pour le microcontrôleur Mega, un support pour l'écran TFT, un support pour le LCD finalement remplacé par un modèle en plexiglas (figure 11).

Des évolutions sont possibles et déjà à l'étude comme la pose d'un interrupteur général, d'une alimentation avec batterie, d'une télécommande infrarouge ou bluetooth et la gestion du feedback analogique des servomoteurs plus fin pour éviter les à-coups au démarrage de la maquette.

Vous trouverez sur le site en compléments numériques le plan de la maquette ainsi que le programme.

Les logiciels et bibliothèques

Les logiciels utilisés n'ont pas changé : TinkerCAD pour la conception 3D, Charly robot, Cura pour l'imprimante...

Plusieurs bibliothèques spéciales ont été utilisées pour le code.

- TinyGPS++ pour le GPS communique en ASCII via le port sériel UART des phrases normées NMEA 0183 de ce type : «\$GPGGA, 181908.00, 3404.7041778, N, 07044.3966270, W, 4,13,1.00,495.144,M,29.200,M,0.10,0000,*40 contenant les informations sur l'heure, la longitude, la latitude, l'altitude, la précision, le nombre de satellites.
- DS1307.h l'horloge, sur le bus I2C avec une pile sauvegarde l'heure, la date, le jour de la semaine (années bissextiles). C'est une redondance, ses données ne sont prises en compte qu'au démarrage en attendant un signal suffisant du GPS.
- NEOPIXEL+SERVO Adafruit_TiCoServo.h est une bibliothèque spéciale est nécessaire pour faire fonctionner des servomoteurs et des leds chaînables simultanément.

En effet pour piloter une chaîne de leds avec le protocole de Neopixel sur un fil de commande, l'Arduino doit fournir un flux de données à fréquence constante (800 kb/s) et ne supporte guère les interruptions. De même les servomoteurs doivent avoir un signal modulé en continu sur des sorties en pwm. La gestion des interruptions est cruciale si on ne veut pas voir les moteurs vibrer ou même s'agiter dans tous les sens quand on envoie une commande au ruban de leds. Elle permet aussi l'utilisation des horloges internes avec les

fonction millis() et delay() très utiles dans le programme pour la gestion des interactions avec les boutons, les temporisations des animations du bras, des leds ou des affichages.

- TFT_ST7735 pour l'écran TFT 160×128 pixels sur le bus SPI, ce qui permet de limiter le nombre de broches utilisées.

Attention si la tension de référence de l'écran est 3,3 V au lieu des 5 V habituels pour le VCC, il faut réaliser un diviseur de tension avec des résistances.

- La classique LiquidCrystal_I2C pour l'écran LCD à 20 caractères sur 4 lignes connecté en I2C. Il est très imposant mais plutôt facile à programmer pour les élèves.

Les boutons et la led simple pour le Soleil sont gérés directement et ne nécessitent pas de bibliothèques particulières. Les boutons sont montés en pull-up (comme déjà décrit dans le numéro 176 pour l'horloge lunaire).

```
1 // libraries
2 #include <Adafruit_TiCoServo.h> // Servos Compatible Neopixel (sans les
// interruptions) et compatible millis()
3 #include <TinyGPS++.h> // GPS
4 #include <Ephemeris.h> // Biblio astro
5 #include <LiquidCrystal_I2C.h> // Ecran LCD sur port I2C
6 #include <Adafruit_NeoPixel.h> // LED
7 #include <SPI.h> // pour l'écran TFT / SPI
8 #include <DS1307.h> // Horloge RTC (redondance GPS)
9 #include <TFT_ST7735.h> // Hardware-specific library pour le TFT
```

Fig.12. Extrait de code pour les bibliothèques spéciales

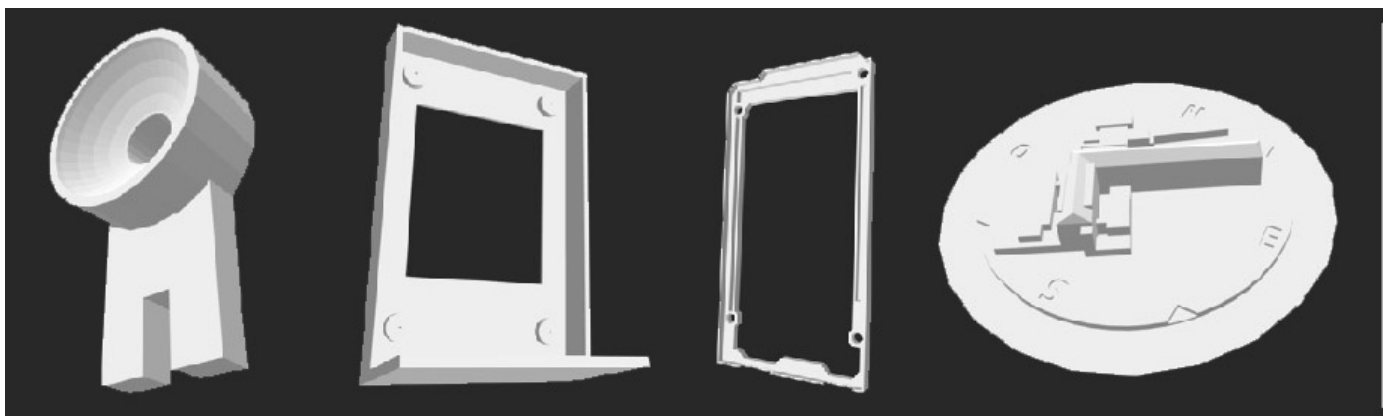


Fig.11. Les pièces imprimées en 3D.