



L'Espace en Tête

60

Université d'Été Espace Éducation
Formation aux sciences et applications spatiales pour les enseignants

9 > 13 Juillet 2022

education.jeunesse@cnes.fr
www.cnes.fr



Atelier disciplinaire **AD6** Un espace de mesure

Sabrina BEN BRAHIM, Éducation Nationale
Nicolas THIBAUT-BERTRAN, Éducation Nationale
William GAMBAZZA, Éducation Nationale
Gabriel GEHENN, Éducation Nationale



Table des matières

I. Mesure du diamètre de la Lune.....	3
a. Le principe de la mesure.....	3
b. Modélisation avec GeoGebra.....	3
II. Mesure de distance et précision.....	5
a. L'objectif.....	5
b. Mise en place du matériel.....	5
c. Réalisation de la mesure.....	6
d. Étude statistique avec GUM MC 2020.....	6

Addendum : comme promis lors de l'atelier, vous pourrez récupérer les compléments sur l'expérience de mesure de distance avec Arduino à l'adresse ci-dessous.
Un tuto vidéo sera également disponible d'ici la fin de l'été pour vous décrire l'expérience et son exploitation pour traiter les incertitudes.
Si vous avez des questions, n'hésitez pas à me contacter : wgambazza@ac-toulouse.fr

<https://dgxy.link/goCRP>

I. Mesure du diamètre de la Lune

a. Le principe de la mesure

Pré-requis :

- disposer d'une estimation du diamètre de la Terre (cf. Ératosthène...)
- postuler que l'ombre projetée de la Terre lors d'une éclipse de Lune est un cylindre

C'est Aristarque de Samos qui réalisa les premières mesures fiables vers le début du III^e siècle av. JC en observant les éclipses mais pour cela, il s'appuiera sur une représentation héliocentrique du système déjà connue. Il observe la Lune et mesure que :

- lors d'une éclipse totale de lune, la durée de la totalité est de 2h
- lors d'une éclipse de lune, celle-ci se déplace d'une distance égale à son diamètre en une heure

Ce qui lui permet de calculer le diamètre de ce qu'il croit être un « cylindre » d'ombre de la Terre $D_{\text{Terre}} = 3 \times D_{\text{Lune}}$. Cela n'est pas si éloigné, pour l'époque, de la mesure actuelle qui est $D_{\text{Terre}} = 3,7 \times D_{\text{Lune}}$!

En mesurant également le diamètre apparent de la Lune et en le combinant au résultat précédent, il en déduit que la distance Terre-Lune doit être $D_{\text{TL}} \approx 120 D_{\text{Lune}} \approx 30 D_{\text{Terre}}$

b. Modélisation avec GeoGebra

Dans cette partie, on se propose d'utiliser la méthode d'Aristarque avec les outils de notre époque.

GeoGebra est un outil permettant de réaliser, entre autres, des figures géométriques précises à partir d'un algorithme. Assez simple d'utilisation, il est souvent utilisé en math dès le collège et les élèves le connaissent en général. Il est donc intéressant d'envisager son utilisation dans le cadre de la Physique-Chimie pour certaines situations comme celle-ci.

Au départ, il nous faut la photo d'une éclipse de Lune et il n'est pas très compliqué d'en trouver de très belles sur le web. Nous vous en proposons deux dont une issue d'une composition de prises de vue successives.

L'objectif consiste à mesurer le rapport entre le rayon apparent de l'ombre de la Terre et celui de la Lune.

Pour y arriver de façon précise, il nous faut revenir à quelques principes mathématiques :

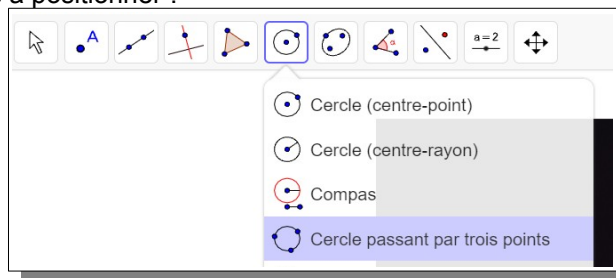
- le rayon d'un cercle est la distance entre le centre de celui-ci et n'importe quel point du cercle
- le centre d'un cercle peut se retrouver comme étant l'intersection entre les droites perpendiculaires à deux cordes quelconques du cercle.

Geogebra propose plusieurs outils permettant de réaliser ces mesures :

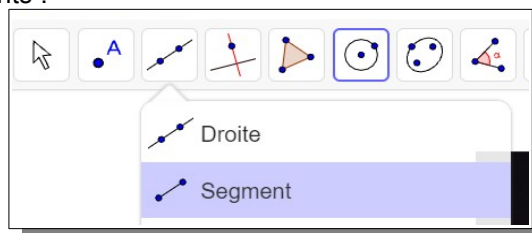
- Import d'une image de fond :



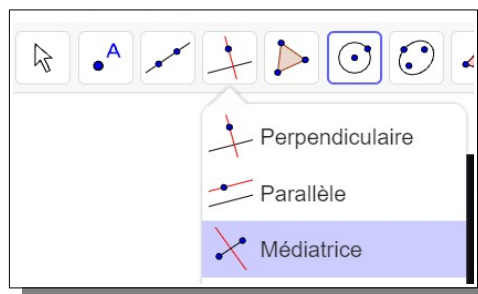
- Cercle à partir de 3 points à positionner :



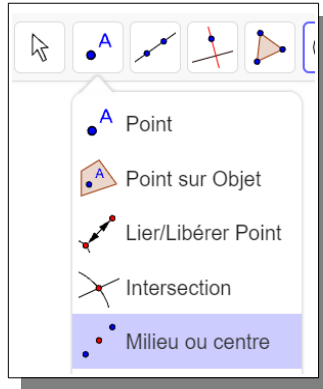
- Segment à partir de deux points :



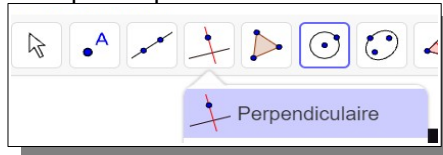
- Médiatrice d'un segment :



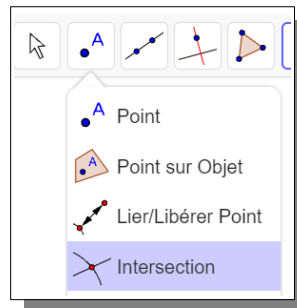
- Milieu d'un segment :



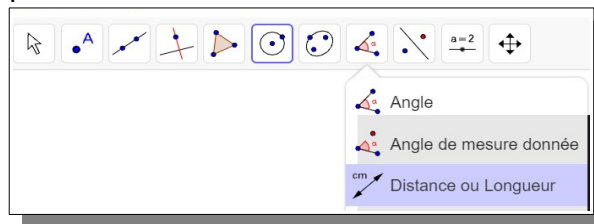
- Perpendiculaire à un segment passant par un point :



- Intersection entre deux droites :



- Distance entre deux points :



À faire vous-même :

1. à l'aide de ces outils, retrouvez le rapport entre les rayons de deux disques apparents lors d'une éclipse de Lune. Comparer le résultat obtenu à celui d'Aristarque. Vous pouvez essayer avec plusieurs images si vous le souhaitez.
2. En déduire le diamètre de la Lune à partir du diamètre de la Terre supposé connu grâce à Ératosthène
3. Quels sont les biais de cette mesure ?

II. Mesure de distance et précision

a. L'objectif

Dans cette partie, il est question de s'intéresser à la précision des mesures. Pour ce faire, nous allons utiliser un microcontrôleur afin de mesurer une distance par ultrasons. L'avantage sera de pouvoir répéter un grand nombre de fois la mesure et d'ainsi accéder à une étude statistique. Le matériel utilisé est un Arduino muni d'un capteur ultrason Grove. Pour utiliser ce capteur, des bibliothèques sont fournies, mais elles ne proposent que deux fonctions donnant directement la distance en pouces ou en centimètres. Pourtant, le capteur ultrasons ne permet de mesurer qu'un temps, ici une durée. La durée écoulée entre l'émission d'un signal par l'émetteur et sa réception par le récepteur placé légèrement à côté. Cela signifie qu'au niveau du capteur, le calcul de la distance est réalisé avec une valeur de vitesse du son non connue.

Nous vous proposons donc d'utiliser une adaptation du module contenant ces deux fonctions, dans laquelle une autre fonction a été ajoutée permettant de récupérer directement la durée mesurée par le capteur, exprimée en microsecondes. Ainsi, le calcul de la vitesse pourra se faire à part, en mesurant la température de l'air sur le moment.

b. Mise en place du matériel

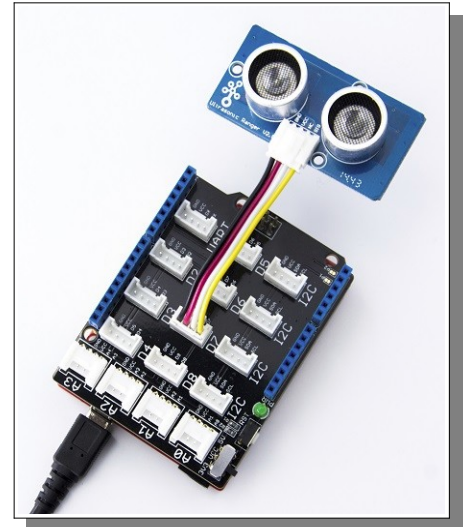
La première étape consiste à prendre en main le matériel et, sans avoir branché l'Arduino à l'ordinateur, à réaliser les branchements selon le schéma ci-contre et sur la **broche D7** →

Remarque : La connectique Grove est pratique et plus robuste, mais l'expérience est tout à fait identique avec un capteur HC-SR04 branché de façon plus classique sur une plaque de prototypage.

- Placer le capteur en face d'un obstacle.
- Brancher l'Arduino sur l'un des ports USB de l'ordinateur.
- Lancer le logiciel Arduino.
- Récupérer la bibliothèque `wedu_Ultrasonic.zip` à cette adresse :

<https://dgxy.link/goCRP>

- Importer la bibliothèque dans Arduino avec la liste de commandes suivantes :
Croquis > Inclure une bibliothèque > Ajouter la bibliothèque.ZIP
- Saisir le programme suivant :



```
wedu_test | Arduino 1.8.9
Echier  Édition  Croquis  Outils  Aide
wedu_test
1 #include "Ultrasonic.h"
2
3 Ultrasonic ultrasonic(7);
4
5 long RangeInMicroSeconds;
6 unsigned long compteur = 1;
7
8 void setup()
9 {
10     Serial.begin(9600);
11     Serial.println("#####");
12     Serial.print("Compteur (nb)");
13     Serial.print(";");
14     Serial.println("Durée µs");
15 }
16
17 void loop()
18 {
19     Serial.print(compteur);
20     Serial.print(";");
21
22     RangeInMicroSeconds = ultrasonic.MeasureInMicroSeconds();
23     Serial.println(RangeInMicroSeconds);
24     compteur = compteur + 1;
25     delay(250); // attente de 10 ms avant mesure suivante
26 }
```

Les lignes 4 et 5 permettent de définir et initialiser les variables nécessaires. Un compteur est là pour suivre le nombre de mesures réalisées.

La méthode `Setup()` est exécutée en premier et une seule et unique fois. Dans notre cas, elle permet de définir le rythme d'échange d'informations via le port USB et d'afficher quelques éléments de repère dans le moniteur série.

La méthode `Loop()` est exécutée après la précédente et relancée en boucle ensuite.

La ligne 19 permet d'inscrire la valeur courante du compteur dans le moniteur série et la ligne 20 ajout un « ; » de séparation pour les imports suivants.

La ligne 22 récupère la mesure de durée effectuée par le capteur et la ligne 23 l'affiche en suivant, puis revient à la ligne

La ligne 24 permet d'incrémenter le compteur et la ligne 25 permet de mettre une pause de 250 ms.

Il reste à associer faire communiquer le logiciel et la carte Arduino :

- **Outils > Ports** : vérifier que le port est bien sélectionné
- **Outils > Type de carte** : vérifier que le type est bien celui de Arduino Uno

Voilà, maintenant tout est prêt pour la mesure !

c. Réalisation de la mesure

Il ne reste plus qu'à lancer la mesure, mais avant, quelques éléments de contexte.

Le capteur va enchaîner les mesures et les afficher l'une après l'autre jusqu'à ce que vous souhaitiez l'arrêter.

Cela permettra d'avoir une mesure statistique de la durée, mais il faut également la vitesse du son. Celle-ci sera déterminée ensuite à partir de la température ambiante, mesurée à l'aide d'un thermomètre.


Plusieurs modèles sont possibles, mais nous utiliserons un modèle linéaire, valable à température ambiante :

$$V_{son}(m/s) = 0,607 \times \Theta(^{\circ}C) + 331,5$$

Avant de lancer la mesure, il est nécessaire de faire une vérification du code saisi puis de le compiler :

Croquis > Vérifier/Compiler (CTRL+R)

Si tout se passe bien, la partie basse de la fenêtre proposera un texte blanc.

Une fois le programme lancé, vous devrez ouvrir le moniteur série pour voir s'afficher les résultats. Pour cela il faut cliquer sur la loupe  présente en haut à droite de la fenêtre Arduino.

Pour lancer le programme, il faut le « téléverser » sur la carte :

Outils > Téléverser

En principe la fenêtre du bas affiche un texte blanc et le moniteur série va commencer à afficher les valeurs mesurées au fur et à mesure. Lorsque vous aurez atteint le nombre de mesures souhaitées, vous pourrez décocher la case située en bas à gauche du moniteur série :

Défilement automatique



Pour récupérer les valeurs, une simple sélection à la souris des valeurs puis un copier-coller dans un tableau sont suffisants. N'hésitez pas à acquérir plus de 1000 valeurs. Compte tenu de la latence prévue de 250 ms, cela se fait en 250 s.

d. Étude statistique avec GUM MC 2020

En principe, arrivé ici, vous disposez d'une série de mesures assez étendue de la durée Δt de parcours de l'onde entre le capteur et l'obstacle.

La suite va constituer à évaluer l'incertitude liée à cette mesure. La référence pour mener une telle étude statistique est le GUM : « *Guide to the expression of uncertainty in measurement* » (proposé par le BIPM ici : <https://dgxy.link/S2Yyg>).

x Détermination de la durée par une étude de type A : Statistique

Le GUM précise que pour une analyse statistique, la valeur de la mesure sera composée :

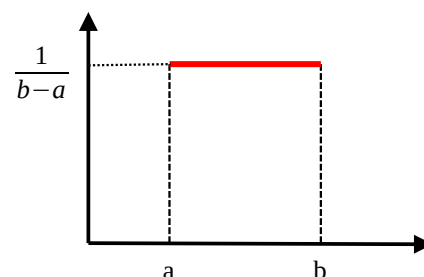
- de la moyenne arithmétique des valeurs obtenues $\overline{\Delta t}$
- d'une incertitude calculée à partir du nombre de valeurs et de leur écart-type d'échantillon : $u = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{N}}$

À partir de ces valeurs, on pourra écrire : $\Delta t = \overline{\Delta t} \pm u$

x Détermination de la vitesse du son dans l'air par une étude de type B : Probabiliste

Pour le calcul de la vitesse, on ne dispose que d'une seule mesure obtenue avec un instrument possédant des incertitudes de mesures. Celles-ci étant en général indiquées par le constructeur pour la plupart des instruments.

Le GUM précise alors que le calcul de l'incertitude se fera à partir d'une étude probabiliste. Plusieurs choix de lois de probabilités sont alors possibles en fonction des situations. Nous allons considérer ici une loi d'équiprobabilité uniforme selon laquelle la mesure indiquée par l'instrument a autant de chances de prendre n'importe quelle valeur dans l'intervalle indiqué par le constructeur, ce qui donne la représentation ci-contre →



Pour un instrument de classe A, le constructeur donne une valeur d'écart maximum toléré ou tolérance, en pourcentage de la mesure, noté EMT, de sorte que l'incertitude de mesure compte tenu de cette loi de probabilité est alors :

$$u = \frac{EMT}{\sqrt{3}}$$

Bien entendu, à cette incertitude « constructeur » se rajoute l'incertitude de lecture qui dépend des graduations ou de l'affichage digital.

x Utilisation du logiciel GUM_MC_2020

Fort heureusement pour les élèves, il existe un logiciel qui simplifie grandement tous ces calculs et permet de réaliser une étude d'incertitude assez simplement. Il a été développé par un collègue de l'académie de Toulouse :

Gum_MC_2020 – Jean-Marie Biansan (<https://dgxy.link/3KCOon>).

Une fois le logiciel lancé, vous devez choisir le niveau :

- Seconde : ne permet que des études statistiques, type A
- Première : des études de type A et B sont possibles
- Terminale : des études de type A et B sont possibles, ainsi que des compositions

Nous utiliserons ici le module de Terminale.

- Si ce n'est pas fait, sélectionnez l'onglet « **Évaluation de type A (N mesures répétées)** ».
- Commencez par aller copier la colonne de valeurs de durée mesurée.
- Dans GUM_MC_2020, onglet « **Évaluation de type A** », indiquez à droite le nom de la grandeur : « **Delta_t** » et l'unité « **µs** »
- Cliquer sur « **Ajouter des valeurs depuis le presse-papier** »

Après un temps d'import qui dépend du nombre de valeurs, vous devriez voir apparaître un histogramme des valeurs et les calculs de moyenne, écart-type et incertitude s'afficher directement. Une phrase en bleu indique même à l'élève ce qui est à retenir de ces calculs.

- Stockez sur papier la valeur de la mesure à retenir et son incertitude u avec un seul chiffre significatif.

Si on disposait d'une valeur de référence, il y a un sous-onglet facultatif « **Comparaison à une valeur de référence** » qui permettrait de calculer le Z-score correspondant.

L'étape suivante consiste à calculer la vitesse du son et son incertitude :

- Sélectionnez l'onglet « **Détermination indirecte (propagation)** »
- Saisir le nom de la grandeur « **V_son** » et son unité « **m/s** »
- Saisir son expression : **0,607*Delta_t + 331,5** puis valider
- Dans le tableau qui s'affiche, saisir la valeur lue, par exemple **25,2**, puis les valeurs d'incertitude du constructeur et de lecture : **0,1** et **0,1** par exemple
- Validez en cliquant sur le bouton du bas.

Vous voyez alors apparaître, dans un nouveau sous-onglet, la valeur calculée et son incertitude obtenue par propagation.

Il ne faut la retenir qu'avec un chiffre significatif arrondi par excès : **0,12** → **0,2** .

La phrase en bleu sur permet de visualiser les informations à noter pour la suite.

- Stockez sur papier cette valeur de vitesse avec son incertitude

Nous avons maintenant tous les éléments en main pour faire le calcul précis de la distance :

- Toujours dans l'onglet « **Détermination indirecte (propagation)** » et le sous-onglet « **Expression et incertitude-type** », changez le nom de la grandeur par « **d** », puis son unité par « **m** »
- Indiquez la nouvelle expression de calcul de la distance : **V_son*Delta_t/2** puis validez pour mettre à jour le tableau

 En effet, la durée mesurée est celle de l'aller-retour...

- Le tableau a dû se mettre à jour avec les nouvelles grandeurs du calcul.
- Indiquez les valeurs de vitesse et durée (ex : **1 500e-6** pour **1 500 µs**) déjà relevées et les incertitudes associées.
- Valider à l'aide du bouton placé en bas et observez le résultat dans le sous-onglet qui s'ouvre.

On peut y voir la phrase en bleu qui indique le résultat avec l'incertitude associée, mais également un histogramme représentant le poids relatif des incertitudes et sur quelle grandeur il faudrait travailler pour améliorer la mesure.

Observez également qu'il est possible de comparer avec une valeur de référence, sous réserve d'en disposer d'une assez précise.