

Retard, distance et vitesse de propagation d'une onde

THÉMATIQUE

- Ondes progressives.

CONCEPT OU NOTION ABORDÉ

- Relation entre retard, distance et vitesse de propagation (célérité).

OBJECTIF DE FORMATION

- Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier quantitativement un phénomène de propagation d'une onde.

Introduction

Consulter la page éducol associée au thème « [Programmer en physique-chimie](#) ».

Présentation des activités : calcul numérique ou expérimentation pilotée par un programme

Les élèves réalisent un programme afin de traiter automatiquement, à l'aide d'un tableur, de Scratch ou d'une carte à microcontrôleur de type ArduinoTM, équipée d'un module à ultrasons, des mesures expérimentales lors d'une activité expérimentale sur le sonar.

Pistes de validation et d'expérimentation

Les résultats fournis par le programme seront comparés aux résultats expérimentaux mesurés avec une règle ou à des résultats de mesure donnés dans un document par exemple.

LOGICIELS UTILISÉS

- Tableur Calc (LibreOffice)
- Scratch
- Logiciel de programmation Arduino

COMPÉTENCES INFORMATIQUES TRAVAILLÉES POUR LES TABLEURS

- Définir des paramètres numériques.
- Afficher un graphique.
- Réaliser un calcul simple (multiplication, division).
- Programmer un curseur.

POUR L'INTERFACE DE PROGRAMMATION ARDUINO

- Comprendre un programme simple en langage Arduino.
- Modifier le codage d'un programme Arduino afin de faire une conversion.
- Afficher une valeur à l'aide du moniteur série Arduino.
- Afficher un graphique à l'aide du traceur série Arduino.

Exemples de contextualisation

Pour contextualiser on peut utiliser des situations comme l'écholocalisation, le sonar, un sondeur de bateau ou un télémètre à ultrasons.

De la situation physique au traitement numérique

En supposant constante la célérité v d'une onde dans un milieu de propagation, la distance d parcourue par l'onde est proportionnelle à la durée Δt du parcours : $d = v \times \Delta t$.

Les calculs numériques avec un tableur ou Scratch, ainsi que l'expérimentation pilotée avec un programme en langage Arduino, permettent d'automatiser le calcul « $d = v \times \Delta t$ » afin d'afficher directement des distances à partir des mesures de la durée du parcours de l'onde.

Ce que les élèves doivent retenir

La distance d parcourue par une onde est proportionnelle à la durée Δt de son parcours : $d = v \times \Delta t$, avec v la vitesse de propagation (célérité) de l'onde.

Activité 1 : calcul numérique

Les propositions suivantes ne sont pas prescriptives. Il s'agit de bases pour illustrer la situation d'apprentissage, qu'il convient d'ajuster en fonction de sa place dans la progression et dans la séquence pédagogique, ou en fonction du niveau de maîtrise par les élèves de l'outil informatique choisi.

Exemples de consignes pour les élèves

Programmation : traitement informatisé des données (compétence Réaliser)

On mesure des durées de propagation d'une onde entre son émission et sa réception par le sondeur d'un bateau se déplaçant sur un océan. Le but est de chercher à cartographier le fond sous-marin. Réaliser un programme permettant d'afficher la cartographie du fond sous-marin à l'aplomb du bateau à partir des mesures de durée réalisées par le sondeur entre l'émission de l'onde et sa réception pour différentes positions du bateau.

Expérimentation numérique et validation de la programmation (compétences Valider et Analyser)

1. Vérifier avec un calcul ou avec une mesure que les distances fournies par le programme correspondent bien aux distances « réelles ».
2. À quoi peuvent être dus les écarts éventuellement observés ?
3. Si l'onde émise par le sondeur devait se propager dans un autre milieu, quel paramètre faudrait-il modifier dans le programme ?

Conclusion (compétence Communiquer)

Conclure en expliquant le principe du sonar.

Exemples d'aides et de réalisations pour la programmation

Aides pour la programmation avec un tableur (comme LibreOffice Calc)

1. Après avoir mesuré expérimentalement la durée entre l'émission d'une onde et sa réception dans l'air, programmer un tableur afin d'afficher directement la distance entre un émetteur d'onde et l'obstacle ayant renvoyé l'onde après avoir indiqué la durée mesurée entre l'émission de l'onde et sa réception.

The screenshot shows a spreadsheet with the following data:

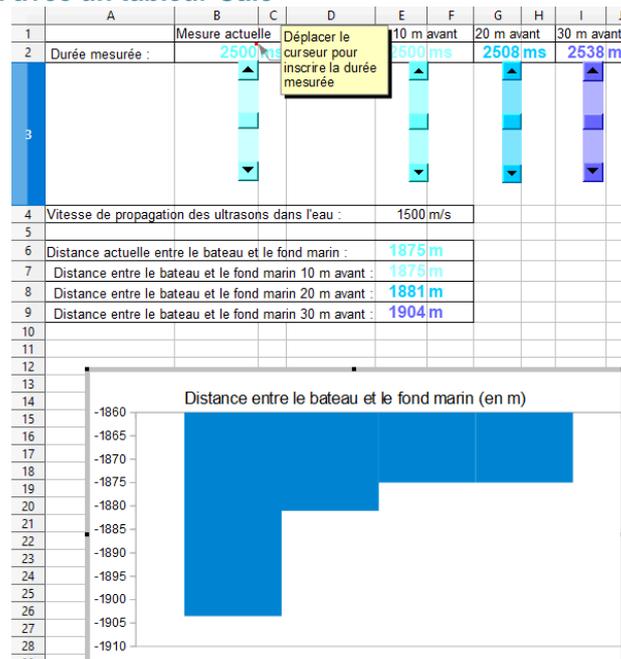
	A	B	C	D	E
1					
2	Durée mesurée :	1,4 ms			
3					
4	Vitesse de propagation des ultrason			340 m/s	
5					
6	Distance entre l'émetteur et l'obstacle :			24 cm	

The formula bar at the top shows: $=B2*D4/(2*10)$. A tooltip points to cell B2 with the text: "Noter dans cette case la durée mesurée en milliseconde".

2. Modifier la programmation en se plaçant dans le cas d'un sondeur de bateau avec une onde ultrasonore se propageant dans l'eau.
3. Recommencer l'opération pour calculer sur une même feuille plusieurs distances à partir des différentes durées de propagation de l'onde mesurées.
4. Créer un graphique permettant de visualiser les différentes distances calculées afin de proposer une cartographie du fond marin.

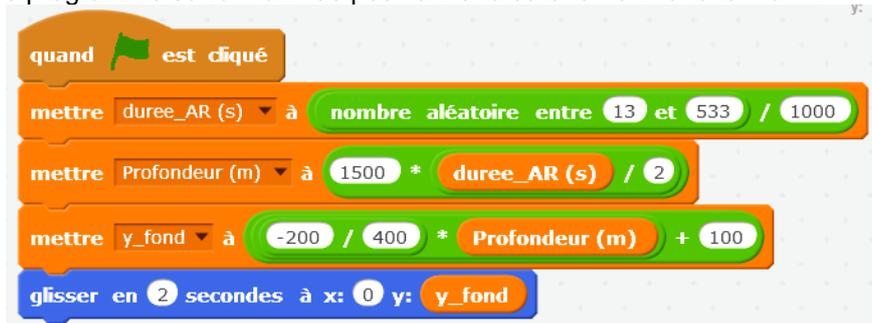
Remarque : il est également possible d'ajouter des curseurs permettant de noter plus rapidement les mesures de durées effectuées.

Exemple de réalisation avec un tableur Calc



Aides pour la programmation avec Scratch

1. Recopier le programme suivant afin de positionner aléatoirement le fond marin.



2. Expliquer le calcul effectué à la ligne n°3 : « mettre Profondeur(m) à $1500 \cdot \text{duree_AR}(s) / 2$ »

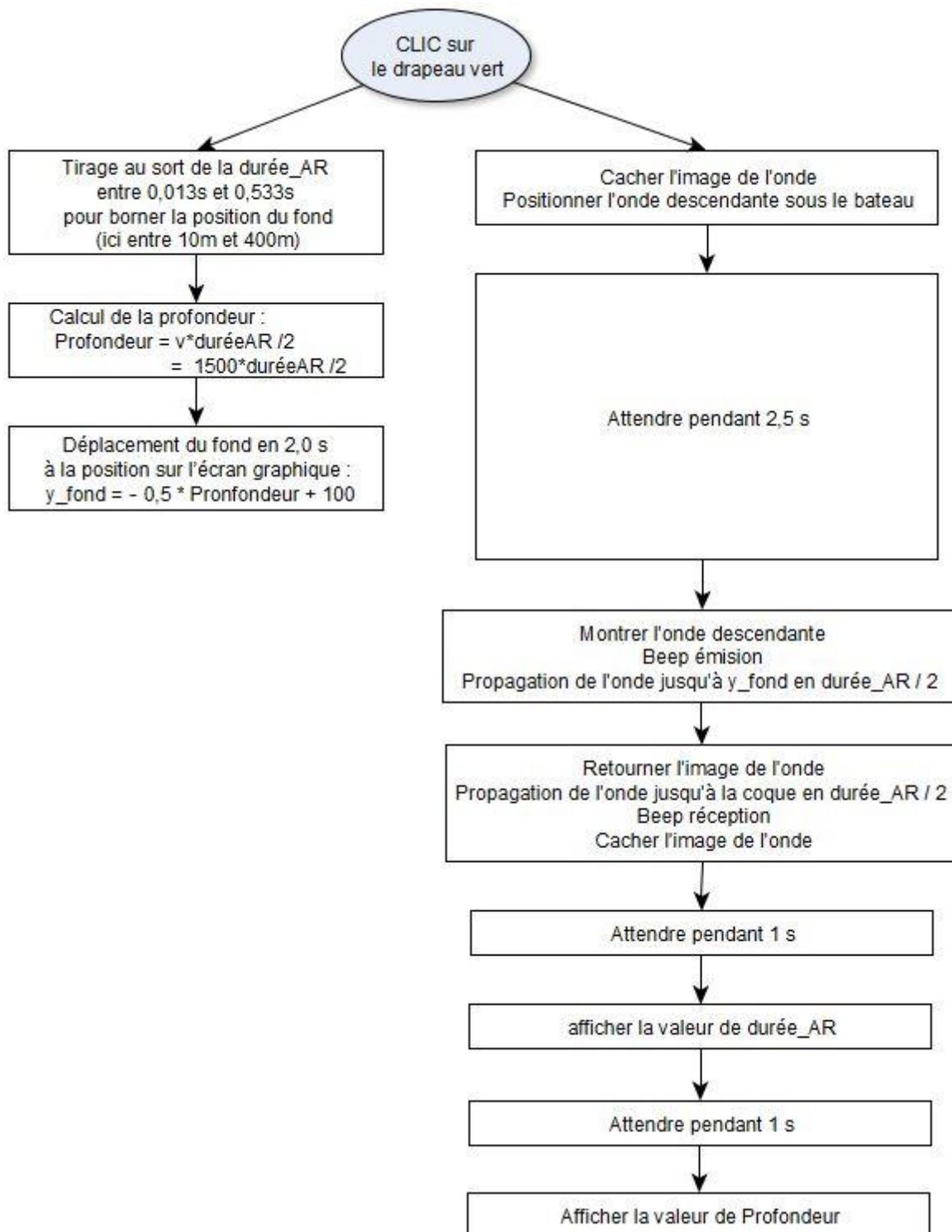
Remarques :

- La variable « duree_AR » est tirée au sort dans l'intervalle $[0,013 ; 0,533]$ afin que la variable « Profondeur » se situe entre 10 m et 400 m.
- La variable « Profondeur » est calculée en utilisant $v_{\text{son}}(\text{eau}) = 1500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- La position du fond en pixel sur l'écran graphique est calculée à l'aide

Profondeur (m)	y_fond (pixel)
0	100
400	-100

d'une transformation linéaire à partir de la profondeur en mètre (voir le tableau ci-contre).

3. Compléter le programme de la page suivante afin d'afficher la profondeur du fond marin en se basant si nécessaire sur l'algorithme ci-dessous (avec $0,5 \text{ pixel} \cdot \text{m}^{-1}$, soit $2 \text{ m} \cdot \text{pixel}^{-1}$).



Un délai de 2,5 s est appliqué pour que l'animation de l'onde ait lieu après celle du fond.

La propagation de l'onde se déroule en deux étapes afin de permettre le retournement graphique à mi-parcours.

Des délais d'une seconde sont insérés pour bien comprendre la chronologie des évènements.

Exemple de réalisation avec Scratch

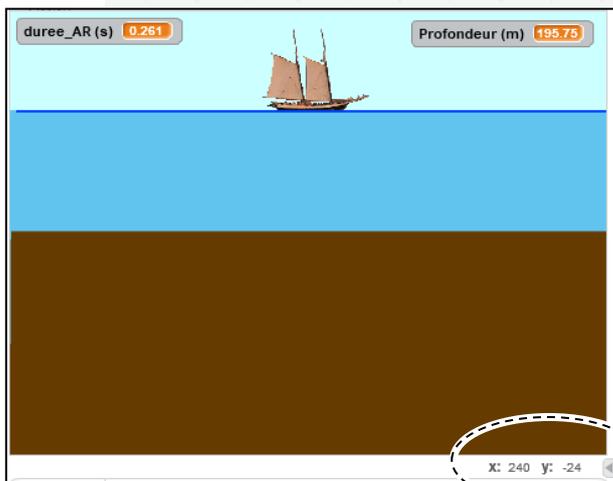
Script pour le fond mobile permettant de créer aléatoirement le fond marin.

Script pour le front de l'onde sonore : il s'agit de l'animation du mouvement du front d'onde à laquelle succède l'affichage de la durée de l'aller-retour puis de celle de la profondeur.

```

quand  est cliqué
  cacher la variable duree_AR (s)
  cacher la variable Profondeur (m)
  aller à x: 0 y: 100
  attendre 2.5 secondes
  montrer
  jouer le son sonar_émission.mp3
  glisser en duree_AR (s) / 2 secondes à x: 0 y: y_fond
  tourner de 180 degrés
  glisser en duree_AR (s) / 2 secondes à x: 0 y: 100
  jouer le son sonar_réception.mp3
  cacher
  tourner de 180 degrés
  attendre 1 secondes
  montrer la variable duree_AR (s)
  attendre 1 secondes
  montrer la variable Profondeur (m)

```



Affichage en permanence des coordonnées du pointeur de la souris dans la zone graphique.
Echelle : 1 pixel ↔ 2,0 m

Activité 2 : expérimentation pilotée par un programme

Les propositions suivantes ne sont pas prescriptives. Il s'agit de bases pour illustrer la situation d'apprentissage, qu'il convient d'ajuster en fonction de sa place dans la progression et dans la séquence pédagogique, ou en fonction du niveau de maîtrise par les élèves de l'outil informatique choisi.

Exemple de consignes pour les élèves

SITUATION DÉCLENCHANTE

- Le sondeur d'un bateau permet de connaître la profondeur du fond marin. Il peut notamment servir d'avertisseur pour éviter à un bateau de s'échouer.
- À partir du document ci-dessous, de la liste du matériel et des données à disposition, on souhaite utiliser au laboratoire ce système de sonar.

DOCUMENT MIS A DISPOSITION

Les ondes sonores ou ultrasonores peuvent servir à se repérer dans l'eau ou dans l'air. Un sondeur émet une salve d'ultrasons. Cette onde est réfléchiée par le fond marin puis elle est réceptionnée par le sondeur. C'est la durée mise par l'onde pour revenir au sondeur qui permet de calculer la profondeur du fond marin.

MATÉRIEL A DISPOSITION :

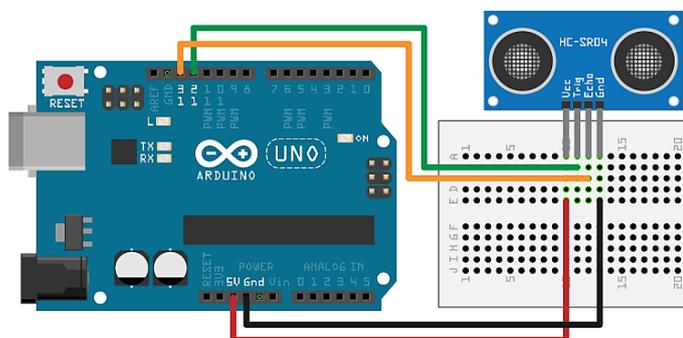
- un ordinateur relié à une carte à microcontrôleur. La carte utilisée est une carte Arduino™ uno ;
- un module ultrasons HC-SR04 pour Arduino™, constitué d'un émetteur et d'un récepteur à ultrasons capable d'émettre et de recevoir des salves d'ultrasons ;
- un programme Arduino ;
- une plaque et des fils de liaison ;
- des cubes ;
- un mètre.

DONNÉE

- Célérité des ondes sonores ou ultrasonores dans l'air : $v_{\text{air}} = 3,4 \times 10^2 \text{ m.s}^{-1}$.

Réalisation d'un montage expérimental (compétence Réaliser)

Réaliser le montage suivant, permettant de relier le module ultrasons HC-SR04 à la carte à microcontrôleur.



APPEL n°1 : APPELER LE PROFESSEUR POUR FAIRE VÉRIFIER LE MONTAGE OU EN CAS DE DIFFICULTÉ.

Modification d'un programme (compétence Analyser et Réaliser)

On dispose d'un fichier programme Arduino dont le code est rappelé ci-dessous. En utilisant les connaissances acquises et la valeur de la vitesse de propagation des ultrasons dans l'air :

1. Repérer, dans le programme ci-dessous, la ligne de code qui permet d'afficher le temps d'aller-retour de la salve entre le module ultrasons et l'obstacle.
2. Modifier cette ligne de façon à ce que le programme ci-dessous affiche la distance entre le module ultrasons et l'obstacle sur lequel se réfléchissent les salves.

```
1 #include <NewPing.h>
2
3 //Les quatre lignes suivantes servent à initialiser le module SONAR
4 #define TRIGGER_PIN 12 // Broche Arduino liée à la broche déclencheur du SONAR
5 #define ECHO_PIN 13 // Broche Arduino liée à la broche écho du SONAR
6 #define MAX_DISTANCE 200 // Distance maximale de l'objet (en cm) que l'on veut mesurer (le capteur peut aller jusque 400 à 500 cm).
7 NewPing sonar(TRIGGER_PIN, ECHO_PIN, MAX_DISTANCE); // Envoie les données ci-dessus vers le SONAR
8
9 void setup() {
10   Serial.begin(9600); // Ouvre une liaison avec le moniteur série à 115200 baud afin de visualiser le résultat de l'écho.
11 }
12
13 void loop() {
14   delay(500); // Attend 500 ms entre chaque salve (soit 2 salves par seconde). Le plus court délai entre 2 salves ne doit pas être inférieur à 29 ms
15   unsigned int uS = sonar.ping(); // Envoie la salve, et récupère la durée d'aller-retour de la salve (en microsecondes) dans la variable uS.
16
17   Serial.print(uS); // Affiche le temps d'aller-retour uS (affiche zéro s'il ne reçoit pas d'écho)
18   Serial.println(); // Passe à la ligne
19 }
20
21
```

APPEL n°2 : APPELER LE PROFESSEUR POUR LUI PRÉSENTER LE PROGRAMME PROPOSÉ OU EN CAS DE DIFFICULTÉ.

Mise en œuvre du protocole expérimental (compétence Réaliser)

Mettre en œuvre le protocole expérimental proposé en téléversant le programme modifié dans la carte Arduino. La visualisation des données se fera en sélectionnant « Moniteur série » dans « outils ».

APPEL n°3 : APPELER LE PROFESSEUR POUR LUI PRÉSENTER LA MISE EN ŒUVRE DU PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL OU EN CAS DE DIFFICULTÉ.

Expérimentation numérique et validation de la programmation (compétences Valider et Analyser)

1. Vérifier que la ou les distances fournies par le programme correspondent bien aux distances réelles.
2. À quoi peuvent être dus les écarts éventuellement observés ?
3. Si l'onde émise par le sondeur devait se propager dans un autre milieu de propagation, quel paramètre faudrait-il modifier dans le programme ?

Visualisation du relief du fond marin (compétences Analyser et Réaliser)

Le langage Arduino permet, comme on l'a vu, de visualiser les valeurs reçues à l'aide du « moniteur série ». Le logiciel peut également afficher ces valeurs sous forme d'un graphique en fonction du temps : la visualisation des données se fera en sélectionnant « traceur série » dans « outils ».

1. Proposer un protocole expérimental permettant de simuler le déplacement d'un bateau au-dessus d'un « fond marin » réalisé à l'aide de boîtes empilées.

APPEL n°4 : APPELER LE PROFESSEUR POUR LUI PRÉSENTER LE PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL OU EN CAS DE DIFFICULTÉ.

2. Réaliser le protocole expérimental.

Exemples d'aides à fournir aux élèves pour la programmation en langage Arduino

Modification d'un programme

Il faut modifier la ligne de façon à ce qu'elle calcule la distance liée au temps d'aller-retour. Il ne faut pas oublier de convertir la durée en seconde.

Visualisation du relief du fond marin

On dépose au sol, au pied de la pailasse, plusieurs empilements de cubes différents de façon à réaliser un « fond marin » de profondeur variable.

On déplace ensuite le module ultrasons à la verticale des cubes, de façon à visualiser le signal écho à l'aide du « traceur Arduino ».

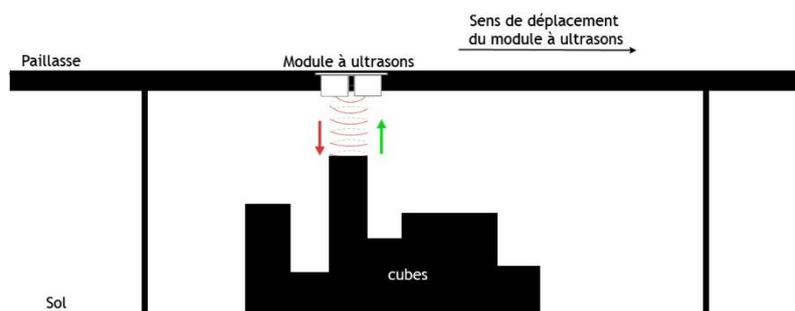
Exemples de solutions à fournir aux élèves pour la programmation en langage Arduino

- C'est la ligne 17 qui affiche μS qui correspond au temps d'aller-retour en microsecondes.
- Il faut modifier la ligne de façon à ce qu'elle calcule la distance liée au temps d'aller-retour. Cette distance vaut $d = v_{air} \times \mu S / 2$. Il ne faut pas oublier de convertir la durée μS en secondes. Il faut donc réécrire la ligne 17 de la façon suivante :

```
17 Serial.print(340*uS*1E-6/2);  
18 // Affiche la distance entre le module SONAR et l'obstacle (affiche zéro s'il ne reçoit pas d'écho)
```

Visualisation du relief du fond marin

On dépose au sol, au pied de la pailasse, plusieurs empilements de cubes différents de façon à réaliser un « fond marin » comme l'illustre le schéma ci-dessous.



Remarque : une activité d'expérimentation pilotée par un programme en langage Arduino a été aussi proposée dans les [ressources pour le cycle 4](#).

Vous trouverez dans le dossier « [Retard, distance et vitesse de propagation d'une onde.zip](#) » les fichiers présentant un exemple de réalisation et les fichiers utilisés dans les activités proposées.