

APPROCHE PLURIDISCIPLINAIRE
SUR LA VALIDATION DE LA CONFORMITE D'UN CAPTEUR
NIVEAU PRE-BAC ET POST BAC
(Mathématiques, Physique et SII)

DOSSIER ACTIVITE



SOMMAIRE

Objectifs et Compétences de formation (SII, Mathématiques, Physique).....	3 - 4
Présentation (mise en situation).....	5
Problématique.....	6
Investigation.....	6
Partie 1 : Validation du modèle physique du capteur ultrason	7
Partie 2 : Représentation du modèle physique dans un repère orthonormé.....	7
Partie 3 : Scénarios A	7
Partie 3 : Scénario B.....	8
Partie 4 : Principe d'exploitation de l'ultrason en STS CIRA.....	8
Annexe 1 : Schéma de principe de la FDU90 et FMU90.....	9
Annexe 2 : Mesure du signal echo du capteur HC-SR04.....	10
Annexe 3 : Outils mathématiques	11
Annexe 4 : Activités d'aide en physique	12 - 13
Documents réponse partie 2.....	14
Documents réponse partie 3.....	15 -18
Documents réponse partie 4.....	19

Les objectifs de formation et compétences développées

SII:

Objectifs de formation:

O6 – Préparer une simulation et exploiter les résultats pour prédire un fonctionnement, valider une performance ou une solution.

O7 – Expérimenter et réaliser des prototypes ou des maquettes.

Compétences développées:

CO6.1. Expliquer des éléments d'une modélisation multiphysique proposée relative au comportement de tout ou partie d'un produit.

CO6.3. Évaluer un écart entre le comportement du réel et les résultats fournis par le modèle en fonction des paramètres proposés, conclure sur la validité du modèle.

CO6.4. Choisir pour une fonction donnée, un modèle de comportement à partir d'observations ou de mesures faites sur le produit.

CO6.5. Interpréter les résultats d'une simulation et conclure sur la performance de la solution.

CO7.4. Réaliser et valider un prototype ou une maquette obtenus en réponse à tout ou partie du cahier des charges initial.

CO7.5. Mettre en œuvre un scénario de validation devant intégrer un protocole d'essais, de mesures et/ou d'observations sur le prototype ou la maquette, interpréter les résultats et qualifier le produit.

CO7.6. Expérimenter

MATHEMATIQUES: «Un outils au service de ...»

Contenus:

- Identifier une situation de proportionnalité entre deux grandeurs.
- Conversions d'unités. (proportionnalité / puissances de 10).
- Fonctions affines (linéaires).

Compétences et capacités:

S'informer:

- rechercher, extraire et organiser l'information.

Calculer:

- déterminer une quatrième proportionnelle.
- manipuler des puissances de 10.
- déterminer l'expression algébrique d'une fonction affine ou linéaire à partir de l'image de réels.
- déterminer une image par une fonction affine ou linéaire dont on connaît l'expression algébrique.

Représenter:

- Tracer la courbe d'une fonction affine ou linéaire, à partir de son expression algébrique et dans un repère adapté.

PHYSIQUE / CHIMIE:

Notion et contenus

- Propriétés, propagation des ondes sonores et ultrasonores. Phénomène de réflexion.

Capacités exigibles (Activités expérimentales)

- Visualiser, à l'aide d'un système d'acquisition, des représentations temporelles d'une tension électrique périodique, d'un courant électrique périodique dans un circuit et en analyser les caractéristiques (période, fréquence, composantes continue et alternative).
- Déterminer ou mesurer les grandeurs physiques associées à une onde sonore ou ultrasonore : célérité, période, amplitude, fréquence et longueur d'onde.
- Citer l'ordre de grandeur de la célérité du son dans l'air.
- Évaluer la célérité du son dans quelques milieux : air, eau, métal.
- Déterminer des distances à partir de la propagation d'un signal avec ou sans réflexion.
- *Mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant d'observer les phénomènes de transmission, d'absorption et de réflexion d'une onde.*

CIRA (Contrôle Industriel Régulation Automatique):

Notions / Contenus

- 1.1 Mesure de niveau
- 1.2 Métrologie
- 1.3 Convertisseur de signaux

Capacités exigibles

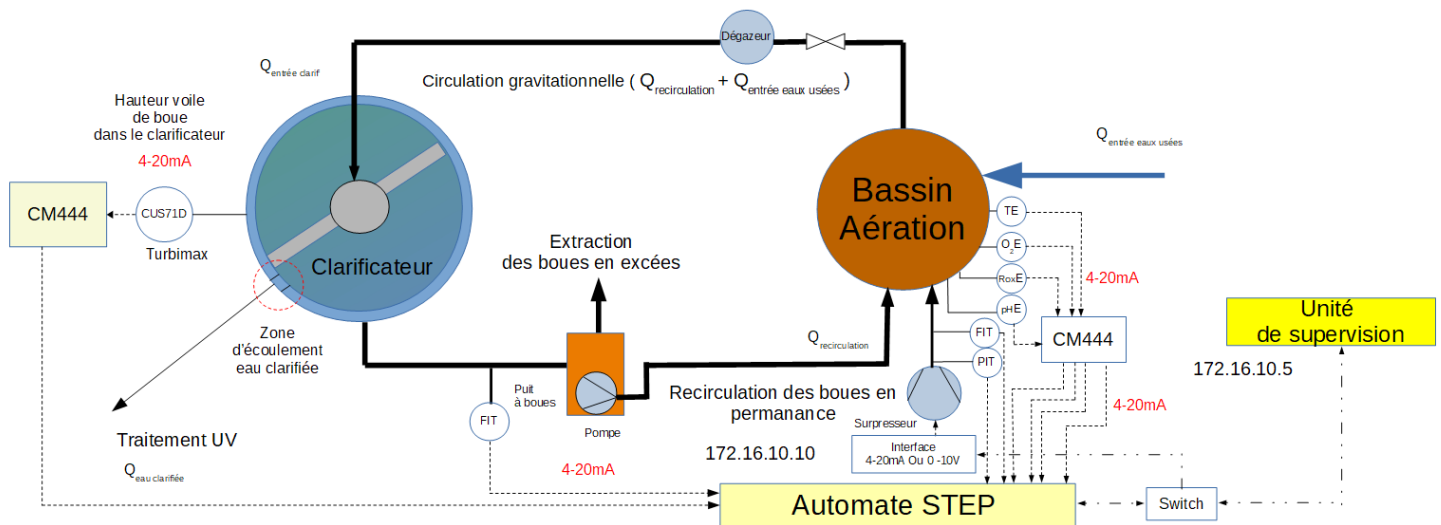
- 1.1.1 Identifier les principes physico-chimiques mis en œuvre dans les différents capteurs.
- 1.1.2 Pratiquer une démarche expérimentale de réglage de l'instrument en fonction du cahier des charges
- 1.2.1 Définir les règles d'étalonnage
- 1.3.1 Pratiquer une démarche expérimentale pour la mise en œuvre et le réglage d'un convertisseur de signaux de procédés usuels.
- 1.3.2 Exploiter une loi de conformité (la boucle 4-20mA)

I) Présentation: Mise en situation

La mesure du niveau du voile de boue dans le bassin clarificateur du PRADO se fait par une sonde à ultrason FDU (CUS71D).

Cette sonde mesure le temps mis par le signal pour faire l'aller et le retour et le transfert au transmetteur CM444 qui va déterminer la hauteur du voile. Le contrôle de cette hauteur est très important pour le site. La mesure du voile de boue joue un rôle fondamental dans l'économie et la bonne marche des stations d'épuration.

Synoptique de l'environnement de l'étude:



En STS CIRA nous utilisons ce procédé afin d'évaluer le niveau de l'eau dans un réservoir. Nous avons transposé cette fonction sur le cycle STI2D en remplaçant la sonde FDU par un capteur à ultrason HC-SR04 qui utilise le même principe physique pour évaluer une distance qui la sépare d'un obstacle dans un environnement où la température moyenne $\Theta^{\circ}\text{C} = 30^{\circ}\text{C}$.

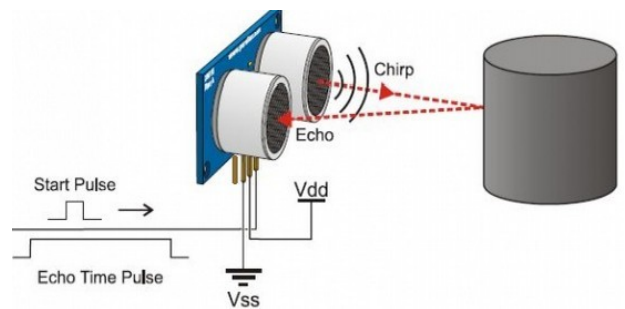
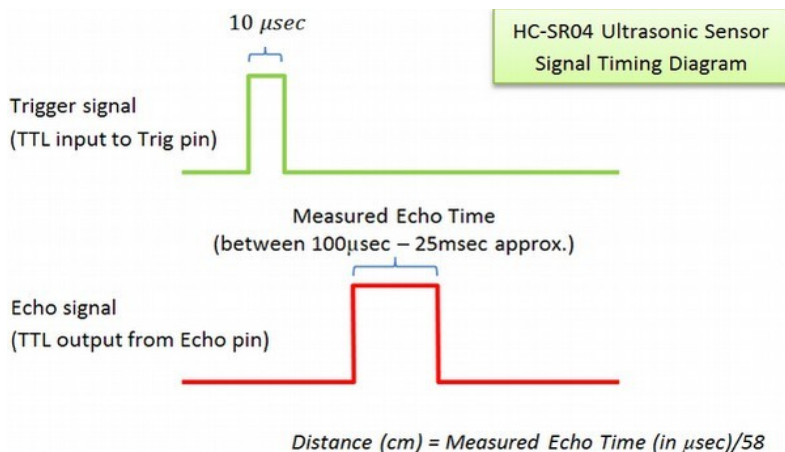


Figure 2

II) PROBLEMATIQUE:

**Comment valider la conformité des mesures renvoyées par le HC-SR04
à l'unité de traitement (Micro contrôleur)?**

III) Investigation

L'ultrason est une onde mécanique et élastique, qui se propage au travers de supports fluides, solides, gazeux ou liquides. Les fréquences des ultrasons se situent au-delà de 20 000 Hz, trop élevées pour être perçues par l'oreille humaine. Un flux d'ultrasons de très haute intensité, et focalisé, peut être perçu par le corps humain, via d'autres mécanorécepteurs. Le nom vient du fait que leur fréquence est trop élevée pour être audible pour l'oreille humaine (le son est trop aigu : la gamme de fréquences audibles par l'être humain se situe entre 20 et 20 000 Hz. Ces seuils sont cependant variables avec l'âge), de la même façon que les infrasons désignent les sons dont la fréquence est trop faible pour être perceptible par l'oreille humaine. Lorsque la fréquence est audible pour l'oreille humaine, on parle simplement de « son ».

Les ultrasons sont utilisés dans l'industrie ainsi que dans le domaine médical. Au lycée Jean Claude Fruteau nous exploitons les ultrasons afin d'évaluer le niveau de l'eau dans plusieurs cuves.

Partie 1: Validation du modèle mathématique du capteur ultrason:

Q1) Donner la relation fondamentale entre la distance, la vitesse et le temps.

Q2) Déterminer alors le modèle mathématique du capteur HC-SR04

(cf Annexe 3 – Outils Maths 1)

(cf Annexe 4 – Activité 2)

Partie 2: Représentation du modèle mathématique dans un repère orthonormé

Q1) Compléter le tableau du document réponses **2a** donnant la distance_(cm) en fonction de la durée des echos_(μs).

Q2) Représenter dans un repère orthonormé la distance en fonction de la durée des echos en utilisant le document réponse **2b**. (cf annexe 3 – Outils maths 2)

Partie 3: Scénarios

Scénario A: Nous souhaitons afficher sur un écran LCD, la distance entre le capteur et un obstacle simulant le niveau de l'eau dynamique dans un réservoir.

Q1) Compléter alors l'algorithme du document réponse **3a**.

Q2) Compléter le programme du document réponse **3b** en intégrant le modèle mathématique du capteur identifié à la question Q2 de la partie 1.

Q3) Compléter le schéma de câblage du document réponse **3c** en vous aidant des variables déclarées dans le programme du document réponse **3b**.

Q4) Transférer le programme dans l'arduino et valider le bon fonctionnement du capteur

Q5) Compléter le tableau des mesures du document réponse **3d** en utilisant un oscilloscope comme appareil de mesure.

Q6) L'erreur absolue tolérée sur le capteur est de $\pm 0,3$ cm. Valider la conformité de ce capteur sur l'étendue de mesure proposée par le tableau du document réponse **3d**.

Q7) Intégrer les durées echo mesurées dans la feuille de calcul de la Q2 de la partie 2 et comparer les deux droites.

Q8) Compléter la chaîne d'information du document réponse **3e**

Q9) En utilisant les signaux echo de l'**annexe 2**, retrouver les distances mesurées par le HC-SR04.
(identifier l'amplitude du signal, la base de temps et la période du signal)

Q10) Visualiser ces mêmes signaux sur un oscilloscope en utilisant les distances de la question Q9.

(cf Annexe 4 Activité 1 et 3)

Scénario B: Nous souhaitons utiliser une distance de référence afin d'activer ou de désactiver un actionneur qui est représenté le plus souvent par une vanne de régulation. Ici nous remplacerons cette vanne par une LED verte pour indiquer son activation et une LED rouge pour sa désactivation.

- Q1)** Compléter alors l'algorithme du document réponse **3f** si on souhaite allumer la LED rouge lorsque la distance est inférieure ou égale à 20 cm.
- Q2)** Compléter le programme du document réponse **3g** en intégrant le test de la question précédente
- Q3)** Compléter le schéma de câblage du document réponse **3h** en vous aidant des variables déclarées dans le programme du document réponse **3g**
- Q4)** Transférer le programme dans l'arduino et valider le bon fonctionnement du capteur
- Q5)** Valider le basculement des LED lorsque la distance devient inférieure à 40 cm
- Q6)** Compléter la chaîne d'information du document réponse **3i**

Partie 4 : Principe d'exploitation de l'ultrason en STS CIRA

L'**annexe 1** nous donne une vision sur le principe de fonctionnement d'un capteur à ultrason industriel. La détection de la distance se fait exactement en utilisant le principe vu dans les parties précédentes. Le transmetteur associé à la sonde calcule le niveau et la converti en un courant 4-20mA exploité par des automates par la suite.

- Q1)** En vous aidant de l'**annexe1** donner l'étendue de mesure du capteur **L** en cm et **t** en μs pour :

$$E = 70 \text{ cm et } DB = 70 \text{ mm}$$

- Q2)** La FMU 90 convertit l'étendue de la durée echo en un signal 4-20 mA. Ce signal est transféré par la suite à un calculateur afin d'être traité par un programme. (cf annexe 3 – Outils maths 3)



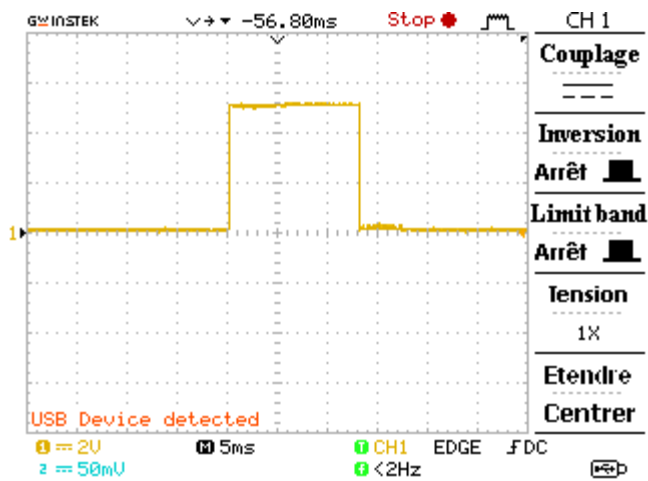
2.1 Définir l'équation de la droite donnant la variation de $i_{(mA)}$ en fonction de la variation de $L_{(cm)}$ sur l'intervalle $[30 - 93]$ pour $L_{(cm)}$ et en fonction de la variation de $t_{(\mu s)}$ de D.

2.2 Représenter : $i_{(mA)} = f(L)_{cm}$ et $L_{(cm)} = f(t)_{\mu s}$ en utilisant le document réponse 4.

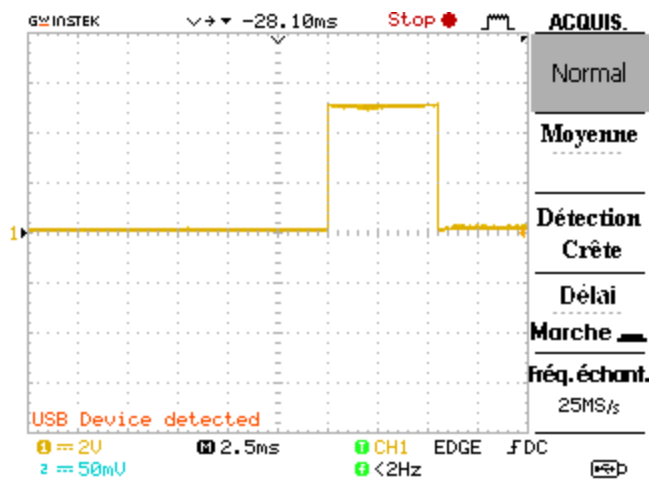
- Q3)** Comparer la droite $L_{(cm)} = f(t)_{\mu s}$ à celle de la question Q2 de la partie 2.

Annexe 2 :

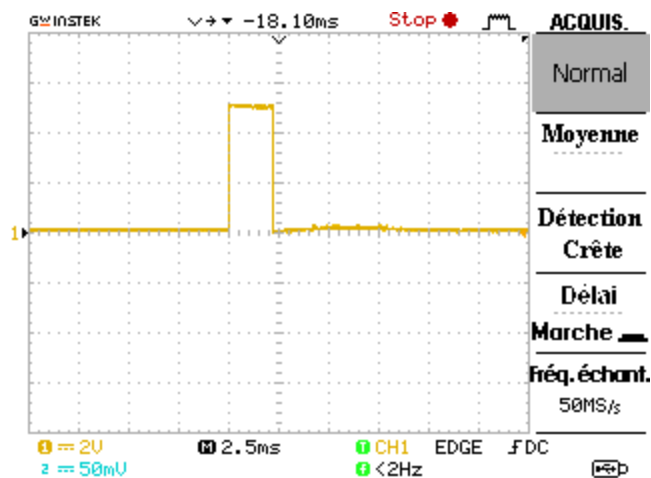
Mesure 1 :



Mesure 2 :



Mesure 3 :



Annexe 3 :

Outils mathématiques 1



Outils mathématiques 2



Outils mathématiques 3



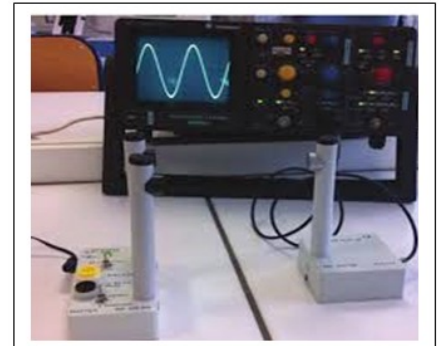
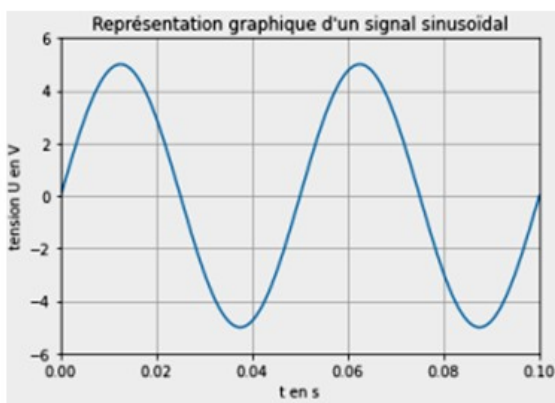
Annexe 4 :

ACTIVITE ULTRASONS 1 STI2D (Physique chimie)

Activité 1 : Caractéristiques des ondes ultrasonores

- Alimenter l'émetteur d'ultrasons par le générateur,
- Choisir le mode « **continu** »,

On visualise le signal recueilli aux bornes d'un récepteur sur la voie 1 de l'oscilloscope : voir oscillogramme ci-dessous



- Mesurer l'**amplitude** U_m du signal,
- Mesurer la **période** T en seconde,
- En déduire la **fréquence** f en hertz.
- Est-ce que le signal correspond bien à des ultrasons ?

Je sais pas comment faire....



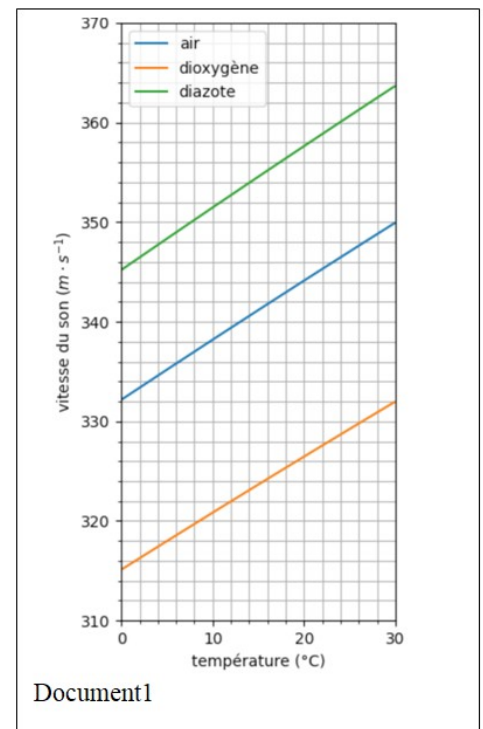
Activité 2 : Longueur d'onde des ultrasons

- Calculer la longueur d'onde λ des ondes ultrasonores en utilisant la formule reliant la célérité, la fréquence, et la longueur d'onde.

Données : Célérité des sons ou ultrasons en fonction de la température

Document 1 : graphique ci-contre pour la célérité en fonction de la température dans différents gaz

Document 2 : formule de la célérité en fonction de la température

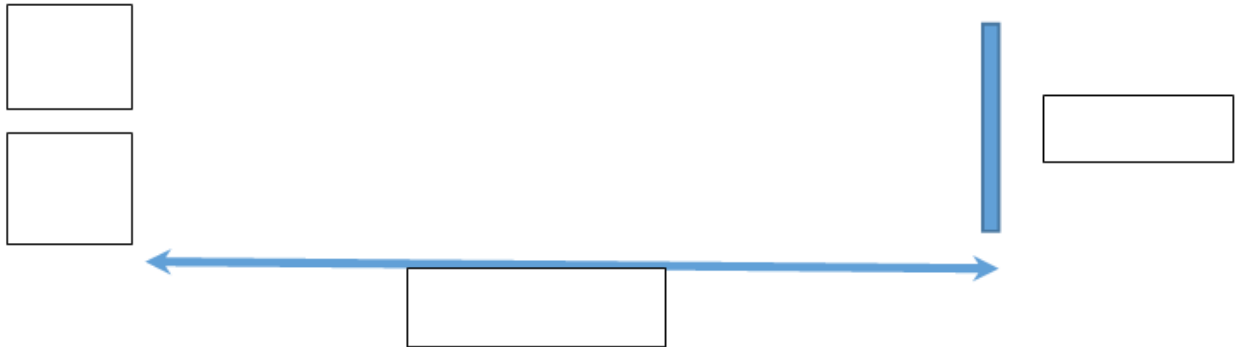


$$c_{\text{ref}} = 331,5 \sqrt{\frac{\theta + 273,15}{273,15}}$$

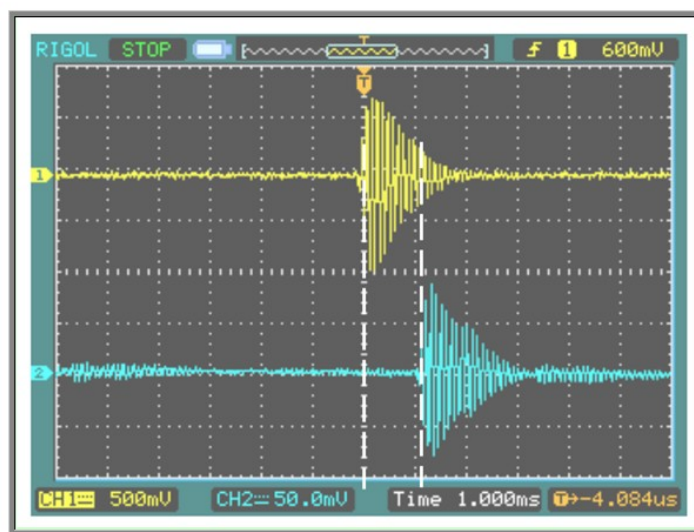
Document 2

Activité 3 : Utilisation de la réflexion des ultrasons pour déterminer la distance d à laquelle se trouve un obstacle

Un émetteur d'ultrasons E émet une salve d'ultrasons et le récepteur R permet de visualiser la salve retour selon le principe schématisé:



- Déterminer la distance d à partir des deux salves visualisées sur l'oscillogramme ci-dessous.



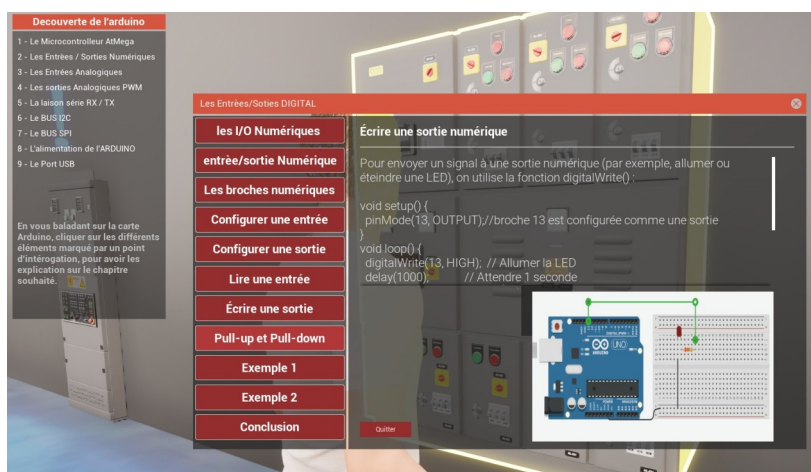
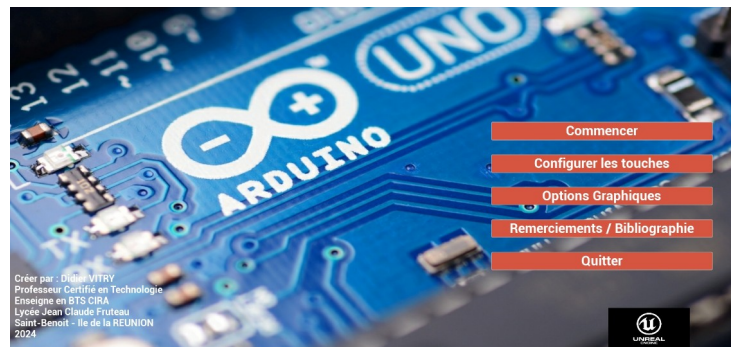
Je ne sais pas comment faire....



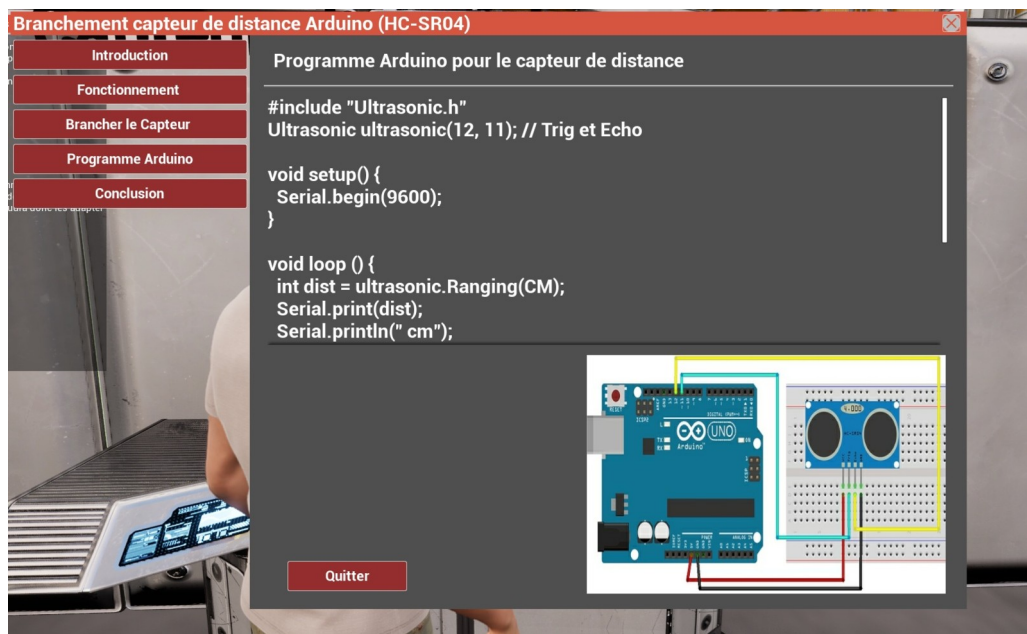
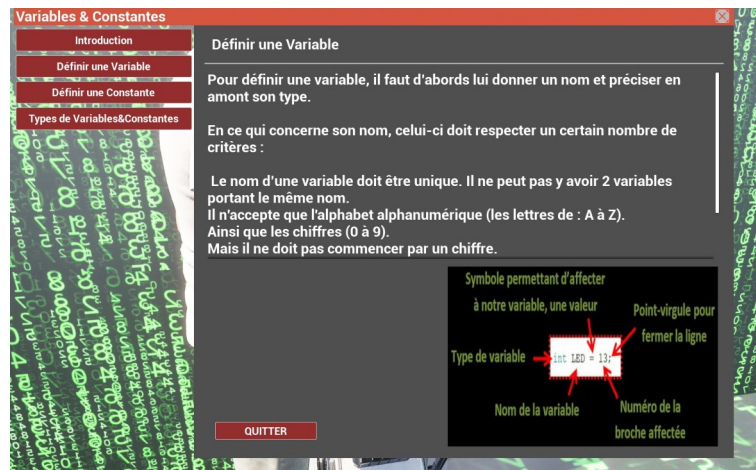
Annexe 5 : Découverte d'Arduino et de son environnement

Afin de découvrir l'environnement de la carte Arduino, lance le jeu (**DecouvArduino.rar**) qui te donnera des informations sur les entrées et sorties du module.

Quelques captures des fenêtres du jeu.



Approche pluridisciplinaire SII

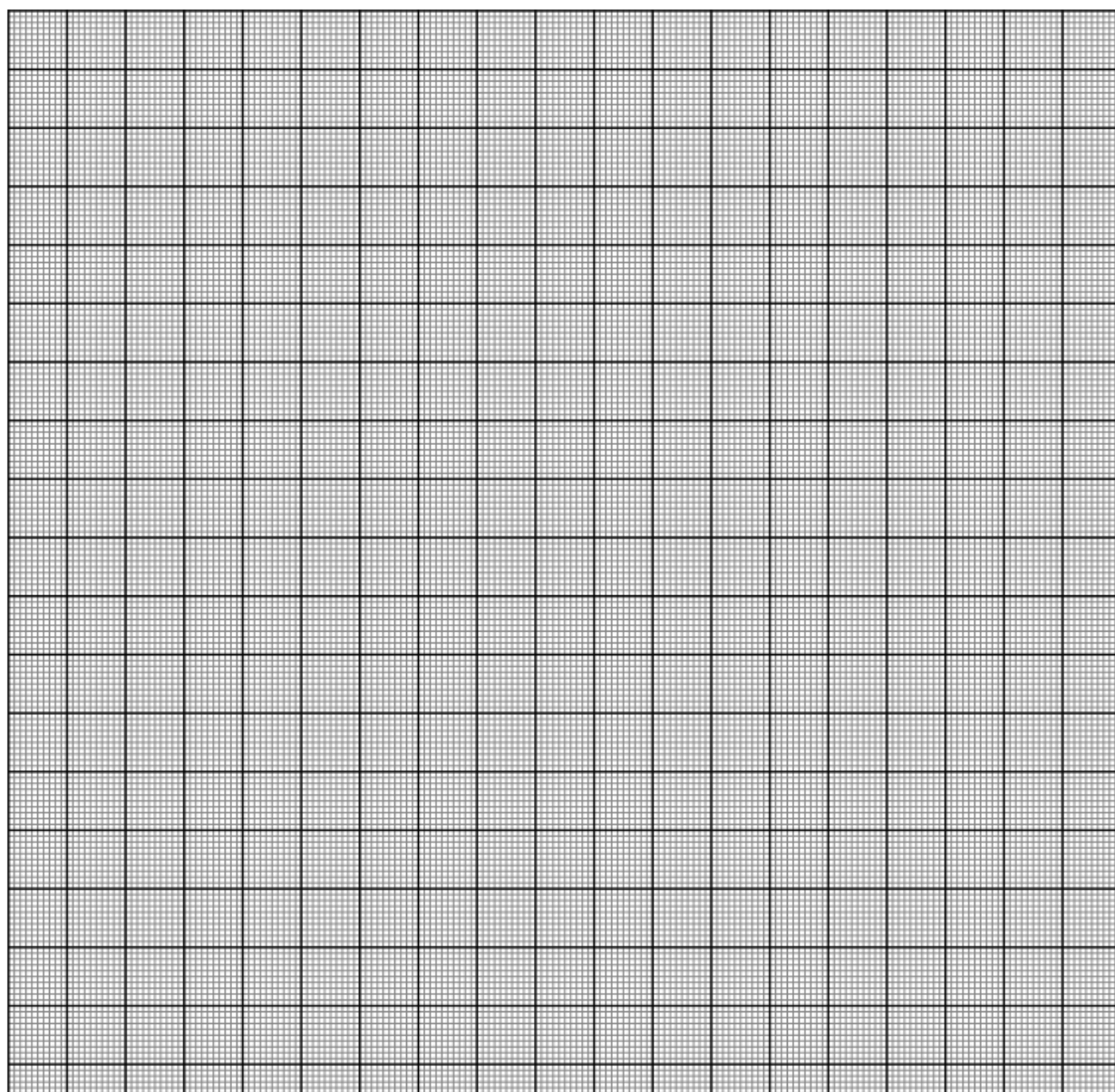


DOCUMENTS REPONSES PARTIE 2

2a Données réelles du modèle physique

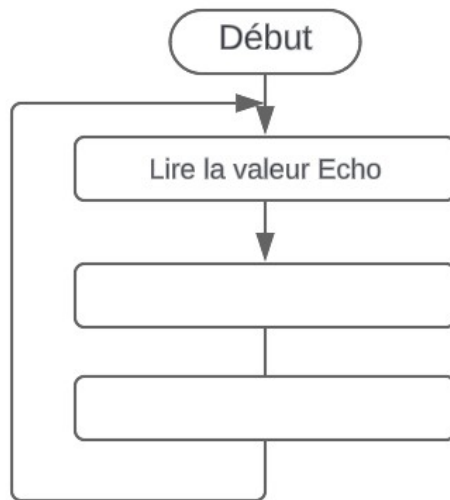
Durée echo (μs)							
Distance _(cm)	2	40	60	100	150	187	200

2b Distance en fonction de la durée des echos



DOCUMENTS REPONSES PARTIE 3

3a Algorithme



3b Programme

```

#include "Wire.h"
#include "LiquidCrystal_I2C.h"

char buff[16];

int trigPin = 11; // Trigger
int echoPin = 12; // Echo
long duration, distance;

int LedRouge = 7;
int LedVerte = 6;

LiquidCrystal_I2C LCD(0x27,16,2);
    
```

```

void setup() {

    //Serial Port begin
    Serial.begin (9600);
    //Define inputs and outputs
    pinMode(trigPin, OUTPUT);
    pinMode(echoPin, INPUT);

    pinMode(LedRouge, OUTPUT);
    pinMode(LedVerte, OUTPUT);

    LCD.init(); // initialisation de l'afficheur
    LCD.backlight();

    LCD.setCursor(0, 0);
    LCD.print("Distance :");

}
    
```

```

void loop() {

    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(5);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);

    pinMode(echoPin, INPUT);
    duration = pulseIn(echoPin, HIGH);

    .....;

    /* Serial.print(distance);
    Serial.print(" cm");
    Serial.println();*/

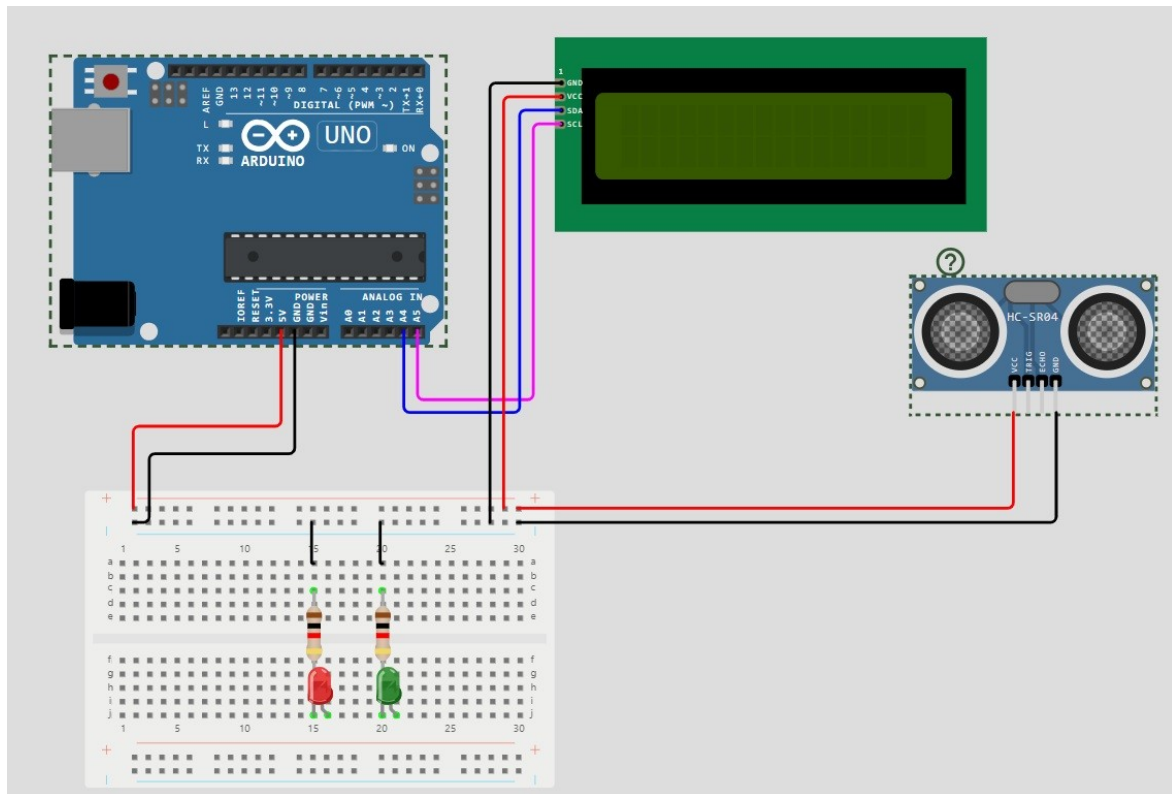
    LCD.setCursor(0, 1);

    sprintf(buff, "%3d distance ", cm);
    LCD.print(buff);

    delay(250);

}
    
```

3c Schéma de câblage



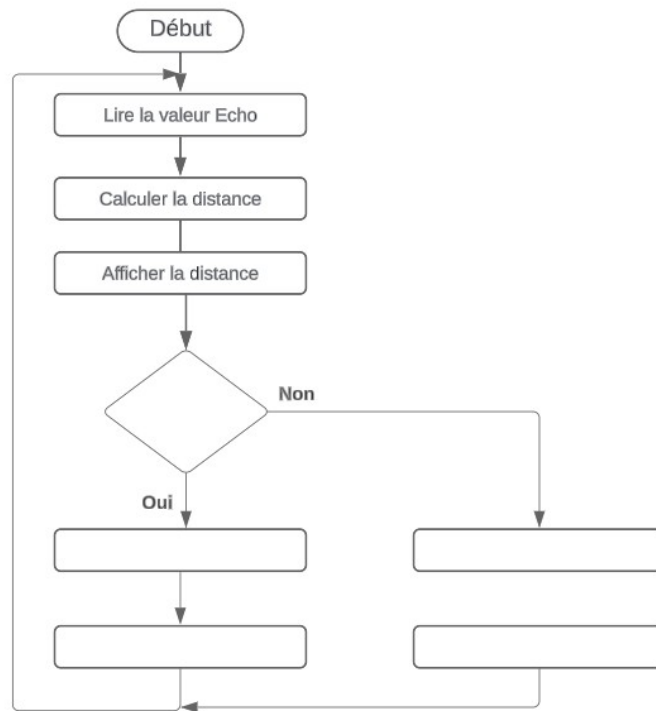
3d Mesure de la durée des echos

Durée echo (μs) mesurée	2300	3500	5800	8700	18500	11600
Distance définie avec echo mes						
Distance_(cm) attendue	40	60	100	150	187	200
Erreur absolue						

3e Chaîne d'information



3f Algorithme à LED



3g Programme

```

#include "Wire.h"
#include "LiquidCrystal_I2C.h"

char buff[16];

int trigPin = 11; // Trigger
int echoPin = 12; // Echo
long duration, distance;

int LedRouge = 7;
int LedVerte = 6;

LiquidCrystal_I2C LCD(0x27,16,2);
    
```

```

void setup() {
  //Serial Port begin
  Serial.begin (9600);
  //Define inputs and outputs
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);

  pinMode(LedRouge, OUTPUT);
  pinMode(LedVerte, OUTPUT);

  LCD.init(); // initialisation de
  l'afficheur
  LCD.backlight();

  LCD.setCursor(0, 0);
  LCD.print("Distance :");
}
    
```

```

void loop() {

  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  pinMode(echoPin, INPUT);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);

  .....;

  If (.....) {
    digitalWrite(LedVerte, HIGH);
    digitalWrite(LedRouge, LOW);
  } else {
    digitalWrite(LedVerte, LOW);
    digitalWrite(LedRouge, HIGH);
  }
}
    
```

```

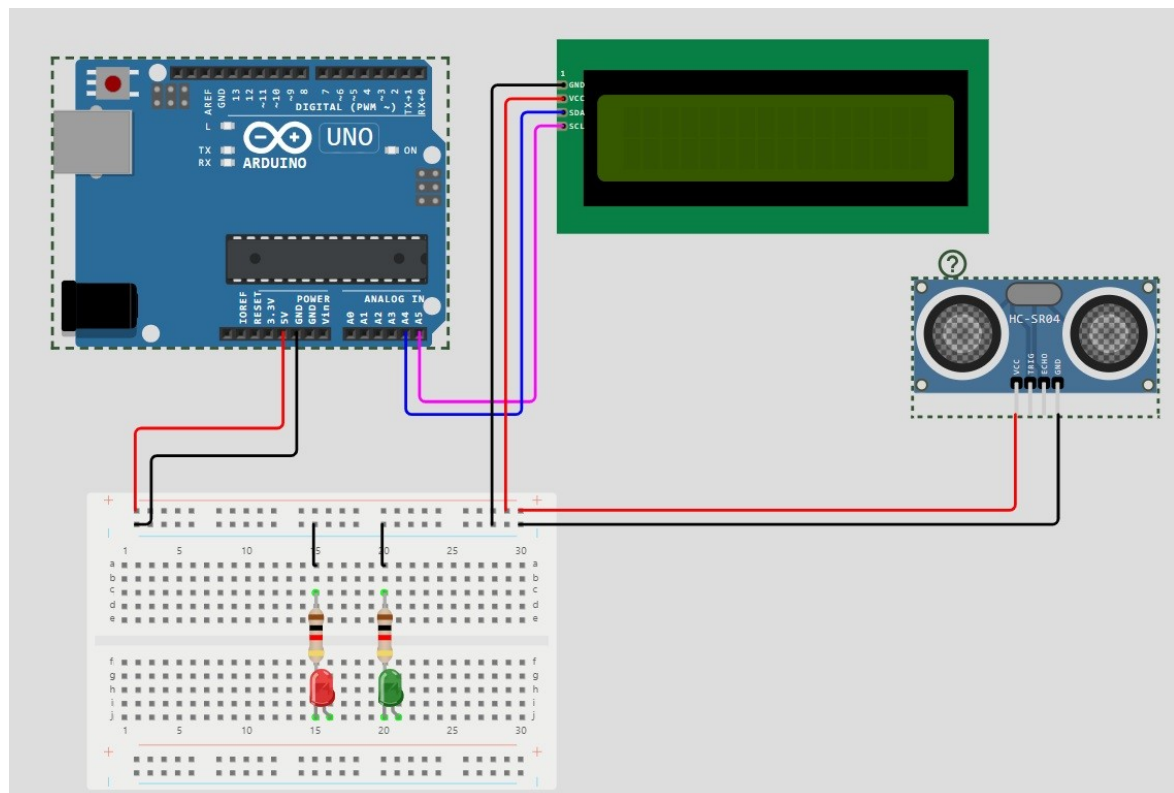
/* Serial.print(cm);
  Serial.print(" cm");
  Serial.println();*/

  LCD.setCursor(0, 1);

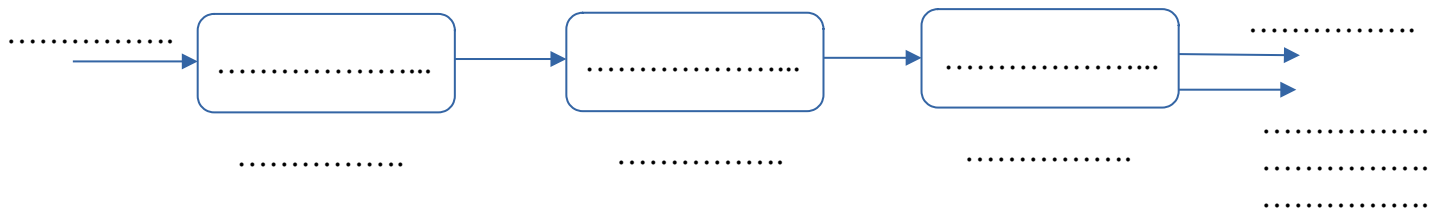
  sprintf(buff, "%3d distance ", cm);
  LCD.print(buff);

  delay(250);
}
    
```

3h Schéma de câblage



3i Chaîne d'information



DOCUMENTS REPONSES PARTIE 4

2.2 $i_{(mA)} = f(L)_{cm}$ et $L_{(cm)} = f(t)_{\mu s}$

