

TP1 : Capteur de distance à ultrason HC-SR04

Objectif du TP

- ✿ Schéma de câblage des différents composants avec la carte ARDUINO MEGA.
- ✿ Etalonnage du capteur de distance à ultrason HC-SR04.
- ✿ Utilisation d'EXCEL pour le calcul de la pente de la courbe.
- ✿ Calcul de la vitesse des ultrasons par mesure de la température.
- ✿ Exploitation pratique du capteur comme détecteur de proximité et radar de recul.

1. Introduction : physique des ultrasons

Le son est un mouvement ondulatoire mécanique qui se propage dans un milieu élastique. La propagation de l'onde sonore résulte de l'interaction des molécules du milieu entre-elles. Les ondes acoustiques ne peuvent pas se propager dans le vide.

2. Spectre des ondes sonores

L'oreille humaine ne peut écouter que les sons dont la fréquence est comprise entre 20 Hz et 20 KHz. Ce sont les sons audibles. En dessous de 20 Hz, ce sont les infrasons. Au-dessus de 20 KHz, ce sont les ultrasons.

0 Hz	20 Hz	20KHz
Infrason (non audible)	Son audible	Ultrason (non audible)

3. Vitesse de propagation

La vitesse de propagation de l'onde acoustique dépend de la température, de l'altitude et du milieu de propagation :

T[°C]	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
Vitesse (air)	325,4	328,5	331,5	334,5	337,5	340,5	343,4	346,3	349,2

Altitude	0	400	800	1 000	2 000	4 000	8 000	10 000	12 000
Temp.	15,00	12,40	9,80	8,50	2,00	-10,98	-36,90	-49,90	-62,90
Vitesse	340,5	338,8	337,2	336,4	332,5	324,6	308,1	299,5	295,1

Milieu	Air	Eau	PVC	Béton	Glace	Hêtre	Verre	Acier	Granite
Vitesse	340,5	1 480	2 200	3 100	3 200	3 300	5 300	5 750	6 200

4. Utilisation des ultrasons pour la mesure de la distance

4.1. L'émetteur et le récepteur sont situés dans deux endroits différents

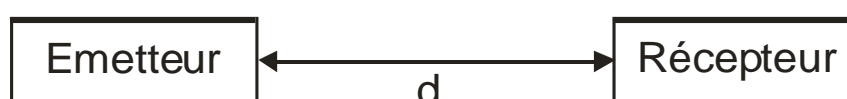


Fig. 1 : L'émetteur et le récepteur sont situés dans deux endroits différents.

Le fonctionnement d'un capteur de distance à ultrasons est basé sur l'émission d'une onde ultrasonore puis sa réception. Un chronomètre mesure le temps t séparant l'émission de la réception.

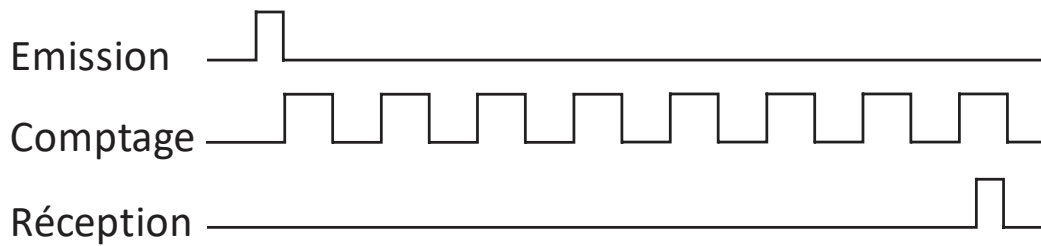


Fig. 2 : Chronogramme des signaux émission-comptage-réception

La distance d est déterminée par $d = vt$, v étant la vitesse de l'onde ultrasonore dans le milieu. Cependant, cette méthode n'est pratique pour la mesure de la distance du fait de l'éloignement de l'émetteur et du récepteur, on lui préfère celle où l'émetteur et le récepteur sont sur un même boîtier.

4.2. L'émetteur et le récepteur sont situés dans le même boîtier

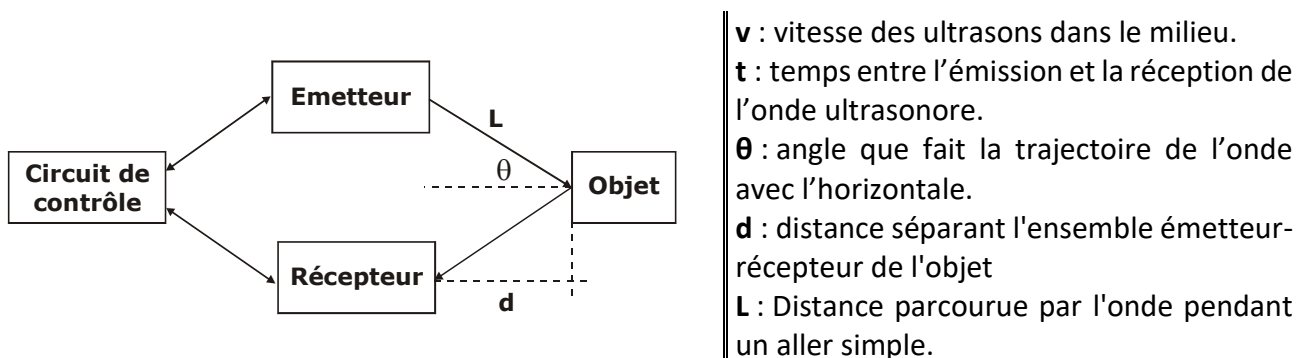


Fig.3 : L'émetteur et le récepteur sont situés dans le même boîtier

Dans ce cas, on démontre que la distance d se calcule comme suit :

$$d = \frac{1}{2} v \cdot t \cdot \cos\theta$$

avec :

v : vitesse de l'onde dans le milieu
 t : temps parcouru entre l'émission et la réception
 θ : angle entre émetteur et récepteur

Si on considère que

A 25°C, l'onde ultrasonore se déplace dans l'air à la vitesse $v = 346,3$ m/s

L'émetteur et le récepteur sont près l'un de l'autre, $\theta \rightarrow 0$, donc $\cos\theta \rightarrow 1$; alors

$$d_{[m]} \approx 173,15 \cdot t_{[s]}$$

ou

$$d_{[cm]} \approx 0,017315 \cdot t_{[\mu s]}$$

Cette formule est valable pour un capteur déjà étalonné.

4.3. La zone aveugle

Les capteurs de distance à ultrasons pour lesquels l'émetteur et le récepteur sont situés dans le même boîtier possèdent une zone dite "aveugle", en dessous de laquelle ils ne peuvent détecter les obstacles. Ceci est dû à la juxtaposition du couple émetteur-récepteur au niveau du capteur à ultrason. En effet, dès l'émission de l'onde ultrasonore, celle-ci est immédiatement détectée au niveau du récepteur du capteur d'ultrasons puisque ce dernier se trouve à proximité de l'émetteur dans le capteur d'ultrasons ce qui fausserait la mesure de distance.

Ainsi, pour pallier à ce problème, une petite temporisation durant laquelle le récepteur est désactivé est effectuée juste après l'émission de l'onde ultra sonore. Une fois cette temporisation terminée, on démarre le compteur et on active le récepteur pour qu'il soit prêt à recevoir l'écho en retour d'un obstacle distant.

La distance correspondante à cette temporisation définit la zone aveugle du capteur.

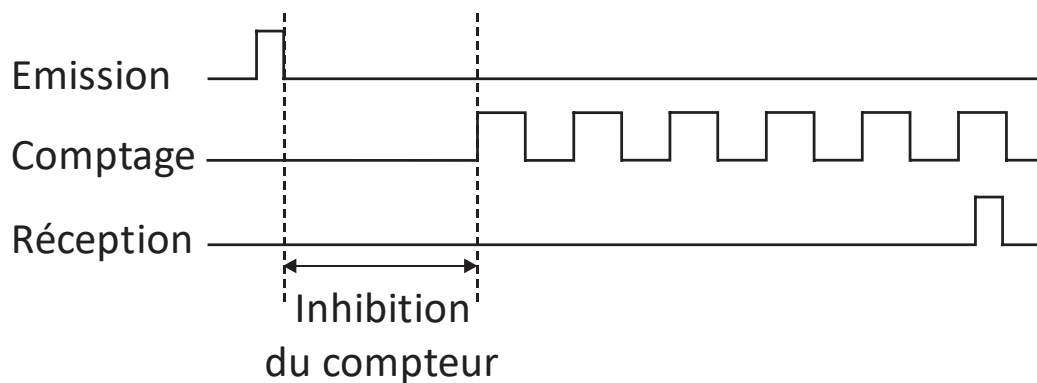


Fig 4 : Zone aveugle

5. Etude du capteur à ultrasons HC-SR04



Légende :

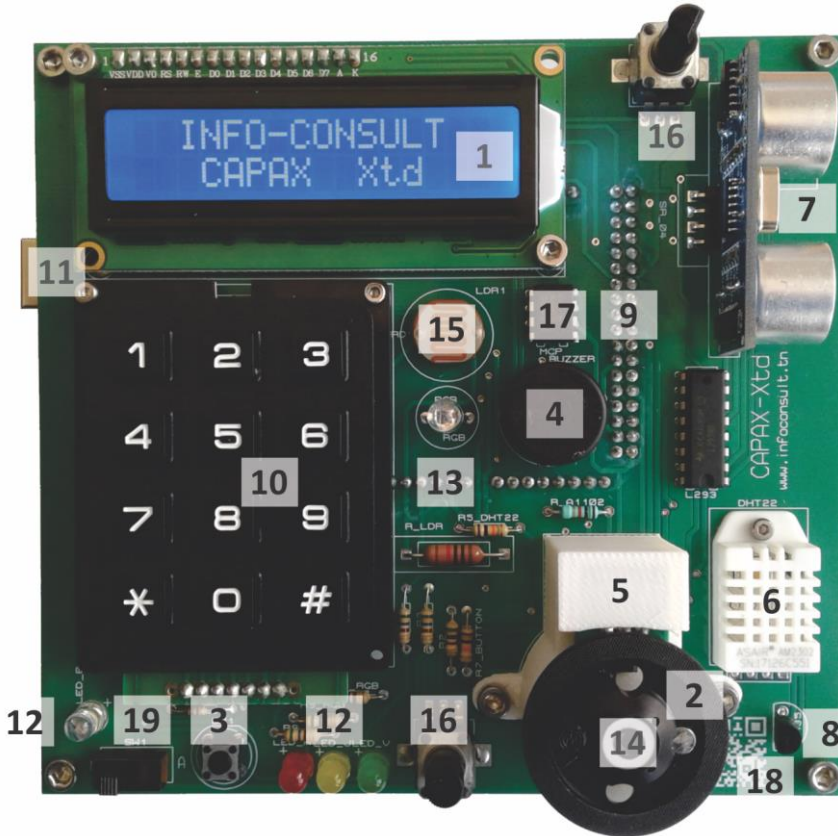
Vcc : Alimentation +5V
 Gnd : Masse
 Trig : Impulsion émettrice
 Echo : Impulsion réceptce

Fig. 5 : Capteur HC-SR04.

Ce capteur permet une plage de mesure allant de 2cm jusqu'à 4m (notice constructeur). Le fonctionnement de ce capteur est comme suit : on excite TRIG par une impulsion de durée 10µs. La mesure de la durée pendant laquelle le signal ECHO est à l'état haut nous donne le temps parcouru par l'onde ultrasonore pour faire un aller-retour du capteur jusqu'à l'objet.

Travail demandé

1. **Faites une recherche sur Internet sur les capteurs à ultrasons** : domaines d'utilisation et application, principe de mesure, étendue de mesure, précision, etc.
2. **Partie théorique** : démontrer l'équation $d = \frac{1}{2} v \cdot t \cdot \cos\theta$
3. **Partie expérimentale** : mise en place du capteur



1. Afficheur LCD 16*2
2. Aimant
3. Bouton poussoir
4. Buzzer
5. Capteur à effet HALL
6. Capteur DHT22
7. Capteur distance US
8. Capteur LM35
9. Carte ARDUINO MEGA
10. Clavier 12 Touches
11. Connecteur USB
12. Diodes LED
13. Diode RGB
14. Moteur MCC
15. Photorésistance LDR
16. Pot. analogique
17. Pot. numérique (SPI)
18. QR code
19. Sélecteur

Fig. 6 : Carte CAPAX-Xtd®

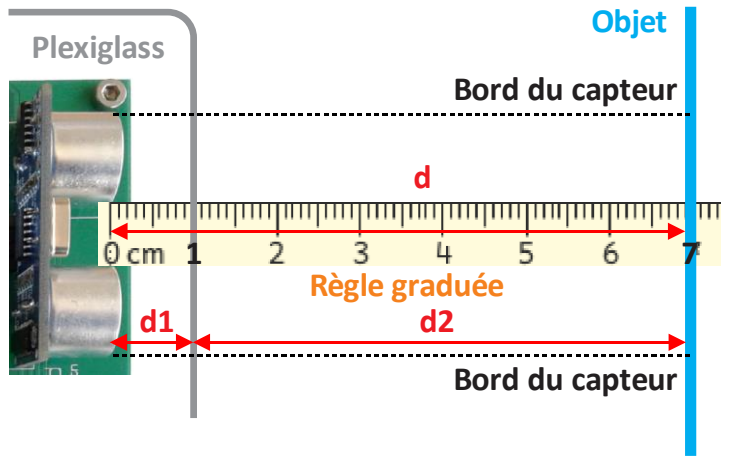
Légende		E/S correspondante sur la carte ARDUINO
7	HC-SR04 ECHO TRIG	D23 (entrée numérique) D25 (sortie numérique)
3	Bouton poussoir	D47 (entrée numérique)
12	LED Blanche	D9 (sortie analogique)
12	LED Verte	D42 (sortie numérique)
12	LED Orange	D44 (sortie numérique)
12	LED Rouge	D43 (sortie numérique)
4	Avertisseur sonore (Buzzer)	D10 (sortie analogique)
8	Capteur LM35	D10 (entrée analogique)
6	Capteur DHT22	D10 (entrée numérique)
1	Afficheur LCD 16*2 RS E D1 D2 D3 D4	D34 (sortie numérique) D33 (sortie numérique) D32 (sortie numérique) D31 (sortie numérique) D30 (sortie numérique) D29 (sortie numérique)

3.1. Schéma électrique

Compléter le schéma de câblage en respectant le brochage des entrées-sorties sur la carte ARDUINO MEGA comme indiqué ci-dessus. (voir annexe pour un schéma plus détaillé).

Les capteurs LM35, DHT22 ainsi que l'afficheur LCD seront étudiés dans un autre TP.

3.2. Configuration expérimentale : dans l'exemple ci-dessous, l'objet est placé à une distance $d = 7$ cm du capteur à ultrason HC-SR04.



- ✱ Placer un objet assez large, dépassant les bords du capteur HC-SR04.
- ✱ La distance d séparant le centre du capteur au centre de l'objet est donnée par $d = d1 + d2$ avec :
 - $d1$: dist. capteur – plexiglass
 - $d2$: dist. plexiglass – objet
- ✱ on donne $d1 = 1$ cm

Fig. 7 : Positionnement du capteur et de l'objet pour la mesure de la distance

3.3. Configuration logicielle

3.3.1. Lancer le logiciel Arduino, déclarer TRIG (pin D25), ECHO (pin D23) et BP (pin D47) en utilisant l'instruction `#define` dans la partie déclaration des variables. Ensuite, configurer TRIG en sortie, ECHO et BP en entrée en utilisant l'instruction `pinMode(pin, mode)` dans la partie `void setup()`.

3.3.2. Pour générer l'impulsion ultrasonore de départ, forcer TRIG à l'état bas (LOW) pendant $2 \mu\text{s}$, puis à l'état haut (HIGH) pendant $10 \mu\text{s}$, ensuite à l'état bas (LOW). L'instruction `delayMicroseconds()` permet de patienter ces temps-là.

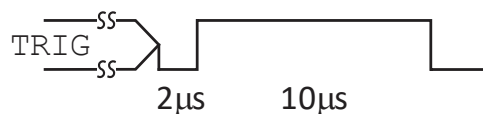


Fig. 8 : Chronogramme du signal TRIG

3.3.3. Le temps t parcouru par l'onde pendant un aller-retour est donné par la durée à l'état haut du signal ECHO. L'instruction `PulseIn(pin, etat)` permet de calculer cette durée. Le temps est ainsi calculé en $[\mu\text{s}]$.

Attention : Déclarer t en tant que variable de type `unsigned long`, et non en tant que `int`, sinon, vous risqueriez d'avoir des valeurs négatives.

4. Partie pratique : étalonnage du capteur et mesure de la vitesse des ultrasons

Puisque la vitesse des ultrasons dépend de l'altitude et de la température, l'étalonnage du capteur se fera par une approche globale. Pour ce fait, on considère la fonction globale $d=K*t$. On va déterminer pratiquement K.

- 4.1. Ecrire un programme sur l'IDE ARDUINO, qui à chaque appui sur le bouton poussoir BP affiche le temps parcourue par l'onde ultrasonore sur le moniteur série.
- 4.2. En s'aidant du programme 4.1., remplir le tableau suivant :

d_[cm]	0	5	7	9	12	15	18	22	26	30	35
t_[μs]	0										

Pour une meilleure précision de la mesure et pour chaque valeur de la distance, prendre 10 valeurs différentes du temps mesuré puis calculer la moyenne obtenue :

$$t_{\text{moy}} = (t_1+t_2+t_3+t_4+t_5+t_6+t_7+t_8+t_9+t_{10}) / 10.$$

Puisque le temps mesuré correspond à un aller et retour de l'onde, diviser ce temps par 2, d'où : $t = t_{\text{moy}}/2 = (t_1+t_2+t_3+t_4+t_5+t_6+t_7+t_8+t_9+t_{10}) / 20.$

- 4.3. Reproduire sur Excel le tableau précédent et tracer la courbe $d = f(t)$.
- 4.4. La pente de la courbe représente le coefficient K. Pour le déterminer, nous allons utiliser la fonction droite de régression :
 $K=\text{DROITEREG}(\text{Valeurs de Y: } d, \text{ Valeurs de X : } t)$. Pour plus d'information sur l'utilisation de cette fonction, consulter l'aide d'Excel.
- 4.5. En déduire la vitesse des ultrasons : $v[\text{m/s}] = 10000*K[\text{cm}/\mu\text{s}]$.

5. Partie pratique : calcul de la vitesse des ultrasons par mesure de la température (pour plus de détails sur la mesure de la température, se référer au TP4)

La vitesse du son dépend de la température ; la formule $v = 20.05 \sqrt{T}$ en donne une approximation de la vitesse dans l'air avec :

$$v [\text{m/s}], \text{ et } T \text{ la température absolue en degrés kelvins. } T[\text{K}] = T[^\circ\text{C}] + 273$$

- 5.1 Ecrire un programme sur l'IDE ARDUINO qui, à chaque appui sur le BP, permet de faire la lecture de la température ambiante à partir des capteurs LM35 et DHT22 et son affichage sur le moniteur série. Pour chaque capteur, prendre plusieurs mesures. La température ambiante sera alors la température moyenne mesurée par les deux capteurs. Pour le capteur LM35, et vue que la tension à sa sortie est faible, forcer la tension de référence du CAN à 1,1V en utilisant la fonction `analogReference(INTERNAL1V1)`.
- 5.2 Déterminer la vitesse du son en fonction de la valeur de température déjà mesurée.
- 5.3 Comparer cette nouvelle valeur à celle déterminée précédemment §4.5.

6. Partie pratique : exploitation du capteur

6.1 Détecteur de présence

On veut réaliser un détecteur de présence constitué par le capteur à ultrason HC-SR04 et la diode LED blanche. Ce détecteur fonctionne comme suit : si le capteur détecte un objet à une distance ≤ 12 cm, on allume la LED Blanche pendant 4 secondes.

Ecrire le code Arduino correspondant à cette fonction.

6.2 Radar de recul

On veut réaliser un radar de recul constitué par le capteur à ultrason HC-SR04, 3 LEDs (verte, orange et rouge) et l'avertisseur sonore, en affichant la distance mesurée sur l'écran LCD. Ce détecteur fonctionne comme suit :

Distance d[cm]	Action LED	Action Buzzer
$d \geq 20$	Uniquement la LED Verte est allumée	pas de son
$10 \leq d < 20$	Uniquement la LED Orange est allumée	son avec une faible fréquence
$d < 10$	Uniquement la LED Rouge est allumée	son avec une haute fréquence

Pour actionner le buzzer, utiliser la fonction `tone(broche, fréquence, durée)`, avec :

`broche` : la broche sur laquelle le buzzer est câblée.

`fréquence` : la fréquence de la tonalité [Hz]

`durée` : la durée de la tonalité en millisecondes.

Ecrire le code Arduino correspondant à cette fonction.

Annexe : A remettre avec le compte rendu du TP.

Carte ARDUINO MEGA

