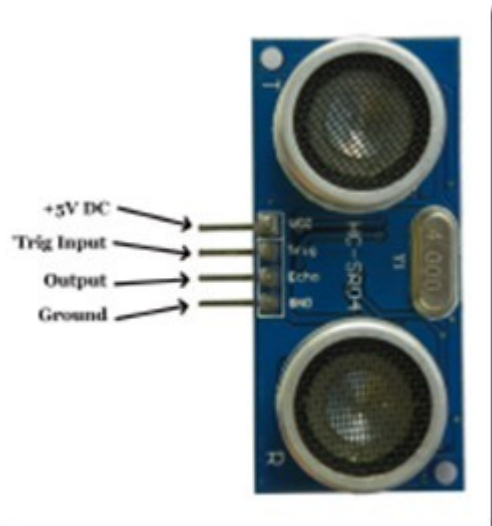


Mise en œuvre d'un capteur à ultrason.

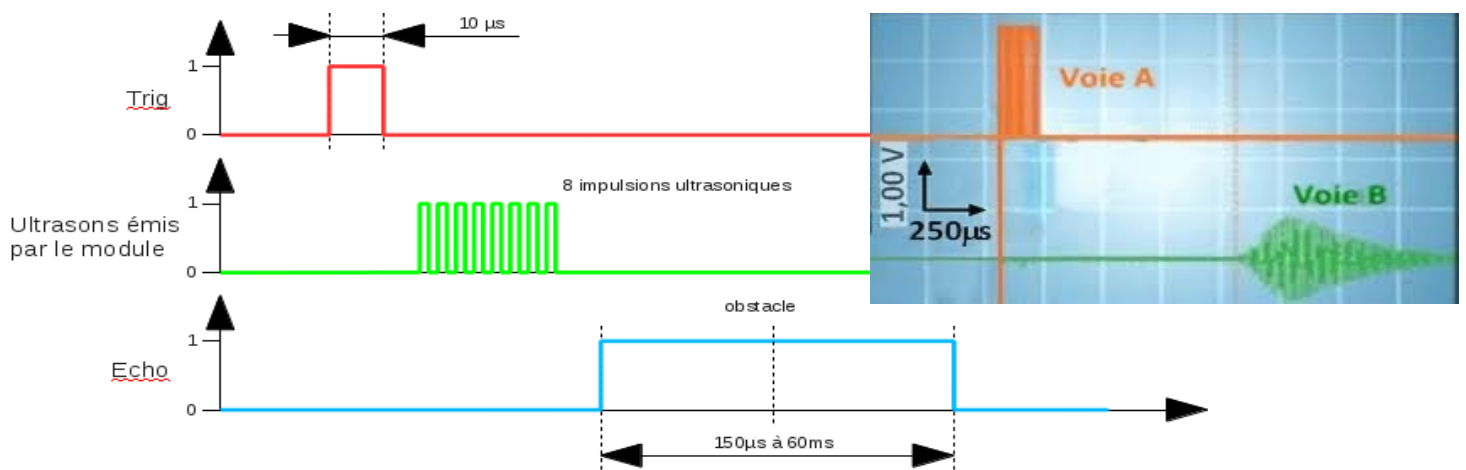
1) Présentation du module HC-SR04 :



Les caractéristiques techniques du module sont les suivantes :

- Alimentation : 5V
- Consommation en utilisation : 15 mA.
- Gamme de distance : 2 cm à 5 m.
- Résolution : 0,3 cm.
- Précision : 1 cm
- Angle de mesure : $< 15^\circ$.

Le fonctionnement du module est le suivant : Il faut envoyer une impulsion niveau haut (à + 5V) pendant au moins $10 \mu\text{s}$ sur la broche 'Trig Input'; cela déclenche la mesure. En retour la sortie 'Output' ou 'Echo', va fournir un signal + 5V dont la durée est proportionnelle à la distance si le module détecte un objet. Voici une représentation graphique de la séquence de fonctionnement du module :



TRAVAIL PRELIMINAIRE

1. En consultant la documentation du HC-SR04 dire pourquoi, sur la figure, l'obstacle est signalé au milieu de l'impulsion Echo ?

Car la durée de l'écho représente un A/R

2. En observant le module, dire où se situe physiquement l'émetteur et le récepteur.
Quand on regarde les capteurs en face l'émetteur se situe à gauche, repéré T et (R pour le récepteur)

3. Proposer un protocole expérimental permettant de vérifier leur positionnement.
On positionne un récepteur Us en face du capteur que l'on branche sur l'oscilloscope et on observe une salve en obstruant un des deux capteurs (une fois le capteur en fonctionnement)

MISE EN ŒUVRE DU MODULE :

Relier le +5V du module à V+(fil rouge) d'Analog Discovery.

Relier le ground du module à une masse(fil noir) d'Analog Discovery.

Relier le Trig Input du module à W1(fil jaune) d'Analog Discovery.

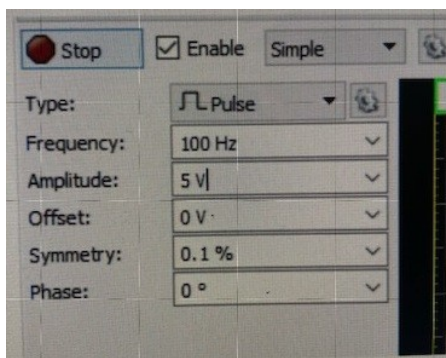
Relier Output du module à CH1(fil orange) d'Analog Discovery.

Régler V+ à +5V.

On veut envoyer sur Trig Input une impulsion de durée 10 μ s (expliquer pourquoi d'après la doc) et d'amplitude +5V.

En utilisant pulse de W1 à une fréquence de 5Hz, déterminer quelle valeur faut il mettre à la symétrie pour obtenir le signal souhaité.

100 Hz, représente une période de 200 ms, donc l'échelon que l'on souhaite est de 100 ms, donc pour une durée de 10 μ s, $\frac{10}{100000} = 1.10^{-4}$ soit 0,1 %



ETUDE DES ULTRASONS EMIS PAR LE MODULE.

Relier sur la voie 1 de l'oscilloscope un récepteur Ultrason, le positionner à quelques cm en face de l'émetteur du HC-SR04.

- 1) Rappeler le domaine de fréquence d'une onde ultrasonore.

Fréquence au dessus de l'audible, c'est-à-dire au dessus de 20 kHz ,parfois 16 kHz, max 10 MHz

Grâce à la documentation technique, déterminer la fréquence des ultrasons

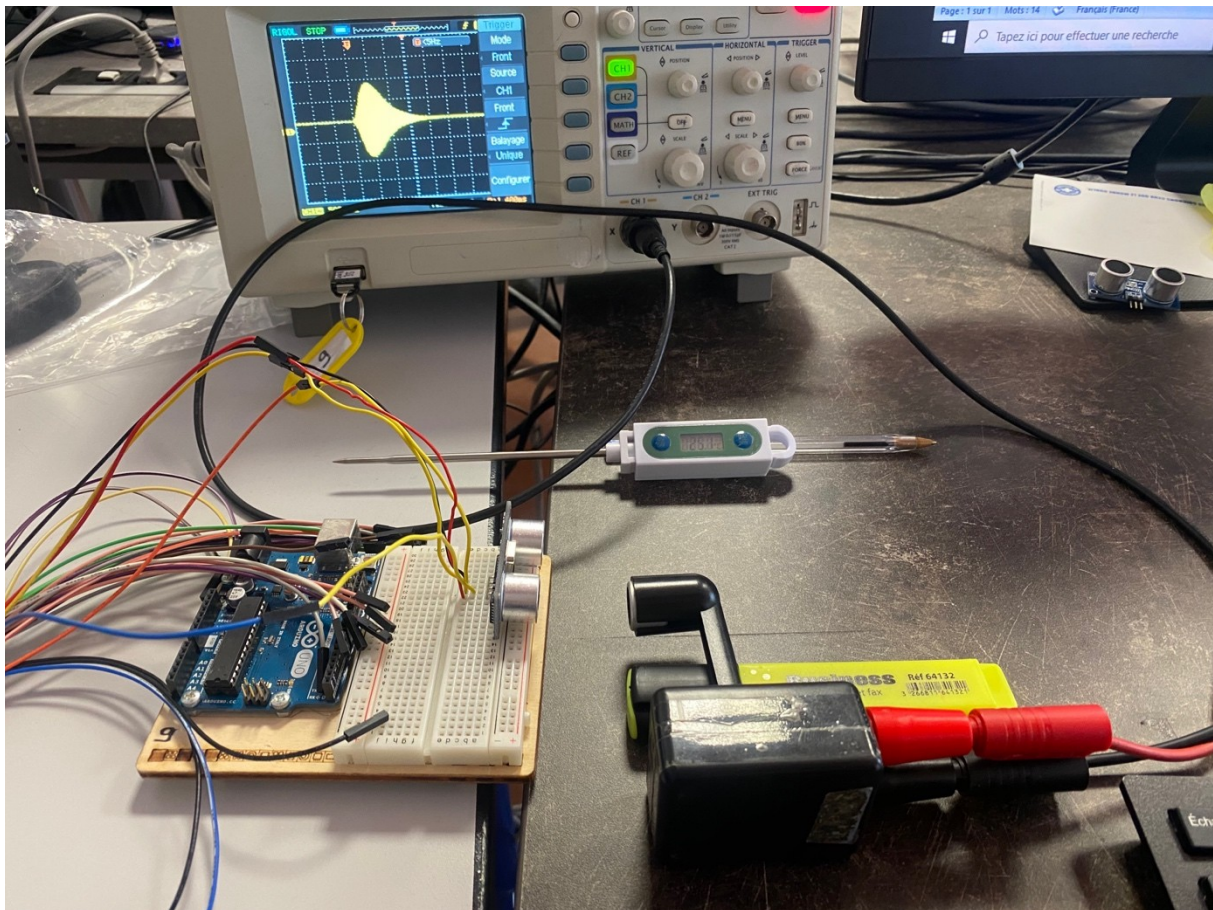
Fréquence des us 40 kHz

générés ainsi que le nombre de périodes envoyé lors d'une salve

Une salve comporte 8 périodes ultrasonores

. En déduire la durée d'émission totale des ultrasons.

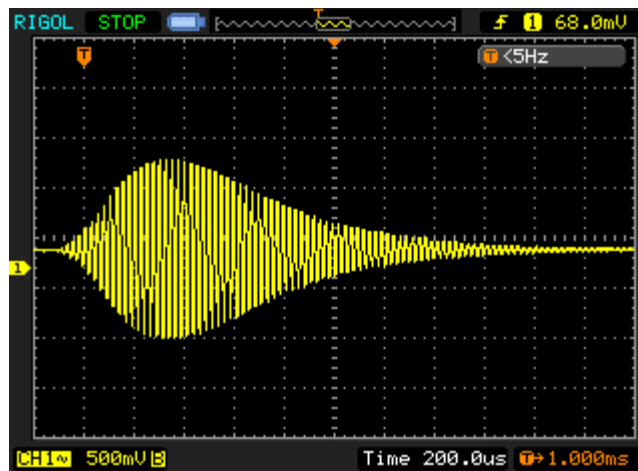
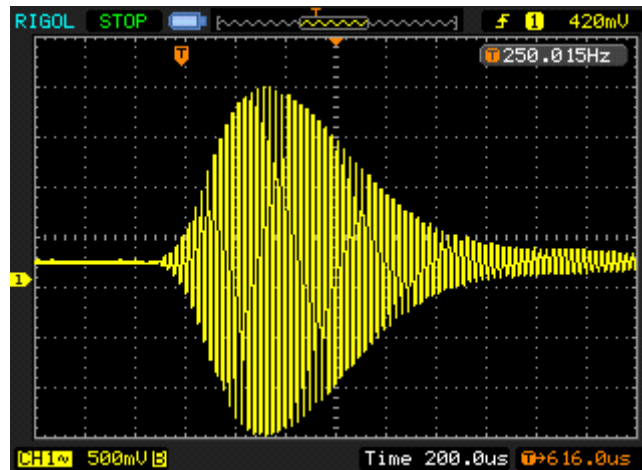
$T = 25 \mu s$ durée d'une salve $t_{salve} = 8.25 = 200 \mu s$



- 2) Effectuer plusieurs relevés à l'oscilloscope (l'acquisition se fera en mode balayage unique , menu trigger de l'oscilloscope):

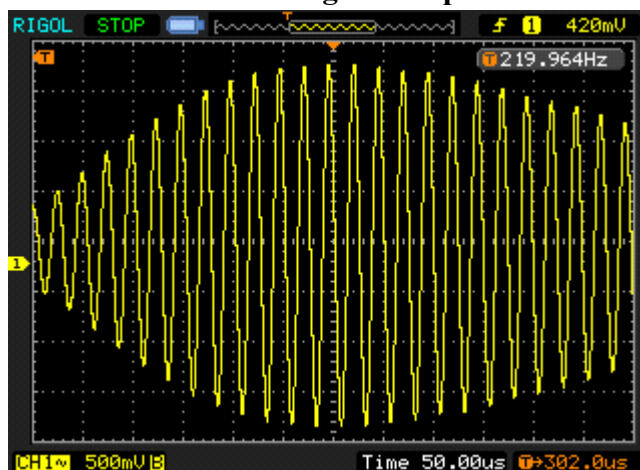
- 1 permettant de visualier la totalité d'un train d'onde émis , insérer le chronogramme.

Mesurer la durée de la salve.

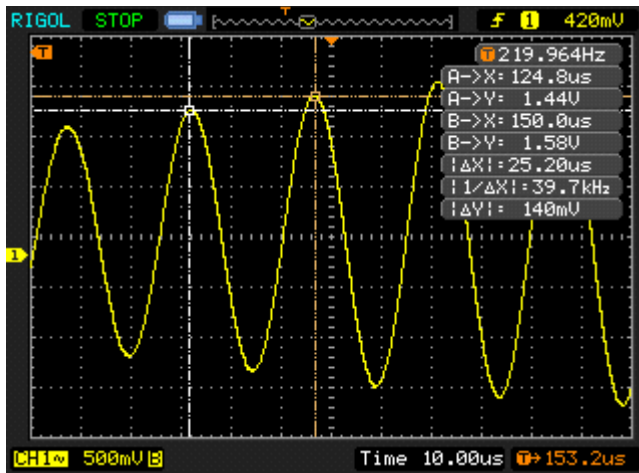


- 1 permettant de compter le nombre de période reçu par le récepteur. insérer le chronogramme.

Comparer au signal émis, justifier par des considérations physiques l'éventuelle différence entre trame générée par le module et trame reçue.



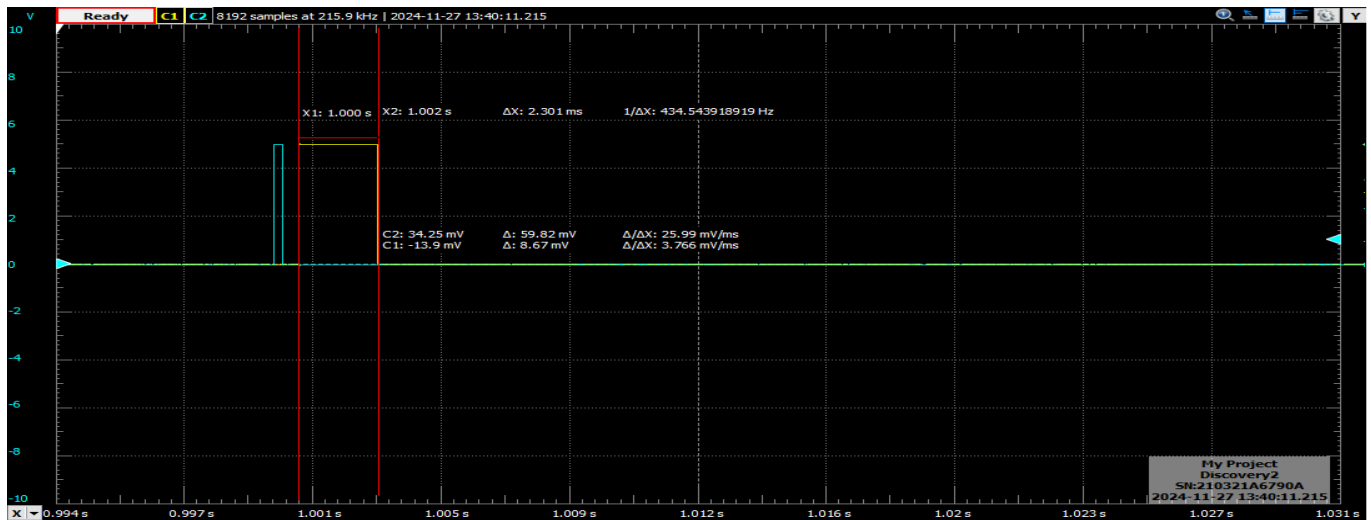
- 1 permettant de mesurer précisément la période d'une onde. insérer le chronogramme. En déduire la fréquence, comparer là à la documentation.



OBSERVATION DES SIGNAUX GENERES PAR LE MODULE

On utilise à présent l'oscilloscope de Waveform

- 1) Positionner un obstacle à une distance de 40 cm du capteur.
- 2) Relever et insérer le signal obtenu sur le CH1, Output du module



- 3) A l'aide des curseurs mesurer la durée Δt de l'impulsion Echo.
- La célérité du son dans l'air en $m.s^{-1}$ est donnée par la relation :

$$c = 20,05 \cdot \sqrt{T}$$

$$c = 20,05 \cdot \sqrt{296,5} = 345,2 m.s^{-1}$$

Avec T température en Kelvin (K)

Cette relation peut s'appliquer si l'air est sec.

- 4) Mesurer la température dans la pièce, en déduire la célérité du son.

Donner toutes les démarches de calcul

$$c = \frac{2 \cdot d}{\Delta t}$$

$$d = \frac{c \cdot \Delta t}{2} = \frac{345,2 \cdot 0,00231}{2} = 39,87 \text{ cm}$$

ETUDE DES CARACTERISTIQUES DU CAPTEUR

1) ETENDUE DE MESURES

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.

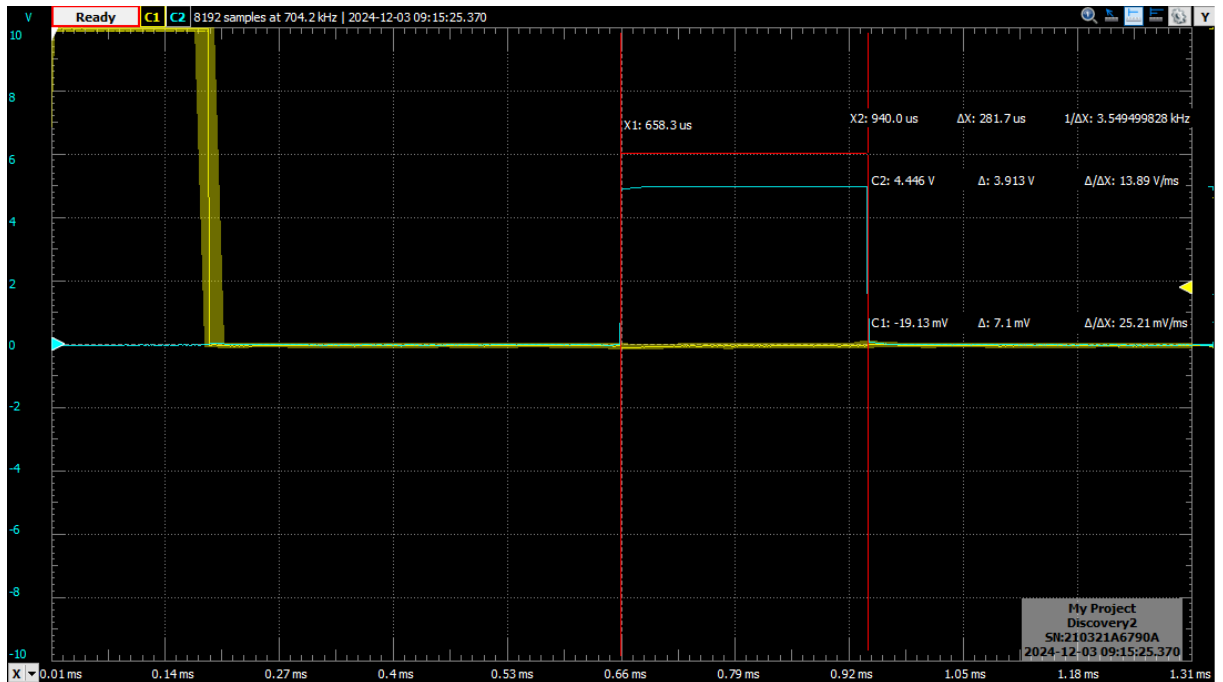
Ainsi, pour pallier à ce problème, une petite temporisation durant laquelle le récepteur est désactivé est effectuée juste après l'émission de l'onde ultrasonore. Une fois cette temporisation terminée, on démarre le compteur et on active le compteur pour qu'il ; soit prêt à recevoir l'écho en retour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

- 1) Donner d'après la documentation, la distance minimale que peut détecter le capteur. En supposant une célérité de l'onde égale à 340 m.s^{-1} , calculer le temps minimum d'écho théorique, noté $\Delta t_{\min}$ en sortie OUTPUT du module.

Distance minimale $d = 2 \text{ cm}$

$$\Delta t_{\min} = \frac{2 \cdot d}{c} = \frac{2 \cdot 0,02}{340} = 117,6 \mu\text{s}$$

- 2) Pour mesurer ce temps expérimentalement il suffit de mettre un obstacle collé sur les capteurs. Faire la mesure à l'oscilloscope relever et insérer le chronogramme.



- 3) Comparer la valeur théorique et pratique.
- 4) Donner la valeur max de distance mesurable par le module.
- 5) Déterminer expérimentalement cette valeur. Proposer un protocole de mesure, le réaliser. Déterminer la valeur max et la comparer à la valeur théorique.
- 6) Expliquer comment fait le module pour indiquer une absence d'obstacle.
- 7) Quel est le temps de l'écho correspondant à une absence d'obstacle (voir doc) ?
- 8) Quel est le temps d'attente suggéré pour refaire une autre mesure (voir doc) ?

II) RESOLUTION.

Le capteur de réception ne peut pas détecter une variation de temps plus petite que la durée d'une période d'onde ultrasonore.

- 1) Déterminer la valeur de ce temps que l'on notera $\Delta t_{\text{résolution}}$.

$$\Delta t_{\text{résolution}} = 25 \mu\text{s}$$

- 2) En déduire en cm la résolution du capteur.

$$r = \frac{340 \cdot 25 \cdot 10^{-6}}{2} = 0,4 \text{ cm}$$

- 3) Comparer à la donnée constructeur

Le constructeur annonce $r = 0,3 \text{ cm}$

Résultat cohérent

FIN PREMIERE SEANCE FAIRE COURS MESURE ET INCERTITUDE AVANT
SECONDE PARTIE

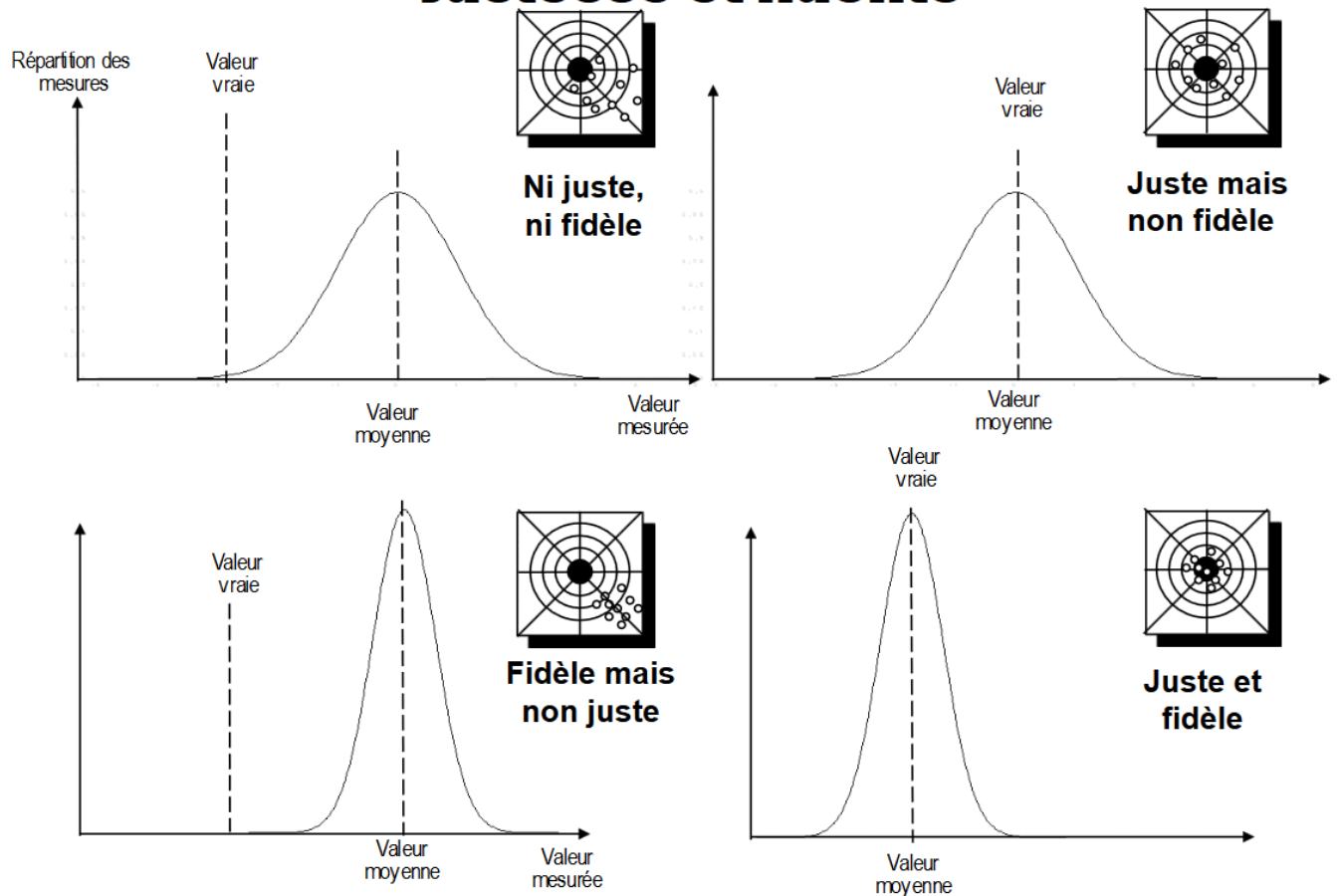
MESURES ET INCERTITUDES.

La qualité métrologique d'un instrument de mesure ou d'une centrale de mesure comprenant un capteur est l'ensemble des données qui caractérisent la qualité de la mesure effectuée par le dispositif considéré.

Les principales caractéristiques des instruments de mesure sont définies dans le cadre du Vocabulaire International de Métrologie (VIM) et comprennent, entre autres ces termes que vous devez connaître :

- ***L'étendue de mesure ;***
- ***La résolution ;***
- ***La sensibilité ;***
- ***L'exactitude ;***
- ***La justesse ; (remarque : le terme précision ne fait pas partie du VIM)***
- ***la fidélité.***

Justesse et fidélité



Vocabulaire :

L'étendue de mesure est définie par la différence des valeurs extrêmes de la plage du mesurande dans lequel le fonctionnement du capteur associé à son électronique (conditionneur, transmetteur, CAN...) satisfait à des spécifications données. Le plus souvent l'étendue de mesure correspond au domaine nominal d'emploi.

Le mesurande : c'est l'objet de la mesure ou plus simplement la grandeur à mesurer.

Sensibilité, résolution d'un capteur :



La sensibilité S détermine l'évolution de la grandeur de sortie du capteur en fonction de la grandeur d'entrée.

$$s = \frac{d(\text{sortie})}{d(\text{mesurande})}$$

Exemple : pour une PT100 traversée par un courant de 1 mA :

$$s = \frac{dV_s}{d\theta} = \frac{38,5}{100} = 0,385 \text{ mV / } ^\circ\text{C}$$

La résolution est la plus petite variation du mesurande que l'ensemble capteur + électronique associée est capable de détecter. Par exemple le quantum du CAN de d'une chaîne de mesure divisé par la sensibilité. Pour une PT100 branchée sur un Arduino avec un CAN de 10 bits et une référence de 1,1 V :

$$\text{Res (en V) : } q = \frac{U_{PE}}{2^n - 1} = 1,07 \text{ mV}$$

$$\Rightarrow \text{Res (en } ^\circ\text{C) } r = \frac{q}{s} = \frac{1,07}{0,385} = 2,8 ^\circ\text{C}$$

Fidélité : La fidélité d'un capteur est sa propriété à redonner des valeurs très proches lorsque, après avoir varié, la grandeur reprend sa valeur initiale. Ce qui se traduit par des résultats groupés autour de leur valeur moyenne. L'écart type dont l'importance reflète la dispersion des résultats est souvent considéré comme l'erreur de fidélité. Un capteur fidèle a peu d'erreurs aléatoires.

Répétabilité : Fidélité sous des conditions de répétabilité. Conditions où les résultats de mesures indépendantes sont obtenus par la même méthode, par le même opérateur utilisant le même équipement et pendant un court intervalle de temps (par exemple TP), à la différence de la reproductibilité où, au moins, un des paramètres change.

Justesse (et non plus précision) : Étroitesse de l'accord entre la valeur MOYENNE obtenue à partir d'une large série de résultats de mesures et une valeur de référence acceptée : La valeur vraie.

Exactitude de mesure : Étroitesse de l'accord entre UNE valeur mesurée et une valeur vraie du mesurande. Il est important de ne pas confondre les concepts d'exactitude et de justesse.

Erreur de mesure : L'erreur de mesure est la différence entre la valeur mesurée d'une grandeur m et une valeur de référence (valeur vraie). C'est la somme de l'erreur systématique (erreur de justesse) et de l'erreur aléatoire (défaut de fidélité).

Lors de mesures répétées nous obtenons généralement une dispersion des résultats ; si les erreurs de mesure sont aléatoires un traitement statistique permet de connaître la valeur la plus probable de la grandeur mesurée et de fixer les limites de l'incertitude.

L'erreur systématique se superpose aux erreurs aléatoires. Elle est provoquée par un mauvais réglage ou un mauvais étalonnage. Elle devient importante dans le cas où les instruments sont mal utilisés. La justesse d'un instrument de mesure est son aptitude à donner des indications exemptes d'erreur systématique.

Comment évaluer l'exactitude d'un appareil de mesure ?

Les incertitudes sont classées en deux catégories nommées A et B.

Incertitudes de type A : on a réalisé plusieurs mesures de la même grandeur qui permettent un traitement statistique (calcul de moyenne et d'écart-type).

Incertitudes de type B : on dispose d'une seule mesure et l'on évalue un écart-type à partir des données du constructeur de l'appareil de mesure et d'hypothèses sur la qualité de la lecture réalisée sur l'appareil.

Incertitudes de type A.

On dispose d'un nombre limité n de mesures d'une même grandeur X : $x_1, x_2, \dots, x_n$, réparties approximativement selon une distribution gaussienne.

- **Meilleur estimateur de la valeur vraie : moyenne $\bar{x}$.**

Si on refait d'autres séries de n mesures les moyennes et les écarts-types auront des valeurs dispersées ; on démontre dans les cours de statistiques que les meilleurs estimateurs pour les grandeurs suivantes sont :

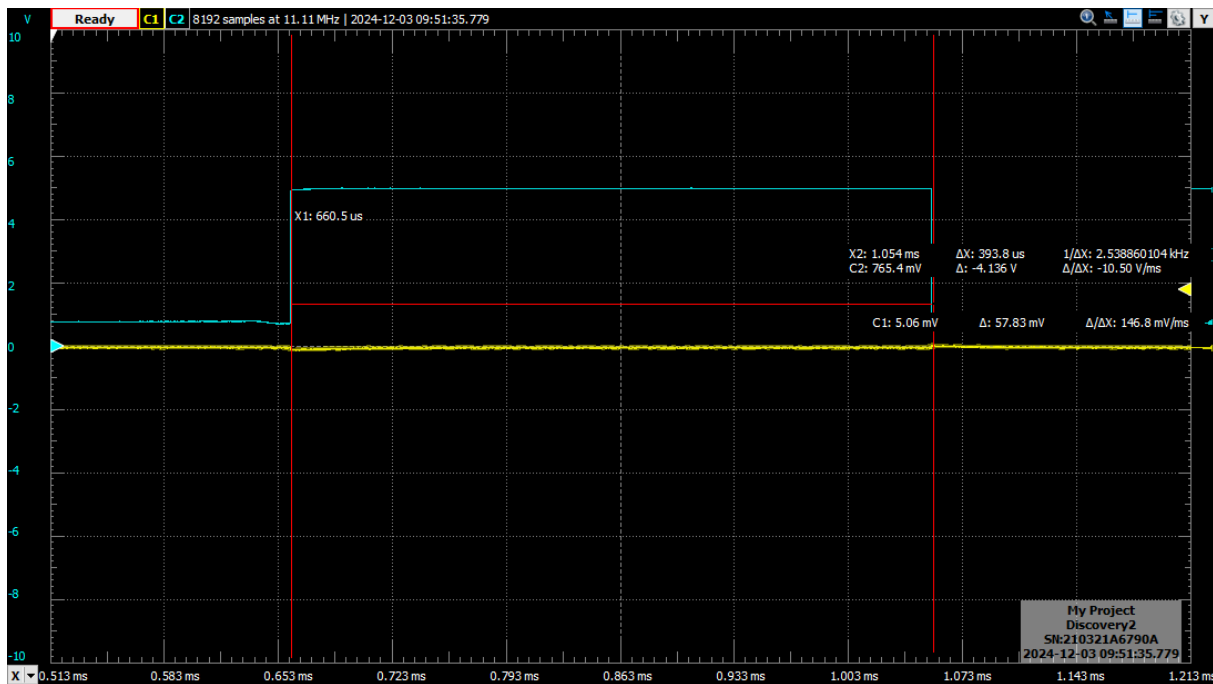
- **Écart-type expérimental (sur la série de mesures, caractérise la fidélité d'une chaîne de mesure...) :**

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

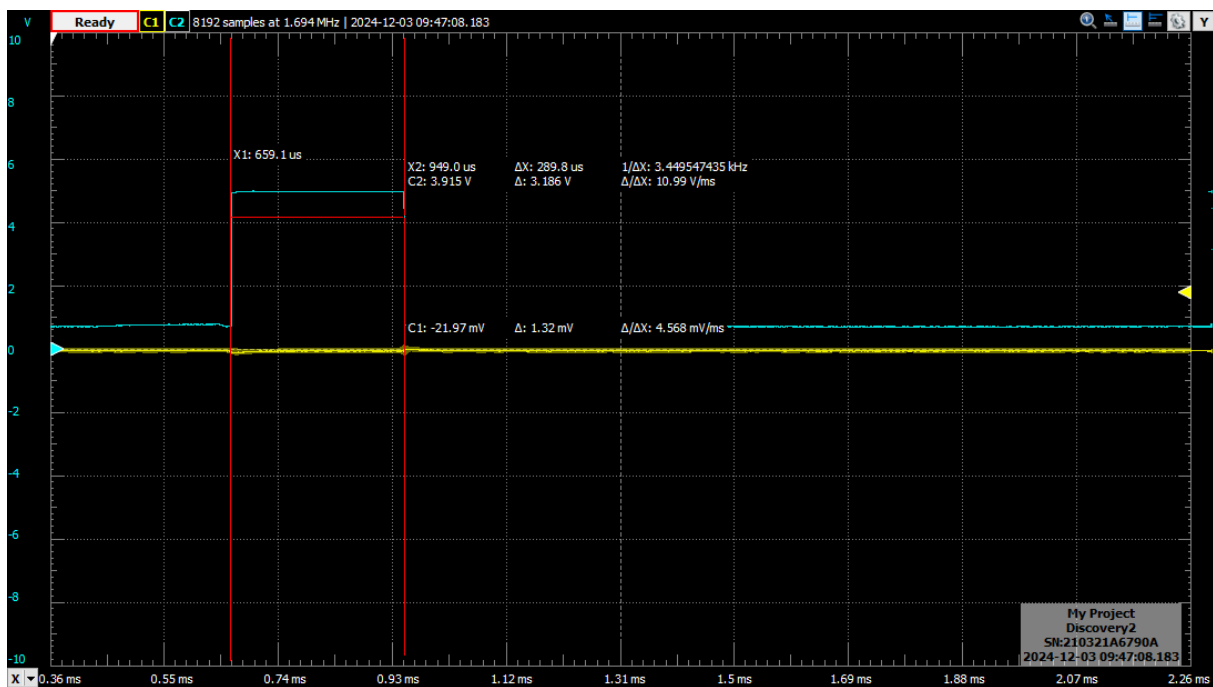
- *Incertitude-type (= écart-type sur la moyenne, caractérise la justesse d'une chaîne de mesure...) :*

$$u_n = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

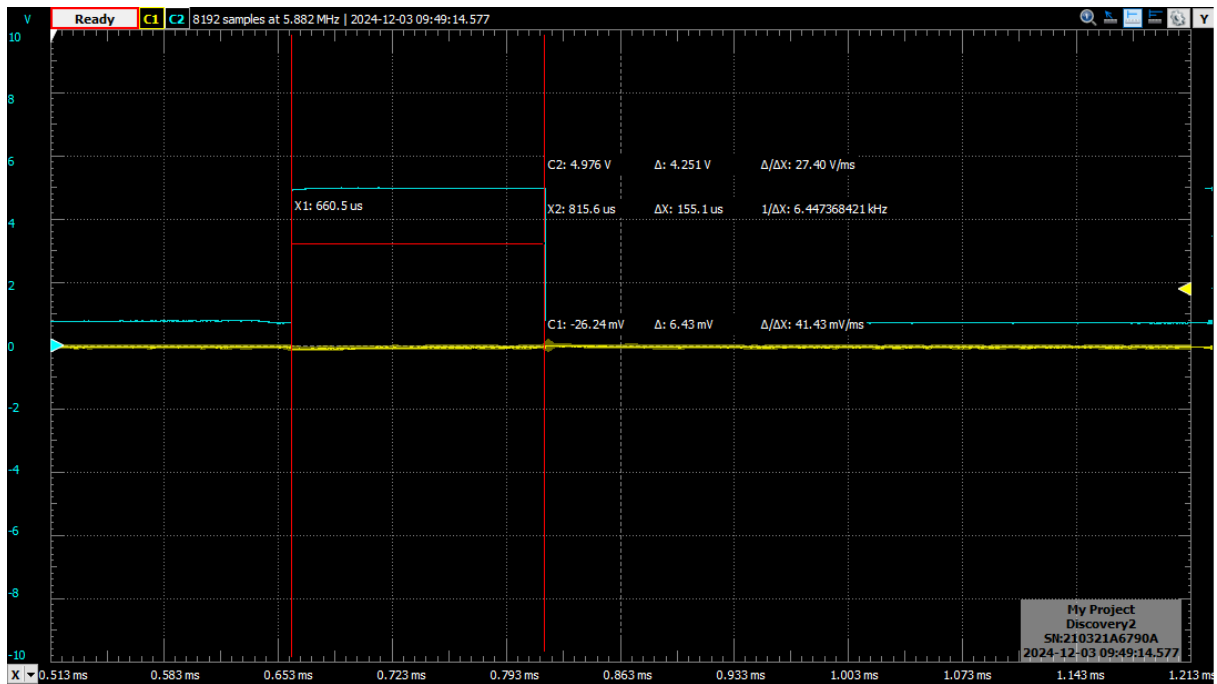
D= 0 cm



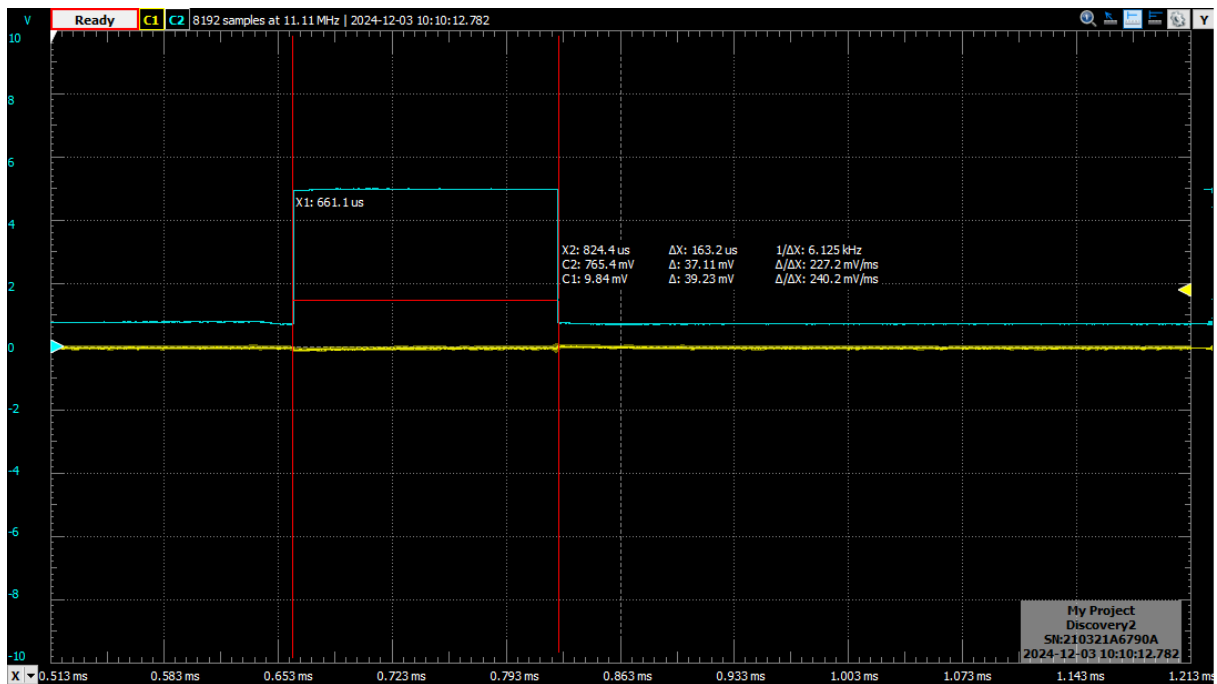
D= 1 cm



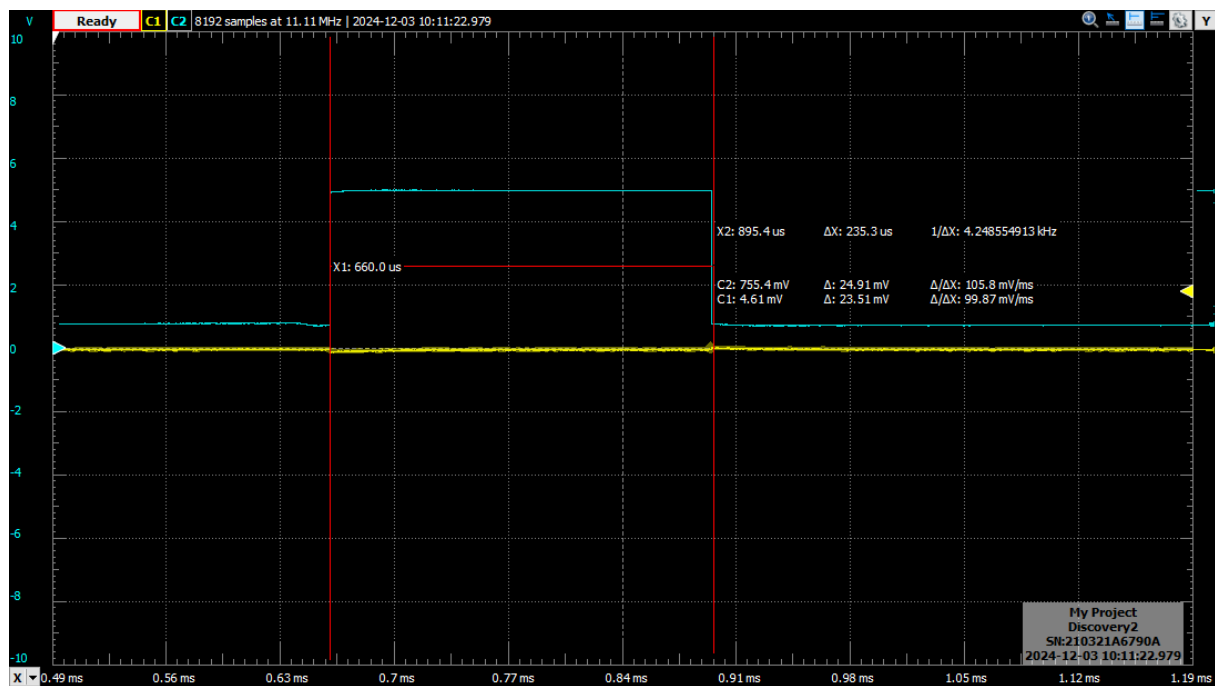
D= 2 cm



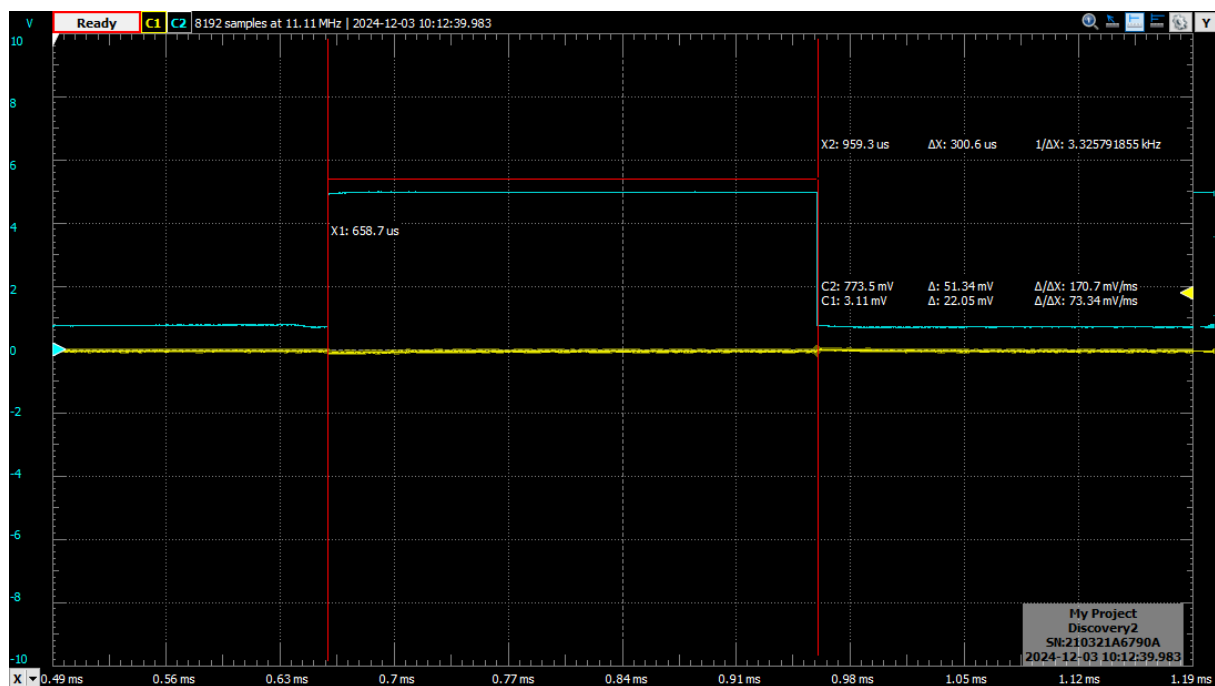
D= 3 cm



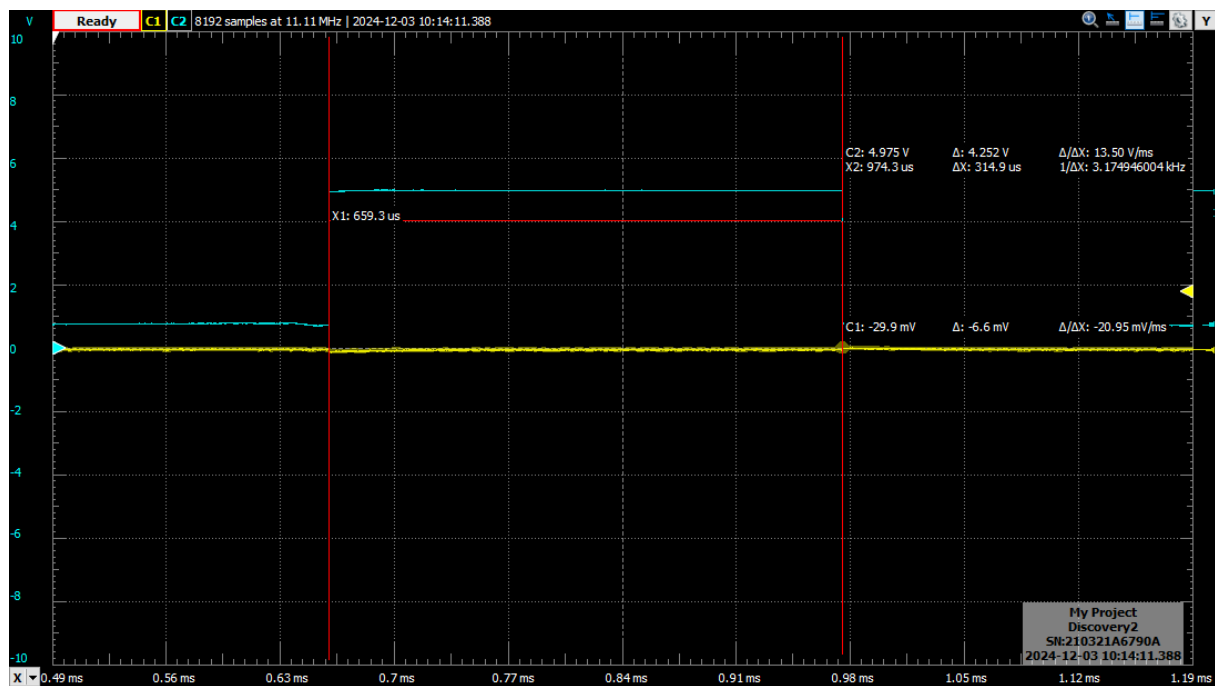
d=4cm



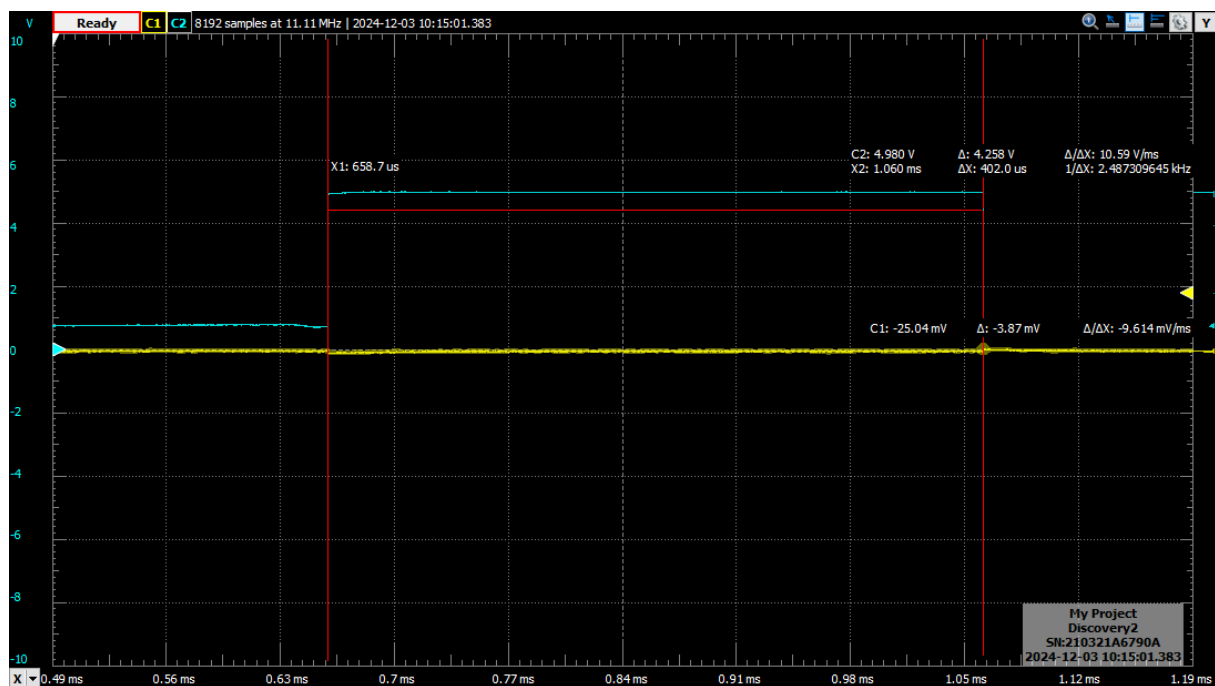
D=5 cm



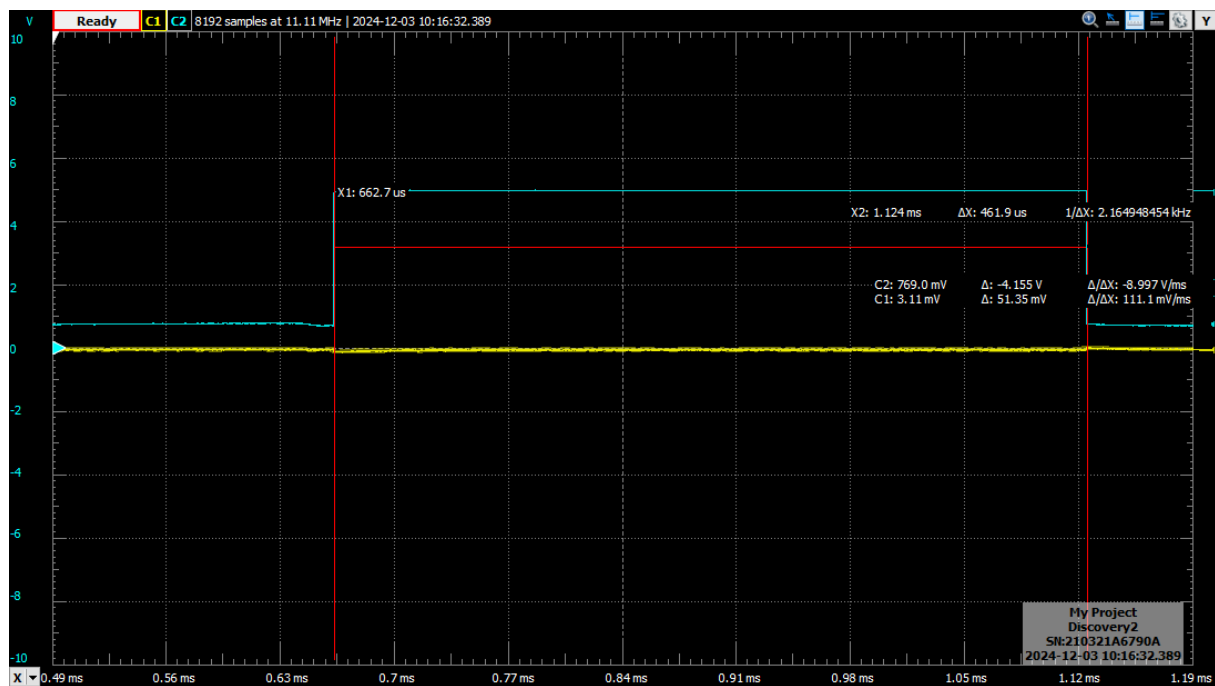
D=6cm



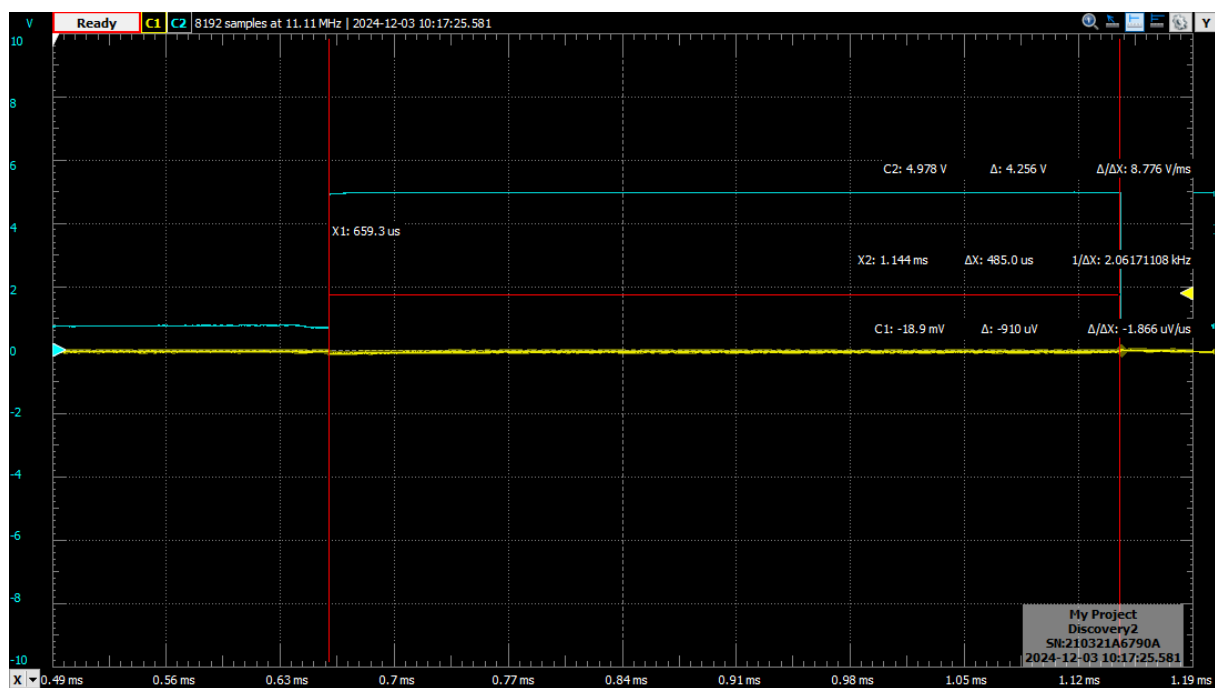
D=7 cm



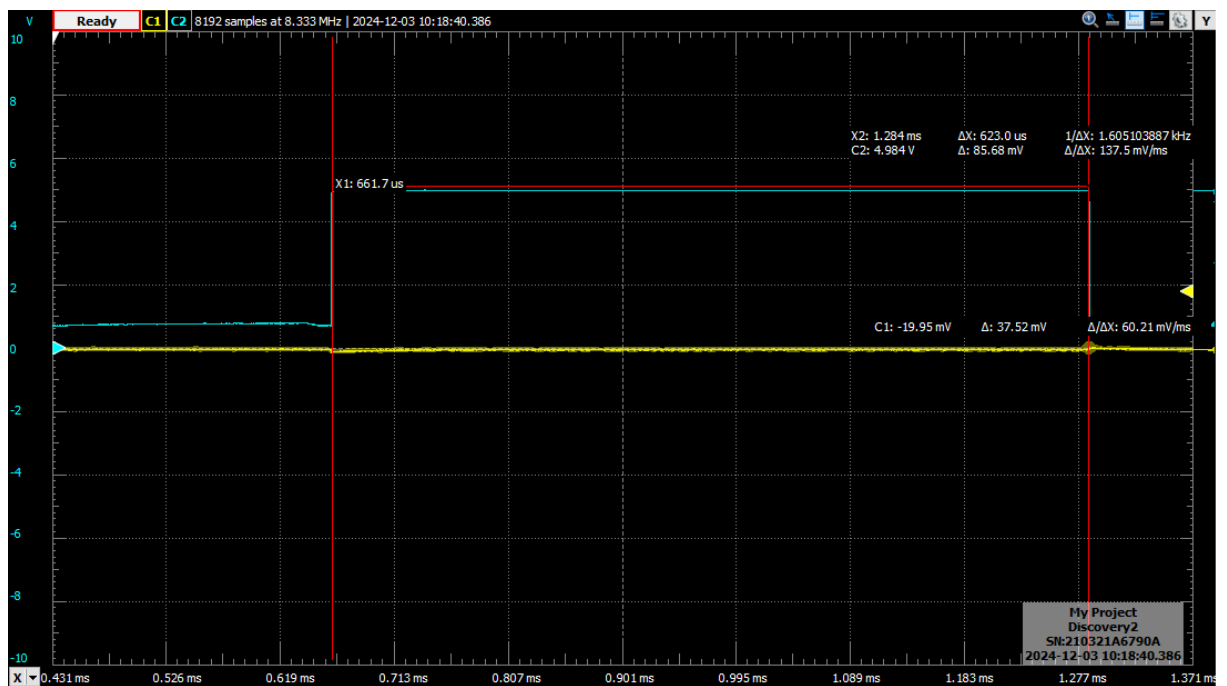
D=8cm



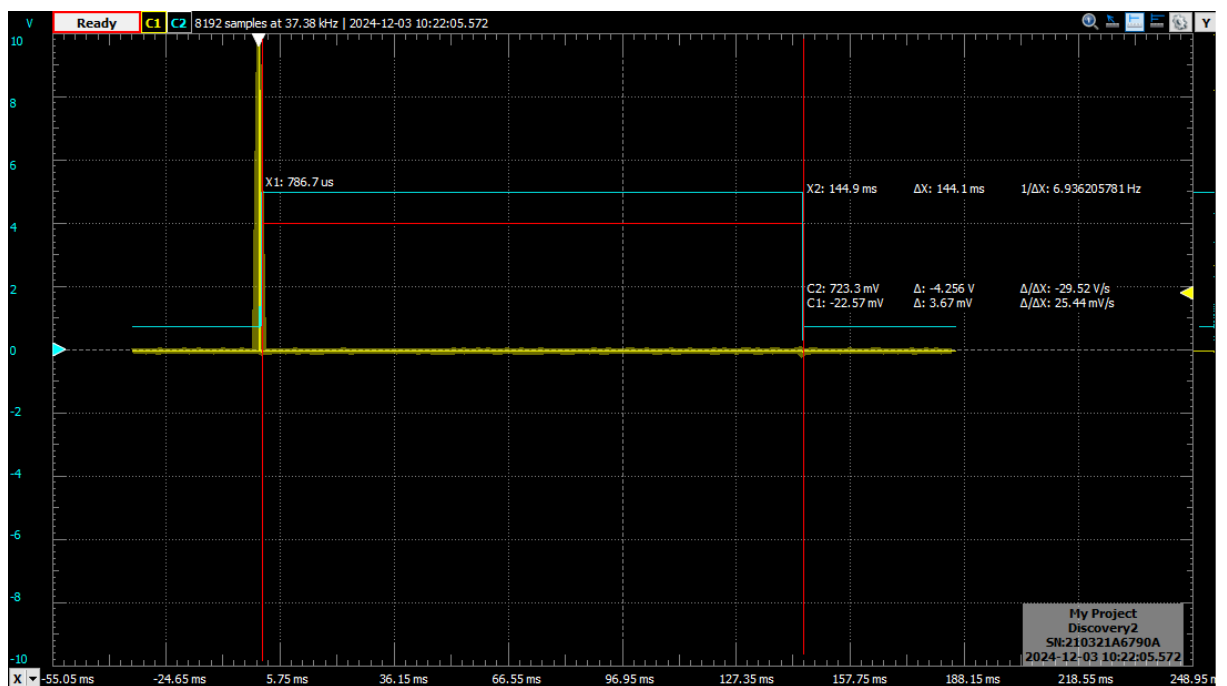
D= 9cm



D = 10 cm

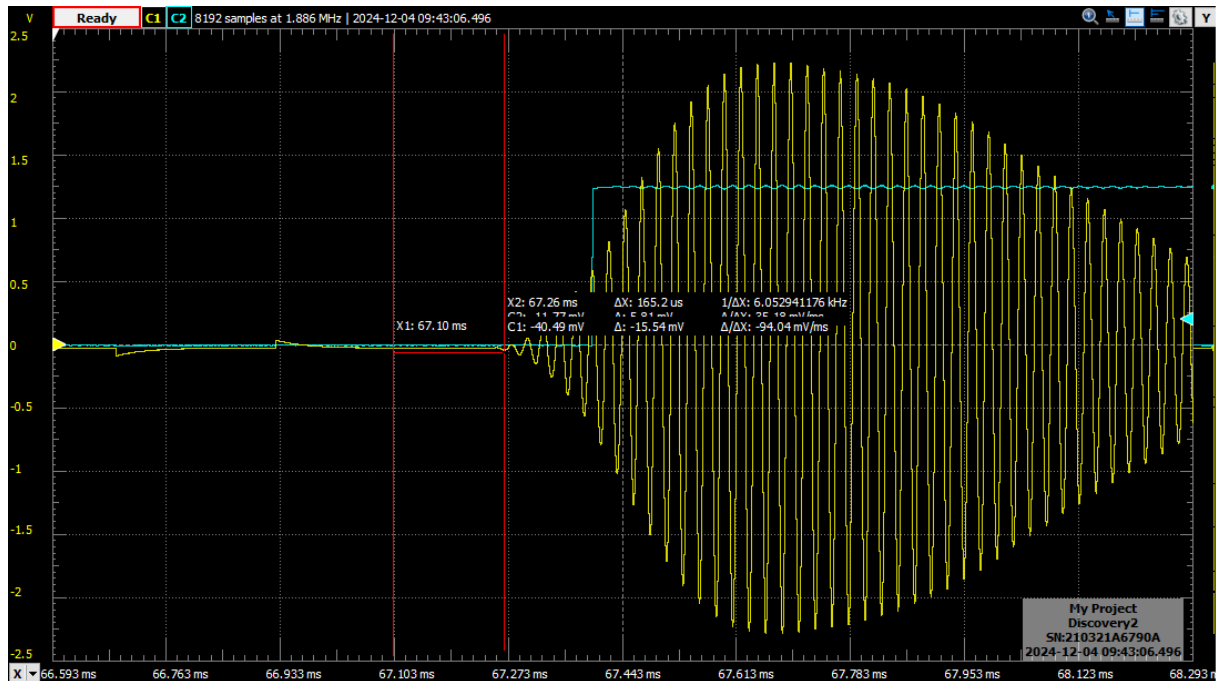


PAS DE RECEPTION

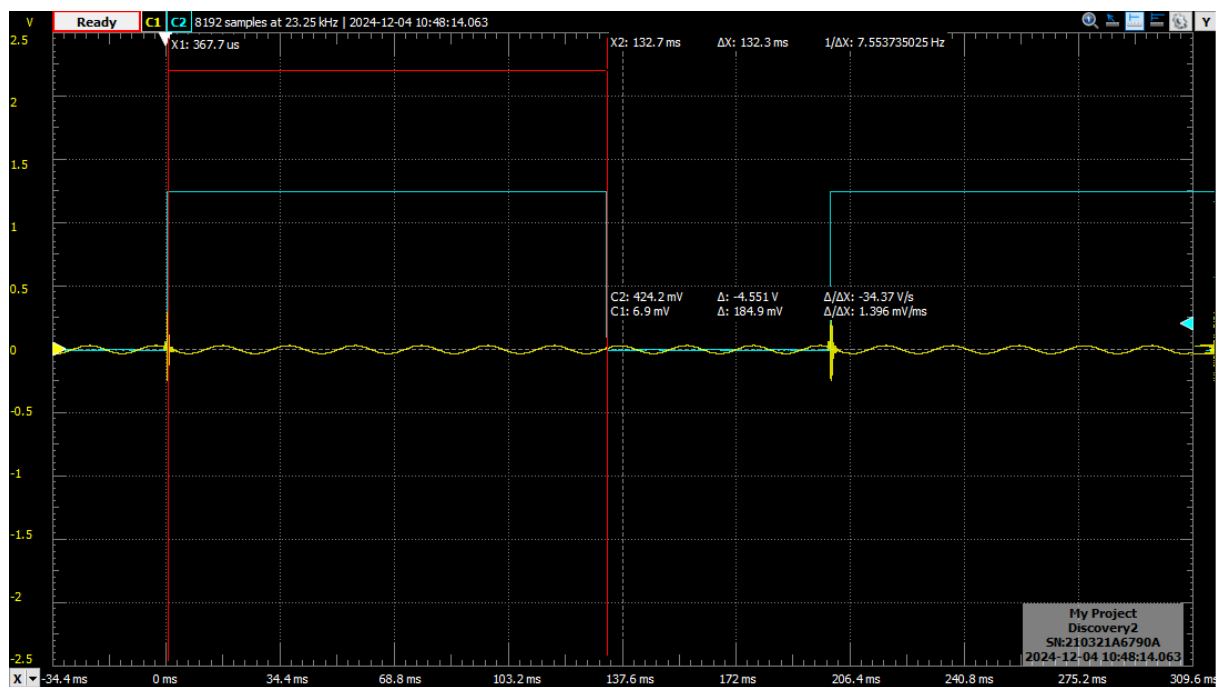


d(cm) expér	0	1	2	3	4	5	
Δt(μs)		294	289,8	155,1	163,2	235,3	300,6
d(cm) mesuré		5,07444	5,001948	2,677026	2,816832	4,061278	5,188356
6	7	8	9	10			
	314,9	402	461,9	485	623		
	5,435174	6,93852	7,972394	8,3711	10,75298		

Visualisation du signal d'écho et de l'émission des us directement en sortie de l'émetteur



Durée echo si pas de réception 132 ms



Durée entre 2 mesures 200 ms

