

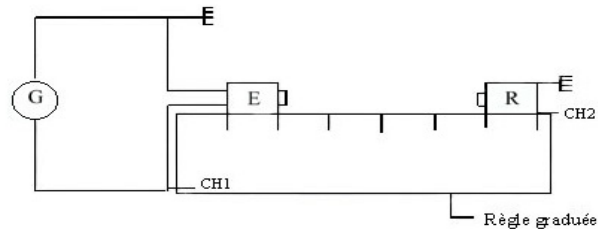
Séance du 15 fév. 2012 :

Mesure de la célérité des ultrasons dans l'air

Matériel utilisé :

GBF, oscilloscope, émetteur et récepteur séparés, règle graduée.

Schéma de l'expérience :



Branchements réalisés :

D'après les explications données la veille par Monsieur Schuh, le choix a été fait de brancher l'émetteur sur le GBF envoyant un signal d'amplitude 10V. Les premières acquisitions faites étant instables et très difficiles à lire sur l'oscilloscope, le réglage du GBF est tel que celui-ci envoie une salve de 20 impulsions de fréquence 40 kHz ; cette salve est de fréquence 10 Hz. Cela permet d'observer la réponse du signal de façon plus nette et aussi de permettre à l'oscilloscope de stabiliser les signaux.

Premières mesures :

Des tests du récepteur sont effectués avec une feuille de papier et une main. La feuille atténue le signal mais pas totalement, tandis que la main stoppe tout le signal. Les manipulations simulant des tissus biologiques s'annoncent difficiles à mener dans l'air avec ce matériel.

Relation de proportionnalité entre la distance émetteur/récepteur et le temps de parcours :

On fait varier la distance d entre l'émetteur et le récepteur et on mesure à l'oscilloscope le retard τ entre le signal émis et le signal reçu. On devrait alors pouvoir établir une relation de proportionnalité entre d et τ tel que $d = \alpha \tau$ où α correspond à la célérité des ondes ultrasonores.

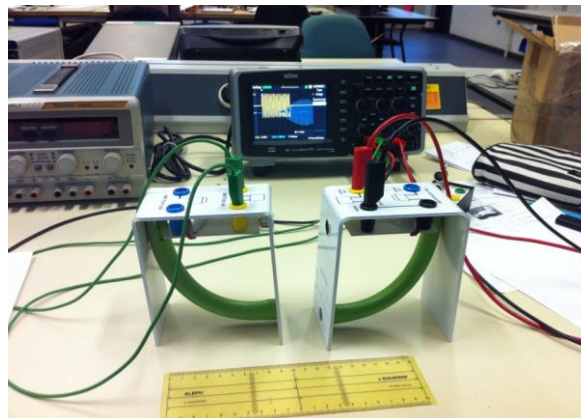


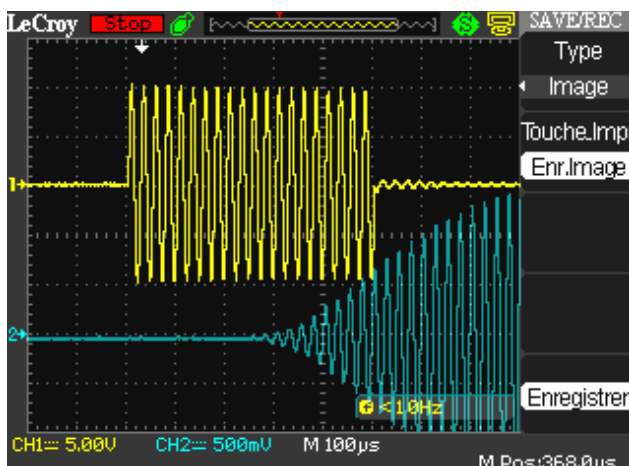
Tableau récapitulatifs des mesures :

d (cm)	τ (μ s)	α
1	160	63
2	180	111
3	200	150
4	240	167
5	260	192
6	300	200
7	340	206
8	380	211
9	400	225
10	410	244

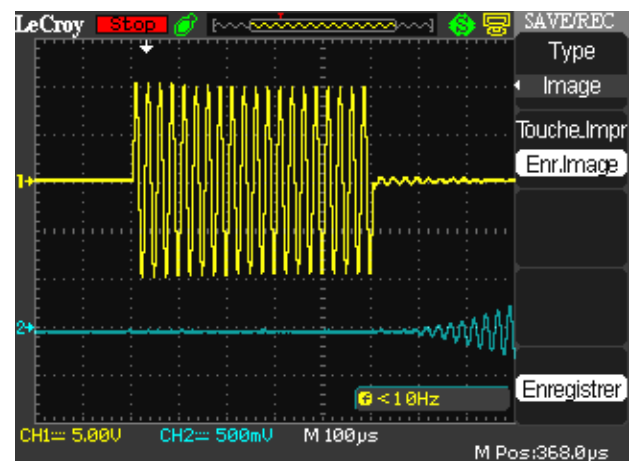
11	450	244
12	480	250
13	510	255
14	550	255
15	580	259
16	610	262
17	740	230
18	780	231
19	800	238
20	830	241

Une des principales difficultés de mesure venait de la forme de l'émetteur et du récepteur. En effet, la distance mesurée d ne correspondait pas à la véritable distance existant entre les deux capteurs ; ils étaient en réalité beaucoup plus écartés, ie d était plus grand que mesuré. De plus, la lecture sur l'oscilloscope du début du signal retour ne pouvait pas être très précise.

Exemples d'oscillogrammes obtenus :

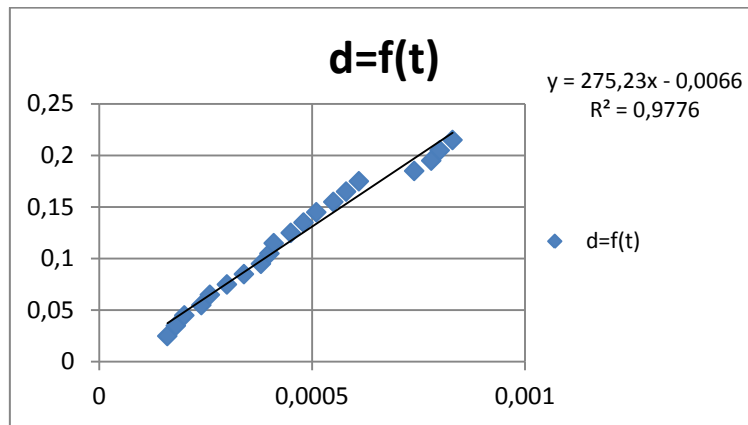


En jaune : signal émis par le GBF. En bleu : signal reçu par le récepteur. Mesure pour une distance de 5 cm (lecture sur la règle).



En jaune : signal émis par le GBF. En bleu : signal reçu par le récepteur. Mesure pour une distance de 15 cm (à la règle).

Analyse des résultats :



D'après le graphe tracé à partir des mesures, on trouve une droite de coefficient directeur $\alpha = 275 \text{ m.s}^{-1}$. α correspond à c la célérité des ondes ultrasonores. D'après le tableau de valeurs, α n'est pas constant alors qu'il devrait l'être. Les valeurs obtenues de c ne sont pas non plus proches de la valeur attendue : 330 m/s. Comment l'interpréter ? Quel phénomène n'a pas été pris en compte ?

Complément réalisé le 26/03

Contexte :

Vu le manque de précision des mesures (275 m.s^{-1} au lieu de 330 m.s^{-1}), des conseils ont été demandés à Monsieur Schuh pour améliorer les résultats. Pour la mesure de la célérité des ondes ultrasonores dans l'air, deux méthodes ont été proposées, l'une reprenant le même dispositif expérimental que précédemment, l'autre se fondant sur une toute autre méthode.

Méthode 1

Il s'agit du même protocole expérimental que précédemment, mais avec une mesure de la marge d'erreur en plus. La célérité des ondes provient toujours de la même relation : $d=c.\tau$. On tient compte en plus des erreurs dues à la lecture des résultats et aux imprécisions des appareils.

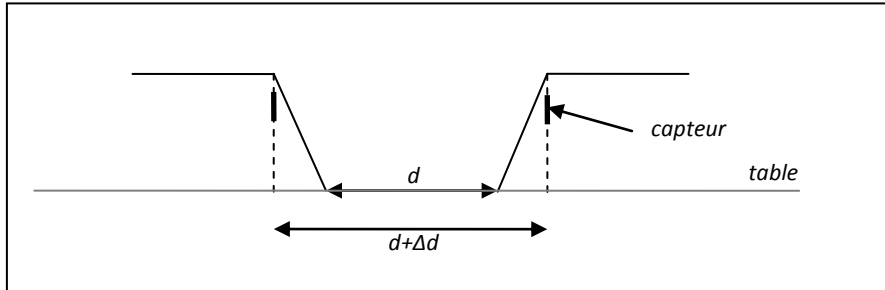
Développement théorique :

On a, pour commencer, la relation : $d=\alpha.\tau$ où d correspond toujours à la distance entre l'émetteur et le récepteur, τ le retard entre le signal émis et le signal reçu (il est lu sur l'oscilloscope), et α le coefficient de proportionnalité équivalent à la célérité des ondes ultrasonores.

En différenciant cette relation, on obtient : $\Delta d = \alpha.\Delta\tau + \tau.\Delta\alpha$

Celle-ci devient, en divisant les deux membres par d : $\frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta \alpha}{\alpha} + \frac{\Delta \tau}{\tau}$

$\Delta d = \Delta d_{lecture}$; Effectivement, la configuration de la maquette R/O provoque une grosse incertitude de mesure sur la réelle distance entre l'émetteur et le récepteur.



Même en faisant varier d , la valeur de Δd reste constante.

Après avoir effectué les mesures, on obtient $\Delta d = 0.7 + 9.3$, donc $\Delta d = 1,0 \text{ cm}$

$\Delta \tau = \Delta \tau_{constructeur} + \Delta \tau_{lecture}$; $\Delta \tau_{constructeur}$ se trouve dans la documentation de l'oscilloscope. Il est possible qu'il dépende des paramètres de la manipulation.

$\Delta \tau_{lecture}$ est estimé à partir de la fenêtre d'acquisition de l'oscilloscope. On trouve : $\Delta \tau_{lecture} = 10 \mu\text{s}$.

Mesures et analyses :

Par soucis d'efficacité, on reprend les valeurs de d et de τ mesurés dans la première expérience.

d (cm)	τ (μs)	$\alpha_{mesuré}$
1	160	63
2	180	111
3	200	150
4	240	167
5	260	192
6	300	200
7	340	206
8	380	211
9	400	225
10	410	244

11	450	244
12	480	250
13	510	255
14	550	255
15	580	259
16	610	262
17	740	230
18	780	231
19	800	238
20	830	241

D'après le développement théorique, $\alpha = \alpha_{mesuré} + \Delta \alpha = \frac{d}{\tau} \left[1 + \frac{\Delta d}{d} - \frac{\Delta \tau}{\tau} \right]$

On obtient donc un nouveau tableau de valeur :

d (cm)	d (m) + 0,015	τ (μ s)	τ (s)	$\alpha_{\text{mesuré}}$	Δd (m)	$\Delta \tau$ (s)	α
1	0,025	160	0,00016	156	0,01	0,00001	208,98
2	0,035	180	0,00018	194	0,01	0,00001	239,20
3	0,045	200	0,0002	225	0,01	0,00001	263,75
4	0,055	240	0,00024	229	0,01	0,00001	261,28
5	0,065	260	0,00026	250	0,01	0,00001	278,85
6	0,075	300	0,0003	250	0,01	0,00001	275,00
7	0,085	340	0,00034	250	0,01	0,00001	272,06
8	0,095	380	0,00038	250	0,01	0,00001	269,74
9	0,105	400	0,0004	263	0,01	0,00001	280,94
10	0,115	410	0,00041	280	0,01	0,00001	298,04
11	0,125	450	0,00045	278	0,01	0,00001	293,83
12	0,135	480	0,00048	281	0,01	0,00001	296,22
13	0,145	510	0,00051	284	0,01	0,00001	298,35
14	0,155	550	0,00055	282	0,01	0,00001	294,88
15	0,165	580	0,00058	284	0,01	0,00001	296,82
16	0,175	610	0,00061	287	0,01	0,00001	298,58
17	0,185	740	0,00074	250	0,01	0,00001	260,14
18	0,195	780	0,00078	250	0,01	0,00001	259,62
19	0,205	800	0,0008	256	0,01	0,00001	265,55
20	0,215	830	0,00083	259	0,01	0,00001	267,96

Si on fait la moyenne des α , on trouve une valeur de $273 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. La méthode n'est donc pas concluante.

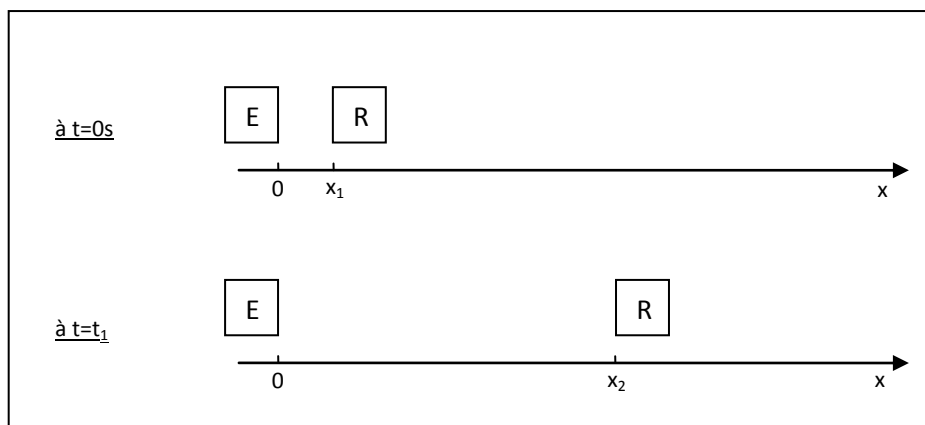
Méthode 2

Cette méthode se fonde sur un tout autre mode opératoire.

Matériel :

GBF, émetteur et récepteur séparés (E et R), oscilloscope, règle graduée

Schéma de l'expérience :

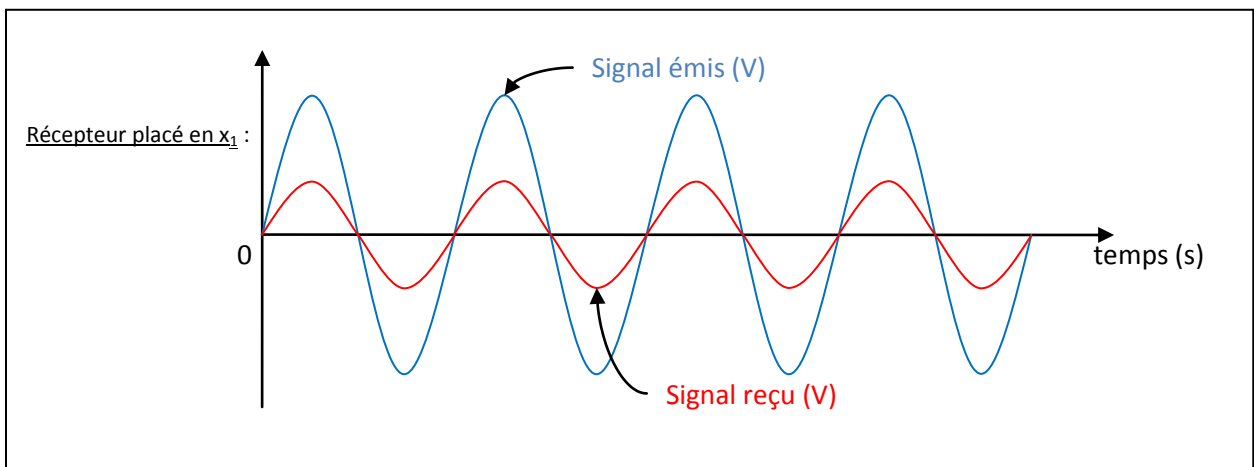


Branchements réalisés :

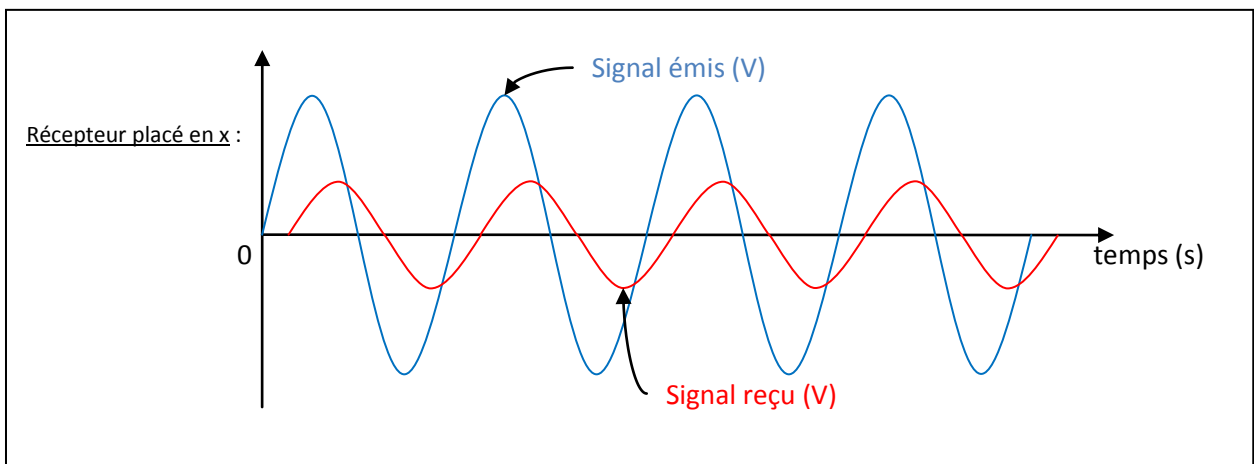
Au lieu d'être réglé en mode burst, le générateur envoie une sinusoïde de fréquence 40 kHz sans interruption. On observe sur l'oscilloscope le signal en entrée aux bornes de l'émetteur et le signal en sortie aux bornes du récepteur.

Nouvelle mesure de la célérité des ondes ultrasonores dans l'air :

On a donc à l'écran de l'oscilloscope deux sinusoïdes déphasées lorsque la position du récepteur est quelconque. L'émetteur est placé tel que sa position ne varie plus au cours des mesures. On s'arrange ensuite pour choisir x_1 la position du récepteur tel que les deux sinusoïdes observées à l'oscilloscope soient en phase :



Lorsque l'on fait augmenter x (la position du récepteur) alors les deux signaux se déphasent :



Si on continue à augmenter x jusqu'à une position que l'on appelle x_2 , les deux signaux vont se trouver de nouveau en phase. À ce moment là, on sait qu'une longueur d'onde λ a été franchie entre les deux positions x_1 et x_2 . Pour plus de précisions, on recule de $k\lambda$ la position du récepteur, avec k un entier.

On dispose alors de la relation suivante :
$$\lambda = \frac{x_2 - x_1}{k}$$

Or on sait que : $\lambda = \frac{c}{f}$ avec c, la célérité des ondes, et f la fréquence du signal émis (40 kHz)

Donc :
$$c = \lambda \cdot f = \frac{x_2 - x_1}{k} \cdot f$$

Mesures :

On mesure $x_1 = 1$ mm

	x_2 (cm)	c (m/s)	<c> (m/s)
pour 10λ	7,9	312	336,2
pour 15λ	12,2	323	
pour 15λ	13,1	344	
pour 15λ	13,4	352	
pour 12λ	10,7	350	

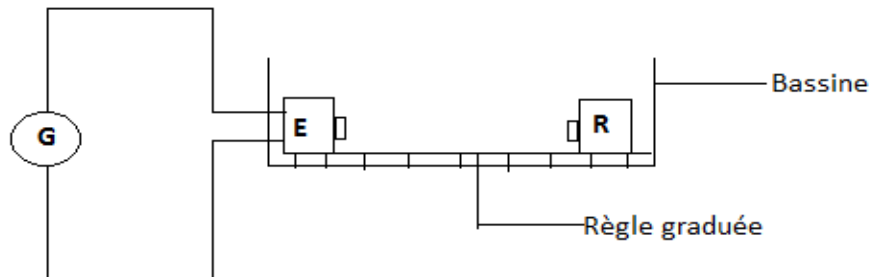
On obtient une valeur moyenne de la célérité de 336.2 m/s au lieu de 330 m/s. Comme les résultats obtenus sont très satisfaisants, on peut en déduire que cette méthode de mesure de la célérité d'ondes est bien meilleure que la première se servant de la relation $d=c \cdot \tau$

Séance du 22 fév. 2012 :
Mesure de la célérité des ultrasons dans l'eau

Matériel utilisé :

GBF, émetteur et récepteur séparés, règle graduée, bassine avec 4 cm d'eau, 2 oscilloscopes.

Schéma de l'expérience :



Branchement réalisés :

GBF en mode burst décrit précédemment. La sortie du GBF est reliée à une entrée de chaque oscilloscope. Les sorties air et eau du récepteur sont chacune reliées à l'entrée d'un oscilloscope.

Mesures :

Mesures de la distance avec la règle et lecture du temps de retard sur l'oscilloscope pour calculer la célérité dans l'eau. On en profite pour recalculer la mesure de la célérité dans l'air en dilatant encore plus l'échelle de temps.

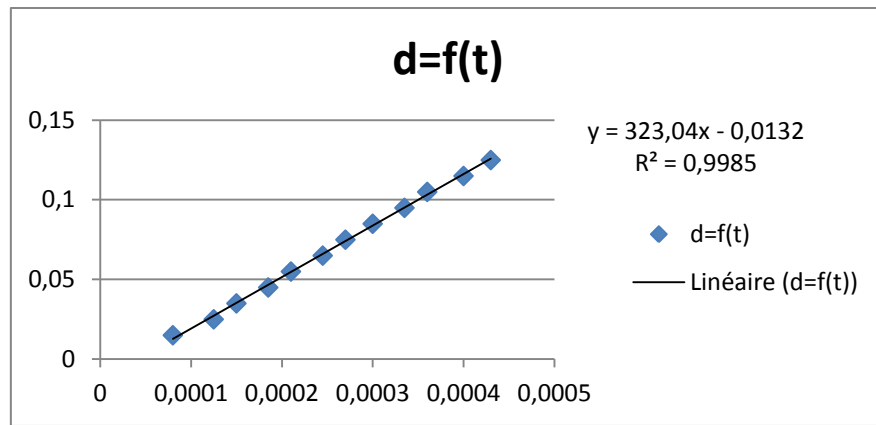
Tableau des acquisitions :

Dans l'eau :

d-1,5 (cm)	t (µs)	c (m.s-1)
8	75	1266,7
10	110	1045,5

Dans l'air :

d - 1,5 (cm)	t (µs)	c (m.s-1)
0	80	187,5
1	125	200
2	150	233,3
3	185	243,2
4	210	261,9
5	245	265,3
6	270	277,8
7	300	283,3
8	335	283,6
9	360	291,7
10	400	287,5
11	430	290,7



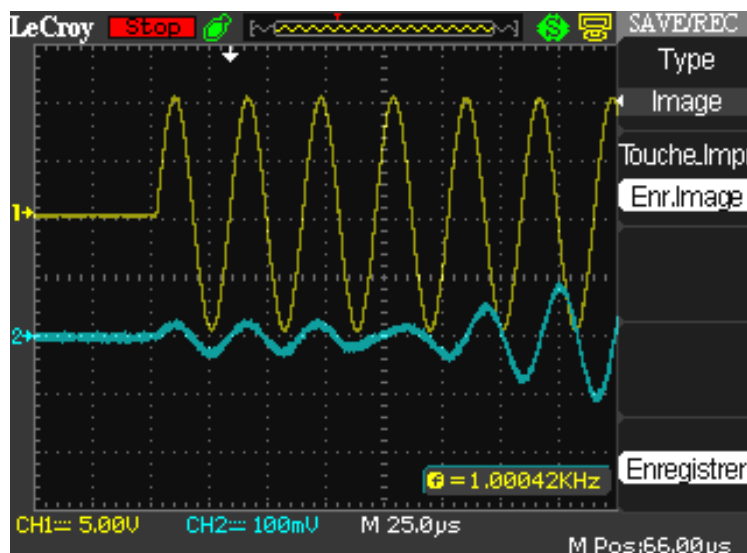
Graphique de la distance en fonction du temps

Analyse des résultats :

On obtient de meilleurs résultats en prenant en compte le décalage de 1,5cm dans la structure des transducteurs. Il demeure un écart entre les célérités mesurées et les célérités théoriques de 330m.s-1 dans l'air et de 1480m.s-1 dans l'eau. Les problèmes rencontrés ont été la dualité temps/distance. Soit on dilate l'échelle du temps, mais on ne peut plus mettre suffisamment de distance. De plus, pour la mesure dans l'eau, des échos parasites sont venus troubler les mesures : il faut estimer soit même le début de la réception de l'onde émise. Pour la mesure dans l'eau, la taille de la bassine nous a aussi limités pour mettre de la distance entre l'émetteur et le récepteur, le maximum étant de 11cm.

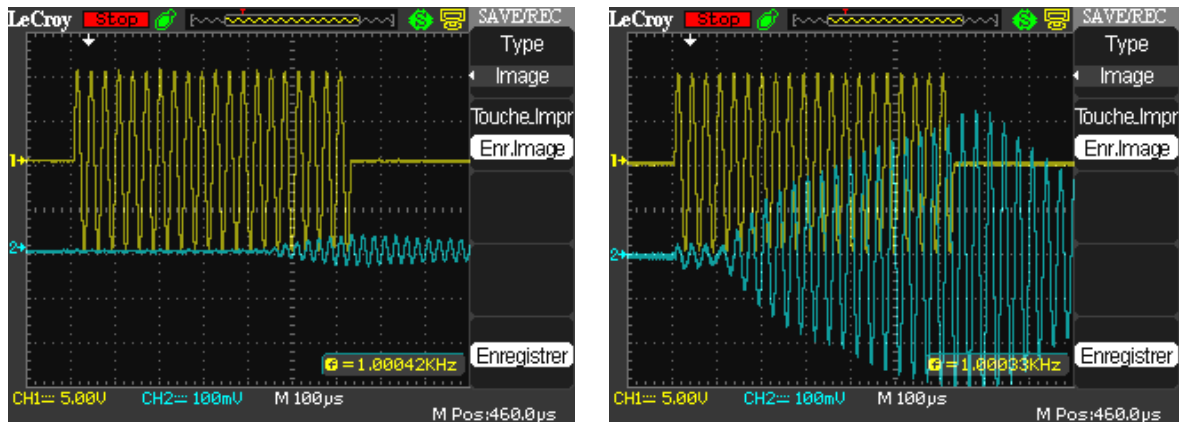
Photos :

Mesure de la célérité dans l'eau à une distance de 10 cm :



On peut observer les échos parasites. On peut aussi voir la dualité temps/distance, pour un temps de 25 μs les mesures en faisant varier la distance sont limitées à moins de 11cm.

A gauche l'acquisition sur l'oscilloscope dans l'air, à droite celle dans l'eau :



A l'œil nu il est possible de voir qualitativement que la célérité dans l'eau est plus importante que celle dans l'air.