

## DESCRIPTIF DE SUJET DESTINE AU PROFESSEUR

<b>Objectifs pédagogiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Exploiter une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique : histogramme, moyenne, écart-type.</li> <li>▪ Expliquer qualitativement la signification d'une incertitude-type et l'évaluer par une approche statistique.</li> <li>▪ Comparer qualitativement un résultat à une valeur de référence.</li> </ul>
<b>Notions et contenus</b>	<b>Seconde</b>
	<p style="text-align: center;"><u>1. Emission et perception d'un son</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Emission et propagation d'un signal sonore</li> <li>– Vitesse de propagation d'un signal sonore</li> </ul>
<b>Prérequis</b>	<p><u>Cycle 4 – Des signaux pour observer et communiquer</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Décrire les conditions de propagation d'un son.</li> <li>– Relier la distance parcourue par un son à la durée de propagation.</li> <li>– Vitesse de propagation.</li> </ul>
<b>Type d'activité</b>	Activité expérimentale
<b>Description succincte</b>	<p>Activité documentaire introductive sur la mesure historique de la vitesse du son dans l'eau.</p> <p>Détermination de la vitesse du son dans l'air avec LatisPro.</p> <p>Détermination de la vitesse du son dans l'air avec deux smartphones et l'application Phyphox.</p> <p>Exploitation des mesures et première approche de la notion d'incertitude.</p>
<b>Compétences travaillées</b>	<p><b>S'approprier</b></p> <p><b>Réaliser</b></p> <p><b>Valider</b></p> <p><b>Communiquer</b></p>
<b>Mise en œuvre</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Place dans la progression de la séquence et/ou de l'année</u> : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluation diagnostique réalisée et corrigée</li> <li>- Activité documentaire sur le diapason, fréquence et période</li> <li>- <b>Activité expérimentale sur la mesure de la vitesse du son</b></li> <li>- <i>Activité expérimentale sur les caractéristiques d'une onde sonore</i></li> <li>- Activité documentaire sur le niveau sonore et les dangers liés à l'audition</li> </ul> </li> <li>• <u>Cadre de mise en œuvre de l'activité</u> : <ul style="list-style-type: none"> <li>2 Séances de TP d'1h30 par binôme (par exemple)</li> <li>L'étude documentaire doit être réalisée au préalable à la maison ou en classe.</li> <li>La partie intitulée « pour aller plus loin » peut être réservée aux élèves les plus rapides.</li> <li>On profitera de la séance expérimentale pour réaliser le maximum de mesures et l'exploitation finale de la troisième partie peut être donnée en travail à la maison (« hors la classe »).</li> </ul> </li> </ul>
<b>Source(s)</b>	<p><a href="http://www.unige.ch/cyberdocuments/theses2003/BernaschinaF/site/colladon.html">http://www.unige.ch/cyberdocuments/theses2003/BernaschinaF/site/colladon.html</a></p> <p><a href="https://odpf.org/images/archives_docs/15eme/memoires/gr-7/memoire.pdf">https://odpf.org/images/archives_docs/15eme/memoires/gr-7/memoire.pdf</a></p> <p>(mémoire olympiade de physique 2008)</p> <p><a href="https://phyphox.org/">https://phyphox.org/</a></p>
<b>Auteur(s)</b>	<p>Armelle LE COZANNET – Yoann LEFEVRE – Lycée Benjamin Franklin – Orléans</p> <p>Aurélie FRILLOUX – Lycée Balzac – D'Alembert - Issoudun</p>

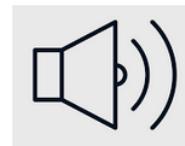
## SUPPORT(S) D'ACTIVITÉ ET/OU CONTEXTE

### Doc. 1 : Autour des ondes ultrasonores

→ Les ondes ultrasonores sont des ondes progressives mécaniques inaudibles par l'homme. Ici, on utilisera des ondes ultrasonores de fréquence voisine de 40 kHz.

→ Un émetteur d'ondes ultrasonores est un petit cristal qualifié de piézoélectrique qui, lorsqu'il est alimenté par une tension, génère alors des ondes ultrasonores. Au contraire, un récepteur d'ondes ultrasonores est un petit cristal qui, lorsqu'il reçoit des ondes ultrasonores, génère une tension à ses bornes.

→ Des salves d'ondes ultrasonores sont des impulsions d'ondes ultrasonores délivrées par l'émetteur à une fréquence d'environ 100 salves par seconde, chaque salve ayant une "durée de vie" d'environ 3 ms.



### Doc. 2 : Matériel mis à disposition

Un émetteur de salves ultrasonores, un générateur 12 V continu pour alimenter cet émetteur, un récepteur de salves ultrasonores, un ordinateur avec entre autres les logiciels LATIS-PRO® et REGRESSI®, une centrale d'acquisition SYSAM-SP5® reliée à l'ordinateur, des fils de connexion, un réglet métallique.

### Doc. 3 : Vitesse du son dans différents milieux

La vitesse du son dépend du milieu de propagation de l'onde sonore. Voici quelques valeurs de référence :

-Vitesse du son dans l'air à 25°C : 340m.s<sup>-1</sup>

-Vitesse du son dans l'eau : de l'ordre de 1500 m.s<sup>-1</sup>

### Doc. 4 : Précision d'une mesure

Il n'est pas possible de déterminer la valeur exacte d'une grandeur physique, il existe toujours une incertitude sur le résultat.

Cette **incertitude** dépend de l'appareil de mesure utilisé, de l'objet (déformation, conception, ...) et de l'utilisateur.

Pour trouver cette incertitude, on peut travailler en faisant de **nombreuses mesures** de la grandeur étudiée et en les traitant avec des outils mathématiques comme :

➤ la **Moyenne** :  $\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$  avec N le nombre de mesures effectuées et x<sub>i</sub> chaque mesure effectuée ;

➤ l'**écart-type** (expérimental) :  $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$  qui caractérise la dispersion des valeurs mesurées autour de la moyenne. Plus il est faible, plus les résultats sont regroupés autour de la moyenne.

On exprime ensuite **l'incertitude-type** associée à la mesure à l'aide de la relation :  $u(\bar{x}) = \frac{s}{\sqrt{N}}$

Puis on écrit le résultat de la mesure sous la forme : « Dans les conditions de l'expérience, avec un échantillon de N mesures, le résultat est de  $\bar{x}$  avec une incertitude-type de  $u(\bar{x})$  »

## Doc. 5 : Détermination historique de la vitesse de propagation du son dans l'eau à Genève.

Daniel Colladon est à l'origine de ces travaux; il fit ses études au début du XIX<sup>ème</sup>, à ce qui était encore l'Académie de Genève. Quelques années plus tard, professeur de physique dans cette même Académie, il entreprit sur le lac Léman, nous sommes en 1826, une série d'expériences ayant pour but de déterminer la vitesse de propagation du son dans l'eau.

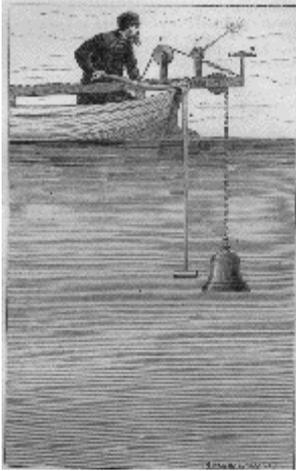


Figure 1: Dispositif qui permet l'émission des signaux acoustique et visuel.

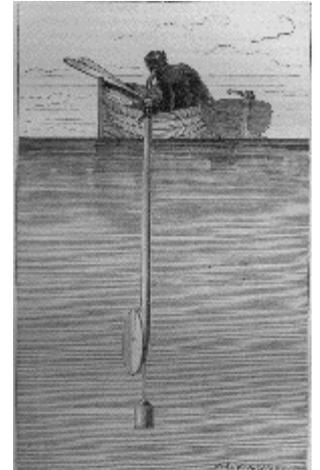
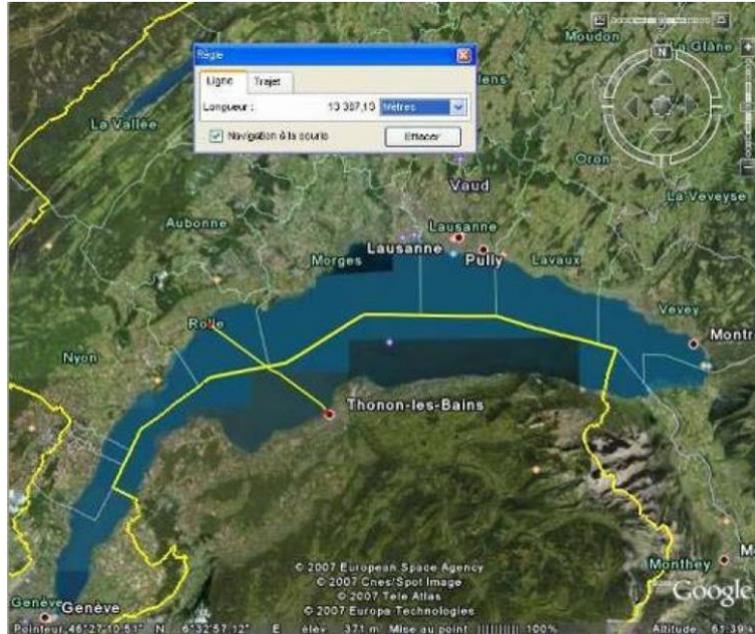


Figure 2: D. Colladon après avoir enclenché son chronomètre se met à l'écoute du signal acoustique.

À quelque deux cents mètres au large de Rolle, un assistant se tenait dans une barque, à laquelle était suspendue une cloche. Le rôle de cet assistant était d'actionner un long manche terminé par un marteau. Ce marteau permettait de frapper sur une cloche immergée au bout d'une chaîne (Figure 1). Colladon, lui, se tenait à équidistance de la côte mais du côté français, au large de Thonon. Dès qu'il percevait un signal lumineux à l'horizon, il enclenchait un chronomètre et se mettait à l'écoute du stimulus.

Dans un premier temps en plongeant la tête directement dans l'eau puis, après avoir perfectionné le système, à l'aide d'un cornet dont l'embouchure immergée était fermée par une membrane en tôle (Figure 2). À l'instant où il entendait le signal acoustique, Colladon déclenchait son chronomètre. La rotondité de la planète interdisait aux expérimentateurs de biaiser les résultats en anticipant le départ du stimulus. La courbure de la terre entre ces deux rives, éloignées entre elles de 13 887 mètres, leur interdisait de se voir. Colladon ne pouvait présager du moment où son collègue allait donner le signal. Les résultats enregistrés au moyen de ce dispositif et ses calculs mènent Colladon à la conclusion suivante: "La moyenne de plusieurs expériences donna 9 secondes 1/10, pour le temps de propagation sous l'eau. Dans l'air, le son eût mis 40 secondes 14/100. La vitesse du son dans l'eau pure, à la température de +8°, fut déterminée à 1435 mètres par seconde, au lieu de 336 mètres dans l'air à +8 degrés" (Source : Figuié, 1884, pp. 82).

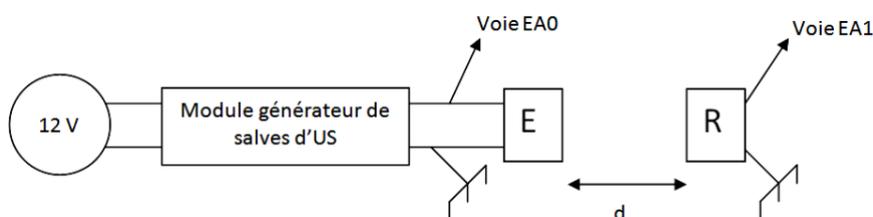
## Première partie : Introduction historique

A l'aide d'un calcul, retrouver les résultats obtenus historiquement pour la vitesse de propagation du son dans l'eau et dans l'air.

## Deuxième partie : Mesure de la vitesse du son dans l'air avec Latispro (à votre paillasse)

### 1. Dispositif expérimental :

Un **émetteur d'ultrasons** est alimenté par un **générateur de tension continue** réglé sur 12V. Il produit des ultrasons selon deux modes possibles (émission continue ou sous forme de salves). Un **récepteur** récupère le son émis. Le signal sonore émis est visualisé sur la **voie EA0** et le signal reçu par le récepteur sur la **voie EA1**. La distance entre l'émetteur et le récepteur peut être mesurée à l'aide d'une **règle graduée**.



### 2. Détermination expérimentale de la valeur de la vitesse du son.

#### • Régler l'émetteur en mode « salve »

- A l'aide de la fiche technique jointe régler les paramètres d'acquisition du logiciel Latispro.
- Eloigner le récepteur et l'émetteur d'une distance  $d_1 = 20 \text{ cm}$ . Mesurer la durée  $\Delta t$  que met le son pour parcourir cette distance : on pourra pour cela utiliser la fonction **réticule** (clic droit sur la courbe).
- Utiliser la mesure précédente pour calculer la vitesse de propagation  $v$  de l'onde sonore.
- Réaliser des mesures tous les 20 cm par exemple, et reporter les valeurs de  $\Delta t$  et  $v$  dans un tableau.



Appeler le professeur en cas de difficultés pour :

- trouver la relation à utiliser pour calculer la vitesse du son ;
- élaborer un tableau clair pour consigner les résultats des mesures.

#### Questions :

- 1) Obtenez-vous toujours la même valeur pour la vitesse de l'onde sonore ? Pourquoi ?
- 2) A l'aide du document 4, calculer la moyenne  $\bar{v}$  de vos 6 mesures ;
- 3) Comparer votre résultat avec la valeur théorique donnée dans le document 3.

## Pour aller plus loin :

4)A l'aide du document 4 :

- Calculer l'écart-type correspondant à la dispersion de vos 6 mesures ;
- Calculer l'incertitude-type  $u(\bar{v})$  ;
- Exprimer le résultat de votre mesure sous la forme énoncée dans le doc.4

5)Comparer, la différence entre la valeur théorique et la moyenne expérimentale, avec l'incertitude-type. Conclure sur la compatibilité des résultats.

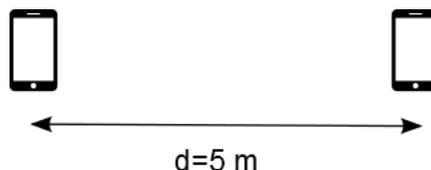
## Troisième partie : Mesure de la vitesse du son avec l'application Phyphox pour téléphone portable et tablette

Cette mesure nécessite l'utilisation de 2 appareils possédant l'application et un décamètre.

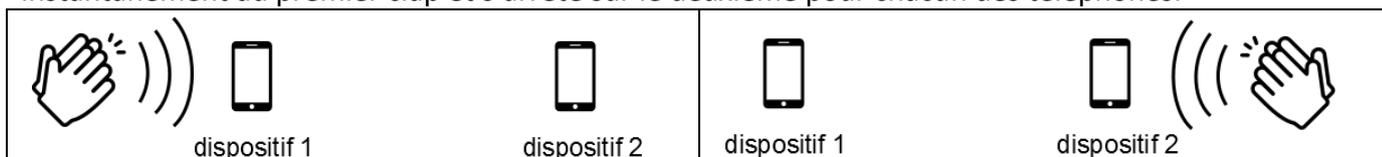


### 1. Expérience

- Ouvrir l'application et sélectionner « Acoustic Stopwatch » ou « chronmètre sonore » dans le menu d'accueil.
- Ajuster le bruit de fond (« threshold » ou « seuil »). Pour cela mettre en marche l'application. Si le chronomètre ne se met pas en route, le bruit de fond est bien calibré. Au contraire, s'il se déclenche, augmenter la valeur du bruit de fond jusqu'à ce qu'il ne se déclenche plus.
- Placer les 2 téléphones à une distance  $d$  l'un de l'autre (mesurer précisément  $d$  avec le décamètre, on prendra  $d \approx 5$  m).



- Mettre à zéro le chronomètre de chaque téléphone. Clapper des mains une seule fois vers le premier téléphone puis une fois vers le second téléphone. Le chronomètre se déclenche instantanément au premier clap et s'arrête sur le deuxième pour chacun des téléphones.



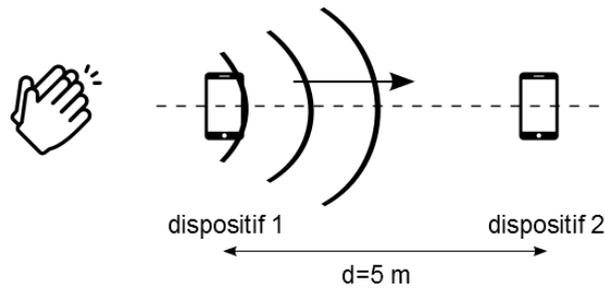
- Noter les valeurs du temps pour chacun des chronomètres des deux dispositifs :

Temps affiché par le dispositif 1 :  $t_1 = \dots\dots\dots$

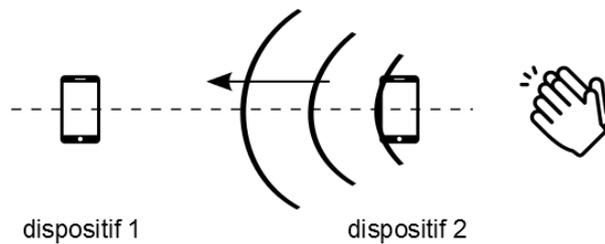
Temps affiché par le dispositif 2 :  $t_2 = \dots\dots\dots$

## 2. Explication de la méthode

Lors du premier clap, le son émis déclenche le premier dispositif lorsqu'il arrive à sa hauteur. Puis, le son se propage à la vitesse  $v$  jusqu'au deuxième dispositif et le déclenche à son tour mais avec un retard  $\Delta t$  par rapport au premier qui dépend de la vitesse de propagation du son.



Lors du deuxième clap, le son émis arrête le chronomètre du second dispositif lorsqu'il arrive à sa hauteur. Puis le son se propage à la vitesse  $v$  jusqu'au premier dispositif et l'arrête à son tour mais avec un retard  $\Delta t$  par rapport au deuxième dispositif. Le retard est le même car le son parcourt la même distance.



La différence entre les deux temps  $t_1$  et  $t_2$  mesurés par les deux chronomètres correspond aux 2 retards cumulés mis par le son pour parcourir deux fois la distance  $d$ .

On peut alors calculer la vitesse de propagation du son.

## 3. Résultats de l'expérience

D'après ce qui précède, exprimer puis calculer la vitesse du son par cette méthode plusieurs fois de suite.

Vous rassemblez vos résultats dans un tableau consignait les temps  $t_1$  et  $t_2$ , la durée  $\Delta t$  puis la vitesse  $v$ .



Appeler le professeur en cas de difficultés pour :

- trouver la relation à utiliser pour calculer la vitesse du son ;
- élaborer un tableau clair pour consigner les résultats des mesures.

#### 4. Exploitation des résultats

##### Questions :

6) Que pensez-vous des valeurs obtenues pour la vitesse de propagation du son ?

7) A l'aide du tableau suivant, indiquer quel type d'erreur est rencontrée avec cette expérience ?

Cas recherché	Cas n°1 : erreurs aléatoires	Cas n°2 : erreurs systématiques	Cas n°3 : erreurs aléatoires et systématiques.
			
Tous les impacts sont proches du centre de la cible	Si les impacts sont très étalés mais centrés en moyenne sur le centre de la cible	Si les impacts sont groupés mais loin du centre de la cible	Si les impacts sont étalés et loin du centre de la cible

Éléments de correction :



Deuxième partie

Tableau à distribuer si besoin :

d (m)	$d_1 = 0,200$	$d_2 = 0,400$	$d_3 = 0,600$	$d_4 = 0,800$	$d_5 = 1,00$	$d_6 = 1,20$
$\Delta t$ (s)	$\Delta t_1 =$	$\Delta t_2 =$	$\Delta t_3 =$	$\Delta t_4 =$	$\Delta t_5 =$	$\Delta t_6 =$
v (m.s <sup>-1</sup> )	$v_1 =$	$v_2 =$	$v_3 =$	$v_4 =$	$v_5 =$	$v_6 =$

Correction :

d (m)	$d_1 = 0,200$	$d_2 = 0,400$	$d_3 = 0,600$	$d_4 = 0,800$	$d_5 = 1,000$	$d_6 = 1,200$
$\Delta t$ (s)	$\Delta t_1 = 0,601 \cdot 10^{-3}$	$\Delta t_2 = 1,20 \cdot 10^{-3}$	$\Delta t_3 = 1,92 \cdot 10^{-3}$	$\Delta t_4 = 2,51 \cdot 10^{-3}$	$\Delta t_5 = 2,91 \cdot 10^{-3}$	$\Delta t_6 = 3,42 \cdot 10^{-3}$
v (m.s <sup>-1</sup> )	$v_1 = 3,30 \cdot 10^2$	$v_2 = 3,30 \cdot 10^2$	$v_3 = 3,20 \cdot 10^2$	$v_4 = 3,20 \cdot 10^2$	$v_5 = 3,40 \cdot 10^2$	$v_6 = 3,50 \cdot 10^2$

- 1) *On ne retrouve pas toujours précisément la même valeur de vitesse de propagation mais cela est dû à la précision de nos mesures de distances et de durées.*
- 2)  $\bar{v} = V_{moy} = 332 \text{ m.s}^{-1}$
- 3) *Dans le document 3 il est indiqué  $340 \text{ m.s}^{-1}$ , on peut dire que les deux résultats sont du même ordre de grandeur.*
- 4) a)  $s = 11,7$   
 b)  $u(\bar{v}) = 4,77 \text{ m.s}^{-1}$  que l'on arrondi à  $u(v) = 5 \text{ m.s}^{-1}$   
 c) *Dans les conditions de l'expérience, avec un échantillon de 6 mesures, la Vitesse du son dans l'air est de  $332 \text{ m.s}^{-1}$  avec une incertitude-type de  $5 \text{ m.s}^{-1}$ .*
- 5) *Valeur de référence :  $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$  et valeur expérimentale :  $\bar{v} = 332 \text{ m.s}^{-1}$  donc la différence vaut  $8 \text{ m.s}^{-1}$  ce qui est de l'ordre de grandeur de  $u(\bar{v}) = 5 \text{ m.s}^{-1}$  il y a donc compatibilité des résultats.*

### Troisième partie

Relation pour calculer la vitesse du son :  $V = \frac{2d}{t_1 - t_2}$



Tableau à distribuer si besoin :

	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5	Exp 6
d	5,00m					
t <sub>1</sub>						
t <sub>2</sub>						
Δt= (t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub> )						
v						

### Correction :

	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5	Exp 6
d	5,00m					
t <sub>1</sub>	3,802	2,770	3,017	2,601	3,034	2,824
t <sub>2</sub>	3,775	2,742	2,991	2,573	3,009	2,797
Δt= (t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub> )	0,027	0,0280	0,0260	0,0280	0,0250	0,0270
v	370	357	384	357	400	370

6) Les valeurs obtenues sont relativement plus élevées que pour l'expérience précédente. Elles sont proches les unes des autres mais toutes supérieures à la valeur de référence qui est de 340 m.s<sup>-1</sup>.

7) Avec cette expérience il semble que l'on rencontre le type d'erreur suivant : erreurs systématiques.

### Indications devant figurer dans la fiche technique de Latispro

- Activer la voie EA0 et EA1
- Cliquer droit sur les deux voies pour aller dans **propriétés de la courbe** et choisir le style **TRAIT**
- Régler la durée d'acquisition sur 10 ou 20 ms.

### Critères de réussite :

Domaine de Compétences évaluées	Critères de réussite
<b>S'approprier (APP)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retrouver correctement les valeurs des vitesses de propagation des ondes sonores dans l'eau et dans l'air (relation entre la vitesse, la durée et la distance vue en classe)</li> <li>• Comprendre le fonctionnement des logiciels et applications utilisés</li> </ul>
<b>Réaliser (REA)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réalisation du montage avec émetteur et récepteur à US</li> <li>• Prise de mesures de Δt avec latis pro</li> <li>• Prise de mesure avec les deux smartphones et l'application dédiée</li> <li>• Capacité mathématiques : différents calculs proposés : moyenne, écart type</li> </ul>
<b>Valider (VAL)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparaison des valeurs expérimentales et valeurs théoriques et propositions d'explications sur la précision des mesures</li> <li>• Calcul et utilisation de l'incertitude-type</li> <li>• Identifier un type d'erreur expérimentale à l'aide d'un tableau fourni</li> </ul>
<b>Communiquer (COM)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualité de l'expression, phrases complètes et structurées</li> </ul>

**Doc. 1 : Deux smartphones**

A l'aide de deux smartphones possédant l'application Phypox et un décimètre, il est possible de déterminer la vitesse du son dans l'air.

**Doc. 2 : Vidéo de l'expérience**

[https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=1&v=uoUm34CnHdE](https://www.youtube.com/watch?time_continue=1&v=uoUm34CnHdE)

**Doc. 3 : Valeur théorique de la vitesse du son dans l'air en fonction de la température**

Pour une gamme de températures comprises entre  $\theta = -20^\circ\text{C}$  et  $\theta = 40^\circ\text{C}$  :

$$V_{\text{son}} = 331,5 + 0,607 \times \theta$$

↙
↘

en m.s<sup>-1</sup>
en °C

**Doc. 4 : Précision d'une mesure et écriture du résultat de la mesure**

Il n'est pas possible de déterminer la valeur exacte d'une grandeur physique, il existe toujours une incertitude sur le résultat.

Cette **incertitude** dépend de l'appareil de mesure utilisé, de l'objet (déformation, conception, ...) et de l'utilisateur.

Pour trouver cette incertitude, on peut travailler en faisant de **nombreuses mesures** de la grandeur étudiée et en les traitant avec des outils mathématiques comme :

➤ la **Moyenne** :  $\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$  avec N le nombre de mesures effectuées et  $x_i$  chaque mesure effectuée ;

➤ l'**écart type** (expérimental) :  $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$  qui caractérise la dispersion des valeurs mesurées autour de la moyenne. Plus il est faible, plus les résultats sont regroupés autour de la moyenne.

On exprime ensuite l'**incertitude-type** associée à la mesure à l'aide de la relation :  $u(\bar{x}) = \frac{s}{\sqrt{N}}$

Puis on écrit le résultat de la mesure sous la forme : « Dans les conditions de l'expérience, avec un échantillon de N mesures, le résultat est de  $\bar{x}$  avec une incertitude-type de  $u(\bar{x})$  »

**Doc.5 : Comparer le résultat d'une mesure à une valeur de référence (norme, seuil, valeur théorique)**

*On calcule la différence entre la moyenne et la valeur de référence et c'est cette différence que l'on compare à l'incertitude-type.*

*Il y a compatibilité si les résultats sont du même ordre de grandeur (1 à 3 fois  $u$ ) :*

$$|\bar{m} - m_{ref}| \leq u(\bar{m}) \text{ ou } |\bar{m} - m_{ref}| \approx 2 \text{ ou } 3 u(\bar{m})$$

**CONSIGNES DONNÉES À L'ÉLÈVE**

1. Visionner la vidéo.
2. **(APP)** Expliquer comment il est possible de déterminer la vitesse de propagation du son grâce à l'application Phypox. Vous détaillerez la démarche et les différents calculs.
3. **(REA)** Réaliser vous-même cette expérience à plusieurs reprises.
4. **(VAL)** Noter vos résultats dans un tableau. En déduire la vitesse de propagation du son dans l'air.
5. **(VAL)** Comparer la valeur expérimentale de la vitesse de propagation du son dans l'air à la valeur théorique. Identifier les sources d'erreurs possibles.