Signaux

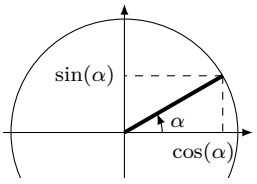
Prérequis
Fonctions trigonométriques.
Signaux périodiques (fréquence, période, pulsation, longueur d'onde, phase).

Autour des fonctions trigonométriques

Entraînement 1.1 — Cercle trigonométrique.

Sur le cercle trigonométrique ci-contre, $\cos(\alpha)$ se lit sur l'axe des abscisses et $\sin(\alpha)$ se lit sur l'axe des ordonnées.

Exprimer les fonctions suivantes en fonction de $\cos(\alpha)$ et $\sin(\alpha)$.



a) $\sin(\alpha + \pi)$ .....

b) $\cos(\alpha + \pi/2)$ .....

c) $\sin(\alpha + \pi/2)$ .....

d) $\sin(\pi/2 - \alpha)$ .....

Entraînement 1.2 — Dérivée de signaux.

Pour chaque signal ci-dessous, calculer sa dérivée par rapport à t.

a) $\sin(2t)$ .....

b) $\cos^2(t + 4)$ .....

c) $\cos(t) \times \sin(t)$ .....

Entraînement 1.3 — Transformer des sommes de signaux en produits.

On rappelle les formules trigonométriques :

$$\cos(a+b) = \cos(a)\cos(b) - \sin(a)\sin(b) \qquad \sin(a+b) = \sin(a)\cos(b) + \cos(a)\sin(b)$$
$$\cos(a-b) = \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b) \qquad \sin(a-b) = \sin(a)\cos(b) - \cos(a)\sin(b).$$

Mettre les signaux suivants sous la forme $C\cos(\Omega t)\cos(\omega t)$ ou $C\sin(\Omega t)\sin(\omega t)$ (où les constantes C, Ω et ω s'exprimeront en fonction de A, ω_1 et ω_2).

a) $A\cos(\omega_1 t) + A\cos(\omega_2 t)$ .....

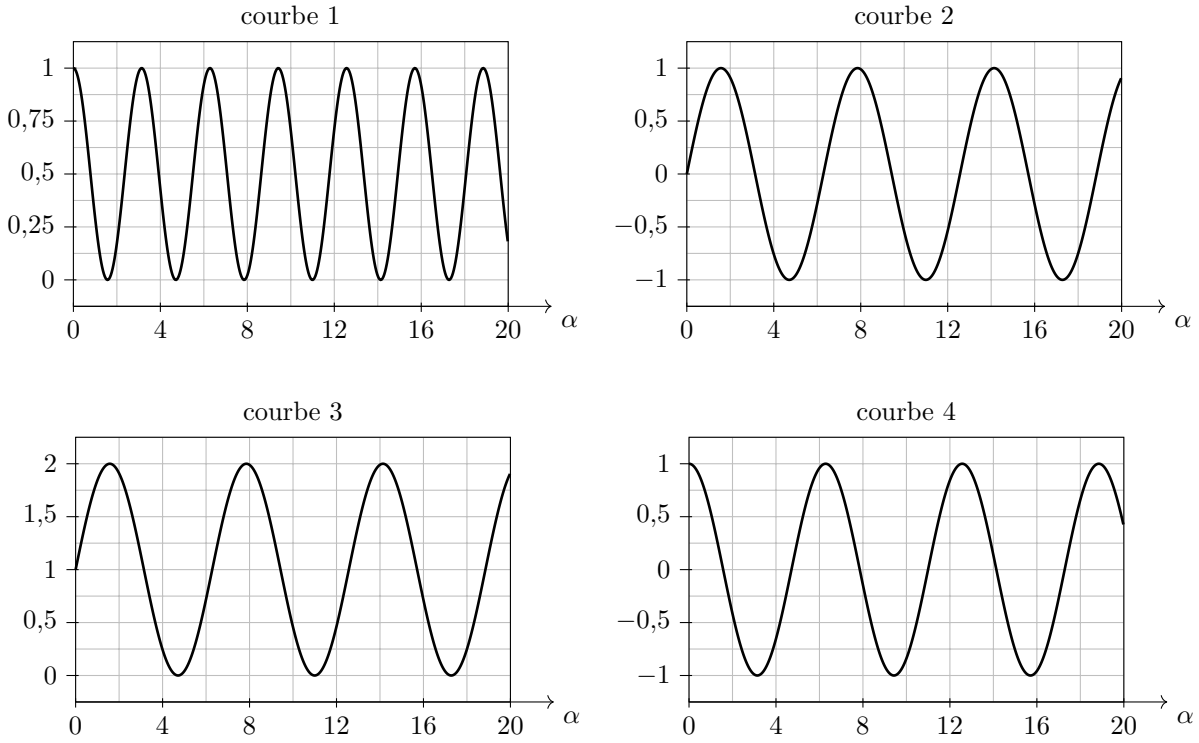
b) $A\cos(\omega_1 t) - A\cos(\omega_2 t)$ .....

Entraînement 1.4 — Formules d'addition.

Mettre le signal $A\sin(\omega t+\varphi)$ sous la forme $B\cos(\omega t)+C\sin(\omega t)$, où B et C dont des constantes à exprimer en fonction de A et φ.

.....

Entraînement 1.5 — Représentations graphiques.



Pour les quatre graphiques ci-dessus, α est exprimé en radians.

Associer chaque fonction à sa courbe représentative.

a) $\sin(\alpha)$ .....

b) $\cos(\alpha)$ .....

c) $1+\sin(\alpha)$ .....

d) $\cos^2(\alpha)$ .....

QCM Entraînement 1.6 — Formules trigonométriques.

Le signal $\cos(\omega t)+\sin(\omega t)$ peut s'écrire sous la forme :

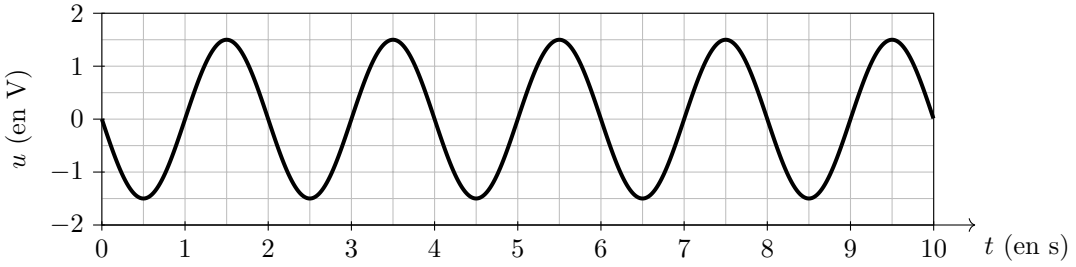
(a) $\cos^2(\omega t+\pi/4)$ (b) $2\cos(\omega t+\pi/4)$ (c) $\sqrt{2}\sin(\omega t+\pi/4)$

.....

Étude graphique

Entraînement 1.7 — Paramètres d'un signal sinusoïdal.

En travaux pratiques, vous faites l'acquisition d'une tension sinusoïdale $u(t) = U_0 \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right)$ et obtenez l'oscillogramme ci-dessous.



Par lecture graphique ou par le calcul, déterminer :

a) l'amplitude U_0 .....

b) la phase à l'origine φ .....

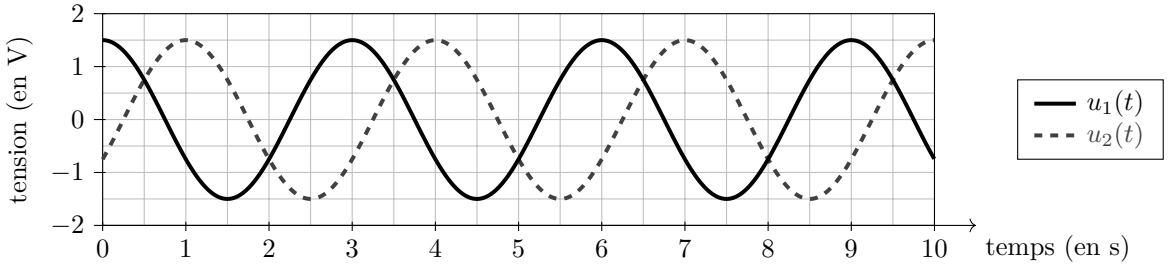
c) la période T .....

d) la fréquence f .....

e) la pulsation ω. .....

Entraînement 1.8 — Différence de phase.

La figure ci-dessous donne les représentations graphiques de deux signaux : le signal $u_1(t) = U_0 \cos(\omega t)$ et le signal $u_2(t) = U_0 \cos(\omega t + \varphi)$, où on a $\omega = \frac{2\pi}{3}$ rad $\cdot$ s^{-1}.



a) Le signal $u_2(t)$ est-il en avance ou en retard sur $u_1(t)$? .....

b) En déduire le signe de φ. .....

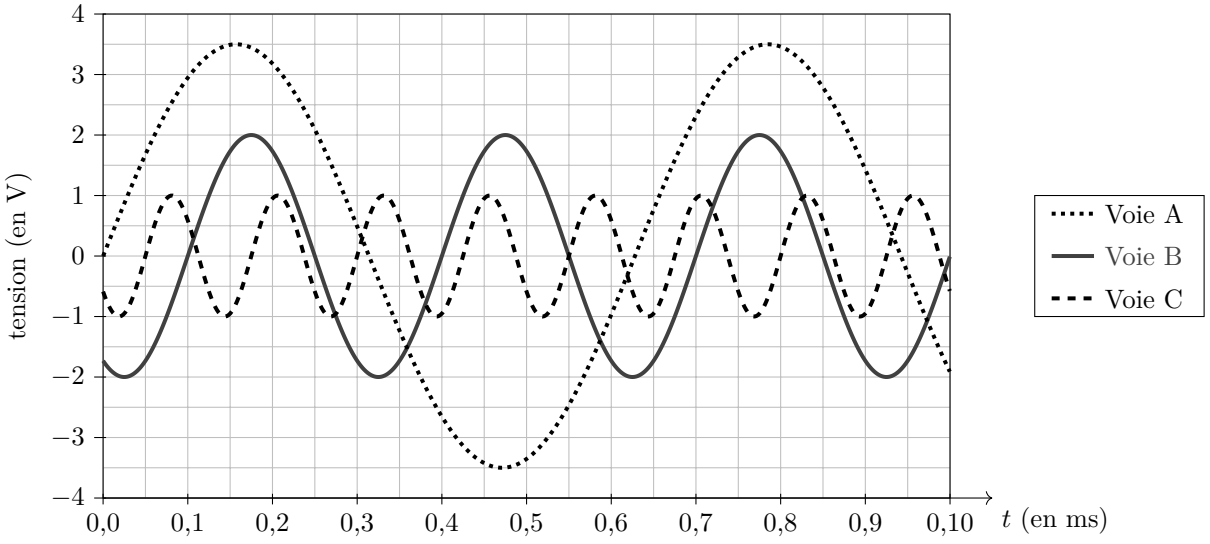
c) Déterminer graphiquement φ. .....

Entraînement 1.9 — Qui est qui ?

En travaux pratiques, vous faites l'acquisition de trois signaux périodiques : $u_1(t)$, $u_2(t)$ et $u_3(t)$.

Malheureusement, vous ne vous souvenez pas quelle voie d'acquisition vous avez utilisée pour chaque signal !

Vous savez que la tension $u_1(t)$ a pour période 300 µs, que la tension $u_2(t)$ a pour fréquence 8,0 kHz et que la tension $u_3(t)$ a pour pulsation $1 \times 10^4\,\mathrm{rad \cdot s^{-1}}$.



Attribuer chacun des graphes au signal qui lui correspond.

a) Voie A ..... b) Voie B ..... c) Voie C .....

Valeur moyenne et valeur efficace

La valeur moyenne U_{moy} et la valeur efficace U_{eff} d'un signal $u(t)$ périodique de période T sont définies par les formules :

$$U_{\text{moy}} = \frac{1}{T}\int_0^T u(t)\,\mathrm{d}t \qquad \text{et} \qquad U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u(t)^2\,\mathrm{d}t}.$$

Entraînement 1.10 — Signal sinusoïdal.

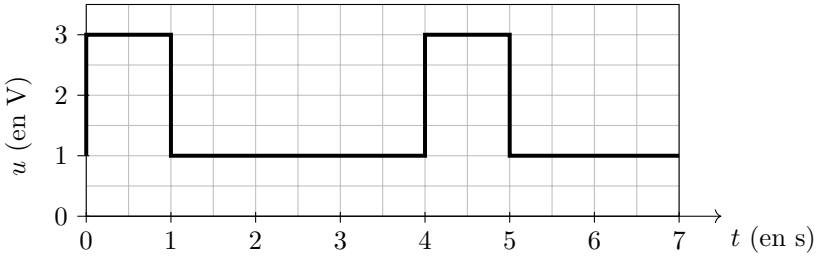
On considère le signal sinusoïdal $u(t) = U_0 \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$.

a) Calculer la valeur moyenne de $u(t)$ .....

b) Calculer la valeur efficace de $u(t)$ .....

Entraînement 1.11 — Un signal carré.

On considère le signal périodique carré dissymétrique $u(t)$ représenté ci-dessous.



Calculer :

a) la valeur moyenne de $u(t)$ .....

b) la valeur efficace de $u(t)$ .....

Entraînement 1.12 — Un signal carré, sans son dessin.

On considère le signal périodique carré défini par $u(t) = \begin{cases} U_0 & \text{si} \quad 0 < t \leqslant T/2 \\ 0 & \text{si} \quad T/2 < t \leqslant T. \end{cases}$

Calculer :

a) la valeur moyenne de $u(t)$ .....

b) la valeur efficace de $u(t)$ .....

Propagation d'un signal

Une onde progressive se propageant dans le sens des x croissants est un signal $s(x,t)$ qui peut se mettre sous la forme

$$s(x,t) = f\left(t - \frac{x}{c}\right),$$

où f est une fonction mathématique quelconque. La grandeur c est la célérité de l'onde, c'est-à-dire sa vitesse de propagation.

A.N. **Entraînement 1.13 — Éclair et tonnerre.**

La foudre est une décharge électrique qui se produit pendant les orages et qui entraîne une lumière intense (l'éclair) et un grondement sourd (le tonnerre).

La lumière se propage à la vitesse $c = 3{,}00 \times 10^8\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ et le son se propage à la vitesse $c_s = 344\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

Vous mesurez à l'aide d'un chronomètre la durée entre le moment où vous voyez l'éclair et le moment où vous entendez le tonnerre : vous trouvez $\Delta t = 5,0 \pm 0{,}5\,\mathrm{s}$.

a) On considère que la lumière se propage instantanément entre le lieu de l'éclair et votre position.

Déterminer la distance à laquelle la foudre a frappé .....

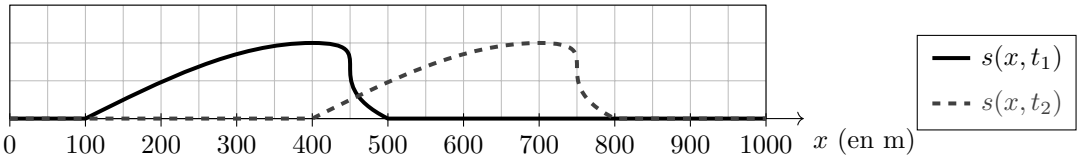
b) En déduire la durée de propagation de la lumière entre l'endroit où la foudre a frappé et votre position.

.....

c) L'hypothèse faite à la première question est-elle justifiée ? .....

Entraînement 1.14 — Vitesse de propagation.

Une vague $s(x,t)$ se propage en direction des côtes. Ci-dessous, on représente l'allure de la surface de l'eau aux instants $t_1 = 0\,\text{min}$ et $t_2 = 1\,\text{min}$.



Déterminer la vitesse de propagation de la vague en km/h. .....

Entraînement 1.15 — Onde progressive sinusoïdale.

Une onde progressive sinusoïdale a pour expression, en $x = 0$

$$s(0,t) = 2\sin(3{,}9\,t + 0{,}3\,\pi),$$

le temps t étant exprimé en secondes.

Elle se propage dans le sens des x croissants à la vitesse $c = 30\,\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$.

a) Déterminer la période T du signal. .....

b) Déterminer la longueur d'onde λ du signal. .....

c) Donner l'expression générale de $s(x,t)$. .....

Réponses mélangées

c	5,7 µs	$-\sin(\alpha)$	$-\frac{2\pi}{3}$ rad	En retard	$\frac{\pi}{2}$ rad	48 cm	$\varphi < 0$	oui
$2A\cos\left(\frac{\omega_1-\omega_2}{2}t\right)\cos\left(\frac{\omega_1+\omega_2}{2}t\right)$	$\frac{U_0}{2}$	$u_2(t)$	$A\sin(\varphi)\cos(\omega t) + A\cos(\varphi)\sin(\omega t)$					
0	$\cos(\alpha)$	1,5 V	$2A\sin\left(\frac{\omega_2-\omega_1}{2}t\right)\sin\left(\frac{\omega_1+\omega_2}{2}t\right)$	$u_1(t)$	$2\cos(2t)$			
Courbe 1	$-2\sin(t+4)\cos(t+4) = -\sin(2t+8)$	Courbe 4	$\frac{U_0}{\sqrt{2}}$	$\cos(\alpha)$	2 s			
$\cos^2(t) - \sin^2(t) = \cos(2t)$	18 km/h	$2\sin(3{,}9t - 13x + 0{,}3\pi)$	1,5 V	$\sqrt{3}$ V	$u_3(t)$			
1,7 km	Courbe 3	$-\sin(\alpha)$	0,5 Hz	Courbe 2	1,6 s	$\frac{U_0}{\sqrt{2}}$	π rad $\cdot$ s^{-1}	

► Réponses et corrigés page 7

Fiche n° 1. Signaux

Réponses

1.1 a) ..... $\boxed{-\sin(\alpha)}$

1.1 b) ..... $\boxed{-\sin(\alpha)}$

1.1 c) ..... $\boxed{\cos(\alpha)}$

1.1 d) ..... $\boxed{\cos(\alpha)}$

1.2 a) ..... $\boxed{2\cos(2t)}$

1.2 b) ... $\boxed{-2\sin(t+4)\cos(t+4) = -\sin(2t+8)}$

1.2 c) ..... $\boxed{\cos^2(t) - \sin^2(t) = \cos(2t)}$

1.3 a) ..... $\boxed{2A\cos\left(\frac{\omega_1-\omega_2}{2}t\right)\cos\left(\frac{\omega_1+\omega_2}{2}t\right)}$

1.3 b) ..... $\boxed{2A\sin\left(\frac{\omega_2-\omega_1}{2}t\right)\sin\left(\frac{\omega_1+\omega_2}{2}t\right)}$

1.4 ..... $\boxed{A\sin(\varphi)\cos(\omega t) + A\cos(\varphi)\sin(\omega t)}$

1.5 a) ..... Courbe 2

1.5 b) ..... Courbe 4

1.5 c) ..... Courbe 3

1.5 d) ..... Courbe 1

1.6 c

1.7 a) ..... $\boxed{1{,}5\,\mathrm{V}}$

1.7 b) ..... $\boxed{\frac{\pi}{2}\ \mathrm{rad}}$

1.7 c) ..... $\boxed{2\,\mathrm{s}}$

1.7 d) ..... $\boxed{0{,}5\,\mathrm{Hz}}$

1.7 e) ..... $\boxed{\pi\ \mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}}$

1.8 a) ..... En retard

1.8 b) ..... $\boxed{\varphi < 0}$

1.8 c) ..... $\boxed{-\frac{2\pi}{3}\ \mathrm{rad}}$

1.9 a) ..... $\boxed{u_3(t)}$

1.9 b) ..... $\boxed{u_1(t)}$

1.9 c) ..... $\boxed{u_2(t)}$

1.10 a) ..... $\boxed{0}$

1.10 b) ..... $\boxed{\frac{U_0}{\sqrt{2}}}$

1.11 a) ..... $\boxed{1{,}5\,\mathrm{V}}$

1.11 b) ..... $\boxed{\sqrt{3}\,\mathrm{V}}$

1.12 a) ..... $\boxed{\frac{U_0}{2}}$

1.12 b) ..... $\boxed{\frac{U_0}{\sqrt{2}}}$

1.13 a) ..... $\boxed{1{,}7\,\mathrm{km}}$

1.13 b) ..... $\boxed{5{,}7\,\mu\mathrm{s}}$

1.13 c) ..... oui

1.14 ..... $\boxed{18\,\mathrm{km/h}}$

1.15 a) ..... $\boxed{1{,}6\,\mathrm{s}}$

1.15 b) ..... $\boxed{48\,\mathrm{cm}}$

1.15 c) ..... $\boxed{2\sin(3{,}9t - 13x + 0{,}3\pi)}$

Corrigés

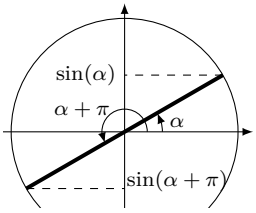
1.1 a)

En utilisant le cercle trigonométrique, on voit directement que

$$\sin(\alpha+\pi) = -\sin(\alpha).$$

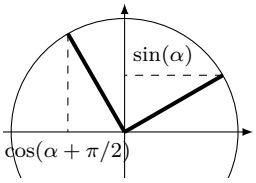
Remarquons qu'on peut également utiliser les formules trigonométriques :

$$\sin(\alpha+\pi) = \sin(\alpha)\cos(\pi) + \sin(\pi)\cos(\alpha) = -\sin(\alpha).$$



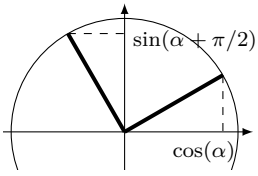
1.1 b)

On a $\cos\left(\alpha + \dfrac{\pi}{2}\right) = -\sin(\alpha)$.



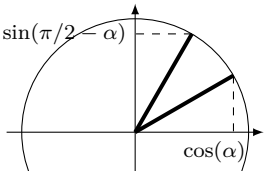
1.1 c)

On a $\sin\left(\alpha + \dfrac{\pi}{2}\right) = \cos(\alpha)$.



1.1 d)

On a $\sin\left(\dfrac{\pi}{2} - \alpha\right) = \cos(\alpha)$.



1.3 a) On somme les formules trigonométriques :

$$\begin{cases} \cos(a+b) = \cos(a)\cos(b) - \sin(a)\sin(b) \\ \cos(a-b) = \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b) \end{cases} \quad \text{pour obtenir} \quad \cos(a+b) + \cos(a-b) = 2\cos(a)\cos(b).$$

On a

$$\begin{cases} a+b = \omega_1 t \\ a-b = \omega_2 t \end{cases} \iff \begin{cases} a = \dfrac{\omega_1+\omega_2}{2} t \\ b = \dfrac{\omega_1-\omega_2}{2} t. \end{cases}$$

On en déduit

$$A\cos(\omega_1 t) + A\cos(\omega_2 t) = 2A\cos\left(\frac{\omega_1+\omega_2}{2}\, t\right)\cos\left(\frac{\omega_1-\omega_2}{2}\, t\right).$$

Ainsi, $C = 2A$, $\Omega = \dfrac{\omega_1+\omega_2}{2}$ et $\omega = \dfrac{\omega_1-\omega_2}{2}$ conviennent.

1.3 b) On somme les formules trigonométriques :

$$\begin{cases} \cos(a+b) = \cos(a)\cos(b) - \sin(a)\sin(b) \\ \cos(a-b) = \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b) \end{cases} \quad \text{pour obtenir} \quad \cos(a-b) - \cos(a+b) = 2\sin(a)\sin(b).$$

On a

$$\begin{cases} a - b = \omega_1 t \\ a + b = \omega_2 t \end{cases} \iff \begin{cases} a = \dfrac{\omega_1 + \omega_2}{2} t \\ b = \dfrac{\omega_2 - \omega_1}{2} t. \end{cases}$$

On en déduit $A\cos(\omega_1 t) - A\cos(\omega_2 t) = 2A\sin\left(\dfrac{\omega_2 - \omega_1}{2}\, t\right)\sin\left(\dfrac{\omega_1 + \omega_2}{2}\, t\right)$.

.....

1.4 On utilise la formule trigonométrique : $\sin(a+b) = \sin(a)\cos(b) + \cos(a)\sin(b)$.

On a $A\sin(\omega t + \varphi) = A[\sin(\omega t)\cos(\varphi) + \cos(\omega t)\sin(\varphi)] = A\sin(\varphi)\cos(\omega t) + A\cos(\varphi)\sin(\omega t)$.

Ainsi, $B = A\sin(\varphi)$ et $C = A\cos(\varphi)$ conviennent.

.....

1.5 a) On a $\sin(0) = 0$. La courbe 2 est la seule courbe passant par le point $(0,0)$ et est donc la seule courbe compatible. On vérifie aussi que la courbe 2 est comprise dans l'intervalle $[-1,1]$ et que sa période est égale à 2π.

.....

1.5 b) On a $\cos(0) = 1$, ce qui est cohérent avec les courbes 1, 3 et 4. Ce n'est donc pas suffisant pour déterminer quelle courbe correspond à la fonction cosinus. Mais on sait de plus que $\cos(x) \in [-1,1]$, ce qui correspond à la courbe 4. On vérifie également que la courbe 4 a une période égale à 2π.

.....

1.5 c) On a $1 + \sin(0) = 1$ et $1 + \sin(x) \in [0,2]$. Cela correspond à la courbe 3. On vérifie également que la courbe 3 a une période égale à 2π.

.....

1.5 d) On a $\cos^2(0) = 1$ et $\cos^2(x) \in [0,1]$. Cela correspond à la courbe 1. C'est aussi la seule courbe qui a une période égale à π.

.....

1.6 On peut mettre $A\sin(\omega t + \varphi)$ sous la forme $B\cos(\omega t) + C\sin(\omega t)$ avec $B = A\sin(\varphi)$ et $C = A\cos(\varphi)$. On a donc ici :

$$\begin{cases} A\sin(\varphi) = 1 \\ A\cos(\varphi) = 1 \end{cases}$$

En faisant le rapport des deux équations, on obtient $\dfrac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi)} = \tan(\varphi) = 1$, ce qui correspond à $\varphi = \dfrac{\pi}{4}$.

On utilise alors la première équation : $A\sin\left(\dfrac{\pi}{4}\right) = \dfrac{A}{\sqrt{2}} = 1$. Donc, $A = \sqrt{2}$.

Finalement, $\cos(\omega t) + \sin(\omega t) = \sqrt{2}\sin(\omega t + \pi/4)$ ce qui correspond à la réponse (c).

.....

1.7 b) On lit graphiquement $u(0) = 0 = U_0\cos(\varphi)$. Donc, $\cos(\varphi) = 0$. Donc, $\varphi = \dfrac{\pi}{2}$.

.....

1.7 d) On a mesuré à la question précédente $T = 2\,\mathrm{s}$. D'où $f = \dfrac{1}{T} = 0{,}5\,\mathrm{Hz}$.

.....

1.7 e) On a déterminé $f = 0{,}5\,\mathrm{Hz}$ à la question précédente, d'où $\omega = 2\pi f = \pi\ \mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}$.

.....

1.8 a) Le signal $u_1(t)$ atteint son premier maximum avant $u_2(t)$. Le signal $u_2(t)$ est donc en retard sur $u_1(t)$.

.....

1.8 c) On lit graphiquement le retard $\tau = -1\,\mathrm{s}$ de $u_2(t)$ sur $u_1(t)$. On en déduit $\varphi = \omega\tau = -\dfrac{2\pi}{3}$ rad.

.....

1.9 c) Le signal $u_1(t)$ a pour période $T_1 = 300\,\mu\mathrm{s}$. Le signal $u_2(t)$ a pour période $T_2 = \dfrac{1}{f_2} = 125\,\mu\mathrm{s}$. Enfin, le signal $u_3(t)$ a pour période $T_3 = \dfrac{2\pi}{\omega_3} = 628\,\mu\mathrm{s}$. On classe donc les trois signaux par ordre croissant de période : $T_2 < T_1 < T_3$ puis par identification : $u_3(t) \longleftrightarrow$ Voie A ; $u_1(t) \longleftrightarrow$ Voie B ; $u_2(t) \longleftrightarrow$ Voie C.

.....

1.10 a) Par définition, on a $U_{\mathrm{moy}} = \dfrac{1}{T}\displaystyle\int_0^T u(t)\,\mathrm{d}t$. On calcule donc :

$$U_{\mathrm{moy}} = \frac{1}{T}\int_0^T U_0 \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)\mathrm{d}t = \frac{U_0}{T} \times \frac{T}{2\pi}\left[\sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)\right]_0^T = \frac{U_0}{2\pi}(0-0) = 0.$$

.....

1.10 b) Par définition, on a $U_{\mathrm{eff}} = \sqrt{\dfrac{1}{T}\displaystyle\int_0^T u(t)^2\,\mathrm{d}t}$. On calcule donc : ${U_{\mathrm{eff}}}^2 = \dfrac{1}{T}\displaystyle\int_0^T U_0^2 \cos^2\left(\frac{2\pi}{T}t\right)\mathrm{d}t$.

Pour calculer cette intégrale, il faut linéariser le cosinus au carré. Pour cela, on peut utiliser les formules trigonométriques :

$$\cos(2x) = \cos^2(x) - \sin^2(x) = 2\cos^2(x) - 1 \qquad \text{donc} \qquad \cos^2(x) = \frac{1+\cos(2x)}{2}.$$

D'où,

$${U_{\mathrm{eff}}}^2 = \frac{U_0^2}{T}\int_0^T \left(\frac{1}{2} + \frac{\cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)}{2}\right)\mathrm{d}t = \frac{U_0^2}{2}\left(\frac{1}{T}\int_0^T \mathrm{d}t\right) + \frac{U_0}{2}U_{\mathrm{moy}} = \frac{U_0^2}{2}.$$

Ainsi, $U_{\mathrm{eff}} = \dfrac{U_0}{\sqrt{2}}$.

.....

1.11 a) On lit graphiquement que la période est $T = 4\,\mathrm{s}$ et que, sur une période, le signal prend les valeurs :

$$u(t) = \left|\begin{array}{l} 3\,\mathrm{V} \text{ si } 0\,\mathrm{s} < t \leqslant 1\,\mathrm{s} \\ 1\,\mathrm{V} \text{ si } 1\,\mathrm{s} < t \leqslant 4\,\mathrm{s}. \end{array}\right.$$

On calcule donc :

$$U_{\mathrm{moy}} = \frac{1}{4}\left(\int_0^1 3\,\mathrm{d}t + \int_1^4 1\,\mathrm{d}t\right) = \frac{1}{4}(3+3) = \frac{6}{4} = 1{,}5\,\mathrm{V}.$$

.....

1.11 b) On a toujours $T = 4\,\mathrm{s}$ et

$$u(t) = \left|\begin{array}{l} 3\,\mathrm{V} \text{ si } 0\,\mathrm{s} < t \leqslant 1\,\mathrm{s} \\ 1\,\mathrm{V} \text{ si } 1\,\mathrm{s} < t \leqslant 4\,\mathrm{s}. \end{array}\right.$$

On calcule donc :

$${U_{\mathrm{eff}}}^2 = \frac{1}{4}\left(\int_0^1 9\,\mathrm{d}t + \int_1^4 1\,\mathrm{d}t\right) = \frac{1}{4}(9+3) = \frac{12}{4} = 3\,\mathrm{V}^2.$$

Donc, $U_{\mathrm{eff}} = \sqrt{3}\,\mathrm{V}$.

.....

1.12 a) On calcule

$$U_{\mathrm{moy}} = \frac{1}{T}\left(\int_0^{T/2} U_0\,\mathrm{d}t + \int_{T/2}^T 0\,\mathrm{d}t\right) = \frac{U_0}{2}.$$

1.12 b) On calcule

$$U_{\text{eff}}{}^2 = \frac{1}{T}\left(\int_0^{T/2} U_0^2\,\mathrm{d}t + \int_{T/2}^{T} 0\,\mathrm{d}t\right) = \frac{U_0{}^2}{2}.$$

Ainsi, $U_{\text{eff}} = \dfrac{U_0}{\sqrt{2}}$.

1.13 a) Le délai entre l'éclair et le tonnerre est dû à la durée nécessaire pour que le son se propage entre l'endroit où l'onde sonore a été émise et l'endroit où se tient l'observateur. On a donc

$$d = c_s \times \Delta t = 1{,}7\,\text{km}.$$

On garde uniquement deux chiffres significatifs car Δt est donné avec deux chiffres significatifs.

1.13 b) On a $\tau = \dfrac{d}{c} = 5{,}7\,\mu\text{s}$.

1.13 c) La durée τ est très inférieure à la précision de la mesure de 0,5 s, on peut donc considérer que la propagation de la lumière est instantanée.

1.14 On lit graphiquement que la vague a avancé de 300 m en 1 minute, donc sa célérité est

$$c = \frac{300}{60} = 5\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1} = 18\,\text{km/h}.$$

1.15 a) Le sinus étant 2π périodique, la période est $T = \dfrac{2\pi}{3{,}9} = 1{,}6\,\text{s}$.

1.15 b) On a $\lambda = cT = 48\,\text{cm}$.

1.15 c) Compte tenu de la vitesse de propagation, on trouve

$$s(x,t) = s\left(0, t - \frac{x}{c}\right) = 2\sin\left(3,9\left(t - \frac{x}{0,30}\right) + 0,3\pi\right) = 2\sin(3{,}9t - 13x + 0{,}3\pi).$$