

Les Cours du



Physique-Chimie

Terminale S

Enseignement de spécialité

Corrigés des exercices

Rédaction :

*Philippe Heinis
Simon Le-Hueron
Frédéric Martin*

Coordination :

Pierre Rageul

Ce cours est la propriété du Cned. Les images et textes intégrés à ce cours sont la propriété de leurs auteurs et/ou ayants droit respectifs. Tous ces éléments font l'objet d'une protection par les dispositions du code français de la propriété intellectuelle ainsi que par les conventions internationales en vigueur. Ces contenus ne peuvent être utilisés qu'à des fins strictement personnelles. Toute reproduction, utilisation collective à quelque titre que ce soit, tout usage commercial, ou toute mise à disposition de tiers d'un cours ou d'une œuvre intégrée à ceux-ci sont strictement interdits.

©Cned-2012

Corrigé séquence 1

Son et musique

Corrigé séquence 2

L'eau

Corrigé séquence 3

Les matériaux

Corrigé séquence 1

Chapitre 1 – Prérequis

Corrigés des tests

Test 1 Différencier ondes transversales et ondes longitudinales

- ① Une onde mécanique progressive est la propagation de proche en proche d'une perturbation dans un milieu matériel sans transport de matière (mais avec transport d'énergie).
- ② Une onde mécanique progressive se propage, à partir de la source S, dans toutes les directions qui lui sont offertes → milieux de propagation de dimension 1, 2 ou 3.

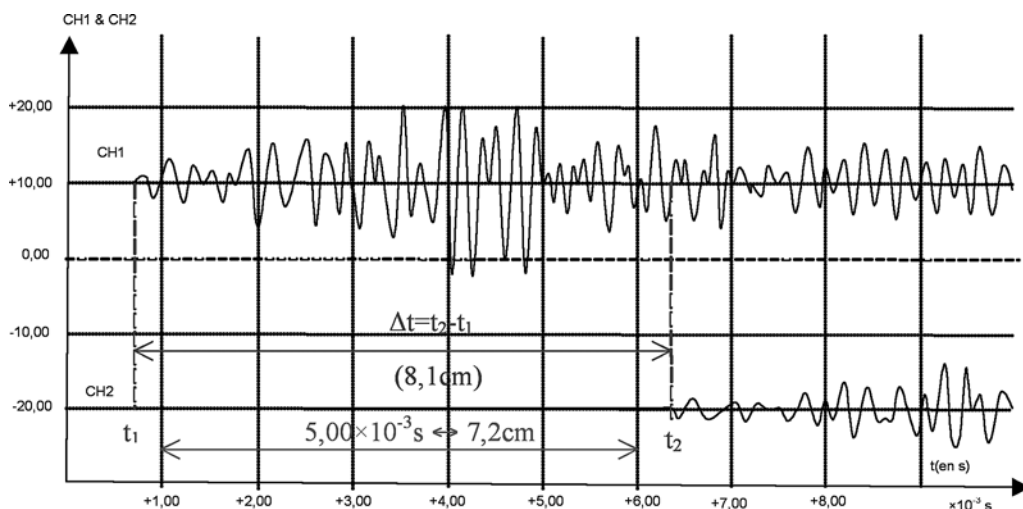
	Ondes à une dimension	Ondes à deux dimensions	Ondes à trois dimensions
Ondes longitudinales	Onde lors de la compression-dilatation d'un ressort		Onde sonore
Ondes transversales	Onde le long d'une corde	Onde à la surface de l'eau	

Onde longitudinale : la direction de la perturbation est parallèle à sa direction de propagation.

Onde transversale : la direction de la perturbation est perpendiculaire à sa direction de propagation.

Test 2 Mesure de la célérité du son dans l'air

La distance entre les deux microphones est $M_1M_2 = d = 1,89$ m. Soit t_1 l'instant de réception du clap par le micro 1 et t_2 l'instant de réception du clap par le micro 2. La durée $\Delta t = t_2 - t_1$ peut être déterminée à l'aide de l'enregistrement ci-après :



$$\Delta t = ((5,00 \times 10^{-3}) / 7,2) \times 8,1 = 5,6 \times 10^{-3} \text{ s}$$

On en déduit la célérité $C = d / \Delta t = 1,89 / (0,0056) = 3,4 \times 10^2 \text{ m.s}^{-1}$.
Ce résultat correspond à la vitesse du son à 20 °C (conditions de l'expérience).

Test 3 Longueur d'onde et période temporelle

① $\lambda = C.T = C / f = 0,772 \text{ m}$ soit **77,2 cm**

② La fréquence est : $f = C / \lambda = (340 / 0,50) = 6,8 \times 10^2 \text{ Hz}$

La période temporelle T est : $T = 1 / f = 1 / (6,8 \times 10^2) = 1,5 \times 10^{-3} \text{ s}$ soit 1,5 ms

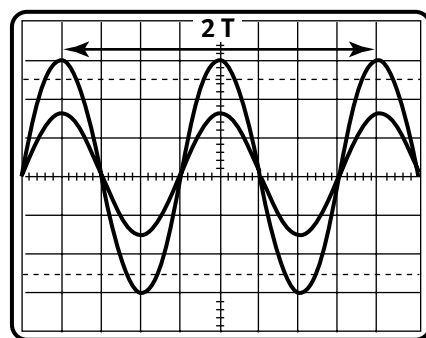
Test 4 Célérité des ultrasons

① Fréquence des ultrasons émis

Sur l'oscillogramme, on mesure
 $2T = 8,0 \times 5,0 \mu\text{s}$

$T = 20 \mu\text{s} = 2,0 \times 10^{-5} \text{ s}$

$f = \frac{1}{T}$ avec f en Hz et T en s.



Balayage horizontal : $5,0 \mu\text{s}/\text{div}$

Remarque

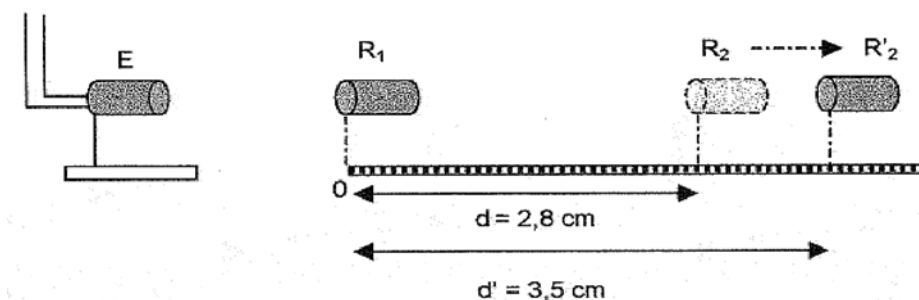
$f > 20 \text{ kHz}$: il s'agit bien d'ondes ultrasonores.

$$f = \frac{1}{2,0 \cdot 10^{-5}} = 0,50 \times 10^5 = 5,0 \times 10^4 \text{ Hz} = 5,0 \times 10^1 \text{ kHz.}$$

② La longueur d'onde λ , aussi appelée **période spatiale de l'onde**, est la distance parcourue par l'onde à la célérité v pendant la durée T avec $\lambda = v \times T$.

R_2 à la distance d de R_1 : les deux signaux reçus sont en phase.

R_2 en R'_2 à la distance d' de R_1 : les deux signaux reçus sont de nouveau en phase.



Le retard Δt du signal reçu par R'_2 par rapport à celui reçu par R_2 est égal à T : $\Delta t = T$.

$$\text{Or } \Delta t = \frac{d' - d}{v} \text{ et } \Delta t = T \quad \text{donc } T = \frac{d' - d}{v} \Leftrightarrow d' - d = v \times T \quad (1)$$

D'autre part $\lambda = v \times T$ (2).

En identifiant les expressions (1) et (2), il vient $\lambda = d' - d$

$\lambda = 3,5 - 2,8 = 0,7 \text{ cm} = 7 \times 10^{-3} \text{ m}$ (1 seul chiffre significatif car la précision des mesures est de 0,1 cm).

③ La célérité des ultrasons dans l'air est donnée par : $v = \lambda \times f$

$$v = 7 \times 10^{-3} \times 5,0 \times 10^4 = 4 \times 10^2 \text{ m.s}^{-1}$$

Test 5 Détermination de la vitesse du son dans l'eau

① Le son émis se propage dans deux milieux différents, donc avec des célérités différentes. On utilise la relation de définition de la célérité :

$$V = \frac{D}{\tau} \text{ soit } \tau = \frac{D}{V}$$

Pour une même distance D , la durée de propagation dépend donc de la célérité de l'onde dans le milieu, ce qui implique un décalage des deux détections.

② Par définition, on a : $\tau_e = \frac{D}{v_{\text{eau}}}$

On a également : $\tau_a = \frac{D}{v_{\text{air}}}$

③ Puisque la première détection a lieu dans l'eau, Δt s'écrit :

$$\Delta t = \tau_a - \tau_e$$

④ D'après les questions 2 et 3, on a :

$$\Delta t = \tau_a - \tau_e = \frac{D}{V_{\text{air}}} - \frac{D}{V_{\text{eau}}}$$

$$\text{D'où } \frac{D}{V_{\text{eau}}} = \frac{D}{V_{\text{air}}} - \Delta t \Leftrightarrow \frac{D}{V_{\text{eau}}} = \frac{D - \Delta t \times V_{\text{air}}}{V_{\text{air}}} \Leftrightarrow V_{\text{eau}} = \frac{D \times V_{\text{air}}}{D - \Delta t \times V_{\text{air}}}$$

La vitesse du son dans l'eau est : $V_{\text{eau}} = 1,48 \times 10^3 \text{ m/s}$

Test 6 Mesure de la célérité d'un son émis par une cymbale

① Les courbes montrent que les micros 2 et 3 captent le son de la cymbale avec du retard par rapport au micro 1.

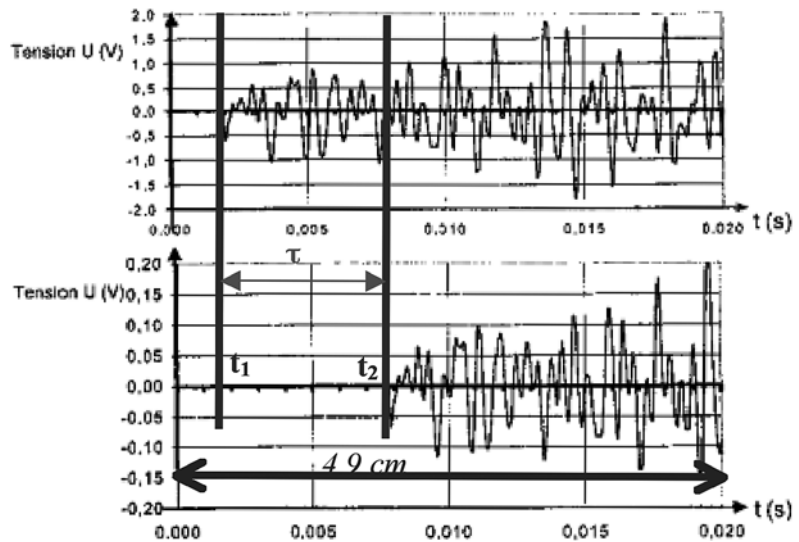
Plus le micro est loin de la cymbale, plus le son atteint le micro tardivement.

$v = \frac{d}{\Delta t}$ où v est la célérité, d la distance entre les deux micros considérés et Δt le retard de perception du son entre les 2 micros.

$$\textcircled{2} v = \frac{M_1 M_2}{\Delta t} = \frac{M_1 M_2}{t_2 - t_1}$$

Microphone M_1

Microphone M_2



$$9,5 \text{ cm} \rightarrow 0,020 \text{ s}$$

$$2,7 \text{ cm} \rightarrow \Delta t$$

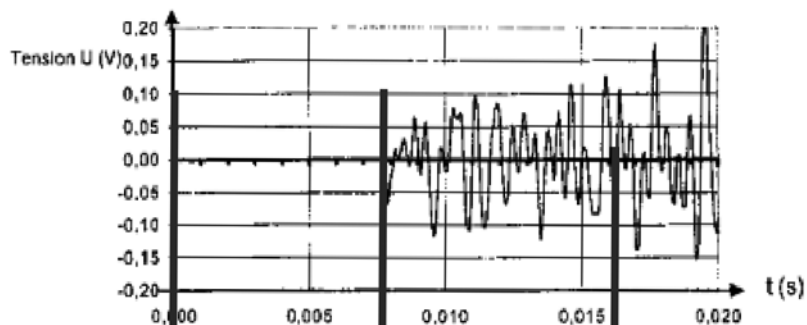
$$\Delta t = (1,5 \times 0,020) / 4,9$$

$$\Delta t = 5,7 \times 10^{-3} \text{ s}$$

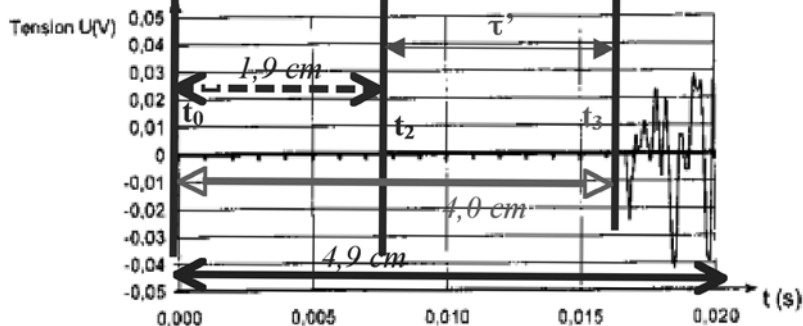
$$v = \frac{2,00}{5,7 \times 10^{-3}}$$

$$v = 3,5 \times 10^2 \text{ m.s}^{-1}$$

Microphone M_1



Microphone M_2



$$v = \frac{M_2 M_3}{\Delta t'} = \frac{M_2 M_3}{t_3 - t_2}$$

$$\Delta t' \rightarrow (4,0 - 1,9) = 2,1 \text{ cm}$$

$$0,020 \text{ s} \rightarrow 4,9 \text{ cm}$$

$$\Delta t' = (2,1 \times 0,020) / 4,9 = 8,6 \times 10^{-3} \text{ s d'où } v = \frac{3,00}{8,6 \times 10^{-3}} = 3,5 \times 10^2 \text{ m.s}^{-1}$$

❸ Les résultats obtenus sont différents, mais l'écart entre les valeurs obtenues étant faible, on peut considérer ces deux résultats comme étant cohérents.

La détermination graphique de Δt et $\Delta t'$ n'est pas assez précise pour affirmer l'incohérence de ces deux résultats proches.

Test 7 Mesure de la célérité d'une onde sonore sinusoïdale

❶ $10 \text{ ms} \rightarrow 3,9 \text{ cm}$

$$4T \rightarrow 3,5 \text{ cm}$$

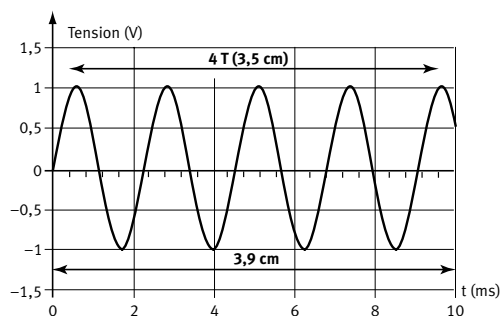
$$T = (10 \times 3,5) / (3,9 \times 4)$$

$$T = 2,2 \text{ ms} = 2,2 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$f = 1 / T$$

$$f = 1 / (2,2 \times 10^{-3}) = 0,45 \text{ kHz}$$

$$f = 4,5 \times 10^2 \text{ Hz}$$



② Pour plusieurs retours de phase, la distance mesurée est plus grande, alors l'erreur relative sur la mesure de la distance est plus faible, ce qui conduit à une mesure de la longueur d'onde plus précise.

③ La longueur d'onde est la plus faible distance entre deux points dans le même état vibratoire.

$$D = 5 \cdot \lambda$$

$$\lambda = D / 5$$

$$\lambda = 3,86 / 5 = 0,772 \text{ m}$$

④ $\lambda = v \times T$ soit $v = (\lambda / T)$

$$v = \frac{0,772}{2,3 \times 10^{-3}} = 3,4 \times 10^2 \text{ m.s}^{-1}$$

Chapitre 2 – Acoustique musicale

Corrigé des activités

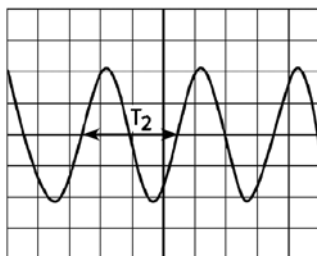
Activité 1 La « pureté » d'une voix célèbre

L'enregistrement du son correspondant à une note chantée par Maria Callas montre que la forme d'onde n'est pas sinusoïdale, le son est donc complexe (non pur).

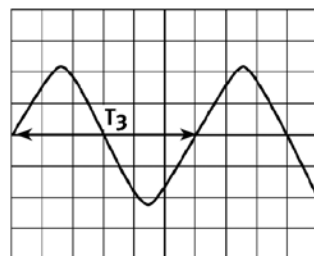
Activité 2 Étude de sons enregistrés



Son 1



Son 2



Son 3

① Son 1 : $T_1 = 6,0 \times 0,50 \text{ ms} = 3,0 \text{ ms}$; $f_1 = 1 / T_1 = 3,3 \times 10^2 \text{ Hz}$

Son 2 : $T_2 = 3,0 \times 0,50 \text{ ms} = 1,5 \text{ ms}$; $f_2 = 1 / T_2 = 6,7 \times 10^2 \text{ Hz}$

Son 3 : $T_3 = 6,0 \times 0,50 \text{ ms} = 3,0 \text{ ms}$; $f_3 = 1 / T_3 = 3,3 \times 10^2 \text{ Hz}$

② Les sons 1 et 3 ont la même hauteur (même fréquence $f_1 = f_3 = 3,3 \times 10^2 \text{ Hz}$) mais pas le même timbre (formes d'onde différentes).

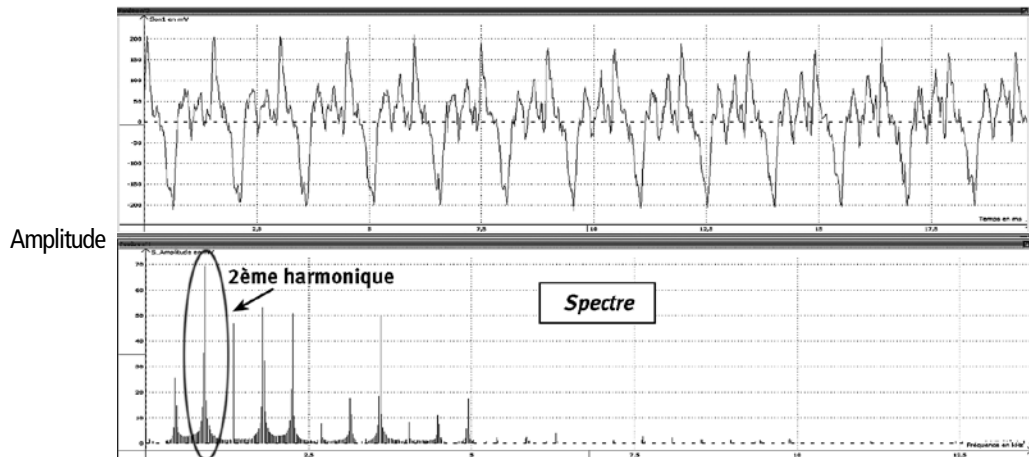
③ Le son le plus aigu est celui ayant la fréquence la plus élevée. Il s'agit du son 2 avec une fréquence de $6,7 \times 10^2 \text{ Hz}$.

④ Le son 2 peut être qualifié de son pur car sa forme d'onde est sinusoïdale.

⑤ Le son 1 correspond à un son complexe car sa forme d'onde n'est pas sinusoïdale.

Activité 3 Étude d'une note (le la3) jouée au violon

- La fréquence du son complexe (la3) correspond à la fréquence du fondamental (ou 1^{er} harmonique) $f_1 = 440$ Hz.



- L'harmonique ayant l'amplitude la plus élevée sur l'enregistrement (spectre) est le 2^e harmonique correspondant à la fréquence $f_2 = 880$ Hz.
- La relation $f_n = n \times f_1$ permet de compléter le tableau ci-dessous, f_n étant l'harmonique de rang n ($n = 1, 2, 3, \dots$).

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}	f_{11}
Fréquence f (Hz)	440	880	1320	1760	2200	$2,64 \times 10^3$	3080	3520	3960	4400	4840
Rapports f_n / f_1	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,0	11,0

Corrigé des exercices d'apprentissage

Exercice 1 Un trombone émet la note ré3 (587 Hz). La note mi2 (330 Hz) est émise par un piano.

- La qualité du son associée à la fréquence est la hauteur.
- La note la plus grave correspond à la fréquence la plus basse. Il s'agit donc du mi2 (330 Hz) : note émise par le piano.
- La note ayant la plus grande hauteur est le ré3 (587 Hz) émise par le trombone. Comparativement à la fréquence du mi2, la fréquence du ré3 est plus élevée.

Exercice 2 Fondamental et harmoniques

Une flûte émet une note (ré3) de fréquence 294 Hz (fréquence du fondamental).

- La fréquence de l'harmonique de rang 2 est : $f_2 = 2 \times f_1 = 2 \times 294 = 588$ Hz.
- L'harmonique correspondant à la fréquence de 1 176 Hz est l'harmonique de rang 4 car $1\,176 / 294 = 4$. Ainsi $f_4 = 4 \times f_1$.

Exercice 3 Analyse d'un son

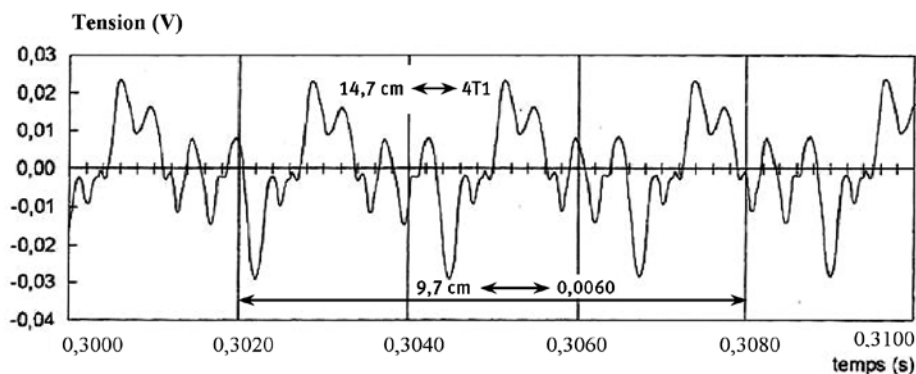
- 1 La fréquence du fondamental est : $f_1 = 220$ Hz. Les harmoniques de rang supérieur correspondent à des multiples entiers positifs de f_1 .
- 2 D'après le spectre, la fréquence du 3^e harmonique est : $f_3 = 660$ Hz. Cette fréquence vérifie la relation $f_3 = 3 \times f_1 = 660$ Hz.
- 3 La fréquence qui détermine la hauteur du son (ici complexe car plusieurs harmoniques) est l'harmonique de rang 1 (ou fondamental) dont la fréquence est $f = 220$ Hz.
- 4 L'harmonique ayant la plus grande amplitude est l'harmonique de rang 2 de fréquence $f_2 = 440$ Hz.

Exercice 4 Analyse d'un son

- 1 La fréquence f_1 du fondamental est $f_1 = 196$ Hz.
- 2 Les harmoniques absents de ce spectre et dont les fréquences sont inférieurs à 1600 Hz sont :
Harmonique de rang 3 : $f_3 = 3 \times f_1 = 3 \times 196 = 588$ Hz
Harmonique de rang 5 : $f_5 = 5 \times f_1 = 5 \times 196 = 980$ Hz
Harmonique de rang 6 : $f_6 = 6 \times f_1 = 6 \times 196 = 1,18 \times 10^3$ Hz
Harmonique de rang 7 : $f_7 = 7 \times f_1 = 7 \times 196 = 1,37 \times 10^3$ Hz
Harmonique de rang 8 : $f_8 = 8 \times f_1 = 8 \times 196 = 1,57 \times 10^3$ Hz
- 3 Trois sons purs respectivement de fréquence 196 Hz (harmonique 1), 392 Hz (harmonique 2) et 784 Hz (harmonique 4) composent ce son complexe émis par le violoncelle.

Exercice 5 Note jouée par un violon

- 1 La période propre T_1 du son fondamental est donnée par :
 $4T_1 = (0,0060/9,7) \times 14,7 = 0,0091$ s. On en déduit $T_1 = 0,0022$ s. On en déduit la fréquence $f_1 = 1/T_1 = 1/0,0022 = 4,4 \times 10^2$ Hz.

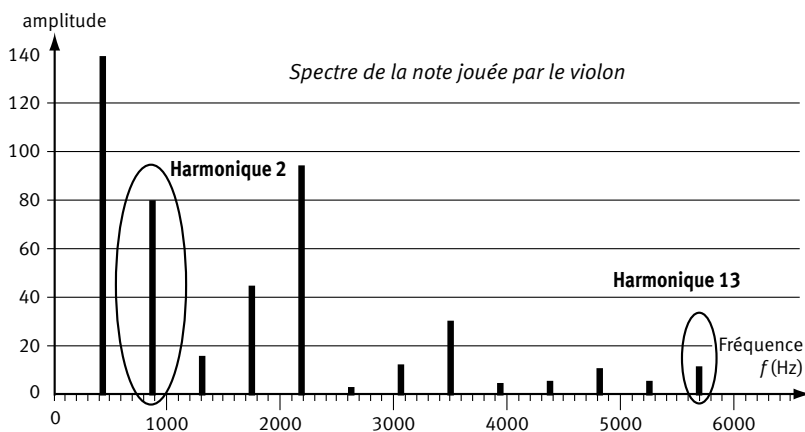


- 2 La note de musique jouée correspond au la3 (440 Hz).

- ③ La fréquence de la note jouée correspond à la fréquence du fondamental f_1 , donc $f_1 = 440$ Hz.

La fréquence de l'harmonique de rang 2 est : $f_2 = 2 \times f_1 = 880$ Hz

La fréquence de l'harmonique de rang 13 est : $f_{13} = 13 \times f_1 = 5,72 \times 10^3$ Hz.



Chapitre 3 – Les instruments de musique

Corrigé des activités

Activité 4 Classification des instruments de musique

Idiophones	Membraphones	Cordophones	Aérophones
Castagnettes Scie musicale	Timbale à pédale	Piano Mandoline Banjo	Trombone Cor anglais Harmonica

Activité 5 Excitateur et résonateur des instruments de musique

Instrument	Excitateur	Résonateur
Grosse caisse	Membrane	Caisse
Guimbarde	Languette d'acier	Cavité buccale (bouche)
Violon	Corde	Caisse
Hautbois	Anche double	Corps du hautbois
Trompette	Anche lippale (lèvres)	Embouchure et corps de la trompette
Clarinette	Anche simple battante	Corps de la clarinette
Flûte à bec	Biseau	Corps de la flûte

Activité 6 Les deux catégories d'éléments constitutifs d'un instrument de musique

On peut classer les mots selon qu'il s'agit d'un excitateur ou d'un résonateur.

Excitateur	Résonateur
Membrane du tambour	Corps de violon
Anche de saxophone	Corps d'un tuyau d'orgue
Corde de harpe	
Languette d'acier de la guimbarde	
Lame en bois dur de xylophone	

Activité 7 Fréquence de la gamme tempérée

- ① Fréquence du degré $d + 1$: f_{d+1} ; Fréquence du degré d : f_d . Les degrés $d + 1$ et d sont séparés par un demi-ton.

La relation entre les degrés consécutifs est : $f_{d+1} = (2^{(1/12)}) \times f_d$

$f(\text{Do}_3) = f(\text{La}_3) / (2^{(1/12)})^9 = 262 \text{ Hz}$ car il y a 9 demi-tons séparant le Do₃ et le La₃.

$f(\text{Ré}_3) = f(\text{La}_3) / (2^{(1/12)})^7 = 294 \text{ Hz}$ car il y a 7 demi-tons séparant le Ré₃ et le La₃.

$f(\text{Mi}_3) = f(\text{La}_3) / (2^{(1/12)})^5 = 330 \text{ Hz}$ car il y a 5 demi-tons séparant le Mi₃ et le La₃.

$f(\text{Fa}_3) = f(\text{La}_3) / (2^{(1/12)})^4 = 349 \text{ Hz}$ car il y a 4 demi-tons séparant le Fa₃ et le La₃.

$f(\text{Sol}_3) = f(\text{La}_3) / (2^{(1/12)})^2 = 392 \text{ Hz}$ car il y a 2 demi-tons séparant le Sol₃ et le La₃.

$f(\text{Si}_3) = (2^{(1/12)})^2 \times f(\text{La}_3) = 494 \text{ Hz}$.

Note latine	Do ₃	Ré ₃	Mi ₃	Fa ₃	Sol ₃	La ₃	Si ₃
Fréquence (Hz)	262	294	330	349	392	440	494

- ② Le do₄ est séparé du do₃ par 12 demi-tons (le do₄ est à l'octave du do₃) donc : $f(\text{Do}_4) = (2^{(1/12)})^{12} \times f(\text{La}_3) = 880 \text{ Hz}$.

- ③ $f(\text{Do}\sharp_3) = f(\text{La}_3) / (2^{(1/12)})^8 = 277 \text{ Hz}$ car il y a 8 demi-tons séparant le Do₃ et le La₃.

$f(\text{Ré}\sharp_3) = f(\text{La}_3) / (2^{(1/12)})^6 = 311 \text{ Hz}$ car il y a 6 demi-tons séparant le Ré₃ et le La₃.

$f(\text{Sol}\flat_3) = f(\text{La}_3) / (2^{(1/12)})^3 = 370 \text{ Hz}$ car il y a 3 demi-tons séparant le Sol₃ et le La₃.

$f(\text{La}\flat_3) = f(\text{La}_3) / (2^{(1/12)})^1 = 415 \text{ Hz}$ car il y a 1 demi-ton séparant le La₃ et le La₃.

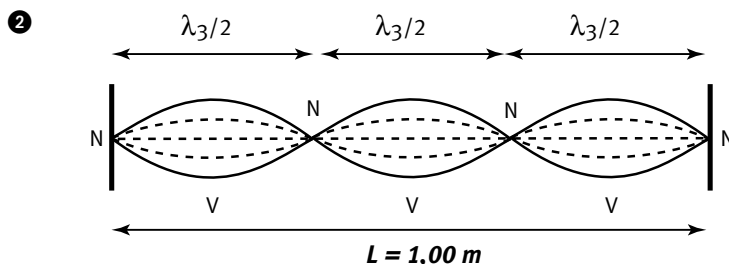
$f(\text{La}\sharp_3) = f(\text{La}_3) \times (2^{(1/12)})^1 = 466 \text{ Hz}$ car il y a 1 demi-ton séparant le La₃ et le La₃.

Activité 8 (expérimentale)

Vibrations en régime forcé d'une corde tendue

- ① $f_2/f_1 = 44 / 22 = 2$; $f_3/f_1 = 66 / 22 = 3$; $f_4/f_1 = 88 / 22 = 4$. On remarque que la fréquence f_n du mode n est un multiple entier de la fréquence f_1 du fondamental.

$$f_n = n \times f_1 \text{ où } n = 1, 2, 3 \dots$$



- ③ L'onde stationnaire est la superposition d'une onde incidente et d'une onde réfléchie. Chaque point de la corde se déplace perpendiculairement à la direction de propagation des ondes incidentes et réfléchies. L'onde stationnaire est donc transversale.

Activité 9 Vibrations d'une corde tendue de guitare

- ① La corde présente 4 ventres et 5 nœuds.
- ② Au milieu de la corde, il y a un nœud de vibration. En posant le doigt à cet endroit, cela ne modifie pas l'onde stationnaire.
- ③ 1 fuseau : $f_1 = 50$ Hz ; 3 fuseaux : $f_3 = 150$ Hz ; 5 fuseaux : $f_5 = 250$ Hz
- ④ À la fréquence de 225 Hz, on n'observe pas de fuseaux. Cette fréquence est comprise entre 200 Hz (mode 4) et 250 Hz (mode 5), deux fréquences permettant d'obtenir des ondes stationnaires.

Activité 10 (expérimentale)

Vibrations en régime forcé d'une corde tendue

①

Nombre de fuseaux n mode propre de vibration	1	2	3	4
Fréquence (Hz)	$f_1 = 22$	$f_2 = 44$	$f_3 = 66$	$f_4 = 88$
Longueur d'un fuseau (m)	1,00	0,50	0,33	0,25

- ② La distance entre deux nœuds consécutifs N ou entre deux ventres consécutifs V de l'onde stationnaire est égale à la demi-longueur d'onde $\lambda/2$ de l'onde incidente. Dans le mode 3, cela se traduit par $L/3 = \lambda/2$.
- ③ Dans le mode n , on peut écrire que $L/n = \lambda/2$ c'est-à-dire que $L = n \times \lambda/2$ où $n = 1, 2, 3 \dots$

Activité 11 Fréquence du fondamental

① $\lambda_n \times f_n = V$

② $L = n \times \lambda_n / 2$ d'où $\lambda_n = 2L/n$. D'après ①, on peut écrire que $2L/n \times f_n = V$ c'est-à-dire : $f_n = n \times V/2L$.

③ $f_1 = V/2L$.

Activité 12 Fréquence du fondamental en fonction des paramètres T et μ

La fréquence du fondamental est donnée par : $f_1 = V/2L$ or $V = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ d'où :

$$f_1 = \frac{1}{2L} \times \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Activité 13 Masse linéique d'une corde tendue

① $V = f_1 \times 2L = 12 \times 2 \times 1,00 = 24 \text{ m/s}$

② $T = Mg = 0,025 \times 9,81 = 0,25 \text{ N}$.

$V = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ donc $\mu = T/V^2 = 0,25 / 24^2 = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}$.

Activité 14 Vibrations en régime forcé d'une colonne d'air ouverte/ouverte (expérimentale)

①

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9
Fréquence f(Hz)	255	517	765	1 020	1 275	1 530	1 785	2 040	2 295
Rapports f_n/f_1		2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00

② On remarque que la fréquence f_n du mode n est un multiple entier de la fréquence f_1 du fondamental.

$f_n = n \times f_1$ où $n=1, 2, 3, \dots$. Cette relation est analogue à celle obtenue avec les cordes vibrantes.

Activité 15 Fréquence du fondamental

① $\lambda_1 \times f_1 = V$

② $L = \lambda_1 / 2$

③ $f_1 = V/2L$

Activité 16 Vibrations en régime forcé d'une colonne d'air ouverte/fermée (expérimentale)

① Les résultats obtenus sont dans le tableau suivant :

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5
Fréquence f(Hz)	163	489	815	1141	1467
Rapports f_n/f_1	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00

- ② $f_1 = 1 \times f_1$; $f_2 = 3 \times f_1$; $f_3 = 5 \times f_1$; $f_4 = 7 \times f_1$... d'où plus généralement $f_n = (2n - 1) \times f_1$ avec $n = 1, 2, 3...$
- ③ Mode 1 : $L = \lambda/4$; Mode 2 : $L = 3 \times \lambda/4$; Mode 3 : $L = 5 \times \lambda/4$... d'où plus généralement : $L = (2n - 1) \times \lambda/4$.

Activité 17 Fréquence du fondamental

- ① $\lambda_1 \times f_1 = V$ ② $L = \lambda_1 / 4$ ③ $f_1 = V/4L$

Activité 18 Idiophones ou membranophones ?

Idiophones	Membranophones
Castagnettes	Timbales
Paire de cymbales	Grosse caisse
Xylophone	Bongo
Triangle	
Métallophone	
Woodblock	
Scie musicale	
Crécelle	

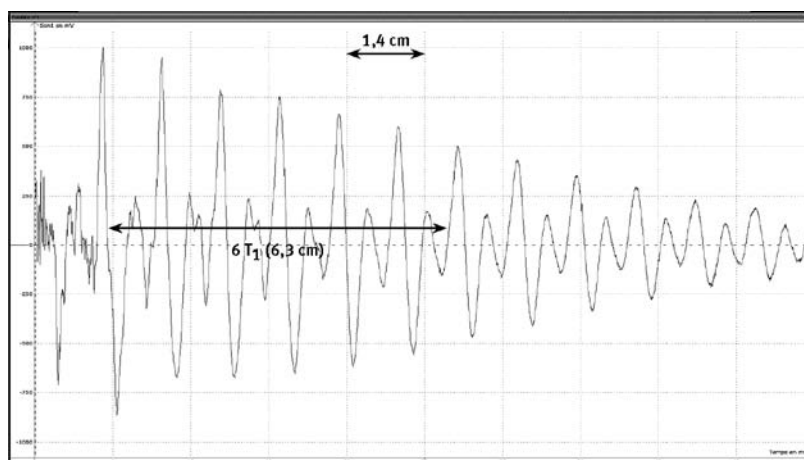
Activité 19 Tubaphone formé de tubes en plastique (expérimentale)

- ① La période T_1 peut être calculée comme suit :

Durée	Distance
5 ms	1,4 cm
$6T_1$	6,3 cm

$6T_1 / 5 = 6,3 / 1,4$ d'où $T_1 = (5/6) \times (6,3/1,4) = 3,8$ ms. La fréquence f_1 est : $f_1 = 1/T_1 = 2,6 \times 10^2$ Hz.

(Échelle : 5ms / carreau)

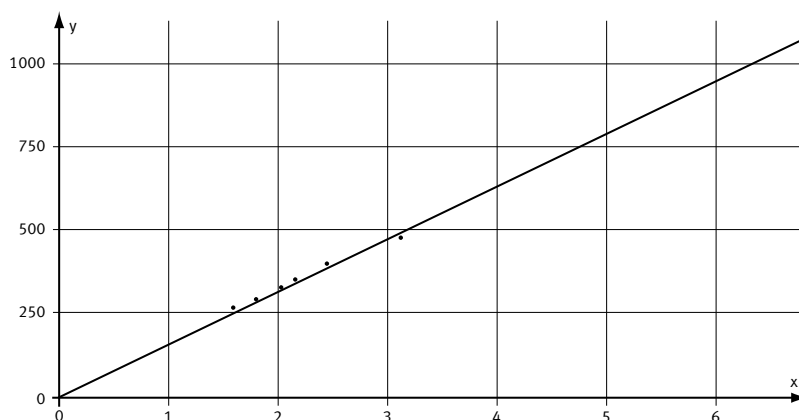


2.1.

Longueur L (m)	0,627	0,554	0,492	0,462	0,409	0,362	0,320	0,300
Fréquence f_1 du son complexe (ou fondamental) (Hz)	264	292	327	348	396	432	479	524
Note	Do3	Ré3	Mi3	Fa3	Sol3	La3	Si3	Do4

On obtient donc les notes d'une gamme sans les altérations (# ou b).

2.2. On pose $Y = f_1$ et $X = 1/L$. Le modèle mathématique qui traduit le mieux l'évolution de Y en fonction de X est celui correspondant à une fonction linéaire du type $Y = a \times X$.



2.3. En considérant le modèle linéaire du type $Y = a \times X$, le coefficient directeur a obtenu en utilisant un tableur-grapheur est $a = 158$.

2.4. $[a] = [Y] / [X] = \text{Hz/m}^{-1} = \text{s}^{-1}/\text{m}^{-1} = \text{m/s}$. Le coefficient directeur a est homogène à une vitesse en m/s.

2.5. La célérité du son V et a peuvent être reliés par la relation simple suivante :

$$a = V/2$$

2.6. La relation simple entre f_1 , V et L est :

$$Y = a \times X \Leftrightarrow f_1 = (V/2) \times (1/L) = V/2L. \text{ On retient } f_1 = V/2L$$

Activité 20 Modes propres de vibration d'une timbale

- 1 La timbale appartient à la famille des membranophones.
- 2 Le timbalier de l'orchestre fait résonner son instrument par percussion.
- 3 On peut considérer que tout le périmètre de la peau correspond à des nœuds quel que soit le mode car les points ne vibrent pas. Ils forment une ligne nodale.
- 4 Les modes de vibration pour chacune des six situations représentées sont :

Cas1	Cas2	Cas3	Cas4	Cas5	Cas6	Cas7	Cas8
(0,1)	(1,1)	(2,1)	(0,2)	(4,1)	(2,2)	(0,3)	(5,1)

Activité 21 Synthèse de documents

- ❶ Outre le fait que les dispositifs électroniques (ou synthétiseurs) permettent de reproduire les sons issus d'instruments de musique acoustique (piano, guitare, clavier, flûte...), leur intérêt principal est qu'ils peuvent générer des sons nouveaux qui ne peuvent pas être produits par des instruments acoustiques. Ces sons synthétiques sont aussi appelés « sons électroniques ».
- ❷ Pour reproduire fidèlement, avec son caractère, une note jouée par un instrument de musique acoustique, l'instrument électronique doit reproduire non seulement le corps de la note, mais aussi les transitoires et donc l'enveloppe du son.
- ❸ Parmi les instruments électroniques, il existe les instruments électromécaniques et les instruments électroanalogiques. Ces deux groupes ont en commun le rayonnement acoustique par haut-parleur.
- ❹ Les instruments électromécaniques : le violon électroacoustique, la guitare électrique et le piano électroacoustique. Les instruments électroanalogiques : la therémine, la flûte électrique avec port USB, le violon électrique, la trompette électronique et le piano électronique.
- ❺ Dans les instruments électroanalogiques, l'unité appelée « générateur-mère » permet de générer une fréquence, donc la hauteur du son d'une note de musique. Cette unité est équivalente, par exemple, à la longueur d'une corde qui est l'excitateur d'un instrument à cordes.
- ❻ Dans un instrument électroanalogique, les filtres électroniques (passe-haut, passe-bas, passe-bande) permettent d'atténuer voire d'éliminer certaines fréquences déterminées et d'en laisser passer d'autres. Le timbre du son dépend notamment du nombre et de l'amplitude des fréquences ou harmoniques d'un son complexe. Conjugués à un amplificateur et à un haut-parleur, l'ensemble {filtres+amplificateur+haut-parleur} joue le même rôle que le résonateur des instruments de musique acoustique.

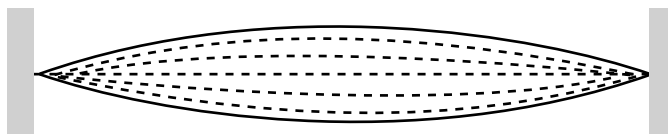
Correction des exercices d'apprentissage

Instruments à cordes

Exercice 6 Guitare

- ❶ Le mode de vibration correspondant à f_1 est appelé mode fondamental.

La corde présente alors deux nœuds (à ses extrémités) et un ventre, soit un fuseau :



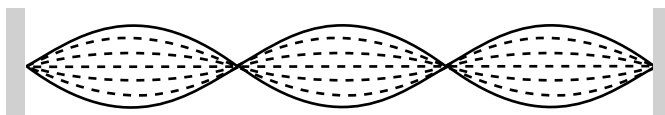
② Pour le fondamental $n = 1$, on a $f_1 = \frac{V}{2L}$ donc $V = 2 L f_1$

La célérité des ondes mécaniques le long de la corde 1 vaut :

$$V = 2 \times 0,642 \times 82,4 = 106 \text{ m.s}^{-1}$$

③ Les autres modes de vibration sont appelés modes harmoniques.

Lorsqu'on impose la fréquence f_3 à la corde 1, celle-ci est dans le mode harmonique de rang 3, elle présente alors 4 nœuds et 3 ventres de vibration :



Exercice 7 Cordes de guitare

①

$f(\text{La}_1) = f(\text{La}_3) / (2^{(1/12)})^{24} = f(\text{La}_3)/4 = 110 \text{ Hz}$ car il y a 24 demi-tons séparant le La1 et le La3.

$f(\text{mi}_1) = f(\text{La}_1) / (2^{(1/12)})^5 = f(\text{La}_1)/1,33 = 82,4 \text{ Hz}$ car il y a 5 demi-tons séparant le Mi1 et le La1.

$f(\text{Ré}_2) = f(\text{La}_1) \times (2^{(1/12)})^5 = f(\text{La}_1) \times 1,33 = 147 \text{ Hz}$ car il y a 5 demi-tons séparant le La1 et le Ré2.

$f(\text{Sol}_2) = f(\text{La}_1) \times (2^{(1/12)})^{10} = f(\text{La}_1) \times 1,78 = 196 \text{ Hz}$ car il y a 10 demi-tons séparant le La1 et le Sol2.

$f(\text{Si}_2) = f(\text{La}_1) \times (2^{(1/12)})^{14} = f(\text{La}_1) \times 2,24 = 247 \text{ Hz}$ car il y a 14 demi-tons séparant le La1 et le Si2.

$f(\text{mi}_3) = f(\text{mi}_1) \times (2^{(1/12)})^{24} = f(\text{mi}_1) \times 4,00 = 330 \text{ Hz}$ car il y a 19 demi-tons séparant le La1 et le Mi2.

Corde n°	1	2	3	4	5	6
Note fondamentale	Mi1	La1	Ré2	Sol2	Si2	Mi3
Fréquence (Hz)	82,4 Hz	110 Hz	147 Hz	196 Hz	247 Hz	330 Hz

② La tension $T = (f_1)^2 \times 4L^2\mu$ où la masse linéique est $\mu = m/L = \rho\pi(D/2)^2L/L = \rho\pi(D/2)^2$

M étant la masse de la corde, L la longueur de la corde, D le diamètre de la corde et ρ la masse volumique.

Pour le mode propre $n = 1$, on a : $T = f_1^2 \times L^2 \times \rho \times \pi \times D^2$

Données Longueur d'une corde : $L = 63 \text{ cm}$; masse volumique de l'acier : $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$.

Corde n°	1	2	3	4	5	6
Note fondamentale	Mi1	La1	Ré1	Sol2	Si2	Mi3
Fréquence (Hz)	82,4 Hz	110 Hz	147 Hz	196 Hz	247 Hz	330 Hz
Diamètre D(mm)	1,12	0,89	0,70	0,55	0,35	0,25
T(N)	82,8	93	$1,0 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^2$	73	66

Exercice 8 Mode fondamental d'une corde vibrante

Une corde vibre entre ses deux extrémités fixes en un seul fuseau à la fréquence 200 Hz ; sa longueur vaut 1,00 m.

❶ La célérité V est donnée par : $V = f_1 \times 2L = 400 \text{ m/s}$.

❷ $f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$. Si on quadruple la tension : $T' = 4T$ alors :

$$f_1' = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T'}{\mu}} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{4T}{\mu}} = 2f_1$$

Si on quadruplait la tension T de la corde, alors on doublerait la fréquence propre du mode fondamental de vibration de la corde.

Exercice 9 Contrebasse

$$f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \text{ donc } T = \mu \cdot f_1^2 \cdot 4 \cdot L^2 = 0,0050 \cdot 220^2 \cdot 4 \cdot 0,80^2 = 6,2 \cdot 10^2 \text{ N.}$$

La tension T que le contrebassiste doit appliquer est $T = 6,2 \cdot 10^2 \text{ N}$.

Instruments à vent

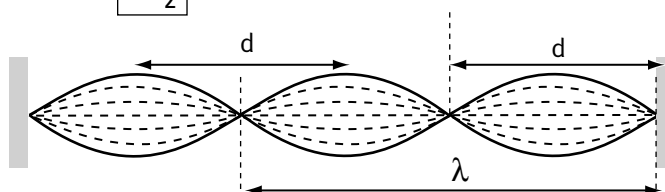
Exercice 10 Tuyau sonore

1. Tuyau sonore ouvert aux deux extrémités

a) Dans la colonne d'air, il s'établit d'ondes stationnaires.

b) La fréquence du son caractérise sa hauteur.

c) Pour une corde tendue, deux ventres (ou deux nœuds) consécutifs sont séparés d'une distance $d = \frac{\lambda}{2}$

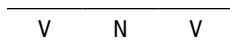


D'autre part $\lambda = \frac{V}{f}$.

D'après le texte, à une extrémité ouverte est toujours situé un ventre de vibration.

Ainsi, dans le tuyau de longueur L , il y a un nombre entier de demi-fuseaux :

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}.$$



En considérant que le tuyau vibre suivant le mode fondamental : $n = 1$, si on note

f la fréquence du mode fondamental, alors $L = \frac{\lambda}{2} = \frac{V}{2f}$.

d) D'après la relation précédente $L = \frac{V}{2f}$, plus f diminue et plus L augmente. Un son de basse fréquence est perçu comme étant grave. L'affirmation « À un tuyau long correspond un son grave » est donc **vraie**.

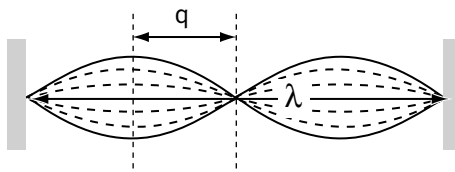
e) L'harmonique de rang 2 du tuyau de longueur L a pour fréquence $f_2 = 2f$. Cette fréquence f_2 correspond au fondamental du tuyau de longueur L_2 .

$$L_2 = \frac{V}{2f_2} = \frac{V}{2 \times 2f}, \text{ comme } L = \frac{V}{2f}, \text{ alors } L_2 = \frac{L}{2}.$$

2. Tuyau sonore fermé à une extrémité

a) Pour une corde tendue entre deux points fixes :

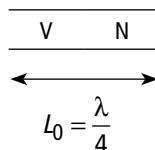
- soit q la distance entre un ventre et un nœud,
- soit λ la longueur d'onde.



On a : $q = \frac{\lambda}{4}$

Pour le tuyau : d'après le texte, à une extrémité fermée est toujours situé un nœud de vibration ; à une extrémité ouverte est toujours situé un ventre de vibration.

D'autre part $\lambda = \frac{V}{f}$.



Si on note f_0 la fréquence du mode fondamental, alors $L_0 = \frac{\lambda}{4} = \frac{V}{4f_0}$, finalement

$$f_0 = \frac{V}{4L_0}.$$

b) Pour le tuyau ouvert aux deux extrémités $L = \frac{V}{2f}$.

Pour le tuyau fermé à une extrémité $L_0 = \frac{V}{4f_0}$.

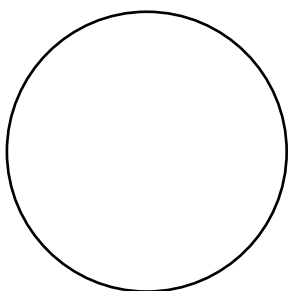
Les deux tuyaux ont la même longueur $L = L_0$, alors $\frac{v}{2f} = \frac{v}{4f_0}$ donc $2f \cdot v = 4f_0 \cdot v$, ou $2f = 4f_0$.

Finalement, $f = 2 f_0$. L'affirmation « Un tuyau ouvert aux deux extrémités sonne avec une fréquence double de celle d'un tuyau de même longueur fermé à une extrémité » est **vraie**.

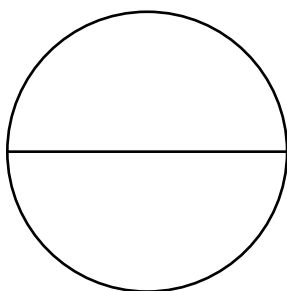
Instruments à percussion

Exercice 11 Modes de vibration d'un djembé

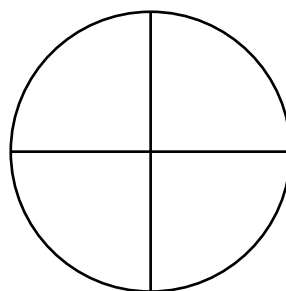
❶ Les figures de Chladni sont :



Fréquence = 38 Hz



Fréquence = 61 Hz



Fréquence = 82 Hz

❷ Le périmètre circulaire de la membrane du djembé étant une ligne nodale, les modes de vibration sont :

Fréquence 38 Hz : (0,1)

Fréquence 61 Hz : (1,1)

Fréquence 82 Hz : (2,1)

Exercice 12 Friction d'une tige

1. Une tige qui siffle

1.1.1. Une onde longitudinale est une onde dont la direction de la perturbation est parallèle à la direction de la propagation.

1.1.2. Une onde stationnaire résulte de la superposition d'une onde progressive périodique incidente et de son onde réfléchie.

1.1.3. La fréquence des harmoniques (f_n) est liée à la fréquence du mode fondamental (f_0) par la relation $f_n = n \cdot f_0$ avec n entier. Pour le mode fondamental $n = 1$.

1.1.4. Un nœud de vibration est un point de la tige qui ne vibre pas, il est immobile.

1.1.5. Pour qu'une onde stationnaire puisse s'établir, il faut que $L = n \cdot \frac{\lambda}{2}$, ainsi $\lambda = \frac{2 \cdot L}{n}$

1.2.1. La hauteur d'un son correspond à la fréquence du mode fondamental de vibration de celui-ci.

1.2.2. S'il s'agit d'un son pur, le spectre ne présente qu'un seul pic correspondant au mode fondamental. Le son émis correspond à la figure 1.

1.3.1. VRAI

$$\lambda = \frac{2 \cdot L}{n} \text{ or pour le mode fondamental } n = 1 \text{ alors } \lambda_0 = 2 \cdot L.$$

Et d'autre part $f_0 = \frac{v}{\lambda_0}$, donc $f_0 = \frac{v}{2 \cdot L}$. Les tiges sont constituées du même matériau, la célérité v est alors constante. Plus la longueur L est grande et plus la fréquence est faible, ce qui correspond à un son plus grave.

1.3.2. VRAI

D'après l'expression établie précédemment $f_0 = \frac{v}{2 \cdot L}$, la longueur L de la tige est la même et $v_{Al} > v_{laiton}$ alors $f_{Al} > f_{laiton}$.

La fréquence du son dans l'aluminium est la plus élevée, le son sera le plus aigu.

2. Des tiges musicales

$$2.1. f = \frac{v}{\lambda} \text{ et } \lambda = \frac{2 \cdot L}{n} \quad \text{ainsi } f = \frac{n \cdot v}{2 \cdot L}$$

$$2.2. \text{D'après la relation précédente on a } f \cdot L = \frac{n \cdot v}{2} = Cte.$$

$$\text{On a } f_0 \cdot L_0 = f_1 \cdot L_1 = 2^{1/12} \cdot f_0 \cdot L_1$$

$$L_0 = 2^{1/12} \cdot L_1$$

$$L_1 = \frac{L_0}{2^{1/12}}$$

2.3. Comme $L_n = \frac{L_0}{2^{n/12}}$, la longueur la plus courte correspond à $2^{n/12}$ le plus grand, soit à $n = 12$.

Sachant que $f_n = 2^{n/12} \cdot f_0$, la fréquence correspondante à $n = 12$ est $f_{12} = 2^{12/12} \cdot f_0 = 2 \cdot f_0$.

$$f_{12} = 2 \times 2093 = 4186 \text{ Hz.}$$

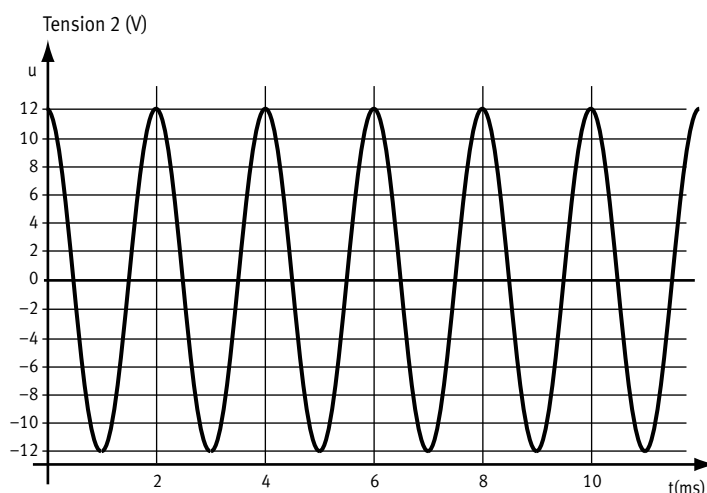
Instruments électroniques

Exercice 13 Diapason électronique

A. Réalisation d'oscillations électriques

- ❶ C'est un régime pseudo-périodique. L'amplitude des oscillations diminue au cours du temps. (La pseudo-période est $T = 2 \text{ ms}$.)
- ❷ Le dipôle responsable de l'amortissement des oscillations est la résistance R . En raison de l'effet Joule, une partie de l'énergie est dissipée sous forme de chaleur.
- ❸ D'après la figure 2, on voit qu'au bout d'une durée de 10 ms, l'amplitude des oscillations est devenue très faible. Le son émis sera amorti trop rapidement et donc audible pendant une durée extrêmement brève. Ce circuit électronique relié à un haut-parleur émettrait un bip très bref.

B. Entretien des oscillations



- ❶ Au cours des oscillations, les pertes d'énergie sous forme de chaleur (effet Joule) sont, à chaque instant, compensées par un apport d'énergie fournie par le dispositif d'entretien des oscillations.
- ❷ Les paramètres du circuit étant inchangés, la période des oscillations est toujours de 2 ms et l'amplitude est de 12 V.
- ❸ $T_0 = 2\pi\sqrt{LC} = 2,0 \text{ ms}$
- ❹ $f_0 = 1/T_0 = 5,0 \cdot 10^2 \text{ Hz}$

C. Onde sonore

- ❶ Cette fréquence ne correspond à aucune note de l'octave 3.
- ❷ Pour changer la fréquence du son émis, il suffit de faire varier un des paramètres de la période propre, à savoir la capacité du condensateur ou l'inductance de la bobine.
- ❸ On veut une fréquence de 440 Hz, et seule l'inductance de la bobine peut varier :

$$4\pi^2 \times L \times C = T_0^2 = \frac{1}{f_0^2} \quad \text{Soit } L = \frac{1}{4\pi^2 \times C \times f_0^2} = \frac{1}{4\pi^2 \times 1,0 \cdot 10^{-6} \times 440^2} = \mathbf{0,13 \text{ H}}$$

- ❹ $f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{1,0 \cdot 10^{-6} \times 0,232}} = \mathbf{3,3 \cdot 10^2 \text{ Hz}}$. Le diapason émet la note « mi ».

Chapitre 4 – Récepteurs et émetteurs sonores

Corrigé des activités

Activité 22 Domaine audible

Longueurs d'ondes limites :

► des sons audibles par l'homme :

$$\lambda \cdot f = V \Leftrightarrow \lambda = V/f$$

$$17,0 \text{ mm} < \lambda < 17 \text{ m}$$

► des sons musicaux émis par ces instruments :

$$f = 30 \text{ Hz} \Rightarrow \lambda = V/f = 11 \text{ m}$$

$$f = 5\,000 \text{ Hz} \Rightarrow \lambda = V/f = 68,0 \text{ mm}$$

Activité 23 Intensité acoustique et niveau d'intensité acoustique

① $L_1 = 10 \log (I_1/I_0) = 10 \log (10^{-3}/10^{-12}) = 10 \log 10^9 = 10 \times 9. \log 10 = 90 \text{ dB}$

② $I_1 = k/d_1^2$ et $I_2 = k/d_2^2$. On en déduit que $I_2 = I_1 \cdot (d_1^2/d_2^2) = 10^{-5} \text{ W.m}^{-2}$.

D'où $L_2 = 10 \log (I_2/I_0) = 10 \log 10^7 = 70 \text{ dB}$

$$\Delta L = L_2 - L_1 = 70 - 90 = -20 \text{ dB}$$

En déménageant, le niveau d'intensité acoustique baisse de 20 dB.

Activité 24 Puissance acoustique

① $P = I \times S = I \times 4\pi R^2$ où R est le rayon de la sphère centrée sur la personne.

• Cas $R_1 = 1 \text{ m}$: $I_1 = P/(4\pi R_1^2) = 10^{-6} / (4\pi \times 1^2) = 8,1 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}$

• Cas $R_2 = 10 \text{ m}$: $I_2 = P/(4\pi R_2^2) = 10^{-6} / (4\pi \times 10^2) = 8,0 \cdot 10^{-10} \text{ W.m}^{-2}$

② $L_1 = 10 \log (I_1/I_0) = 49 \text{ dB}$ et $L_2 = 10 \log (I_2/I_0) = 29 \text{ dB}$

La variation du niveau d'intensité acoustique est : $\Delta L = L_2 - L_1 = 29 - 49 \text{ dB} = -20 \text{ dB}$.

La diminution du niveau d'intensité acoustique est de 20 dB.

Activité 25 Niveau d'intensité acoustique

① Seuil de douleur : $L = 10 \log (I/I_0) = 10 \cdot \log (25/10^{-12}) = 1,3 \cdot 10^2 \text{ dB}$

② $L = 60 \text{ dB}$ donc $I = I_0 \cdot 10^{(L/10)} = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2$

L'intensité acoustique est une grandeur additive.

L'intensité totale $I_T = I + I = 2 \times I = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2$.

Le niveau d'intensité acoustique total est : $L_T = 10 \log (I_T/I_0) = 63 \text{ dB}$

③ L'intensité totale $I_T = 80 \times I = 80 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2$.

Le niveau d'intensité acoustique total est : $L_T = 10 \log (I_T/I_0) = 79 \text{ dB}$

④ $L_1 = 50 \text{ dB}$ donc $I_1 = I_0 \cdot 10^{(L_1/10)} = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ W/m}^2$

$L_2 = 60 \text{ dB}$ donc $I_2 = I_0 \cdot 10^{(L_2/10)} = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2$

$L_3 = 70 \text{ dB}$ donc $I_3 = I_0 \cdot 10^{(L_3/10)} = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ W/m}^2$

L'intensité acoustique est une grandeur additive.

L'intensité totale $I_T = I_1 + I_2 + I_3 = 0,000010 + 0,0000010 + 0,00000010 \approx 0,000011$ soit $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ W/m}^2$

Le niveau d'intensité acoustique total est : $L_T = 10 \log (I_T/I_0) \approx 70 \text{ dB}$

Activité 26 Niveau d'intensité acoustique et abaque

On « ajoute » les deux premiers niveaux, soit 50 et 50 dB. L'écart est de 0 dB, et le niveau à ajouter à 50 dB, le plus élevé des deux, est de 3 dB. Il en résulte un niveau de 50 + 3 = 53 dB. Il suffit de lui combiner le troisième niveau de 55 dB. L'écart « d » de 53 à 55 dB est de 2 dB, il faut donc ajouter 2.1 dB à 55 pour avoir le niveau résultant du fonctionnement des trois sources. Le résultat est de 55 + 2.1 = 57,1 dB que l'on arrondit à 57 dB.

d en dB	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A en dB	3	2,5	2.1	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,33	0,26

Activité 27 Sensibilité de l'oreille humaine

- ① La sensibilité de l'oreille humaine est la plus grande aux alentours de 3 500 Hz.
- ② Un son de fréquence 40 Hz et de niveau sonore 40 dB n'appartient pas au domaine audible de l'oreille humaine (entre le seuil de douleur et le seuil d'audibilité). Il ne peut donc pas être entendu par une oreille humaine.
- ③ $I = 10^{-10} \text{ W/m}^2$ correspond à un niveau d'intensité $L = 10 \log (I/I_0) = 20 \text{ dB}$. Le son est perceptible approximativement entre 150 Hz et 15 000 Hz.
- ④ La valeur moyenne du niveau sonore correspondant au seuil de douleur est approximativement 120 dB.

Activité 28 Microphone

- ① Le microphone électrodynamique contient essentiellement :
 - une **membrane** rigide, très légère, fixée sur son pourtour ; elle comporte des ondulations lui permettant de se déformer ;
 - un **aimant** ;
 - une **bobine** très légère, possédant quelques dizaines de spires seulement et pouvant coulisser dans l'entrefer de l'aimant.
- ② Le phénomène mis en œuvre pour son fonctionnement est appelé : induction électromagnétique.
- ③ L'indication « réponse en fréquences : 200 Hz à 8 000 Hz » signifie que le microphone est capable de transformer de manière satisfaisante une onde sonore en un signal électrique aux bornes de la bobine uniquement pour des ondes sonores dont les fréquences sont comprises entre 200 Hz et 8 000 Hz.

④ A. $T = 8 \text{ div} \times 100 \mu\text{s/div} = 800 \mu\text{s}$ d'où $f = 1/T = 1,25 \cdot 10^3 \text{ Hz}$ soit **1,25 kHz**.

④ B. La tension maximale est $U_m = 3,0 \text{ div} \times 2,0 \text{ mV/div} = 6,0 \text{ mV}$

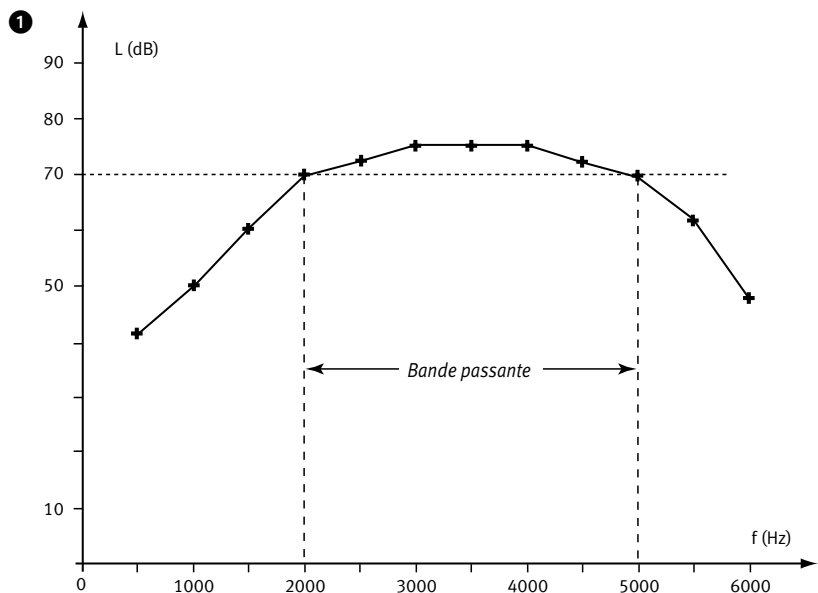
La sensibilité $\sigma = U_m/P$ donc $P = U_m/\sigma = 6,0/140 = 0,043 \text{ Pa}$. En affichant une tension maximale de 6,0 mV, le microphone est sensible à une surpression de l'air de 0,043 Pa.

Activité 29 Le haut-parleur

① En considérant F comme une grandeur algébrique, la force F varie sinusoidalement de période $T = 2,5 \text{ ms}$ car $F = k.i(t)$ où k est un coefficient de proportionnalité.

② $F = k.I$ et $F_m = k.I_m$ d'où $F_m = F \cdot (I_m/I) = 1,35 \cdot 0,50/0,25 = 2,7 \text{ N}$

Activité 30 Courbe de réponse en fréquence



② La bande passante pour un niveau d'intensité acoustique supérieur à 70 dB est : $\Delta f = f_2 - f_1 = 5\,000 - 2\,000 = 3\,000 \text{ Hz}$.

Activité 31 Rendement d'un haut-parleur

Le rapport η de la puissance acoustique P_a à la puissance électrique nominale P_e désigne le rendement du haut-parleur :

$$\eta = \frac{P_a}{P_e}$$

D'où $\eta = 10/50 = 0,20$ soit **20 %**

Caractéristiques du haut-parleur

Diamètre de la bobine (mm) : 26
 Nature du fil de la bobine : cuivre
 Nature de la membrane : fibre de verre
 Nature de la suspension : caoutchouc
 Impédance nominale (W) : 8
Puissance nominale (W) : 50 $\Rightarrow$ P_e
Puissance acoustique (W) : 10 $\Rightarrow$ P_a
 Bande passante 4 dB : 45 Hz – 5 kHz

Corrigé des exercices d'apprentissage

Exercice 14 Haut-parleur

- ① $I = P/S = P/(4\pi R^2) = 4,0/(4\pi \cdot 10^2) = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$
- ② $L = 10 \text{ Log } (I/I_0) = 10 \cdot \text{Log } (3,2 \cdot 10^{-3}/10^{-12}) = 95 \text{ dB}$
- ③ Le niveau sonore est dangereux car il est compris entre 90 dB et 110 dB.

Exercice 15 Machine à bois

- ① $L = 10 \times \text{Log}(I/I_0)$ donc $I = I_0 \cdot 10^{(L/10)} = 10^{-12} \cdot 10^{8,5} = 10^{-3,5} \text{ W/m}^2 = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2$.
- ② $I = P/S \Rightarrow P = I \cdot S = I \cdot 4\pi R^2 = 10^{-3,5} \cdot 4\pi \cdot 1,0^2 = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ W}$
- ③ $I' = P/S' = (4,0 \cdot 10^{-3})/(4\pi \cdot 0,50^2) = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$ donc $L' = 10 \times \text{Log}(I'/I_0) = 91 \text{ dB}$.
- ④ Le port du casque est **obligatoire** car $L' > 90 \text{ dB}$.
- ⑤ L'intensité totale $I_T = 2I = 2 \times 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2 = 6,4 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2$. Le niveau d'intensité acoustique est : $L_T = 10 \text{ Log } (I_T/I_0) = 10 \text{Log } 2 + 10 \text{Log } (I/I_0) = 3 \text{ dB} + 85 \text{ dB} = 88 \text{ dB}$.

Exercice 16 Niveau d'intensité acoustique

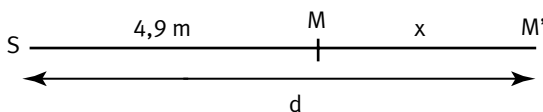
Partie A

- ① $\lambda \times f_0 = V_0$ d'où $f_0 = V_0/\lambda = 340/0,7727 = 440 \text{ Hz}$.
- ② $f = 2^{(12/12)} f_0 = 2 \cdot f_0 = 2 \cdot 440 = 880 \text{ Hz}$ (il y a 12 demi-tons dans une octave).
- ③ $P = 6,00 \cdot 10^{-3} \text{ W}$.

L'intensité acoustique est : $I = P/S = P/(4\pi R^2) = (6,00 \cdot 10^{-3})/(4\pi \cdot 4,9^2) = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ W/m}^2$

Le niveau d'intensité acoustique est : $L = 10 \text{log } (I/I_0) = 73 \text{ dB}$.

④



$$L' = L - 3,0 \text{ dB} = 70 \text{ dB}$$

$$I' = I_0 \cdot 10^{(L'/10)} = 10^{-12} \cdot 10^7 = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ W/m}^2.$$

$$S' = P/I' = (6,00 \cdot 10^{-3})/(1,0 \cdot 10^{-5}) = 6,00 \cdot 10^2 \text{ m}^2.$$

$$S' = 4\pi \cdot d'^2 \text{ d'où } d = (S'/4\pi)^{0,5} = 6,9 \text{ m}.$$

$$d = 4,9 + x \text{ donc } x = d - 4,9 = 6,9 - 4,9 = 2,0 \text{ m}.$$

Partie B

$$I = I_0 \cdot 10^{(L_I/10)}$$

f (en Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000
I (en W/m ²)	$3,2 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-6}$	$5,0 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$

L'intensité totale est $I_T = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 = 5,2 \cdot 10^{-5} \text{ W/m}^2$

Le niveau d'intensité sonore global L_I de ce bruit est donné par :

$$L_I = 10 \log (I_T/I_0) = 77 \text{ dB}$$

Exercice 17 Utilisation raisonnée d'un abaque

❶ On « ajoute » les deux premiers niveaux, soit 65 et 70 dB. L'écart est de 5 dB, et le niveau à ajouter à 70 dB, le plus élevé des deux, est de 1,2 dB. Il en résulte un niveau de $70 + 1,2 = 71,2$ dB. Il suffit de lui combiner le troisième niveau de 60 dB. L'écart « d » de 60 à 71,2 dB est de 11,2 dB, il faut donc ajouter 0,3 dB à 71,2 pour avoir le niveau résultant du fonctionnement des trois sources. Le résultat est de $71,2 + 0,3 = 71,5$ dB que l'on arrondit à 72 dB.

❷ Si on « ajoute » les deux derniers niveaux, soit 60 dB et 70 dB, l'écart est de 10 dB, et le niveau à ajouter à 70 dB, le plus élevé des deux, est de 0,4 dB. Il en résulte un niveau de $70 + 0,4 = 70,4$ dB. Il suffit de lui combiner le troisième niveau de 65 dB. L'écart « d » de 65 à 70,4 dB est de 5,4 dB, il faut donc ajouter 1,1 dB à 70,4 pour avoir le niveau résultant du fonctionnement des trois sources. Le résultat est de $70,4 + 1,1 = 71,5$ dB que l'on arrondit à 72 dB.

En conclusion, le résultat est le même en combinant d'abord les deux derniers niveaux.

❸ Si on ajoute deux sources de même niveau L, l'écart « d » est nul. Il faut donc ajouter 3 dB à l'un ou l'autre des niveaux pour avoir le niveau résultant qui sera $L + 3$ dB.

Si on ajoute trois sources de même niveau L, le niveau résultant de deux sources est $L + 3$ dB. Si on ajoute la troisième source L, l'écart « d » est alors de 3 dB. Il faut donc ajouter 1,8 dB à $L + 3$ dB pour avoir le niveau résultant c'est-à-dire $L + 4,8$ dB.

Exemple : si trois sources émettent à 60 dB, le niveau résultant sera de 64,8 dB que l'on arrondit à 65 dB.

Exercice 18 Courbes d'égale sonie

❶ Le son de 50 Hz est perçu à partir d'un niveau de 50 dB.

Le son de 200 Hz est perçu à partir d'un niveau de 12 dB.

Le son de 1 000 Hz est perçu à partir d'un niveau de 0 dB.

Le son de 10 000 Hz est perçu à partir d'un niveau de 8 dB.

❷ Toutes les fréquences de 1 000 à 2 000 Hz ainsi que la fréquence de 5 000 Hz ont pour un niveau d'intensité sonore de 40 dB la même sonie (même niveau de perception par l'oreille) que le son de 1000 Hz à 40 dB.

❸ Un son de 100 Hz et de niveau d'intensité sonore 58 dB a la même sonie que le son de 1 000 Hz à 40 dB.

- ④ En prenant pour référence le son de 1000 Hz à 110 dB :
- la sonie des sons à ce niveau d'intensité sonore **augmente** lorsque la fréquence varie de 20 Hz à 2 000 Hz ;
 - la sonie des sons à ce niveau d'intensité sonore **atteint le seuil de douleur** lorsque la fréquence varie de 2 000 Hz à 5 000 Hz ;
 - la sonie des sons à ce niveau d'intensité sonore **diminue** lorsque la fréquence varie au-delà de 5 000 Hz.

Exercice 19 Haut-parleur électrodynamique

- ① On désigne par P la puissance acoustique du haut-parleur dans la direction de l'axe principal.

L'intensité sonore I_1 , en M , s'écrit :

$$I_1 = P/S = P/(4\pi d^2) \text{ avec } d = 1,0 \text{ m.}$$

Comme $I_1 = I_0 \cdot 10^{(L_1/10)} = 10^{-12} \cdot 10^{11} = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ W/m}^2$, on peut en déduire la puissance acoustique de la source :

$$P = I_1 \cdot (4\pi d^2) = 1,0 \cdot 10^{-1} \cdot (4\pi \cdot 1,0^2) = 1,3 \text{ W.}$$

L'intensité sonore I_{50} , en M , s'écrit : $I_{50} = P/S = P/(4\pi d'^2)$ avec $d' = 50 \text{ m}$.

$$I_{50} = P/(4\pi d'^2) = 1,3 / (4\pi \cdot 50^2) = 4,1 \cdot 10^{-5} \text{ W/m}^2$$

Le niveau d'intensité acoustique à 50 m de la source est donc : $L_{I50} = 10 \log(I_{50}/I_0) = 76 \text{ dB}$.

- ② $L(d, \theta) = L(d, \text{axe}) + \text{indication du diagramme (valeur} < 0 \text{)}$

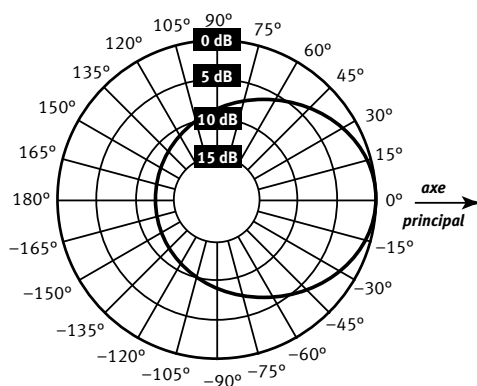
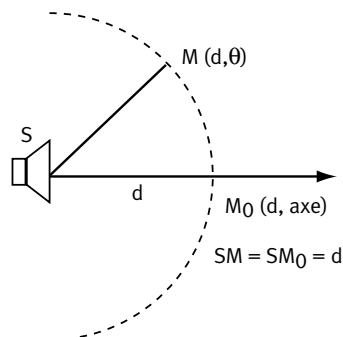
Dans la direction faisant un angle de 60° avec l'axe principal, le niveau sonore à 1,0 m de la source est inférieur de 6 dB (par lecture du diagramme) à ce qu'il est dans l'axe principal.

Le niveau sonore à 50 m et dans la direction faisant un angle de 60° est aussi inférieur de 6 dB à la valeur trouvée précédemment.

On obtient : $L' = 76 \text{ dB} - 6 \text{ dB} = 70 \text{ dB}$.

- ③ Le niveau sonore correspond à une intensité sonore I' telle que :

$$I' = I_0 \cdot \log(L'/10) = 10^{-5} \text{ W/m}^2$$



Chapitre 5 – Sons et architecture

Corrigé des activités

Activité 32 Historique de l'acoustique architecturale

- 1 L'acoustique architecturale passive est le domaine scientifique qui vise à comprendre et maîtriser la qualité sonore des bâtiments.
- 2 Les pots ou autres vases acoustiques permettent, dès l'Antiquité, d'améliorer l'acoustique passive des théâtres car ils améliorent la diffusion des sons grâce à un phénomène de résonance. Ils sont des amplificateurs acoustiques.
- 3 La « durée de résonance » est la durée de la persistance du son dans un lieu alors que la source originale n'existe plus.
- 4 En général, le terme « résonance » n'est pas approprié car la salle n'entre pas en résonance ! On devrait plutôt parler de réverbération qui est, en un lieu donné d'une salle, un mélange de sons directs et indirects (réfléchis sur les parois de la salle, sur les objets...) donnant un son confus qui décroît progressivement sur une durée caractéristique (durée de réverbération) et dépendant de l'architecture de la salle.

Activité 33 Coefficient d'absorption moyen

1

	Surface en m ²	Coefficient d'absorption à 1 000 Hz
Murs	S ₁ = 86 m ²	$\alpha_1 = 0,030$
Plafond	S ₂ = 64 m ²	$\alpha_2 = 0,050$
Sol	S ₃ = 64 m ²	$\alpha_3 = 0,060$

Le coefficient d'absorption moyen $\bar{\alpha}$ de la salle est : $\bar{\alpha} = (\alpha_1 \times S_1 + \alpha_2 \times S_2 + \alpha_3 \times S_3) / (S_1 + S_2 + S_3) = (86 \times 0,030 + 64 \times 0,050 + 64 \times 0,060) / (86 + 64 + 64) = 0,040$

2

	Surface en m ²	Coefficient d'absorption à 250 Hz
Murs	S ₁ = 86 m ²	$\alpha_1 = 0,020$
Plafond	S ₂ = 64 m ²	$\alpha_2 = 0,030$
Sol	S ₃ = 64 m ²	$\alpha_3 = 0,040$

Le coefficient d'absorption moyen $\bar{\alpha}$ de la salle est : $\bar{\alpha} = (\alpha_1 \times S_1 + \alpha_2 \times S_2 + \alpha_3 \times S_3) / (S_1 + S_2 + S_3) = (86 \times 0,020 + 64 \times 0,030 + 64 \times 0,040) / (86 + 64 + 64) = 0,030$

Conclusion C'est à une fréquence de 1000 Hz que les éléments de la salle absorbent le mieux le son.

Activité 34 Surface d'absorption équivalente

	Surface en m ²	Coefficient d'absorption à 500 Hz
Murs	S ₁ = 86 m ²	$\alpha_1 = 0,020$
Plafond	S ₂ = 64 m ²	$\alpha_2 = 0,040$
Sol	S ₃ = 64 m ²	$\alpha_3 = 0,050$

La surface d'absorption équivalente A de la salle en m² Sabine est :

$$A = (\alpha_1 \times S_1 + \alpha_2 \times S_2 + \alpha_3 \times S_3) = 86 \times 0,020 + 64 \times 0,040 + 64 \times 0,050 = 7,5 \text{ m}^2$$

Activité 35 Durées de réverbération

①

– La surface d'absorption équivalente A de la salle en m² Sabine est : $A_1 = \bar{\alpha}_1 \times S_1 = 0,040 \times (8,0 \times 8,0 + 8,0 \times 8,0 + 4 \times 2,7 \times 8,0) = 8,6 \text{ m}^2$

– La surface d'absorption équivalente A de la salle en m² Sabine est : $A_2 = \bar{\alpha}_2 \times S_2 = 0,040 \times (5,0 \times 5,0 + 5,0 \times 5,0 + 4 \times 2,7 \times 5,0) = 4,2 \text{ m}^2$

– La surface d'absorption équivalente A de la salle en m² Sabine est : $A_3 = \bar{\alpha}_3 \times S_3 = 0,060 \times (15,0 \times 12,0 + 15,0 \times 12,0 + 2 \times 2,7 \times 15,0 + 2 \times 2,7 \times 12,0) = 30 \text{ m}^2$

On applique la formule de Sabine pour déterminer la durée de réverbération :

$$Tr = 0,16 \times \frac{V}{A}$$

Salle	Surface d'absorption équivalente A (m ²)	Volume (m ³)	Durée de réverbération Tr (s)
1	8,6	$1,7.10^2$	3,2
2	4,2	68	2,6
3	30	$4,9.10^2$	2,6

② Il n'est pas judicieux de considérer que la réverbération est importante dans une salle de grandes dimensions car la durée de réverbération dépend du coefficient d'absorption moyen de la salle, un coefficient qui conditionne la valeur de la surface d'absorption équivalente A en m² Sabine. Par exemple, la salle 3 a un volume bien plus important que la salle 2 et pourtant les durées de réverbérations sont identiques !

Activité 36 Durée optimale de réverbération

La valeur optimale du temps de réverbération T_{op} peut être obtenue par la relation suivante :

$$T_{op} = 0,50 \times \left(\frac{V}{30} \right)^{1/3}$$

T_{op} : durée optimale en secondes (s)

V : volume de la salle en m³

La valeur optimale de la durée de réverbération est :

$$T_{op} = 0,50 \times (600/30)^{1/3} = 1,4 \text{ s}$$

Corrigé des exercices d'apprentissage

Exercice 20 La physique au service de l'architecture

Partie A : Généralités

- ❶ On appelle **onde mécanique** progressive, le phénomène de propagation d'une **perturbation** dans un milieu matériel sans **transport de matière** mais avec transport d'énergie.
- ❷ L'onde sonore se propage dans l'air dans un espace à **trois dimensions**.



Théâtre d'Aspendos (Turquie, près d'Antalya).
Crédit photo : Philippe Heinis.

Partie B : Simulation d'un théâtre à l'aide d'une maquette

1. Utilisation d'un émetteur ultrasonore

- 1.1. La longueur d'onde λ est la **distance parcourue** par une onde périodique pendant une durée égale à une période T .

$$1.2. v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f \quad \text{donc} \quad \lambda = \frac{v}{f}$$

- 1.3. D'après le texte, la célérité des ultrasons v_1 , et de la voix v_2 sont égales :
 $v_1 = v_2$.

Or, pour les ultrasons : $f_1 > 20 \times 10^3$ Hz, et pour les sons audibles : $20 \text{ Hz} < f_2 < 20 \times 10^3$ Hz. Comme $v = \lambda \cdot f$, $f_1 > f_2$ donc $\lambda_1 < \lambda_2$.

La longueur d'onde des ultrasons est donc inférieure à la longueur d'onde moyenne des sons de la voix.

- 1.4. La maquette du théâtre ayant des dimensions proportionnelles à celles du théâtre et plus petites, il faut alors que les longueurs d'onde des sons utilisés soient diminuées du même facteur de proportionnalité.

La relation $v = \lambda \cdot f$ montre que, pour v constante, si λ diminue, alors f augmente. Les fréquences des ultrasons étant supérieures aux fréquences des ondes sonores, on utilise les ultrasons dans le cadre de la simulation avec une maquette.

2. Influence d'un plafond

2.1. $v = \frac{D}{\tau}$ donc $\tau = \frac{D}{v}$ soit $\tau = \frac{0,68}{340} = \frac{6,8 \times 10^{-1}}{3,40 \times 10^2} = 2,0 \times 10^{-3} \text{ s.}$

2.2. On constate que l'**amortissement des échos est plus marqué** dans l'expérience 2 (couvercle + moquette) que dans l'expérience 1 (couvercle). L'expérience 3 (sans le couvercle) montre qu'il n'y a quasiment plus d'échos dans le signal reçu, les échos sont **très amortis**.

2.3. Plus les échos sont amortis et meilleure est la qualité du son perçu par le spectateur. Ainsi, l'absence de couvercle (expérience 3) est plus intéressante d'un point de vue acoustique.

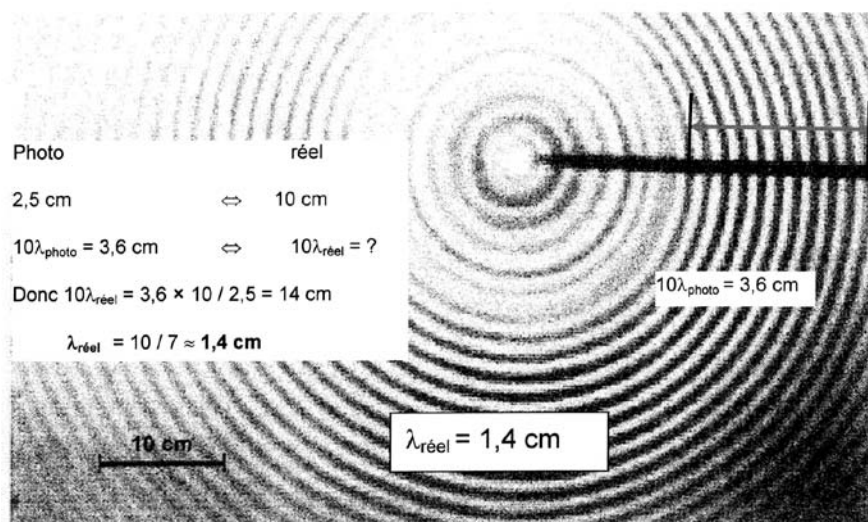
2.4. Les plafonds des salles de concerts sont recouverts de dalles alvéolées absorbantes afin de **diminuer l'amplitude des échos sur le plafond**.

3. Rôle du mur : simulation à l'aide d'une cuve à ondes

3.1. Les ondes créées à la surface de l'eau sont **transversales** car la direction de la perturbation (verticale) est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde (horizontale).

3.2. Les vaguelettes à la surface de la cuve sont moins visibles lors de l'expérience 1 (mur plan) que lors de l'expérience 2 (mur plan alvéolé). On peut penser qu'elles possèdent une plus faible amplitude. Ainsi, l'intensité des ondes sonores reçues par les spectateurs dans les gradins est plus faible avec un mur plan qu'avec un mur alvéolé.

3.3.



3.4. Le pupitum est alvéolé du côté de l'orchestre grâce à la présence des niches et des colonnes. Le son de l'orchestre n'est pas amorti par le pupitum (= expérience 2 où le vibreur est équivalent à l'orchestre).

Du côté de la scène, le pupitum est plan. Dès lors, les sons de l'orchestre réfléchis par le mur situé derrière la scène sont amortis par la face plane du pupitum (= expérience 1).

3.5.1. B étant le symétrique de A par rapport au mur, on a : $AB = 2d$.

3.5.2. $v = \frac{2d}{\Delta t}$ donc $\Delta t = \frac{2d}{v}$

3.5.3. Il faut que $\Delta t < 1/25$ s, donc : $\frac{2d}{v} \leq \frac{1}{25}$ doit $d \leq \frac{v}{50}$

Pour $d = d_{\max}$ et $v = 350 \text{ m.s}^{-1}$, on a : $d_{\max} = \frac{v}{50} = \frac{350}{50} = 7,0 \text{ m}$.

Cette valeur est cohérente avec celle donnée dans la conclusion (6,60 m).

Exercice 21 Auditorium

① On utilise la formule de Sabine pour calculer A :

$$A = 0,16 \times (V/\text{Tr}) \text{ avec } V = 4,0 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$\text{On en déduit : } A = 0,16 \times (4,0 \cdot 10^3 / 0,80) = 8,0 \cdot 10^3 \text{ m}^2 \text{ Sabine.}$$

A s'exprime également à l'aide des surfaces des parois et des coefficients d'absorption. On pose :

$$S_1 = \text{surface des murs et du sol : } S_1 = L \times l + 2(L \times h) + 2(l \times h) = 1,4 \cdot 10^3 \text{ m}^2.$$

$$S_p = \text{surface du plafond : } S_p = L \times l = 8,0 \cdot 10^2 \text{ m}^2.$$

$$\text{On a : } A = \alpha \times S_1 + \alpha' \times S_p ; \text{ on en déduit que } \alpha' = (A - \alpha \times S_1) / S_p = 0,56.$$

② A. On a égalité des deux intensités à la distance r_1 :

$$\frac{P}{4\pi(r_1)^2} = \frac{4P}{A}. \text{ On obtient alors : } P \times A = 4P \times 4\pi(r_1)^2 \text{ puis : } r_1 = \sqrt{\frac{A}{16\pi}} = 4,0 \text{ m}$$

B. À une distance de 4,0 m, l'intensité sonore totale est :

$$I_1 = 2I_r = 8P/A = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$$

$$\text{Le niveau sonore s'en déduit : } L_1 = 10 \text{ Log } (I_1/I_0) = 90 \text{ dB.}$$

C. On pose : $d = 12,6 \text{ m}$. À cette distance, l'intensité sonore totale est :

$$I_2 = \frac{P}{4\pi(d)^2} + \frac{4P}{A} \text{ et } L_2 = 10 \text{ Log } (I_2/I_0) = 87 \text{ dB.}$$

D. Si on ne tenait compte que du champ réverbéré, on obtiendrait :

$$I'_2 = \frac{4P}{A} \text{ et } L'_2 = 10 \text{ Log } (I'_2/I_0) = 87 \text{ dB.}$$

E. Les deux niveaux sonores sont identiques, cela montre que l'apport du champ direct est négligeable si $r \geq 12,6 \text{ m}$.

Exercice 22 Transformation d'un local

① On appelle « temps de réverbération » du local la durée Tr nécessaire pour que l'intensité sonore diminue de 60 dB après extinction de la source. Elle est donnée par la formule de Sabine : $\text{Tr} = 0,16 \times (V/A)$ où V : volume de la salle (en m^3) et A : la surface équivalente de la salle en m^2 Sabine.

2

	S	α	αS
K	Surface des murs : $S_m = 70 \text{ m}^2$ $S_m = 2 \times [8,0 + 6,0] \times 2,5$		
	Surface vitrée : $S_v = 16 \text{ m}^2$ $S_v = 2 \times [4,0 \times 1,5] + 2,0 \times 2,0$	$\alpha_2 = 0,120$	$1,9 \text{ m}^2$
	Surface en béton : $S_b = S_m - S_v = 54 \text{ m}^2$	$\alpha_1 = 0,040$	$2,2 \text{ m}^2$
	Surface du sol : $S_{sol} = 48 \text{ m}^2$ $S_{sol} = 6,0 \times 8,0$	$\alpha_3 = 0,070$	$3,4 \text{ m}^2$
	Surface du plafond : $S_{pl} = 48 \text{ m}^2$ $S_{pl} = 6,0 \times 8,0$	$\alpha_3 = 0,070$	$3,4 \text{ m}^2$
	Total		$10,9 \text{ m}^2$

③ $T = 0,16 \times V/A = 0,16 \times (1,2 \cdot 10^2) / 10,9 = 1,8 \text{ s}$

④ a) On désigne par T' le temps de réverbération souhaité et par A' la nouvelle surface équivalente d'absorption : $T' = 0,16 \times (V/A')$ d'où $A' = 0,16 \times (V/T') = 38 \text{ m}^2$

b) On exprime A et A' à l'aide des surfaces ci-dessous :

$A' = K + S_{pl} \times \alpha'$ (1) et $A = K + S_{pl} \times \alpha_3$ (2)

K désigne de façon formelle la partie de l'aire équivalente sur laquelle on n'agit pas !

(1) – (2) donne : $A' - A = S_{pl} \times (\alpha' - \alpha_3)$

Puis $\alpha' = (A' - A)/S_{pl} + \alpha_3$.

Ainsi : $\alpha' = 0,65$.

Les dalles acoustiques devront donc avoir un coefficient d'absorption de 0,65 pour que le temps de réverbération tombe à 0,5 s.

Chapitre 6 – Fiche de synthèse

Corrigé des activités

Exercice 1 Cordes de violon

①

1.1. Il s'agit d'ondes **transversales** : la direction de propagation de l'onde est perpendiculaire à la direction de la perturbation créée par le pincement de la corde.



1.2. Il apparaît une onde stationnaire le long de la corde si sa longueur est un multiple d'une demi-longueur d'onde. Soit si $\ell = n \cdot \frac{\lambda}{2}$ (n entier)

Le mode fondamental de vibration correspond à $n = 1$ car il se forme un unique fuseau sur la corde.

1.3. La caisse du violon sert de **caisse de résonance**. La corde du violon émet en elle-même un son presque inaudible, sa fonction n'est que de produire une vibration mécanique transmise à la caisse du violon. Celle-ci est à même, de par sa superficie, de mettre l'air en vibration et c'est grâce à elle que l'on peut entendre la vibration émise par la corde.

② La corde émet un λ_3 qui correspond au mode fondamental de vibration donc

$$\ell = \frac{\lambda}{2} \text{ ou } \lambda = 2 \cdot \ell$$

$$\text{D'autre part } \lambda = \frac{v}{f}, \text{ donc } 2 \cdot \ell = \frac{v}{f} \text{ soit } v = 2 \cdot \ell \cdot f$$

$$\text{et enfin } v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \text{ donc } 2 \cdot \ell \cdot f_3 = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

$$F = 4 \cdot \ell^2 \cdot f_3^2 \cdot \mu$$

$$F = 4 \times (0,55)^2 \times (440)^2 \times 0,95 \cdot 10^{-3}$$

$$F = 2,2 \cdot 10^2 \text{ N}$$

③

3.1. En appuyant sur la corde, le violoniste modifie la longueur ℓ de la corde et donc la longueur d'onde et la fréquence.

3.2. Célérité de l'onde stationnaire sur la corde ré3 lorsque sa longueur n'a pas été modifiée :

$$\lambda = \frac{v}{f_2} \text{ donc } v = \lambda \cdot f_2$$

Lorsque la corde vibre selon son mode de vibration fondamental

$$\ell = \frac{\lambda}{2} \text{ donc } \lambda = 2 \cdot \ell, \text{ il vient } v = 2 \cdot \ell \cdot f_2 \text{ avec } \ell = AO.$$

Ensuite, la longueur de la corde ré3 est réduite, sa nouvelle longueur vaut alors ℓ' .

Sa masse linéique ne change pas, et sa tension F ne change pas donc la **célérité**

$$(v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}) \text{ ne change pas, on a toujours } v = 2 \cdot \ell \cdot f_2.$$

La fréquence de vibration devient $f_3 = 440 \text{ Hz}$, la vitesse peut aussi s'exprimer $v = 2 \cdot \ell' \cdot f_3$.

$$\text{On a alors } 2 \cdot \ell \cdot f_2 = 2 \cdot \ell' \cdot f_3.$$

$$\text{soit } \ell \cdot f_2 = \ell' \cdot f_3.$$

$$\text{donc } \boxed{\ell' = \frac{\ell \cdot f_2}{f_3}}$$

$$\ell' = \frac{0,55 \times 294}{440} = 0,37 \text{ m entre le chevalet A et le point d'appui B.}$$

4

4.1. L'énoncé indique qu'un diapason émet un son de fréquence unique 440 Hz. Le spectre n° 1 est celui du son joué par le diapason, puisqu'il ne contient **qu'une seule fréquence** située aux environs de 440 Hz.

Le spectre n° 2 est celui du son produit par la corde la₃ : il contient la fréquence fondamentale et en plus des fréquences **harmoniques** multiples de 440 Hz.

4.2. $f_n = n.f_1$ avec n entier, f_n fréquence de l'harmonique de rang n, f_1 fréquence du mode fondamental.

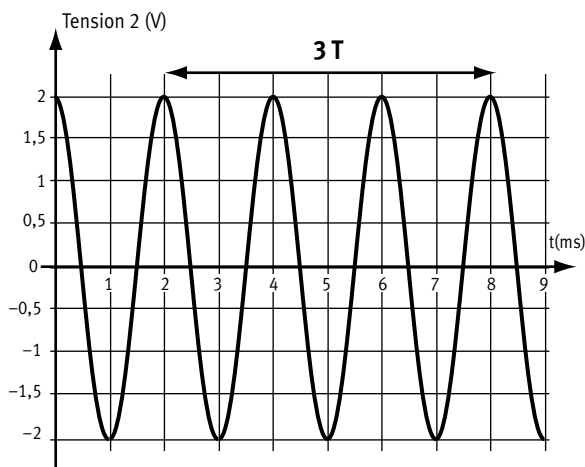
$f_2 = 2 \times 440 = 880$ Hz : cette fréquence n'apparaît pas dans le spectre.

$f_4 = 4 \times 440 = 1\,760$ Hz n'est pas présente

$f_6 = 6 \times 440 = 2\,640$ Hz non plus.

Exercice 2 Autour de l'oreille

1. Quelques caractéristiques du son



1.1. La hauteur du son est la qualité physiologique qui distingue un son aigu d'un son grave. La hauteur est liée à la fréquence du mode fondamental de vibration.

1.2. On mesure graphiquement la période du son.

$3T = 6,0$ ms donc $T = 2,0$ ms

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{2 \times 10^{-3}} = 5,0 \times 10^2 \text{ Hz}$$

1.3. On constate que l'amplitude de la tension 2 est supérieure à celle de la tension 1 : l'expérimentateur a **augmenté l'amplitude de la tension fournie par le générateur de fréquences**. On en déduit que **l'intensité sonore est plus grande**.

1.4. Sur le spectre fréquentiel, on peut lire que la fréquence du mode de vibration de rang 4 vaut $f_4 = 2\,000\text{ Hz}$.

On sait que $f_n = n.f_1$ où f_1 représente la fréquence du mode fondamental de vibration et f_n la fréquence de l'harmonique de rang n .

$$f_4 = 4.f_1 \text{ donc } f_1 = \frac{f_4}{4}.$$

$f_1 = \frac{2000}{4} = 500\text{ Hz}$. La hauteur est identique à celle des sons des enregistrements 1 et 2.

1.5. Les enregistrements des sons 1 et 2 montrent des tensions parfaitement sinusoïdales, ce qui caractérise des sons purs. Les spectres fréquents ne montreraient qu'un seul pic correspondant au fondamental de fréquence f_1 .

La tension correspondant au son 3 n'est pas sinusoïdale : elle correspond à une somme de fonctions sinusoïdales. Le son 3 n'est pas un son pur.

Le son 3 ne possède pas le même timbre que les sons 1 et 2.

2. Le détecteur oreille

$$2.1. L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

$$\frac{L}{10} = \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

$$I = I_0 \cdot 10^{L/10}$$

$$I = 1,0 \cdot 10^{-12} \times 10^{50/10} = 1,0 \cdot 10^{-12} \times 10^5 = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ W.m}^{-2}$$

$$2.2. L_1 = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right)$$

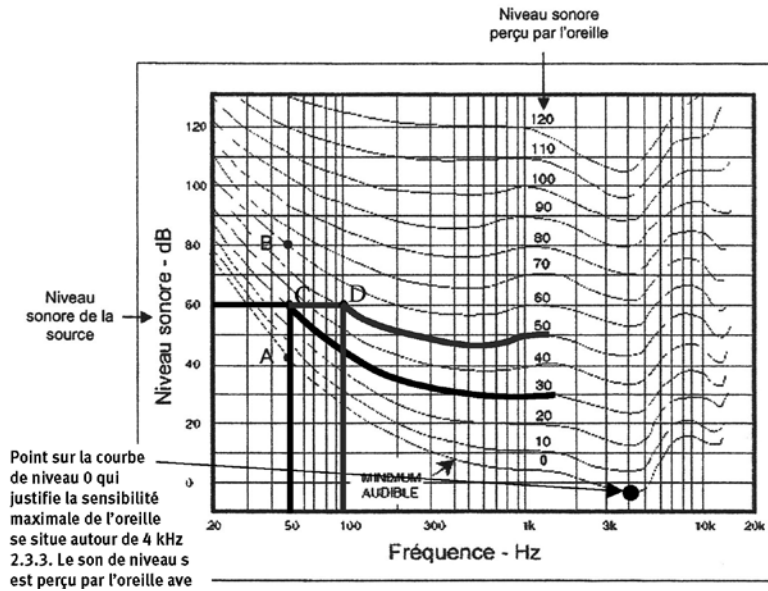
$$L_2 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{2I_1}{I_0} \right) = 10 (\log 2 + \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right)) = 10 \log 2 +$$

$$10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} \right) = 10 \log 2 + L_1$$

$$L_2 = 3 + L_1$$

2.3.1. Les sons aigus possèdent une fréquence élevée, donc ils se situent du côté droit du diagramme vers 20 kHz, tandis que les sons graves possèdent une basse fréquence, donc du côté de 20 Hz.

2.3.2.



2.3.3. Le son de niveau sonore 60 dB et de fréquence 50 Hz correspond au **point C**. Il est perçu par l'oreille avec un niveau sonore $L_C = 30$ dB.

Le son de niveau sonore 60 dB et de fréquence 100 Hz correspond au **point D**. Il est perçu par l'oreille avec un niveau sonore $L_D = 50$ dB.

2.3.4. Plus le niveau sonore est élevé et plus l'intensité sonore est grande. $L_D > L_C$, donc le son de niveau sonore 60 dB et de fréquence 100 Hz, correspondant au point D, est perçu avec le plus d'intensité par l'oreille.

Exercice 3 Aménagement d'une cantine

① On appelle « durée de réverbération » du local la durée Tr nécessaire pour que l'intensité sonore diminue de 60 dB après extinction de la source.

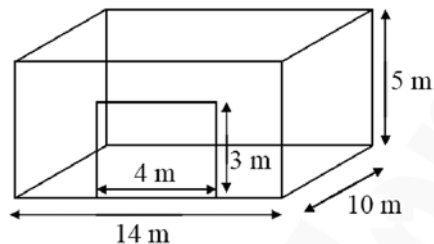
② Dans la formule de Sabine : $Tr = 0,16 \times (V/A)$

V : volume de la salle en m^3 .

A : surface équivalente d'absorption de la salle en m^2 Sabine.

Tr : durée de réverbération en s.

③



$$Tr(vide) = 0,16 \times (V/A) \text{ avec } V = 14,0 \times 10,0 \times 5,0 = 7,0 \cdot 10^2 m^3$$

S_{sol} : surface du sol

$$S_{\text{sol}} = 14 \times 10 = 1,4 \cdot 10^2 \text{ m}^2$$

S_v : surface vitres

$$S_v = 12 \text{ m}^2 \text{ (vitres)}$$

S_{tot} : surface totale du local

$$S_{\text{tot}} = 2 \times [14,0 \times 10,0 + 14,0 \times 5,0 + 5,0 \times 10,0] = 520 \text{ m}^2$$

S_b : surface du béton

$$S_b = S_{\text{tot}} - S_v - S_{\text{sol}} = 368 \text{ m}^2$$

$$\text{On en déduit : } A = S_b \times \alpha_b + S_{\text{sol}} \times \alpha_c + S_v \times \alpha_v = 18 \text{ m}^2$$

$$\text{On en déduit la durée de réverbération : } Tr(\text{vide}) = 0,16 \times (V/A) = 6,2 \text{ s}$$

④ A. On désigne par $Tr'(\text{vide}) = 1,1 \text{ s}$ le temps de réverbération du local « corrigé ».

$$\text{L'aire d'absorption équivalente } A' \text{ s'écrit : } A' = (0,16 \times V)/Tr' = 112 \text{ m}^2.$$

B. Faisons apparaître la surface traitée S_p dans l'expression de A' :

$$A' = (S_b - S_p) \times \alpha_b + S_{\text{sol}} \times \alpha_c + S_v \times \alpha_v + S_p \times \alpha_p$$

$$\text{La différence (b) - (a) s'écrit : } A' - A = S_p[\alpha_p - \alpha_b]$$

$$\text{Ce qui donne : } S_p = (A' - A) / (\alpha_p - \alpha_b) = 97 \text{ m}^2$$

⑤ A. $Tr'(\text{vide}) = 1,0 \text{ s}$ d'après le graphique pour les fréquences qui nous intéressent : le cahier des charges est donc respecté.

B. Tables et chaises absorbent les sons et augmenteront la surface équivalente d'absorption. Le temps de réverbération de la cantine meublée sera donc inférieur à celui du local vide.

Corrigé du problème scientifique

« Pourquoi les frettes d'une guitare ne sont-elles pas régulièrement espacées » ?

Document n° 1

D'après le document 1, on peut écrire :

$$d_1 = L_0 - L_1$$

$$d_2 = L_1 - L_2$$

$$d_3 = L_2 - L_3$$

...

$$d_n = L_{n-1} - L_n \text{ (relation 1)}$$

où d_n est la longueur de la case n entre la frette $n-1$ et la frette n .

Document n° 2

D'après le document 2, on peut écrire :

$$L_n = V / (2 \times f_n)$$

$$L_{n-1} = V / (2 \times f_{n-1})$$

En faisant le rapport des deux expressions, on obtient :

$\frac{L_n}{L_{n-1}} = \frac{f_{n-1}}{f_n}$ (relation 2) si on considère que la tension T de la corde est inchangée c'est-à-dire que la vitesse V de l'onde sur la corde est constante.

Document n° 3

D'après le document 3, on peut écrire :

$$f_n = r \times f_{n-1} \text{ où } r = 2^{1/12} \text{ (relation 3)}$$

Les relations 2 et 3 permettent d'écrire : $L_n = L_{n-1} \times r^{-1}$

De plus :

$$L_1 = L_0 \times (r^{-1})$$

$$L_2 = L_1 \times (r^{-1}) = L_0 \times (r^{-1})^2$$

$$L_3 = L_2 \times (r^{-1}) = L_0 \times (r^{-1})^3$$

...

$$L_{n-1} = L_{n-2} \times (r^{-1}) = L_0 \times (r^{-1})^{n-1}$$

$$L_n = L_{n-1} \times (r^{-1}) = L_0 \times (r^{-1})^n$$

En injectant ces deux relations dans la relation 1, on obtient :

$$d_n = L_{n-1} - L_n = L_0 \times (r^{-1})^{n-1} - L_0 \times (r^{-1})^n = L_0 \times (r^{-1})^n ((r^{-1})^{-1} - 1) = L_0 \times (r^{-1})^n \times (r - 1)$$

où $r = 2^{1/12} \approx 1,0595$

Retenons : $d_n = L_0 \times (r^{-1})^n (r - 1)$ où $r = 2^{1/12} \approx 1,0595$

Les calculs des distances d_n ($n = 1, 2, 3, \dots$) figurent dans le tableau ci-dessous :

Case n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13	16
d_n (cm)	2,7	2,6	2,4	2,3	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7	1,5	1,4	1,1

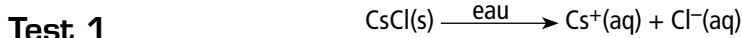


Corrigé séquence 2

Chapitre 1 – Prérequis

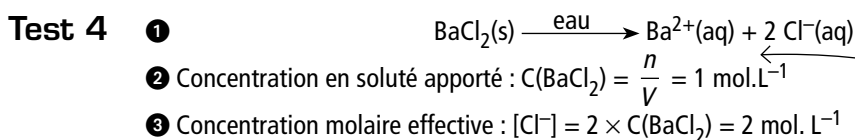
Corrigé des tests

A. Propriétés des solutions aqueuses



Test 2 Classement des gaz par solubilité croissante dans l'eau : $\text{O}_2 \approx \text{CH}_4 < \text{CO}_2 < \text{NH}_3$
Justification : molécule non polaire et liaisons non polarisées < molécule non polaire mais liaisons polarisées < molécule polaire.

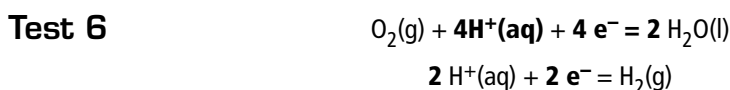
Test 3 On peut dissoudre au maximum 357 g de sel par litre de solution soit 35,7 g dans 100 mL. Lorsque l'on cherche à dissoudre 40 g de sel pour obtenir une solution de 100 mL, seuls 35,7 g passent effectivement en solution. Il reste 4,3 g de sel solide non dissous. Le mélange obtenu est hétérogène : du sel visible à l'œil nu baigne dans une solution saturée.



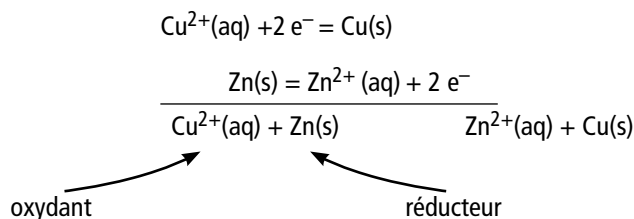
B. Les réactions acide-base dans l'eau

Test 5 Solution de soude : solution basique ($\text{pH} \gg 7$), BBT de couleur bleue.
Eau du robinet : solution neutre ($\text{pH} = 7$), BBT de couleur verdâtre.
Solution d'acide chlorhydrique ($\text{pH} \ll 7$), BBT de couleur jaune.

C. Les réactions d'oxydoréduction dans l'eau

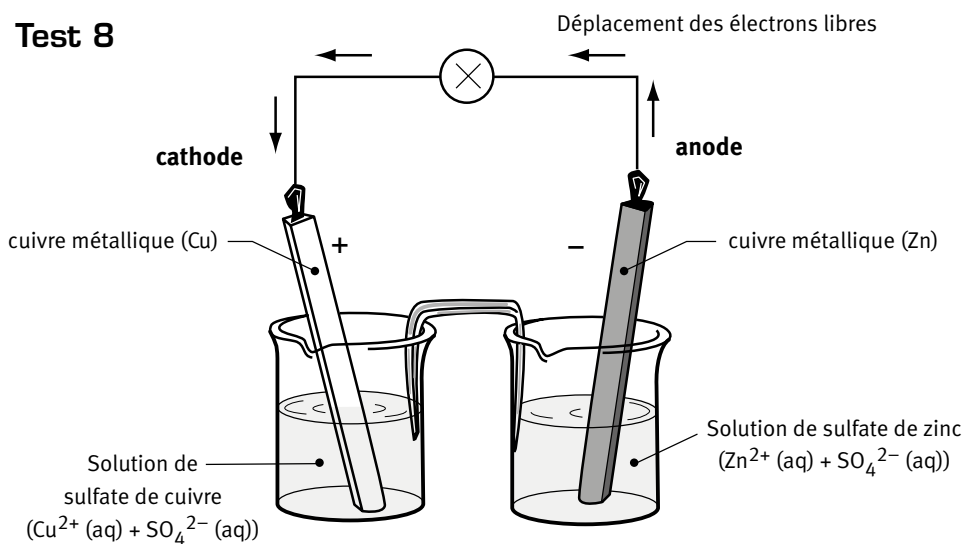


Test 7 ► Réaction entre l'ion Cu^{2+} et le zinc métallique Zn :



- Pas de réaction observable (un oxydant et un réducteur du même couple sont en présence).
- Pas de réaction observable (deux oxydants en présence).

Test 8

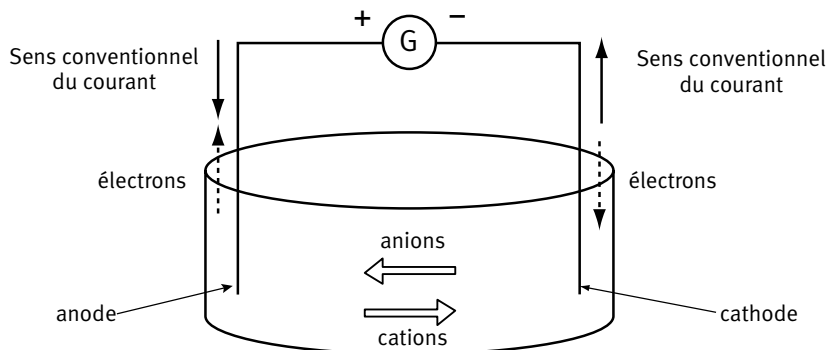


À l'anode, on observe une oxydation : $\text{Zn}(\text{s}) = \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^{-}$.

À la cathode, on observe une réduction : $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^{-} = \text{Cu}(\text{s})$.

Les réactions sont évidemment les mêmes que celles du test 7.

Test 9



Espèces présentes : $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$, $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$, $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$

À la cathode, on observe une réduction : deux réactions sont *a priori* possibles.

$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- = \text{Cu}(\text{s})$ réduction du soluté : l'ion $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$

$2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- = \text{H}_2(\text{g})$ réduction du solvant : l'eau

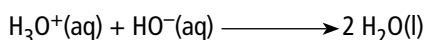
À l'anode, on observe une oxydation : deux réactions sont *a priori* possibles.

$2\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) = \text{S}_2\text{O}_8^{2-}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$ oxydation du soluté : l'ion $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$

$2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) = \text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 4\text{e}^-$ oxydation du solvant : l'eau

D. Dosages des substances dissoutes dans l'eau

Test 10 ❶ L'équation bilan qui sert de support au titrage est :



C'est une réaction acide-base car les deux substances s'échangent un proton H^+ lors de la réaction.

❷ La solution titrante est la solution aqueuse de soude (dans la burette) alors que la solution titrée est la solution d'acide chlorhydrique (dans le bécher).

❸ La réaction est suivie grâce à un pH-mètre. C'est le « saut » de pH qui permet de détecter l'équivalence. C'est donc un dosage pH-métrique.

❹ À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation bilan.

On a alors $n(\text{H}_3\text{O}^+) = n(\text{HO}^-)$ soit $C_a \cdot V_{\text{acide}} = C_b \cdot V_{\text{base}}$.

$$C_a = \frac{C_b \cdot V_{\text{base}}}{V_{\text{acide}}} = \frac{0,1 \times 15 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-3}} = 1,5 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$$

Test 11 ❶ $\lambda_{\text{max}} = 815 \text{ nm}$.

❷ Cette longueur d'onde correspond à la lumière rouge. La solution, éclairée en lumière blanche, sera colorée en bleu, couleur complémentaire du rouge.

❸ D'après la courbe d'absorption $A(700 \text{ nm}) = 0,7$ pour $C = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$. D'après la loi de Beer-Lambert, l'absorbance d'une solution est proportionnelle à la concentration en soluté qui absorbe. Une solution deux fois plus concentrée ($C = 0,2 \text{ mol.L}^{-1}$) absorbera deux fois plus de lumière de même longueur d'onde soit $A(700 \text{ nm}) = 1,4$ pour $C = 0,2 \text{ mol.L}^{-1}$.

Test 12 ❶ $\sigma = \lambda(\text{Na}^+) \times [\text{Na}^+] + \lambda(\text{Cl}^-) \times [\text{Cl}^-] = (\lambda(\text{Na}^+) + \lambda(\text{Cl}^-)) \times C$

❷ La loi de Kohlrausch indique que, pour les solutions diluées, la conductivité électrique est proportionnelle à la concentration de l'électrolyte, $\text{NaCl}(\text{s})$ ici. Lorsque la concentration C est divisée par 10, la conductivité est divisée par 10 soit $\sigma = 1,25 \times 10^{-3} \text{ S.m}^{-1}$ pour $C = 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$.

- ③ Lorsque l'on verse quelques gouttes d'une solution d'acide chlorhydrique dans une solution aqueuse de chlorure de sodium, $[\text{Cl}^-]$ ne varie pas, $[\text{Na}^+]$ ne diminue presque pas, par contre $[\text{H}_3\text{O}^+]$ augmente. La conductivité globale de la solution augmente.

E. Mesures et incertitudes

Test 13

- ① $V_{lu} = 30,0 \pm 0,05 \text{ mL}$
- ② On a $n = C \times V$ donc $n_{sup} = C \times (V + \Delta V) = 0,15 \times 30,05 \times 10^{-3} = 4,5075 \times 10^{-3} \text{ mol}$
 $n_{inf} = C \times (V - \Delta V) = 0,15 \times 29,95 \times 10^{-3} = 4,4925 \times 10^{-3} \text{ mol}$

$$\Delta n = \frac{4,5075 \times 10^{-3} - 4,4925 \times 10^{-3}}{2} = 7,5 \times 10^{-6} \text{ mol soit } 7 \times 10^{-6} \text{ mol}$$

ou plus simplement $\Delta n = C \times \Delta V = 0,15 \times 0,05 \times 10^{-3} = 7,5 \times 10^{-6} \text{ mol soit } 7 \times 10^{-6} \text{ mol}$
 $(n)_{eq} = 30,0 \times 10^{-3} \times 0,15 = 4,5 \times 10^{-3} \text{ mol}$ mais $\Delta n = 7 \times 10^{-6} \text{ mol}$ donc
 $(n)_{eq} = (4,500 \pm 0,007) \times 10^{-3} \text{ mol}$
- ③ Si l'on considère la concentration parfaitement connue, on peut donc écrire le résultat avec 4 chiffres significatifs. Mais ce n'est pas le cas. La valeur de la concentration molaire est donnée avec 2 chiffres significatifs ($C = 0,15 \text{ mol.L}^{-1}$). L'incertitude concernant C est donc de $\Delta C = 0,005 \text{ mol.L}^{-1}$. On a donc :
- $$\Delta n = V \times \Delta C = 30 \times 10^{-3} \times 0,005 = 1,5 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$$

Bilan : le nombre de moles versés à l'équivalence dépend de deux grandeurs physiques indépendantes dont on ne connaît qu'imparfaitement la valeur : le volume V et la concentration de la solution C. L'incertitude relative concernant la concentration est la plus grande ($\Delta C/C \approx 3,33 \%$ alors que $\Delta V/V \approx 0,166 \%$). Les incertitudes relatives s'ajoutent et l'on a : $\Delta n/n = \Delta C/C + \Delta V/V = 3,5 \%$. Le nombre de moles versés à l'équivalence est donc connu à 3,5 % près, soit $\Delta n \approx 2 \times 10^{-4} \text{ mol}$. On doit donc écrire le résultat de la manière suivante :
 $n = (4,5 \pm 0,2) \times 10^{-3} \text{ mol}$, c'est-à-dire avec 2 chiffres significatifs.

Chapitre 2 – Mers, océans et climat : traceurs chimiques

Corrigé des activités

Activité 1

- ① Les deux composants majoritaires de l'air sont le diazote ($\approx 80 \%$ ou 4/5) et le dioxygène ($\approx 20 \%$ ou 1/5).
- ② La dissolution du dioxygène dans l'eau permet à la vie sous-marine de se développer. La quantité de dioxygène dissous dépend beaucoup de la température de l'eau.

- ③ L'effet de serre est l'effet d'isolant thermique naturel que joue l'atmosphère vis-à-vis de la Terre. L'atmosphère diminue les pertes d'énergie de la Terre lorsqu'elle est chauffée par le soleil. Lorsque l'effet de serre augmente (à cause de la présence de certains gaz ou de particules dans l'atmosphère), la température à la surface de la Terre augmente.

Activité 2

① $V_{\text{tot}} = S \times h_{\text{moyen}}, m_{\text{tot}} = C_m \times S \times h_{\text{moyen}}$

Lors de l'évaporation totale, cette même masse de sel se retrouve sur la même surface S mais sur une épaisseur e , on a donc :

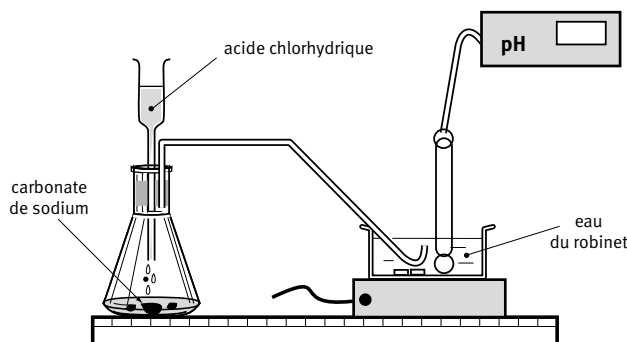
$$e = \frac{C_m \times S \times h_{\text{moyen}}}{\rho_{\text{NaCl}} \times S} = \frac{C_m \times h_{\text{moyen}}}{\rho_{\text{NaCl}}} = \frac{34,7 \times 3800}{2200} \approx 60 \text{ m}$$

- ② La salinité des eaux superficielles de l'océan mondial résulte de l'équilibre entre l'apport d'eau douce (précipitations, l'apport fluvial) (effet de dilution des solutés) et le départ d'eau douce due à l'évaporation (effet de concentration des solutés).
- Les eaux de mer superficielles plus salées sont plutôt situées dans deux bandes symétriques par rapport à l'équateur. La latitude moyenne de ces zones correspond aux tropiques ($\approx 23^\circ$ nord : tropique du Cancer et $\approx 23^\circ$ sud : tropique du Capricorne). La présence des continents empêche l'apparition d'une symétrie plus nette.
 - L'équilibre évaporation/précipitation est déplacé en faveur des précipitations dans le cas des pôles. Les eaux superficielles de ces régions sont donc plutôt moins salées.
 - À l'embouchure des fleuves à fort débit, les eaux continentales, plus douces, diluent l'eau de mer et en modifient sa composition (cas de l'embouchure de l'Amazone et du fleuve Congo (golfe de Guinée)).

TP n° 1 : L'acidification des océans

Activité 3

1. On réalise l'expérience suivante :



Observations

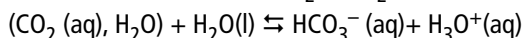
Le pH, qui était de 7,96, baisse jusqu'à atteindre la valeur de 4,85 au bout de quelques minutes.

Interprétation

Le dioxyde de carbone produit par la réaction ne fait pas que se dissoudre dans l'eau. Il réagit également avec elle puisque la concentration en ions $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ augmente. Les équations bilans suivantes décrivent les phénomènes observés :

(1) Dissolution du dioxyde de carbone dans l'eau : $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$

(2) Réaction acido-basique entre l'acide ($\text{CO}_2(\text{aq}), \text{H}_2\text{O}$) et la base $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$:



La réaction (2) produit des ions oxonium, ce qui explique la baisse du pH et donc l'acidification de l'eau.

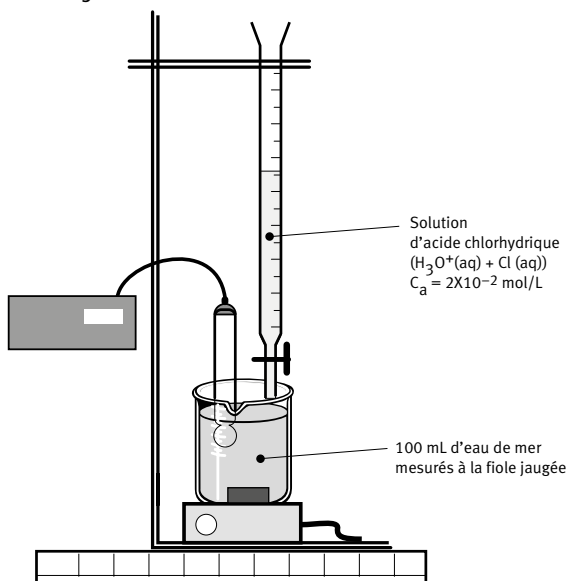
2. On récupère l'eau saturée de dioxyde de carbone obtenue lors de l'expérience précédente. Lorsque cette eau est laissée à l'air libre pendant quelques minutes, son pH n'évolue pas de manière significative. Par contre, lorsqu'elle est chauffée puis ramenée à la température ambiante pour pouvoir réaliser une nouvelle mesure de pH, on constate que son pH est de 7,26.

Interprétation

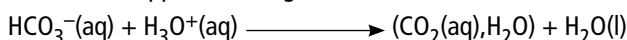
La solubilité des gaz dans l'eau diminue lorsque la température de l'eau augmente. Le chauffage de l'eau saturée en dioxyde de carbone a pour effet de dégazer celle-ci. Dans le cas du dioxyde de carbone, on parle de décarbonation.

3. Lorsque l'on verse un acide dans l'eau de mer, son pH ne diminue pas autant que dans le cas de l'eau salée. L'ion hydrogénocarbonate $\text{HCO}_3^-(\text{aq})$, naturellement présent dans l'eau de mer, réagit avec l'acide versé et limite la baisse du pH. Lorsque tous les ions $\text{HCO}_3^-(\text{aq})$ ont réagi avec l'acide versé, alors le pH diminue plus rapidement. Cette analyse est confirmée par l'évolution du pH de l'eau minérale <<X>> qui contient également $\text{HCO}_3^-(\text{aq})$.

On peut réaliser un dosage par titrage acido-basique pour déterminer la concentration en ions HCO_3^- d'une eau de mer et l'identifier par son pKa.



La réaction support du titrage est :



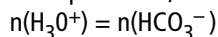
L'ion chlorure Cl^- est un ion spectateur. On peut repérer l'équivalence de plusieurs manières :

– avec le changement de teinte d'un indicateur coloré (vert de bromocrésol : passage du bleu au jaune ici) ;

– en faisant un suivi pH-métrique de la réaction. La courbe obtenue permet de déterminer l'équivalence grâce à la méthode des tangentes ou bien grâce à l'évolution de la dérivée de la fonction $\text{pH} = f(V)$.

On a $V_e = 15 \pm 0,5 \text{ mL}$

D'après le tableau d'évolution à l'équivalence, on a :



$$\text{Soit } [\text{HCO}_3^-] = \frac{C_a V_e}{V} = \frac{2.10^{-2} \times 15.10^{-3}}{100.10^{-3}} = 3 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

En considérant que l'incertitude expérimentale la plus grande concerne la détermination du volume V_e ($\Delta V = 0,5 \text{ mL}$), on a :

$$\frac{C_a (V_e - \Delta V)}{V} < [\text{HCO}_3^-] < \frac{C_a (V_e + \Delta V)}{V}$$

$$2,9 \times 10^{-3} \text{ mol/L} < [\text{HCO}_3^-] < 3,1 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

On a donc pour l'eau de mer : $[\text{HCO}_3^-] = (3,0 \pm 0,1) \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

Remarque

En procédant de la même manière, on peut vérifier la cohérence des mesures réalisées avec les indications portées sur l'étiquette de l'eau minérale Courmayeur. Expérimentalement, on trouve :

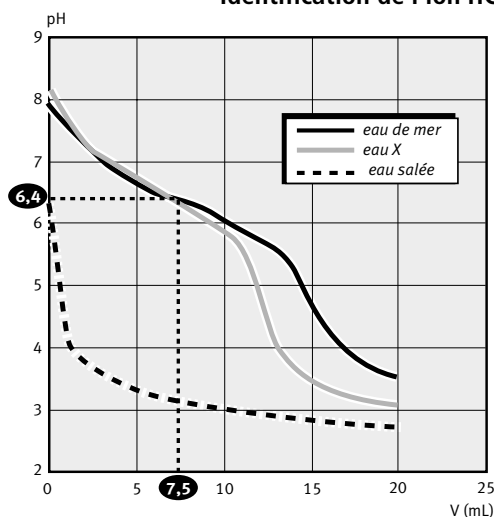
$$V_e = 12,2 \pm 0,5 \text{ mL} \text{ donc } [\text{HCO}_3^-] = 2,4 \pm 0,1 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\text{La concentration massique } C_m(\text{HCO}_3^-) = M(\text{HCO}_3^-) \times [\text{HCO}_3^-] = 61 \times 2,4 \times 10^{-3} \\ C_m(\text{HCO}_3^-) = 146 \pm 6 \times 10^{-3} \text{ g/L}$$

$$\text{Soit } C_m(\text{HCO}_3^-) = 146 \pm 6 \text{ mg/L}$$

La valeur déterminée expérimentalement n'est pas compatible avec les indications portées sur l'étiquette ($C_m(\text{HCO}_3^-) = 130 \text{ mg/L}$).

Identification de l'ion HCO_3^- dans l'eau de mer



Lorsque le volume versé est égal à $V = V_e/2$, alors, d'après l'équation bilan, on a :

$$n(\text{HCO}_3^-(\text{aq})) = n(\text{CO}_{2(\text{aq})}, \text{H}_2\text{O}) \text{ et donc}$$

$[\text{HCO}_3^-(\text{aq})] = [\text{CO}_{2(\text{aq})}, \text{H}_2\text{O}]$ en remplaçant dans l'expression du pK_a , on a :

$$\text{pK}_a = \text{pH} + \log ([\text{CO}_{2(\text{aq})}, \text{H}_2\text{O}] / [\text{HCO}_3^-])$$

$$\text{pK}_a = \text{pH} + \log 1 = \text{pH}$$

À la $1/2$ équivalence, le pH est donc égal au pK_a du couple acide-base qui est dosé. D'après la courbe expérimentale, on a $\text{pH}(V_e/2) = 6,4$.

C'est donc bien l'ion hydrogénocarbonate présent dans l'eau de mer qui est responsable de l'évolution du pH de l'eau de mer.

TP n° 2 : Salinité

Activité 4

❶ Pour mesurer la densité de l'eau de mer, on peut procéder de la manière suivante :

- On place une fiole jaugée vide de 100 mL sur une balance électronique. On tare alors la balance.
- On remplit la fiole jaugée de l'eau de mer à analyser et on la place sur la balance préalablement tarée. La balance mesure donc la masse de 100 mL d'eau de mer. On trouve $m = 102,50$ g. La fiole jaugée porte l'indication ($\pm 0,10$ mL à 20 °C). En considérant que l'incertitude de mesure la plus importante concerne la détermination du volume, on a :

$$\rho_{\min} = \frac{m}{V + \Delta V} = \frac{102,50}{100,10} = 1,0240 \text{ g/ml et } \rho_{\max} = \frac{m}{V - \Delta V} = \frac{102,50}{99,90} = 1,0260 \text{ g/ml}$$

$$\rho = 1025 \pm 1 \text{ g/L}$$

Remarque

La mesure de la masse avec la balance apporte également une incertitude de mesure du même ordre de grandeur. Les incertitudes de mesures s'ajoutent et l'on a :

$$\rho = 1025 \pm 2 \text{ g/L}$$

❷ Dosage des ions chlorure

1^{re} méthode : Utilisation de la loi de Dittmar

D'après le tableau, pour $T = 18$ °C si $\rho = 1025$ g/L, alors $S = 34,64$.

Compte tenu de l'incertitude concernant la détermination de la masse volumique de l'eau on a : $S = 34 \pm 2$

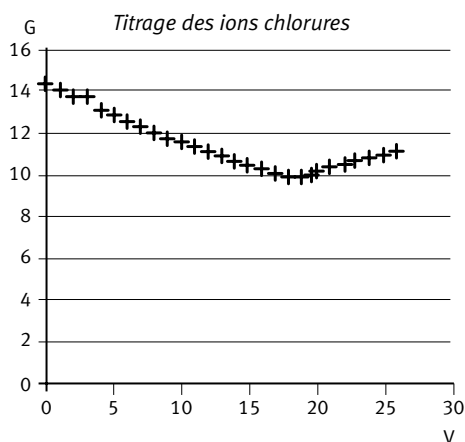
En utilisant la relation $S = 0,03 + 1,805 \text{ Cl}$, soit $\text{Cl} = \frac{S - 0,03}{1,805} = 18,82$. En tenant compte des incertitudes expérimentales, on a :

$$\text{Cl} = 19 \pm 1 \text{ (en g/kg) ou } \text{Cl} = 0,53 \pm 0,03 \text{ mol/kg}$$

2^e méthode : Dosage par titrage

On effectue le dosage de 10 mL d'eau de mer par une solution aqueuse de nitrate d'argent de concentration massique $C_m(\text{AgNO}_3) = 49$ g/L soit 0,288 mol/L

- Repérage de l'équivalence avec un ajout de 15 mL d'une solution de chromate de potassium K_2CrO_4 (3,5 g/L). $V_e = 19,4 \pm 0,3$ mL
- Suivi conductimétrique : (Voir ci-contre)



L'équation bilan de la réaction de titrage est : $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{AgCl}(\text{s})$
 À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques, donc on a :

$$n(\text{Ag}^+) = n(\text{Cl}^-)$$

$$\text{donc } C(\text{AgNO}_3) \times V_e = [\text{Cl}^-] \times V \text{ soit } [\text{Cl}^-] = \frac{0,288 \times V_e}{V} = 0,55 \pm 0,01 \text{ mol.L}^{-1}$$

La chlorinité de la solution Cl (en g/ kg) s'écrit:

$$\text{Cl} = \frac{0,55 \times 35,5}{\rho \text{ eau de mer}} = 19,0 \pm 0,3 \text{ g/kg}$$

❸ **Bilan** : pour déterminer la salinité d'une eau de mer avec le maximum de précision, il vaut mieux utiliser le dosage par titrage, la détection de l'équivalence pouvant se faire de manière indifférente avec un indicateur coloré (solution de chromate d'argent) ou avec un conductimètre.

Corrigé des exercices d'apprentissage

Exercice 1

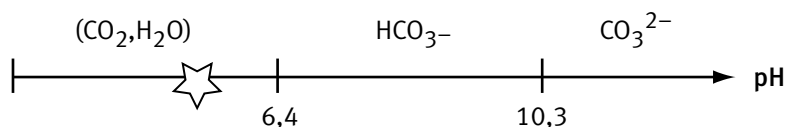
- a) La mesure du pH comporte 2 chiffres significatifs.
- b) $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-8,2} = 6,30957 \times 10^{-9} \text{ mol/L}$ (résultat calculatrice)
- c) Encadrement : $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{max}} = 10^{-8,15} = 7,079 \times 10^{-9} \text{ mol/L}$ (résultat calculatrice)
 $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{min}} = 10^{-8,25} = 5,623 \times 10^{-9} \text{ mol/L}$ (résultat calculatrice)
 donc $5,623 \times 10^{-9} \text{ mol/L} < [\text{H}_3\text{O}^+] < 7,079 \times 10^{-9} \text{ mol/L}$
- d) Le résultat de la question b) ne doit comporter que 2 chiffres significatifs, soit : $[\text{H}_3\text{O}^+] = 6,3 \times 10^{-9} \text{ mol/L}$
- e) La mesure du pH ne permet pas d'avoir une mesure précise de la concentration en ions hydronium. Dans l'exemple étudié, on a $6,3 \pm 0,7 \times 10^{-9} \text{ mol/L}$ soit une incertitude relative de 11%. Pour obtenir une mesure plus précise, il faut effectuer un dosage.

Exercice 2

Le pH de l'eau de mer diminue mais ne devient pas acide ($\text{pH} > 7$).

$$\Delta[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{fin}} - [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{début}} = 10^{-\text{pH fin}} - 10^{-\text{pH début}} = 10^{-7,9} - 10^{-8,2} \\ \approx 6,3 \times 10^{-9} \text{ mol.L}^{-1}$$

Exercice 3

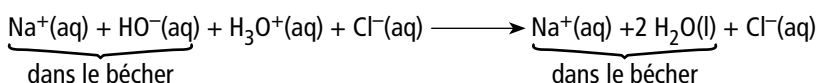


L'espèce prédominante lorsque le pH est de 5,7 est l'acide carbonique : $(\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}) (\text{aq})$.

Exercice 4

Lors d'un dosage par titrage, la solution titrée est dans la burette. Le capteur (pH-mètre ou conductimètre) plonge donc dans la solution de soude qui est basique

et conductrice. Lorsque l'on verse de l'acide chlorhydrique, on a la réaction acide-base :



D'un point de vue électrique, verser de l'acide chlorhydrique revient à remplacer un ion très conducteur (l'ion HO^-) par un ion moins conducteur (l'ion Cl^-). La conductance de la solution baisse jusqu'à l'équivalence. Après l'équivalence, l'acide chlorhydrique versé ne réagit plus avec les ions hydroxydes. Les ions contenus dans la solution d'acide chlorhydrique font augmenter la conductance de la solution.

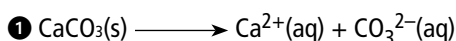
Au cours du dosage, la solution qui était basique devient de plus en plus acide.

Les courbes qui conviennent sont les a et c.

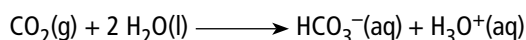
Chapitre 3 – Érosion, dissolution, concrétion

Corrigé des activités

Activité 5

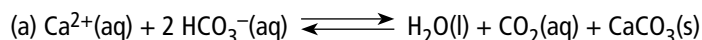


② Lorsque l'eau de pluie s'infiltre dans le sol, elle dissout le dioxyde de carbone gazeux produit par l'activité biologique (respiration, fermentation...). Le dioxyde de carbone dissous réagit avec l'eau et produit des ions H_3O^+ .



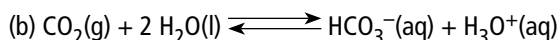
L'eau de pluie qui percole à travers le sol devient plus acide.

③ La croissance d'une stalactite est le résultat de l'arrivée d'une goutte d'eau saturée en dioxyde de carbone dissous, d'ions hydrogénocarbonate et d'ions calcium dans une atmosphère plus pauvre en dioxyde de carbone. D'après l'équation (a), pour produire plus de CaCO_3 , il faut augmenter la quantité de réactifs présents, c'est-à-dire : Ca^{2+} et HCO_3^- .



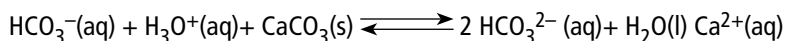
La croissance d'une stalactite nécessite donc un flux important d'une solution riche en ions calcium et hydrogénocarbonate. Il s'agit donc d'une période de fortes précipitations (printemps ou automne) pendant laquelle l'eau d'infiltration doit être particulièrement agressive (acide).

Plus l'activité biologique de surface est importante, plus la production de CO_2 est importante dans le sol et plus l'eau d'infiltration sera acide d'après l'équation (b).



D'autre part, une température faible augmente la solubilité des gaz dans l'eau et donc du dioxyde de carbone également.

Cette eau agressive pourra dissoudre plus de carbonate de calcium et donc s'enrichir en ions calcium d'après l'équation :



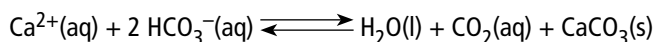
Le début du printemps est une période qui conjugue des précipitations importantes, une activité biologique importante et des températures encore assez basses. C'est donc pendant cette saison que les stalactites connaîtront la plus forte croissance.

Par contre, en hiver, la température de l'air des grottes est bien supérieure à la température de l'eau chargée d'ions hydrogénocarbonate et de dioxyde de carbone. Cela conduit à un réchauffement de l'eau qui diminue la solubilité du CO_2 dans l'eau qui s'accompagne d'une diminution du CO_2 dissous entraînant un déplacement de l'équilibre dans le sens de la formation du calcaire. Dans certaines régions, ce phénomène explique une croissance élevée des stalagmites en hiver également.

$$④ \frac{1000}{0,5} = 2000 \leq t \leq \frac{1000}{0,01} = 100000$$

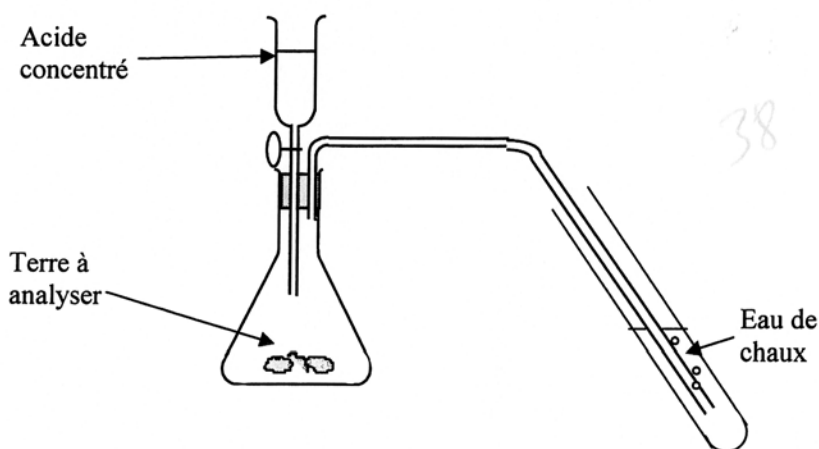
Il faut attendre entre 2 000 et 100 000 ans pour obtenir une stalactite de 1 m.

- ⑤ Si l'air humide de la grotte s'enrichit en CO_2 , l'eau qui suinte dans la grotte devient plus acide et elle pourra alors dissoudre les concrétions de carbonate de calcium CaCO_3 . L'équilibre est alors déplacé dans le sens (2) :

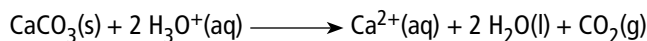


Activité 6

- ① On réalise le montage suivant :

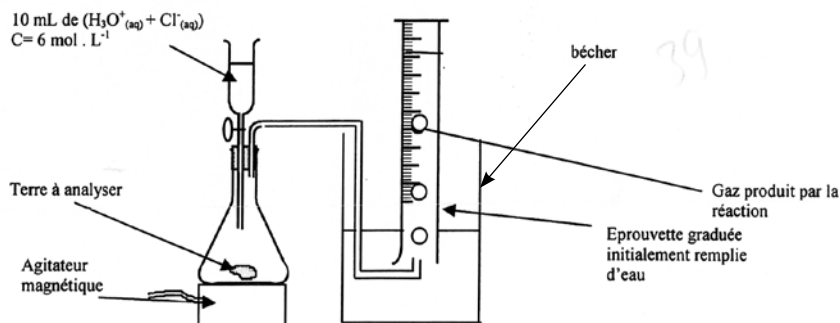


L'apparition d'un précipité blanc de carbonate de calcium CaCO_3 (trouble) dans le tube à essais prouve que le dégagement gazeux est du dioxyde de carbone CO_2 . Ce dégagement de CO_2 a été produit par la réaction globale suivante :



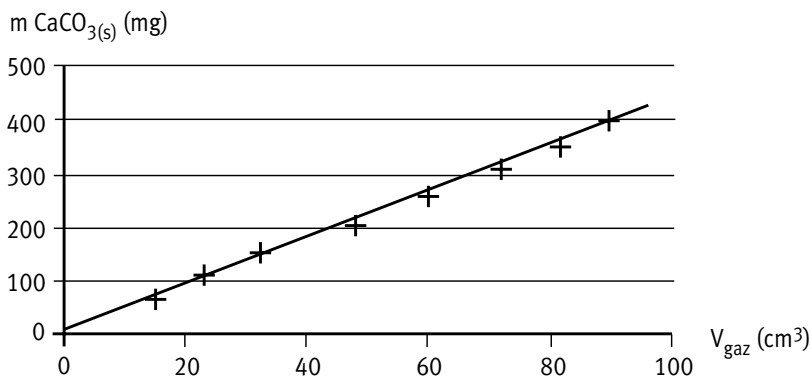
Cela prouve l'existence de carbonate de calcium dans le sol étudié (calcaire).

- ② Pour déterminer la teneur en calcaire d'un sol, on mesure le volume du gaz produit lorsque l'on verse 10 mL d'acide chlorhydrique 6 mol.L⁻¹ sur le sol à analyser. On compare le résultat précédent avec ceux obtenus lorsque le sol est remplacé par du CaCO₃(s) pur. Le montage est le suivant :



On commence par réaliser une courbe d'étalonnage avec des masses croissantes de CaCO₃ purs. On obtient les résultats suivants :

mCaCO ₃ (s) (mg)	63	114	153	207	261	306	348	399
V _{gaz} (cm ³)	15,0	23,0	32,5	48,0	59,5	72,0	81,5	89,5



Lors de ces mesures, certaines précautions sont à prendre :

- La verrerie doit être adaptée pour mesurer précisément le volume de gaz produit (éprouvette graduée).
- Les raccords doivent être étanches : tout le gaz produit par la réaction doit être recueilli dans l'éprouvette graduée.
- Lors de la mesure de volume, les niveaux atteints par l'eau dans le bécher et dans l'éprouvette graduée doivent coïncider, sinon il faut tenir compte de la différence de pression et de la compressibilité des gaz.
- Il faut s'assurer que les réactifs réagissent complètement : l'agitation permet de s'assurer de la rencontre des réactifs.

D'après le graphique, une relation affine ($m = (a \times V) + b$) existe entre la masse de $\text{CaCO}_3(\text{s})$ et le volume de gaz produit. La fonction « régression linéaire » (Reglin) d'une calculatrice scientifique permet de déterminer rapidement les coefficients a et b qui relient les deux listes de données expérimentales.

On obtient $a = 4,25$ et $b = 7,49$ (coefficient de corrélation = 0,998).

La terre à analyser est mise à l'étuve puis broyée finement dans un mortier. On place ensuite un échantillon de masse m_0 de la poudre obtenue dans l'ermeneyer bien sec. Après avoir versé 10 mL d'acide chlorhydrique $C = 6 \text{ mol.L}^{-1}$, on relève le volume de gaz produit. Pour estimer l'incertitude expérimentale concernant cette mesure, on recommence la mesure plusieurs fois. On obtient les résultats suivants :

$m_{\text{terre}} (\text{g})$	3,45	3,74	3,52	4,22
$V_{\text{gaz}} (\text{cm}^3)$	50,0	51,5	50,0	60,5
$m_{\text{CaCO}_3} (\text{mg})$	220	226	220	265
% en calcaire $\frac{m_{\text{CaCO}_3} \times 100}{m_{\text{terre}}}$	6,38	6,04	6,25	6,28

On observe une dispersion des résultats autour de la valeur moyenne : 6,237 %. Cette dispersion est caractérisée par un écart type de 0,1237... % (obtenu à la calculatrice). Le résultat de la mesure peut donc s'écrire :

$$\text{Teneur en calcaire} = 6,2 \pm 0,1 \%$$

Activité 7

① En réalisant l'expérience du document 3 : après quelques minutes, le coton faisant mèche, il laisse tomber en son milieu une goutte de liquide. Le débit étant faible et l'évaporation importante, on observe la cristallisation du sulfate de magnésium lorsque la solution atteint la saturation. C'est ainsi que se forment les concrétions de gypse.

On peut également verser une solution d'acide sulfurique ($2 \text{ H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$) sur de la craie ou du calcaire ($\text{CaCO}_3(\text{s})$). On observe une effervescence (dégagement de $\text{CO}_2(\text{g})$), une destruction du cristal ionique de calcite et la formation d'un précipité blanc de sulfate de calcium.

② • Mesure de conductivité d'une solution saturée de sulfate de calcium

Il faut commencer par étalonner le conductimètre avec une solution de chlorure de potassium à la même température que la solution saturée et de conductivité voisine.

Une solution de $(\text{K}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}))$ $C = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ à 20°C a une conductivité $\sigma = 1,278 \text{ mS.cm}^{-1}$

On mesure ensuite les conductivités de l'eau distillée $\sigma_0 = 3,9 \mu\text{S.cm}^{-1}$ puis celle de la solution saturée de sulfate de calcium $\sigma_{\text{sat}} = 2,35 \text{ mS.cm}^{-1}$. La conductivité propre de l'eau distillée est négligeable par rapport à la conductivité de la solution saturée de sulfate de calcium donc :

$$\Delta\sigma = 2,35 \text{ mS.cm}^{-1} = 0,235 \text{ S.m}^{-1} = 235 \text{ mS.m}^{-1}, C = \frac{235}{27,9} = 8,42 \text{ mol.m}^{-3} \text{ soit } \frac{8,42}{1000} = 8,42 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

La solubilité s (en g/L) s'écrit donc $s = M(\text{CaSO}_{4(s)}) \times C(\text{mol.L}^{-1}) = 136,2 \times 8,42 \times 10^{-3} = 1,14 \text{ g}$

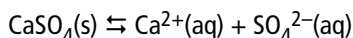
Les sources d'erreur de cette méthode sont liées à l'étalonnage et à l'utilisation du conductimètre. La conductivité varie de manière importante avec la température, il faut donc travailler avec des solutions de températures stables, homogènes et identiques (20 °C). L'incertitude relative de la mesure de conductivité est de 2 %.

On peut donc écrire le résultat de la manière suivante :

$$s(\text{CaSO}_4) = 1,14 \pm 0,02 \text{ g.L}^{-1}$$

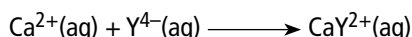
Remarque

Dans ce calcul, on suppose que la dissolution du cristal ionique de sulfate de calcium s'accompagne uniquement de la mise en solution d'ions libres Ca^{2+} et SO_4^{2-} suivant l'équation bilan :



• Dosage des ions calcium de la solution saturée

On réalise un dosage des ions Ca^{2+} par titrage de 10 mL de la solution saturée de sulfate de calcium. La réaction support du dosage est :



L'indicateur de fin de réaction est le NET et le pH est maintenu à 10 pendant tout le dosage.

On observe un changement persistant de la couleur de la solution contenue dans le bécher, lorsque l'on a versé $V = 17,0 \text{ mL}$ de la solution titrée d'EDTA. À l'équivalence, on peut écrire :

$$n(\text{Ca}^{2+}) = n(\text{EDTA})$$

$$C(\text{Ca}^{2+}) \times V(\text{Ca}^{2+}) = C_{\text{EDTA}} \times V_{(\text{EDTA})\text{eq}}$$

$$C(\text{Ca}^{2+}) = \frac{C_{(\text{EDTA})} \times V_{(\text{EDTA})\text{eq}}}{V(\text{Ca}^{2+})} = \frac{5 \times 10^{-3} \times 17,0 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-3}} = 8,5 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

La solubilité s (en g/L) s'écrit donc :

$$s = M(\text{CaSO}_4) \times C(\text{Ca}^{2+}) = 136,2 \times 8,5 \times 10^{-3} = 1,16 \text{ g}$$

La difficulté qu'il y a à évaluer visuellement la persistance du changement de couleur de l'indicateur coloré lorsque l'on a atteint l'équivalence est la principale source d'erreur de cette méthode. Cette difficulté induit une incertitude concernant le volume $V_{(\text{EDTA})\text{eq}}$: $\Delta V = 0,3 \text{ mL}$. L'incertitude relative est donc de :

$$\frac{\Delta V}{V} \times 100 \approx 2 \%$$

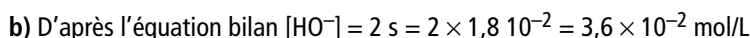
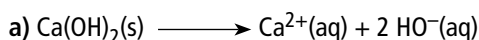
On peut donc écrire le résultat de la manière suivante :

$$s(\text{CaSO}_4) = 1,16 \pm 0,02 \text{ g.L}^{-1}$$

Bilan : les deux méthodes donnent des résultats qui se recoupent compte tenu des incertitudes expérimentales.

Corrigé des exercices

Exercice 1

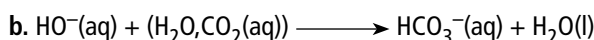
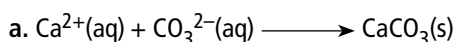


D'après le produit ionique de l'eau on a :

$$[\text{H}_3\text{O}^{+}] = \frac{K_e}{[\text{HO}^{-}]} = \frac{10^{-14}}{3,6 \cdot 10^{-2}} = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^{+}] = -\log(2,7 \cdot 10^{-3}) = 2,57 \text{ (solution très basique)}$$

Exercice 2



(réaction base forte / acide faible)

Les ions HCO_3^{-} produits par la réaction précédente peuvent réagir avec les ions hydroxyde en excès dans l'eau de chaux. L'ion hydrogénocarbonate est amphotère.



Il y a donc production d'ions carbonate dans l'eau de chaux qui contient déjà des ions Ca^{2+} . La réaction de précipitation a) peut donc avoir lieu.

Exercice 3

On observe un début de précipitation par évaporation du solvant (l'eau ici) lorsque la concentration limite $C_m = 255 \text{ g/L}$ est atteinte. Soit $C_m = \frac{m}{V}$ donc :

$$V = \frac{m}{C_m} = \frac{50}{255} = 0,196 \text{ L soit } 196 \text{ mL}$$

Chapitre 4 – Production d'eau potable ; traitement des eaux

Corrigé des activités

Activité 8

$$\textcircled{1} V(\text{sable}, d = 100 \text{ nm}) = \frac{(2650 - 1000) \times 10 \times (100 \times 10^{-9})^2}{18 \times 1,3 \times 10^{-3}} = 7 \times 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$$

$$V(\text{floc}, d = 0,1 \text{ mm}) = \frac{(1004 - 1000) \times 10 \times (0,1 \times 10^{-3})^2}{18 \times 1,3 \times 10^{-3}} = 1,7 \times 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$$

$$V(\text{sable}, d = 0,1 \text{ mm}) = \frac{(2650 - 1000) \times 10 \times (0,1 \times 10^{-3})^2}{18 \times 1,3 \times 10^{-3}} = 7 \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$$

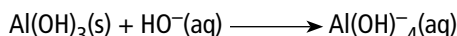
La durée pour chuter de 1 m est donc $\Delta t(s) = \frac{d}{v} = \frac{1}{v}$ soit :

(sable, $d = 100 \text{ nm}$) $\Delta t = 1/V \approx 142\,857\,143 \text{ s} \approx 1\,653 \text{ jours} \approx 4 \text{ ans } 1/2$

(sable, $d = 0,1 \text{ mm}$) $\Delta t = 1/V \approx 143 \text{ s} \approx 2 \text{ min } 23 \text{ s}$

(floc, $d = 0,1 \text{ mm}$) $\Delta t = 1/V \approx 58\,824 \text{ s} \approx 16 \text{ h}$

- ② Lorsque le pH devient trop basique ($\text{pH} > 7,2$), les ions hydroxyde HO^- présents dans la solution commencent à réagir de manière quantitative avec le précipité d'hydroxyde d'aluminium $\text{Al}(\text{OH})_3$ pour former un hydroxyde soluble, $\text{Al}(\text{OH})_4^-$:



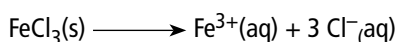
L'action coagulante du sulfate d'aluminium résulte de l'existence d'un réseau solide de précipité $\text{Al}(\text{OH})_3$. Celui-ci joue le rôle d'un filet piégeant les floccs isolés. Lorsque le pH devient basique, le réseau commence à se dissoudre et donc son efficacité coagulante diminue.

- ③ Les colloïdes responsables de la couleur et de la turbidité de l'eau portent sur leur surface des charges électriques négatives qu'il faut neutraliser si l'on veut déstabiliser la suspension colloïdale. Lorsque l'on ajoute trop peu de cations, il reste une charge superficielle non compensée qui empêche les colloïdes de s'agréger en flocons (répulsion électrostatique) : la solution reste légèrement colorée et trouble.

Lorsque l'on ajoute trop de cations, l'excès de charge positive provoque la répulsion électrostatique des colloïdes et stabilise à nouveau la suspension colloïdale : la solution redevient colorée et trouble.

Il existe donc une quantité optimale de cations qui permet juste de neutraliser les charges électriques des particules colloïdales et qui rendra l'eau la plus incolore et limpide possible.

- ④ Un excès de chlorure ferrique laissera dans l'eau traitée des ions ferriques Fe^{3+} .



Les solutions aqueuses contenant les ions $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ sont de couleur rouille et ont un goût métallique.

Activité 9

- ① Pour savoir si une eau est potable du point de vue des nitrates, il faut être capable de déterminer la concentration en ions nitrate de manière précise. La méthode des bandelettes tests ne convient pas.

- Réalisation d'une courbe d'étalonnage

On ajoute 10 gouttes d'acide 2,4 phénoldisulfonique à 1 L d'une solution mère de nitrate d'ammonium $C_m = 100 \text{ mg.L}^{-1}$ contenu dans une fiole jaugée.

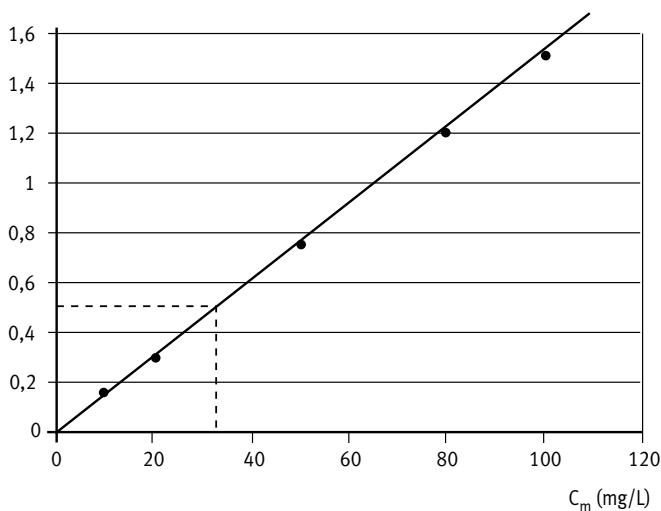
On réalise ensuite des solutions filles par dilution de cette solution mère.

$$C_{\text{fille}} = \frac{C_{\text{mère}} \times V_{\text{prélèvement}}}{V_{\text{fille}}}$$

On obtient les résultats suivants :

Volume prélevé (mL)	5	10	25	40
Volume fiole jaugée (mL)	50	50	50	50
C_m (fille) mg/L	10	20	50	80

Lorsque les solutions sont bien homogènes, on peut mesurer leur absorbance A . Les solutions sont de couleur jaune, elles absorbent fortement les radiations de couleur violette. On réglera donc le spectrophotomètre sur la longueur d'onde $\lambda = 410 \text{ nm}$. On obtient les résultats suivants :



Conformément à la loi de Beer-Lambert, on constate que les absorbances sont proportionnelles à la concentration massique en ions nitrate.

• Analyse de l'eau

On ajoute 10 gouttes d'acide 2,4 phénoldisulfonique à 1L d'eau à analyser contenu dans une fiole jaugée. La solution prend une coloration jaune pâle. La mesure de son absorbance donne :

$$A(\lambda = 410 \text{ nm}) = 0,50$$

On en déduit graphiquement que $C_m(\text{NO}_3^-) = 33 \text{ mg.L}^{-1}$.

Cette eau est donc potable du point de vue des nitrates.

② L'eau précédente est traitée avec une cartouche filtrante. On place cette eau traitée dans une fiole jaugée de 1L puis on ajoute 10 gouttes d'acide 2,4 phénoldisulfonique. Après homogénéisation de la solution colorée obtenue, on mesure son absorbance : $A(\lambda = 410 \text{ nm}) = 0,50$.

Bilan : La résine échangeuse d'ions contenue dans la cartouche filtrante testée est sans action sur la concentration en ions nitrate. Il s'agit d'une résine échangeuse de cations.

Corrigé des exercices

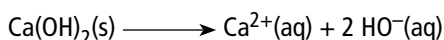
Exercice 1 ① $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-4,2} \text{ mol.L}^{-1}$, $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{fil}} = 10^{-6,2} \text{ mol.L}^{-1}$

$$\text{On a donc } \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{mère}}}{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{fil}}} = \frac{10^{-4,2}}{10^{-6,2}} = 10^2 = 100$$

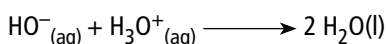
L'eau industrielle doit donc être diluée par un facteur 100.

- 1^{re} méthode : on place 1 m³ de l'eau à rejeter dans un bassin de 100 m³ et on complète avec l'eau de dilution pH = 7. La solution obtenue peut être rejetée dans la rivière.
- 2^e méthode : on injecte dans une tuyère de mélange l'eau à traiter et l'eau de dilution avec des débits différents. L'eau à traiter est injectée avec un débit 100 plus faible que l'eau de dilution.

② L'équation de dissolution de l'hydroxyde de calcium est :



L'ion hydroxyde HO⁻ est une base forte qui va réagir rapidement et totalement avec l'acide fort (H₃O⁺) présent dans l'eau à traiter suivant la réaction :



Le nombre de moles d'ions H₃O⁺ consommés par cette réaction correspond à l'augmentation de pH recherché soit

$$n(\text{H}_3\text{O}^+) = V \times \{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{mère}} - [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{fil}}\} = 1000 \times (10^{-4,2} - 10^{-6,2}) = 0,062 \text{ mol}$$

D'après l'équation de dissolution $n\{\text{Ca(OH)}_2\} = 2 \times n\{\text{HO}^{-}\}$

$$\text{donc } m = M(\text{Ca(OH)}_2) \times \frac{n(\text{H}_3\text{O}^+)}{2} = 57,1 \times \frac{0,062}{2} \approx 1,8 \text{ g}$$

Exercice 2 $[\text{Ca}^{2+}] = \frac{0,078}{40,1} = 1,95 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ et $[\text{Mg}^{2+}] = \frac{0,024}{24,3} = 0,99 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

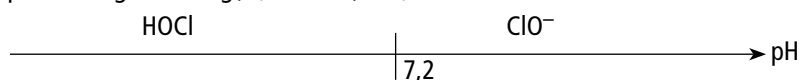
$$C = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] = 1,95 + 0,99 = 2,94 \text{ mmol/L}$$

$$^{\circ}\text{TH} = 10 C = 10 \times 2,94 = 29,4 ^{\circ} > 25^{\circ}$$

L'eau minérale considérée est donc « dure ».

Exercice 3 ① Domaines de prédominance

$$\text{pK}_a = -\log K_a = -\log(5,0 \times 10^{-8}) = 7,2$$



② On a la relation

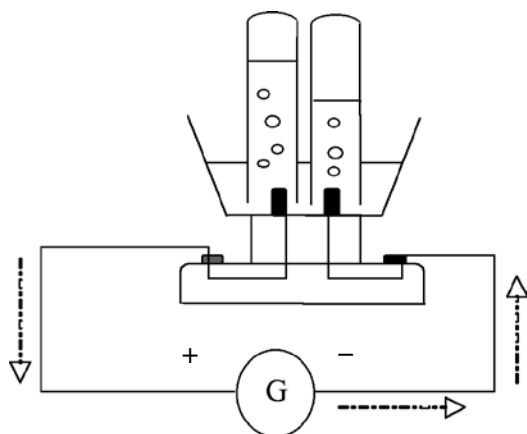
$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{ClO}^{-}]}{[\text{HOCl}]} = \text{pK}_a + \log \frac{0,1 \times [\text{HOCl}]}{[\text{HOCl}]} = \text{pK}_a - 1 = 6,2$$

Pour que la désinfection à l'acide hypochloreux soit efficace, le pH de l'eau à traiter ne doit pas dépasser 6,2.

Chapitre 5 – Pile à combustible. Production de dihydrogène

Corrigé des activités

❶



électrons libres

❷

Les électrons arrivent à la cathode.

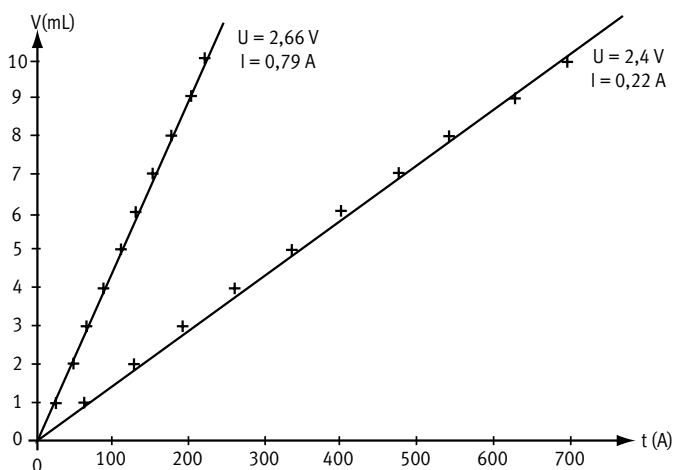
Les électrons quittent l'anode.

Activité 10 Le gaz produit à la cathode est H_2 .

Activité 11 Le gaz produit à l'anode est O_2 .

Activité 12 Au voisinage de l'anode, le pH diminue. Il y a donc production d'ions H^+ .
Au voisinage de la cathode, le pH augmente. Il y a production d'ions HO^- .

Activité 13 ❶



- ② • La quantité de dihydrogène synthétisé *est* proportionnelle à la durée de l'électrolyse.
- Pour une même durée d'électrolyse, la quantité de dihydrogène synthétisé diminue lorsque l'intensité du courant diminue.
- La quantité de charge électrique circulant dans le circuit à intensité constante *est* proportionnelle à la durée de l'électrolyse.

Activité 14

- Nombre de moles de dihydrogène synthétisé :

$$n(\text{H}_2)_{\text{expérimental}} = \frac{V}{V_m} = \frac{10 \times 10^{-3}}{24} \approx 4,2 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

- Nombre de moles d'électrons n_e ayant circulé dans le circuit pendant l'expérience :

$$n_e = \frac{Q_{\text{totale}}}{e \cdot N_A} = \frac{1 \cdot \Delta t}{F} = \frac{0,22 \times 700}{96500} \approx 1,6 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_2)_{\text{théorique}} = 2x_{\text{max}} \approx 8 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$r = \frac{n(\text{H}_2)_{\text{expérimental}}}{n(\text{H}_2)_{\text{théorique}}} \times 100 = \frac{4,2}{8} \times 100 = 52,5 \%$$

Activité 15

► $E_{\text{tot}} = U \times i \times \Delta t = 2,4 \times 0,22 \times 700 = 369,6 \text{ J}$

► $E = \frac{E_{\text{tot}}}{n(\text{H}_2)_{\text{expérimental}}} = \frac{369,6}{4,2 \cdot 10^{-4}} = 800\,000 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} = 880 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

Activité 16

- ① Lorsque l'on brûle de l'essence ou du méthane, le comburant est toujours le dioxygène de l'air alors que le combustible est respectivement l'essence et le méthane.

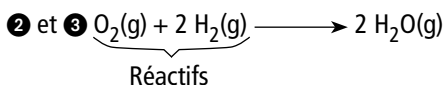


Activité 17

- ① Le pôle branché à la borne V du voltmètre est le pôle +. La borne COM du voltmètre est donc branchée à la borne – de la pile.
- ② L'électrode qui reçoit le dihydrogène lui permet d'échanger des électrons avec le dioxygène. Les électrons partent de l'électrode qui est plongée dans le dihydrogène gazeux pour atteindre l'électrode qui baigne dans le dioxygène. Elle joue le rôle d'anode.
- ③ Lorsque l'on ferme le robinet de dihydrogène, il reste encore du gaz H_2 en contact avec l'électrode. La réaction peut donc se poursuivre. La pile peut encore débiter un peu de courant jusqu'à l'épuisement complet du réactif H_2 .

Activité 18

① $P = U \cdot I = 0,88 \times 0,012 = 0,01056 \text{ W} = 10,56 \text{ mW}$



O_2 est le comburant (il est réduit au cours de la réaction) alors que H_2 est le combustible (il est oxydé au cours de la réaction).

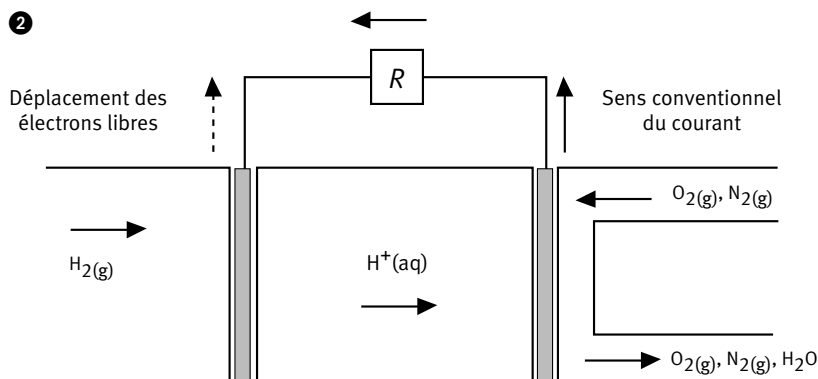
- ④ La pile cesse de fonctionner lorsque le dihydrogène est totalement consommé. C'est le réactif limitant.

Corrigé des exercices

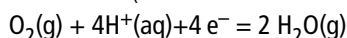
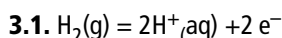
Exercice 1

❶ Les porteurs de charges à l'extérieur de la pile sont les électrons libres.

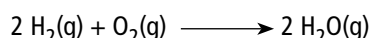
❷



❸



3.2. La réaction spontanée qui se déroule dans la pile est :



3.3. Le dihydrogène est le combustible puisqu'il est oxydé au cours de la réaction (perte d'électrons).

3.4. La réduction se déroule à la cathode, électrode 1. C'est le pôle+ de la pile.

3.5. Un catalyseur est une substance chimique qui augmente la vitesse d'une réaction chimique sans modifier son bilan.

❹

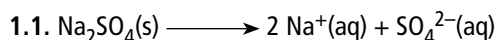
4.1. $n(\text{H}_2) = \frac{m}{M_{\text{H}_2}} = \frac{1500}{2} = 750 \text{ mol}$ soit $V(\text{H}_2) = n(\text{H}_2) \times V_M = 750 \times 24 = 18\,000 \text{ L}$ soit 18 m^3 .

4.2. Le volume occupé par le combustible H_2 pour parcourir 250 km est très important (largement supérieur au volume de la voiture !). Il est donc nécessaire de trouver une technique pour diminuer le volume occupé par le combustible H_2 .

4.3. On peut penser à comprimer H_2 afin de diminuer son volume.

Exercice 2

❶



1.2. $n(\text{Na}^+) = 2x_{\text{max}} = 1 \text{ mol}$ donc $(x_{\text{max}})_{\text{exp}} = 0,5 \text{ mol}$

D'après les données $n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = c \cdot V = 1 \times 0,5 = 0,5 \text{ mol}$,

$(x_{\text{max}})_{\text{théorique}} = n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,5 \text{ mol}$

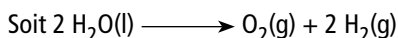
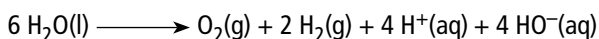
On a $(x_{\text{max}})_{\text{exp}} = (x_{\text{max}})_{\text{théorique}}$ donc la réaction est totale.

2

2.1. À l'anode, oxydation : $2 \text{H}_2\text{O(l)} = \text{O}_2\text{(g)} + 4 \text{H}^+\text{(aq)} + 4 \text{e}^-$

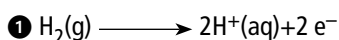
À la cathode, réduction : $2 \text{H}_2\text{O(l)} + 2 \text{e}^- = \text{H}_2\text{(g)} + 2 \text{HO}^-\text{(aq)}$

2.2. Anode : coloration jaune ; cathode : coloration bleue.



Il y a autant d'ions hydroxyde $\text{HO}^-\text{(aq)}$ synthétisés lors de l'électrolyse que d'ions hydrogène $\text{H}^+\text{(aq)}$. Lorsque l'on mélange le contenu des deux béchers, on a alors la réaction acide-base (totale et rapide) : $\text{H}^+\text{(aq)} + \text{HO}^-\text{(aq)} \longrightarrow \text{H}_2\text{O(l)}$. La solution obtenue est donc de pH neutre, la solution sera de couleur vert pâle.

Exercice 3



2 $n(\text{e}^-) = 2x_{\text{max}}$ avec $x_{\text{max}} = n(\text{H}_2)$ donc $n(\text{e}^-) = 2 \times 6,0 \times 10^{-2} = 1,2 \times 10^{-1} \text{ mol}$

$$Q_{\text{totale}} = n(\text{e}^-) \times N_a \times e = n(\text{e}^-) \times F = 1,2 \times 10^{-1} \times 96\,500 = 11\,580 \text{ C}$$

3 $Q_{\text{totale}} = I \times \Delta t$ donc $\Delta t = \frac{Q_{\text{totale}}}{I} = \frac{11\,580}{0,7} \approx 16\,542,9 \text{ s}$

4 $E_{\text{électrique}} = U \cdot I \cdot \Delta t = 1 \times 0,7 \times 16\,542,9 = 11\,580 \text{ J}$ soit 11,58 kJ

5 $E_{\text{chimique}} = 286 \times 6 \times 10^{-2} = 17,16 \text{ kJ}$

6 $r \approx 67,5 \%$

Problèmes de synthèse de type bac

Problème 1

1 Une pile à dihydrogène fonctionne grâce à une réaction d'oxydoréduction spontanée mais indirecte. Le dihydrogène H_2 cède des électrons à l'anode (+) : $\text{H}_2\text{(g)} = 2 \text{H}^+\text{(aq)} + 2 \text{e}^-$. Il subit une oxydation, c'est donc le combustible. Les électrons cédés à l'anode circulent dans le circuit électrique extérieur à la pile vers la cathode. À la cathode (-), le dioxygène capte des électrons : $2\text{H}^+\text{(aq)} + \frac{1}{2} \text{O}_2\text{(g)} = \text{H}_2\text{O(g)}$.

2

Avantages	Inconvénients
- L'utilisation du dihydrogène dans la pile ne produit ni polluants ni dioxyde de carbone. - Le dihydrogène permet de stocker de l'énergie sous la forme d'une énergie chimique transportable.	Le dihydrogène n'existe pas dans la nature. Il faut d'abord le produire. Sa synthèse lors de l'électrolyse de l'eau est coûteuse en énergie.

3 Lorsqu'un triporteur parcourt 1 km, il consomme $\frac{1\,000}{80} = 12,5 \text{ g}$ de H_2 soit $\frac{12,5}{2} = 6,25 \text{ mol}$.

La combustion 6,25 mol de H_2 libère $6,25 \times 286 = 1787,5 \text{ kJ}$.

- ④ Pour produire 1787,5 kJ, il faut brûler $n_0 = \frac{1787,5}{4854} = 0,3682$ mol d'heptane.

	$C_{17}H_{16(l)}$	+	$11 O_{2(g)}$	$\longrightarrow$	$7 CO_{2(g)}$	+	$8 H_2O_{(g)}$
Au début	n_0				0		0
A la fin	$n_0 - x_{\max}$				$7x_{\max}$		$8x_{\max}$

L'heptane est le réactif limitant, donc $x_{\max} = 0,3682$ mol donc :

$$nCO_2 = 7 \times 0,3682 \approx 2,577 \text{ mol}$$

$$\text{Soit } m(CO_2) = n(CO_2) \times M(CO_2) = 2,577 \times 44 \approx 113,4 \text{ g}$$

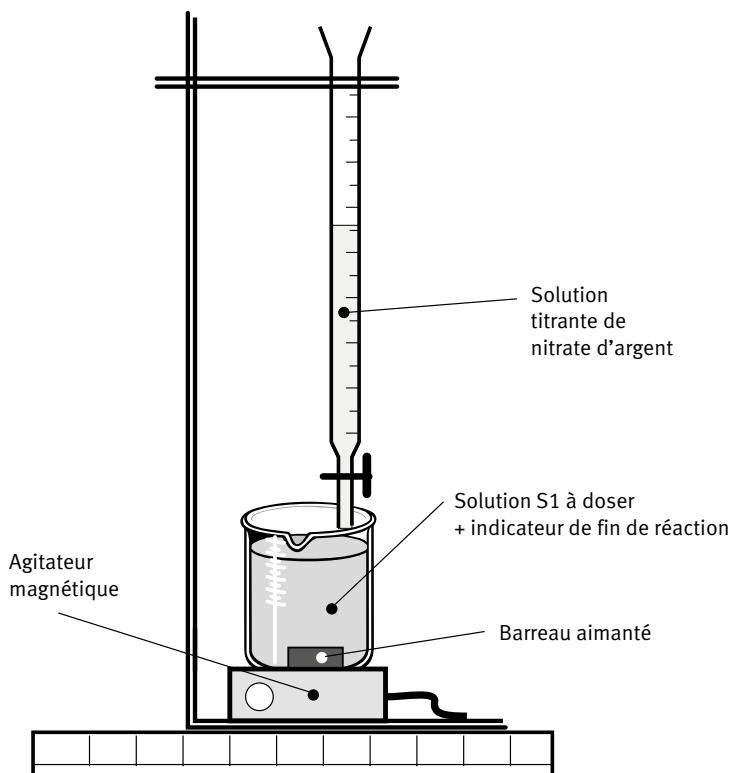
Problème 2

- ① On verse 2 mL d'une solution de chlorure de sodium ($C = 0,02$ mol/L) dans un tube à essais. On y ajoute 1 mL de la solution contenant l'indicateur coloré. La solution est jaune.

On verse alors goutte à goutte à la pipette une solution de nitrate d'argent ($C = 0,02$ mol/L).

On observe alors un précipité blanc de chlorure d'argent AgCl. Lorsque l'on a versé 2 mL de la solution de nitrate d'argent, l'équivalence est atteinte. Les gouttes de nitrate d'argent qui tombent alors dans le tube à essais après l'équivalence ne réagissent plus et provoquent alors l'apparition d'une coloration jaune rouge. C'est le changement de coloration jaune-rouge qui permettra de repérer l'équivalence.

②



③ À l'équivalence, on a $n(\text{Ag}^+) = n(\text{Cl}^-)$ donc $C_2 \times V_E = [\text{Cl}^-]_{\text{(aq)}} \text{diluée} \times V_1$

$$\text{donc } [\text{Cl}^-]_{\text{(aq)}} \text{diluée} = \frac{1,00 \times 10^{-1} \times 15,2 \times 10^{-3}}{10,0 \times 10^{-3}} = 1,52 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$$

$$\text{soit } [\text{Cl}^-] = 10 \times [\text{Cl}^-]_{\text{diluée}} = 1,52 \text{ mol/L}$$

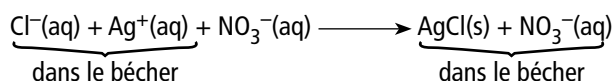
La concentration massique en ions chlorure est donc :

$$C_m = [\text{Cl}^-] \times M(\text{Cl}) = 1,52 \times 35,5 = 54,0 \text{ g/L}$$

$$C_m > 30 \text{ g/L}$$

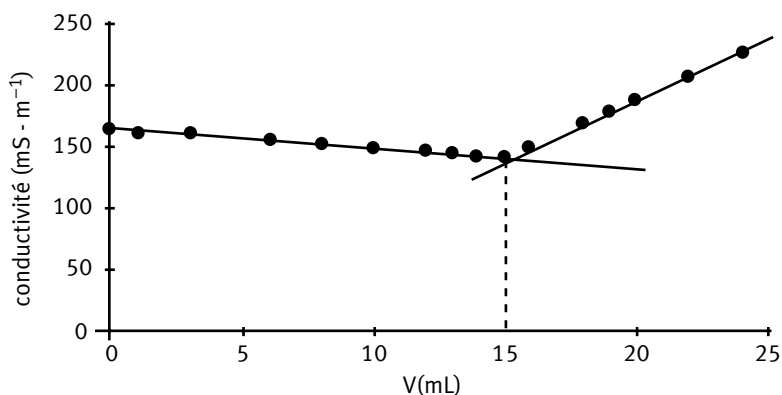
Le marais salant est donc adapté à l'élevage du crustacé artémia.

④ Lors du dosage, on a la réaction de titrage suivante :



Avant l'équivalence, les ions chlorure présents dans la solution réagissent avec les ions argent. D'un point de vue électrique, cela revient à remplacer les ions chlorure par les ions nitrate. Or ces deux ions ont des propriétés électriques très proches. La conductance de la solution varie donc peu (légère baisse). Par contre, après l'équivalence, les ions argent ne réagissent plus et leur arrivée rend la solution plus conductrice.

⑤ Le volume versé pour obtenir l'équivalence est de 15 mL. En procédant comme au ③, on obtient $C_m = 53,2 \text{ g/L}$. Cette nouvelle étude ne change pas la conclusion précédente. L'eau est assez salée pour l'élevage d'artémias.



C

Corrigé séquence 3

Chapitre 1 – Prérequis

Corrigés des tests

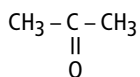
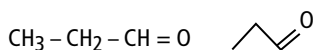
Test 1

nom	symbole	Z	Structure électronique	place	Ion monoatomique
azote	N	7	$(K)^2(L)^5$	2 ^e ligne, 15 ^e colonne	N^{3-}
oxygène	O	8	$(K)^2(L)^6$	2 ^e ligne, 16 ^e colonne	O^{2-}
sodium	Na	11	$(K)^2(L)^8(M)^1$	3 ^e ligne, 1 ^{re} colonne	Na^+
soufre	S	16	$(K)^2(L)^8(M)^6$	3 ^e ligne, 16 ^e colonne	S^{2-}

Test 2

- 1 L'atome d'oxygène a 1 électron, donc : $(K)^1$.
L'atome d'oxygène a 8 électrons, donc : $(K)^2(L)^6$.
- 2 2 doublets électroniques
- 3 $H-O-H$

Test 3

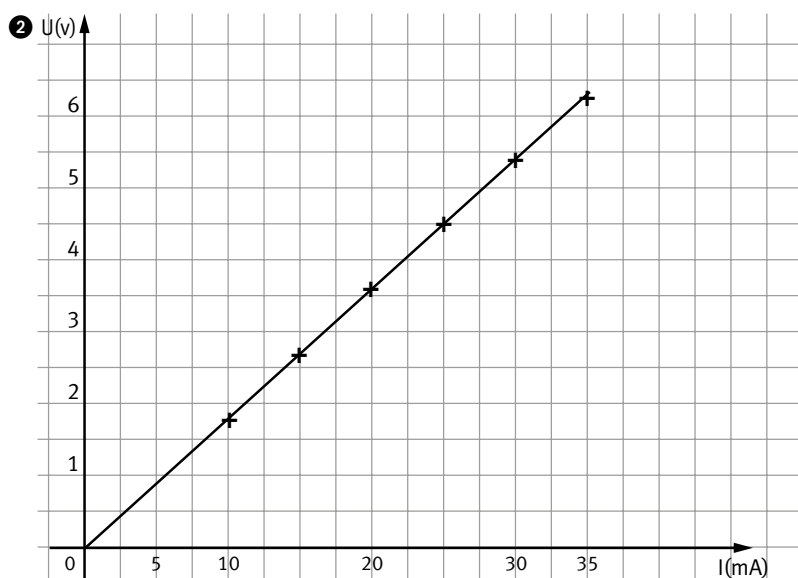
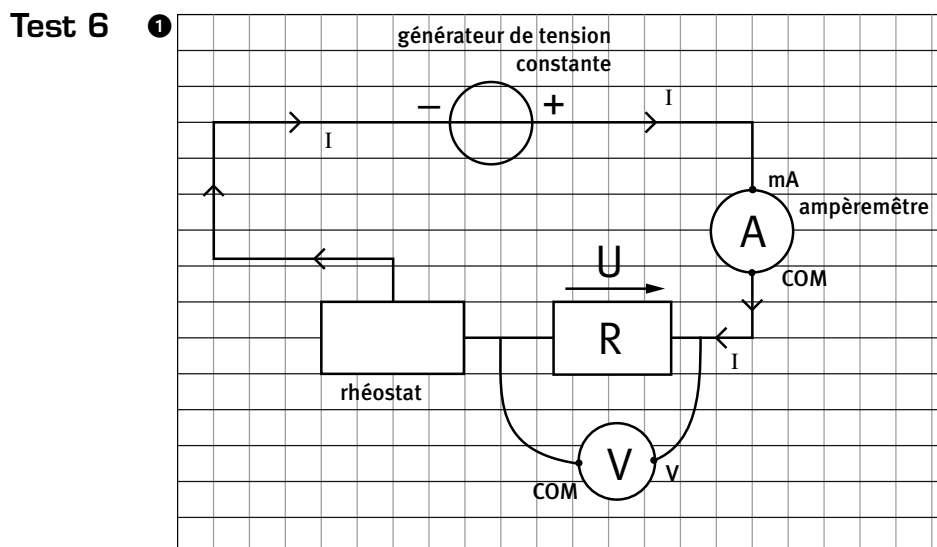


Test 4

Corps	Type(s) d'interaction(s)
Eau glace	Van der Waals, liaison hydrogène
Eau liquide	Van der Waals, liaison hydrogène
Vapeur d'eau	Van der Waals, liaison hydrogène
Ethanol liquide	Van der Waals, liaison hydrogène
Heptane C_7H_{16} liquide	Van der Waals

- *Remarque* Les interactions de Van der Waals sont plus importantes dans les solides et les liquides que dans les gaz, car les molécules sont plus proches les unes des autres.

Test 5 $U = R \times I$ $R = \frac{U}{I} = \frac{220}{5} = 44 \, \Omega$.



- ③ On obtient une droite qui passe par l'origine, donc U et I sont proportionnels. Ceci est en accord avec la loi d'Ohm $U = R \cdot I$.

Le coefficient directeur de la droite correspond à la valeur de R.

$$R = \frac{4,50 - 0}{0,025 - 0} = 180 \, \Omega.$$

Test 7 ① $T(^{\circ}\text{C}) = 0 - 273,15 = -273,15^{\circ}\text{C}$

②

$T(^{\circ}\text{C})$	-273,15	-10	0	25	100
$T(\text{K})$	0	263,15	273,15	298,15	373,15

Chapitre 2 – Tensioactifs, émulsions, mousses, membranes

Corrigés des activités

Activité 1 La mayonnaise préparée est-elle réussie ?

■ Quels paramètres influencent la réussite d'une mayonnaise ?

a) Influence de la vitesse de mixage

- **Expérience** Placer dans un bol un jaune d'œuf. Ajouter, en un mince filet, 50 mL d'huile en battant avec une fourchette. Recommencer en battant à l'aide d'un batteur électrique. Observer.
- **Observations** La mayonnaise préparée au batteur électrique est beaucoup plus dure que celle préparée à la fourchette.
- **Interprétation** Afin de former les micelles huile-lécithine, il faut diviser l'huile en fines gouttelettes ; ce qui est favorisé par un mixage rapide.
Les micelles ne sont pas des sphères dures. Elles peuvent se déformer, voire se fragmenter sous l'action d'un mixage. Plus ce mixage sera rapide, plus les micelles se réorganiseront en micelles de taille plus petite. Ceci a pour conséquence d'augmenter la compacité et donc la dureté de la mayonnaise.
- **Conclusion** Plus la vitesse de mixage sera grande, plus l'émulsion sera dure.

b) Influence de la température

- **Expérience** Placer dans un bol un jaune d'œuf. Ajouter, en un mince filet, 50 mL d'huile froide en battant à l'aide d'un batteur électrique. Observer.
- **Observations** La mayonnaise ne prend pas.
- **Interprétation** Plus la température est basse, plus la miscibilité de l'huile et de l'eau est réduite car l'huile a tendance à se figer. Malgré le mixage rapide, on sera dans l'impossibilité de former des gouttelettes et donc de réussir la mayonnaise.
- **Conclusion** Pour réussir une émulsion, il faut que ses constituants et surtout l'huile soient à température ambiante.

■ Quels sont les rôles des autres ingrédients de la mayonnaise ?

a) Quel est le rôle de la moutarde ?

La moutarde contient des molécules tensioactives, elle joue donc le même rôle que la lécithine.

b) Quel sont les rôles du sel et du jus de citron ?

Pour réussir une mayonnaise, il faut que l'émulsion soit stable.

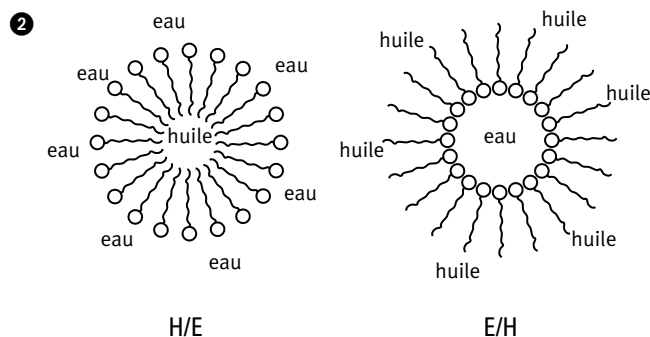
Les micelles, que contient cette émulsion, ayant toutes la même charge électrique, se repoussent. Si l'on ajoute du sel ou du jus de citron, on augmente la charge électrique de ces micelles et celles-ci se repoussent davantage, augmentant ainsi la stabilité de la mayonnaise. Les micelles ont aussi plus de place pour s'écouler, la mayonnaise est plus fluide.

Activité 2

- 1 Les bulles sont des gouttes d'huile.
- 2 Le fouet permet de casser les gouttes d'huile, et de former des gouttes de plus en plus petites : de plus en plus de micelles vont se former, ce qui va stabiliser l'émulsion H/E (Huile dans l'Eau) de mayonnaise.

Activité 3

- 1 L'eau est majoritaire (74 %), c'est donc une émulsion d'huile dans l'eau : H/E.

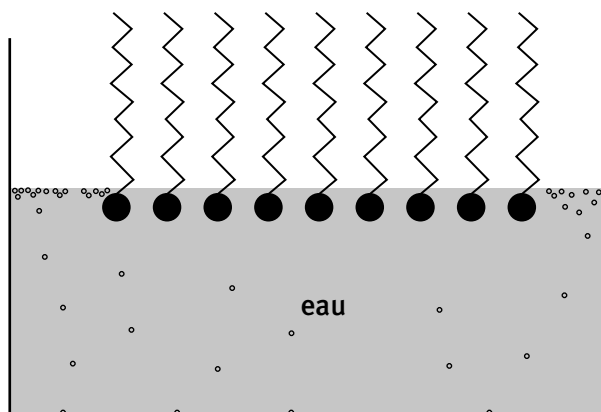


Activité 4

- 1 la partie 1 est lipophile , la partie 2 est hydrophile
- 2 $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{12} - \text{COO}^-$
- 3 **Lipophile** : qui n'aime pas les graisses **hydrophobe** : qui n'aime pas l'eau.

Activité 5

Les composés tensioactifs du liquide vaisselle se répartissent à la surface de l'eau pour former un film interfacial. Les têtes hydrophiles se substituent aux molécules d'eau de surface en abaissant la tension superficielle, c'est-à-dire en détruisant la « membrane » de surface (un trou dans une membrane tendue se répand vers les bords très rapidement). Le poivre est alors évacué sur les bords.



Activité 6

- En tant qu'agent tensioactif, le liquide vaisselle abaisse la tension superficielle de l'eau. Le mélange peut donc pénétrer les plus petits interstices de la laine et la mouiller, ce qui provoque son immersion totale dans le b cher.

On parle donc du **pouvoir mouillant** des détergents.

- En tant qu'agent tensioactif (tout comme la lécithine dans la mayonnaise), le liquide vaisselle va s'immiscer entre l'huile et les fibres constituant la laine et ainsi, petit à petit, diviser le corps gras puis former des micelles englobant de petites gouttes d'huile.

On parle du **pouvoir émulsifiant** des détergents.

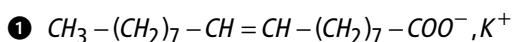
- Les micelles se repoussent entre elles, et elles se retrouvent donc dispersées dans le mélange eau-liquide vaisselle. Pour des raisons de densité (l'huile est moins dense que l'eau), elles vont remonter vers la surface du liquide.

On parle du **pouvoir dispersant** des détergents.

Complément : en agitant l'eau additionnée de liquide vaisselle, on fait s'y dissoudre de l'air d'autant plus facilement que la tension superficielle est faible. Les bulles d'air ensuite, en s'échappant du liquide, entraînent avec elles un film de liquide et forment de la mousse.

On parle du **pouvoir moussant** des détergents.

Activité 7



-   Formule brute de l'huile végétale : $\text{C}_{57}\text{H}_{104}\text{O}_6$

Masse molaire de l'huile végétale :

$$M_{\text{huile}} = 57 \times 12 + 104 \times 1 + 6 \times 16 = 884 \text{ g/mol.}$$

Quantité initiale d'huile végétale :

$$n_{\text{huile}} = m_{\text{huile}} / M_{\text{huile}} = \frac{864000}{884} = 977 \text{ mol.}$$

L'huile est le réactif limitant. D'après l'équation, 1 mole d'huile donne 3 moles de savon au maximum, donc : $n_{\text{sav}} = 3 \times n_{\text{huile}} = 3 \times 977 = 2931 \text{ mol.}$

- ③ Formule brute du savon : $C_{18}H_{33}O_2K$

Masse molaire du savon :

$$M_{sav} = 18 \times 12 + 33 \times 1 + 2 \times 16 + 1 \times 39,1 = 320,1 \text{ g/mol.}$$

$$m_{sav} = n_{sav} \times M_{sav} = 2931 \times 320,1 = 938213 \text{ g} = 938 \text{ kg.}$$

- ④ Rendement $r = m_r / m_{sav} = \frac{864}{938} = 0,92$ donc 92 %.

Activité 8

	Bière A	Bière B	Bière C
$h_0(\text{cm})$	8	6	4
$h_f(\text{cm})$	0,1	0,1	1
$\tau(\text{s})$	120	180	180
$t_d(\text{s})$	291 s	384 s	Ne peut être atteint

Des résultats relatifs aux bières A et B, on voit que, si la valeur finale peut être atteinte, le paramètre le plus important est le temps caractéristique. En effet, il intervient dans l'exponentielle.

Activité 9

- ① Nous allons présenter les conditions opératoires nécessaires à la séparation des molécules de médicament en tenant compte des informations fournies.

La masse molaire de 1000 g.mol^{-1} nécessite soit une nanofiltration soit une ultrafiltration. Mieux vaut utiliser une ultrafiltration qui s'effectue plus facilement. La pression de travail est comprise entre 1,2 et 3 bars (entre 0,2 bars et 2 bars au dessus de la pression atmosphérique). Le travail en solution aqueuse d'acidité modérée oriente vers un matériau organique moins coûteux. Enfin, les autres conditions opératoires sont la perméabilité de la membrane et le seuil de coupure.

$$\text{Perméabilité : } P = \frac{2 \times 1000}{24 \times 10} = 8,3 \text{ L.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$$

Seuil de coupure : en dessous de 300.

En conclusion, on utilisera une membrane d'ultrafiltration de 10 m^2 en matériau organique avec une perméabilité de 8,3 et un seuil de coupure légèrement inférieur à 300. Ce faible seuil de coupure laisse entendre qu'une pression de travail de 3 bars sera nécessaire pour obtenir un débit de 2 m^3 par jour.

- ② Remarquons d'abord que la taille des particules à séparer ($100 \text{ pm} = 0,1 \text{ nm}$) est inférieure au diamètre moyen des pores de la membrane de zircon (40 nm). Une technique de séparation basée sur la porosité de la membrane ne peut donc suffire. Il aurait fallu une membrane d'osmose inverse qui ne peut être réalisée avec la membrane étudiée comme l'indique le document 4. De plus le choix de la membrane de zircon n'est pas non plus guidée par la corrosivité du liquide à traiter. Par contre, on peut remarquer que les ions

métalliques à retenir sont tous des ions de charge positive tandis que la membrane de zircone a une charge de surface négative au dessus de pH 8 (légèrement basique) comme l'indique le document 3. On peut donc proposer le mécanisme suivant : en passant près de la surface de la zircone, les ions métalliques de charge positive vont être attirés puis retenus à la surface par les charges électriques négatives à la surface de la membrane (phénomène d'adsorption) ; La solution acide permet ensuite aux ions oxonium H_3O^+ de prendre la place des ions métalliques à la surface de la résine (désorption). Les charges négatives peuvent être recrées en dissolvant et en faisant réagir les ions oxonium dans une solution basique.

Corrigés des exercices d'apprentissage

Exercice 1 1^{re} partie

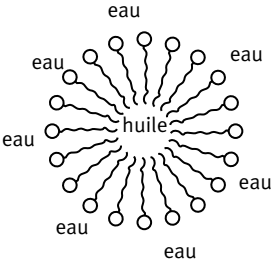
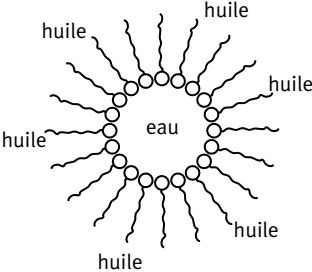
- ❶ Eau et huile
- ❷ On obtient des gouttelettes d'huile dispersées dans la phase aqueuse.
- ❸ Voir cours : une partie hydrophile, une autre partie lipophile
- ❹ Tensioactifs
- ❺ Voir cours

2^e partie

❶

Sauce vinaigrette	Sauce beurre fondu	Sauce hollandaise	Sauce tartare
Sauce émulsionnée froide instable	Sauce émulsionnée chaude instable	Sauce émulsionnée chaude stable Emulsionnant : œuf	Sauce émulsionnée froide stable Emulsionnant : œuf

❷

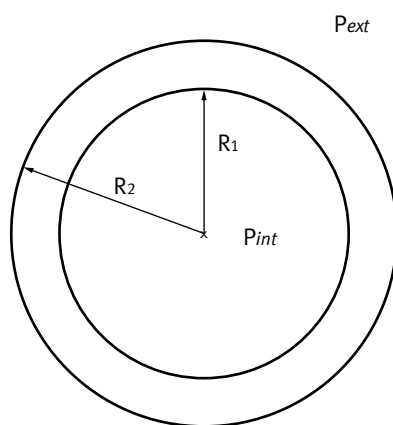
Émulsion H/E (huile dans l'eau)	Émulsion E/H(eau dans l'huile)
	

3

Sauce vinaigrette	Sauce beurre fondu	Sauce hollandaise	Sauce tartare
E/H	E/H	H/E	H/E

Exercice 2 Bon appétit !

Exercice 3 ①



- ② D'après le schéma précédent, il y a 2 traversées de surface, donc (en supposant que $R_1 \approx R_2 \approx R$) :

$$p_{\text{int}} - p_{\text{ext}} = \frac{2 \cdot A}{R} + \frac{2 \cdot A}{R} = \frac{4 \cdot A}{R}$$

- ③ La surpression intérieure est d'autant plus grande que le rayon de la bulle est petit.
- ④ D'après la réponse précédente, la pression à l'intérieur de la petite bulle est supérieure à celle à l'intérieur de la grosse bulle : la petite bulle va se vider dans la grosse.
- ⑤ Application en biologie :

Lors de l'inspiration, p_i et r augmentent. p_0 étant constante, $(p_i - p_0) \cdot r$ augmente, et donc A aussi.

Lors de l'expiration, p_i et r diminuent. p_0 étant constante, $(p_i - p_0) \cdot r$ diminue, et donc A aussi.

Exercice 4

- ❶ Le Gore-Tex a été inventé par W.L. Gore et son fils R. Gore.

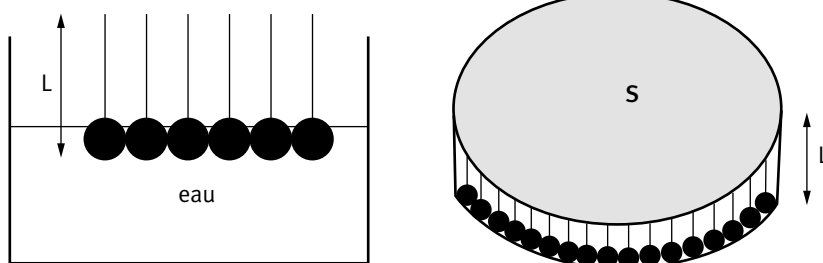
Gore-Tex est une marque déposée par la firme W.L. Gore and Associates. La première application a été l'élaboration d'une toile de tente en 1976.

- ❷ Le « tissu » Gore-Tex est composé essentiellement d'une membrane poreuse de polytétrafluoroéthylène (le Téflon) avec un revêtement polyuréthane, qui est relié à un tissu usuellement en polyamide ou en polyester.
- ❸ La membrane est composée de plus de 1,4 milliards de pores microscopiques par cm^2 . Les pores sont environ 20 000 fois plus petits qu'une goutte d'eau, mais 100 fois plus grands qu'une molécule de vapeur d'eau : les pores de la membrane sont si petits qu'elle est imperméable à l'eau liquide mais perméable à la vapeur d'eau.

Le tissu Gore-Tex joue aussi le rôle de matériau coupe-vent.

L'application la plus connue de ce produit est la fabrication de vêtements pour activités d'extérieur, en particulier le sport en montagne : sa structure le rend efficace contre la pluie et le vent tout en autorisant l'élimination de la transpiration.

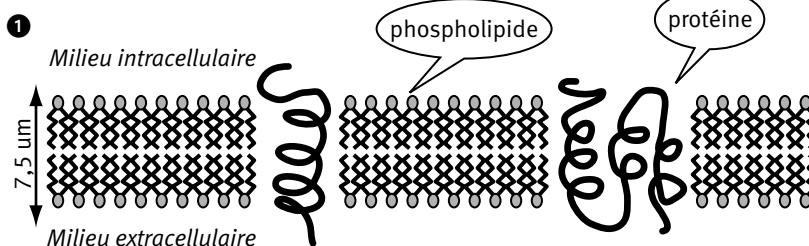
Exercice 5



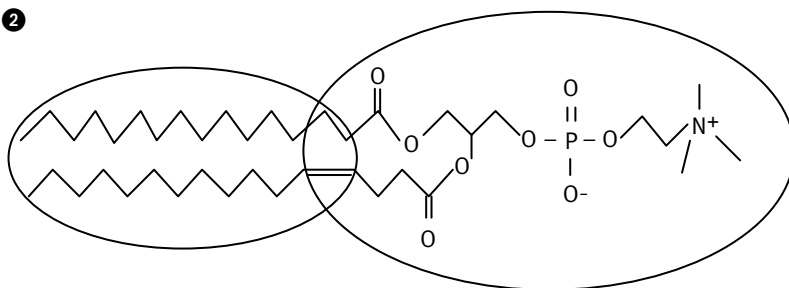
Les molécules tensioactives se placent les unes contre les autres, partie hydrophile dans l'eau, partie hydrophobe en-dehors. La couche est monomoléculaire, d'épaisseur L .

On a $V = S \times L$ donc $L = \frac{V}{S} = \frac{4 \times 10^{-6}}{2000} = 2 \times 10^{-9} \text{ m}$ $L = 2 \text{ nm}$

Exercice 6



2

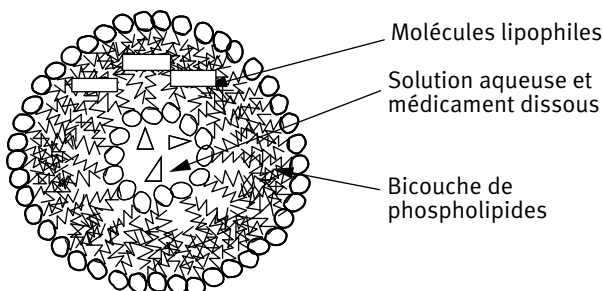


Partie hydrophobe (lipophile)

Partie hydrophile (lipophile)

- 3 La molécule de glucose n'est pas une petite molécule et est polaire. Son passage nécessite donc un transport par l'intermédiaire des protéines pour éviter le contact avec les chaînes hydrophobes des phospholipides.

4



Chapitre 3 – Colles et adhésifs

Corrigés des activités

Activité 10

La colle est une substance destinée à l'assemblage de deux surfaces. Il existe plusieurs variétés de colles : colles d'origine naturelle (végétales, animales), colles synthétiques (thermodurcissables, thermoplastiques), colles minérales.

► Colles végétales

- Colophane : c'est une résine naturelle. La colophane est une matière première de colles pour revêtements de sols.
- Gommés naturelles : substances secrétées par certains arbres et arbustes. Le « baume du Canada » a été utilisé en optique pour le collage des lentilles. Seule la « gomme arabique » est utilisée directement comme adhésif (applications : timbres postes, enveloppes et étiquettes).
- Caoutchouc naturel : adhésif sous forme de solution ou émulsion (applications : enveloppes autocollantes, collage du papier et du bois, imprégnation)

de textiles). En solution dans un solvant, le caoutchouc naturel est utilisé dans l'industrie de la chaussure ou la fabrication de tapisseries d'ameublement.

- Amidon et dérivés : les colles à base d'amidon sont utilisées pour le collage de papiers peints. Les colles fabriquées à partir de dextrines sont utilisées dans l'industrie du papier (étiquettes, papier gommé, enveloppes ...). Ces colles ont une mauvaise tenue à l'eau (ce qui est un avantage pour les étiquettes de bouteilles).

► Colles animales

Ces colles sont à base de protéines provenant du collagène ou de caséine.

Pour les colles issues du collagène : il s'agit de colles de peaux et d'os et colles de poissons. Ces colles « fortes » sont utilisées traditionnellement en ébénisterie.

Pour les colles issues de caséine : ces colles ont une bonne résistance à l'humidité. L'application principale est l'assemblage lamellé-collé de charpentes. Mélangées au latex, ces colles sont utilisées pour l'emballage alimentaire.

► Colles de synthèse thermodurcissables

- Phénoplastes : pour le collage de charpentes lamellées collées.
- Aminoplastes : ces colles sont sensibles à l'humidité et aux bactéries. Elles sont utilisées pour le collage de contre-plaqué à usage intérieur, charpentes lamellées collées intérieures.
- Epoxydes (ex : araldite) : pour les industries du BTP, industries aérospatiales et aéronautiques (composites hautes performances époxy fibres de carbone, collage de nid d'abeilles), industrie automobile, industries électriques et électroniques.
- Adhésifs polyuréthanes : en solution dans un solvant. Applications dans l'industrie de la chaussure et du textile.
- Adhésifs anaérobies : ces adhésifs monocomposants polymérisent à l'abri de l'air. Les applications sont principalement le blocage et l'étanchéité d'assemblages filetés.
- Acryliques : pour le collage plastique/métal ou plastique/verre.

► Colles de synthèse thermoplastiques

- Polyacrylates (en émulsion ou en solution) : utilisation pour les revêtements de sols, ou « mastics » d'étanchéité dans le secteur du BTP.
- Cyanoacrylates : ces adhésifs sont « à prise très rapide ». Applications dans les secteurs électronique et électrique, dans le domaine de la construction mécanique et automobile, ou dans le secteur médical (dentaire et orthopédie).
- Colles vinyliques : les acétates de polyvinyle sont utilisés dans l'industrie du bois, de la transformation du papier, du bâtiment. Le butyral de polyvinyle (PVB) est utilisé pour la fabrication de vitrage feuilleté.
- Colles cellulosiques : les colles en phase aqueuse sont utilisées pour le collage des papiers peints et comme adjuvant d'une autre colle. Les colles en solvant, comme le nitrate de cellulose, sont des colles étanches à l'eau, utilisées pour le collage de bois, métal, verre, papier, la réparation de céramiques (porcelaine et faïence).

► Colles de synthèse thermoplastiques thermofusibles

Ce type de colle est connu depuis l'Antiquité sous la forme de cire fondue, de poix et de bitume. Les résines de synthèse sont à base de polyoléfines, polyesters et copolymères. Les applications de ces adhésifs sont dans le secteur automobile, l'emballage, l'industrie du livre (collage de couverture et pages), l'industrie du textile.

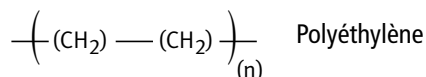
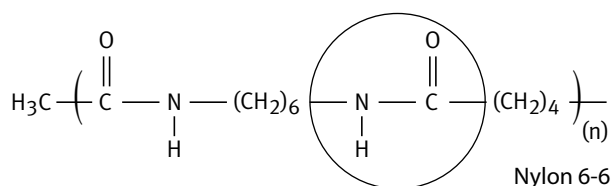
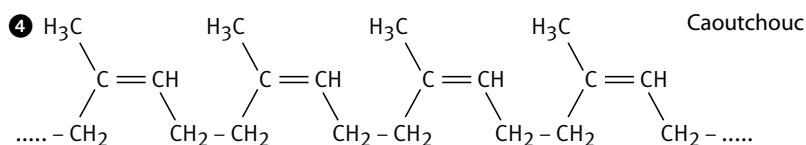
► Colles de synthèse élastomères (adhésifs souples)

– Colles à base de caoutchouc : les élastomères « nitriles » sont utilisés pour le collage de matière plastique sur un métal. Les caoutchoucs « butyl » sont employés dans le secteur du bâtiment et de l'électroménager. Les adhésifs polychloroprène sont employés dans l'industrie de la chaussure, de l'automobile et du bâtiment. Cet adhésif est commercialisé sous la marque « néoprène ».

Les adhésifs silicones sont caractérisés par de remarquables stabilités thermique et chimique. Ces adhésifs sont utilisés dans les secteurs de l'automobile, de l'aéronautique et du bâtiment.

Activité 11

- ❶ Des liaisons covalentes assurent la cohésion au sein des macromolécules. Des forces de Van der Waals et, parfois, des liaisons hydrogène agissent entre les macromolécules.
- ❷ Quand la cohésion augmente, le polymère est plus rigide, plus solide, moins déformable. Il est moins thermoplastique.
- ❸ La cohésion entre les molécules dépend de la longueur des chaînes moléculaires, des groupes caractéristiques présents dans ces chaînes, des ramifications de ces chaînes et de l'empilement des chaînes, notamment s'il y a cristallisation du polymère.



- ❺ Les liaisons hydrogène dans le nylon s'établissent entre l'atome d'oxygène du groupe caractéristique et l'atome d'hydrogène d'un autre de ces groupes caractéristiques situé plus loin sur la même chaîne ou sur une autre chaîne.
- ❻ La vulcanisation établit des liaisons covalentes entre les molécules. Le polymère devient élastique, il perd sa thermoplasticité et peut devenir plus rigide si la vulcanisation établit de très nombreuses liaisons.

- ⑦ Les molécules du silicone présentent un enchaînement d'atomes de silicium et d'oxygène. Les atomes de silicium sont donc liés à 2 atomes d'oxygène et deux autres atomes ou groupements atomiques variables selon le type de silicone. Le silicone résiste bien aux températures élevées, est antiadhésive, hydrophobe et non toxique ce qui explique son utilisation pour la confection de moules en cuisine. Sa non toxicité qui s'explique par son inertie chimique, justifie son utilisation pour les implants. Le silicone est aussi employée pour ses propriétés élastiques.

Activité 12 L'adhérence est un phénomène qui s'oppose au glissement de deux surfaces.
L'adhésion est l'ensemble des liaisons et interactions spécifiques qui s'établissent lorsque deux matériaux sont en contact. L'adhésion est le problème du collage.

Activité 13 – Fixer solidement un lien à l'un des véhicules,
– Fixer ce même lien tout aussi solidement à l'autre véhicule,
– On sait aussi qu'il faut de préférence que ce lien soit rigide c'est-à-dire qu'une barre est préférable à une corde.
Pour un collage, on a le même schéma : l'adhésif doit se fixer solidement sur les deux surfaces en vis-à-vis et il doit se rigidifier pour former un lien résistant.

Corrigés des exercices d'apprentissage

- Exercice 7**
- ① a. Le lait est un mélange homogène car on voit qu'une seule phase.
b. Le lait n'est pas une espèce chimique, il n'a pas de formule chimique.
 - ② a. Le pH du lait est inférieur à 7, c'est un acide.
b. Baisser le pH.
c. Pour augmenter la valeur du pH
d. La transformation est plus rapide à chaud
 - ③ a. Test du biuret avec témoin
b. Test positif
 - ④ Est-ce que la substance colle ?

Conclusion

- ⑤ La colle obtenue peut être considérée comme naturelle car synthétisée à partir de produits naturels comme le lait et le vinaigre.

Exercice 8 Voir le paragraphe 4 du cours.

Exercice 9	Époque	Matériaux/Colles ou adhésifs/Applications
	Néolithique	Fixation avec du bitume des pointes en os aux tiges des flèches.
	3000 av. J.-C.	Fabrication et utilisation d'agents adhésifs à base de substances naturelles.
	2000 av. J.-C.	Les Égyptiens fabriquaient des adhésifs végétaux et animaux.
	Dédale	Inventeur des adhésifs ou colles : le blanc d'oeuf était utilisé comme adhésif pour les dorures des livres, les résines et jus végétaux pour le collage du bois.
	Chine antique	Les laques et adhésifs servaient pour peindre et traiter la soie.
	1100 av. J.-C.	Fonte du soufre et puis refroidissement très rapidement de façon à en obtenir la phase élastique. Les lames de couteaux, les flèches et les fers de lance étaient collés à leurs manches en bois au moyen de ce « hot-melt ».
	XVI ^e siècle	Invention de l'imprimerie : relance l'intérêt pour les colles et entraîne l'amélioration des adhésifs animaux et végétaux (gomme arabique, sève d'acacia, latex des plantes à caoutchouc...).
	Vers 1850	Amélioration significative des propriétés des polymères naturels en les modifiant (invention de la vulcanisation du caoutchouc naturel suivie de celle du premier adhésif semi-synthétique : la nitrocellulose ou « celluloid »).
	1910	Premiers adhésifs thermofusibles à base de phénol-formaldéhyde (Bakélite), puis d'esters de cellulose pour le collage du bois.

Exercice 10 ① Voir cours

- ② Pour qu'il y ait une bonne adhésion, il est important que la colle s'étale bien :
- utiliser de préférence une colle liquide
 - il faut que le mouillage soit partiel ou total.

L'état de surface du solide est très important :

- nettoyage (dégraissage)
- traitement chimique (recouvrir d'un film mince)
- jouer avec la rugosité de la surface (une surface texturée adhère mieux qu'une surface lisse)

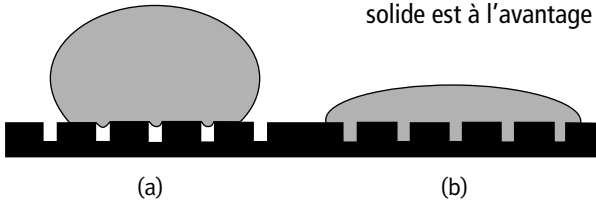
- ③ 1^{re} étape : Équilibre de la goutte à l'état initial (figure a) :

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{\gamma_S - \gamma_{SL}}{\gamma_L} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{50 - 20}{100} \right) = 72^\circ$$

Le liquide ne s'étale pas bien sur la plaque.

2^e étape : En modifiant la surface, on modifie l'aire de contact du solide avec l'environnement.

Comme $\delta_{SL} < \delta_S$, l'augmentation de la surface de contact du solide est à l'avantage du liquide.



Le liquide remplit les cavités (figure b).

Les gouttes ont une tendance à coalescer plus importante que pour la surface initiale et donc l'angle de mouillage diminue.

Surface initiale de la plaque : $S = L \times e = 50 \times 10 = 500 \text{ cm}^2$

Surface après texturation : pour chaque rainure, il faut rajouter les 2 côtés latéraux... et multiplier par le nombre de rainures.

$$N^{\text{bre}} \text{ de rainures : } N = \frac{e}{100 \mu\text{m}} = \frac{10 \times 10^{-2} \text{ m}}{100 \times 10^{-6} \text{ m}} = 1000$$

Ajout de surface :

$$N \times 2 \times L \times 10 \mu\text{m} = 1000 \times 2 \times 50 \text{ cm} \times 10 \times 10^{-4} \text{ cm} = 100 \text{ cm}^2$$

BILAN : la surface a augmenté de $\frac{100}{500} \times 100 = 20\%$: d'après le document 3, la goutte s'étale davantage.

Exercice 11

- ❶ autocicatrisant
- ❷ « Réparation révolutionnaire sans colle »
- ❸ Ponts entre atome de soufre S
- ❹ Non, il faudrait une double liaison sur deux
- ❺ Liaison hydrogène
- ❻ Faible énergie par rapport à une liaison covalente
- ❼ Liaisons hydrogène réversibles

Chapitre 4 – Conducteurs, semi-conducteurs, supraconducteurs, photovoltaïques, cristaux liquides

Activité 14

(Reformulation de données extraites des textes)

- ❶ La supraconductivité est la propriété de certains matériaux qui laissent passer le courant électrique sans résistance en dessous d'une valeur de la température appelée température critique.
- ❷ L'intérêt des supraconducteurs souligné dans le document 1 est qu'ils laissent passer le courant électrique sans perte d'énergie (par effet joule $P=RI^2$). La

propriété de sustentation magnétique peut aussi être citée (document 2) mais elle est moins importante.

- ③ L'application à citer est le train à lévitation magnétique (maglev).

Activité 15

Il faut calculer ρ .

D'après le doc.2, $R = \frac{U}{I}$

D'après le doc.4, $R = \frac{15}{10 \times 10^{-6}} = 1,5 \times 10^6 \Omega$

D'après le doc.1, $\rho = \frac{R \times S}{L}$

$$S = \pi \times r^2 = \pi \times \frac{d^2}{4} \quad \rho = \frac{1,5 \times 10^6 \times \pi \times \frac{(10^{-2})^2}{4}}{5 \times 10^{-2}} = 2,4 \times 10^3 \Omega.m$$

D'après le cours, le matériau est un semi-conducteur.

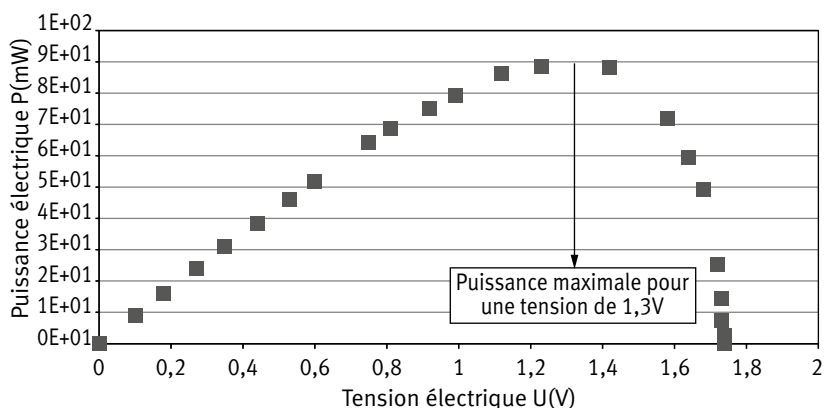
Activité 16

Une photopile transforme de l'énergie lumineuse en énergie électrique : dans ces conditions, on peut la considérer comme générateur.

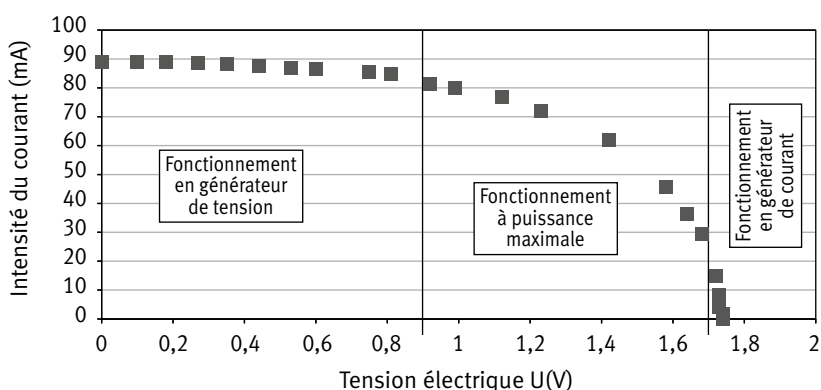
Activité 17

- ① La tension électrique est comprise entre un et deux volts donc le système contient deux cellules photovoltaïques associées en série d'après le document 3. En effet, une cellule délivre une tension de moins de 1 V et qu'on les associe en série pour augmenter la tension. De plus la faible puissance délivrée (90 mW) indique qu'il n'y a pas d'autres cellules connectées en parallèles.
- ② Première affirmation : *Le système photovoltaïque peut fonctionner en générateur de tension dans un premier domaine et en générateur de courant dans un second domaine mais sa puissance électrique et son rendement sont maximum à la limite entre ces deux domaines.*

Puissance électrique pour un éclairement E



Caractéristiques tension-intensité pour un éclairage E



Seconde affirmation : Il est possible d'utiliser un système photovoltaïque pour mesurer le flux lumineux car le courant de court-circuit est proportionnel au flux lumineux reçu.

Les caractéristiques tension-intensité indiquent que lorsque le système photovoltaïque reçoit une puissance lumineuse deux fois moins importante, l'intensité du courant électrique délivré pour une tension nulle (fonctionnement en générateur de courant) passe de 90 mA à 45 mA. Nous avons vérifié (sur seulement 2 valeurs) que la puissance lumineuse et l'intensité du courant électrique à tension nulle (courant de court-circuit) peuvent être liés par une relation de proportionnalité.

$$③ \quad r = \frac{P_M}{P_L}$$

$$\text{Surface du système : } S = 4 \cdot 10^{-2} \times 3,5 \cdot 10^{-2} = 14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$P_L = \frac{E \times S}{93} = \frac{40000 \times 14 \times 10^{-4}}{93} = 0,60 \text{ W}$$

$$r = \frac{0,6}{90 \times 10^{-3}} = 0,15$$

Activité 18 Proposition 1 : smectique

Proposition 2 : cholestérique

Proposition 3 : nématique

Corrigés des exercices d'apprentissage

Exercice 12 ① $n_{AsGa} = \frac{m_{AsGa}}{M_{AsGa}} = \frac{\rho_{AsGa} \times V}{M_{AsGa}} = \frac{5318 \times 1}{145 \times 10^{-3}} = 3,67 \times 10^4 \text{ mol.}$

$$\textcircled{2} \text{ Pour } 1 \text{ m}^3 : n_{Si} = \frac{N_D}{N_A} = \frac{1,5 \times 10^{21}}{6,02 \times 10^{23}} = 2,5 \times 10^{-3} \text{ mol.}$$

Cela représente 1 mole de Si pour 15 millions de moles de AsGa

$$\textcircled{3} V' = \frac{m'}{\rho_{AsGa}} = \frac{1}{5318} = 1,9 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$N = N_D \times 1,9 \times 10^{-4} = 2,9 \times 10^{17} \text{ atomes} \quad n'_{Si} = \frac{N}{N_A} = 4,8 \times 10^{-7} \text{ mol.}$$

$$m'_{Si} = n'_{Si} \times M_{Si} = 4,8 \times 10^{-7} \times 28 = 1,3 \times 10^{-5} \text{ g} = 13 \text{ } \mu\text{g}$$

Exercice 13 $\textcircled{1} P_{el} = P_c \times I_r = 1 \times 0,8 = 0,8 \text{ kW}$

$\textcircled{2} E_a = 1 \times 1000 = 1000 \text{ kW.h / an}$

► Problème

$P_c = 1 \text{ kWc} \quad K = 0,75$

Toiture orientée vers le sud, avec une inclinaison de 30° , à Lyon :

d'après le tableau, $I_{ra} = 1416 \text{ kW.h/m}^2 \cdot \text{an}$

$E_a = 0,75 \times 1 \times 1416 = 1062 \text{ kW.h / an}$

Exercice 14 D'après le doc.2 : $E_g = \frac{h \cdot c}{\lambda_m}$

D'après le doc.3 : $E_g = \frac{6,6 \times 10^{-34} \times 3,0 \times 10^8}{620 \times 10^{-9}} = 3,2 \times 10^{-19} \text{ J}$

D'après le doc.4 : $E_g = \frac{3,2 \times 10^{-19}}{1,6 \times 10^{-19}} = 2 \text{ eV}$

D'après le doc. 5 : le matériau semi-conducteur utilisé est le GaP (Gallium/Phosphore)

Exercice 15 $\textcircled{1} E_j = 4 \text{ kW.h/jour} \quad K = 0,6 \quad I_{rj \min} = 2,84 \text{ kW.h/m}^2 \cdot \text{j}$

$P_c = \frac{4}{0,6 \times 2,84} = 2,3 \text{ kWc}$

$\textcircled{2} J = 10 \text{ jours} \quad Q_{bat} = 4 \times 10 / 0,7 = 57 \text{ kW.h}$

Exercice 16 1^{re} version : version pessimiste

On part de l'exemple de la centrale construite au Portugal : 350 000 panneaux, 114 hectares ($1,14 \text{ km}^2$), 62 MW.

Énergie produite en 1 année : $E = P \times \text{nbre d'heures dans une année}$

$E = 62 \times 10^3 \times 365 \times 24 = 5,43 \times 10^8 \text{ kW.h}$

En supposant que le climat en France est équivalent à celui du Portugal (on peut toujours rêver), combien de centrales solaires faudrait-il ?

$$\frac{520 \times 10^9}{5,43 \times 10^8} = 958$$

Or, l'ensoleillement moyen est de 1260 kW.h/m^2 en France, et de 1600 kW.h/m^2 au Portugal, soit 27 % d'écart.

Il faudrait donc $958 \times 1,27 = 1\,217$ centrales.

Mais encore : $1\,217 \times 350\,000 = 425\,950\,000$ panneaux !!!

... sur une surface de $1,14 \times 1\,217 = 1\,387 \text{ km}^2$, soit un carré de 37 km de côté.

BILAN : plusieurs centaines de millions de panneaux solaires, un projet pharaonique, un coût monstrueux, pas d'actualité... d'autant plus que nous sommes confrontés à une crise majeure en Europe.

2^e version : version optimiste

En France, l'ensoleillement moyen est de 1260 kW.h/m^2 .

Le rendement d'un panneau photovoltaïque est d'environ 15 %, l'énergie électrique récupérable est donc de $0,15 \times 1260 = 189 \text{ kW.h/m}^2$.

La surface de la France étant de $550\,000 \text{ km}^2$, on peut en déduire l'énergie électrique totale récupérable sur une année : $189 \times 5,5 \times 10^{10} = 10^{13} \text{ kW.h}$... valeur 20 fois plus grande que la production française.

BILAN : il serait scientifiquement possible de remplacer les centrales nucléaires par des centrales photovoltaïques.

Chapitre 5 – Nouveaux matériaux

Verres, céramiques, matériaux composites, biocompatibles, nanostructurés, textiles innovants

Activité 19

- ❶ Cette substance n'est pas cristallisée et il s'agit bien d'un verre. C'est un verre d'oxydes de type silicate contenant une forte proportion d'oxyde de plomb (PbO). Pour obtenir le label « cristal », ce verre doit contenir au moins 24 % d'oxyde de plomb. Le nom « cristal » provient d'une part de l'aspect optique : grande transparence et indice de réfraction plus élevé que celui d'un verre ordinaire ($>1,56$) et d'autre part de sa sonorité.

À cause de la teneur en oxyde de plomb, la masse volumique d'un verre « cristal » est élevée ($3\,000 \text{ kg/m}^3$, comparée à $2\,500 \text{ kg/m}^3$ pour un verre usuel) et ses propriétés mécaniques sont moins bonnes que celles d'un verre silicate usuel.

- ❷ $\rho = \frac{m}{V}$, avec $V = \frac{4}{3} \times \pi \times r^3 = \frac{4}{3} \times \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^3 = \frac{\pi \times d^3}{6}$

$$\rho = \frac{6m}{\pi.d^3} = \frac{6 \times 4400}{\pi \times 15^3} = 2,5 \text{ g.cm}^{-3} \text{ c'est donc du verre ordinaire.}$$

Activité 20

- ❶ W est le symbole de l'élément tungstène, C est le symbole de l'élément carbone.
- ❷ Le carbure de tungstène est utilisé pour les outils de coupe, à cause de sa dureté exceptionnelle.

Activité 21

- ❶ Résine polyester avec renfort de verre et kevlar. C'est un thermodurcissable.
Thermoplastique : ramollit lors du chauffage.
Thermodurcissable : durcit lors du chauffage.
- ❷ Moulage au contact
- ❸ Avantages : légèreté, bonnes propriétés mécaniques (rigidité, résistance à la fatigue)
Inconvénients : prix

Activité 22

L'acier damassé est une technique de métallurgie ancienne. Des feuilles d'acier à haut carbone sont martelées à haute température (1 000 °C). Au contact de l'air, la surface s'appauvrit en carbone. Les feuilles sont repliées sur elles-mêmes, puis martelées à nouveau. L'opération est répétée plusieurs dizaines de fois. Le résultat est un matériau composite formé de lamelles d'acier à bas carbone (ductiles) et d'acier à haut carbone. C'est donc bien un matériau composite, d'origine ancienne.

Les aciers récents de type « Dual-Phase » sont élaborés suivant la même idée, mais il s'agit d'un composite à l'échelle du grain.

Activité 23

- ❶ La fibre doit pouvoir être étirée (élastique), résistante, insoluble à l'eau, ne pas se ramollir en dessous de 100 °C mais pouvoir être mis en forme à température pas trop élevée (< 300 °C).
- ❷ Le choix du kevlar est dû à son module de Young élevé caractéristique d'un matériau rigide, difficilement déformable contrairement au nylon 6,6.
- ❸ Les deux fibres sont des polyamides caractérisés par le groupement – CO – NH – . Dans le kevlar les liaisons hydrogène entre molécules sont facilitées du fait de la présence de doubles liaisons conjuguées (qui tendent à aligner les molécules). Ces liaisons hydrogène aident à la formation de zones cristallines qui confère au polymère sa rigidité.

Activité 24

Pour un cube de côté a : surface latérale $S = 6.a^2$ volume $V = a^3$

Pour un cube de côté $\frac{a}{2}$: surface latérale $S' = 6 \cdot \left(\frac{a}{2}\right)^2 = \frac{6 \cdot a^2}{4} = \frac{3}{2} \cdot \frac{a^2}{1}$

volume $V' = \left(\frac{a}{2}\right)^3 = \frac{a^3}{8} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a^3}{1}$

En réduisant le côté par 2, la surface est divisée par 4, et le volume par 8, ce qui confirme l'affirmation « Quand on réduit la taille d'un objet, sa surface diminue moins vite, en proportion, que son volume. »

Corrigés des exercices d'apprentissage

Exercice 17 ① 10^{-3} Pa.s

- ② Il est vrai que les éléments de vitraux sont généralement plus épais dans leurs parties inférieures. Cela provient non pas de l'écoulement du verre, mais simplement des procédés de fabrication des vitres de l'époque qui étaient d'épaisseurs très variables. Les fabricants de vitraux plaçaient la partie la plus épaisse en bas. Une estimation de la viscosité du verre de vitrail à la température ordinaire confirme bien l'absence d'écoulement détectable depuis le Moyen-Âge.

Exercice 18

Dispositif médical	Matériaux utilisés	Illustration (image ...)
Implants mammaires	Silicones (sac externe) contenant une solution saline physiologique	
Prothèses de hanche	Queue : Métaux : acier inox Alliage de titane (Ta6V) Alliage de cobalt-Chrome Cupule : polyéthylène haute densité Ultra haute masse molaire Tête fémorale : Céramique Al_2O_3 ; ZrO_2	
Prothèses de genou	Plateau tibial : acier inox Condyle, bouton rotulien : Polyéthylène haute densité ultra haute masse molaire	
Cristallin artificiel	Silicones, Plexiglass (PMMA), copolymères acryliques (MMA-HEMA)	
Stent	Alliages de titane TiNi (Nitinol) (alliages à mémoire de forme); silicones	
Valves cardiaques	Valve : carbone pyrolytique; titane avec dépôt de carbone pyrolytique Anneau de suture : téflon ou polyester (PET Dacron)	

Exercice 19

- 1 La fabrication de microcapsules utilise des méthodes nécessitant **une émulsion** d'un principe actif dans un liquide **porteur**.

Le monomère capable de se polymériser pour constituer la coque doit être **soluble** soit dans la substance à encapsuler, soit dans le milieu d'encapsulation.

La réaction de polymérisation s'effectue **à l'interface** entre les gouttelettes de substances à encapsuler et le milieu d'encapsulation. Elle a lieu grâce à l'adjonction d'un **catalyseur**.

Les microcapsules ainsi produites ont un **diamètre** de l'ordre de 5 µm.

Dans le cas d'un collant hydratant la peau des jambes, le principe actif est une **crème hydratante** et le polymère constituant la coque est un aminoplaste, c'est-à-dire un polymère **réticulé**.

- 2 Deux phases : l'une continue, l'autre dispersée sous forme de gouttelettes dans la phase continue.
Exemples : vinaigrette, lait, crème.
- 3 Les aminoplastes sont thermodurcissables.
- 4 La microcapsule est cassée par frottement mécanique, il y a alors libération du principe actif.

Exercice 20

- 1 Recherche de nouvelles formes cristallisées de carbone.

- 2 Microscope électronique.

- 3 La structure des fullerènes fait penser à un ballon de football, très différente de la structure en tube des nanotubes.

- 4
$$V = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot L = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \quad r = \left(\frac{3 \cdot d^2 \cdot L}{16}\right)^{\frac{1}{3}}$$

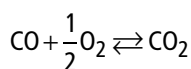
$$r = \left(\frac{3 \times (10^{-9})^2 \times 380000000}{16}\right)^{\frac{1}{3}} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,4 \text{ mm} !!!$$

Exercice 21 (Éléments de réponse)

- 1 – Un moteur de voiture réalise des réactions de combustion d'alcane (présents dans l'essence). Il se forme alors des espèces tel que le monoxyde de carbone, le monoxyde d'azote etc...

Le monoxyde de carbone est un gaz très toxique pour l'être humain ; et de plus il contribue à l'effet de serre. (**Documents 1 et 2**)

- Le rôle du pot d'échappement est de réaliser la réaction chimique d'oxydation du monoxyde de carbone en dioxyde de carbone, moins toxique que le monoxyde de carbone.



Cette réaction est lente et se fait à température élevée ; l'utilisation du

platine dans des pots d'échappement permet d'abaisser la température et d'augmenter la vitesse de cette réaction : le platine est qualifié de catalyseur.

- ② L'intérêt d'utiliser de l'or et plus particulièrement des nanoparticules d'or est de travailler à basse température et donc de pallier au principal problème des catalyseurs actuels, tout en réalisant des économies financières. (**document 3**)

Ceci permet alors de libérer dans la nature une quantité bien moins importante de monoxyde de carbone qu'avec un catalyseur en platine.

- ③ – Grâce à l'échelle de l'image au microscope électronique à balayage, on peut mesurer la taille des clusters. Ceux-ci sont de l'ordre du nm jusqu'à quelques centaines de nm pour les plus gros, il s'agit de l'échelle nanométrique.

On est dans le domaine des nanoparticules.

– On peut comparer la taille d'un cluster à celle d'un atome d'or :

$$\frac{\text{diam}(\text{cluster})}{\text{diam}(\text{atome})} \approx 10^2$$

- ④ D'après les graphiques du **document 5**, plusieurs paramètres jouent un rôle sur la catalyse de la réaction d'oxydation du monoxyde de carbone en dioxyde de carbone.

La catalyse sera optimale pour les conditions suivantes :

- Le support de dépôt du catalyseur sera constitué d'oxyde de titane.
- La quantité de dépôt du catalyseur sur le support sera de l'ordre de 2,3 %.
- La taille des clusters d'or sera de 3,5 nm afin d'avoir une activité (ou TOF) maximale.

Chapitre 6 – Élaboration, vieillissement, corrosion, protection, recyclage, élimination

Corrigés des activités

- Activité 25** ▶ Définition de la corrosion, facteurs de corrosion : voir dans le cours
- ▶ Sur la photo de gauche, on observe la formation de rouille (à partir de fer) ; sur la photo de droite, dépôt de vert-de-gris (à partir de cuivre).

Activité 26 <http://www.fr-actualite.com/actualite/70>

Le Botox, aussi connu comme étant la toxine botulique, est une substance utilisée en chirurgie esthétique. Reconnu et réputé pour ses effets fulgurants dans la lutte contre le vieillissement de la peau, le Botox est décrit pour la première fois en 1895.

Produite par la bactérie appelée *Clostridium botulinum*, la toxine botulique, qui est une neurotoxine, est responsable du botulisme, maladie caractérisée par la paralysie des membres ou des muscles faciaux. À l'origine, des études avaient été menées dans le but d'en faire une arme biologique, mais très vite le botox est étudié pour ses possibles applications à la médecine. Depuis 1980, il sert dans les traitements de certaines pathologies neuro-musculaires comme le strabisme. En 2002, la firme américaine Allergan en obtient les droits de commercialisation.

Généralement, le Botox est prescrit en injections mais sous une forme diluée donc moins virulente que la toxine dont il tire son nom. Les zones d'injection sont bien précises et se regroupent autour du visage. Il s'agit de paralyser les muscles environnants et de retendre la peau qui paraît ainsi déridée. La paralysie est engendrée par l'action des bactéries qui composent le Botox. Concrètement, sans entrer dans les termes médicaux incompréhensibles, le Botox agit sur les nerfs qui ne sont plus à même de commander les muscles.

Ainsi, selon la nature des rides et l'état de santé général du patient, le praticien déterminera le nombre de séances nécessaires. Dans la majorité des cas, un traitement comprendra à peu près une dizaine d'injections. Dans la pratique, le Botox est injecté entre les rides, directement dans les muscles. Ensuite, le praticien doit appuyer sur la zone traitée. Quand les injections sont faites, une séance de mise au point sera effectuée pour déterminer les résultats obtenus en vue d'éventuelles corrections.

- Activité 27** Le phénomène de corrosion est amplifié en milieu humide, en présence d'air, et dans l'eau salée.

Activité 28

- ❶ Effet de l'écroutissage : la corrosion se produit préférentiellement aux extrémités du clou. Cela montre que la corrosion se produit aux endroits où le clou a subi des contraintes mécaniques. La tête du clou qui a été écrasée pour l'aplatir se corrode ainsi plus facilement que sa pointe. La partie centrale est généralement la moins susceptible de se corroder. On peut vérifier cet effet d'écroutissage avec le clou tordu qui normalement (mais pas toujours !) se corrode à l'endroit où il a été fortement tordu.
- ❷ Effet Evans : le clou est oxydé dans la partie éloignée de la surface et protégé près de celle-ci. Ce résultat paraît paradoxal, en effet, c'est près de la surface qu'il y a le plus de dioxygène et on s'attend à y observer la corrosion. C'est l'inverse qui se produit, la corrosion a lieu dans la zone la moins riche en oxydant, c'est l'effet Evans. On l'interprète en considérant que la réduction du dioxygène est favorisée par les grandes concentrations en celui-ci, c'est donc à la surface que se produit la réduction. La réduction « pompe » les électrons du clou qui en conséquence s'oxydera dans sa partie basse.
- ❸ Association du fer avec un métal moins réducteur que lui : le fer a donc été oxydé alors que le cuivre est protégé de la corrosion. Cela s'explique très bien si on considère les potentiels redox des deux couples, le fer étant un meilleur réducteur que le cuivre s'est lui qui est oxydé préférentiellement. L'association du fer avec un métal moins réducteur que lui favorise sa corrosion, on aura donc intérêt à éviter des alliages contenant de fortes teneurs en métaux de potentiel redox plus élevé que celui du fer. Un exemple célèbre est celui de l'alliage fer-nickel qui résiste très mal à la corrosion à longue échéance.
- ❹ Protection cathodique par anode sacrificielle : le clou relié au fil de zinc est entouré d'une zone rose montrant qu'il constitue la cathode de la pile. Le zinc lui a été oxydé ce qui se traduit par l'apparition d'une zone blanche autour de lui. Le zinc étant plus réducteur que le fer : c'est lui qui sera attaqué préférentiellement.

On illustre ainsi le procédé d'anode sacrificielle couramment utilisé pour protéger la coque des bateaux.

Le fil de fer galvanisé qui est recouvert d'une couche de zinc est un autre exemple de protection cathodique à laquelle s'ajoute une protection par isolement du fer par rapport au milieu extérieur comme le ferait une peinture.
- ❺ Protection cathodique grâce à un générateur : examiner les deux clous qu'on a reliés quelques secondes à la pile de 4,5 V. Le clou relié au pôle – de la pile (entouré d'une zone rose) est protégé de la corrosion alors que celui relié au pôle + (entouré d'une zone bleue) est oxydé. L'eau est réduite au pôle –, ici c'est le générateur qui fournit les électrons nécessaires. Inversement des électrons sont pris au clou du pôle + qui est ainsi oxydé.

Les canalisations d'eau enterrées sont ainsi protégées de la corrosion, on change périodiquement l'anode. Les carrosseries de voitures sont reliées au pôle – de la batterie ce qui aide à leur protection.

Activité 29 <http://www.syndicat-centre-herault.org/>

Activité 30

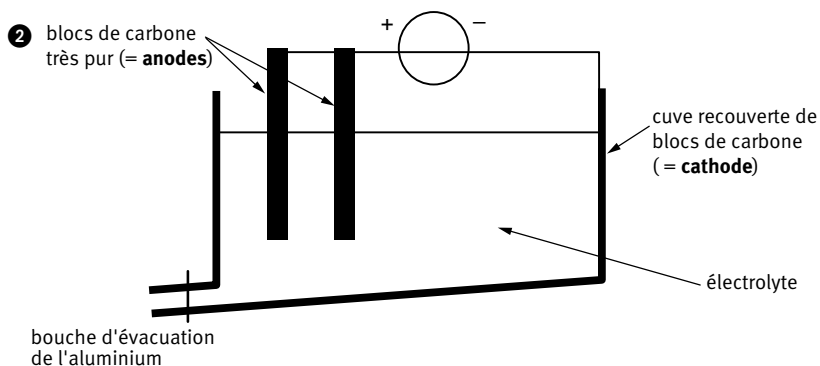
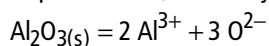
- refusez toujours les sacs plastiques car vous aurez pensé à amener votre sac cabas avec vous !
- oubliez les lingettes !
- pensez aux cosmétiques bio !
- optez pour les jouets en bois, et donnez aux autres enfants les jouets que votre enfant n'utilise plus !
- achetez vos produits en vrac pour éviter les barquettes et les films plastiques !
- achetez vos yaourts avec des pots en verre !
- pensez aux couches recyclables !
- équipez-vous avec des ampoules basse consommation, elle consomment beaucoup moins !

Corrigés des exercices d'apprentissage

Exercice 22

Deuxième partie : la transformation de l'alumine en aluminium

- ① D'après le texte, l'électrolyte en fusion dissout l'alumine :



③ 1. Durée de fonctionnement de l'électrolyseur

	Avancement	$4 \text{Al}^{3+} + 6 \text{O}^{2-} = 3 \text{O}_{2(g)} + 4 \text{Al}_{(s)}$				Quantité (en mol) d'électrons échangés
État initial	0	n_1	n_2	0	$n_{\text{Al}} = 0$	$n_{e^-} = 0$
État en cours de transformation	x	$n_1 - 4x$	$n_2 - 6x$	3x	$n_{\text{Al}} = 4x$	$n_{e^-} = 12x$
État final	x_f	$n_1 - 4x_f$	$n_2 - 6x_f$	$3x_f$	$n_{\text{Al}} = 4x_f$	$n_{e^-} = 12x_f$

Demi-équation de réduction : $(\text{Al}^{3+} + 3 \text{e}^- = \text{Al(s)}) \times 4$

Demi-équation d'oxydation : $(2 \text{O}^{2-} = \text{O}_{2(\text{g})} + 4 \text{e}^-) \times 3$

Au niveau microscopique, à chaque fois que la réaction a lieu une fois, ce sont 12 électrons qui sont échangés.

Au niveau macroscopique, la réaction a lieu x mol fois, ainsi ce sont $12x$ mol d'électrons qui sont échangés.

- Expression littérale de la quantité d'électrons nécessaire à la production de la masse m d'aluminium

D'après le tableau d'avancement, pour produire $n_{\text{Al}} = 4x$ mol d'aluminium, il faut consommer $n_{\text{e}^-} = 12x$ mol d'électrons.

$$\text{Ainsi } n_{\text{Al}} = \frac{n_{\text{e}^-}}{3}, \text{ d'autre part } n_{\text{Al}} = \frac{m_{\text{Al}}}{M_{\text{Al}}}$$

$$\text{soit } \frac{m_{\text{Al}}}{M_{\text{Al}}} = \frac{n_{\text{e}^-}}{3}$$

$$\text{finalement } n_{\text{e}^-} = 3 \cdot \frac{m_{\text{Al}}}{M_{\text{Al}}}$$

2. Expression littérale de la quantité d'électricité Q consommée par l'électrolyseur jusqu'à son état final

D'après le tableau d'avancement $n_{\text{e}^-} = 12x_f$

Chaque mole d'électrons porte une charge égale à $N_A \cdot e$.

$$Q = n_{\text{e}^-} \cdot N_A \cdot e = 12 \cdot x_f \cdot N_A \cdot e$$

3.a. $n_{\text{Al}} = 4x_{\text{fin}}$

$$\frac{m_{\text{Al}}}{M_{\text{Al}}} = 4x_{\text{fin}}$$

$$\boxed{x_{\text{fin}} = \frac{m_{\text{Al}}}{4M_{\text{Al}}}}$$

$$x_{\text{fin}} = \frac{1,08 \cdot 10^6}{4 \times 27,0} = \frac{4,00 \cdot 10^{-2} \cdot 10^6}{4} = 1,00 \cdot 10^4 \text{ mol.}$$

3.b. D'après les données $I = \frac{Q}{t}$, soit $t = \frac{Q}{I}$ et $Q = 12 \cdot x_{\text{fin}} \cdot N_A \cdot e$

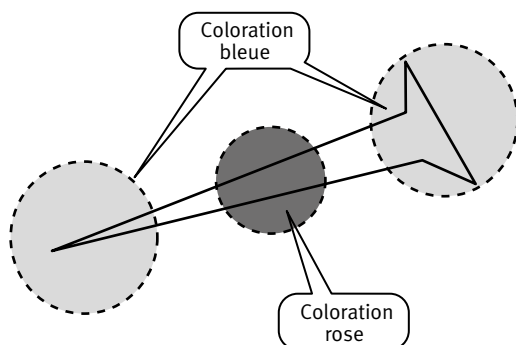
$$\Delta t = \frac{12 \cdot x_{\text{fin}} \cdot N_A \cdot e}{I}$$

$$\Delta t = \frac{12 \times 1,00 \cdot 10^4 \times 1,0 \cdot 10^5}{1,0 \cdot 10^5} = 12,0 \cdot 10^4 \text{ s}$$

$$\Delta t = \frac{12,0 \cdot 10^4}{3600} = \frac{12,0 \cdot 10^4}{4,0 \cdot 10^3}$$

$$\Delta t = 30 \text{ h.}$$

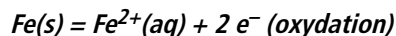
Exercice 23 ❶ Exploitation de l'expérience réalisée dans la boîte de Pétri (1).



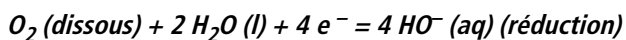
a. La coloration bleue sur la tête et la pointe du clou indique la formation d'ions fer (II) $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$.

La coloration rose dans la partie centrale du clou indique la formation d'ion $\text{HO}^{-}(\text{aq})$.

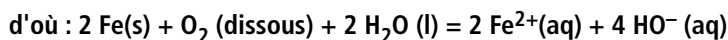
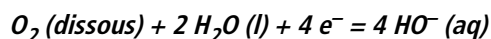
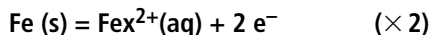
b. Demi-équation électronique traduisant la transformation du métal fer aux extrémités du clou :



c. Demi-équation électronique traduisant la transformation qui a lieu dans la partie centrale du clou :

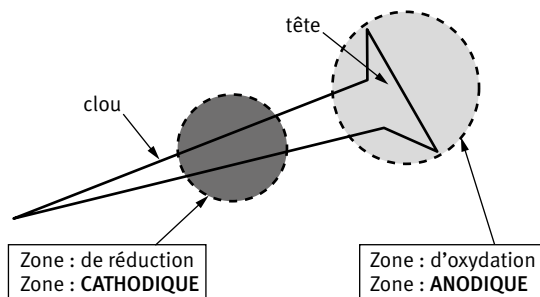


Équation de la réaction d'oxydoréduction :

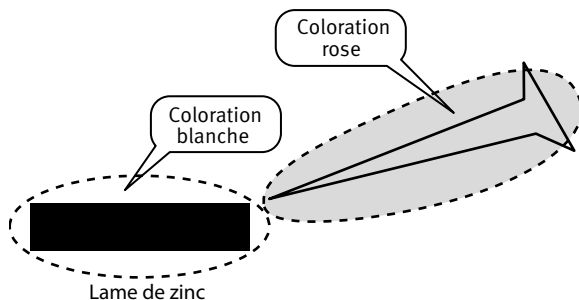


d. Sur une **zone anodique** se produit une **oxydation**.

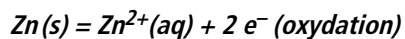
Sur une **zone cathodique** se produit une **réduction**.



❷ Exploitation de l'expérience réalisée dans la boîte de Pétri n° 2



a. La coloration blanche traduit la formation d'ions zinc (II) $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ selon l'oxydation suivante :



Le métal zinc est donc oxydé.

L'absence de la coloration bleue montre que le fer n'a pas été oxydé.

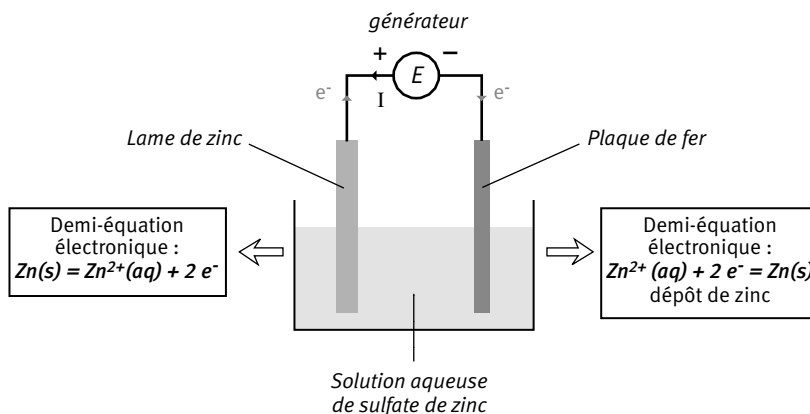
- b. Les blocs de zinc fixés sur la coque en acier des bateaux évitent l'**oxydation du fer** contenu dans l'acier. Le métal zinc est oxydé à la place de l'acier de la coque et cela assure une bonne protection de la coque du bateau.
- c. La tension mesurée par le voltmètre est $U_{\text{Zn-acier}} = V_{\text{Zn}} - V_{\text{acier}}$. Or cette tension est **négative** donc $V_{\text{Zn}} < V_{\text{acier}}$.
 En admettant que l'association {coque en acier, eau de mer, bloc de zinc} forme une pile et sachant qu'au **potentiel le plus haut** est associé la **borne positive** de la pile on a la polarité suivante :
 – la **borne positive** est la coque en **acier**,
 – la **borne négative** est le bloc de **zinc**.
- Les électrons sont émis par le bloc de zinc (borne négative de la pile) qui est alors **oxydé** à la place du fer contenu dans l'acier. La protection de la coque est ainsi assurée.

3 Protection par revêtement métallique : Électrozincage.

Il s'agit de recouvrir la plaque de fer d'une couche de zinc par électrolyse. Sur la plaque de fer se produit donc une réduction de demi-équation électronique $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- = \text{Zn}(\text{s})$

Le générateur fournit les électrons nécessaires à cette réduction. La plaque de fer est reliée à la borne négative du générateur.

Sur la lame de zinc se produit l'oxydation $\text{Zn}(\text{s}) = \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$ (la lame de zinc est une anode soluble) les électrons libérés sont « pompés » par la borne positive du générateur.



► **Remarque** Au cours de l'électrolyse la concentration en ion $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ de la solution reste constante.

► **Problème scientifique** 4 La masse de zinc à déposer est :

$$m(\text{Zn}) = p \cdot V$$

$$m(\text{Zn}) = 7,14 \times 1,0 \times 10^3 = 7,14 \times 10^3 \text{ g} = 7,14 \text{ kg} = 7,1 \text{ kg}$$

D'après la demi-équation de réduction $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- = \text{Zn}(\text{s})$, au cours de l'électrolyse, lorsque **x moles** de zinc sont déposées sur la lame de fer, **2 x moles** d'électrons ont été échangées,

soit $n(e^-) = 2 \cdot x = 2 \cdot n(\text{Zn}) = 2 \cdot \frac{m(\text{Zn})}{M(\text{Zn})}$

$$n(e^-) = 2 \times \frac{7,14 \times 10^3}{65,4} = 218 \text{ mol}$$

La quantité d'électricité mise en jeu lors de l'électrolyse est $Q = n(e^-) \cdot F = I \cdot \Delta t$.

Alors $\Delta t = \frac{n(e^-) \times F}{I}$ $\Delta t = \frac{218 \times 96500}{1,010^3} = 2,1 \times 10^4 \text{ s} = 5,9 \text{ h}$

- Exercice 24**
- ❶ La galvanoplastie est un procédé qui permet d'obtenir un dépôt métallique à la surface d'un métal, soit dans un but technologique (protection contre l'oxydation), soit à fin de décoration.
 - ❷ Ce procédé est basé sur l'électrolyse en courant continu.
 - ❸ Le métal à déposer est en solution dans un liquide
 - ❹ Le métal à recouvrir joue le rôle de cathode.
 - ❺ Utilisations industrielles : traitement anticorrosion dans les domaines de l'électroménager, du bâtiment et de la construction automobile.

- Exercice 25**
- ❶ Les radicaux libres sont des morceaux de molécules oxygénées ayant perdu un électron et étant de ce fait instables.
 - ❷ Il suffit d'exciter une molécule de manière suffisante pour lui faire perdre un électron. Cela peut être réalisé par une radiation lumineuse ou bien lors d'un choc avec une autre molécule.
 - ❸ Dans la matière, les radicaux libres vont tenter de retrouver une structure stable en récupérant un électron. La molécule à qui il prendra cet électron deviendra à son tour un radical libre, c'est pourquoi on parle de réaction en chaîne.
 - ❹ Les facteurs favorisant la formation de radicaux libres sont de deux types : les radiations (UV ou rayons X) et les substances toxiques (alcool, médicaments, tabac, pollution ...).
 - ❺ Il y a deux sortes de moyens : un système de lutte enzymatique contrôlé par certains oligoéléments (Cu, Mn, Zn ...) que l'on peut améliorer par médication et l'action de substances apportées par l'alimentation (vitamine C, vitamine E, polyphénols, bêta-carotène ...).
 - ❻ On pourrait leur donner les noms de « ralentisseurs (ou retardateurs) de vieillissement ».

Chapitre 7 – Pour clore la séquence

Corrigés des exercices

- Exercice 1**
- La partie lipophile (longue chaîne carbonée) est : $CH_3 - (CH_2)_{11} -$
donc $M_{lipo} = 12 \times 12 + 25 \times 1 = 169 \text{ g/mol}$
La masse molaire de la molécule est $M = 20 \times 12 + 66 \times 1 + 11 \times 16 = 482 \text{ g/mol}$
Donc $M_{hydro} = M - M_{lipo} = 482 - 169 = 313 \text{ g/mol}$
et $HLB = 20 \times 313 / 482 = 13$
 - $HLB > 9$, donc tensioactif hydrophile
 - propriété émulsifiante

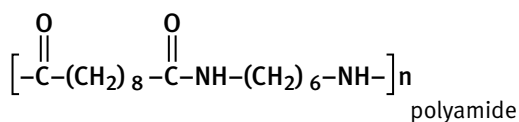
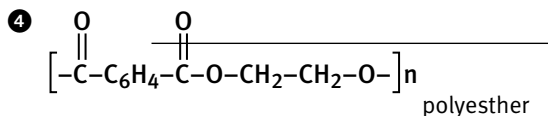
- Exercice 2**
- ① $R = \frac{4 \cdot \gamma}{p_i - p_e} = \frac{4 \times 30,0 \times 10^{-3}}{5} = 24 \times 10^{-3} \text{ m} = 2,4 \text{ cm}$
 - ② Si $p_i - p_e$ augmente, R diminue.
 - ③ $R_B < R_{B'}$ donc $p_{iB} - p_e > p_{iB'} - p_e$ et $p_{iB} > p_{iB'}$
Lorsqu'on ouvre le robinet, la petite bulle va se vider dans la grande.

- Exercice 3**
- $S = 4\pi r^2 \quad (S = \pi \cdot L^2) \quad 2e = 2\mu\text{m}, \text{ donc } e = 1\mu\text{m}$
- À l'équilibre, F est compensé par le poids, donc $F = m \cdot g \quad m \cdot g = \frac{\pi \cdot L^2 \cdot A}{e} = \frac{S \cdot A}{e}$
- $m = \frac{S \cdot A}{g \cdot e} = \frac{4 \times 10^{-4} \times 0,070}{10 \times 10^{-6}} = 2,8 \text{ kg}.$

- Exercice 4**
- ① Perte en charge de 25 mm tous les mètres, donc de 2,5 m pour un tuyau de 100 m.
 $HMT = 10 + 2,5 = 12,5 \text{ m}$
 - ② $E_j = 0,002725 \times V \times HMT = 0,002725 \times 10 \times 12,5 = 0,34 \text{ kW.h}$
 - ③ $P_c = \frac{E_j}{K_p \times R_m \times R_p \times l_{rj\min}} = \frac{0,34}{0,9 \times 0,8 \times 0,5 \times 5,19} = 0,182 \text{ kW} = 182 \text{ W}$
 - ④ $Q = \frac{P_c \times K_p \times R_m \times R_p}{0,002725 \times HMT} = \frac{0,2 \times 0,9 \times 0,8 \times 0,5}{0,002725 \times 12,5} = 2 \text{ m}^3 / \text{h}$

Exercice 5

- ❶ Synthèse de nouveaux matériaux, plus résistants, avec des propriétés intéressantes (textiles innovants), moins chers.
- ❷ Fibres naturelles : coton, lin, laine, soie, alpaga, cachemire
Fibres artificielles : polyamide, polyester, élasthanne
- ❸ résistant, imperméable à la pluie, respirant, extensible (confort des mouvements), pas trop cher : Gore-Tex, élasthanne ou polyester



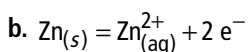
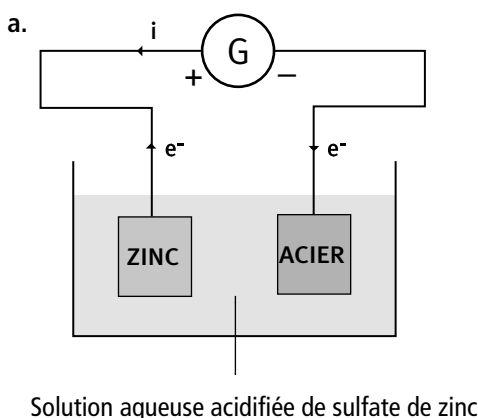
- ❺ n est le nombre de motifs qui se répètent dans la molécule
- ❻ Liaisons covalentes

❼ Les liaisons hydrogène entre molécules sont sur le segment caoutchouteux	
Les liaisons hydrogène entre molécules sont avec un atome d'oxygène	X
Les liaisons hydrogène entre molécules sont avec un atome d'azote	
Les liaisons hydrogène entre molécules augmentent la rigidité entre molécules	X

- ❽ Entre molécules, il y a des liaisons hydrogène (et des interactions de Van der Waals) : celles-ci sont responsables de la solidité du matériau.

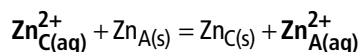
Exercice 6

- ❶ Étude du montage de l'électrolyse



c. D'après l'équation ci-dessus, à l'électrode de zinc, il se produit une oxydation qui libère des électrons.

d. Au cours de l'électrolyse, la concentration en ions Zn^{2+} reste constante. Sur la pièce d'acier, on observe un dépôt de zinc. Pour chaque ion Zn^{2+} produit à l'anode, il disparaît un ion Zn^{2+} à la cathode.



② Détermination de la masse de zinc déposée

► Problème n° 1 D'après la demi-équation $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- = \text{Zn}(\text{s})$, il faut échanger 2 moles d'électrons pour former une mole d'atomes de zinc.

Soit
$$n_{\text{Zn}} = \frac{n_{\text{e}^-}}{2}.$$

$$n_{\text{Zn}} = \frac{m_{\text{Zn}}}{M(\text{Zn})} \quad \text{donc : } m_{\text{Zn}} = n_{\text{Zn}} \cdot M(\text{Zn})$$

$$m_{\text{Zn}} = \frac{n_{\text{e}^-}}{2} \cdot M(\text{Zn})$$

La charge véhiculée dans le circuit pendant une durée Δt est $Q = I \cdot \Delta t$, et est aussi $Q = n_{\text{e}^-} \cdot F$.

La quantité d'électrons véhiculée pendant cette durée Δt est donc $n_{\text{e}^-} = \frac{I \cdot \Delta t}{F}$.

Il vient donc
$$m_{\text{Zn}} = \frac{I \cdot \Delta t}{2 \cdot F} \cdot M(\text{Zn}).$$

► Problème n° 2
$$m_{\text{Zn}} = \frac{2,00 \times 40,0 \times 60}{2 \times 96500} \times 65,37 = 1,63 \text{ g}$$

$m_{\text{Zn}} = \rho_{\text{Zn}} \cdot V_{\text{Zn}}$ et donc le volume de zinc déposé sur les deux faces est :

$$V_{\text{Zn}} = \frac{m_{\text{Zn}}}{\rho_{\text{Zn}}}.$$

Ce volume de zinc se dépose sur les deux faces, donc sur une surface $S = 2 \cdot d^2$

$$\text{L'épaisseur du dépôt est } e_1 = \frac{V_{\text{Zn}}}{S} = \frac{\frac{m_{\text{Zn}}}{\rho_{\text{Zn}}}}{2 \cdot d^2}$$

$$e_1 = \frac{m_{\text{Zn}}}{2 \cdot d^2 \cdot \rho_{\text{Zn}}} \quad \text{avec } \rho_{\text{Zn}} \text{ en g.cm}^{-3}, d \text{ en cm, } m \text{ en g}$$

et on utilise la valeur non arrondie de m_{Zn} .

$$e_1 = \frac{1,6257}{2 \times 10,0^2 \times 7,14} = 1,14 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$e_1 = 1,14 \times 10^{-3} \text{ cm} = 1,14 \times 10^{-5} \text{ m} = 11,4 \times 10^{-6} \text{ m} = 11,4 \text{ } \mu\text{m}.$$

Résultat conforme avec le texte de l'encadré introductif qui évoque un dépôt d'une dizaine de micromètres.

Exercice 7 *Document 1*

- ❶ **Visqueux** : un liquide visqueux est épais et s'écoule difficilement.
Surfusion : état d'une matière qui reste liquide en-dessous de la température de fusion.
Réticulé : une structure réticulée forme un réseau
- ❷ Dans un cristal la structure microscopique de la matière présente un ordre à grande distance alors que dans le verre la structure est globalement désordonnée (NB : comme dans un liquide).
- ❸ Amorphe signifie « qui n'a pas de forme déterminée ». Ceci s'applique aux verres en raison du manque d'ordre à l'échelle microscopique.
- ❹ Le silicium est dans la même colonne de la classification périodique que le carbone...
- ❺ Si^{4+} car...
- ❻ L'électronégativité de l'oxygène est plus élevée que celle du carbone car O est plus éloigné dans une ligne la classification périodique que C. Par ailleurs l'électronégativité du silicium est plus faible que celle du carbone car Si est situé en-dessous de C dans la même colonne de la classification périodique. Donc O est plus électro-négatif que Si et la liaison est polarisée : $\text{Si}^{\delta+} \rightarrow \text{O}^{\delta-}$
- ❼ La solidification de l'état liquide, désordonné, vers l'état cristallin nécessite le déplacement des atomes au sein de la matière. Une viscosité élevée du liquide en fusion ralentit ce déplacement au point d'empêcher l'organisation de l'état cristallin de s'établir au cours du refroidissement.

Document 2

- ❽ Les oxydes modificateurs de réseau cassent des liaisons dans le verre.
- ❾ Le réseau est moins réticulé, il est donc moins solide. L'énergie nécessaire pour rompre la cohésion de l'état solide pour passer à l'état liquide est donc plus faible.

Recherches : quelques exemples

- ❿ **photochromique** : ajout de particules de AgCl. L'exposition à la lumière réduit Ag^+ en Ag qui assombrit le verre comme pour un film photographique. La différence est qu'à cause de l'isolement de chaque cristal de AgCl dans la matrice vitreuse étanche, les produits de la réaction ne s'éloignent pas de

sorte que la réaction inverse peut se produire quand l'excitation lumineuse disparaît.

Vitrocéramique : ajout d'oxyde de zirconium ZrO_2 , titane TiO_2 ou zinc ZnO en petites quantités. Ces oxydes provoquent une cristallisation partielle du verre quand celui-ci est recuit (replacé dans un four). Le verre n'est plus transparent mais extrêmement résistant aux chocs thermiques et mécaniques.

Pyrex : ajout d'oxyde de bore B_2O_3 . Les verres borosilicatés sont beaucoup plus résistants chimiquement et aux chocs thermiques. Leur utilisation est très courante en cuisine, au laboratoire, dans l'industrie chimique et pharmaceutique.

Verre de protection pour rayonnement radioactif : ajout d'oxyde de plomb PbO . Ce verre est utilisé pour absorber les rayonnements gamma ou X dangereux.

Verre optique (flint) : ajout d'oxyde de plomb PbO . Certains verres en contiennent jusque 90 % ! Cet oxyde augmente l'indice de réfraction du verre et ses propriétés dispersives.

Bioactif : ajout de phosphate de calcium. Ce verre est employé pour la réparation de structures osseuses humaines. Le verre est alors sensible à l'hydrolyse, se transforme en gel au contact de l'os et s'y précipite.

Il est possible aussi de citer le verre des fibres optiques, les verres colorés, les verres conducteurs (ex : électrode de verre), la vitrification des déchets nucléaires...

Exercice 8 ① Un matériau réfractaire résiste à de très hautes températures.

② Propriétés chimiques : résistance à la corrosion

Propriétés physiques : réfractaire, résistant à l'usure, isolant, semi-conducteur, solide en compression, faible densité.

③

matériau	formule	propriétés	utilisations	Site internet ou ouvrage consultés
alumine	Al_2O_3	très dure, grande résistivité électrique, inertie chimique	Isolateurs électriques, prothèses ...	
zircone	ZrO_2	Excellentes propriétés mécaniques aux températures élevées, conducteur à des températures élevées	Creusets, prothèses, éléments chauffants	
Carbure de silicium	SiC	Grande dureté, excellente inertie chimique, faible dilatation thermique	Outils de coupe, abrasif...	
Nitrure de silicium	Si_3N_4	Bonne résistance à l'usure et à l'abrasion, grande dureté, excellente résistance aux chocs thermiques,	Billes de roulement, outils de coupe, abrasif...	



De nombreux sites apportent des renseignements sur les céramiques. Parmi eux, le site <http://www.final-materials.com> donne une description documentée et bien organisée des céramiques techniques.

Exercice 9

Volume V de la macromolécule : $V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3$

Volume v d'une nanoparticule : $v = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$

D'après la remarque 1, on peut en déduire le nombre N de nanoparticules :

$$V = N \cdot v \quad N = \frac{V}{v} = \left(\frac{R}{r} \right)^3$$

Surface S initiale (une macromolécule) : $S = 4 \cdot \pi \cdot R^2$

$$\text{Donc } R = \sqrt{\frac{S}{4 \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4,0 \times 10^{-6}}{4 \times \pi}} = 5,6 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$\text{et } N = \left(\frac{5,6 \times 10^{-4}}{2,0 \times 10^{-9}} \right)^3 = 2,2 \times 10^{16} \text{ nanoparticules}$$

Surface s finale (N nanoparticules) : $s = N \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^2$

$$s = 2,2 \times 10^{16} \times 4 \times \pi \times (2,0 \times 10^{-9})^2 = 1,1 \text{ m}^2$$

$$\text{Rapport des surfaces : } \frac{s}{S} = 275\,000$$

La surface a été multipliée par 275 000. Sachant que de nombreux phénomènes physico-chimiques sont liés à la surface et non au volume, on voit l'intérêt d'utiliser des nanoparticules.

