PHYSIQUE : La physique au service de l'acoustique des théâtres antiques (12 points)
BAC S 2010 Antilles-Guyane **Correction © http://labolycee.org**

Partie A : Généralités

1. 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.

2. L'onde sonore se propage dans l'air dans un espace à **trois dimensions**.

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. $v = \dfrac{\lambda}{T} = \lambda.f$ donc $\boxed{\lambda = \dfrac{v}{f}}$

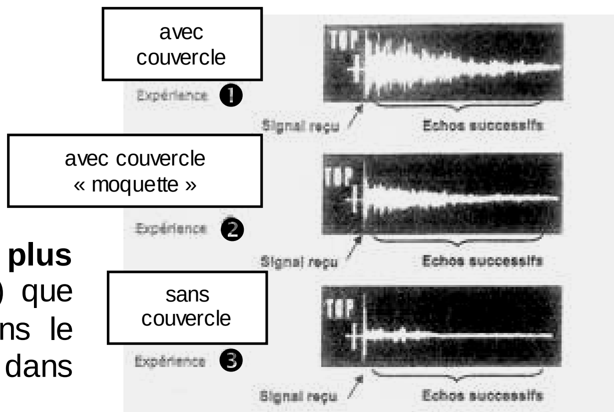
1.3. D'après le texte, la célérité des ultrasons v_{US} est égale à celle des sons de la voix v_{Son}.
$\lambda_{Son} = \dfrac{v_{Son}}{f_{Son}}$ et $\lambda_{US} = \dfrac{v_{Son}}{f_{US}}$
Et les fréquences des sons audibles sont telles que 20 Hz < f_{son} < 20×10^3 Hz, tandis que fréquence des ultrasons : $f_{US} > 20\times10^{3}$ Hz.
$f_{US} > f_{Son}$ donc $\lambda_{US} < \lambda_{Son}$.
Ainsi la longueur d'onde des ultrasons est inférieure à la longueur d'onde moyenne des sons de la voix.

1.4. Les dimensions de la maquette du théâtre sont réduites. Il faut alors que les longueurs d'onde des sons utilisés soient réduites du même facteur.
La relation **$v = \lambda.f$** 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.

1.5. Un milieu est dispersif si la célérité des ondes qui s'y propagent dépend de la fréquence.

1.6. La célérité des ondes ultrasonores dans l'air est égale à celle des ondes sonores (340 m.s^{-1}) : l'air n'est pas un milieu dispersif pour les ondes sonores et ultrasonores.

2. Influence d'un plafond



2.1. $v = \dfrac{D}{\tau}$ donc $\boxed{\tau = \dfrac{D}{v}}$

soit $\tau = \dfrac{0{,}68}{340} = \dfrac{6{,}8\times10^{-1}}{3{,}40\times10^{2}} = 2{,}0\times10^{-3}$ 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 (exp. 3) est plus intéressante d'un point de vue acoustique.

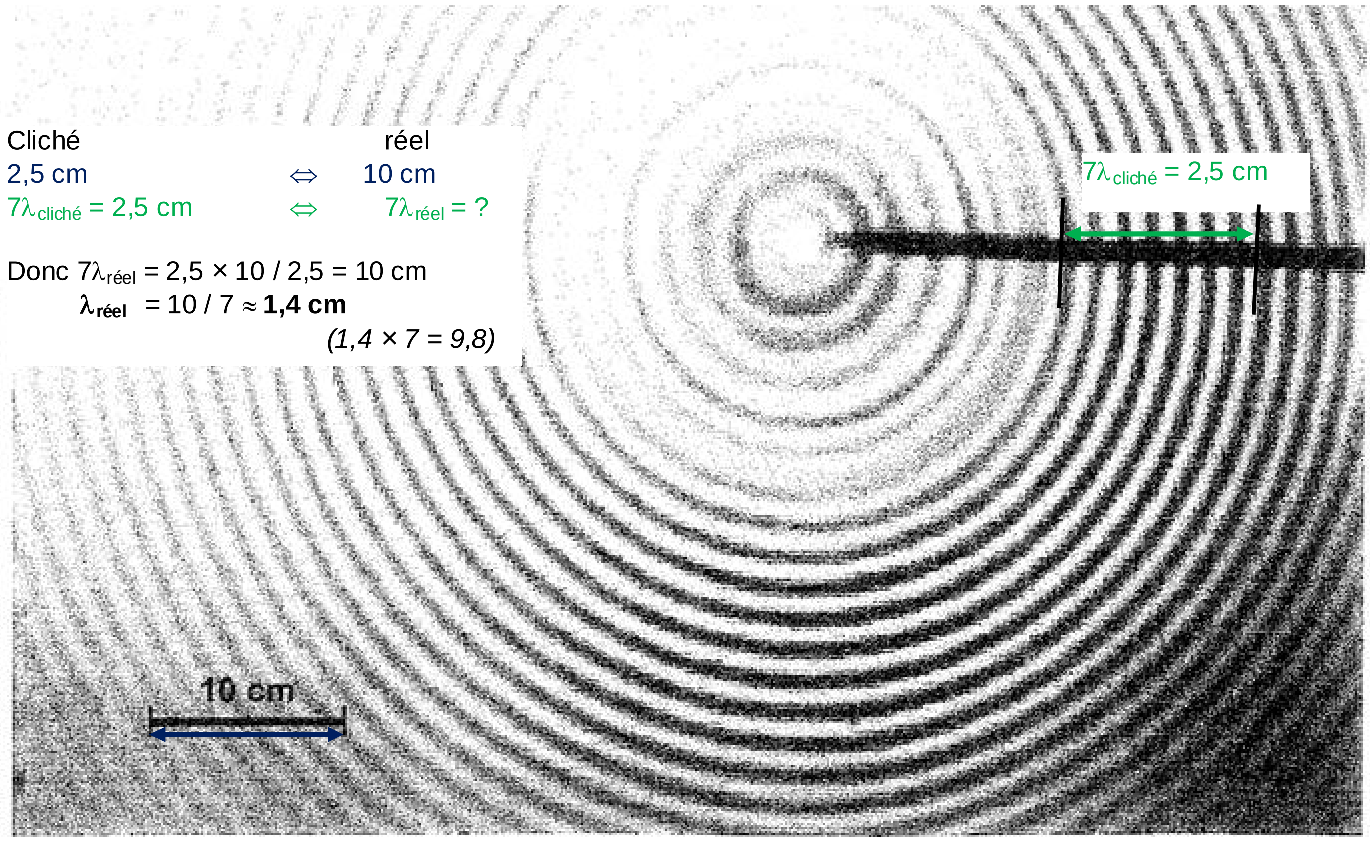
2.4. Les plafonds des salles de concert sont recouverts de dalles alvéolées absorbantes afin de **diminuer l'amplitude des échos sur le plafond**.

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

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 pulpitum est alvéolé du coté de l'orchestre grâce à la présence des niches et des colonnes. Le son de l'orchestre n'est pas amorti par le pulpitum. (= expérience 2 où le vibreur est équivalent à l'orchestre)
Du coté de la scène, le pulpitum est plan. Dès lors, les sons de l'orchestre réfléchis par le mur situé derrière la scène sont amortis par la face plane du pulpitum (= 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 $\boxed{\Delta t = \frac{2d}{v}}$

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

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

Valeur cohérente avec celle donnée dans la conclusion (6,60 m).

1.1. La quantité initiale n_0 de pentaoxyde de diazote s'obtient à partir de la loi des gaz parfaits :

$P_0.V = n_0.R.T$ donc $n_0 = \dfrac{P_0.V}{R.T}$

soit $n_0 = \dfrac{4,638 \times 10^4 \times 0,50 \times 10^{-3}}{8,31 \times 318}$ = **$8,8 \times 10^{-3}$ mol** en exprimant le volume V en m^3

$V = 0,50\ L = 0,50 \times 10^{-3}\ m^3$

1.2. Équation de la réaction		2 N_2O_5 (g)	= 4 NO_2(g)	+ O_2(g)
État	Avancement	$n(N_2O_5)$	$n(NO_2)$	$n(O_2)$
Initial	0	n_0	0	0
Intermédiaire	x	$n_0 - 2\,x$	4 x	x

1.3. Si la transformation est totale : $n_0 - 2x_{max} = 0$ soit $\mathbf{x_{max}} = \dfrac{n_0}{2}$

$x_{max} = \dfrac{8,8 \times 10^{-3}}{2} = 4,4 \times 10^{-3}$ mol = **4,4 mmol**

2.1. La quantité totale de gaz pour le système étudié, à un instant t, est :

$n_G = n(N_2O_5) + n(NO_2) + n(O_2)$

$\mathbf{n_G} = n_0 - 2x + 4\,x + x = \mathbf{n_0 + 3\,x}$

2.2. Loi des gaz parfaits:

À l'instant initial : $P_0.V = n_0.R.T$ (1)

À un instant t : $P.V = n_G.R.T$ (2)

En effectuant le rapport (2) / (1) il vient : $\dfrac{P.V}{P_0.V} = \dfrac{n_G.R.T}{n_0.R.T}$ soit $\dfrac{P}{P_0} = \dfrac{n_G}{n_0} = \dfrac{n_0 + 3x}{n_0}$

Finalement : $\boxed{\dfrac{P}{P_0} = 1 + \dfrac{3x}{n_0}}$

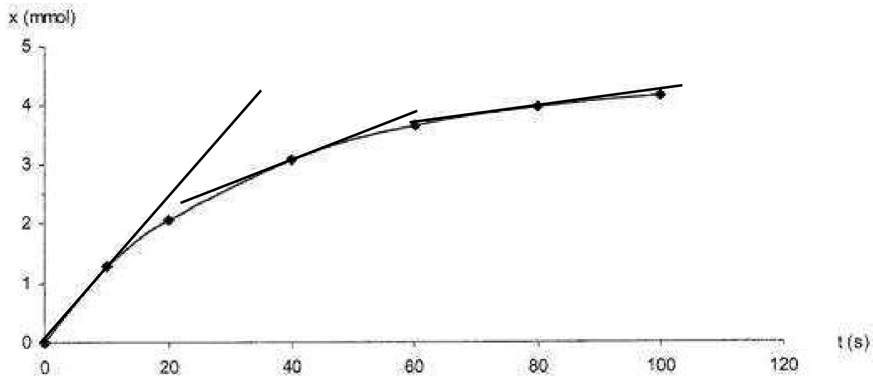
2.3. Pour $x = x_{max} = 4,4 \times 10^{-3}$ mol on a : $\boxed{\dfrac{P_{max}}{P_0} = 1 + \dfrac{3x_{max}}{n_0}}$

soit $\dfrac{P_{max}}{P_0} = 1 + \dfrac{3 \times 4,4 \times 10^{-3}}{8,8 \times 10^{-3}}$ = **2,5**.

2.4. Pour t = 100 s, on lit : $\dfrac{P}{P_0} = 2,422$ soit $\dfrac{P}{P_0} < \dfrac{P_{max}}{P_0}$: la réaction n'est pas terminée pour t = 100 s.

3.1. La vitesse volumique à l'instant t est définie par la relation : $v = \frac{1}{V}.\left(\frac{dx}{dt}\right)_t$

3.2. Le terme $\left(\frac{dx}{dt}\right)_t$ représente le coefficient directeur de la tangente à la courbe x(t) à l'instant t considéré.



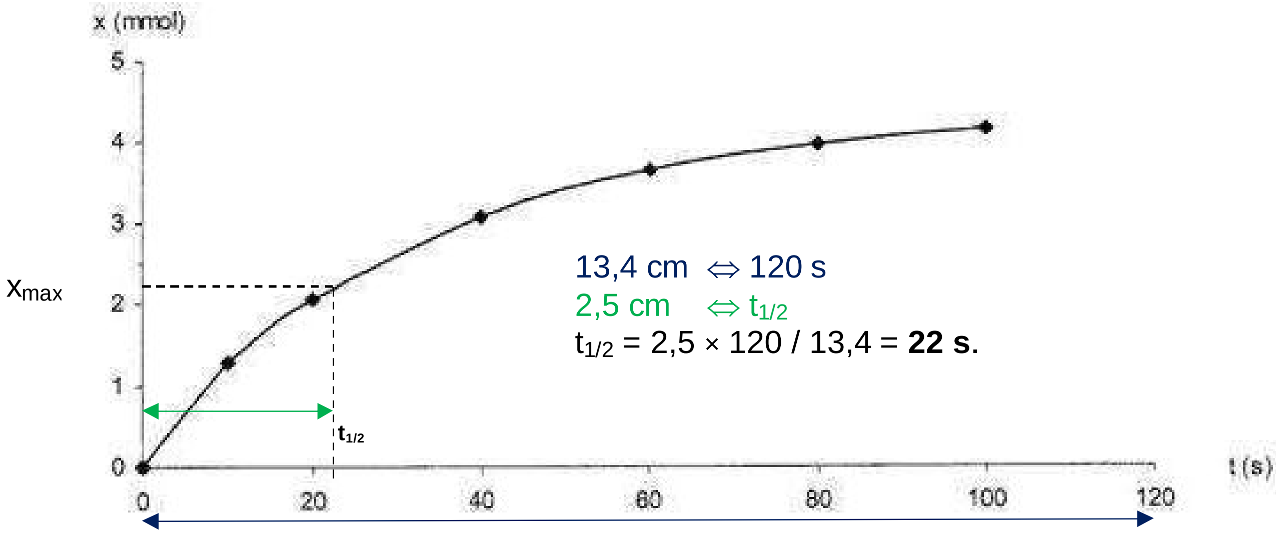
Le graphe x(t) montre que les tangentes sont de moins en moins « pentues » lorsque t augmente :

donc le terme $\left(\frac{dx}{dt}\right)_t$ diminue au cours du temps et comme V est constant, la vitesse volumique $v = \frac{1}{V}.\left(\frac{dx}{dt}\right)_t$ diminue au cours du temps.

3.3. Le facteur cinétique mis en évidence est la quantité de matière de réactif encore présent. Au cours du temps il diminue, il y a donc de moins en moins de chocs efficaces.

3.4. Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est la durée pour laquelle l'avancement x atteint la moitié de sa valeur finale x_f . La transformation étant totale, ici $x_f = x_{max}$: $x(t_{1/2}) = \frac{x_{max}}{2}$.

$x(t_{1/2}) = \frac{4,4\times 10^{-3}}{2}$ = 2,2 × 10^{-3} mol = **2,2 mmol**.



3.1. La courbe obtenue ressemble à celle-ci-dessus mais atteint plus rapidement le même état final.