

Exercice 1 – Prédiction des séismes par gravimétrie

1.1. GALILÉE est le « père fondateur » de la méthode scientifique, qui consiste à mener une expérience pour confirmer ou infirmer une hypothèse. Il a notamment travaillé sur :

- la chute des corps ;
- la première formulation du principe de la relativité d'un référentiel ;
- en astronomie, en ayant l'idée d'utiliser une lunette pour observer les astres, il découvre en quelques nuits d'observation les reliefs sur la Lune, les quatre satellites de Jupiter, les phases de Vénus et le fait que la Voie Lactée est en fait formée de milliards d'étoiles !

1.2. $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ est une valeur couramment admise pour Paris, 45° de latitude Nord.

1.3. $1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$, $1 \text{ c} = 10^{-2}$ et $1 \mu = 10^{-6}$:

$$\Delta g = 60 \mu\text{Gal}$$

$$\Delta g = 60 \times 10^{-6} \times 10^{-2} = 60 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

1.4. L'incertitude sur g (aussi notée Δg , attention à ne pas confondre !) est de :

$$1 \times 10^{-8} = 0,000\,000\,01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

donc $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ va être donné avec huit décimales, et donc avec neuf chiffres significatifs en tout.

2.1. Le vide permet de s'affranchir de tout frottement fluide.

2.2. Le système étudié est le {miroir tombant}.

On se place dans le référentiel terrestre, supposé galiléen, doté d'un repère d'axe (Oz) vertical descendant, conformément à la figure 2.

Le bilan des forces sur le miroir se résume à $\vec{P}$ son vecteur force poids, vertical, vers le bas, appliqué au centre d'inertie B du miroir et de valeur $P = mg$ où m est la masse du miroir et g l'intensité du champ de pesanteur terrestre.

La deuxième loi de Newton s'écrit alors :

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

La quantité de mouvement $\vec{p}$ s'exprime par $\vec{p} = m\vec{v}$. Or la masse m du système considéré est constante, donc on peut écrire :

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \frac{d(m\vec{p})}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m \vec{a}$$

Soit, en remplaçant la résultante des forces extérieures $\vec{F}_{\text{ext}}$ par le seul vecteur force que l'on considère :

$$\vec{P} = m \vec{a}$$

On projette cette relation vectorielle sur l'axe (Oz) vertical descendant :

$$P = mg$$

On remplace la valeur du poids P par son expression et l'on simplifie par la masse m :

$$mg = ma \Rightarrow a(t) = g$$

On intègre cette expression par rapport au temps t :

$$v(t) = gt + v_0$$

où v_0 est une constante d'intégration, déterminée par les conditions initiales. Initialement, le miroir est lâché sans vitesse initiale, donc $v(t=0) = g \times 0 + v_0 = 0$ et par suite $v_0 = 0$ et :

$$v(t) = gt$$

On intègre cette expression par rapport au temps t :

$$z(t) = \frac{1}{2}gt^2 + z_0$$

où z_0 est une constante d'intégration, déterminée par les conditions initiales. Initialement, le miroir est lâché depuis l'origine O du repère, donc $z(t=0) = \frac{1}{2}g \times 0^2 + z_0 = 0$ et par suite $z_0 = 0$ et :

$$z(t) = \frac{1}{2}gt^2 \quad \text{c. q. f. d.}$$

2.3. Transformons l'expression précédente, pour une hauteur de chute z pendant la durée t , afin d'isoler g :

$$z = \frac{1}{2}gt^2 \Leftrightarrow g = \frac{2z}{t^2}$$

Ainsi, il faudrait mesurer simultanément la durée t et la hauteur z de la chute du miroir, afin d'accéder à un calcul fournissant une valeur de g .

3.1. Le phénomène d'interférences est dû à la superposition de deux ondes de même fréquence, mais qui ne sont pas en phase.

Dans le cas particulier suivant, on a deux ondes monochromatiques, et la deuxième onde est créée par le miroir semi-réfléchissant en A. Quand une partie du faisceau continue son trajet (AD) jusqu'au détecteur, une autre partie du faisceau incident parcourt un chemin optique différent (ici, une longueur différente), comme suite à sa réflexion sur la lame semi-réfléchissante : (ABA) pour l'aller-retour jusqu'au miroir tombant, puis (ACA) pour l'aller-retour jusqu'au

miroir fixe, et enfin (AD) jusqu'au détecteur, comme suite à la deuxième réflexion sur la face arrière de la lame. Les chemins optiques des deux faisceaux étant différents, ils vont créer des interférences.

3.2. Lorsque les deux faisceaux interfèrent de manière constructive, l'intensité reçue par le détecteur est maximale.

À contrario, lorsque les deux faisceaux interfèrent de façon destructive, l'intensité reçue par le détecteur est minimale. Elle est même nulle si les deux faisceaux sont d'intensités égales, mais en pratique il est peu probable qu'un tel cas particulier se présente (la lame séparatrice ne « sépare » pas parfaitement le faisceau incident en deux faisceaux d'intensités égales, car l'un des faisceaux rencontre trois fois la lame, contre une seule fois pour le faisceau « direct »).

3.3. Les faisceaux interfèrent de manière constructive lorsqu'ils sont en phase, et destructive lorsqu'ils sont en opposition de phase.

Choix a avec $\Delta t = kT$ correspond aux interférences constructives ;

Choix b avec $\Delta t = k\frac{T}{2}$ ne convient pas, car il correspond tantôt à des interférences constructives (k pair), tantôt aux interférences destructives (k impair) ;

Choix c avec $\Delta t = (2k+1)\frac{T}{2} = kT + \frac{T}{2}$ correspond aux interférences destructives ;

Choix d avec $\Delta t = (2k+1)T = 2kT + T$ correspond à une partie seulement des interférences constructives.

Finalement, seul le choix **c** convient.

Une autre manière de justifier consiste à partir du cours : lorsque les faisceaux interfèrent de manière destructive, la différence de marche vaut :

$$\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

et ceci en raison de la différence entre les deux chemins optiques empruntés par les deux faisceaux :

$$\delta = (\text{SABACAD}) - (\text{SAD})$$

Cette différence de marche δ permet de calculer le décalage temporel Δt entre les deux faisceaux. Dans le vide, la célérité de la lumière est constante et égale à c , nul besoin de faire intervenir l'indice du milieu ici ($n = 1$ pour le vide). Donc, en négligeant les durées ou les déphasages induits par la traversée ou la réflexion sur la lame semi-réfléchissante, le décalage Δt est relié à la différence de marche δ par :

$$\begin{aligned} c &= \frac{\delta}{\Delta t} \Leftrightarrow \Delta t = \frac{\delta}{c} \\ &\Rightarrow \Delta t = \frac{\left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda}{c} \\ &\Rightarrow \Delta t = \frac{(2k+1)\lambda}{2c} \\ \lambda &= cT \Rightarrow \Delta t = (2k+1)\frac{T}{2} \quad \text{c. q. f. d.} \end{aligned}$$

3.4.1. Voici les mots complétant la phrase à trous :

$$(1) \quad 2\Delta z \quad ; \quad (2) \quad \Delta t = T \quad ; \quad (3) \quad \Delta z = \frac{\lambda}{2}$$

Phrase complète :

« La durée t_1 du trajet S-A-D est constante. Pour une variation de hauteur du miroir tombant de Δz , la durée t_2 du trajet S-A-B-A-C-A-D varie de $2\Delta z$ à cause de l'aller-retour A-B-A du rayon lumineux. Entre deux interférences destructives consécutives, $\Delta t = t_2 - t_1$ varie de $\Delta t = T$. On en déduit donc que $\Delta z = \frac{\lambda}{2}$. »

On peut justifier succinctement : entre deux interférences destructives consécutives, il faut que la différence de chemin optique soit de λ . Comme la lumière fait l'aller-retour jusqu'au miroir, un déplacement de celui de $\frac{\lambda}{2}$ est suffisant.

3.4.2. La longueur d'onde du laser utilisé vaut $\lambda = 632,991357 \text{ nm}$. Calculons le nombre de demi-longueurs d'onde $\frac{\lambda}{2}$ dans 20 cm, en arrondissant le résultat à l'unité :

$$\frac{20 \times 10^{-2}}{\frac{632,991357 \times 10^{-9}}{2}} = 6 \times 10^5$$

Donc la proposition **a** est correcte : 6×10^5 interférences destructives détectées.

3.5. Les interférences destructives sont de plus en plus rapprochées dans le temps, car le miroir prend de plus en plus de vitesse, sous l'effet de l'accélération de la gravité terrestre. Ainsi, la distance $\frac{\lambda}{2}$ est parcourue en un temps de plus en plus court, et les interférences destructives sont détectées à des intervalles de temps de plus en plus courts.

3.6. Au premier intervalle entre deux interférences destructives, $n = 1$, la distance parcourue vaut :

$$z_1 = \frac{\lambda}{2} \quad \text{et} \quad z_1 = \frac{1}{2}gt_1^2$$

où on a supposé que $z_0 = 0$, miroir lâché immobile à l'origine. Au deuxième intervalle, $n = 2$, la distance parcourue vaut :

$$z_2 = 2\frac{\lambda}{2} \quad \text{et} \quad z_2 = \frac{1}{2}gt_n^2$$

On généralise facilement (il n'est peut-être pas indispensable de dégainer une démonstration par récurrence pour une chose aussi simple...) :

$$z_n = n \frac{\lambda}{2} \quad \text{et} \quad z_n = \frac{1}{2} g t_n^2$$

Et l'on en déduit la formule permettant de calculer g pour chaque valeur :

$$z_n = \frac{1}{2} g t_n^2 \Rightarrow g = \frac{2z_n}{t_n^2}$$

$$z_n = n \frac{\lambda}{2} \Rightarrow g = \frac{n\lambda}{t_n^2}$$

Pour déterminer g avec le plus de précision possible, il n'est pas forcément pertinent de calculer les 6×10^5 valeurs et de faire leur moyenne. Autant prendre la valeur de n le plus élevé, qui est un résultat entaché de la même erreur absolue que les autres, mais dont la valeur est n fois plus grande, donc n fois plus précise en erreur relative.

Cette analyse est d'ailleurs confirmée par les valeurs, puisque logiquement le nombre de chiffres significatifs avec lequel est donné la valeur de t_n augmente avec n : neuf chiffres significatifs pour $n = 1, 2$ et 3, dix chiffres significatifs pour $n = 1000$, onze chiffres significatifs pour $n = 10000$. Autrement dit, quand on multiplie le nombre n par dix, le nombre de chiffres significatifs augmente d'un, ce qui correspond bien à une précision multipliée par dix.

$$g = \frac{10000 \times 632,991357}{(2,5403331438 \times 10^{-2})^2}$$

$$g = 9,80881246 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Le nombre de chiffres significatifs du résultat est de neuf, avec un arrondi correct du résultat, car la longueur d'onde est donnée avec neuf chiffres significatifs ($n = 10000$ est censé être connu parfaitement, puisqu'il s'agit d'un dénombrement).

- 4.1.** La photodiode convertit une onde électromagnétique (typiquement, dans le domaine de la lumière visible ou le proche IR, voir en cela les figures 5.a ou 5.b) en un signal électrique.

Plus précisément, il ne s'agit pas d'un capteur qui va délivrer de l'électricité, mais plutôt d'un composant qui va laisser plus ou moins passer l'électricité en fonction de son éclairement.

- 4.2.** Avec une longueur d'onde $\lambda = 632,991357 \text{ nm}$, le laser est dans le domaine du visible, dans le rouge.
- 4.3.** La photodiode InGaAs (dont le semiconducteur est dopé par les éléments In Indium, Ga Gallium et As Ar-

senic) a une sensibilité certainement nulle à $0,6 \mu\text{m}$, selon la figure 5.a ; la longueur d'onde ne figure même pas dans son domaine spectral ! Il s'agit d'une photodiode typique pour les télécommunications par fibres optiques, pour lesquelles on utilise des diodes laser émettant dans l'infrarouge lointain, entre $1,3$ et $1,5 \mu\text{m}$, mais elle n'est pas adaptée à l'expérience présente.

La photodiode Si (à base de silicium, le semiconducteur le plus utilisé à l'heure actuelle) a une sensibilité de $0,29 \text{ A/W}$ (qui est l'intensité que la photodiode laisse passer par watt de rayonnement reçu), voir figure 5.b. Cette seconde diode est la seule qui soit adaptée.

- 4.4.** Nous avons vu que la durée entre deux interférences destructives n'est pas constante, voir question 3.5. Pour simplifier la première approche, nous allons considérer ces durées tout égales et simplement diviser le temps de mesure par le nombre d'interférences :

$$\frac{25 \times 10^{-3}}{10000} = 2,5 \times 10^{-6} \text{ s} = 2,5 \mu\text{s}$$

En seconde approche, on peut évaluer la vitesse du miroir au bout de $t = 25 \text{ ms}$, en se donnant $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, et en utilisant l'équation horaire trouvée pour la vitesse à la question 2.2 :

$$v = gt = 9,8 \times 25 \times 10^{-3} = 0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

En supposant cette vitesse quasiment constante entre $n = 9999$ et $n = 10000$, on peut estimer la durée Δt de ce dernier trajet, de longueur $\frac{\lambda}{2}$:

$$v \simeq \frac{\frac{\lambda}{2}}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t \simeq \frac{\frac{\lambda}{2}}{v} = \frac{\lambda}{2v}$$

$$\Delta t = \frac{632 \times 10^{-9}}{2 \times 0,25} = 1,3 \times 10^{-6} \text{ s} = 1,3 \mu\text{s}$$

Complément : sauriez-vous mener le calcul exact de Δt , sans approximation ?

- 4.5.** La fréquence de coupure du détecteur est indiquée à $f_c = 1000 \text{ MHz}$. Le détecteur peut donc descendre jusqu'à un temps de réponse T_c de :

$$T_c = \frac{1}{f_c} = \frac{1}{1000 \times 10^6} = 1,000 \times 10^{-9} \text{ s}$$

C'est trois ordres de grandeur au-dessus de la plus petite durée estimée entre deux interférences destructives, donc la photodiode est adaptée à ce type de mesures.

Exercice 2 – Des équilibres acido-basiques en milieu biologique

1.1. Le pK_A du couple (H_3PO_4/HPO_4^{2-}) est très certainement entre 6,8 et 7,0, puisqu'il s'agit du pH habituel du milieu intracellulaire, pH maintenu par la solution tampon « phosphate ».

1.2. La concentration en dioxyde de carbone dissout dans le sang dans les conditions normales de respiration vaut :

$$[CO_2] = \alpha p(CO_2)$$

$$[CO_2] = 0,030 \times 40 = 1,2 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$$

L'unité de pression (le millimètre de mercure, tel que 760 mmHg correspondent à la pression atmosphérique de $1,013 \times 10^5$ Pa, mesurée par un baromètre à mercure) ne pose pas de problème particulier, la constante α étant dans une unité « compatible. »

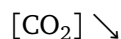
On utilise la formule proposée par l'énoncé dans sa grande mansuétude, pour le couple (CO_2/HCO_3^-) :

$$pH = pK_A + \log \frac{[HCO_3^-]}{[CO_2]}$$

$$pH = 6,1 + \log \frac{24}{1,2} = 7,4$$

Cette valeur correspond à celle du pH du sang et des fluides extracellulaires, dans les conditions normales.

2. Une hyperventilation va déplacer l'équilibre des gaz dissouts dans le sang, en augmentant la quantité de dioxygène O_2 dissout et en diminuant celle de dioxyde de carbone CO_2 . Ainsi, la concentration en dioxyde de carbone dans le sang diminue :



Par suite, le quotient des deux concentrations va augmenter, ainsi que le logarithme :

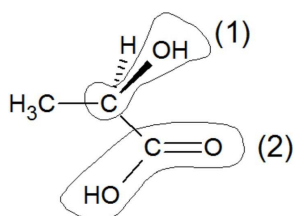
$$\frac{[HCO_3^-]}{[CO_2]} \nearrow \Rightarrow \log \frac{[HCO_3^-]}{[CO_2]} \nearrow$$

En effet, la concentration en ions hydrogénocarbonate $[HCO_3^-]$ varie lentement, par élimination rénale, donc c'est la baisse de la concentration en dioxyde de carbone dissout qui est l'effet dominant. Et donc finalement le pH augmente, puisque pK_A est une constante :

$$pH \nearrow$$

Ceci permet bien de compenser assez rapidement une acidification du sang.

3.1. (1) est un groupe hydroxyle, (2) est un groupe carboxyle :



Si vous répondez « alcool » et « acide carboxylique », vous n'avez pas les points ! Et votre représentation de Cram doit ressembler à quelque chose.

3.2.1. Par définition d'un acide fort, la réaction de dissociation est totale en faveur des produits, donc l'acide chlorhydrique est totalement dissocié dans l'eau, et :

$$[H_3O^+] = c = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot L^{-1}$$

Par définition du pH :

$$pH = -\log [H_3O^+]$$

$$pH = -\log (1,0 \times 10^{-2}) = 2,0$$

Par lecture graphique pour l'état initial $V = 0$ mL, on a $pH = 2,9$ pour la courbe 1 et $pH = 2,0$ pour la courbe 2. La courbe correspondant au dosage de l'acide chlorhydrique est donc la courbe 2.

3.2.2. À la demi-équivalence $V = \frac{V_E}{2}$, la moitié de la base titrante OH^- a été versée, consommant la moitié de l'acide faible titré $CH_3CHOHCOO^-$. Il reste donc la moitié de l'acide en solution, et la moitié ayant déjà été consommée s'est transformée en l'espèce basique conjuguée de l'acide lactique, l'ion lactate. Ainsi, il reste autant d'acide en solution qu'il est apparu de base conjuguée : les deux quantités des deux espèces conjuguées sont égales, et de même leurs concentrations, donc :

$$\frac{[CH_3CHOHCOO^-]}{[CH_3CHOHCOOH]} = 1$$

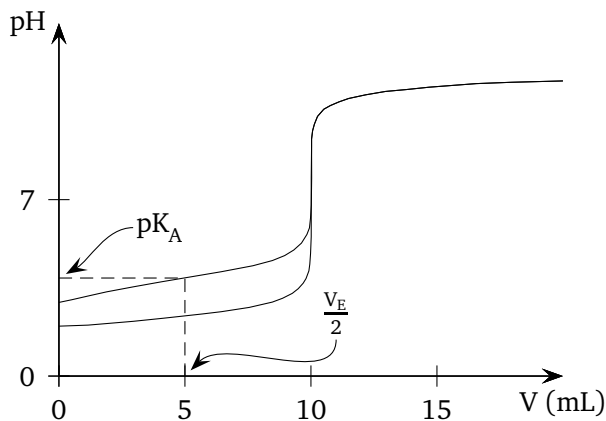
On remplace dans l'expression du pH proposée par l'énoncé :

$$pH = pK_A + \log \frac{[CH_3CHOHCOO^-]}{[CH_3CHOHCOOH]}$$

$$pH = pK_A + \log 1 = pK_A \quad \text{c. q. f. d.}$$

On peut donc obtenir une estimation du pK_A du couple titré par une lecture graphique du pH à la demi-équivalence $V = \frac{V_E}{2}$. Il faudrait dans un premier temps trouver le volume à l'équivalence V_E , par exemple par la méthode des tangentes ; les courbes théoriques dont on dispose ici ne laissent aucun doute quant au fait que $V_E = 10,0$ mL ;

Dans un second temps, la lecture graphique du pH pour $\frac{V_E}{2} = \frac{10,0}{2} = 5,0$ mL est :



$$\Rightarrow pK_A = 3,9$$

4.1. À l'équivalence, les réactifs du dosage ont été introduits en proportions stœchiométriques, donc ici puisque les coefficients stœchiométriques de l'équation de dosage valent tous un :

$$\begin{aligned} n_A &= n_B \Rightarrow c_A V_A = c_B V_E \\ c_A &= \frac{c_B V_E}{V_A} \\ c_A &= \frac{3,00 \times 10^{-2} \times 10,1}{20,0} \\ c_A &= 1,52 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

4.2.1. Incertitudes relatives de chacune des grandeurs :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta V_A}{V_A} &= \frac{0,05}{20,0} = 0,0025 = 0,25 \% \\ \frac{\Delta c_B}{c_B} &= \frac{0,01}{3,00} = 0,0033 = 0,33 \% \\ \frac{\Delta V_E}{V_E} &= \frac{0,3}{10,1} = 0,030 = 3,0 \% \end{aligned}$$

On constate bien effectivement que l'incertitude relative sur V_E est dix fois plus grande environ que toutes les autres incertitudes du problème :

$$\frac{\Delta V_E}{V_E} > 12 \frac{\Delta V_A}{V_A} \quad \text{et} \quad \frac{\Delta V_E}{V_E} > 9 \frac{\Delta c_B}{c_B}$$

Donc les incertitudes relatives de V_A et de c_B sont négligeables devant celle de V_E .

4.2.2. c_A s'exprime comme un produit (ou un quotient) des grandeurs c_B , V_E et V_A , donc son incertitude relative est la somme des incertitudes relatives des grandeurs citées :

$$c_A = \frac{c_B V_E}{V_A} \Rightarrow \frac{\Delta c_A}{c_A} = \frac{\Delta c_B}{c_B} + \frac{\Delta V_E}{V_E} + \frac{\Delta V_A}{V_A}$$

Or d'après la question précédente, les incertitudes relatives sur les grandeurs c_B et V_A sont négligeables devant celle pour V_E , donc :

$$\frac{\Delta c_A}{c_A} \simeq \frac{\Delta V_E}{V_E} \quad \text{c. q. f. d.}$$

L'incertitude absolue vaut donc, exprimée avec un seul chiffre comme de rigueur :

$$\begin{aligned} \Delta c_A &= \frac{\Delta V_E}{V_E} c_A \\ \Delta c_A &= 0,030 \times 1,52 \times 10^{-2} \\ \Delta c_A &= 0,05 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow c_A = (1,52 \pm 0,05) \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

4.2.3. Expérimentalement :

$$c_A = (1,52 \pm 0,05) \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Attendue :

$$c_A = (2,22 \pm 0,005) \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

On constate que l'encadrement de la concentration expérimentale et l'encadrement de la concentration attendue ne se superposent pas. Donc les valeurs ne sont pas cohérentes.

4.2.4. Voici quelques sources d'erreurs probables, par ordre décroissant de fréquence ! Pour cette question, on voulait trois réponses raisonnables.

- L'élève n'a pas repéré correctement l'équivalence lors du dosage colorimétrique : il a dépassé l'équivalence, en versant trop de solution ;
- L'élève n'a pas correctement préparé sa burette de solution titrante, par exemple avec une bulle d'air restée coincée en bas de la burette, un oubli du réglage du « zéro » de la burette ou une erreur de lecture du volume versé ;
- L'élève n'a pas correctement repéré le volume de la « prise d'essai », par exemple un oubli du deuxième trait sur une pipette jaugée à deux traits ou même une mesure du volume de cette prise d'essai peu précise, avec un bécher ou une éprouvette graduée au lieu de la pipette jaugée ;
- L'indicateur coloré utilisé pour le dosage colorimétrique ne convient pas, sa zone de virage ne contient pas le pH à l'équivalence et il faut choisir un autre indicateur coloré ;
- Les solutions utilisées pour le dosage sont frelatées ou simplement trop vieilles (la soude en particulier doit être fraîchement préparée, car elle se « carbonate », elle absorbe du dioxyde de carbone contenu en quelques parties par million dans l'air ambiant et ceci modifie son pH de manière substantielle).

1. Séismes

.../40

- ☐ GALILÉE : chute des corps, etc.
- ☐ $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ou $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- ☐ $\Delta g = 60 \text{ } \mu\text{Gal} = 6,0 \times 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- ☐ $\Delta g = 60 \text{ } \mu\text{Gal} = 6,0 \times 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- ☐ g avec neuf chiffres significatifs
- ☐ g avec neuf chiffres significatifs
- ☐ Chute libre donc il ne faut pas de frottement
- ☐ Chute libre donc il ne faut pas de frottement
- ☐ Bilan des forces
- ☐ Deuxième loi de Newton avec $\vec{p}$
- ☐ Projection de la deuxième loi
- ☐ Première intégration avec $v_0 = 0$
- ☐ Deuxième intégration avec $z_0 = 0$
- ☐ $z = \frac{1}{2} g t^2$
- ☐ Il faut mesurer la hauteur z et la durée t
- ☐ Superposition de deux ondes monochromatiques empruntant deux trajets différents, (SAD) et (SABACAD)
- ☐ Superposition de deux ondes monochromatiques empruntant deux trajets différents, (SAD) et (SABACAD)
- ☐ Destructives : I minimale, constructives : I maximale
- ☐ Destructives : I minimale, constructives : I maximale
- ☐ $c : (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$, justifié
- ☐ (1) : $2\Delta z$
- ☐ (2) : T
- ☐ (3) : $\Delta z = \frac{\lambda}{2}$
- ☐ a : Détection de 6×10^5 interférences destructives
- ☐ a : Détection de 6×10^5 interférences destructives
- ☐ Miroir accéléré donc durées de + en + courtes
- ☐ Miroir accéléré donc durées de + en + courtes
- ☐ $z(t_n) = n\frac{\lambda}{2}$
- ☐ $g = n\lambda/t_n^2$
- ☐ Valeur 10 000 car plus de chiffres significatifs
- ☐ $g = 9,80881246 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, bien avec 9 CS
- ☐ Photodiode : signal lumineux en signal électrique
- ☐ Domaine visible
- ☐ Seule la photodiode Si convient
- ☐ Seule la photodiode Si convient
- ☐ 2,5 μs entre deux interférences destructives
- ☐ 1,3 μs entre deux interférences destructives
- ☐ 1 ns de temps de réponse
- ☐ 1 ns de temps de réponse
- ☐ Donc photodiode suffisamment rapide

2. Équilibres biologiques

.../20

- ☐ pK_A entre 6,8 et 7
- ☐ $pH = 7,4$ calculé
- ☐ $pH = 7,4$ calculé
- ☐ Hyperventilation implique $[\text{CO}_2] \searrow$
- ☐ Par suite $pH \nearrow$, expliqué en détail
- ☐ Groupes hydroxyle et carboxyle entourés
- ☐ Acide fort donc dissociation totale
- ☐ $pH = 2$
- ☐ 1/2 acide consommé, 1/2 base formée, $pH = pK_A$
- ☐ Lecture graphique $pK_A = 3,9$
- ☐ Définition équivalence + $c_A = c_B V_E / V_A$
- ☐ $c_A = 0,0152 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- ☐ À 0,25 % et 0,33 % contre 3,0 %, calculées
- ☐ à 0,25 % et 0,33 % contre 3,0 %, calculées
- ☐ Donc bien négligeables
- ☐ $\Delta c_A / c_A = \Delta V_E / V_E$ justifié
- ☐ $c_A = 0,0152 \pm 0,0005 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- ☐ Pas de superposition, pas compatibles
- ☐ Trois erreurs probables minimum
- ☐ Trois erreurs probables minimum

Total

.../60

Note

.../20