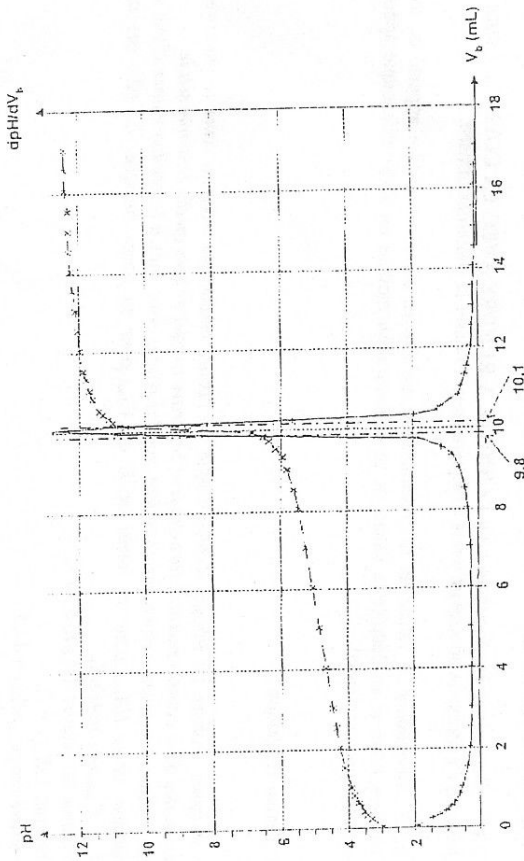


EXERCICE II

COURBE pH-MÉTRIQUE



TABLEAU

	Artichaut		Betterave	
$\frac{[A^-]_{eq}}{[HA]_{eq}}$	$V_b = 9,8 \text{ mL}$	$V_b = 10,1 \text{ mL}$	$V_b = 9,8 \text{ mL}$	$V_b = 10,1 \text{ mL}$
Couleur				

2005 National (6,5 points) Calculatrice interdite
EXERCICE III. LES INDICATEURS COLORÉS NATURELS DE LA CUISINE À LA CHIMIE

La première utilisation d'un indicateur coloré pour les tirages acido-basiques remonte à 1767 par W. Lewis. Il employait un extrait de tournesol (...).
On utilisait à l'époque des extraits de plantes qui changent de couleur avec l'acidité du milieu (...).
On peut en citer quelques-uns parmi les plus connus et les meilleurs

- l'artichaut (...)
- la betterave rouge (...)
- le chou rouge, de loin l'extrait le plus intéressant car sa couleur change nettement suivant la valeur du pH :

pH :	0-3	4-6	7-8	9-12	13-14
couleur	rouge	violet	bleu	vert	jaune

d'après Chimie des couleurs et des odeurs

1. Des indicateurs colorés en cuisine.

Le chou rouge est un légume riche en fibres et en vitamines, qui se consomme aussi bien en salade que cuit.
Mais la cuisson du chou rouge peut réserver des surprises: chou rouge et eau de cuisson deviennent rapidement bleus. Pour rendre au chou sa couleur violette, on peut ajouter un filet de citron ou du vinaigre.
Après avoir égoutté le chou, une autre modification de couleur peut surprendre le cuisinier: versée dans un évier contenant un détergent, l'eau de cuisson devient verte.

En utilisant les textes ci-dessus

1.1. Donner la propriété essentielle d'un indicateur coloré acido basique.

1.2. Préciser le caractère acide ou basique du vinaigre et du détergent.

2. Des indicateurs colorés pour les tirages.

De nos jours, les indicateurs colorés sont toujours largement utilisés pour les tirages. La pH-métrie est une autre technique de titrage acido-basique qui permet en outre de choisir convenablement un indicateur coloré acido-basique pour ces mêmes tirages.

Dans la suite de l'exercice, on s'intéresse au titrage de l'acide éthanoinique de formule $CH_3 - CO_2H$ (noté par la suite HA) contenu dans un vinaigre commercial incolore.

La base conjuguée de cet acide sera notée A⁻.

2.1. Dilution du vinaigre.

Le vinaigre commercial étant trop concentré pour être tiré par la solution d'hydroxyde de sodium disponible au laboratoire, on le dilue dix fois. On dispose pour cela de la verrerie suivante :

- Eprouvettes : 5 mL, 10 mL, 25 mL, 50 mL, 100 mL
- Pipettes jaugées : 1,0 mL, 5,0 mL, 10,0 mL, 20,0 mL, 50,0 mL
- Fioles jaugées : 150,0 mL, 200,0 mL, 250,0 mL, 500,0 mL

Choisir dans cette liste la verrerie la plus appropriée pour effectuer la dilution. Justifier.

2.2. Réaction de titrage.

On titre un volume $V_A = 10,0 \text{ mL}$ de la solution diluée de vinaigre par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (ou soude) de concentration molaire en soluté apporté $c_B = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. On ajoute un volume $V_{\text{eq}} = 60 \text{ mL}$ afin d'immerger les électrodes du pH-mètre après agitation. Le suivi pH-métrique de la transformation permet de construire la courbe fournie dans l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE.

Cette partie a pour but de vérifier que la transformation associée à la réaction de titrage est totale. Pour cela, on déterminera son taux d'avancement final pour un volume $V_B = 6,0 \text{ mL}$ de solution aqueuse d'hydroxyde de sodium versé.
Donnée : produit ionique de l'eau à 25°C $K_e = 10^{-14}$

2.2.1. Écrire l'équation associée à la réaction de titrage.

2.2.2. Pour $V_B = 6,0 \text{ mL}$, déterminer le réactif limitant.

2.2.3. Pour $V_B = 6,0 \text{ mL}$, déterminer l'avancement maximal x_{max} . On pourra s'aider d'un tableau d'avancement.

2.2.4. Après avoir relevé la valeur du pH du mélange obtenu, déterminer la quantité de matière d'ions hydroxyde restante après la transformation ($n_{\text{HC}}\text{, }f$) dans le volume total de mélange réactionnel.

2.2.5. Déterminer le taux d'avancement final et conclure.

2.3. Détermination par titrage de la concentration molaire en acide éthanoinique apporté du vinaigre.

2.3.1. Déterminer graphiquement sur l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE le volume de la solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence. Préciser la démarche utilisée.

2.3.2. Déterminer la valeur de la concentration molaire en acide éthanoinique apporté c_A dans le vinaigre dilué et en déduire la valeur de la concentration molaire en acide éthanoinique apporté c_0 du vinaigre commercial.

2.4. Retour historique ...

On souhaite réaliser un titrage colorimétrique de l'acide éthanoinique contenu dans le vinaigre dilué avec un des deux extraits naturels (arrichaut et betterave rouge) utilisés au dix-huitième siècle. Pour chaque indicateur coloré, on considère que les teintes sont dues à la prédominance d'une espèce chimique, notée HA_{ind} pour sa forme acide et A_{ind}^- pour sa forme basique. Le pK_A des couples $HA_{\text{ind}}/A_{\text{ind}}^-$ sera noté pK_A .

On donne les valeurs des pK_A à 25°C :

arrichaut : $(pK_A)_1 = 7,5$

betterave rouge : $(pK_A)_2 = 11,5$

pK_A	Arrichaut	Betterave
Teinte pour HA_{ind} dominant	7,5	11,5
Teinte pour A_{ind}^- dominant	incoloré	rouge
	jaune	jaune

2.4.1. En utilisant l'expression de la constante d'acidité K_A , montrer que la relation suivante est vérifiée :

$$\frac{[A_{\text{ind}}^-]_{\text{eq}}}{[HA_{\text{ind}}]_{\text{eq}}} = 10^{\text{pH} - \text{p}K_A}$$

On s'interroge sur les couleurs que prendrait le mélange réactionnel lors du titrage colorimétrique de l'acide éthanoinique en présence d'une petite quantité de l'un ou l'autre de ces extraits naturels.

2.4.2. La courbe pH-métrique montre que, pour $V_B = 9,8 \text{ mL}$, le pH de la solution est voisin de 6,5 et que, pour $V_B = 10,1 \text{ mL}$, il est voisin de 10,5.

Pour chaque extrait naturel et pour chacun de ces deux volumes V_B , déterminer la valeur du rapport $\frac{[A_{\text{ind}}^-]_{\text{eq}}}{[HA_{\text{ind}}]_{\text{eq}}}$ puis compléter la ligne correspondante du tableau de l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE.

2.4.3. En déduire les couleurs observées dans chaque cas. Compléter la ligne correspondante du tableau de l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE.

2.4.4. Conclure sur l'indicateur coloré le plus adapté pour ce titrage.

2.4.5. Pourquoi faut-il choisir un vinaigre incolore pour ce type de titrage ?

Exercice 1

Les 3 parties sont indépendantes. De nombreuses activités humaines demandent un repérage précis (latitude, longitude, altitude) sur le globe terrestre ou dans son voisinage. Actuellement, le Global Positioning System (GPS) a supplanté toutes les autres technologies permettant de repérer sur le globe terrestre, avec une précision voisine de 20 m, un mobile équipé d'un récepteur. Les différentes parties du problème portent sur les satellites et la mesure du temps. Elles s'appuient sur un texte paru dans la revue « La Recherche » dont les extraits sont donnés en caractères italiques.

1 Les satellites

« En avion, en voiture, en bateau, à pied, en montagne, dans le désert, par beau temps ou au milieu d'une tempête, le GPS donne tout à la fois la position géographique, l'altitude et l'heure exacte. Principe : au lieu d'utiliser des repères terrestres ou de suivre les étoiles, l'utilisateur, muni d'un récepteur, mesure la distance entre lui-même et au moins 4 des 24 satellites de la constellation Navstar. Le récepteur convertit ces distances pour retrouver la latitude, la longitude et l'altitude. Répartis sur six orbites circulaires inclinées de 55° par rapport à l'équateur, ces satellites évoluent à une altitude de 20 180 kilomètres. Avec une vitesse proche de 14 000 km.h⁻¹, ils accomplissent un tour du monde en 12 heures. Leur configuration mouvante a été calculée pour qu'au moins quatre d'entre eux soient toujours en vue (99,9% du temps) depuis n'importe quel endroit de la planète »

On rappelle que l'orbite des satellites est circulaire.

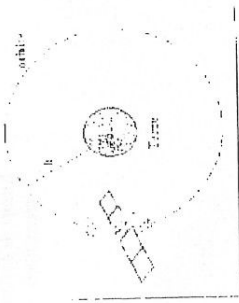
- Données :**
 Intensité de pesanteur : $g = 9,80 \text{ m.s}^{-2}$
 Masse de la Terre : $M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$
 Rayon de la Terre : $R_T = 6380 \text{ km}$
 Constante de gravitation : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.kg}^{-2}.\text{m}^2$

- 1.1. Quelle est l'expression vectorielle de l'accélération \vec{a}_G d'un satellite en fonction des données de l'énoncé ?
 Montrer que ce mouvement circulaire est uniforme.
- 1.2. Quelle est l'expression de sa vitesse en fonction de G , R_T , M_T , h dans un référentiel géocentrique ? (h est l'altitude du satellite)
- 1.3. Vérifier que la vitesse des satellites sur leur orbite et la période T de rotation, données dans le texte, sont compatibles avec l'altitude.
- 1.4. Un tel satellite est-il géostationnaire ? Justifier.

2. Les ondes

« Toutes les millisecondes, les satellites émettent des signaux codés sous forme d'ondes radio émises sur deux fréquences différentes (1,6 et 1,2 GHz) et dont la réception au sol va permettre de calculer la position. Un certain nombre de facteurs limite encore, et de façon systématique, la précision du GPS. Par exemple, puisque le signal GPS n'est émis que toutes les millisecondes, un récepteur mobile verra chuter la précision de ces mesures d'autant plus qu'il se déplace vite. Autre difficulté, nuisant à l'exactitude : les ondes ne se propagent pas à une vitesse constante dans la partie la plus haute de l'atmosphère, car celle-ci n'est pas homogène. Citons enfin la position géographique des quatre satellites utilisés par le récepteur : la mesure a d'autant plus de chances d'être faussée que les satellites visibles sont près de l'horizon. En effet, les signaux traversent alors une couche plus épaisse d'une atmosphère parfois non homogène. Tous ces éléments font que les récepteurs vendus aujourd'hui dans le commerce affichent une erreur standard de l'ordre de 20 mètres. Plus complexes encore, les récepteurs géodésiques (donnant une précision de l'ordre du centimètre) corrigent eux-mêmes les erreurs dues aux variations de la vitesse des ondes dans la partie la plus haute de l'atmosphère. Pour cela, ils enregistrent les deux signaux ... que chaque satellite émet simultanément ... Ces deux signaux se propagent à des vitesses légèrement différentes »

Les ondes radio sont des ondes électromagnétiques comme les ondes lumineuses et se propagent à la célérité $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ dans le vide.



2.1. Dans cette question, on négligera les perturbations dues au vent solaire sur le trajet des ondes.

- 2.1.1. Calculer les longueurs d'onde dans le vide des ondes émises par les satellites.
- 2.1.2. Quelle est la durée t mise par le signal pour aller du satellite S au récepteur R si le satellite est situé à la verticale de R à l'altitude de 20 180 km ?
- 2.1.3 Pour une mesure unique, l'erreur sur la distance verticale est de 20 m en standard. Calculer (en nanosecondes) l'erreur Δt sur la durée de propagation du signal. Comparer t et Δt et commenter.
- 2.1.4 Pour une série de N mesures, les lois de la statistique montrent que l'erreur est divisée par un facteur \sqrt{N} .
 Calculer N pour que l'erreur passe de 20 m à 20 cm.
 Le signal GPS étant émis toutes les millisecondes, calculer la durée nécessaire pour effectuer ces N mesures. Discuter l'intérêt d'une telle précision pour un récepteur mobile.
- 2.2. En fait, entre le récepteur et le satellite le signal traverse les couches successives de l'atmosphère et se propage alors à une célérité différente de c . La fréquence et la longueur d'onde du signal sont-elles modifiées lors de la traversée de l'atmosphère ? Justifier.
- 2.3. A quel phénomène ondulatoire fait allusion la dernière phrase du texte ?

3. Les horloges

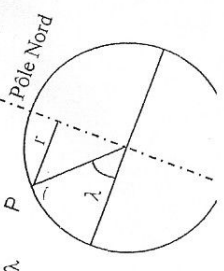
Avant l'invention du GPS, pour connaître leur longitude, les navigateurs comparaient l'heure locale (heure déterminée d'après la position du Soleil ou d'une étoile) et au même moment l'heure du méridien de Greenwich donnée par une horloge embarquée dans le navire. La précision de la position du navire dépendait de la précision de la mesure de cet écart horaire

Dans une horloge à balancier, pour une faible amplitude α , la période T vérifie la relation

$$T = T_0 \left(1 + \frac{\alpha^2}{16}\right) \text{ avec } T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \text{ où } l \text{ est la longueur du balancier et } g \text{ l'intensité du champ de pesanteur, } \alpha \text{ est en radian.}$$

- 3.1. Montrer, par analyse dimensionnelle, que $\sqrt{\frac{l}{g}}$ est homogène à une durée.
- 3.2. Quel écart relatif par rapport à T_0 observe-t-on sur la période de ce pendule lorsque l'amplitude est de 4° ?
- 3.3. Une horloge à balancier a une période $T_1 = 2,000 \text{ s}$ en un lieu où l'accélération de la pesanteur vaut $g_1 = 9,810 \text{ N.kg}^{-1}$.
 Quelle sera la période T_2 d'une horloge identique de même longueur en un lieu où $g_2 = 9,800 \text{ N.kg}^{-1}$ en conservant la même amplitude ?
- 3.4. Pourquoi une horloge à balancier ne convient-elle pas pour déterminer une longitude ?
- 3.5. En 1764, pour s'affranchir de cet inconvénient, John Harrison parvint à fabriquer une horloge utilisant un ressort spiral, qui après un voyage aller et retour entre Plymouth et La Barbade ne dévia pas de plus de 15 s en 156 jours.
 Calculer la précision de cette horloge.

3.6. A quelle distance, en kilomètres, calculée sur le parallèle de Plymouth, correspondent les 15 s de dérive observées lors du voyage de John Harrison ? La latitude de Plymouth est de 50° nord. On rappelle que la latitude λ d'un point P est l'angle entre le plan de l'équateur et la droite joignant P au centre de la Terre. Un parallèle est un cercle de rayon r à la surface de la Terre. Tous les points de ce cercle sont à la même latitude λ .



LE DIOXYDE DE CARBONE ATMOSPHERIQUE DE L'EFFET DE SERRE A LA RADIOCHRONOLOGIE

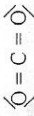
Note à l'attention du candidat : les trois parties du problème sont indépendantes.

Le dioxyde de carbone CO₂ entre dans la composition des gaz atmosphériques à hauteur de 0,04% en volume. Issus naturellement de la respiration du monde vivant – animal et végétal – sa présence dans l'atmosphère a régulièrement augmenté depuis environ 150 ans, ceci en raison des activités humaines, notamment industrielles. On sait maintenant que cette augmentation contribue à accroître l'effet de serre naturel de la Terre et contribue ainsi au réchauffement climatique global.

On se propose donc dans ce problème de comprendre pourquoi ce dioxyde de carbone est ce qu'on appelle couramment un « gaz à effet de serre ». On cherchera par la suite à voir comment ce même dioxyde de carbone atmosphérique permet indirectement la datation au carbone 14.

1. Vibration d'une molécule de dioxyde de carbone.

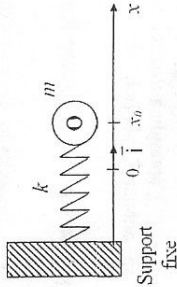
La molécule de dioxyde de carbone est une molécule linéaire dont la représentation de Lewis est la suivante :



Dans cette molécule, les atomes ne sont pas fixes, mais peuvent vibrer les uns par rapport aux autres. On peut ainsi modéliser cette molécule en considérant que les différents atomes de cette molécule sont des masses reliées entre elles par des ressorts, ressorts modélisant les deux liaisons chimiques. On aura ainsi le modèle suivant :



Pour simplifier davantage la mise en forme du problème, on considérera que seuls les atomes d'oxygène sont en mouvement unidirectionnel par rapport à l'atome de carbone, qui lui, reste fixe. L'étude sera donc portée sur le mouvement d'un seul atome d'oxygène, oscillant librement sans frottement par rapport à un support fixe. **L'action de la pesanteur est négligée dans ce problème.** Cette simplification conduit alors à une dernière modélisation représentée ci-dessous où le ressort de masse nulle a pour raideur k :



On se place dans un référentiel galiléen. On écarte la masse m de sa position d'équilibre ($x = 0$ sur le schéma) en lui donnant l'abscisse x_0 . La masse est alors abandonnée sans vitesse initiale.

1.1. Quelle est le nom de l'unique force mise en jeu dans ce problème compte tenu des simplifications de l'énoncé. Quelle est son expression littérale pour un allongement quelconque $x(t)$?

1.2. Sur la feuille fournie en ANNEXE (à rendre avec la copie) représenter cette force dans le cas où $x > 0$.

1.3. En appliquant une loi dont on donnera le nom, établir l'équation différentielle vérifiée par la position $x(t)$ de la masse m .

1.4. En considérant que l'expression $x(t) = x_0 \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$ est solution de cette équation différentielle, déterminer l'expression littérale de T , en fonction de k et m . Quel est le nom de cette grandeur ?

1.5. En déduire l'expression littérale de la fréquence f , des oscillations. Faire l'application numérique avec $k = 422 \text{ N.m}^{-1}$ et $m = 2,66 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$.

2. Dioxyde de carbone et effet de serre.

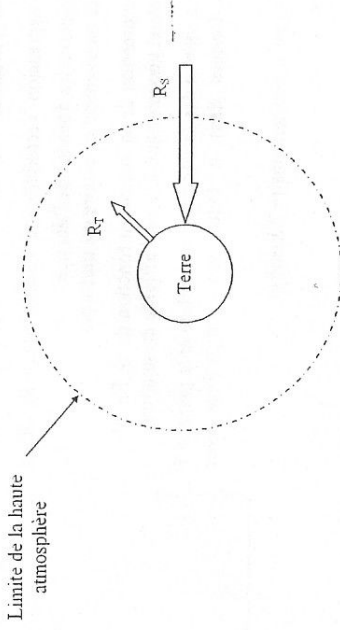
L'effet de serre est avant tout un phénomène naturel. Il permet à notre planète de maintenir une température moyenne à la surface du globe de 15°C. Sans celui-ci, cette température moyenne serait de l'ordre de -18°C. Il existe un effet de serre additionnel, dû à l'importance des rejets en dioxyde de carbone, qui risque de compromettre l'équilibre climatique.

Pour comprendre l'effet de serre, on retiendra la modélisation très simplifiée suivante :

- une énergie thermique R_s parvient à la surface de la Terre sous la forme de rayonnement électromagnétique solaire. Les fréquences de ces radiations sont principalement celles du spectre visible.

- la Terre recevant cette énergie doit la restituer vers l'espace. Cette restitution d'énergie R_r se fait sous la forme d'un rayonnement électromagnétique terrestre, essentiellement situé dans l'infrarouge. L'équilibre est assuré lorsque $R_s = R_r$.

- l'atmosphère peut alors jouer un rôle de couvercle pour ces radiations en absorbant les radiations R_r , retenant ainsi l'énergie émise par la Terre et la réémettant vers l'espace. Le dioxyde de carbone intervient dans ce processus



2.1. Rappeler sur un axe gradué en longueurs d'onde, les valeurs limites du spectre visible dans le vide, ainsi que les couleurs associées à ces limites. Ces valeurs limites seront données en micromètre (μm) et nanomètre (nm).

2.2. Nommer et situer les domaines de radiations situés au-delà de chacune de ces limites ?

2.3. Pour une onde électromagnétique dans le vide, quelle relation littérale relie sa longueur d'onde λ , sa fréquence f et sa célérité c ?

Par la suite on considérera $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Pour comprendre les vibrations de la molécule de dioxyde de carbone, il faut considérer qu'elle absorbe certaines radiations électromagnétiques susceptibles de la mettre en mouvement vibratoire. Si la fréquence du rayonnement électromagnétique est la même que sa fréquence propre de vibration mécanique, alors il y a absorption de ce rayonnement.

$\lambda_{\text{max}} f_0 = 200 \times 10^{-13} \text{ Hz}$ Déterminer ...

- 2.4. La fréquence propre de l'oscillation électromagnétique correspondant que peut absorber le ... la longueur d'onde λ_0 du rayonnement électromagnétique correspondant que peut absorber le ... carbone. On mettra la valeur calculée en micromètre.
- 2.5. Dans quelle gamme du spectre de la question 2.1 se situe la longueur d'onde calculée ?
- 2.6. Expliquer alors pourquoi le dioxyde de carbone atmosphérique peut piéger l'énergie thermique émise par la surface terrestre.

3. Des pingouins à Marseille !

On se propose dans cette dernière partie d'expliquer comment le dioxyde de carbone atmosphérique permet indirectement de comprendre le principe bien connu de datation au carbone 14.

Dans la haute atmosphère un atome d'azote du diazote atmosphérique N_2 est soumis à un rayonnement de neutrons. Lorsqu'un neutron entre en collision avec un atome d'azote, il s'en suit la formation d'un atome de carbone 14 et d'une autre particule que l'on nomme X.



On a ainsi l'équation suivante :

- 3.1. Énoncer les lois de conservation relatives à une transformation nucléaire. En déduire l'identité de la particule X produite lors de cette collision.

L'atome de carbone 14 ainsi produit se retrouve dans une molécule de dioxyde de carbone CO_2 . Cette molécule peut alors être assimilée par un organisme végétal grâce à la photosynthèse. Tant que l'organisme est vivant, sa teneur en carbone 14 par rapport à l'isotope majoritaire carbone 12 reste constante. C'est à la mort de l'organisme que ce taux diminue en raison du caractère radioactif du carbone 14.

- 3.2. Qu'est-ce qu'un noyau radioactif ? Citer les quatre types d'émissions qui caractérisent la radioactivité.
- 3.3. Sachant que le carbone 14 présente une radioactivité β^- , écrire l'équation traduisant sa désintégration.

En 1991, un plongeur amateur découvre près de Marseille l'ouverture d'une grotte sous-marine située à 37 m sous le niveau de la mer (la grotte COSQUER du nom de son découvreur). En remontant la grotte, il y trouva des cavités présentant des peintures rupestres, avec entre autres animaux des pingouins ! L'analyse du charbon ayant servi à ces peintures montre que le taux de carbone 14 présent n'est que de 9,20% par rapport à celui trouvé dans un organisme vivant.

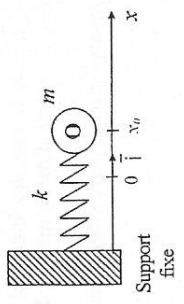
On donne la demi-vie du carbone 14 à savoir $t_{1/2} = 5370 \text{ ans}$.

- 3.4. Rappeler la définition de la demi-vie. On rappelle également la loi de décroissance radioactive : $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ avec $\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$.
- 3.5. Quel nom donne-t-on à la constante λ ? Quelle est son unité compte tenu des données de l'énoncé ?
- 3.6. D'après le taux de carbone 14 donné, que vaut le rapport $\frac{M(14)}{M(12)}$?
- 3.7. Quel est alors l'âge de ces peintures ?

On sait aujourd'hui que l'accroissement de l'effet de serre lié aux activités humaines risque de compromettre l'équilibre climatique pour le siècle à venir. Un des risques majeurs serait une augmentation de la température moyenne à la surface de la Terre, avec entre autres conséquences une fonte partielle des glaces polaires.

- 3.8. Que peut traduire la présence de ces animaux dans ces grottes quant au climat de cette époque ? Pourquoi la grotte était-elle alors accessible aux hommes ?

ANNEXE :



Partie A: Étude d'un séisme.

Lors d'un séisme, la Terre est mise en mouvement par des ondes de différentes natures, qui occasionnent des secousses plus ou moins violentes et destructrices en surface.

On distingue:

- les **ondes P**, les plus rapides, se propageant dans les solides et les liquides.
 - les **ondes S**, moins rapides, ne se propageant que dans les solides.
- L'enregistrement de ces ondes par des sismographes à la surface de la Terre permet de déterminer l'épicentre du séisme (lieu de naissance de la perturbation).
Les schémas A et B modélisent la progression des ondes sismiques dans une couche terrestre.

- A.1. Les ondes P, appelées aussi ondes de compression, sont des ondes longitudinales.
Les ondes S, appelées aussi ondes de cisaillement, sont des ondes transversales.

A.1.1. Définir une onde transversale.

A.1.2. Indiquer le schéma correspondant à chaque type d'onde.

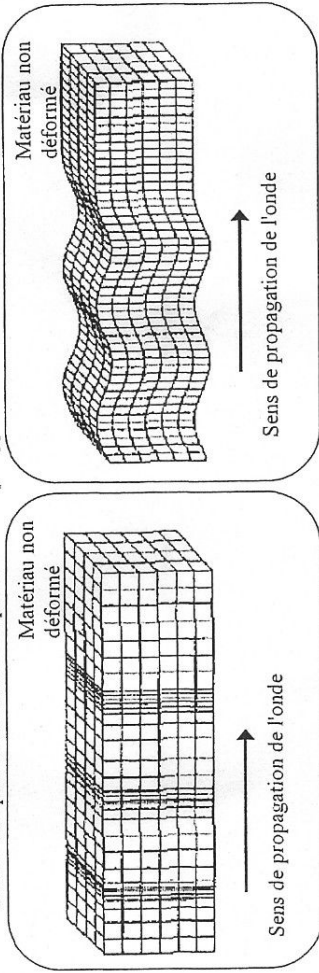
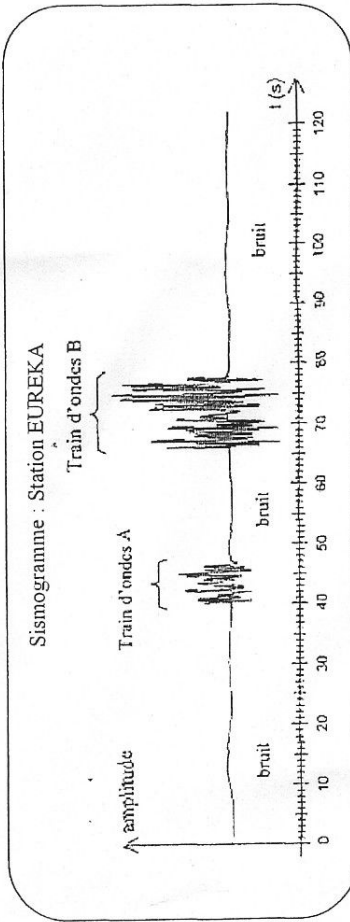


Schéma A

Schéma B

A.2. Un séisme s'est produit à San Francisco (Californie) en 1989.

Le document ci-dessous présente le sismogramme obtenu, lors de ce séisme à la station EUREKA



Le sismogramme a été enregistré à Eureka, station sismique située au nord de la Californie. L'origine du repère ($t = 0$ s) a été choisie à la date du début du séisme à San Francisco.

Le sismogramme présente deux trains d'ondes repérés par A et B.

A.2.1. À quel type d'onde (S ou P) correspond chaque train? Justifier votre réponse à l'aide du texte d'introduction.

A.2.2. Sachant que le début du séisme a été détecté à Eureka à 8 h 15 min 20 s TU (Temps Universel), déterminer l'heure TU (h ; min ; s) à laquelle le séisme s'est déclenché à l'épicentre.

A.2.3. Sachant que les ondes P se propagent à une célérité moyenne de 10 km.s^{-1} , calculer la distance séparant l'épicentre du séisme de la station Eureka.

A.2.4. Calculer la célérité moyenne des ondes S.

Partie B : oscillateur mécanique susceptible d'être excité par une onde sismique longitudinale.

L'onde sismique longitudinale est modélisée par une onde sinusoïdale d'amplitude A_S et de période T_S qui se propage suivant une direction horizontale.

On peut considérer que cette onde agit sur un oscillateur mécanique horizontal et provoque des oscillations horizontales d'amplitude A et de période T.

On cherche à savoir comment l'amplitude A_S et la période T_S de l'onde sinusoïdale vont agir sur l'amplitude et la période des oscillations de l'oscillateur mécanique.

On étudie le comportement de l'oscillateur horizontal dans différentes situations.

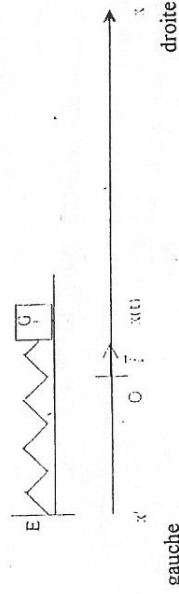
B.1. Oscillateur libre :

L'oscillateur mécanique horizontal est constitué d'un ressort de constante de raideur k et d'un solide de masse m. La masse du ressort est négligeable devant la masse m du solide.

L'extrémité E du ressort est fixe. L'autre extrémité est accrochée au solide.

L'ensemble se déplace sur une surface plane et horizontale comme schématisé ci-dessous :

Schéma de l'oscillateur horizontal en mouvement.



Le centre d'inertie G du solide est repéré sur un axe horizontal $x'x$ d'origine O par l'abscisse $x(t)$.

Le point d'origine O correspond à la projection de la position de G à l'équilibre du système solide - ressort au repos.

Tous les frottements sont négligés.

Dans ces conditions, on détermine le mouvement du solide.

B.1.1. Donner le nom des forces qui s'exercent sur le solide lorsqu'il occupe sa position d'équilibre. Faire un schéma illustrant la réponse.

B.1.2. Le système étant mis en oscillation, donner le nom des forces qui s'exercent sur le solide à un instant t , date à laquelle l'élongation du centre d'inertie est $x(t)$. Faire un schéma illustrant la réponse en considérant $x(t) > 0$.

B.1.3. En appliquant la deuxième loi de Newton au solide, écrire l'équation différentielle du mouvement du centre d'inertie.

La solution de l'équation différentielle est de la forme : $x(t) = x_{\max} \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} t + \phi_0\right)$ et correspond au mouvement du centre d'inertie de l'oscillateur.

B.1.4. Donner le nom, la signification et l'unité des grandeurs dans le système d'unités internationales (SI) qui interviennent dans cette équation : x_{\max} , T_0 , t et ϕ_0 .

B.1.5. Donner l'expression de la période propre de l'oscillateur en fonction de la constante de raideur k et de la masse m .

B2. Pour étudier les facteurs qui pourraient influencer sur la période de l'oscillateur, on réalise plusieurs expériences.

Expérience 1 : $m = 250$ g et $k = 10$ N.m⁻¹

On écarte l'oscillateur de 5 cm vers la droite et à l'instant $t = 0$, on le lâche sans vitesse initiale. Un système d'acquisition permet d'enregistrer la courbe $x(t)$. Celle-ci est reportée sur le graphe 1.

Expérience 2 : $m = 250$ g et $k = 10$ N.m⁻¹

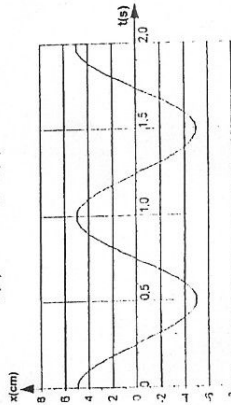
On écarte l'oscillateur de 5 cm vers la droite et à l'instant $t = 0$, on le lance vers la gauche avec une vitesse initiale non nulle. Le système d'acquisition permet d'enregistrer une nouvelle courbe $x(t)$. Celle-ci est reportée sur le graphe 2.

Expérience 3 : $m = 250$ g et $k = 10$ N.m⁻¹

On écarte l'oscillateur de 7 cm vers la droite et à l'instant $t = 0$, on le lâche sans vitesse initiale. Le système d'acquisition permet d'enregistrer une nouvelle courbe $x(t)$. Celle-ci est reportée sur le graphe 3.

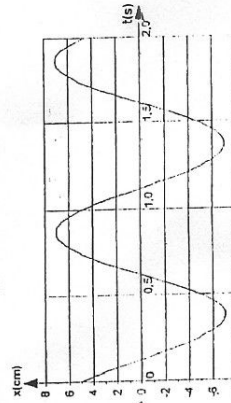
Graphe 1

$x_0(1) = 5$ cm, $v_0(1) = 0$



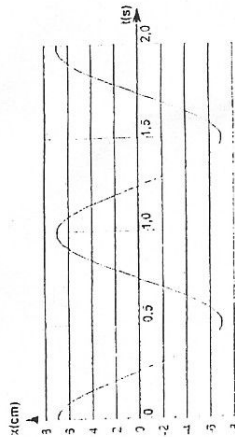
Graphe 2

$x_0(2) = 5$ cm, $v_0(2) < 0$



Graphe 3

$x_0(3)$, $v_0(3)$ à déterminer



Questions :

B.2.1. La période des oscillations déterminée graphiquement pour les expériences 1, 2 et 3 est d'environ 1 s. Vérifier par le calcul la valeur de T_0 .

B.2.2. Les conditions initiales (x_0 et v_0) pour les expériences 1 et 2 étant données, déterminer celles de l'expérience 3, notées $x_0(3)$ et $v_0(3)$.

B.2.3. La période de l'oscillateur dépend-elle des conditions initiales de mise en oscillation ? Justifier votre réponse avec les graphes.

B.2.4. Pour chacune des expériences 1, 2 et 3 précédentes, déterminer graphiquement l'amplitude des oscillations. En utilisant les conditions initiales indiquées ou déterminées à la question B.2.2. pour ces 3 expériences.

B.2.4.1 Préciser si l'amplitude dépend de la vitesse initiale.

B.2.4.2 Préciser si l'amplitude dépend de l'élongation initiale.

B.3. Pour étudier les facteurs qui pourraient influencer sur l'amplitude du mouvement de l'oscillateur, on réalise de nouvelles expériences.

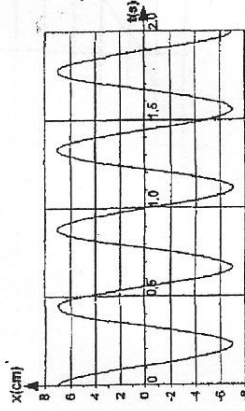
Expérience 4 : On modifie la masse, $m = 50$ g et $k = 10$ N.m⁻¹

On écarte l'oscillateur de 7 cm vers la droite et à l'instant $t = 0$, on le lâche sans vitesse initiale. Le système d'acquisition permet d'enregistrer une nouvelle courbe $x(t)$. Celle-ci est reportée sur le graphe 4.

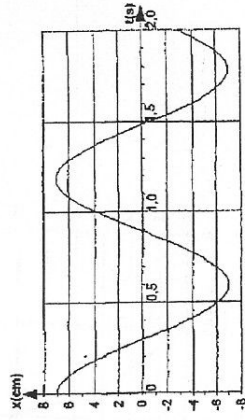
Expérience 5 : $m = 250$ g, on modifie la constante de raideur $k = 7$ N.m⁻¹

On écarte l'oscillateur de 7 cm vers la droite et à l'instant $t = 0$, on le lâche sans vitesse initiale. Le système d'acquisition permet d'enregistrer une nouvelle courbe $x(t)$. Celle-ci est reportée sur le graphe 5.

Graphe 4



Graphe 5



Question :

Pour chacune des expériences 4 et 5 l'amplitude des oscillations est de 7 cm. Déterminer graphiquement la valeur de la période de l'oscillateur pour chaque expérience.

L'amplitude des oscillations dépend-elle de la période de l'oscillateur ?

B.4. Oscillateur élastique soumis à des oscillations forcées :

L'oscillateur élastique est soumis à des oscillations provoquées par un système extérieur appelé excitateur. L'excitateur oscille avec une période T_E et une amplitude A_E .

On considère l'oscillateur élastique constitué du solide de masse $m = 250$ g et du ressort de constante de raideur $k = 10$ N.m⁻¹.

Après un régime transitoire, l'oscillateur atteint un régime d'oscillations sinusoïdales de période T . Pour étudier les facteurs qui influent sur la période et l'amplitude on réalise trois autres expériences.

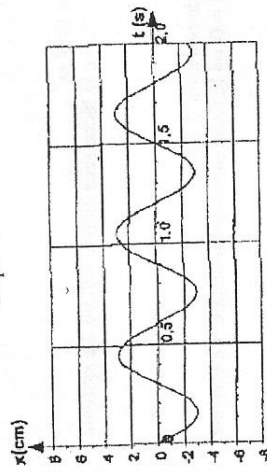
Expérience 6 : période de l'excitateur $T_E = 0,60$ s, amplitude de l'excitateur $A_E = 5$ cm. Après le régime transitoire, le système d'acquisition permet d'enregistrer pour l'oscillateur élastique une nouvelle courbe $x(t)$. Celle-ci est reportée sur le graphe 6.

Expérience 7 : On modifie la période de l'excitateur; on conserve l'amplitude A_E . Après le régime transitoire on mesure la période de l'oscillateur élastique en fonction de la période de l'excitateur. On obtient le graphe 7 : $T = f(T_E)$.

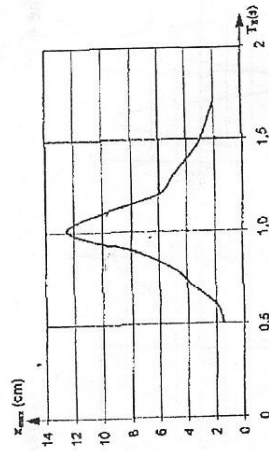
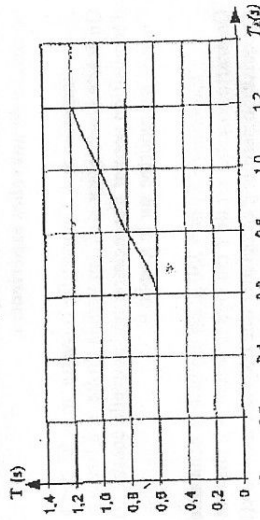
Expérience 8 : On modifie la période de l'excitateur, on conserve l'amplitude A_E . On mesure l'amplitude de l'oscillateur élastique en fonction de la période de l'excitateur.

On obtient le graphe 8 : $X_{max} = f(T_E)$.

Graphe 6



Graphe 7



Graphe 8

Questions :

B.4.1. En utilisant le graphe 6, déterminer l'amplitude X_{max} et la période T de l'oscillateur élastique. Comparer ces valeurs respectivement à A_E et T_E .

B.4.2. Quel renseignement sur la période de l'oscillateur élastique nous donne le graphe de l'expérience 7? Justifier en utilisant ce graphe.

B.4.3. Quel phénomène le graphe de l'expérience 8 met-il en évidence ? Évaluer graphiquement la période caractéristique T_R de ce phénomène. Comparer à la période propre T_0 de l'oscillateur élastique calculée à la question 2.1.

B.5. Oscillateur soumis à une onde sismique longitudinale.

L'onde sismique longitudinale est assimilée à une excitation sinusoïdale de période constante T_S et d'amplitude constante A_S .

B.5.1. L'oscillateur est dans le plan horizontal. Pour que l'excitation de l'oscillateur soit maximale, quelle doit être la direction privilégiée de l'onde sismique longitudinale?

B.5.2. L'oscillateur est soumis à l'onde sismique de période T_S et d'amplitude A_S .

B.5.2.1. Après le régime transitoire, quelle sera la période T des oscillations de l'oscillateur soumis à l'onde sismique de période T_S ?

B.5.2.2. En utilisant le graphe de l'expérience 8, que peut-on dire de l'amplitude des oscillations de l'oscillateur pour une même amplitude A_S de l'onde sismique :

a) si la période de l'onde sismique est égale à la période propre de l'oscillateur ?

b) si la période de l'onde sismique est supérieure ou inférieure à la période propre de l'oscillateur?