SUP MPSI 2 **3 mars 2023.**

# DEVOIR SURVEILLE DE SCIENCES PHYSIQUES N°6 (3h00)

**Tout moyen de communication est interdit**

**Les téléphones portables doivent être éteints et rangés dans les sacs.**

**Les calculatrices sont autorisées.**

*Le devoir est composé de trois exercices et d’un problème**indépendants.*

**EXERCICE 1 :** Structure de la matière.

**EXERCICE 2 :** Généralités sur une molécule de monoxyde de carbone.

**EXERCICE 3**: Etude d’une descente de toboggan aquatique.

**PROBLEME :**Particule dans des champs  et **.**

*A l’intérieur des problèmes, certaines questions sont indépendantes.*

*L’étudiant est invité à prendre connaissance de la totalité du sujet avant de commencer sa composition.*

*L’ordre dans lequel seront abordées les différentes questions est laissé au choix de l’étudiant, mais le numéro complet de la question devra être mentionné sur la copie et le correcteur appréciera qu’une partie soit traitée dans sa continuité.*

*Une attention particulière sera portée à la* ***qualité de la rédaction*** *(vocabulaire, orthographe…) et* ***à la présentation de la copie*** *(numérotation des questions, encadrement des expressions littérales et soulignement des applications numériques…).*

*Et il est indispensable de* ***numéroter vos copies****.*

*Les résultats numériques doivent être accompagnés d’une unité et présentés avec le bon nombre de chiffres significatifs.*

*Une minoration pouvant aller jusqu’à 2 points pourra être appliquée en cas de travail négligé.*

**Programme de révision de ce devoir :**

**Toute la mécanique du premier semestre (jusqu’à mécanique 4 compris) et toute la partie structure de la matière de SUP MPSI.**

**La classification périodique des éléments est fournie en annexe page 6.**

**EXERCICE 1 :** Structure de la matière :  ***(pts)***

***Les deux parties sont totalement indépendantes.***

I – Etude de l’élément sodium :

Dans la classification périodique des éléments, les indications fournies à propos du sodium sont .

**Q1.** Quelle est la composition de cet atome ?

A partir de la position du sodium dans la classification périodique, expliquer comment on obtient sa configuration électronique externe (ou de valence) ? Quel est alors son schéma de Lewis ?

A quelle famille appartient-il ? Donner au moins une propriété physique ou chimique de cette famille.

**Q2.** Quel est l’ion monoatomique formé par le sodium ? Justifier.

II - Etude structurale de l’oxygène et l’ozone :

Le numéro atomique de l’élément oxygène est 𝑍 = 8.

**Q3.** Donner la configuration électronique de valence de l’atome d’oxygène dans son état fondamental. Quel est son schéma de Lewis ?

L’oxygène existe sous trois isotopes stables de nombres de masse respectifs 16, 17 et 18.

**Q4.** Rappeler la définition du terme « isotope » et préciser la composition du noyau de chacun des isotopes de l’oxygène. Justifier que les propriétés chimiques de deux isotopes sont identiques.

**Q5.** La masse molaire moyenne de l’oxygène est 15,9994 g⋅mol–1. Sachant que l’abondance de l’isotope 17O est de 0,037 %, déterminer les abondances des isotopes 16O et 18O de l’oxygène.

Dans la suite, dans tous les schémas de Lewis demandés, la règle de l’octet est satisfaite pour tous les atomes.

**Q6.** Donner le schéma de Lewis de la molécule de dioxygène O2.

L’ozone O3 est une molécule polaire de moment dipolaire 0,533 D. Le caractère polaire de cette molécule se traduit, dans l’écriture de son modèle de Lewis, par la présence de charges positives et négatives respectivement liées à la présence de lacunes électroniques ou d’électrons non appariés sur au moins deux atomes de cette molécule.

**Q7.** Donner le schéma de Lewis de cette molécule si elle était cyclique. Serait-elle alors polaire ?

**Q8.** Proposer deux formules de Lewis équivalentes rendant compte des propriétés de la molécule d’ozone. Proposer une description de la géométrie de cette molécule. Préciser l’ordre de grandeur de l’angle. La dessiner.

**Données :**

|  |  |
| --- | --- |
| Masse molaire de 16O | 15,99491 g⋅mol−1 |
| Masse molaire de 17O | 16,99914 g⋅mol−1 |
| Masse molaire de 18O | 17,99916 g⋅mol−1 |

**EXERCICE 2 :** Généralités sur une molécule de monoxyde de carbone :**(*pts)***

*Le monoxyde de carbone est un gaz incolore, inodore, insipide et non irritant, indétectable par les*[*mammifères*](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mammif%C3%A8re)*bien que particulièrement toxique.*

*Chez l'*[*être humain*](https://fr.wikipedia.org/wiki/Homo_sapiens)*, il est la cause de nombreuses*[*intoxications*](https://fr.wikipedia.org/wiki/Intoxication_au_monoxyde_de_carbone)*domestiques, parfois mortelles. Son émanation, provenant d'une combustion incomplète de composés carbonés, est accentuée par une mauvaise alimentation en air frais et/ou une mauvaise évacuation des produits de combustion*

***Les deux parties sont totalement indépendantes.***

**I – Etude structurale :**

La molécule de monoxyde de carbone CO est constituée d’un atome d’oxygène (*Z =*8) et d’un atome de carbone (*Z =*6).

**Q1 -** Donner la configuration électronique de valence de l’atome de carbone dans son état fondamental, ainsi que son schéma de Lewis. Expliquer pourquoi le carbone peut être tétravalent.

**Q2 -** Quels sont les deux isotopes du carbone les plus répandus sur Terre ? Ecrire leur représentation symbolique.

**Q3 -** Proposer une structure de Lewis possible pour la molécule de monoxyde de carbone, dans laquelle la règle de l’octet est satisfaite pour les deux atomes. On fera intervenir des charges partielles si nécessaire.

**Q4** - Comment évolue l’électronégativité d’un élément au sein d’une période du tableau périodique ?

La formule de Lewis proposée par vos soins est-elle alors en accord avec les électronégativités du carbone et de l’oxygène ?

**Q5 -** En vous basant sur la formule de Lewis de la question Q3, représenter le moment dipolaire de CO, puis donner la formule littérale du module de ce moment dipolaire : on notera *d* la distance entre les atomes de carbone et d’oxygène et *e* la valeur absolue de la charge de l’électron. On précisera son unité en chimie.

**Q6 –** Lors de la dissolution du monoxyde de carbone dans l’eau, déterminer, en argumentant votre réponse, la nature physico-chimique des interactions intermoléculaires entre les molécules de soluté et celles du solvant.

**II - Etude mécanique :**

Une molécule de monoxyde de carbone CO est modélisée par respectivement deux masses ponctuelles pour l’atome de carbone et pour l’atome d’oxygène. On supposera que l’atome de carbone est fixe dans un référentiel galiléen, et que l’atome d’oxygène ne peut subir que des déplacements rectilignes le long d’un axe (*Ox*) avec *x* > 0. On néglige la gravitation.

L’énergie potentielle d’interaction des deux atomes peut alors être modélisée par l’équation empirique de Morse : où *x* est la distance entre les deux noyaux et où E0, et des constantes positives telles que .

**Q7** – Quelle est la dimension de  ?

**Q8 –** Etudier les positions d’équilibre du système et conclure quant à leur stabilité ; On montrera, en particulier, que .

**Q9 -** Tracer l’allure du graphe EP (*x*) pour *x* > 0, en faisant bien apparaitre et . On rappelle que .

**Q10 –** Discuter qualitativement de la nature du mouvement selon la valeur de l’énergie mécanique. On expliquera la démarche. Que représente physiquement ?

**Q11 –** Déterminer l’équation différentielle du mouvement de l’atome d’oxygène, pour des oscillations **de faible amplitude autour de la position d’équilibre**. On pourra poser . En déduire la fréquence des petites oscillations en fonction de , et .

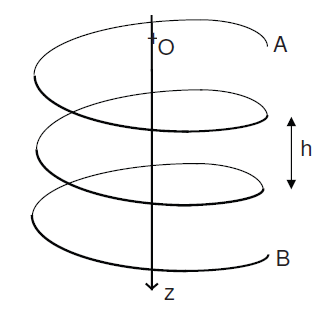
**Q12 –** Préciser le sens de la force associée à cette énergie potentielle en fonction de la valeur de . On traitera deux cas.

**EXERCICE 3 :** Etude d’une descente de toboggan aquatique : ***(pts)***



*Nous sommes en été et un enfant dévale un toboggan aquatique*

*Cette partie s’intéresse à l’étude de ce mouvement.*



Le toboggan est représenté sur la figure ci-contre :

Pour l’étude du mouvement, on propose le modèle suivant :

* L’enfant de masse = 50 kg est assimilé à un point matériel M.
* Le toboggan, de forme hélicoïdale, débute en A et se termine en B après 3 tours exactement ; il s’enroule sur un cylindre vertical de rayon = 5 m.
* **On néglige tout frottement**.
* A chaque tour complet, l’enfant descend d’une hauteur .

Le point M, initialement immobile en A, est repéré par ses coordonnées cylindriques ( , étant la cote du point M sur l’axe de symétrie de la trajectoire, choisi **vertical descendant**.

L’origine O de l’axe est choisie à l’intersection de cet axe et du plan horizontal passant par A.

On donne l’accélération de la pesanteur = 10 m.s-2.

On note la base locale orthonormée directe associée au système des coordonnées cylindriques.

**Q1**. Les équations de la trajectoire sont données par les relations : et où est une constante positive. Exprimer en fonction de .

**Q2.** Exprimer le vecteur position et le vecteur vitesse du point M en fonction de  ; et et de la dérivée temporelle si besoin et des vecteurs de la base cylindrique nécessaires.

**Q3.** Montrer que l’énergie mécanique de l’enfant peut se mettre sous la forme : , où et sont des constantes à expliciter en fonction de , , et .

**Q4.** Déterminer la vitesse de l’enfant en sortie de toboggan en fonction de et .

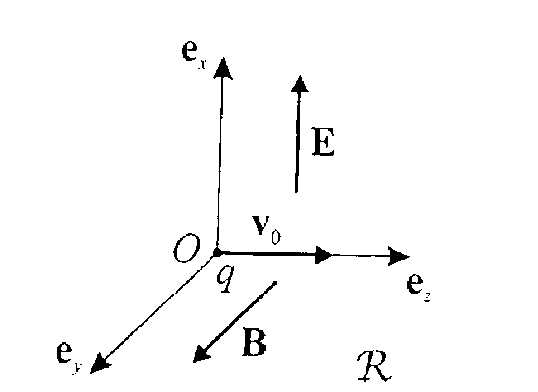
**Q5.** Déterminer l’équation différentielle satisfaite par et en déduire la durée de la descente en fonction de , et .

**Q6.** Si on prend en compte une force de frottement de norme constante tangente au toboggan, exprimer l’énergie perdue par l’enfant au cours de la descente, en fonction de , et .

**PROBLEME :** Particule dans des champs  et **:** ***(pts)***

***Les questions Q1, Q2 et Q3 sont largement indépendantes.***

Un électron de charge = - 1,6.10 -19 C et de masse = 9,1.10 -31 kg, assimilé à un point matériel , évolue dans le référentiel ℜ du laboratoiresupposé galiléen et muni d'un repère cartésien : , sous l'action d'un champ électrique et magnétique , tous deux uniformes et stationnaires.



On désigne par , et les coordonnées cartésiennes de dans la base cartésienne et par

la vitesse initiale de telle que

500 km.s -1 (cf figure ci-contre).

A t = 0, la particule est en O.

On place en 10 cm un écran d'observation parallèle au plan destiné à intercepter .

**Q1.** Dans le cas particulier où , et V.m-1, déterminer l'abscisse de sur l'écran en fonction de , , , et , puis la calculer (en cm).

**Q2.**  Dans le cas particulier où , et T,

**2.a -** Montrer que la vitesse de la particule reste constante et égale à .

**2.b -** On pose . Ecrire les équations différentielles en , et . Dans quel plan a lieu le mouvement ? Justifier.

**2.c –** Résoudre les équations couplées par la méthode intégration / substitution.

**2.d -** Cette trajectoire est un cercle de centre et de rayon .

Exprimer et les coordonnées du centre en fonction de et , puis calculer.

**2.e -** Faire un schéma de la trajectoire dans le plan et positionner l'écran.

En déduire l'expression de l'abscisse  de sur l'écran, en fonction de et , puis la calculer.

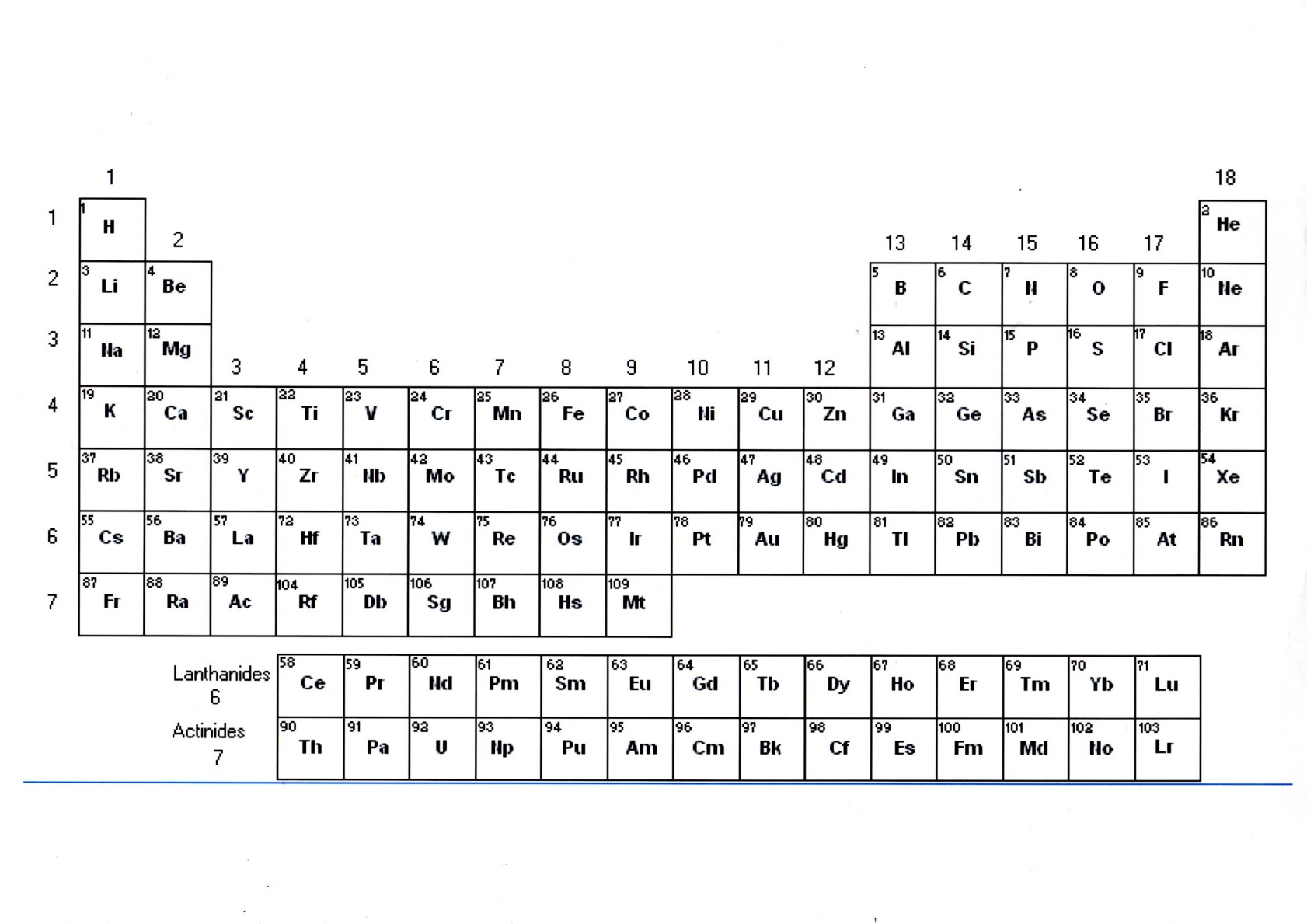
**Q3.** On suppose que kV.m-1. A quelle condition sur , le mouvement de est-il rectiligne et uniforme ? On exprimera en fonction de et , puis on le calculera.

**Q4.** On suppose et non nuls et on pose encore *.*

**4.a -**Montrer quel'équation différentielle d'évolution de l'abscisse de peut s'écrire sous la forme où est une constante que l'on exprimera en fonction de , , , et .

**4.b -** On se place dans le cas particulier où *.* Exprimer alors en fonction de , et .

**Annexe :** Classification périodique des éléments :



SUP MPSI 2 CORRIGE du DS 6 **du 3 mars 2023.**

**EXERCICE 1 :** Structure de la matière : ***(pts)***

I – Etude de l’élément sodium : ***(D’après Centrale Supelec TSI 2022 ) (pts)***

**Q1.** comprend **11 protons** et donc **11 électrons**, ainsi que **12 neutrons**.

* Na appartient à la **3e période** du tableau périodique, il aura donc un configuration de valence en 3..

Et il se trouve dans la **1ère colonne ou 1er groupe** du tableau, donc c’est un 1er **élément du bloc s.**

Sa configuration externe (ou de valence) est donc Na : **3s1 .**

D’où son schéma de Lewis :

* Le sodium fait donc partie de la famille **des alcalins**.

Ces métaux sont **extrêmement réducteurs**, **très réactifs avec l'eau** et forment en réagissant avec celle-ci des solutions basiques.

**Q2.** Le sodium va avoir tendance à **perdre l'électron célibataire de la 3ème couche** pour atteindre la **configuration électronique du gaz rare qui le précède** (le néon) en formant **Na+**.

II - Etude structurale de l’oxygène et l’ozone : ***(D’après Centrale Supelec PSI 2022) (pts)***

**Q3.** L’oxygène est situé dans la 2ème période et est le 4ème élément du bloc p (ou dans la 16e colonne).

Sa configuration électronique externe dans son état fondamental s’écrit donc :

L’atome d’oxygène possède donc **6 électrons de valence**. Son schéma de Lewis est :

**Q4.** Les isotopes d’un élément chimique donné possèdent **le même nombre de protons** (et d’électrons, bien sûr) mais **diffèrent par leur nombre de neutrons**.

Le noyau des isotopes de l’oxygène contient :

Ce sont les électrons de valence, seuls, qui déterminent les propriétés chimiques d’un atome.

Ces **trois isotopes ont 6 électrons de valence** : ils ont donc les **mêmes propriétés chimiques.**

**Q5.** On note la masse molaire moyenne de l’oxygène et , et les masses molaires respectives des isotopes , et . On peut écrire, en introduisant les fractions massiques , et  :

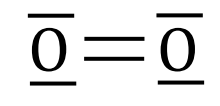
Soit : ou encore :

D’où :

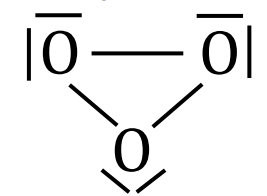
On en déduit :

Comme on connaît , d’où :

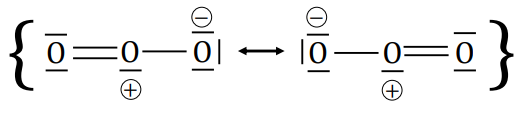
On obtient :  **et**  .

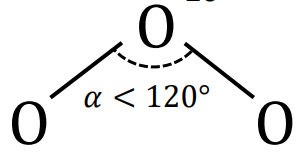


**Q6.** Schéma de Lewis du dioxygène :



**Q7.** Si la molécule d’ozone était cyclique, elle présenterait un centre de symétrie et ne serait donc **pas polaire**. De plus, aucun excès et aucun défaut de charge n’apparaît, ce qui confirmerait son caractère apolaire.

**Q8.** Les deux formes mésomères de la molécule d’ozone sont les suivantes :



La molécule est donc du **type** (deux liaisons assimilées à des liaisons simples et un doublet non-liant sur l’atome central). La méthode VSEPR donne donc une **molécule coudée**, avec un **angle d’environ 120°.**

**EXERCICE 2 :**  Généralités sur une molécule de monoxyde de carbone :

**(*pts)***

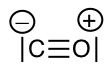
**I – Etude structurale : *(D’après Banque PT 2013)***

**Q1 –** Le carbone est situé dans la 2ème période et est le 2ème élément du bloc p (ou dans la 14e colonne).

 Sa configuration électronique externe dans son état fondamental s’écrit donc :

L’atome d’oxygène possède donc **4 électrons de valence**. Son schéma de Lewis est

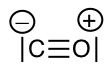
* Pour obtenir un carbone tétravalent, il faut imaginer un **réarrangement en 2s1 2p3**.

**Q2** - On trouve le carbone 12 ; 13 et 14 : **; et** .

**Q3 –** Représentation possible de Lewis pour la molécule de monoxyde de carbone :

**Q4 -** **L’électronégativité augmente de la gauche vers la droite** sur une ligne. Donc **< .**

La charge partielle devrait donc **être négative sur l’oxygène et positive** sur le carbone, ce qui **n’est pas en accord** avec les électronégativités des éléments.



**Q5 -** Le moment dipolaire, orienté du pôle négatif vers le pôle positif, est représenté de la façon ci-contre en tenant compte de la structure de Lewis de Q3.

 L’expression littérale du module du moment dipolaire  est donnée par **: = e d** ;

Son unité est le **Debye (D).**

**Q6 –** Les molécules de monoxyde de carbone et d'eau H2O sont **polaires**.

Les **trois types d’interactions de van der Walls (Keesom, Debye et London**) sont donc présentes.

Cependant, les interactions intermoléculaires les plus importantes sont des **liaisons hydrogènes** entre les hydrogènes de H2O et le doublet non liant des oxygènes de CO.

**II - Etude mécanique :**

**Q7** - doit être sans dimension ; Donc est homogène à l’inverse d’une longueur ; Soit :  **en m-1**.

**Q8** – On nous donne :  ;

* Les positions d’équilibre sont telles que : .

, car de la forme :

avec et

Ainsi : pour  ; la seconde parenthèse ne s’annulant jamais.

Ainsi  **est position d’équilibre**.

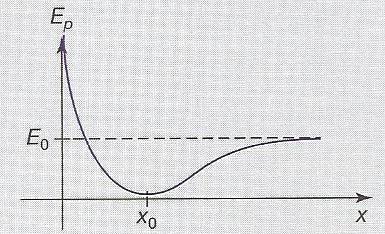
* Pour étudier les stabilités, on étudie le signe de

Or , car de la forme :

Ou encore :  ;

Ainsi en évaluant cette expression en :

**> 0**. Donc **est position d’équilibre stable.**

**Q9** -  :

* , car

Donc **asymptote verticale d’équation** .

* .

Donc asymptote horizontale d’équation .

* Coordonnées de l’extrémum (minimum) :

On a vu que : pour  ;

* D’où l’allure de la courbe ci-contre.

**Q10** – avec 0 ; Donc :  **à chaque instant.**

* **Si**  : Domaine de variation de *x* non borné : L’atome d’oxygène arrive de l’infini se rapproche et repart. On parle **d’état de diffusion** : Mais ce cas correspondrait à une rupture de la liaison C-O.
* **Si 0 < <**  : Domaine de variation de *x* borné : L’atome d’oxygène oscille entre deux positions extrêmes. On parle **d’état lié**.
* représente donc l’énergie qu’il faut fournir à la molécule pour que les atomes puissent s’éloigner à l’infini, c’est donc **l’énergie de dissociation de la molécule.**

**Q11** – Pour étudier le mouvement autour de la position d’équilibre, il faut faire un **développement de Taylor de l’énergie potentielle autour de** :

= 0 (équilibre).

Or  et  ; Donc :  ; Soit :  ;

* De plus :  ;
* D’où :  ;
* Le système est **conservatif** car aucune force dissipative n’est mentionnée par l’énoncé, donc d’après le

**théorème de la puissance mécanique**,

= cste ou encore .

Or ; Posons X = *x* –  alors et .

L’équation précédente devient donc : , car , puisqu’il y a mvt (non tjs nul).

De la forme : avec  : **pulsation propre du mouvement** de l’atome d’oxygène ;

Et  : **fréquence des petites oscillations autour de la position d’équilibre .**

**Q12** – On sait que car comme le système est unidirectionnel, .

Donc :  ; On trouve ainsi le signe de à partir du signe de la dérivée de EP. D’après le graphe :

* **Si**  , alors  < 0 et  : Force dans le même sens que l’axe *Ox* qui a tendance à ramener l’atome d’oxygène dans sa position d’équilibre.
* **Si**  , alors  > 0 et  : Force dans le sens contraire à l’axe *Ox* qui a tendance à ramener l’atome d’oxygène dans sa position d’équilibre.

**EXERCICE 3 :** Etude d’une descente de toboggan aquatique :

***(D’après banque PT 2022)*** ***(pts)***

**Q1.**  On nous donne : et et corresopnd à la **variation d’altitude lors d’un tour**, donc pour  ; Ainsi, .

**Q2.**  ; Soit :  .

Alors ; Soit : .

**Q3.** Référentiel : Terrestre supposé galiléen.

Base de projection cylindrique : fournie.

Système : L’enfant de masse .

Forces et énergies potentielles : **Poids** :  et **,** car*Oz* est un axe descedt.

**Réaction du support** : donc elle ne travaille pas et

Alors, **.**

Or, d’après Q2, et on garde dans .

D’où :

Mais, on ne veut garder que et dans l’expression de . Il faut donc supprimer  : .

Alors **;** Ainsi, .

De la forme : avec  **et .**

**Q4.** L’enfant partant de l’altitude avec une vitesse nulle, son énergie mécanique est nulle.

Les frottements étant négligés, celle-ci se conserve : Le **système est conservatif :**

En sortie de toboggan (, on a donc

On en déduit et .

**Q5.** On cherche l’équation différentielle du mouvement, à partir de l’énergie mécanique :

Le **système est conservatif**, d’après le théorème de la puissance mécanique, **.**

Avec ; Il vient :  ; Soit :

Or à chaque instant car il y a mouvement, ainsi :  **.**

En prenant une primitive, il vient : .

CI, A , l’anneau est lâché sans vitesse initiale, donc Soit :.

Nouvelle primitive : . CI, A , . Soit : .

Enfin, le temps de chute est tel que (arrivée au sol).

Ainsi, il vient :  ; Soit :  ; D’où .

**Q6.** S’il y a une force de frottement, le système n’est plus conservatif et la force de frottement est tangente au toboggan. Le théorème de la puissance cinétique conduit à :

L’énergie perdue par l’enfant correspond à la valeur absolue du travail de la force de frottement.

Or .

D’où : , Il faut supprimer  ; D’après Q1, . Soit : **.**

**PROBLEME :** Particule dans des champs  et **: *(D’après ENAC)*** ***(pts)***

**Q1.** Cas où , et V.m-1 et .

Référentiel : Terrestre supposé galiléen.

Base de projection cartésienne : fournie.

Système : Particule de masse .

Force : Poids négligeable.

Force de Lorentz électrique : .

PFD à M : Donc avec = .

Projetons sur les 3 axes : On obtient donc :

  ou encore

Prenons une primitive, il vient :

CI, A t = 0,  ; D’où et

D’où Et nouvelle primitive :

D’après le CI, la particule est en O, donc les 3 nouvelles constantes sont nulles. Donc   ;

Il nous faut l’équation de la trajectoire et non les équations horaires.

D’après l’équation (3),  ; On remplace dans (1), il vient :

L’écran est en 10 cm, Soit . AN :  ; On obtient :  **cm**.

**Q2.** Cas où , et T et .

**2.a -** Pour montrer que le mouvement est uniforme on calcule la puissance de la force magnétique :

; Donc

⊥

Or  ; Donc : ; Conclusion :  **.**

**Le champ magnétique dévie les particules mais ne modifie pas la norme de leur vitesse.**

**2.b -** Référentiel : Terrestre supposé galiléen.

Base de projection cartésienne : fournie

Système : Particule de masse .

Force : Poids négligeable.

Force de Lorentz magnétique :

PFD à M : Donc avec = .

Projetons sur les 3 axes : On obtient donc :

.

Avec , il vient : Il vient :  ; Ou encore :

Il faut montrer que le mouvement est plan :

En exploitant (2’), il vient : Soit

Soit .

Conclusion : La **trajectoire de la particule est plane, dans le plan plan ⊥ .**

**2.c –** Résolution des équations couplées, parla méthode intégration/substitution. On a .

On reprend les deux équations différentielles couplées (1’) et (3’):

(1’)

(3’)

On prend une primitive de (1’) :

CI : A t = 0, et .

D’où : (4) ;

En remplaçant (4) dans (3’), il vient :

Soit : : Equation différentielle du second ordre sans terme en et avec second membre nul.

Les solutions sont de la forme : .

CI : A t = 0, Donc : ;

On dérive :

CI : A t = 0, Donc : **.**

Ainsi : **.**

Même méthode pour trouver  : On prend une primitive de (3’), puis on remplace (1’).

Ou bien on reprend (4) : et on remplace par son expression :

Ainsi :

On prend une primitive : ;

CI : A t = 0, ; Soit :  ; D’où : ;

Ainsi :

**.**

**2.d –** D’après les équations précédentes, et

Comme , il vient :

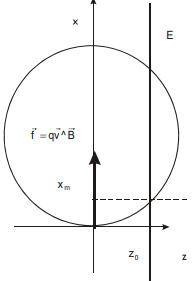
Ou encore en multipliant de chaque côté par , il vient :**.**

La trajectoire est donc un **cercle de centre et de rayon**  ;

Mais , car .

On a donc :  ; AN :  ; On obtient :  **cm**.

**2.e –** **Le dessin n’est pas à l’échelle**.



Attention :

Ecran

O

Sur l’écran, et et

Il vient :

Soit :

D’où : ; Et  **.**

AN : **et .**

Mais il faut que  ; Donc  **cm**.

**Q3.** On nous donne kV.m-1.

Le mouvement est rectiligne et uniforme si la **particule est pseudo-isolée**, donc si les **forces de Lorentz électrique et magnétique se compensent** (alors . Soit ;

Ou encore : **.**AN : . On obtient  **T = 2 mT.**

**Q4.** Cas où et sontnon nuls.

**4.a -** Il faut reprendre les équations vues en Q2b, en ajoutant la force électrique de Lorentz : .

Forces : Poids négligeable.

Force de Lorentz magnétique :

Force de Lorentz électrique :

PFD à M : Donc avec = .

Projetons sur les 3 axes : On obtient donc :

.

Avec , il vient : Il vient :  ; Ou encore :

Il faut découpler les équations (5) et (7) pour obtenir la forme proposée : .

On prend une primitive de (7) :

CI : A t = 0, et . D’où : (8) ;

En remplaçant (8) dans (5), il vient : Soit : :

Par identification avec , on obtient **.** Or , ainsi **.**

**4.b –** Dans le cas où , alors . L’équation précédente devient donc : **.**

Solution homogène :

Solution particulière constante :  ; Soit : .

Solution générale :

1ère CI, à ,  ; Soit :  ; D’où **.**

De plus, on dérive, .

2ème CI : à , , donc  ; Soit .

Conclusion :  ; Ainsi :