

Calculatrice en mode examen autorisée ou calculatrice collège

Mars 2021

Prénom et Nom : Note : .../40 soit/20

La feuille d'énoncé doit être rendue à la fin et vous devez émarger au bureau du professeur.

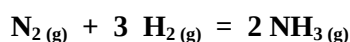
Exercice 1(20 pts) : L'ammoniac : fabrication et applications (55 minutes)

Avec l'ammoniac, la chimie offre à l'homme l'une de ces possibilités étonnantes dont il peut se servir pour le bien ou le mal : constituant et matière première de la plupart des engrais azotés, il sert également à fabriquer l'acide nitrique, lui-même utilisé dans la fabrication de la plupart des explosifs. Il est également envisagé comme carburant pour moteurs à combustion interne, employé comme fluide de réfrigération sans effet de serre, solvant et intermédiaire dans la synthèse de très nombreux produits azotés .

La synthèse industrielle de l'ammoniac s'effectue en phase gazeuse. Les réactifs dihydrogène et diazote sont introduits dans les proportions stœchiométriques. La réaction a lieu en présence d'un catalyseur qui est du ruthénium sur support de graphite, sous une pression comprise entre 100×10^5 Pa et 200×10^5 Pa et à une température comprise entre 350°C et 500°C .

D'après : <http://www.iupac.org>

1. Synthèse de l'ammoniac (4,5 pts) : L'équation associée à la réaction de synthèse est :



Dans un réacteur, on mélange $1,0 \times 10^2$ mol de diazote et $3,0 \times 10^2$ mol de dihydrogène.
Le taux d'avancement final de cette réaction est $\tau = 0,70$.

- 1.1. Donner l'expression du taux d'avancement final et la signification des termes utilisés.
- 1.2. La réaction de synthèse de l'ammoniac est-elle une réaction totale ? Justifier la réponse.
- 1.3. Établir le tableau d'avancement relatif à cette réaction avec $\tau = 0,70$. En déduire la composition finale en quantité de matière du mélange (justifier).
- 1.4. Quel intérêt a-t-on de choisir une température élevée lors de cette transformation chimique ?
- 1.5. Quel est le rôle du catalyseur dans la synthèse de l'ammoniac ?

1.1 sav	/1
1.2 ana	/0.5
1.3 réal	/2
1.4 sav	/0.5
1.5 sav	/0.5

2. La solution aqueuse d'ammoniac (7,5 pts)

Données : dans les conditions expérimentales de l'exercice on a :

- Volume molaire d'un gaz : $V_m = 24,0 \text{ L} \times \text{mol}^{-1}$
- Produit ionique de l'eau : $K_e = 1,0 \times 10^{-14}$.

Un volume gazeux d'ammoniac $v = 2,4 \times 10^{-1} \text{ L}$ est dissous dans de l'eau distillée pour obtenir $V_s = 1,0 \text{ L}$ de solution aqueuse d'ammoniac S.

2.1. Donner l'expression, puis calculer la quantité de matière d'ammoniac n_0 contenue dans le volume gazeux v .

Pour toute la suite des questions du 2 on considèrera cette quantité de gaz n_0 complètement dissoute dans l'eau distillée.

2.2. Le pH de la solution S est mesuré et a pour valeur 10,6.

- 2.2.1. Rappeler la définition d'une base selon Bronsted.
- 2.2.2. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique de l'ammoniac (base) avec l'eau .
- 2.2.3. Calculer la quantité de matière en ions hydroxyde (OH_{aq}) présente dans la solution S (formule littérale et justifications obligatoires).
- 2.2.4. La transformation chimique associée à la réaction dont l'équation a été écrite en 2.2.2. est-elle totale ? Justifier la réponse.

2.3. Détermination de la constante d'acidité.

- 2.3.1. Donner l'expression de la constante d'équilibre K associée à l'équation de la réaction 2.2.2. et déterminer sa valeur (justification et calculs détaillés obligatoires).
- 2.3.2. En déduire la valeur de la constante d'acidité K_a du couple : $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ (Équation de réaction de NH_4^+ sur l'eau obligatoire avec expression de K_a écrite en fonction de K et K_e obligatoires).

2.1 sav,réal	... /1
2.2.1 sav	/0.5
2.2.2 réal	/0.5
2.2.3 sav,réal	/1.5
2.2.4 ana, com	/1
2.3.1 ana, com	/1,5
2.3.2 ana, réal	/1.5

3. Étude d'un mélange d'acide éthanóïque et d'une solution aqueuse d'ammoniac (8 pts) :

Données : dans les conditions expérimentales de l'exercice on a :

- Produit ionique de l'eau : $K_e = 1,0 \times 10^{-14}$
- pK_a du couple $NH_4^+ / NH_3 = 9,2$
- pK_a du couple $CH_3CO_2H / CH_3CO_2^- = 4,8$.

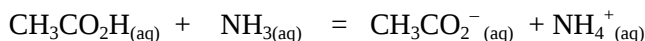
Expérience :

État initial : dans un bécher on introduit $V_A = 100,0$ mL d'une solution d'acide éthanóïque ($CH_3CO_2H_{(aq)}$) de concentration $c_A = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \times L^{-1}$ et $V_B = 40,0$ mL d'une solution aqueuse d'ammoniac ($NH_{3(aq)}$) de concentration $c_B = 5,0 \times 10^{-1} \text{ mol} \times L^{-1}$. Dans cet état, on **néglige la présence d'ions $CH_3CO_2^-_{(aq)}$ et $NH_4^+_{(aq)}$** . Toutes les grandeurs relatives à cet état seront notées avec i en indice.

État d'équilibre : le pH du mélange est mesuré et a pour valeur 9,2. Toutes les grandeurs dans cet état seront notées avec eq en indice.

Questions :

La transformation chimique qui a lieu est modélisée par la réaction chimique d'équation :



3.1. Détermination du quotient de réaction :

3.1.1. Donner l'expression littérale puis calculer le quotient de réaction du système dans l'état d'équilibre :

$Q_{r,eq}$ (expression écrite avec K_a de NH_4^+ / NH_3 et K_a de $CH_3CO_2H / CH_3CO_2^-$).

3.1.2. Quelle est la valeur du quotient de réaction dans l'état initial $Q_{r,i}$? Le comparer à $Q_{r,eq}$ et conclure sur l'évolution du système (justifier).

3.2. Composition du mélange

3.2.1. Pour le couple NH_4^+ / NH_3 , tracer le diagramme de prédominance des espèces en fonction du pH.

3.2.2. En déduire la relation entre $[NH_3]_{eq}$ et $[NH_4^+]_{eq}$ dans le mélange étudié (justifier mais aucune démonstration exigée).

3.3. Donner, en le justifiant, la relation entre $[NH_4^+]_{eq}$ et $[CH_3CO_2^-]_{eq}$.

3.4. La mesure de la conductivité de la solution S a permis de connaître la concentration en ion ammonium $[NH_4^+]_{eq}$ lorsque l'équilibre est atteint. Sa valeur est $[NH_4^+]_{eq} = 7,1 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot L^{-1}$.

3.4.1. En déduire la quantité de matière des espèces NH_4^+ , $CH_3CO_2^-$, NH_3 et CH_3COOH présentes à l'équilibre après mélange des 2 solutions (expressions et calculs détaillés obligatoires). On pourra s'aider éventuellement d'un tableau d'avancement.

3.4.2. La transformation chimique entre l'acide éthanóïque et l'ammoniac, modélisée par la réaction chimique d'équation 1, est-elle totale ? (Justifier par un calcul)

3.1.1 sav ,ana	/1,5
3.1.2 sav ,ana	/1
3.2.1 sav	/1
3.2.2 ana, réel	/1
3.3 ana	/0,5
3.4.1 ana, réel	/2
3.4.2 ana, réel	/1

Exercice 2 (12 pts) : Observation des satellites de Neptune par la sonde voyager 2 (45 minutes)

Neptune est le dernier et le plus lointain des mondes géants que la sonde Voyager 2 nous fit découvrir. Cette planète porte le nom du dieu romain de la mer. Les photographies de la planète, par leur couleur bleu sombre, justifient pleinement cette association avec la mer.

Voyager 2 survola Neptune et ses satellites les 24 et 25 août 1989.

Neptune possède plusieurs satellites : Triton et Néréide qui figurent parmi les satellites les mieux connus. William Lassell a découvert Triton un mois après la découverte de la planète. C'est un satellite gros comme la Lune ; il mesure environ 4 200 km de diamètre. Il fait partie des plus gros satellites du système solaire après Ganymède, Titan et Callisto. L'orbite de Triton est circulaire autour du centre de Neptune.

Découvert en 1949, Néréide est au contraire assez petit (320 km de diamètre) et a une orbite très elliptique, la plus allongée de tous les satellites. Néréide met **360 jours** pour boucler son orbite.

Voyager 2 a permis de localiser six nouveaux satellites entre Neptune et Triton.

D'après un article publié sur le site du Club Astro Antares.

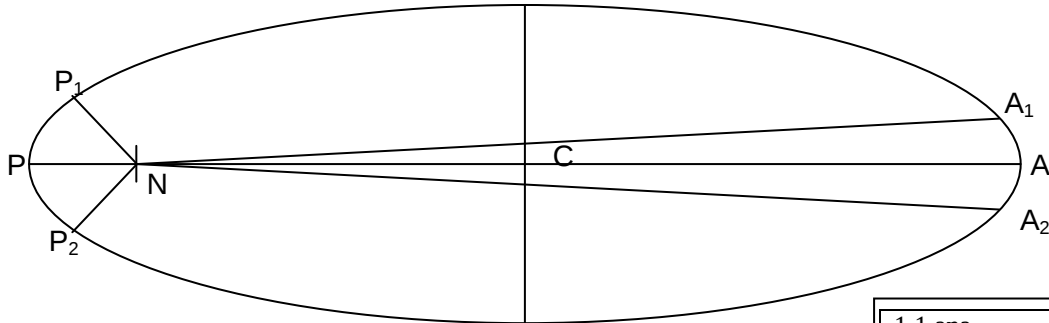
Données :

Neptune : masse : $M_{Nep} = 1,025 \times 10^{26}$ kg
Triton : masse : $M_{tri} = 2,147 \times 10^{22}$ kg
rayon orbital triton: $R_{tri} = 3,547 \times 10^5$ km
période de révolution : $T_{tri} = 5,877$ jours solaires
vitesse orbitale : $V_{tri} = 4$ km.s⁻¹.
Néréide : demi-longueur du grand-axe : $a_{Né} = R_{Né} = 5513 \times 10^3$ km
Constante de gravitation : $G = 6,67 \times 10^{-11}$ m³.kg⁻¹.s⁻²

1 jour solaire = 86 400 s.

1) Le mouvement des satellites (6 pts) :

- 1.1. D'après le texte, « Néréide est au contraire assez petit (320 km de diamètre) et a une orbite très elliptique ».
Choisir parmi les propositions suivantes le référentiel dans lequel est décrite cette orbite :
a. héliocentrique b. néreïdocentrique c. neptunocentrique d. géocentrique
- 1.2. Énoncer les première et deuxième lois de Képler appliquées au cas étudié ici.
- 1.3. Placer sur la figure 1 donnée en ANNEXE (feuille d'après) à rendre avec la copie, la demi-longueur a du grand axe de Néréide.
- 1.4. On considère les aires balayées par le segment reliant Neptune à Néréide pendant une même durée en différents points de l'orbite. Sur la figure ci-dessous, elles correspondent aux aires des surfaces formées par les points N, P₁ et P₂ autour du périhélie P d'une part et N, A₁ et A₂ autour de l'aphélie A d'autre part.



1.4.1. Quelle relation relie ces aires ?

1.4.2. Comparer alors les vitesses de Néréide aux points A et P (justifier).

1.5. On souhaite déterminer la période de révolution T_{Ner} de Néréide.

1.5.1. Énoncer la troisième loi de Képler dans le cas de Néréide.

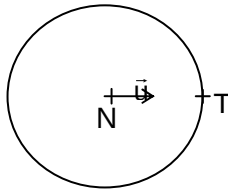
1.5.2. Calculer la valeur de $\frac{T_{tri}^2}{R_{tri}^3}$ en s²×m⁻³

1.5.3. À l'aide des questions précédentes, en déduire la période de révolution T_{Ner} de Néréide. Puis comparer à la valeur donnée dans le texte (Formule littérale et calcul détaillé obligatoire).

1.1 ana	/0,5
1.2 sav	/1
1.3 sav	/0,5
1.4.1 sav	/0,5
1.4.2 ana ,com	/1
1.5.1 sav, com	/0,5
1.5.2 ana, réal	/0,5
1.5.3 ana, réal	/1,5

2. Le mouvement de Triton (6 pts) :

L'orbite de Triton est circulaire. On appelle N le centre d'inertie de Neptune, T le centre d'inertie de Triton et $\vec{u}$ vecteur unitaire de direction (NT).



2.1. En utilisant les notations de l'énoncé et de la figure ci-dessus, donner l'expression vectorielle de la force gravitationnelle $\vec{F}$ exercée par Neptune sur son satellite Triton et calculer sa valeur numérique.

2.2. Le mouvement de Triton étant uniforme, en appliquant la deuxième loi de Newton établir l'expression littérale de sa vitesse V_{tri} sur son orbite en fonction des grandeurs M_{Nept} , R_{tri} et G (Démonstration obligatoire).

2.3. Calculer cette vitesse V_{tri} et la comparer à celle donnée dans l'énoncé (calcul détaillé obligatoire).

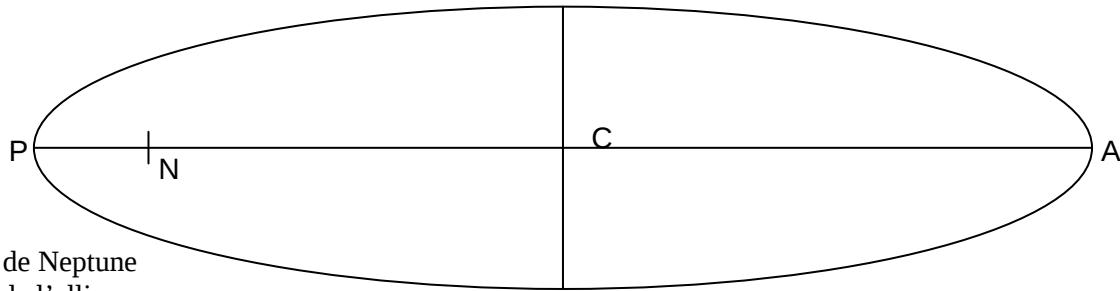
2.4. Montrer que la période de révolution T_{tri} de Triton peut s'exprimer en fonction de M_{Nept} , R_{tri} et G (démonstration obligatoire)

2.5. Calculer la valeur de T_{tri} et comparer à la valeur donnée par l'énoncé.

2.1 sav ,réal	/1
2.2 sav ,ana	/1
2.3 sav	/1
2.4 ana, réal	/1,5
2.5 réal , ana	/1,5

Annexe de l'exercice II : Observation des satellites de Neptune par la sonde voyager 2

Figure 1: Schéma simple et légende de l'orbite de Néréide Question 1.3. et question 1.4.2.



N : centre de Neptune
C : centre de l'ellipse
P : Périhélie de Néréide
A : Aphélie de Néréide

Exercice 3 (15 minutes) : La masse du soleil en programmation numérique (8 pts) en python

Lors d'une nuit d'observation du système solaire, un moniteur de club d'astronomie affirme qu'il est possible de mesurer la masse du soleil à partir d'observation du mouvement des planètes.

Doc. 1 Code Python

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 t = []
4 x = []
5 y = []
6 plt.xlabel('Coordonnées x')
7 plt.ylabel('Coordonnées y')
8 plt.title('Trajectoire de la Terre')
9 plt.scatter(x, y, marker = '+')
10 i = 1
11 while i < len(t)-1 :
12     alpha = np.arctan2(y[i], x[i]) -
        np.arctan2(y[i-1], x[i-1])
13     r0 = np.sqrt(x[i]**2 + y[i]**2)
14     r1 = np.sqrt(x[i-1]**2 + y[i-1]**2)
15     A = r0*r1*np.sin(alpha)/2
16     plt.fill([x[i], x[i-1], 0], [y[i], y[i-1],
        0], label='A = ' + "%.2e"%A + ' u.a.**2')
17     i += 2
18 plt.legend(loc='center right')
19 plt.show()
```

Doc. 2 Éphémérides de la Terre

Date t (j) depuis le 01/01/2020	Abscisse x (u.a.)	Ordonnée y (u.a.)
0	0,0175	0,9998
2	-0,0170	0,9999
4	-0,0513	0,9987
6	-0,0857	0,9963
8	-0,1199	0,9928
10	-0,1540	0,9881
12	-0,1879	0,9822

Les éphémérides recensent des données astronomiques.

Doc. 3 Caractéristiques planétaires

Planète	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne
Demi-grand axe a (u.a.)	0,39	0,72	1,00	1,52	5,20	9,52
Période de révolution T (j)	87,9	224,7	365,25	687	4331	10751

Donnée

• Conversion d'unités : 1 u.a. = $1,5 \times 10^8$ km

1°) Préciser et le définir clairement quel est le référentiel choisi pour étudier le mouvement des planètes.

En utilisant les éphémérides (voir doc 2), on peut vérifier la deuxième loi de Kepler à l'aide d'un programme Python (voir doc 1) qui calcule la surface balayée par une planète pendant des durées identiques.

2°) Dans l'extrait du code Python identifier les lignes et expliquer comment se réalise le calcul d'une surface entre 2 positions.

3°) Vérifier la troisième loi de Kepler à l'aide de deux exemples de planètes du système solaire (calculs à détaillées avec formule littérale)).

4°) Rappeler la formule complète de la troisième loi de Kepler pour en déduire l'expression de la masse du soleil puis la calculer.

Donnée : $G = 6,67 \times 10^{-11}$ S.I.

1) sav, com	/1
2) ana, com	/2
3) sav, réal	/2,5
4) sav, réal	/ 2,5
Total :	/8