

PARTIE B

Réalisation d'une végétation métallique (10 points)

En chimie, une végétation métallique est un type de dendrites produites par certaines transformations chimiques. La découverte de ces « feuillages métalliques » est attribuée à des alchimistes au Moyen-Age, qui croyaient y voir un phénomène magique. L'alchimie, malgré son statut de pseudoscience (c'est à dire de « fausse » science), a eu un rôle important dans le développement, au cours du XVIII^e siècle, de la chimie en tant que discipline scientifique s'appuyant sur des faits expérimentaux.

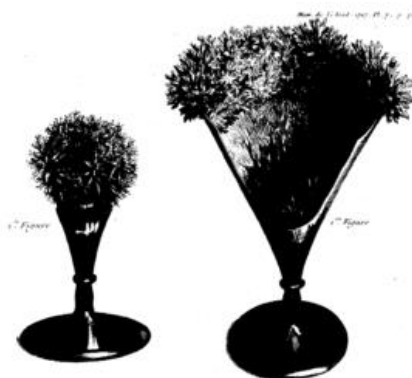
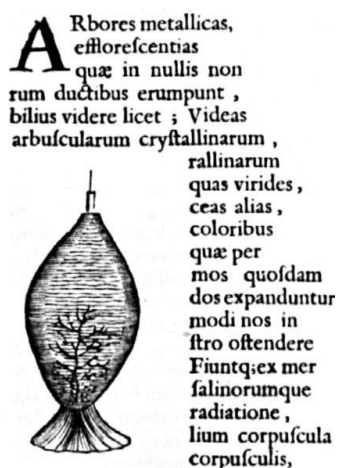
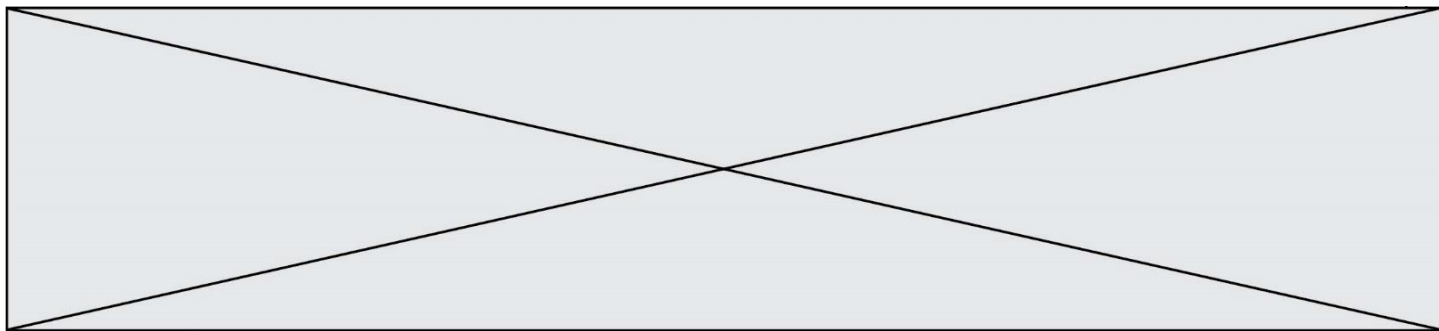


Figure 1. Un des premières publications d'une végétation chimique par Athanase Kircher, dans Mundus subterraneus en 1660 (d'après : wikipedia.org/Athanasius-Kircher-Mundus-subterraneus.jpg)

On s'intéresse dans cet exercice à la modélisation du phénomène de « végétations métalliques » à l'aide des outils de la chimie moderne, en s'interrogeant notamment sur la nature de ce métal qui se dépose comme les feuilles d'un arbre.

Données :

- Couples oxydant/réducteur
 - couple ion argent/argent : Ag^+/Ag ;
 - couple ion cuivre/cuivre : Cu^{2+}/Cu .
- Couleurs des solutions aqueuses :
 - les ions cuivre $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ donnent une couleur bleue aux solutions aqueuses ;
 - les ions argent $\text{Ag}^+(\text{aq})$ et les ions nitrate $\text{NO}_3^-(\text{aq})$ sont incolores en solution aqueuse.



- Masses molaires atomiques :
 $M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g/mol}$, $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g/mol}$, $M(\text{Ag}) = 107,9 \text{ g/mol}$, $M(\text{N}) = 14,0 \text{ g/mol}$.
- Électronégativités selon l'échelle de Pauling : O : 3,2 , C : 2,6 , H : 2,2.

Les alchimistes décrivent l'arbre de Diane comme une végétation d'argent se déposant sur un tronc fait en cuivre.

On souhaite fabriquer un arbre de Diane au laboratoire. Pour ce faire, on place un fil de cuivre, de masse initiale $m' = 5,6 \text{ g}$ dans un bécher contenant $V = 220 \text{ mL}$ d'une solution de nitrate d'argent à la concentration en quantité de matière égale à $c = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$.

1. Préparation de la solution métallique pour réaliser l'arbre de Diane

Pour les chimistes, l'eau est un solvant très utilisé. Ses propriétés sont utilisées dans la réalisation de la végétation métallique car l'eau est capable de dissoudre le nitrate d'argent $\text{AgNO}_3 \text{ (s)}$ et les autres ions intervenant dans le phénomène.

- 1.1. Donner le schéma de Lewis d'une molécule d'eau, justifier sa forme coudée et indiquer ses propriétés en lien avec les électronégativités des atomes qui la constituent.
- 1.2. Écrire l'équation de la réaction modélisant la dissolution du nitrate d'argent dans l'eau. Préciser l'état physique des différentes espèces chimiques.
- 1.3. On note c la concentration en quantité de matière apportée en nitrate d'argent dans une solution. Exprimer, en fonction de c , la concentration en ions argent dissous $[\text{Ag}^+]$, si la dissolution est totale.
- 1.4. En déduire la quantité de matière n d'ions argent Ag^+ contenue dans 250 mL de la solution de nitrate d'argent de concentration $c = 0,10 \text{ mol.L}^{-1}$ et indiquer la masse m de nitrate d'argent nécessaire pour préparer cette solution.
- 1.5. Proposer un protocole pour préparer cette solution avec le matériel et les éléments de verrerie usuels au laboratoire, dont on précisera le nom et le volume si nécessaire.

2. Modélisation de la transformation chimique intervenant dans l'arbre de Diane

On réalise l'expérience, et on prend en photos le système chimique dans son état initial et dans son état final. Dans l'état initial, la solution est incolore (photographie de gauche ci-après). Après plusieurs heures, la solution se colore progressivement en bleu, et le fil de cuivre se recouvre d'un solide brillant déposé sous forme de « feuillage métallique », qui porte le nom d'« arbre de Diane » (photographie de droite ci-après).



État initial

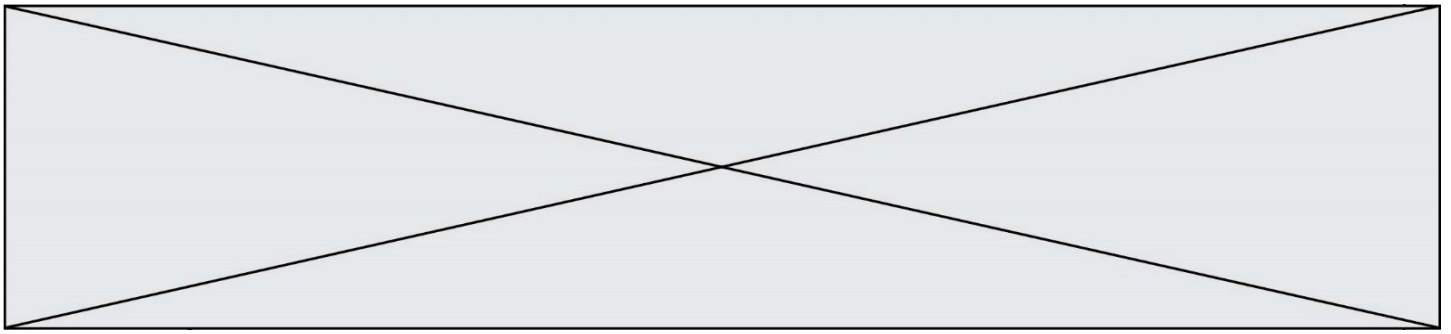


État final (après plusieurs heures)

- 2.1. Justifier qu'une transformation chimique a bien eu lieu.
- 2.2. Identifier les couples mis en jeu lors de la formation d'un arbre de Diane et écrire les deux demi-équations correspondantes.
- 2.3. En déduire que l'équation de la réaction modélisant la formation de l'arbre de Diane s'écrit : $2\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cu}(\text{s}) \rightarrow 2\text{Ag}(\text{s}) + \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$
- 2.4. Avec la méthode de votre choix, montrer que le cuivre est en excès. La quantité initiale n d'ions argent sera prise égale à $2,2 \times 10^{-2}$ mol.
- 2.5. Avec la méthode de votre choix, déterminer la masse d'argent qui se forme sur le fil de cuivre si l'avancement maximal est atteint.

3. Prévion de l'état final à l'aide d'un script en Python

Le programme suivant, écrit en langage Python, permet de calculer la masse d'argent déposée sur le fil de cuivre.



```
### Saisie des données initiales ###

m_cu = float(input("Masse du fil en g : "))
c = float(input("Concentration de la solution de nitrate d'argent en mol/L : "))
v = 0.001 * float(input("Volume de la solution en mL : "))

### Calcul des quantites initiales ###
n_cu = m_cu / 63.5
n_ag = c * v

### Quantité initiale minimale de cuivre ###
n_mini = n_ag / 2

### Verification du cuivre en excès ###
if n_cu < n_mini :
    print("La masse choisie pour le fil de cuivre est insuffisante.
          Le fil risque de casser avant que le système n'ait atteint
          son état final.")
else :
    ### Calcul de la masse d'argent depose ###
    m_agsolide = n_ag * 107.9
    print("La masse d'argent déposée vaut : ",m_agsolide," g")
```

Ce programme permet aussi de s'assurer que le cuivre est bien introduit en excès : dans le cas contraire, le fil, qui joue aussi le rôle de support, risquerait de casser et l'on perdrait la végétation métallique qui met plusieurs heures à se former. On exécute le programme. Tout d'abord on indique les conditions expérimentales initiales de l'expérience décrites précédemment. On obtient l'écran suivant :

```
Masse du fil en g : 5.6
Concentration de la solution de nitrate d'argent en mol/L : 0.1
Volume de la solution en mL : 220
```

Écrire la ligne qui apparaîtrait dans la console d'exécution à la suite de la saisie des données initiales ci-dessus. Justifier.