

# BACCALAURÉAT BLANC

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

**SESSION 2024**

## PHYSIQUE-CHIMIE

-

Sujet 1

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

*L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.*

*L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.*

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Ce sujet comporte 11 pages numérotées de 1 à 11.

**L'annexe page 11 est à rendre avec la copie.**

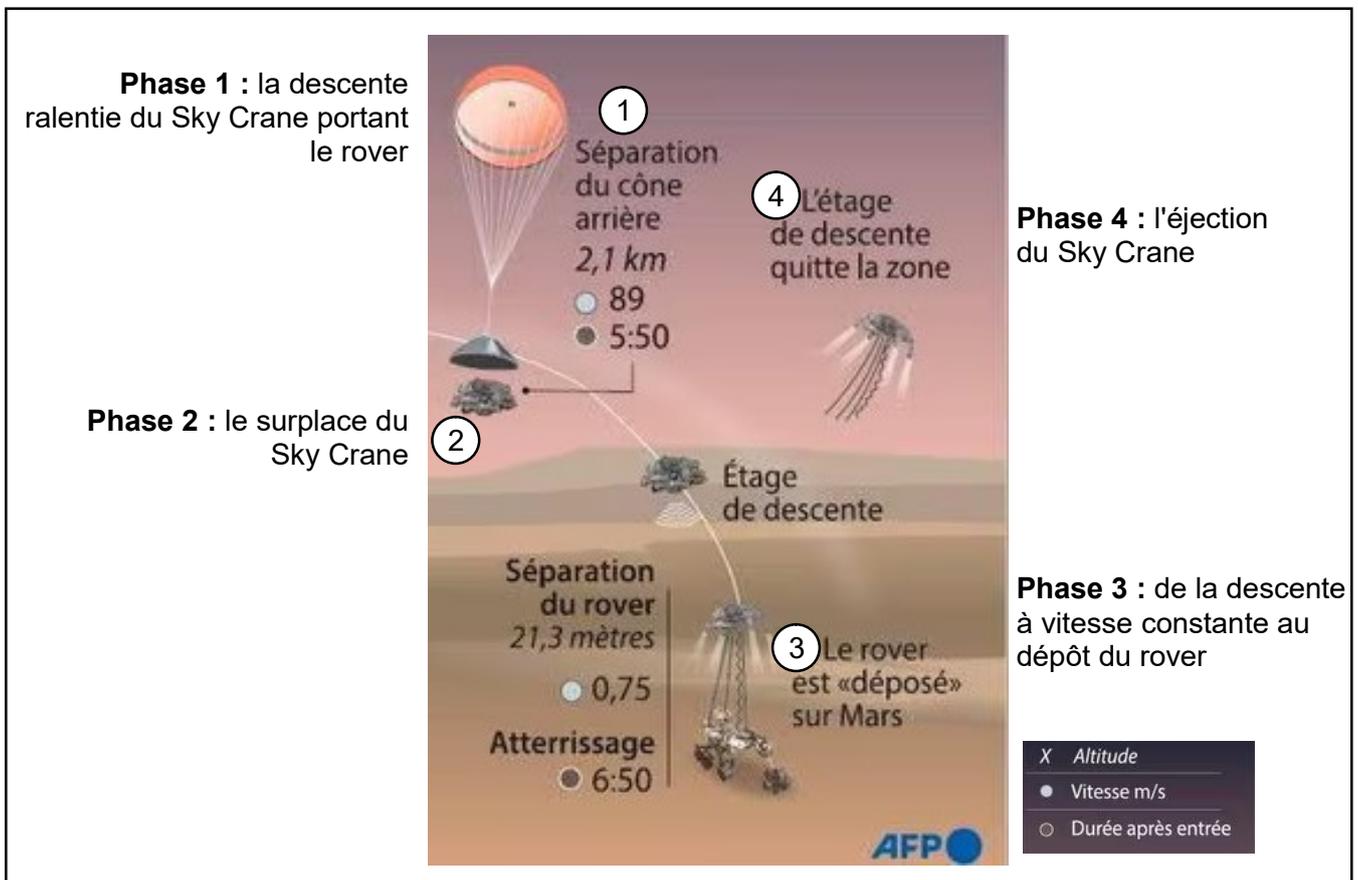
## Exercice I : Mission Mars 2020 : le portrait – robot de « Persévérance » (5 points)

Le rover américain Persévérance, qui s'est posé sur la planète Mars le 18 février 2021 dans le cratère Jezero, est un véhicule de la taille d'une voiture et équipé de multiples capteurs et instruments de mesure.

Après six mois et demi de voyage environ, le rover américain, protégé dans sa capsule, a accompli un enchaînement délicat et rigoureux d'actions pour se poser. Tout s'est joué en seulement 7 minutes : « les sept minutes de terreur ».

Cet enchaînement délicat se déroule en 4 phases ; comme présenté sur la figure 1 :

- phase 1 : la descente ralentie du Sky Crane portant le rover
- phase 2 : le survol du Sky Crane
- phase 3 : la descente à vitesse constante suivie du dépôt du rover
- phase 4 : l'éjection du Sky Crane



Source : NASA

**Figure 1** - Fin de l'atterrissage de Persévérance sur Mars : « Extrait des 7 minutes de terreur »

**Donnée :**

- intensité du champ de pesanteur au voisinage de la surface de Mars :  $g = 3,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

### Études cinématique et dynamique lors de la descente autopropulsée (phases 1 à 3)

Dans cette première question, le système étudié est l'ensemble « Sky Crane + rover Persévérance » (assimilé à un point matériel) dans un référentiel lié à Mars considéré galiléen. Pour simplifier l'étude, on considèrera que les mouvements étudiés sont rectilignes et que les frottements sont négligeables.

1. Compléter le tableau situé en **ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**. On notera  $\vec{F}$  la force de propulsion des rétrofusées du Sky Crane, qui permettent de ralentir ou d'empêcher la descente de l'ensemble. Les vecteurs (forces, vitesse ou accélération) seront représentés sans souci d'échelle. Leurs longueurs devront cependant être cohérentes avec la situation étudiée ainsi qu'avec leurs évolutions au cours du temps.

### Éjection du Sky Crane une fois le rover déposé (phase 3 à 4)

Pour la suite de cette partie, le système étudié est limité au seul Sky Crane, assimilé à un point matériel, noté M. Dès que le rover a été déposé, le Sky Crane monte à la verticale jusqu'à une altitude  $H$  de 60,0 m au-dessus du sol martien, puis s'incline d'un angle  $\alpha = 45,0^\circ$  par rapport à l'horizontale et une force propulsive l'éjecte loin du lieu d'atterrissage du rover, avec une vitesse initiale  $v_0 = 25,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . La force propulsive cesse à  $t = 0 \text{ s}$ .

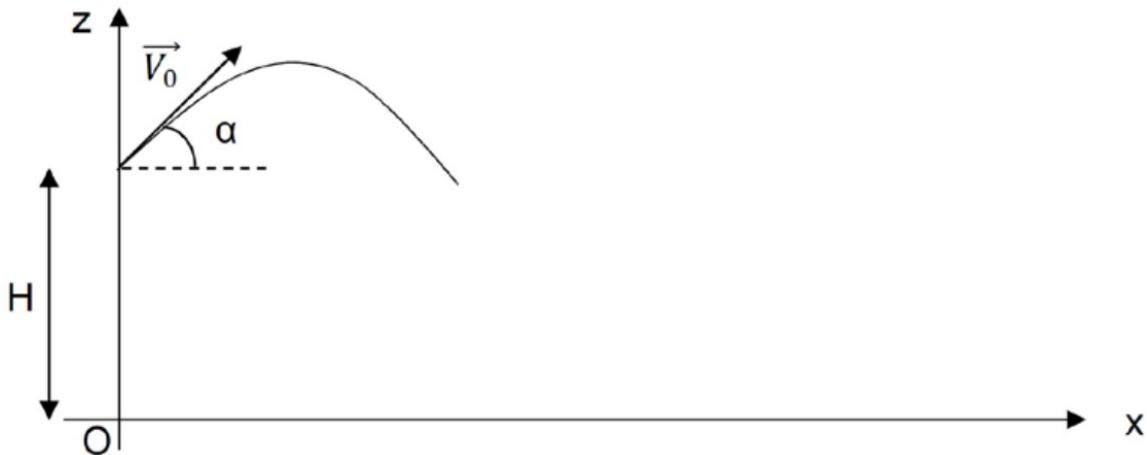


Figure 2

2. À partir de  $t = 0 \text{ s}$ , les forces de frottements sont négligées. Citer la seule force s'appliquant sur le Sky Crane et qualifier ainsi la nature de la chute ainsi obtenue.
3. Établir l'expression des composantes de l'accélération, celles de la vitesse du Sky Crane et enfin celle des coordonnées de sa position en fonction du temps.
4. Montrer que l'équation de la trajectoire du Sky Crane s'écrit :

$$z(x) = -\frac{1}{2}g \times \left(\frac{x}{v_0 \times \cos\alpha}\right)^2 + x \times \tan\alpha + H$$

Préciser le type de trajectoire auquel correspond cette équation.

5. Pour des questions de sécurité évidente et afin de ne pas endommager le rover Persévérance qui a été déposé sur le sol martien en O, le Sky Crane doit être éjecté au minimum à 200 m de distance du lieu d'atterrissage du rover. Dans ces conditions opératoires, vérifier que le Sky Crane atteint bien la distance de sécurité.

*Pour cette question, la rigueur des calculs, la rédaction du raisonnement et toute initiative prise durant la démarche, même non aboutie, seront valorisées lors de la correction.*

## Exercice II : COMPRENDRE LES NUAGES (5 POINTS)

La physique des nuages est l'étude des processus de formation et d'évolution des nuages et des précipitations qui les accompagnent. Les nuages sont formés de microscopiques gouttelettes. La formation et la stabilité d'un nuage dépendent notamment des mouvements verticaux de l'air dans celui-ci.

### A. Radar profileur de nuage

Le satellite Earthcare, en passant au-dessus d'un nuage, peut faire des analyses d'un nuage grâce à des instruments embarqués. L'un de ces instruments est un radar profileur de nuage, nommé Cloud Profiling Radar (CPR) dont le rôle est notamment d'étudier les mouvements verticaux des gouttelettes dans le nuage.

Le radar CPR envoie vers le nuage des ondes électromagnétiques. Les gouttelettes (dont le diamètre est de l'ordre de 10 à 100  $\mu\text{m}$ ) présentes dans le nuage renvoient une partie de ces ondes vers le satellite. Le signal reçu par le satellite est analysé.

Pour obtenir un signal exploitable, la longueur d'onde des ondes électromagnétiques émises par le CPR doit être supérieure à dix fois celle du diamètre des gouttelettes.

D'après Wikipédia.

- Données :
- la longueur d'onde  $\lambda$  (en m), la fréquence  $f$  (en Hz) et la célérité d'une onde  $c$  (en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) sont liées par la relation :  $\lambda = \frac{c}{f}$
  - indice de réfraction d'un nuage :  $n = 1,01$
  - célérité d'une onde électromagnétique dans le vide :  $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Le CPR utilise des ondes électromagnétiques de fréquence  $f_e = 94,05 \times 10^9 \text{ Hz}$ .

1. Déterminer si les ondes électromagnétiques utilisées par le CPR permettent d'obtenir un signal exploitable. Justifier la réponse.

Le satellite EarthCARE est situé à 390 km d'altitude à la verticale d'un nuage. Il se déplace à la vitesse  $v = 7,5 \times 10^3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  par rapport au sol. Le nuage de dimension horizontale d'environ 1 km est immobile par rapport au sol et situé à une altitude moyenne de 2 km.

2. Vérifier que la distance parcourue par le satellite durant le temps d'un aller-retour des ondes électromagnétiques entre le satellite et le nuage est très inférieure à la longueur du nuage. On négligera l'épaisseur du nuage.

Dans le cas où l'épaisseur du nuage est non négligeable, un phénomène d'interférence des ondes électromagnétiques apparaît par réflexion à l'interface air/nuage.

En considérant les ondes arrivant perpendiculairement au nuage, l'onde se réfléchit une première fois sur la partie supérieure du nuage (onde 1) et une seconde fois après avoir traversé le nuage d'épaisseur  $e$  (onde 2). Le phénomène d'interférence peut se produire entre les 2 ondes au dessus du nuage. (Figure 1)

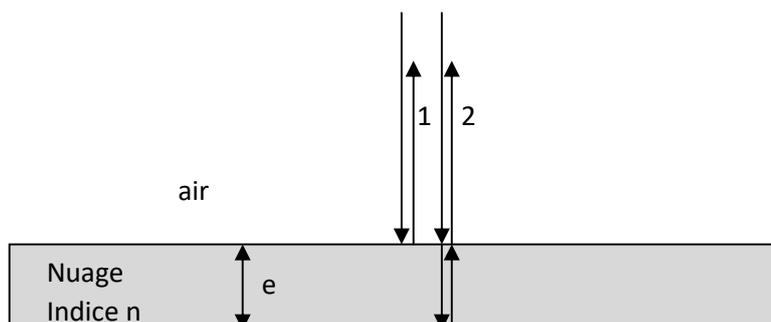


Figure 1

3. Déterminer la différence de marche entre l'onde 1 et l'onde 2. En déduire la différence de chemin optique entre l'onde 1 et l'onde 2.
4. Ecrire les conditions d'interférences constructives et destructives des ondes 1 et 2.
5. Déterminer pour une onde électromagnétique radio de longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0 = 400 \text{ m}$ , et pour une épaisseur du nuage de 500 m si les interférences sont constructives ou destructives.

### B. Une expérience contestée

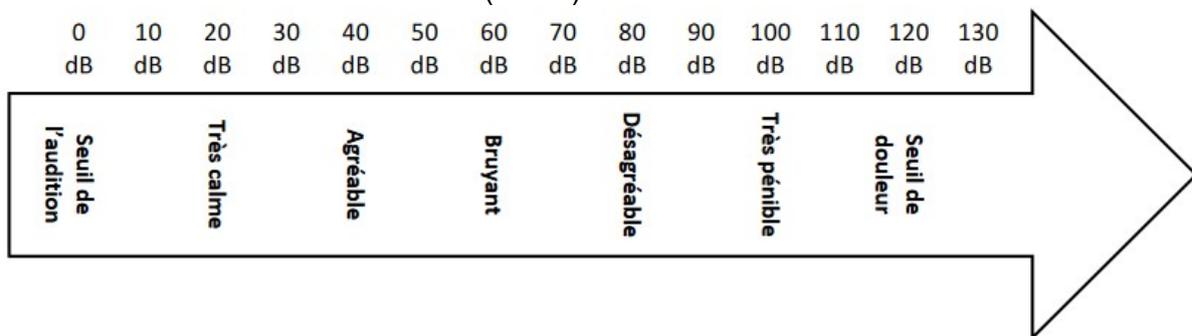
En février 2021, divers journaux ont rapporté une expérience scientifique étonnante. Une équipe de l'université chinoise de Qinghai vient de tester l'effet d'un son très puissant : sous l'influence des ondes acoustiques émises à 160 dB, les précipitations auraient augmenté.

La mesure du niveau sonore de 160 dB a été réalisée à 1,0 m du haut-parleur.

Dans un article en ligne du journal anglais Dailymail du 5 février 2021, un journaliste relate avec enthousiasme cette expérience et affirme que les ondes sonores utilisées sont à peine audibles.

#### Données :

- le niveau d'intensité sonore  $L$  (en dB) est défini par :  $L = 10 \cdot \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$   
 $I$  et  $I_0$  sont exprimés en  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$  ;  $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  ;
- l'intensité sonore  $I$  (en  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) est liée à la puissance sonore  $P$  (en W) rayonnée par la source, qui se répartit au cours de la propagation sur une surface d'aire  $S$  (en  $\text{m}^2$ ) :  $I = \frac{P}{S}$   
avec  $S = 4 \pi \cdot d^2$  où  $d$  (en m) est la distance qui sépare le récepteur de la source ;
- échelle de niveau d'intensité sonore (en dB) :



Pendant l'expérience réalisée par l'université chinoise de Qinghai, une personne se place à une distance  $d$  du haut-parleur.

6. Déterminer la puissance sonore générée par ce son à 1,0 m du haut-parleur.
7. Estimer la distance  $d$  minimale pour qu'une personne ne subisse pas de gêne liée au bruit du haut-parleur. Commenter le point de vue du journaliste.

*Pour cette question, la rigueur des calculs, la rédaction du raisonnement et toute initiative prise durant la démarche, même non aboutie, seront valorisées lors de la correction.*

### Exercice III : LE SEL D'OSEILLE (10 points)

Le sel d'oseille est une substance chimique présente sous forme d'un solide cristallin blanc, incolore et inodore. Il était historiquement extrait de certaines plantes telles que l'oseille ou la rhubarbe. On le nomme aussi, en nomenclature officielle, l'acide éthanedioïque ou plus communément acide oxalique. Cette substance est actuellement utilisée dans l'industrie pour la création de polymères mais peut être aussi employée dans de nombreux autres domaines : produit nettoyant, répulsif à frelon en apiculture, etc.

L'objectif de cet exercice est de valider deux hypothèses sur le type d'acidité de l'acideoxalique puis dans un second temps de retrouver la formulation de cet acide dans unproduit ménager.

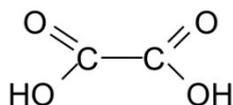
#### 1. Première hypothèse : l'acide oxalique est un diacide fort.

##### Données :

➤ Tableau regroupant les électronégativités des atomes de carbone, d'oxygène et d'hydrogène :

	Carbone	Oxygène	Hydrogène
Électronégativité	2,55	3,44	2,20

➤ Formule semi-développée de l'acide oxalique :



1.1. Donner la définition d'une espèce acide selon Brønsted puis, justifier le terme diacide pour l'acide oxalique.

1.2. Représenter sur votre copie la représentation de Lewis de l'acide oxalique ainsi que celle de l'une des deux autres formes acido-basiques. Justifier le caractère acide des atomes d'hydrogène dans la molécule.

1.3. Donner les deux couples acide/base associés à l'acide oxalique puis donner la particularité de l'espèce chimique présente dans les deux couples.

Au laboratoire, on mesure la valeur du  $pH$  d'une solution d'acide oxalique de concentration en acide apporté  $C_0$  égale à  $5,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . La valeur du  $pH$  obtenu est de 1,47.

On souhaite modéliser la transformation chimique entre l'acide oxalique et l'eau en émettant l'hypothèse que l'acide oxalique se comporte comme un diacide fort. On notera  $AH_2(aq)$  l'acide oxalique et  $A^{2-}(aq)$  l'ion oxalate.

1.4. Écrire l'équation de la réaction modélisant cette transformation chimique.

1.5. En déduire que, dans le cas de l'hypothèse précédente, la valeur de la concentration en quantité de matière en ions oxonium  $[H_3O^+]$  est égale à  $1,00 \times 10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . On pourra s'appuyer sur un tableau d'avancement.

##### Donnée :

➤ La concentration standard  $c^\circ$  est égale à  $1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

1.6. À l'aide du résultat précédent, calculer la valeur du  $pH$  théorique de la solution puis, justifier l'hypothèse que l'acide oxalique est un diacide fort n'est pas valide.

**2. Deuxième hypothèse : l'acide oxalique se comporte comme un monoacide faible en solution.**

**Données :**

- La concentration en acide apporté  $C_0$  de la solution d'acide oxalique est égale à  $5,00 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .
- Valeur du  $pK_a$  de la première acidité :  $pK_{a1} = 1,2$ .
- Équation de la réaction associée à la première acidité :
 
$$\text{AH}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{AH}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$$
- Rappel de la valeur expérimentale du  $pH$  de la solution d'acide oxalique :  $pH_{\text{exp}} = 1,47$ .

- 2.1. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique de l'espèce  $\text{AH}^-$  avec l'eau associée à la deuxième acidité.
- 2.2. À l'aide de la figure 1, déterminer la valeur du  $pK_a$  de la deuxième acidité de l'acide oxalique.

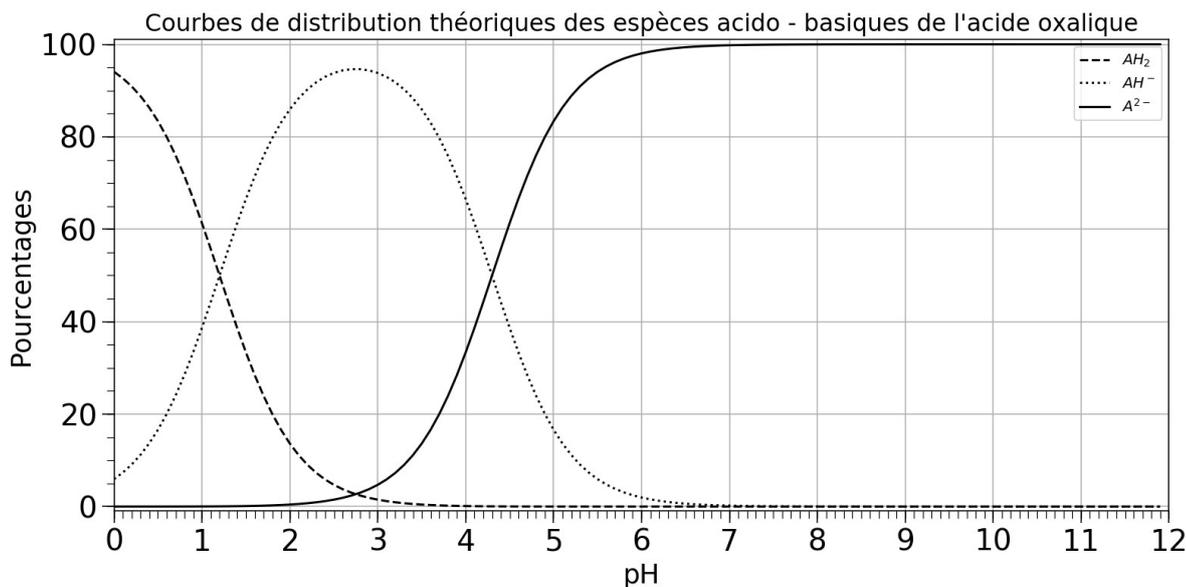


Figure 1 : Diagramme théorique de distribution des différentes espèces acido-basiques de l'acide oxalique

- 2.3. À l'aide de la figure 1 et de la valeur du  $pH$  réel de la solution, donner le pourcentage approximatif de chaque espèce présente dans la solution puis, justifier que l'on peut émettre l'hypothèse selon laquelle l'acide oxalique se comporte comme un monoacide.

Dans le cadre de cette deuxième hypothèse, nous allons essayer de retrouver la valeur du  $pH$  théorique de la solution.

- 2.4. À partir de l'équation de la réaction présentée en données, exprimer la constante d'acidité  $K_{a1}$  en fonction de la concentration des différentes espèces chimiques à l'équilibre.
- 2.5. À l'aide la question précédente, justifier que la concentration en ion oxonium, notée  $h$ , vérifie l'équation du second degré suivante :

$$h^2 + K_{a1} \cdot h - K_{a1} \cdot C_0 = 0 \text{ avec } h = [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{eq}}$$

Pour retrouver la concentration en ions oxonium, nous utilisons un code python incomplet donné en figure 2 permettant de calculer directement la concentration  $h$  en ions oxonium, ainsi que la valeur du  $pH$  théorique de la solution.

	code python
1	import math
2	pKa1=float(input("pKa1 du couple : "))
3	concentration=float(input("Concentration apportée en mol/L : "))
4	Ka1=
5	#### Coefficients du polynome du deuxieme degre
6	a = 1
7	b = Ka1
8	c = -Ka1*concentration
9	### Calcul du discriminant
10	Delta=b**2-4*a*c
11	### Solution pour [H3O+]
12	h=(-b +sqrt(Delta))/(2*a)
13	### pH final
14	pH = -math.log10(h)
15	### Ecriture des resultats
16	print ('h=',format(h,"3.2E"),"mol/L", ',' ,"pH final :",round(pH,2))
	<b>résultat du code</b>
	h= 3.29E-02 mol/L pH final : 1.48

Figure 2. Code python permettant de calculer la concentration  $h$  en ions oxonium et la valeur du  $pH$  théorique de la solution.

- 2.6. Compléter la ligne 4 du code python par la formule permettant au programme de calculer la valeur de la constante d'acidité  $Ka_1$ .
- 2.7. À l'aide du résultat calculé par python et des données, justifier le fait que l'acide oxalique se comporte bien comme un monoacide faible.

### 3. Formulation de l'acide oxalique.

Lors de l'achat de l'acide oxalique, on peut le trouver sous deux formes différentes. Dans un cas, il peut être pur et dans l'autre, il peut se trouver sous forme dihydratée.

Un agent de laboratoire trouve un récipient contenant un solide blanc portant une étiquette avec la mention «acide oxalique» sans aucune autre précision.

Ne sachant pas si le produit est dihydraté ou non, il décide de faire un titrage par suivi pH-métrique d'une solution aqueuse de ce solide. Pour cela, il fabrique une solution connue par dissolution d'une masse d'acide oxalique  $m = 0,27$  g avec une incertitude-type  $u(m) = 0,01$  g dans une fiole jaugée de volume  $V = 100,0$  mL avec une incertitude-type  $u(V) = 0,1$  mL.

#### Données :

- L'incertitude  $u(X)$  sur une grandeur  $X$  lorsqu'elle est obtenue à partir d'autres grandeurs indépendantes s'écrit pour l'opération division :

$$\text{Si } X = \frac{Y}{Z} \text{ alors } u(X) = X \cdot \sqrt{\left(\frac{u(Y)}{Y}\right)^2 + \left(\frac{u(Z)}{Z}\right)^2}$$

$u(X)$  est aussi appelée incertitude-type composée pour l'opération division. Les autres incertitudes-types sont souvent issues de l'évaluation de type B (une seule mesure).

- Tableau regroupant des informations sur les deux formulations de l'acide oxalique

	acide oxalique pur	acide oxalique dihydraté
<b>formule brute</b>	$C_2H_2O_4$	$C_2H_2O_4, 2H_2O$
<b>masse molaire (g·mol<sup>-1</sup>)</b>	90,0	126
<b>pictogramme de sécurité</b>		
	toxicité aigüe	toxicité
<b>utilisation</b>	dans l'industrie	produit ménager

3.1. Calculer la concentration en masse  $C_m$  de la solution fabriquée accompagnée de son incertitude-type  $u(C_m)$ .

L'équation support du titrage est :  $C_2H_2O_4 + 2 HO^- \rightarrow C_2O_4^{2-} + 2 H_2O$

3.2. Donner une caractéristique indispensable de la transformation chimique afin que l'on puisse l'utiliser lors d'un dosage par titrage direct.

3.3. Après avoir défini l'équivalence, donner la relation entre les quantités de matière des espèces titrée  $n_{titrée}$  et titrante  $n_{titrante}$  à l'équivalence.

L'agent de laboratoire prélève un volume  $V$  égal à 20,0 mL de la solution fabriquée précédemment. Il la titre à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration en quantité de matière  $[HO^-] = 0,10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

La courbe de dosage par titrage pH-métrique est présentée figure 3.

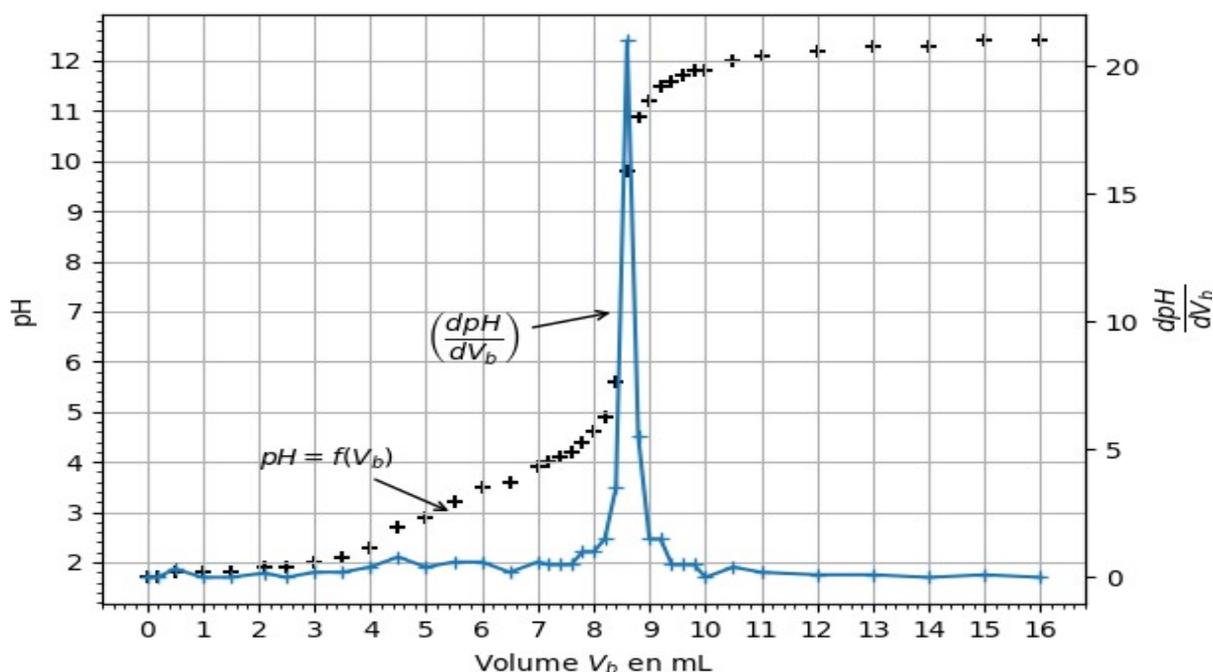


Figure 3 : Représentation graphique du  $pH$  et  $\frac{dpH}{dV_b}$  en fonction du volume de solution d'hydroxyde de sodium lors du titrage de l'acide oxalique par les ions hydroxyde

**Données :**

➤ Tableau regroupant une liste d'indicateurs colorés ainsi que leurs zones de virage

indicateur coloré	Couleur acide	Couleur basique	Zone de virage
Bleu de bromothymol	jaune	bleu	6,0 – 7,6
Rouge de crésol	jaune	rouge	7,2 – 8,8
Phénolphthaléine	incolore	rose	8,2 – 10
Hélianthine	rouge	jaune	3,1– 4,4

3.4. Proposer en justifiant le nom d'un indicateur coloré convenable, ainsi que le changement de couleur obtenu lors de l'équivalence si l'agent de laboratoire avait choisi un titrage colorimétrique.

*Pour la question suivante, le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche suivie est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.*

3.5. À l'aide de la figure 3, déterminer la concentration en quantité de matière en acide oxalique, puis justifier si le solide initial est dihydraté ou non.



Nom :

## ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

### Document-réponse : EXERCICE I question 1

Indiquer  $\vec{v} = \vec{0}$  ou  $\vec{a} = \vec{0}$  si nécessaire. (phases 1 à 3)

Mouvement étudié	Étude cinématique (représenter $\vec{v}$ et $\vec{a}$ )	Étude dynamique (représenter $\vec{F}$ )	Justifier l'étude dynamique à partir d'une loi
La descente ralentie entre (1) et (2).	•		
Le surplace (2).	•		
La descente à vitesse constante entre (2) et (3).	•		