

# Spécialité Physique – Chimie – Sujet B

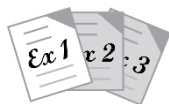
Mercredi 9 février

Durée : 3h30

Calculatrice autorisée

Chacun des trois exercices est à rédiger sur une copie à part indiquant la classe et le nom du professeur de physique-chimie du candidat.

## Exercice 1 : des espèces chimiques naturelles – 10 points



Rappel : on rend 3 copies !

Cet exercice est à rédiger sur une copie séparée des deux autres, indiquant la classe et le nom du professeur de physique-chimie du candidat.

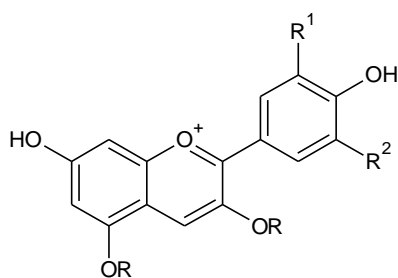
Les anthocyanes sont des colorants naturels présents dans de nombreux fruits rouges ou de pétales de fleurs.

Ils sont notamment présents dans les feuilles de chou rouge d'où il est aisé de les extraire.

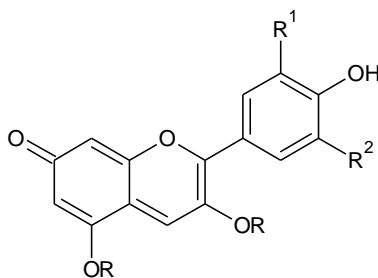
La variation de structure des anthocyanes en fonction de l'acidité du milieu est une particularité de ces molécules.

Suivant le pH, 3 formes ayant des propriétés absorbantes différentes, ont été mises en évidence (DOCUMENT 1).

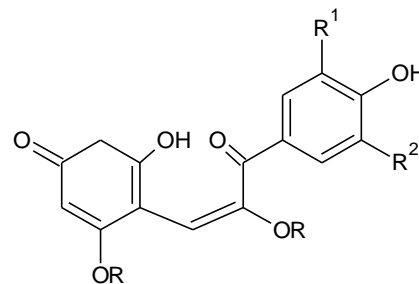
### DOCUMENT 1 : Les anthocyanes du chou



Cation Flavylium



Base quinonique



Chalcone

### DOCUMENT 2 :

Espèce chimique prédominante	Cation Flavylium	Base Quinonique	Chalcone
pH	3,0	6	8,5
Couleur	rouge	bleu	vert

### DOCUMENT 3 : réactifs et produits de la synthèse

	Masse molaire en g · mol <sup>-1</sup>	Masse volumique à 20°C en g · mL <sup>-1</sup>	Température de fusion en °C	Température d'ébullition en °C	Solubilité dans l'eau
Acide propanoïque (HA)	74,0	0,99	- 20,8	141	infinie
Alcool isoamylique	88,2	0,81	- 117	128,5	faible
Propanoate d'isoamyle (ester)	144,2	0,87	- 73		faible

On souhaite utiliser le jus de chou rouge comme indicateur coloré pour doser par titrage colorimétrique l'acide propanoïque utilisé dans la synthèse de l'arôme d'abricot.

## 1<sup>ère</sup> partie

### Mise en place du titrage colorimétrique

Pour ce titrage, l'acide propanoïque noté  $HA_{(aq)}$  est titré par une solution d'hydroxyde de sodium  $Na^+ (aq) + HO^- (aq)$ .

1. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.
2. Légender le schéma du titrage de l'ANNEXE 1.

Afin de vérifier que l'utilisation du jus de chou rouge est judicieuse pour ce titrage, un titrage préalable est réalisé dans les mêmes conditions expérimentales par pH-métrie. La courbe de titrage pH-métrique obtenue est donnée en ANNEXE 2.

3. Déterminer, en faisant apparaître les traits de construction sur la courbe de l'ANNEXE 2, le volume  $V_{BE}$  et le  $pH$  à l'équivalence.
4. Quelle serait, avant le titrage, la couleur d'une solution d'acide propanoïque si on y introduisait quelques gouttes de jus de chou rouge ? Justifier à l'aide des documents et du graphique de l'ANNEXE 2.
5. Justifier que le jus de chou rouge puisse être utilisé comme indicateur coloré pour le titrage colorimétrique de l'acide propanoïque.

Les anthocyanes du chou rouge sont utilisés dans la suite pour réaliser les titrages de l'acide propanoïque par colorimétrie.

## 2<sup>ème</sup> partie

### Suivi temporel de la synthèse

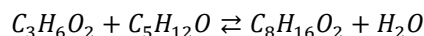
Une des molécules responsables de l'arôme d'abricot est le propanoate d'isoamyle de formule brute  $(C_8H_{16}O_2)$ . C'est un ester. Cette molécule est synthétisée au moyen d'un dispositif de chauffage à reflux en mélangeant :

- un volume  $V_{(alcool)} = 20,0$  mL d'alcool isoamylique de formule brute  $(C_5H_{12}O)$  ;
- un volume  $V_{(HA)} = 29,0$  mL d'acide propanoïque de formule brute  $(C_3H_6O_2)$  ;
- un volume  $V = 1,0$  mL d'acide sulfurique.

On note  $V_T = 50,0$  mL le volume total du mélange réactionnel.

Les réactifs sont introduits à la date  $t = 0$  min.

La réaction de synthèse du propanoate d'isoamyle a pour équation :



Afin de suivre l'évolution de cette transformation en fonction du temps, des prises d'essai de volumes identiques et de valeur  $V_{essai} = 3,0$  mL sont réalisées à intervalles de temps réguliers. Une trempe de chaque prise d'essai est effectuée dès son prélèvement ; cette opération consiste à ajouter une grande quantité d'eau distillée glacée à la prise d'essai.

L'acide propanoïque présent dans chaque prise d'essai est dosé par une solution d'hydroxyde de sodium dont la concentration vaut  $C_B = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  en présence de jus de chou rouge.

Les données utiles à la résolution de l'exercice sont données dans le DOCUMENT 3.

6. Expliquer l'intérêt de la trempe en précisant le(s) facteur(s) cinétique(s) mis en jeu.
7. Déterminer la quantité de matière initiale d'acide propanoïque  $n_{(HA)_0}$  introduite à la date  $t = 0$  min. La quantité de matière initiale d'alcool A est  $n_{(alcool)_0} = 1,8 \times 10^{-1} \text{ mol}$ .
8. Déterminer l'avancement maximal  $x_{max}$  de cette réaction chimique en s'aidant éventuellement d'un tableau d'avancement.
9. En déduire une relation entre la quantité de matière  $n_{(HA)_t}$  d'acide propanoïque restant à une date  $t$  quelconque, la quantité de matière initiale  $n_{(HA)_0}$  et l'avancement  $x_{(t)}$  de la transformation à la date  $t$ .

Dans le tableau suivant, on donne les valeurs de volume  $V_{BE}$  de réactif titrant versés à l'équivalence pour titrer l'acide propanoïque présent dans la prise d'essai de volume  $V_{essai} = 3,0$  mL :

$t$ (min)	0	2	5	10	15	20	25	30
$V_{BE}$ (mL)	23,3	20,0	17,8	14,8	13,7	13,3	13,0	13,0

10. Déterminer la quantité de matière  $n_{(HA)_{essai}}$  de l'acide propanoïque présent dans la prise d'essai à la date  $t = 30$  min. En déduire la quantité  $n_{(HA)_{(t=30 \text{ min})}}$  de l'acide propanoïque restant dans le milieu réactionnel à  $t = 30$  min. On supposera, pour simplifier, que le volume du milieu réactionnel reste constant et de valeur  $V_T = 50,0$  mL pendant la synthèse.

11. Utiliser les réponses aux questions 9. et 10. pour en déduire la valeur de l'avancement  $x_{(t=30 \text{ min})}$  de la réaction à la date  $t = 30 \text{ min}$ .
12. Définir le taux d'avancement d'une transformation. Calculer sa valeur à la date  $t = 30 \text{ min}$ . Conclure
13. Placer la valeur du taux d'avancement déterminée dans la question 12 sur le graphique de l'ANNEXE 3. Tracer ensuite la courbe obtenue.
14. Définir et déterminer graphiquement le temps de demi-réaction.

### 3<sup>ème</sup> partie

## Étude cinétique

15. Rappeler la définition de la vitesse volumique d'apparition  $v_{app}(P)$  d'un produit noté  $P$  en fonction de sa concentration  $[P]$  **s'il est en solution**.
16. Comme l'ester formé n'est pas en solution, sa vitesse (non-volumique) d'apparition est définie ici en fonction de sa quantité de matière par :

$$V_{app}(P) = \frac{dn(\text{ester})}{dt}$$

Montrer que cette vitesse d'apparition s'exprime en fonction du taux d'avancement de la réaction de sa synthèse par :

$$V_{app}(\text{ester}) = x_{max} \times \frac{d\tau}{dt}(t) = 0,18 \times \frac{d\tau}{dt}(t)$$

où  $\tau(t)$  représente le taux d'avancement à la date  $t$ .

17. En utilisant le graphique de l'ANNEXE 3 et la réponse à la question précédente, calculer la vitesse d'apparition du propanoate d'isoamyle à la date  $t = 10 \text{ min}$ .
18. En exploitant l'allure du graphique de l'ANNEXE 3 mais sans faire de calcul, comparer la vitesse d'apparition du propanoate d'isoamyle aux dates  $t = 0$  et  $t = 10 \text{ min}$ .
19. Proposer une explication à cette évolution de  $V_{app}(\text{ester})$ , reposant sur un facteur cinétique.

## Exercice 2 : la lumière au service des aquariums - 5 points



Rappel : on rend 3 copies !

Cet exercice est à rédiger **sur une copie séparée** des deux autres, indiquant la classe et le nom du professeur de physique-chimie du candidat.

Les artémies (voir photo ci-dessous) sont des crustacés élevés pour nourrir les poissons des aquariums. Leur taille doit être adaptée à l'espèce de poisson à nourrir. On utilise des tamis calibrés pour les sélectionner.



Source : <https://fr.m.wikipedia.org>

On se propose dans cet exercice de déterminer la taille des mailles d'un tamis en utilisant une diode laser de longueur d'onde  $\lambda = (650 \pm 10) \text{ nm}$ .

1<sup>ère</sup> partie

### Vérification de la valeur de la longueur d'onde de la diode laser utilisée

Pour vérifier la valeur de la longueur d'onde de la diode laser annoncée par le constructeur, on réalise une expérience dont le schéma est donné ci-dessous (figure 1).

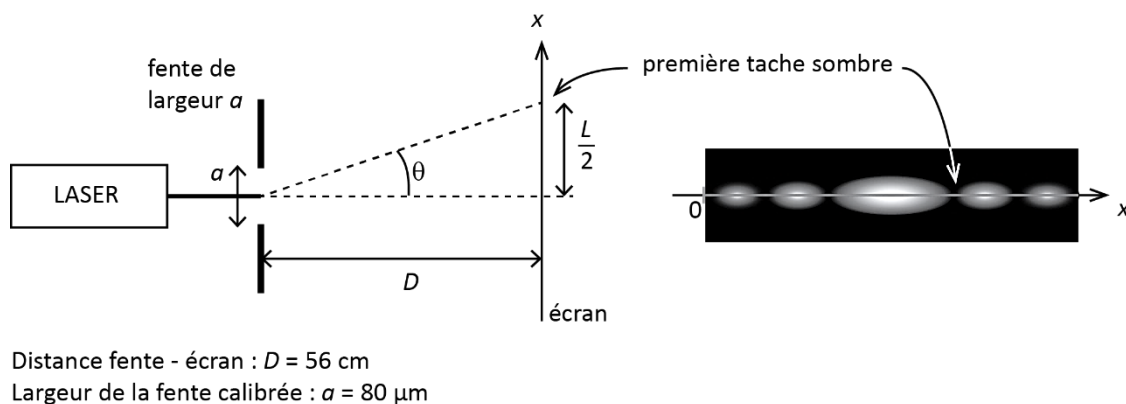


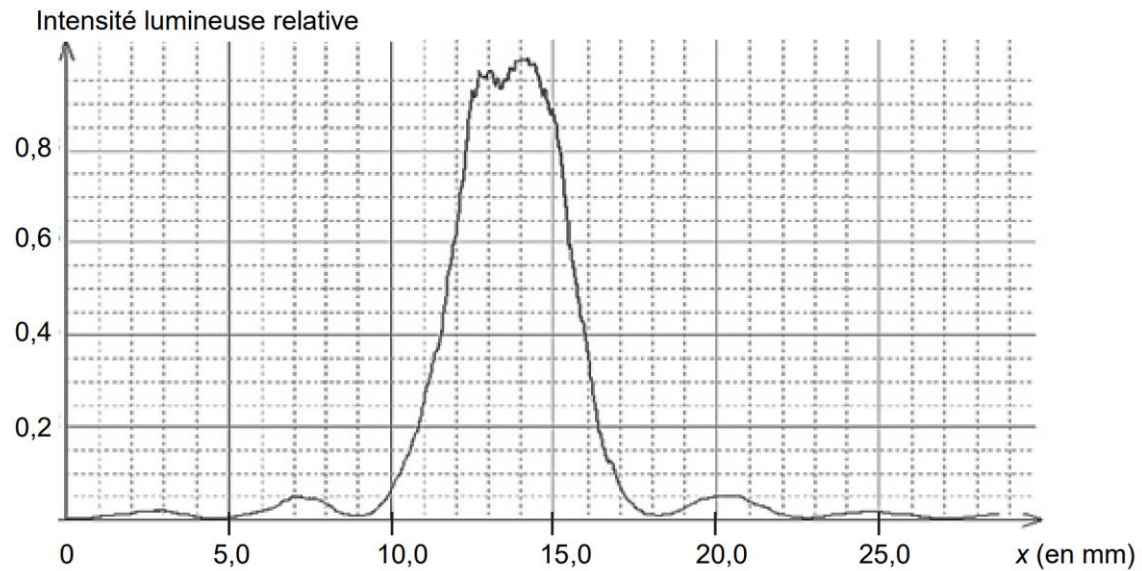
Figure 1. schéma de l'expérience (échelle non respectée)

Figure 2. Figure observée sur l'écran

1. Nommer le phénomène physique responsable des taches lumineuses observées sur l'écran. Discuter qualitativement de l'influence de la largeur de la fente et de la longueur d'onde de l'onde incidente sur le phénomène observé.
2. On rappelle que l'angle  $\theta$  est donné par la relation  $\theta = \frac{\lambda}{a}$  et on considère que  $\tan \theta = \theta$  pour les petits angles ( $\theta \ll 1 \text{ rad}$ ). Déterminer l'expression de l'angle  $\theta$  en fonction de la largeur  $L$  de la tache centrale et de  $D$ . En déduire l'expression de la longueur d'onde  $\lambda$  en fonction de  $L$ ,  $a$  et  $D$ .

Pour faire une mesure précise, on remplace l'écran par une caméra qui permet d'obtenir l'intensité lumineuse relative\* en fonction de la position  $x$ , repérée selon l'axe indiqué sur la photo de la figure 2. L'origine  $x = 0 \text{ m}$  est prise sur le bord du capteur de la caméra. On obtient alors la figure 3.

\* L'intensité lumineuse relative est le rapport de l'intensité lumineuse reçue par le capteur sur l'intensité maximale reçue.



**Figure 3. Intensité lumineuse relative en fonction de la position sur l'écran**

3. Déterminer la valeur de la longueur d'onde de la diode laser utilisée en exploitant la courbe obtenue sur la figure 3. La comparer à la valeur indiquée par le constructeur.

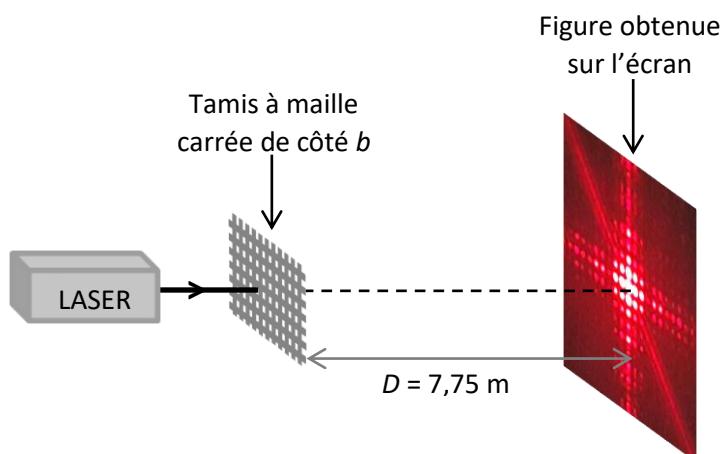
## 2<sup>ème</sup> partie

### Calibrage du tamis de récupération

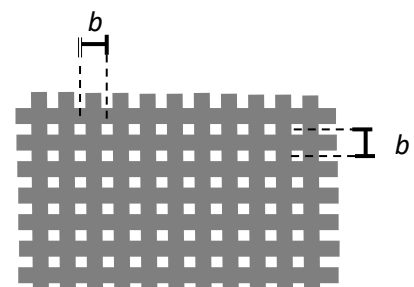
Le but de cette partie est de vérifier que le tamis disponible, dont le maillage est représenté sur la figure 5, permet de récupérer toutes les artémies d'une taille supérieure à 150  $\mu\text{m}$ . On réalise une expérience d'interférences pour évaluer les dimensions du tamis en utilisant la diode laser précédente. La largeur du fil plastique constituant le tamis est égale à 230  $\mu\text{m}$ .

L'expérience d'interférences est décrite ci-dessous :

- le montage utilisé est donné sur la figure 4 ;
- on utilise la diode laser de longueur d'onde  $\lambda = (650 \pm 10) \text{ nm}$  ;
- la distance entre le tamis et l'écran vaut  $D = (7,75 \pm 0,03) \text{ m}$  ;
- on note  $b$  la distance entre les centres de deux trous consécutifs du maillage du tamis ;
- la figure d'interférences obtenue est donnée sur les figures 6 et 7.



**Figure 4. Montage utilisé (échelle non respectée)**



**Figure 5. Schéma du maillage du tamis**

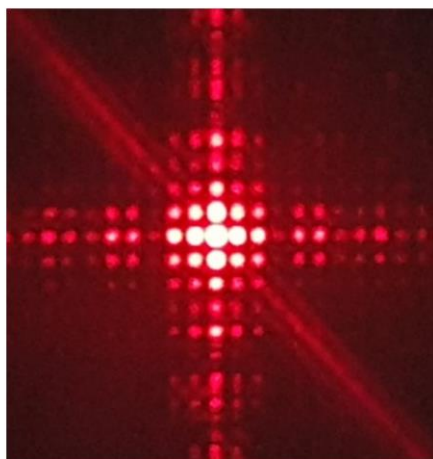


Figure 6. Figure d'interférences obtenue

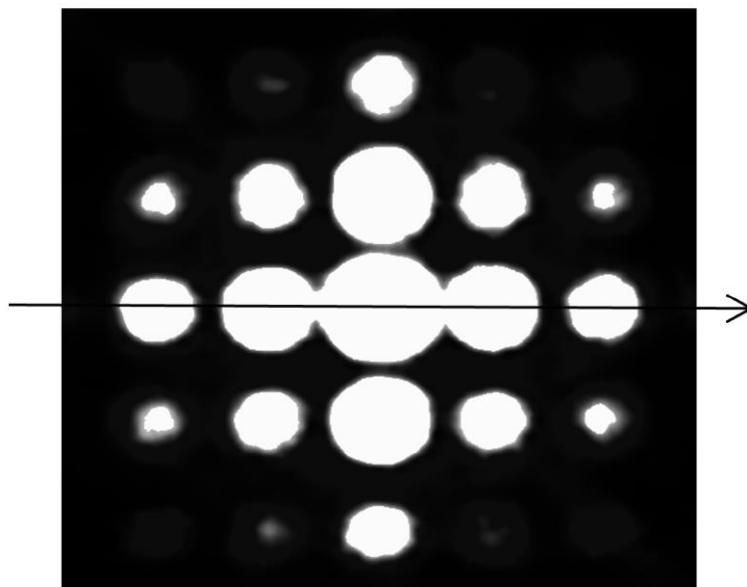


Figure 7. Tache centrale de la figure d'interférences à l'échelle 1/1

4. Expliquer brièvement, sans calcul, l'origine de la présence de zones sombres et de zones brillantes dans une figure d'interférences lumineuses.

Le centre de la figure d'interférences de la figure 6 est représenté sur la figure 7 ci-dessus à l'échelle 1/1.

L'interfrange, noté  $i$ , est défini comme la distance entre les centres de deux taches lumineuses successives selon l'axe identifié sur la figure 7.

L'expression de l'interfrange est donnée par la relation :

$$i = \frac{\lambda \times D}{b}$$

L'incertitude-type  $u(b)$  sur la grandeur  $b$  peut se calculer à partir de la relation :

$$\frac{u(b)}{b} = \sqrt{\left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2}$$

où  $u(x)$  désigne l'incertitude-type associée à la grandeur  $x$ .

5. Évaluer la valeur de l'interfrange  $i$  en explicitant la méthode suivie pour obtenir la meilleure précision. Évaluer l'incertitude-type  $u(i)$  sur la mesure de l'interfrange  $i$ .
6. Calculer  $b$  puis évaluer  $u(b)$ .
7. Indiquer si le tamis étudié permet de récupérer les artémies voulues. Justifier.

## Exercice 3 : la sonde ROSETTA – 5 points



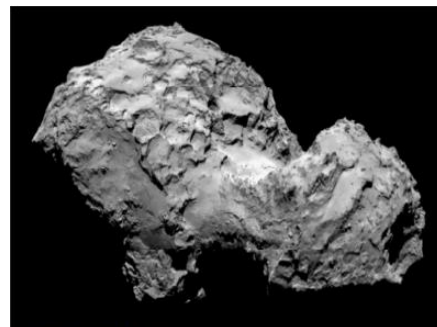
Rappel : on rend 3 copies !

Cet exercice est à rédiger **sur une copie séparée** des deux autres, indiquant la classe et le nom du professeur de physique-chimie du candidat.

En 2004, la sonde européenne ROSETTA a quitté la Terre pour un voyage long de 10 ans. Sa destination était la comète 67P Churyumov-Gerasimenko, dont elle s'est approchée au cours de l'année 2014. Une fois à proximité de cette dernière, ROSETTA a été mise en orbite autour de la comète et a entamé ses observations en juillet 2014. En novembre 2014, la sonde a largué PHILAE, un atterrisseur qui est venu se poser à la surface de la comète. La mission de PHILAE consiste à analyser la comète sous tous ses aspects : composition du sol, propriétés physiques, niveau d'activité...

Objectif : mieux comprendre comment notre système solaire s'est formé

Source : CNES (Centre National d'Études Spatiales)



Crédits : NASA/ESA

Données :

- Constante de gravitation universelle  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$  ;
- Masse de la comète 67P :  $M_C = 1,0 \times 10^{13} \text{ kg}$  ;
- Masse du système (ROSETTA + PHILAE) :  $M = 3,0 \times 10^3 \text{ kg}$  ;
- Masse de l'atterrisseur PHILAE :  $M_P = 1,0 \times 10^2 \text{ kg}$  ;
- Distance moyenne Terre-Soleil : 1 unité astronomique =  $1 \text{ ua} = 1,50 \times 10^8 \text{ km}$  ;
- Dans cet exercice, la comète 67P est modélisée par une sphère de rayon  $R$  égal à 2,0 km.

1<sup>ère</sup> partie

### Satellisation de ROSETTA

Dans cette partie, l'atterrisseur PHILAE est encore dans la sonde ROSETTA.

Au cours des mois d'août et septembre 2014, la sonde ROSETTA arrive à proximité de la comète et est mise en orbite autour de celle-ci sur une trajectoire que l'on considère circulaire à une altitude  $h$  de 20 km. La manœuvre est difficile du fait de la faible gravité qui règne autour de la comète et pour réussir cette satellisation, la vitesse doit être parfaitement ajustée. Une vitesse mal ajustée peut conduire à une non-satellisation, une trajectoire elliptique, voire la collision de la sonde avec la comète.

Le référentiel d'étude dans cette partie est le référentiel lié au centre de la comète et dont les trois axes pointent vers des étoiles lointaines. Ce référentiel est supposé galiléen.

1. Faire un schéma représentant le centre S de la sonde ROSETTA, son orbite autour de la comète et les vecteurs unitaires du repère de Frenet associé.  
Représenter la force d'interaction gravitationnelle exercée par la comète sur ROSETTA
2. Donner l'expression vectorielle de cette force gravitationnelle dans le repère de Frenet.
3. En supposant que ROSETTA n'est soumise qu'à l'interaction gravitationnelle avec la comète 67P, établir l'expression vectorielle de l'accélération  $\vec{a}_R$  de ROSETTA en fonction de  $G$ ,  $M_C$ ,  $h$  et  $R$ .
4. Montrer que pour être en mouvement circulaire, ROSETTA doit avoir une vitesse de la valeur :

$$v = \sqrt{\frac{GM_C}{R + h}}$$

5. Calculer la valeur  $v$  de la vitesse.
6. Combien de temps ROSETTA met-elle pour faire un tour complet de la comète ?

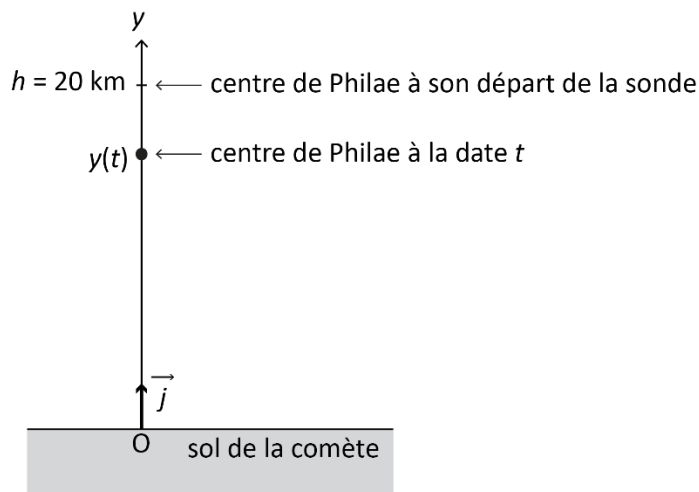
## Chute de PHILAE

L'atterrisseur PHILAE s'est détaché de la sonde ROSETTA le 12 novembre 2014 pour effectuer une chute libre de 20 km sans vitesse initiale et se poser sur la comète. Cette descente a duré plusieurs heures.

On modélise la chute de PHILAE par une chute libre, c'est-à-dire que PHILAE n'est soumis qu'à son poids.

Le référentiel d'étude est supposé galiléen.

On utilise un axe (Oy) vertical dirigé vers le haut, l'origine O étant au niveau du sol de la comète.



7. Montrer que, dans l'hypothèse où le champ de pesanteur est uniforme et de valeur  $g = 1,5 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ , la chute de Philae a une durée voisine de 14h.

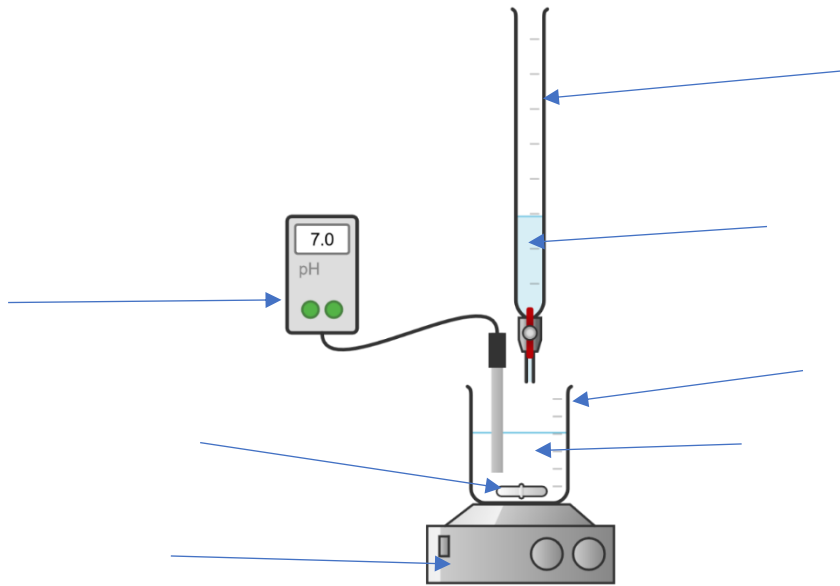
*La démarche suivie, même si elle n'a pas abouti, sera valorisée et doit être soigneusement explicitée.*

8. En réalité, la durée de la chute est de 7 h. Comment expliquer la différence entre cette valeur et celle prévue à la question précédente ? On répondra sans faire de calcul, en discutant le modèle utilisé dans la question précédente, compte-tenu de la valeur du rayon de la comète.

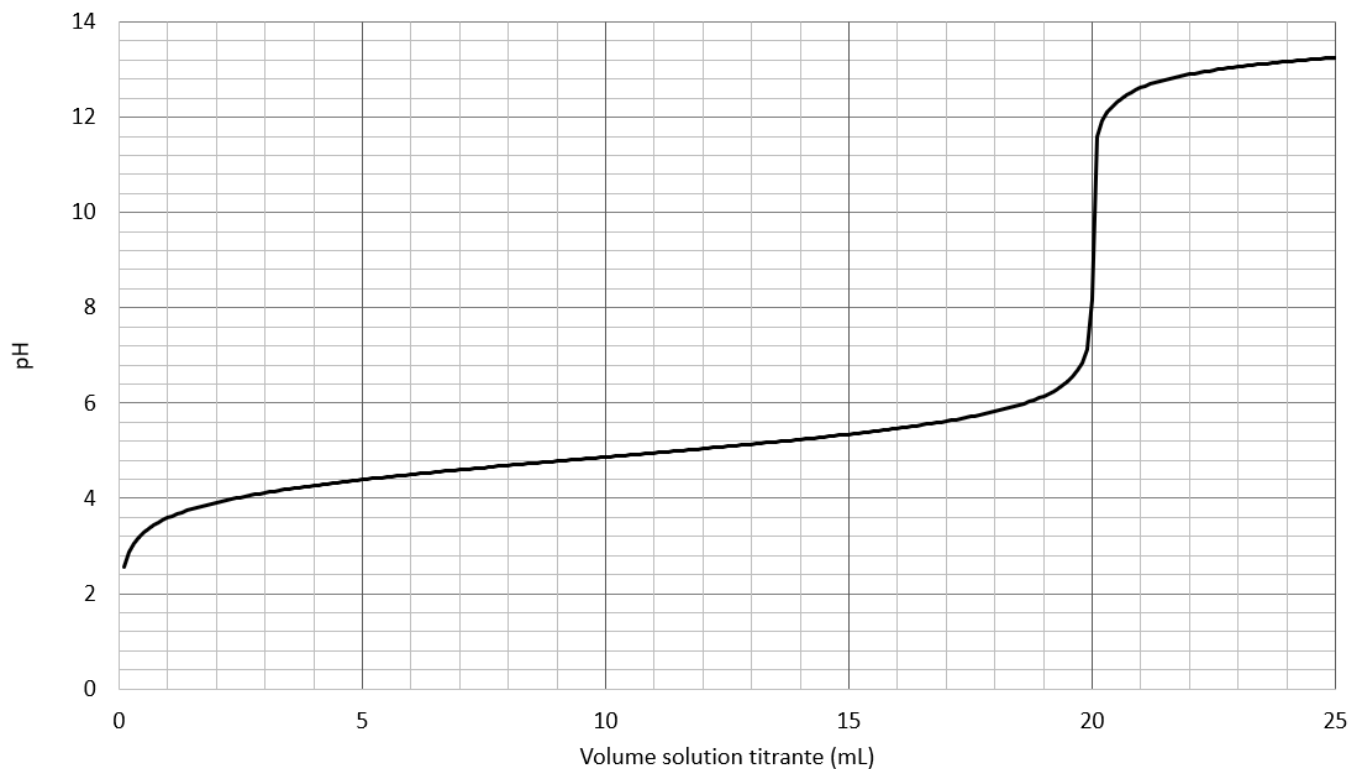


## Exercice 1 : ANNEXES à rendre avec la copie

### ANNEXE 1 : Schéma du titrage pH-métrique



### ANNEXE 2 : titrage pH-métrique d'une solution d'acide propanoïque par une solution d'hydroxyde de sodium



### ANNEXE 3 : Évolution du taux d'avancement en fonction du temps

