



# BACCALAURÉAT BLANC GÉNÉRAL

Session février 2007

PHYSIQUE – CHIMIE

Série S

obligatoire

DUREE DE L'ÉPREUVE : 3h 30 – COEFFICIENT : 6

**L'usage des calculatrices est autorisé**

*Bien inscrire sur l'en tête visible de la copie la classe et l'enseignement de spécialité suivi : mathématiques, sciences physiques ou S.V.T.*

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 12 pages numérotées de 1 à 12, y compris celle-ci et celles de la feuille annexe

**La feuille annexe, insérée au milieu de ce sujet, est à rendre avec la copie**

Le candidat doit traiter les trois exercices, qui sont indépendants les uns des autres :

- |      |   |                   |
|------|---|-------------------|
| I.   | <b>Les indicateurs colorés naturels de la cuisine à la chimie</b> | <b>(8 points)</b> |
| II.  | <b>Des oscillations électriques à la cuve à ondes</b>             | <b>(7 points)</b> |
| III. | <b>Supernova</b>  | <b>(5 points)</b> |

**EXERCICE I : Les indicateurs colorés naturels de la cuisine à la chimie** (8 points)

La première utilisation d'un indicateur coloré pour les titrages acido-basiques remonte à 1767 par W. Lewis. Il employait un extrait de tournesol (...).

On utilisait à l'époque des extraits de plantes qui changent de couleur avec l'acidité du milieu (...).

On peut en citer quelques-uns parmi les plus connus et les meilleurs :

- l'artichaut (...)

- la betterave rouge (...)

- le chou rouge, de loin l'extrait le plus intéressant car sa couleur change nettement suivant la valeur du pH :

pH	0-3	4-6	7-8	9-12	13-14
couleur	rouge	violet	bleu	vert	jaune

d'après Chimie des couleurs et des odeurs

**1. Des indicateurs colorés en cuisine.**

Le chou rouge est un légume riche en fibres et en vitamines, qui se consomme aussi bien en salade que cuit.

Mais la cuisson du chou rouge peut réserver des surprises: chou rouge et eau de cuisson deviennent rapidement bleus. Pour rendre au chou sa couleur violette, on peut ajouter un filet de citron ou du vinaigre.

Après avoir égoutté le chou, une autre modification de couleur peut surprendre le cuisinier: versée dans un évier contenant un détergent, l'eau de cuisson devient verte.

En utilisant les textes ci-dessus

**1.1.** Donner la propriété essentielle d'un indicateur coloré acido-basique.

**1.2.** Préciser le caractère acide ou basique du vinaigre et du détergent.

**2. Des indicateurs colorés pour les titrages.**

De nos jours, les indicateurs colorés sont toujours largement utilisés pour les titrages. La pH-métrie est une autre technique de titrage acido-basique qui permet en outre de choisir convenablement un indicateur coloré acido-basique pour ces mêmes titrages.

Dans la suite de l'exercice, on s'intéresse au titrage de l'acide éthanoïque de formule  $\text{CH}_3 - \text{CO}_2\text{H}$  (noté par la suite HA) contenu dans un vinaigre commercial incolore.

La base conjuguée de cet acide sera notée  $\text{A}^-$ .

**2.1.** Dilution du vinaigre.

Le vinaigre commercial étant trop concentré pour être titré par la solution d'hydroxyde de sodium disponible au laboratoire, on le dilue dix fois. On dispose pour cela de la verrerie suivante :

Éprouvettes :	5 mL	10 mL	25 mL	50 mL	100 mL
Pipettes jaugées :	1,0 mL	5,0 mL	10,0 mL	20,0 mL	
Fioles jaugées :	150,0 mL	200,0 mL	250,0 mL	500,0 mL	

Choisir dans cette liste la verrerie la plus appropriée pour effectuer la dilution. Justifier.

**2.2.** Réaction de titrage.

On titre un volume  $V_A = 10,0 \text{ mL}$  de la solution diluée de vinaigre par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (ou soude) de concentration molaire en soluté apporté  $c_B = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ .

On ajoute un volume  $V_{eau} = 60 \text{ mL}$  afin d'immerger les électrodes du pH-mètre après agitation.

Le suivi pH-métrique de la transformation permet de construire la courbe fournie dans **L'ANNEXE À RENDRE A VEC LA COPIE**.

Cette partie a pour but de vérifier que la transformation associée à la réaction de titrage est totale.

Pour cela, on déterminera son taux d'avancement final pour un volume  $V_B = 6,0 \text{ mL}$  de solution aqueuse d'hydroxyde de sodium versé.

Donnée : produit ionique de l'eau à  $25^\circ\text{C}$   $K_e = 10^{-14}$

**2.2.1.** Écrire l'équation associée à la réaction de titrage.

**2.2.2.** Pour  $V_B = 6,0 \text{ mL}$ , déterminer le réactif limitant.

**2.2.3.** Pour  $V_B = 6,0 \text{ mL}$ , déterminer l'avancement maximal  $x_{\max}$ . On pourra s'aider d'un tableau d'avancement.

**2.2.4.** Après avoir relevé la valeur du pH du mélange obtenu, déterminer la quantité de matière d'ions hydroxyde restante après la transformation  $(n_{\text{HO}^-})_f$  dans le volume total de mélange réactionnel.

**2.2.5.** Déterminer le taux d'avancement final et conclure.

**2.3.** Détermination par titrage de la concentration molaire en acide éthanoïque apporté du vinaigre.

**2.3.1.** Déterminer graphiquement sur **L'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** le volume de la solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence. Préciser la démarche utilisée.

**2.3.2.** Déterminer la valeur de la concentration molaire en acide éthanoïque apporté  $c_A$  dans le vinaigre dilué et en déduire la valeur de la concentration molaire en acide éthanoïque apporté  $c_0$  du vinaigre commercial.

**2.4.** Retour historique ...

On souhaite réaliser un titrage colorimétrique de l'acide éthanoïque contenu dans le vinaigre dilué avec un des deux extraits naturels (artichaut et betterave rouge) utilisés au dix huitième siècle.

Pour chaque indicateur coloré, on considère que les teintes sont dues à la prédominance d'une espèce chimique, notée  $HA_{\text{Ind}}$  pour sa forme acide et  $A^-_{\text{Ind}}$  pour sa forme basique. Le  $pK_A$  des couples  $HA_{\text{Ind}}/A^-_{\text{Ind}}$  sera noté  $pK_i$ .

On donne les valeurs des  $pK_i$  à  $25^\circ\text{C}$  :

artichaut:  $(pK_i)_1 = 7,5$

betterave rouge:  $(pK_i)_2 = 11,5$

	Artichaut	Betterave
$pK_i$	7,5	11,5
Teinte pour $HA_{\text{Ind}}$ dominant	incolore	rouge
Teinte pour $A^-_{\text{Ind}}$ dominant	jaune	jaune

**2.4.1.** En utilisant l'expression de la constante d'acidité  $K_i$ , montrer que la relation suivante est vérifiée :

$$\frac{[A_{\text{ind}}^-]_{\text{éq}}}{[HA_{\text{ind}}]_{\text{éq}}} = 10^{\text{pH} - \text{p}K_i}$$

On s'interroge sur les couleurs que prendrait le mélange réactionnel lors du titrage colorimétrique de l'acide éthanoïque en présence d'une petite quantité de l'un ou l'autre de ces extraits naturels.

**2.4.2.** La courbe pH-métrique montre que, pour  $V_B = 9,8 \text{ mL}$ , le pH de la solution est voisin de 6,5 et que, pour  $V_B = 10,1 \text{ mL}$ , il est voisin de 10,5.

Pour chaque extrait naturel et pour chacun de ces deux volumes  $V_B$ , déterminer la valeur du

rapport  $\frac{[A_{\text{ind}}^-]_{\text{éq}}}{[HA_{\text{ind}}]_{\text{éq}}}$  puis compléter la ligne correspondante du tableau de **l'ANNEXE À RENDRE**

**AVEC LA COPIE.**

**2.4.3.** En déduire les couleurs observées dans chaque cas. Compléter la ligne correspondante du tableau de **l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE.**

**2.4.4.** Conclure sur l'indicateur coloré le plus adapté pour ce titrage.

**2.4.5.** Pourquoi faut-il choisir un vinaigre incolore pour ce type de titrage ?

Les différentes parties du problème sont indépendantes.

Pour étudier les ondes progressives sinusoïdales à la surface de l'eau, on utilise une cuve à ondes.

Un vibreur permet de générer des ondes planes circulaires de fréquence  $f$  à la surface de l'eau. Les crêtes des vagues donnent des rides brillantes et les creux des rides sombres sur un écran que l'on photographie.

Afin d'apprécier l'échelle, 2 marques A et B ont été faites sur l'écran qui correspondent à une distance  $AB = 7,0$  cm dans la cuve.

### A) Étude du vibreur

La surface de l'eau est excitée par de l'air pulsé : les pulsations sont créées par une petite pompe. Leur fréquence peut être réglée de 10 à 40 Hz grâce à un oscillateur électrique entretenu.

Les oscillations électriques peuvent être obtenues à l'aide d'un condensateur de capacité  $C = 30 \mu\text{F}$  relié à une bobine d'auto-inductance  $L$  et de résistance interne  $r$  :  $(L, r)$ .

1. En gardant  $K'$  ouvert, on ferme  $K$ .
  - a) Tracer sur votre feuille le schéma simplifié du montage simplifié en y représentant  $u_C(t)$  et le sens conventionnel du courant. Préciser la convention utilisée pour la tension.
  - b) Déterminer l'équation différentielle vérifiée par  $u_C(t)$  lors de cette phase.
  - c) Vérifier que  $u_C(t) = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$  est bien solution de cette équation différentielle.
2. À l'instant  $t = 0$  s, l'interrupteur  $K$  est fermé et simultanément  $K'$  est ouvert, ce qui a pour effet de relier le condensateur, porteur de la charge  $Q_0$ , à la bobine. On peut, à l'aide d'une interface appropriée, visualiser  $u_C(t)$  : tension aux bornes du condensateur, sur l'écran d'un ordinateur et on obtient la courbe n°1 (page 7).

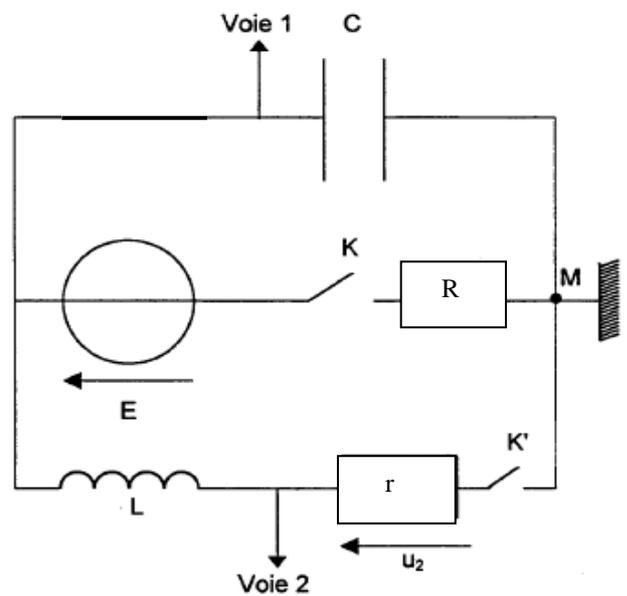


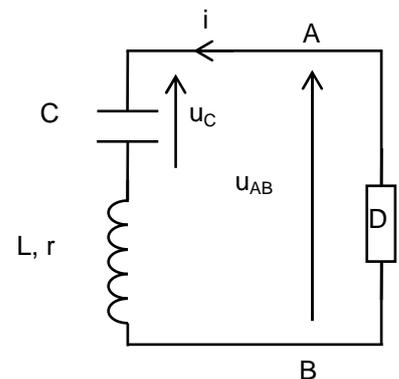
Figure 1

- a)  $u_C(t)$  est-elle une fonction périodique ?  
Comment qualifie-t-on un tel régime d'oscillations ?
- b) Calculer l'énergie  $E_0$  emmagasinée par le condensateur à l'instant  $t_0 = 0$  s.
- c) Calculer l'énergie  $E_1$  emmagasinée par le condensateur à l'instant  $t_1 = 30$  ms.
- d) Interpréter la variation de l'énergie entre les instants  $t_0$  et  $t_1$ .
- e) Ce dispositif peut-il être utilisé pour créer les oscillations à la surface de l'eau ?

3. On désire entretenir les oscillations.

- a) Que signifie: "entretenir les oscillations" ?
- b) Pour ce faire, on introduit un montage équivalent à un dipôle D fournissant une puissance  $p = r i^2$  où  $r$  a la même valeur que la résistance de la bobine. Quel est le nouveau régime des oscillations ?
- c) Quelle est alors la forme de  $u_C(t)$  ? Ce montage peut-il être utilisé pour générer des ondes sinusoïdales dans la cuve ? (justifier).

d) Quelle est la fréquence propre des oscillations si  $L = 0,75$  H et  $C = 30 \mu\text{F}$  ?



## B) Étude des ondes

### 1. Mesure de la célérité des ondes.

1.1. À l'aide du vibreur, on crée des ondes progressives sinusoïdales de fréquence  $f$  à la surface de l'eau. Le phénomène observé possède une longueur d'onde  $\lambda$ .

a) Définir ce qu'est la longueur d'onde  $\lambda$ .

b) Quelle relation existe-t-il entre la longueur d'onde  $\lambda$ , la fréquence  $f$  et la célérité  $v$  des ondes observées ?

1.2. À l'aide de la photo 1 (*page 8*), déterminer le plus précisément possible la longueur d'onde  $\lambda_1$  et calculer la célérité  $v_1$  des ondes sachant que pour cette expérience 1 la fréquence des vibrations est  $f_1 = 8,0$  Hz.

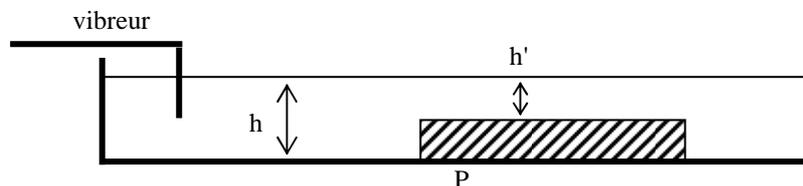
1.3. Une expérience 2 est réalisée à une fréquence différente  $f_2 = 17$  Hz.

a) À l'aide de la photo 2 (*page 8*), montrer que la célérité des ondes varie avec leur fréquence.

b) Comment appelle-t-on ce phénomène ?

### 2. Influence de la profondeur de l'eau sur la célérité des ondes.

2.1. Pour étudier l'influence de la profondeur  $h$  de l'eau sur la célérité des ondes, on place sur le fond de la cuve une plaque (P) de plexiglas transparent. On délimite ainsi des zones de profondeur  $h$  et  $h'$  ( $h' < h$ ). On génère des ondes incidentes planes sinusoïdales de fréquence  $f = 11$  Hz. Montrer, en utilisant la photo 3 (*page 8*), que la célérité des ondes dépend de la profondeur de l'eau.



2.2. On remplace la plaque P par une plaque P', on obtient la photo 4 (*page 8*). Quel phénomène observe-t-on ? (On pourra se référer à des phénomènes lumineux abordés en seconde).

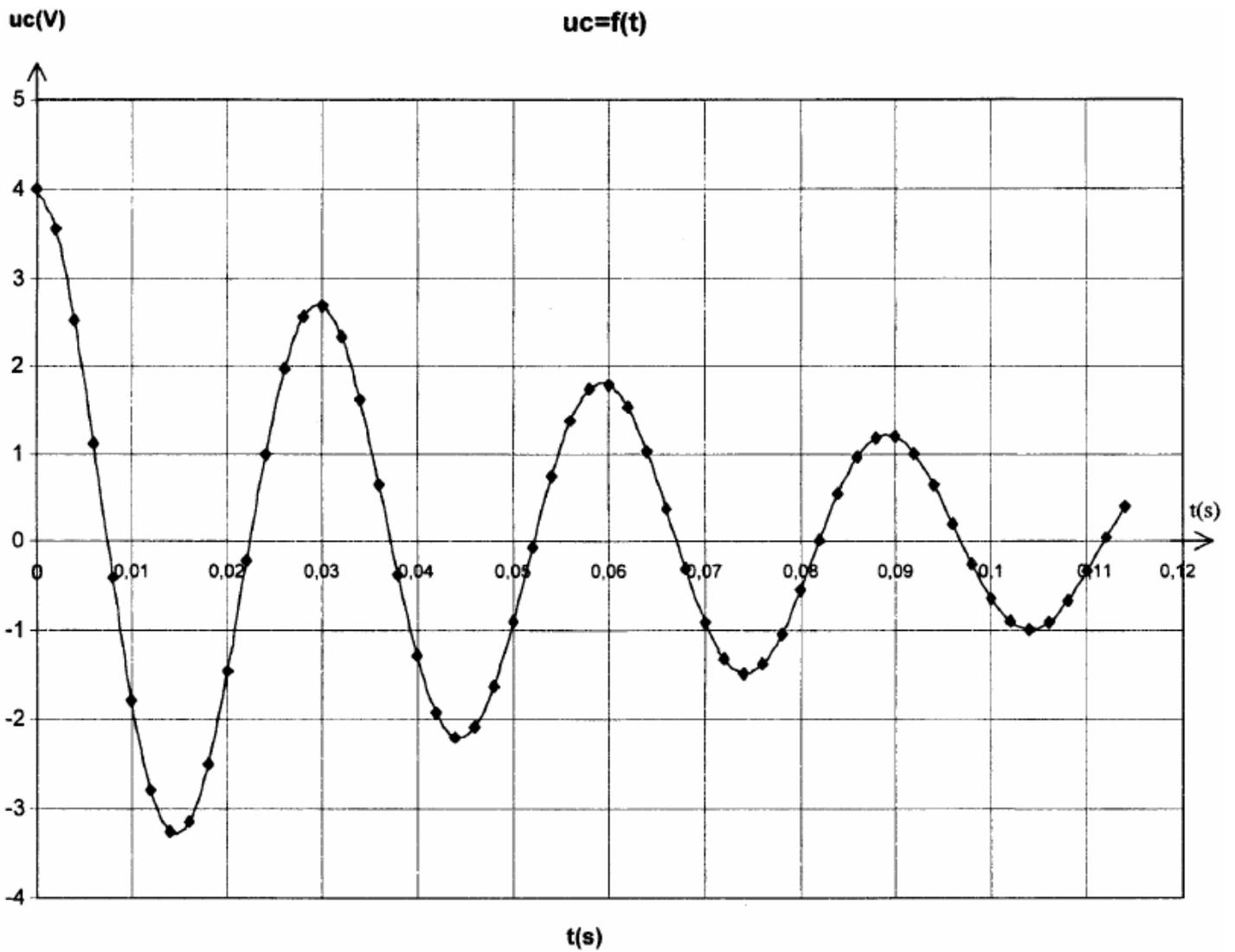
#### 2.3.

2.3.1. En eau très profonde, pour des vagues de basse fréquence, on peut démontrer que la célérité  $v$  des ondes ne dépend pratiquement plus de  $h$ . Elle varie alors proportionnellement à la période  $T$

suivant la loi :  $v = \frac{g}{2\pi} T$ , où  $g$  est l'intensité de la pesanteur ( $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$ ). Calculer  $v_1$  et  $v_2$  pour les fréquences  $f_1 = 5,0$  Hz et  $f_2 = 10$  Hz, ainsi que les longueurs d'onde  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  correspondantes.

2.3.2. On excite sinusoïdalement un point S à partir de l'instant  $t = 0$  s. On observe un point M à 10 m de S. À quel instant  $t_1$  le point M entre-t-il en vibration si la fréquence excitatrice en S est  $f_1 = 5$  Hz ?

Calculer de même l'instant  $t_2$  pour une fréquence  $f_2 = 10$  Hz.



*Courbe 1*

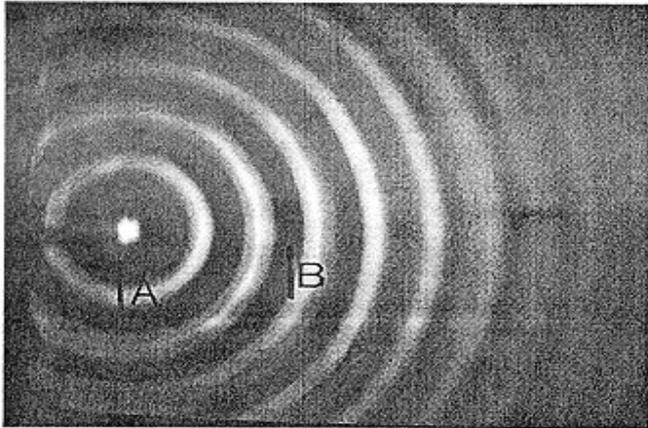


Photo 1

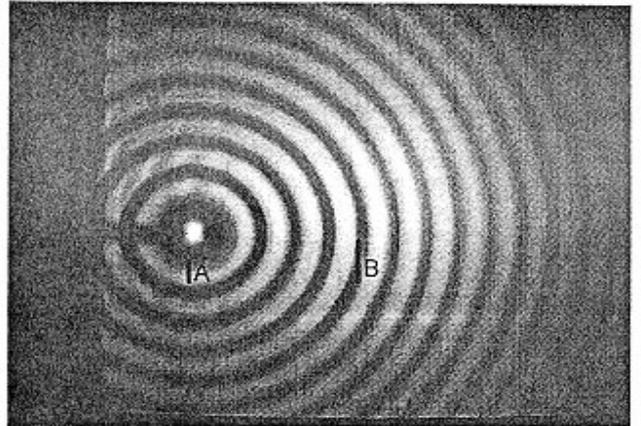


Photo 2

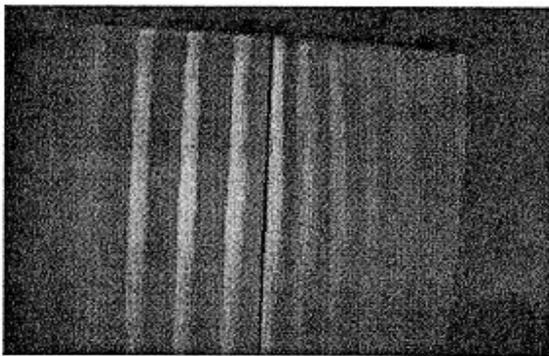


Photo 3

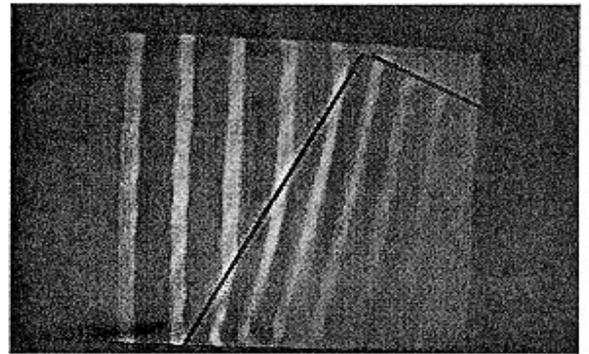


Photo 4

## EXERCICE III : Supernova

(5 points)

Le texte suivant est adapté du site de l'université de Jussieu (Paris VI) :

La vie d'une partie des étoiles s'achève dans une gigantesque explosion, appelée supernova, qui peut amener une seule étoile à être, pendant quelques jours, aussi brillante qu'une galaxie composée de milliards d'étoiles. Pour les plus brillantes, l'éclat de l'étoile diminue de façon exponentielle.

Dès 1950, l'idée fut émise que les restes d'une supernova contiennent des noyaux radioactifs engendrés par des réactions thermonucléaires lors de l'explosion, et que c'est l'émission de ces noyaux qui alimente l'astre en énergie pendant les années suivantes.

En 1962, J. Pankey mit en avant la chaîne nickel-56 cobalt-56 fer-56 : le nickel-56 a une durée de demi-vie de **6 jours**, et le cobalt-56 de **10 semaines** ; l'ensemble rendait bien compte des observations de la luminosité des supernovae, et de surcroît la genèse du fer, le plus abondant des éléments lourds dans l'Univers, était révélée.

En 1987, dans une petite galaxie située à **170 mille années de lumière**, une supernova apparut. Tous les instruments en fonctionnement au sol et dans l'espace furent braqués sur elle. La brillance de l'objet dans le ciel déclinait bien au rythme de la décroissance du nickel-56, puis du cobalt-56. Mais surtout, les rayons  $\gamma$  émis par cet astre furent enregistrés par des dispositifs sensibles placés à bord de satellites. En effet, la décroissance radioactive des noyaux de cobalt-56 s'accompagne de l'émission de rayons  $\gamma$  à une énergie bien déterminée de **1238 kiloélectronvolts (keV)**. Les suppositions de Pankey furent confirmées dans les moindres détails.

Ainsi fut vérifiée cette prédiction extravagante : le fer, roi de la création nucléaire, le plus solide des noyaux d'atomes, n'est pas créé en tant que fer, mais en tant que nickel radioactif.

### Données :

Célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Notation atomique de quelques éléments stables :

${}^{59}_{28}\text{Ni}$	${}^{59}_{27}\text{Co}$	${}^{56}_{26}\text{Fe}$
-------------------------	-------------------------	-------------------------

Électron-volt :  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Masses (en kg) :

électron $9,11 \cdot 10^{-31}$	proton $1,67264 \cdot 10^{-27}$	neutron $1,67493 \cdot 10^{-27}$	cobalt 56 $9,28677 \cdot 10^{-26}$	fer 56 $9,28619 \cdot 10^{-26}$
-----------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------

### 1. Énergie libérée par une désintégration radioactive

1.1. Énoncer les lois de conservation applicables aux transformations nucléaires.

1.2. Écrire l'équation de la transformation nucléaire du nickel 56, en considérant que le noyau fils n'est pas produit dans un état excité. Préciser de quel type de radioactivité il s'agit.

1.3. Écrire l'équation de la transformation nucléaire du noyau issu de la désintégration du nickel 56. Préciser de quels types de radioactivité il s'agit.

1.4. On considère que l'atome de fer est au repos à sa formation. Calculer l'énergie libérée puis l'énergie de chacun des produits de la désintégration nucléaire écrite en 1.3.

- 1.5. Calculer l'énergie de liaison du noyau de fer-56. Montrer que le noyau de fer est plus stable que le noyau de cobalt-56 qui a pour énergie de liaison  $\varepsilon_1(^{56}\text{Co}) = 7,80 \cdot 10^{-11} \text{ J} = 487 \text{ MeV}$ .

## 2. Confirmation de l'hypothèse de Pankey

À la date  $t_0 = 40$  jours après l'apparition de la supernova, le télescope Ginga de la NASA, sensible aux rayons  $\gamma$ , s'est tourné vers la supernova pour suivre l'évolution de sa luminosité pendant une période de 6 mois. Ginga était muni d'un filtre afin de ne détecter que les photons  $\gamma^{(*)}$  d'une énergie de 1238 keV. On a obtenu la **courbe 1** donnée en ANNEXE (à rendre avec la copie). Cette courbe indique le nombre de photons  $\gamma$  détectés par Ginga par heure d'observation et par mètre-carré.

(\*) Le rayonnement lumineux émis lors d'une transformation nucléaire peut être interprété comme une « particule de lumière » appelée *photon*.

On considère dans les questions 2.1. et 2.2. que l'hypothèse de Pankey est vraie.

- 2.1. Justifier qu'à la date  $t_0$  le nombre de noyaux de nickel-56 dans la supernova est négligeable.
- 2.2. Expliquer pourquoi la courbe permet de visualiser la décroissance radioactive des noyaux de cobalt-56.
- 2.3. Mesurer sur la courbe la demi-vie du noyau radioactif responsable de la décroissance.
- 2.4. À l'aide du texte, en déduire que l'émission  $\gamma$  de la supernova est compatible avec l'hypothèse de la chaîne nickel-56 cobalt-56 fer-56.

## 3. Estimation de l'activité de la supernova

- 3.1. Rappeler la définition de l'année de lumière (a.l.). Estimer la date à laquelle l'explosion de l'étoile a eu lieu.
- 3.2. Exprimer, en mètres, la distance  $D$  séparant le système solaire de la supernova observée en 1987.
- 3.3. À l'aide d'une propriété générale des ondes à rappeler, dire où se situe, à la date  $t + \Delta t$ , l'énergie lumineuse émise par la supernova à la date  $t$ .

### 3.4. [Question hors-barème]

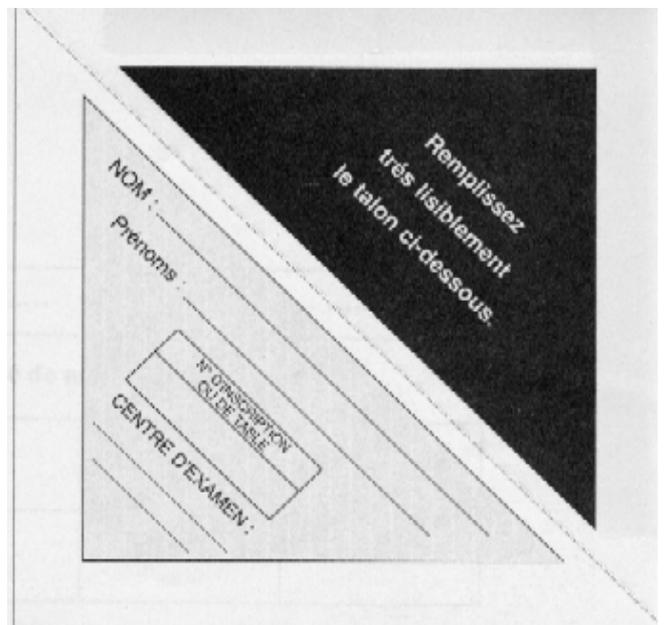
Montrer que, si un télescope dirigé vers une source lumineuse située à une distance  $D$  mesure un nombre  $N_T$  de photons par mètre carré et par heure, le nombre de photons  $N_S$  émis par heure par la source au moment où elle a émis ce rayonnement peut être évalué avec la formule :

$$N_S = 4\pi \cdot D^2 \cdot N_T$$

Evaluer l'ordre de grandeur de l'activité de la supernova à l'instant où elle a émis le rayonnement détecté sur Terre à la date  $t_1 = 90$  jours après l'explosion de l'étoile.

obligatoire

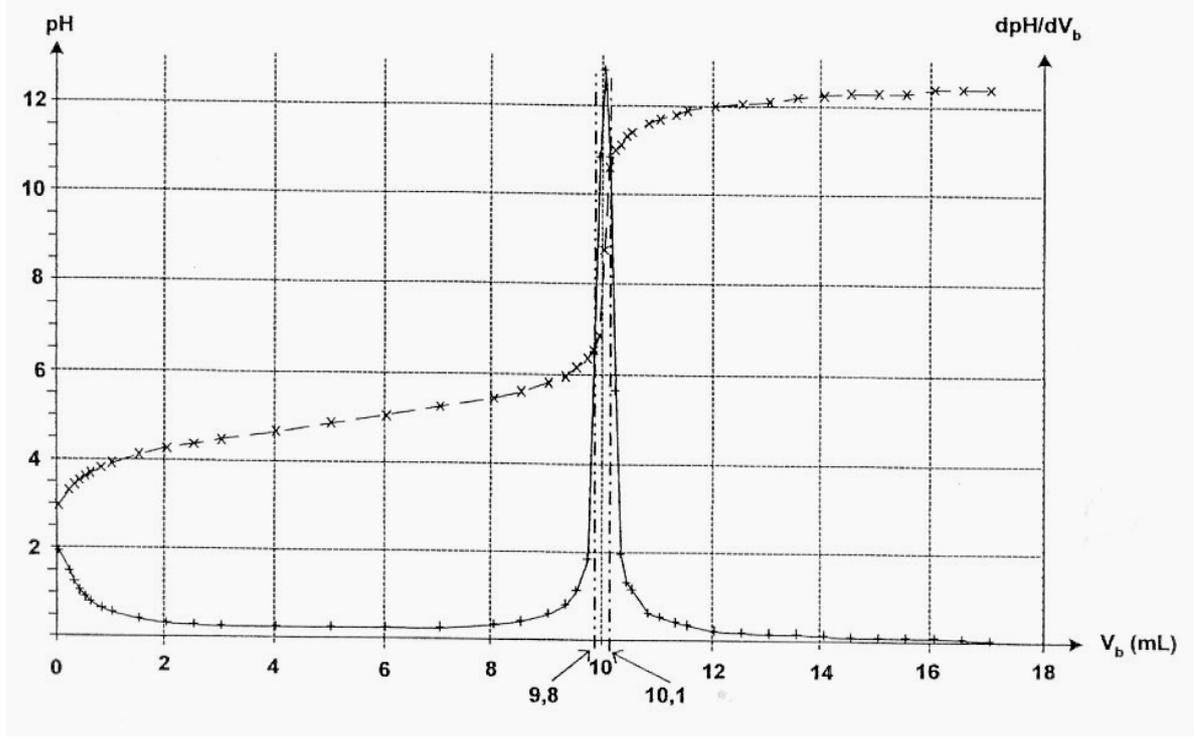
Feuille annexe à rendre avec la copie



**EXERCICE I : Les indicateurs colorés naturels de la cuisine à la chimie**

**EXERCICE III**

**COURBE pH-MÉTRIQUE**



**TABLEAU**

	Artichaut		Betterave	
	$V_B = 9,8 \text{ mL}$	$V_B = 10,1 \text{ mL}$	$V_B = 9,8 \text{ mL}$	$V_B = 10,1 \text{ mL}$
$\frac{[A^-]_{eq}}{[HA]_{eq}}$				
Couleur				

## EXERCICE III : Supernova

Courbe 1

