

Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :
(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat :

N° d'inscription :



Né(e) le :

(Les numéros figurent sur la convocation.)

1.1

ÉVALUATION

CLASSE : Première

VOIE : ☒ Générale ☐ Technologique ☐ Toutes voies (LV)

ENSEIGNEMENT : physique-chimie

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 2 h

CALCULATRICE AUTORISÉE : ☒ Oui ☐ Non

☒ Ce sujet contient des parties à rendre par le candidat avec sa copie. De ce fait, il ne peut être dupliqué et doit être imprimé pour chaque candidat afin d'assurer ensuite sa bonne numérisation.

Nombre total de pages : 9

PARTIE A

Bouquet final (10 points)

Dans cet exercice, on s'intéresse à différents aspects physico-chimiques d'un feu d'artifice.

La pyrotechnie, du grec « pyros » feu et « tekhnê » savoir-faire, est la technique des feux d'artifice. Elle fut inventée par les chinois, il y a plus de mille ans, et introduite en Occident grâce à Marco Polo au XIII^{ème} siècle. Lors d'un feu d'artifice, la pièce d'artifice est l'élément le plus utilisé (voir schéma en coupe figure 1). La pièce est expulsée depuis un mortier jusqu'à une centaine de mètres de haut où elle explose pour former une figure lumineuse. La poudre noire présente dans la pièce d'artifice est un mélange intervenant lors des deux étapes : la propulsion, puis la dispersion des étoiles incandescentes qui forment le feu d'artifice.

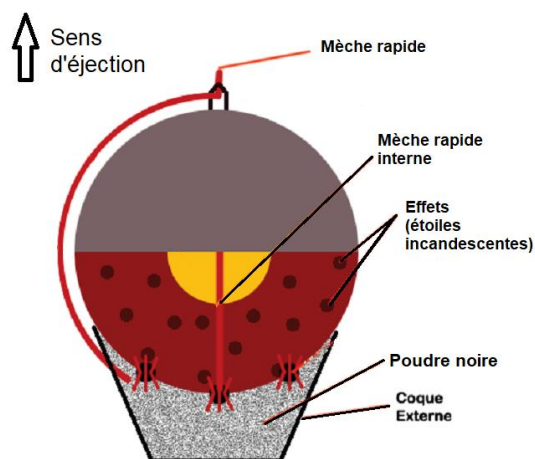


Figure 1 : Coupe d'une pièce d'artifice

Projet Scientifique Collectif « Combustion, flammes et feux d'artifice » École Polytechnique
<http://www.penangol.fr/rapports/combustion.pdf>

Article « Feux d'artifice » du site de la société chimique de France
<http://www.societechimiquedefrance.fr/feux-d-artifice.html>



Données :

- Intensité du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.
- Masses molaires atomiques (en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$) : C : 12,0 ; N : 14,0 ; O : 16,0 ; K : 39,1
- Constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$;
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- la valeur de la célérité de la lumière c dans le vide est supposée connue par le candidat.

I. Aspect énergétique d'une pièce d'artifice lors de la phase ascensionnelle,

Dans cette partie, on modélise la pièce d'artifice par un point matériel dans le référentiel terrestre supposé galiléen. La pièce d'artifice étudiée, de masse 100 g, est tirée verticalement avec une vitesse initiale de valeur $v_0 = 100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. On étudie le mouvement de son centre d'inertie G, repéré par son ordonnée y dans un repère vertical $(O, \vec{j})$ orienté vers le haut.

On choisit l'instant $t_0 = 0 \text{ s}$ lorsque le centre d'inertie G est confondu avec l'origine du repère O. On néglige toute action mécanique de l'air. On admet que la masse de la bombe est constante lors de son mouvement ascendant.

En tenant compte des choix de modélisation précédents, un logiciel de simulation permet de représenter l'évolution temporelle de l'énergie cinétique E_c et de l'énergie potentielle de pesanteur E_p de la bombe lors de son mouvement ascendant : on obtient la représentation graphique ci-dessous.

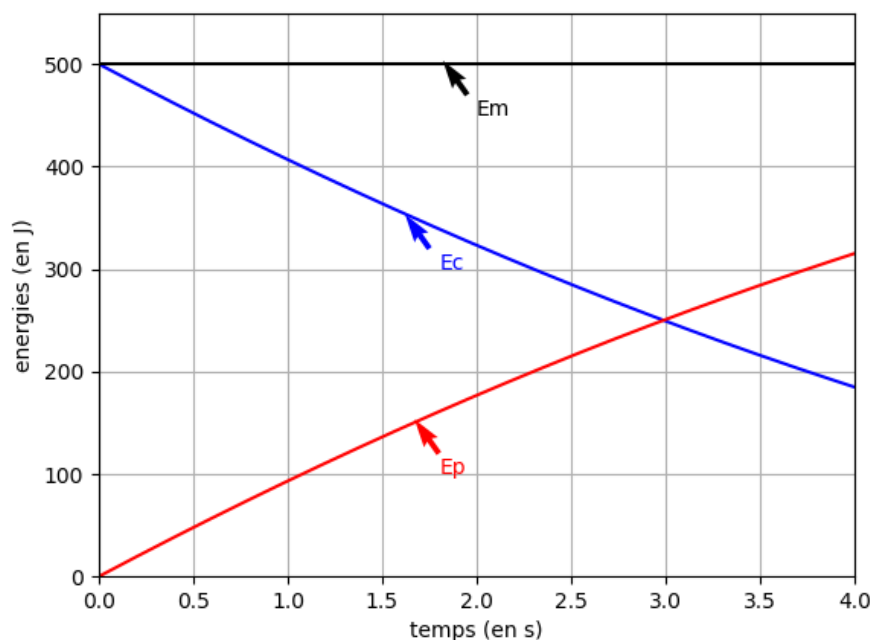


Figure 2 : Évolution des énergies cinétique et potentielle pendant l'ascension de la pièce

Modèle CCYC : ©DNE Nom de famille (naissance) : (Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)	
Prénom(s) :	
N° candidat :	
Né(e) le :	/ /
	N° d'inscription :

Liberté • Égalité • Fraternité
 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

1.1

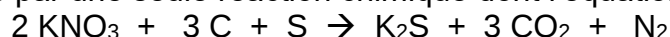
1. Après avoir rappelé la définition de l'énergie mécanique de la pièce d'artifice, exploiter la **figure 2** pour savoir si, dans la situation simulée, l'énergie mécanique se conserve. Commenter le résultat obtenu.
2. On suppose que la pièce explose à l'instant $t_A = 2,0$ s. Après cet instant, les évolutions de la **figure 2** ne sont plus respectées. À l'aide de la **figure 2**, déterminer la valeur de l'énergie potentielle à cet instant puis calculer l'altitude atteinte notée y_A .
3. En réalité l'altitude maximale atteinte par la pièce vaut 55 m. Commenter l'écart observé par rapport au modèle.

II. Combustion pyrotechnique

Le principe de base des feux d'artifice repose sur la combustion de la poudre noire contenant jusqu'à 75 % en masse de salpêtre de formule KNO_3 , jouant le rôle de comburant et un mélange essentiellement constitué de carbone, mais contenant également du soufre et des éléments métalliques pour la couleur (solides ioniques comportant, par exemple, des ions sodium pour le jaune ou des ions potassium pour le violet) ou pour les effets spéciaux (métaux comme par exemple le magnésium pour des étincelles).

Source : <http://www.societechimiquedefrance.fr/feux-d-artifice.html>

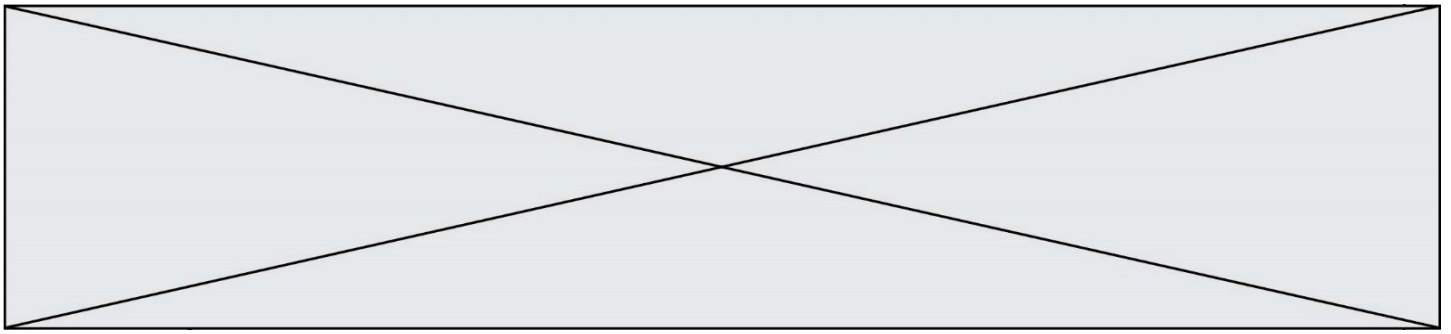
Afin de simplifier cette étude, on fait l'hypothèse que la combustion de la poudre noire peut être modélisée par une seule réaction chimique dont l'équation est :



4. Après avoir écrit la demi-équation électronique du couple CO_2 / C , préciser si le carbone joue le rôle d'oxydant ou de réducteur.

L'artificier prépare environ 25 g de poudre noire. Ce mélange est réalisé dans les proportions stœchiométriques de la réaction : il contient 3,20 g de carbone, du nitrate de potassium (salpêtre) de formule KNO_3 , du soufre S et des solides ioniques ou métaux en faible quantité.

5. Déterminer la valeur de quantité de matière de carbone dans ce mélange.
6. En déduire la masse de nitrate de potassium nécessaire pour réaliser ce mélange.
7. En déduire le pourcentage massique de nitrate de potassium présent dans la poudre noire préparée et indiquer si le résultat est compatible avec la description de la poudre noire.
8. Dans les conditions de la combustion étudiée, l'énergie molaire de combustion (pour la combustion d'une mole de carbone) vaut $E_{\text{mcomb}} = -208 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Montrer que la valeur de l'énergie libérée par la combustion de la poudre noire préparée par l'artificier est de l'ordre de 55 kJ.



9. Comparer la valeur précédente à l'énergie cinétique initiale de la bombe (voir **figure 2**) et interpréter la différence.

III. Émission lumineuse

Les feux d'artifice émettent de la lumière selon trois phénomènes : l'incandescence, l'émission atomique et l'émission moléculaire. On s'intéresse uniquement à l'émission atomique dans cette partie. Les ions des cristaux métalliques introduits sont excités thermiquement, ce qui leur permet de passer d'un niveau d'énergie fondamental à un niveau d'énergie supérieur ; au cours de leur retour vers l'état fondamental, l'énergie qu'ils avaient absorbée est émise sous forme de photons d'une longueur d'onde caractéristique de l'élément correspondant. L'ion sodium est l'un de ceux qui émet le plus de lumière par ce mécanisme. On donne ci-dessous des informations concernant l'émission de lumière par le sodium.

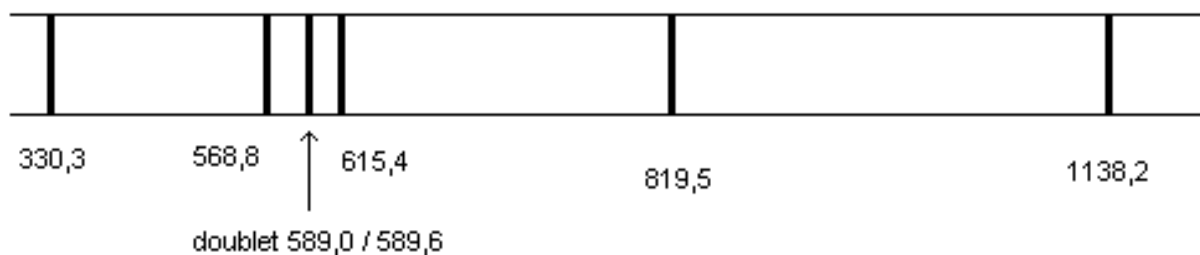


Figure 3 : Longueurs d'onde dans le vide (en nm) du spectre d'émission d'une lampe à vapeurs de sodium

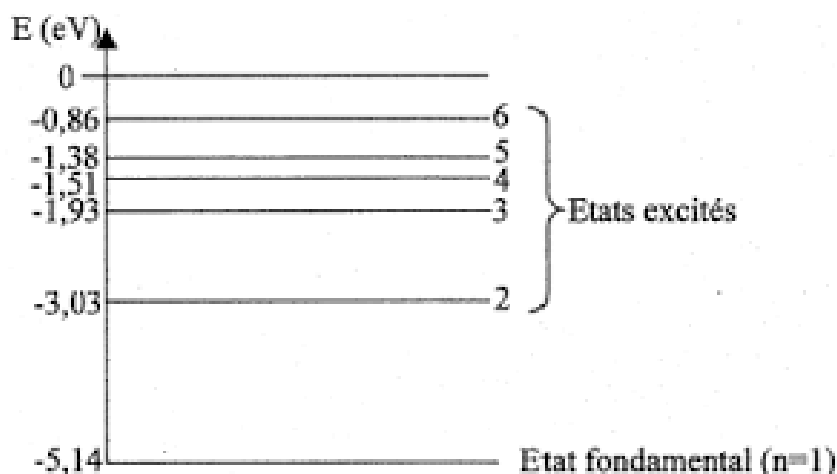


Figure 4 : Diagramme des niveaux d'énergie du sodium

10. Sur un diagramme de niveaux d'énergie d'un atome, comportant le niveau fondamental et un niveau excité d'énergie supérieure, illustrer le phénomène d'émission d'un photon.

Modèle CCYC : ©DNE Nom de famille (naissance) : (Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)	
Prénom(s) :	
N° candidat :	
Né(e) le :	
(Les numéros figurent sur la convocation.)	
	N° d'inscription :

Liberté • Égalité • Fraternité
 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

1.1

- 11.** Déterminer quelle transition entre niveaux d'énergie du sodium représentés **figure 4** a lieu lors de l'émission de la raie jaune du sodium, de longueur d'onde $\lambda = 589,0 \text{ nm}$ dans le vide.

L'élève est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

PARTIE B

Photographie argentique noir et blanc (10 points)

La photographie ci-dessous représente la statue de la Liberté, l'un des monuments les plus célèbres des États-Unis. Cette statue est située à New York sur l'île Liberty Island. Le monument, mesurant 93,0 mètres du sol jusqu'à la pointe de la torche, fut construit en France et offert par le peuple français, en signe d'amitié entre les deux nations, pour célébrer le centenaire de la Déclaration d'indépendance américaine.

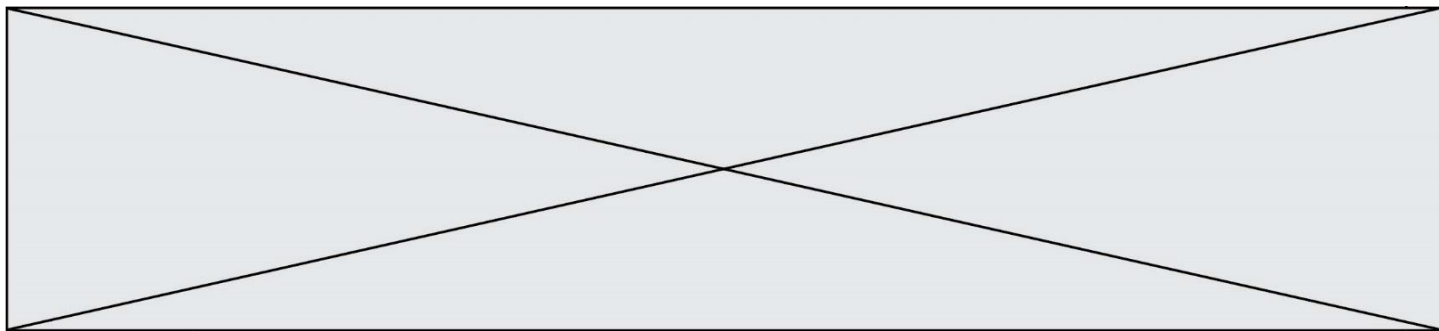


D'après <http://images.4ever.eu/batiments/statue-de-la-liberte-170506>

Partie 1 : distance de prise de vue et taille de l'image

L'appareil photographique qui a réalisé le cliché ci-dessus est constitué d'une pellicule photosensible dont la zone exposée à la lumière a pour dimensions (24,0 mm × 36,0 mm) et d'un objectif équivalent à une lentille convergente de distance focale image $f' = 5,00 \text{ cm}$. Le photographe se situe à 250 m de la statue de la Liberté. On peut modéliser la prise de vue à l'aide du schéma de situation présenté en annexe (page 4). On précise que ce schéma n'est pas à l'échelle.

- 1.1** Identifier sur ce schéma en **annexe (page 4)** **À RENDRE AVEC LA COPIE**, le foyer image F' , le foyer objet F et le centre optique O .
- 1.2** Compléter ce schéma en construisant l'image $A'B'$ de la statue de la Liberté modélisée par AB , à l'aide d'au minimum deux rayons lumineux particuliers.
- 1.3** Citer deux adjectifs appropriés qui qualifient l'image.
- 1.4** Montrer, qu'en réalité, l'image de la statue de la Liberté se forme au voisinage immédiat du foyer image de la lentille.



1.5 Vérifier, par le calcul, que le grandissement vaut $-2,00 \times 10^{-4}$.

1.6 Expliquer si la statue de la Liberté peut apparaître en entier sur la pellicule.

Le candidat est invité à présenter son raisonnement de manière claire et ordonnée. Toute tentative de réponse, même incomplète, sera valorisée.

Données :

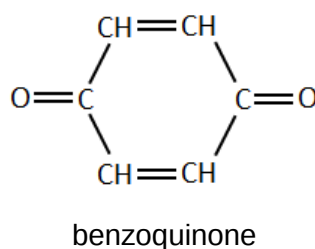
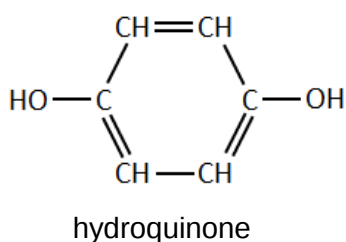
- relation de conjugaison pour une lentille mince $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OF'} = \frac{1}{f'}$;
- grandissement $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$

Partie 2 : révélation de la pellicule photosensible

La pellicule photographique utilisée pour ce cliché contient quelques milligrammes de microcristaux de bromure d'argent AgBr(s) , constitués d'ions Ag^+ et Br^- . Lors d'une prise de vue, sous l'effet de la lumière, des ions bromure Br^- cèdent des électrons à des ions argent Ag^+ , ce qui conduit la formation de quelques atomes d'argent Ag et contribue à un noircissement localisé de la pellicule constituant ainsi l'image latente. Cette dernière reste invisible, même au microscope, car le nombre d'atomes d'argent formés est trop faible.

La révélation consiste à multiplier de façon le nombre d'atomes d'argent pour donner naissance au négatif en noir et blanc. L'un des révélateurs les plus utilisés est une solution aqueuse d'hydroquinone. Lors de la révélation, l'hydroquinone dissoute $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2(\text{aq})$ est transformé en benzoquinone $\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2(\text{aq})$.

Ensuite, la pellicule ainsi traitée est plongée dans un bain d'arrêt qui a pour but de stopper la révélation, puis dans un fixateur qui stabilise l'image en la rendant insensible à la lumière par l'élimination du bromure d'argent qui n'a pas réagi.





Négatif obtenu après révélation de la pellicule exposée à la lumière

- 2.1** À l'aide d'un raisonnement qualitatif faisant intervenir notamment les ions argent, expliquer la raison pour laquelle les nuances de gris sont inversées entre le négatif noir et blanc et le paysage d'origine ?

On modélise la révélation par une réaction chimique.

- 2.2** Écrire la demi-équation électronique qui traduit la transformation de l'hydroquinone en benzoquinone.
- 2.3** Préciser, en justifiant la réponse, s'il s'agit d'une oxydation ou bien d'une réduction de l'hydroquinone.
- 2.4** Vérifier que l'équation de la réaction d'oxydoréduction modélisant la révélation s'écrit : $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2(\text{aq}) + 2 \text{Ag}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2(\text{aq}) + 2\text{Ag}(\text{s}) + 2\text{H}^+(\text{aq})$.

On s'intéresse à la révélation de la pellicule de dimensions 24,0 mm × 36,0 mm qui a permis d'obtenir la photographie de la statue de la liberté. On estime que la pellicule comporte initialement 2,00 mg d'ions argent par cm². Une fois la prise de vue réalisée, on fait tremper la pellicule dans un volume $V = 50,0 \text{ mL}$ de bain révélateur.

L'observation du négatif noir et blanc permet d'estimer que 40% de la surface de la pellicule a noirci pendant la révélation. On considère que les atomes d'argent qui constituent l'image latente sont négligeables par rapport à la quantité d'ions argent contenus dans la pellicule.

- 2.5** Montrer que la quantité de matière d'ions argent $n(\text{Ag}^+)$ qui réagissent pendant la révélation pour obtenir le négatif vaut de l'ordre de $6 \times 10^{-5} \text{ mol}$.
- 2.6** Quelle doit être la concentration minimale C en hydroquinone dans le révélateur pour atteindre cet objectif ?
- Le candidat est amené à prendre des initiatives. Tout raisonnement même incomplet sera pris en compte.*

Donnée : masse molaire atomique de l'argent : $M = 107,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;

