


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

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.

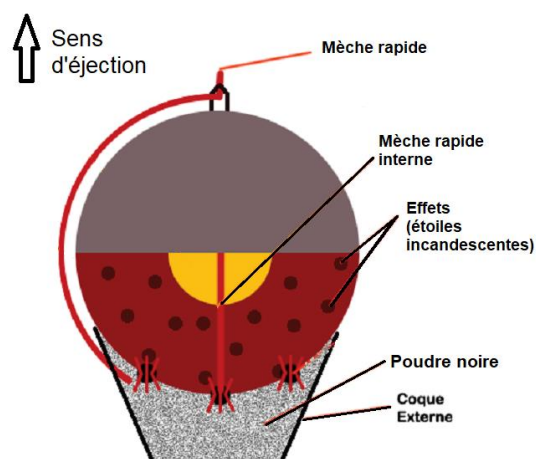
**Nombre total de pages** : 8

### 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<sup>ème</sup> 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 :**

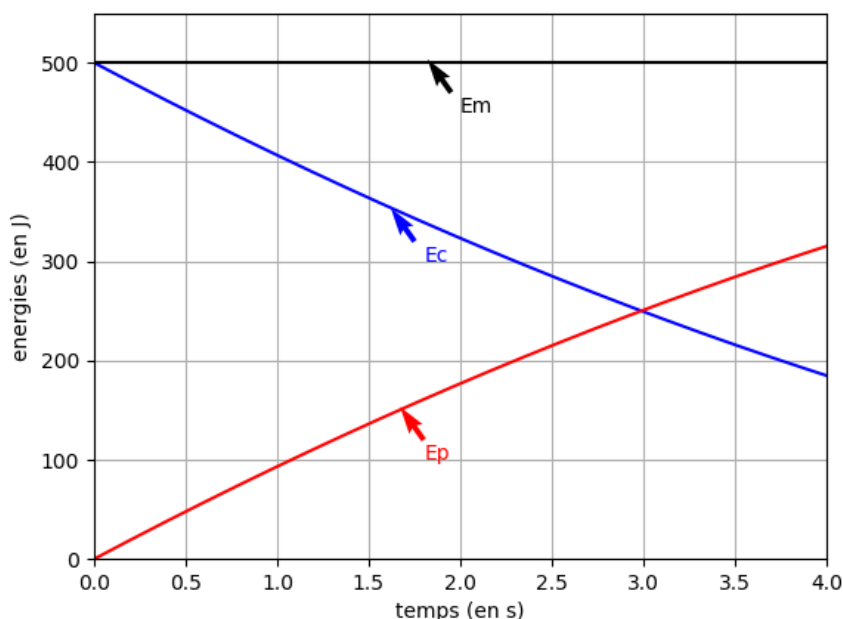
- Intensité du champ de pesanteur :  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .
- Masses molaires atomiques (en  $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) : C : 12,0 ; N : 14,0 ; O : 16,0 ; K : 39,1
- Constante de Planck :  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$  ;
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$  ;
- 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**

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

## pièce

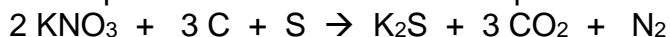
1. Après avoir rappelé la définition de l'énergie mécanique de la pièce d'artifice, exploiter la **figure 2** pour savoir si, dans la situation simulée, l'énergie mécanique se conserve. Commenter le résultat obtenu.
2. On suppose que la pièce explose à l'instant  $t_A = 2,0$  s. Après cet instant, les 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  $\text{KNO}_3$ , 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  $\text{CO}_2 / \text{C}$ , 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  $\text{KNO}_3$ , 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.

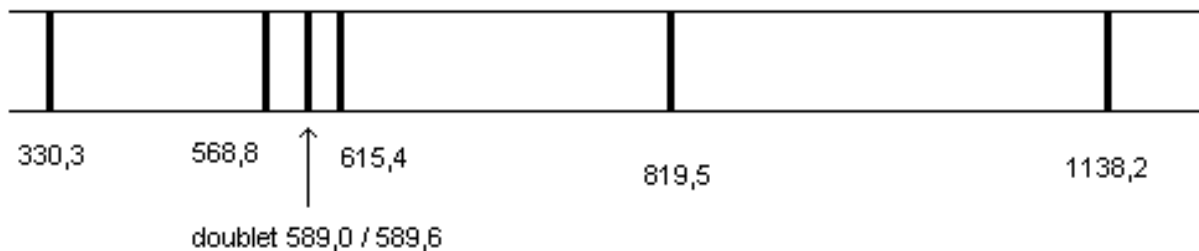


Figure 3 : Longueurs d'onde dans le vide (en nm) du spectre d'émission d'une lampe à vapeurs de sodium

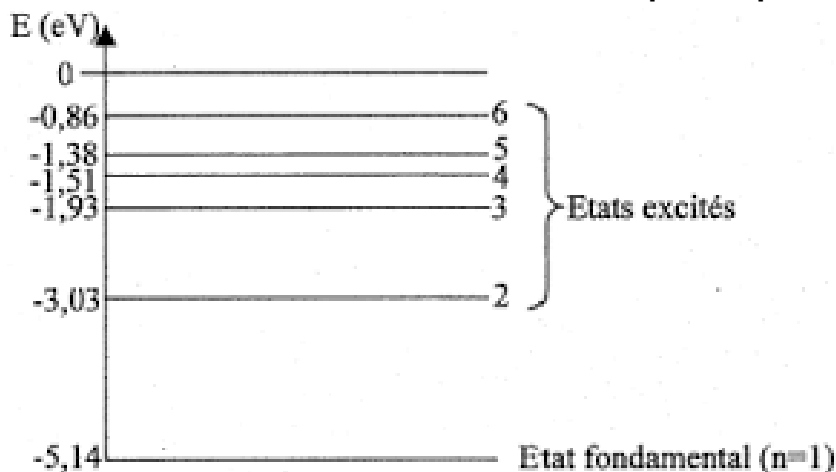


Figure 4 : Diagramme des niveaux d'énergie du sodium

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.
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  $\lambda = 589,0$  nm dans le vide.  
*L'élève est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie,*

Modèle CCYC : ©DNE																				
Nom de famille (naissance) : <small>(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)</small>																				
Prénom(s) :																				
N° candidat :											N° d'inscription :									
 Liberté • Égalité • Fraternité RÉPUBLIQUE FRANÇAISE	<small>(Les numéros figurent sur la convocation.)</small>																			
	Né(e) le :			/			/													

1.1

même si elle n'a pas abouti.

## PARTIE B

### Centrale électrique de l'Ouest Guyanais (CEOG) (10 points)

En Guyane, le fonds Meridiam et HDF Energy vont financer et construire la plus grande centrale électrique non polluante au monde  
*HDF Energy* s'inscrit comme le premier producteur mondial d'électricité stable à partir d'énergies intermittentes, en associant un parc photovoltaïque de puissance 55 MW avec le plus gros stockage de ressource d'énergie renouvelable au monde à base d'hydrogène. Cette combinaison permet ainsi de produire, dans la durée, une électricité stable avec une énergie 100 % propre.

La centrale électrique de L'Ouest Guyanais (CEOG) sera raccordée au réseau EDF, elle produira quotidiennement, sur une durée de 20 ans, une puissance électrique fixe de 10 MW la journée jusqu'au soir, et de 3,0 MW la nuit. La production électrique étant stable et garantie, le service rendu par CEOG sera équivalent aux centrales fonctionnant au diesel ou au gaz, mais sans pollution, ni logistique d'approvisionnement en carburant ou combustible. Le prix de l'électricité de CEOG sera inférieur à l'actuel coût de production dans l'Ouest guyanais, et ce, sans subvention.

La mise en service de CEOG est prévue à l'automne 2020.

Sources : d'après communiqué de presse HDF Energy et

<https://la1ere.francetvinfo.fr/guyane-fonds-meridiam-hdf-energy-vont-financer-construire-plus-grande-centrale-electrique-non-polluante-au-monde-626880.html>

Le projet consiste à associer une centrale photovoltaïque à une centrale à dihydrogène.

L'énergie électrique non consommée produite par la centrale photovoltaïque en journée, est utilisée pour réaliser l'électrolyse de l'eau pour produire du dihydrogène. Ce dihydrogène est alors stocké sur place pour pouvoir être utilisé la nuit dans une pile à combustible.

La première partie de l'exercice est consacrée à la production et au stockage du dihydrogène. La deuxième partie est consacrée au fonctionnement électrique d'un électrolyseur.

#### Partie 1. Production et stockage du dihydrogène

On cherche dans un premier temps à dimensionner les différents réservoirs à utiliser pour stocker le dihydrogène produit par la centrale à dihydrogène.

#### Données :

- masses molaires atomiques :  $M_H = 1,00 \text{ g.mol}^{-1}$  ;  $M_O = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$  ;
- masse volumique de l'eau :  $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$  ;
- volume molaire : le volume molaire du dihydrogène gazeux à température ambiante de 25 °C et à la pression de  $1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$  est de  $V_m = 24 \text{ L.mol}^{-1}$ .



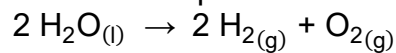
Les couples d'oxydo-réduction mis en jeu pour l'obtention de dihydrogène lors de l'électrolyse de l'eau sont les suivants :

- $O_2(g) / H_2O(l)$
- $H^+(aq) / H_2(g)$

**1.1.** Définir un oxydant et un réducteur.

**1.2.1.** Écrire les demi-équations électroniques associées aux deux couples mis en jeu.

**1.2.2.** L'électrolyse de l'eau est modélisée par la réaction d'équation :



L'électrolyseur devra permettre de produire une masse de 50 kg de dihydrogène en journée.

Déterminer la valeur de la quantité de matière de dihydrogène à produire  $n(H_2)$  en journée.

**1.2.3.** Calculer la masse d'eau  $m(H_2O)$  nécessaire pour produire les 50 kg de dihydrogène à stocker durant la journée.

**1.2.4.** Déterminer le volume minimum du réservoir d'eau  $V(H_2O)$ .

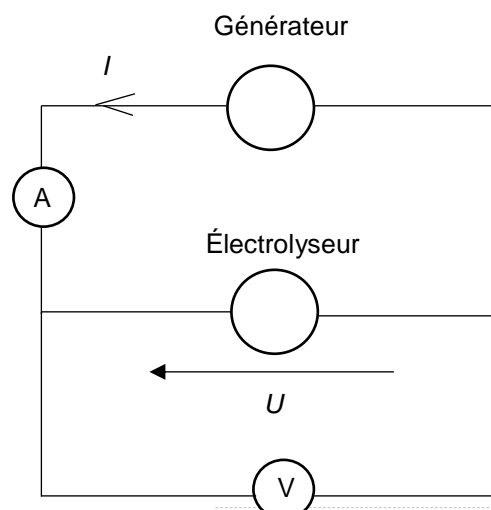
**1.3.1.** Le stockage du dihydrogène s'effectue quant à lui généralement avec des bouteilles ou assemblages de bouteilles cylindriques, en acier, portées à une pression  $P_{stock}$  de  $5,0 \times 10^6$  Pa. En utilisant la loi de Mariotte, déterminer le volume nécessaire  $V_{stock}$  des bouteilles pour stocker le dihydrogène.

**1.3.2.** Commenter les résultats sachant que le parc photovoltaïque s'étend sur une surface de  $700\,000$  m<sup>2</sup>.

## Partie 2. Étude du fonctionnement électrique d'un électrolyseur

On cherche maintenant à caractériser le fonctionnement électrique d'un électrolyseur pouvant servir à produire du dihydrogène.

L'électrolyse de l'eau est réalisée au laboratoire à l'aide du montage électrique suivant :



Modèle CCYC : ©DNE

Nom de famille (naissance) :


(Suivi s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

N° candidat :  N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation.)

Né(e) le :  /  /



1.1

En faisant varier la tension  $U$  aux bornes de l'électrolyseur, on mesure pour chaque valeur de la tension  $U$ , l'intensité du courant  $I$  dans le circuit de l'électrolyseur. On obtient le tableau de résultats suivant :

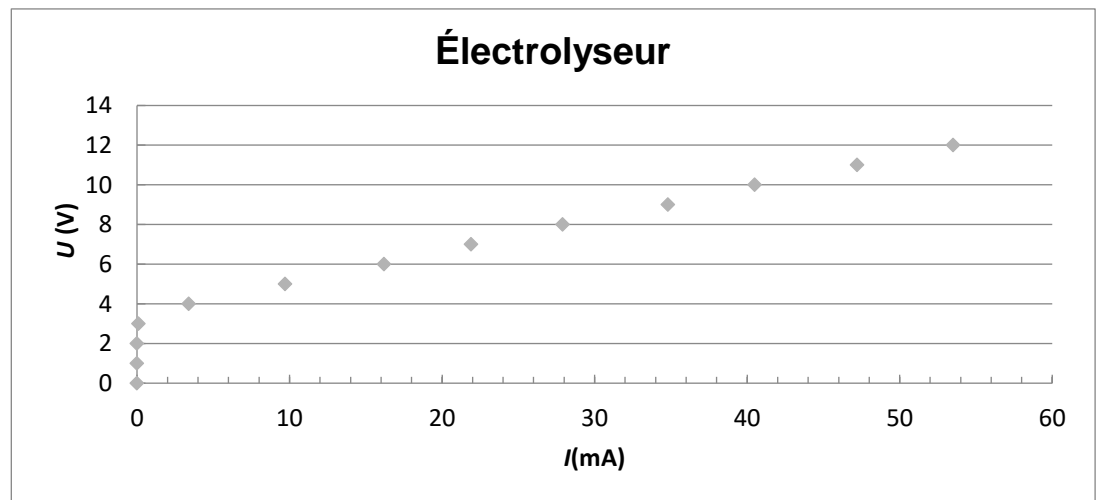
$U$ (en V)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0
$I$ (en mA)	0,0	0,0	0,0	0,1	3,4	9,7	16,2	21,9	27,9	34,8	40,5	47,2	53,5

La caractéristique représentant l'évolution de la tension  $U$  aux bornes de l'électrolyseur en fonction de l'intensité du courant  $I$ , est représentée ci-dessous.

Une partie de la courbe obtenue est modélisable par l'équation  $U = E' + r' \cdot I$  où :

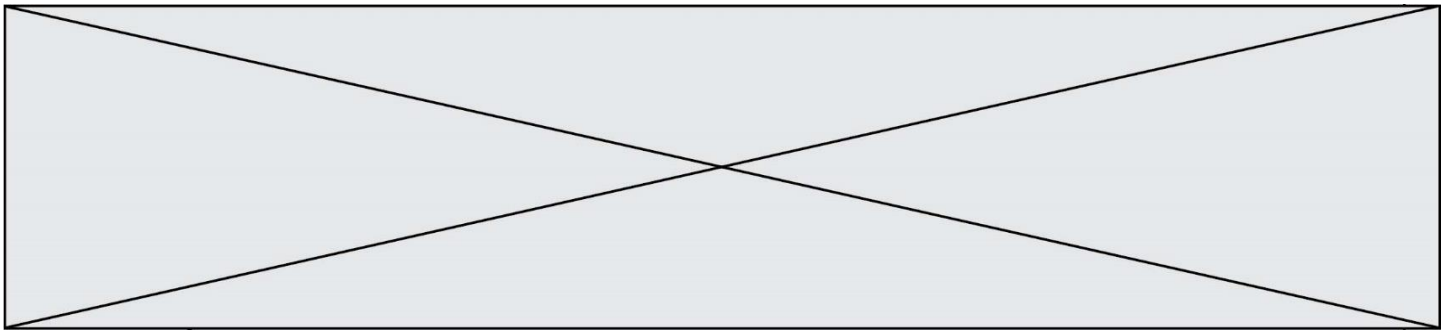
- $E'$  est la force contre-électromotrice de l'électrolyseur exprimée en volt (V) ;
- $r'$  est la résistance interne de l'électrolyseur exprimée en ohm ( $\Omega$ ).

**Caractéristique  $U$  en fonction de  $I$  :**

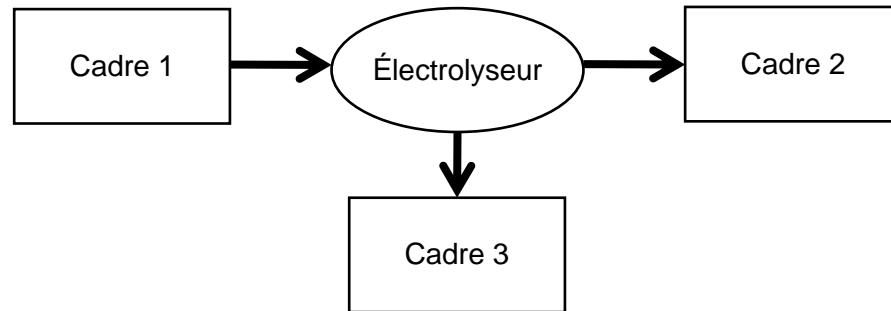


Équation de la droite déterminée à l'aide d'un logiciel de calcul :  $U = 3,46 + 160 \times I$   
où  $U$  exprimée en V et  $I$  en A.

**2.1.** Sans recopier la chaîne énergétique ci-dessous, donner la forme d'énergie à faire apparaître dans chaque cadre numéroté de 1 à 3.



Pour cela, indiquer sur la copie le numéro du cadre et lui associer une expression choisie parmi les suivantes : énergie chimique ; énergie électrique ; énergie lumineuse ; énergie mécanique ; énergie thermique.



**2.2.** Déterminer, en utilisant la modélisation effectuée par le logiciel de calcul, les valeurs des grandeurs physiques  $E'$  et  $r'$  pour cet électrolyseur.

**2.3.1.** Donner l'expression littérale de l'énergie totale reçue  $E_{\text{reçue}}$  par l'électrolyseur s'il fonctionne pendant une durée  $\Delta t$  en fonction de  $U$ ,  $I$  et  $\Delta t$ .

**2.3.2.** Donner l'expression littérale de l'énergie totale dissipée  $E_{\text{dissipée}}$  par l'électrolyseur sous forme d'effet Joule s'il fonctionne pendant une durée  $\Delta t$ .

**2.3.3.** En déduire que l'expression littérale du rendement de l'électrolyseur est  $\eta = \frac{E'}{U}$

**2.3.4.** Calculer le rendement de cet électrolyseur pour un courant d'intensité  $I = 50$  mA.

**2.4.** En s'appuyant sur les données de l'énoncé et les réponses aux questions précédentes, expliquer en quoi le projet semble être une bonne alternative aux énergies fossiles.