

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2019

PHYSIQUE – CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 H 30 – COEFFICIENT : 8

L'usage d'une calculatrice EST autorisé.

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

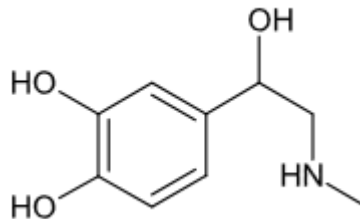
Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 9 pages numérotées de 1 à 9

Le candidat devra traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

I - L'ADRENALINE CONTRE LES PIQÛRES DE GUÊPES (8 points)

Certaines personnes souffrent d'allergies aux piqûres de guêpes ou autres insectes. Dans certains cas de réactions allergiques exacerbées, on parle de choc anaphylactique, syndrome clinique grave, qui met en jeu le pronostic vital. Le principal traitement du choc anaphylactique est l'adrénaline qui est administrée par voie intramusculaire à l'aide de dispositifs auto-injectables.

L'adrénaline, représentée ci-dessous, est une hormone sécrétée par le système nerveux central et par les glandes surrénales qui entraînent notamment une accélération du rythme cardiaque. Elle produit cet effet en se fixant sur des récepteurs cibles, comme une clé dans une serrure.



Données :

- masse molaire moléculaire de l'adrénaline : $183 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- électronégativités de quelques éléments chimiques (échelle de Pauling) :

Élément chimique	Hydrogène (H)	Carbone (C)	Azote (N)	Oxygène (O)	Chlore (Cl)
Électronégativité	2,20	2,55	3,04	3,44	3,16

Les auto-injecteurs de l'adrénaline

Principe actif : Adrénaline

Indication : Traitement d'urgence des symptômes de choc anaphylactique provoqué entre autres par des piqûres d'insectes ...

Posologie : Le produit doit être administré par voie intramusculaire uniquement.

L'auto-injecteur est destiné à l'auto-administration immédiate par une personne ayant un antécédent de réaction anaphylactique. Il est conçu pour délivrer une dose unique de 0,30mL de solution contenant $1,64 \mu\text{mol}$ d'adrénaline.

Chez certains patients, une nouvelle dose peut être injectée après 10 à 15 minutes.

La dose habituellement efficace est de l'ordre de $0,010 \text{ mg}$ d'adrénaline par kilogramme de masse corporelle, mais des doses supérieures peuvent être nécessaires dans certains cas.

d'après la Haute Autorité de Santé, 27 mai 2009

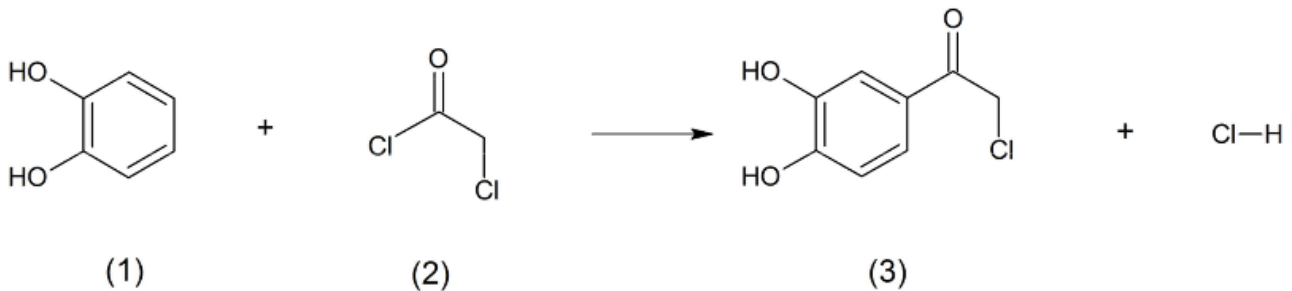
Description d'une synthèse de l'adrénaline

L'adrénaline peut être synthétisée à partir du catéchol (1). Celui-ci réagit avec le chlorure de chloroacétyle (2), pour donner la 3,4-dihydroxychloracétophénone (3). La molécule (3) réagit avec la méthylamine pour donner l'adréalone (4). La molécule (4) est ensuite réduite par dihydrogénation en présence de palladium et conduit à un mélange racémique d'adrénaline (5).

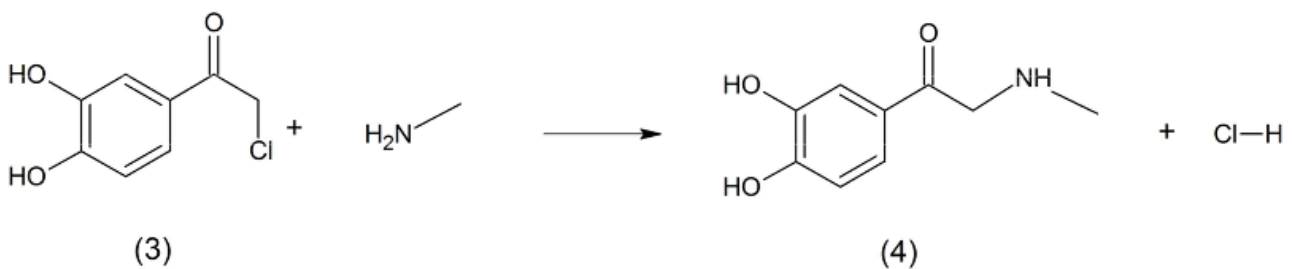
Un des deux stéréoisomères de l'adrénaline étant douze fois plus actif d'un point de vue biologique que l'autre, il est nécessaire de séparer les stéréoisomères obtenus.

On rappelle qu'un catalyseur est dit stéréosélectif si son usage privilégie la formation d'un des stéréoisomères.

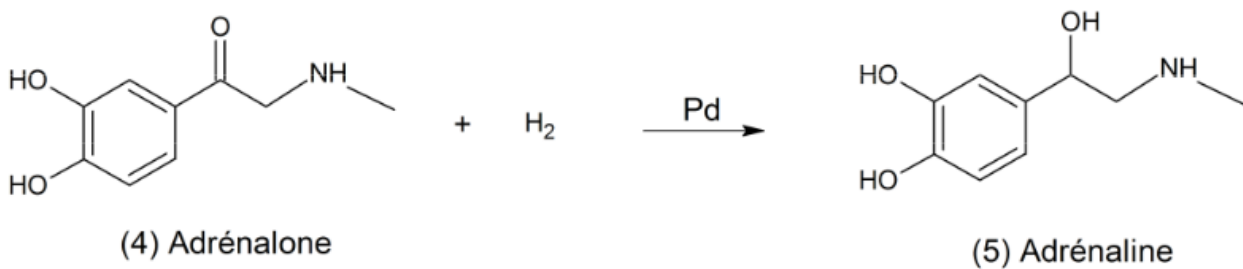
Réaction 1



Réaction 2



Réaction 3

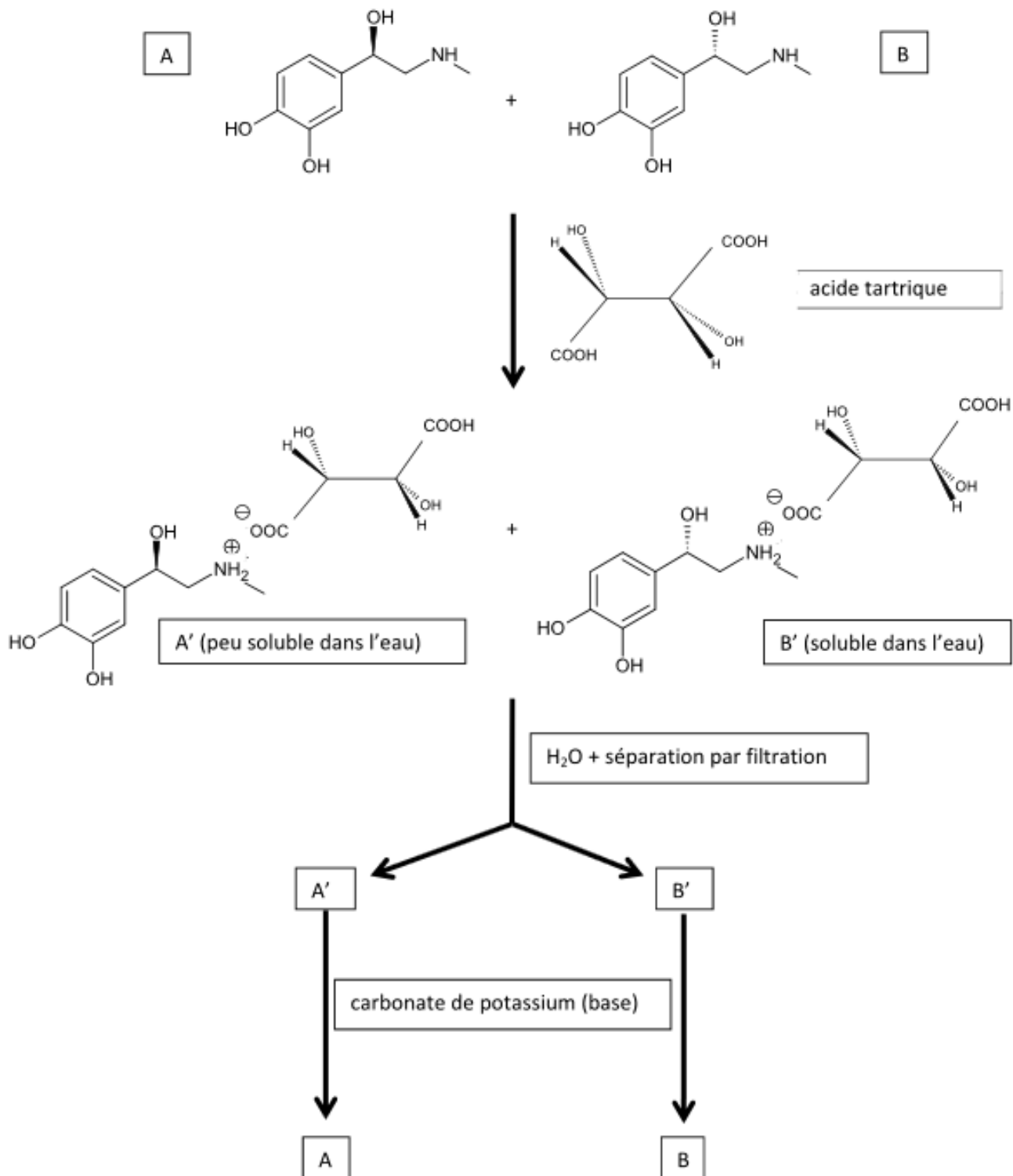


Séparation d'un mélange racémique par formation de diastéréoisomères

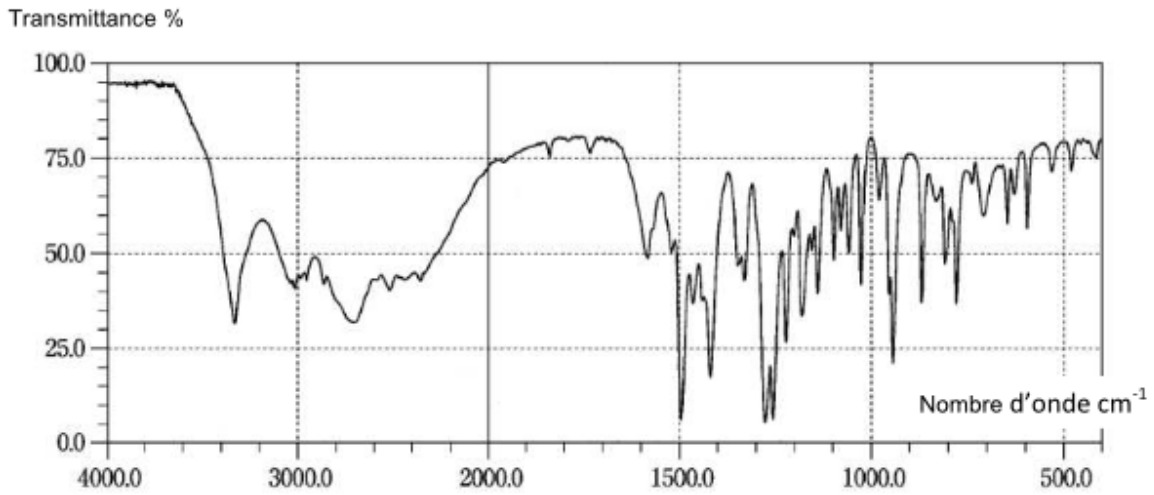
Une méthode générale de séparation d'un mélange racémique consiste à effectuer une réaction entre les deux énantiomères du mélange et une molécule chirale afin de former des diastéréoisomères dont les propriétés physico-chimiques sont différentes. Lorsque les énantiomères possèdent une fonction basique au sens de Brønsted, on utilise une molécule chirale acide au sens de Brønsted et réciproquement pour former des sels diastéréoisomères ; enfin, un traitement de ces sels de diastéréoisomères séparés permet de reformer séparément chacun des deux énantiomères du mélange racémique initial.

Séparation des stéréoisomères de l'adrénaline

On part du mélange racémique de A et B :



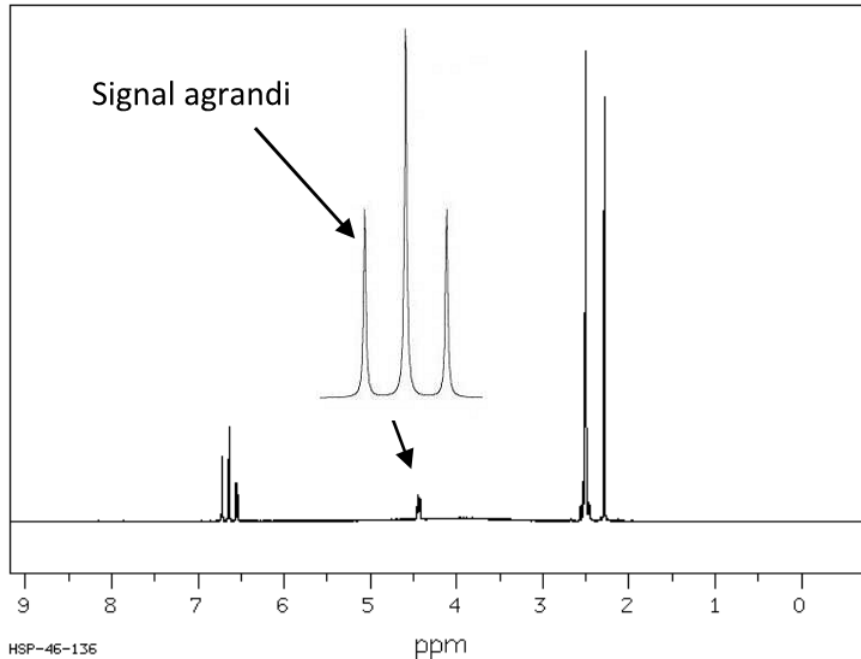
Données spectrales (IR et RMN) du produit obtenu lors de la synthèse



Spectre IR

Groupement	Liaison	Nombre d'ondes (cm ⁻¹)	Intensité
Alcools et phénols	O-H libre	3600	Variable et fine
Alcools et phénols	O-H associé	3200 – 3400	Forte et large
Acides	O-H associé	2500 – 3300	Forte et large
Amines	N-H	3300 – 3500	Moyenne
Aromatiques	C-H	3030 – 3080	Variable
Alcanes CH ₃	C-H	2900	Forte
Aldéhydes	C-H	1700	Forte
Cétones	C=O	1680 – 1700	Moyenne
Esters	C-O	1050 – 1300	Forte
Alcools	C-O	1000 – 1200	Variable

Tableau de données pour la spectroscopie infrarouge

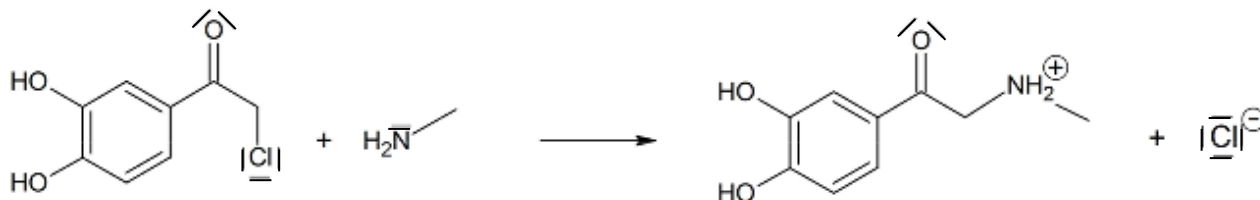


Spectre RMN du proton

1. La synthèse chimique de la molécule d'adrénaline

1.1. À quelle catégorie de réaction appartient chacune des réactions intervenant dans la synthèse de l'adrénaline ? Justifier.

1.2. Le mécanisme réactionnel de la réaction 2 de la synthèse est modélisé par deux étapes successives se déroulant au niveau microscopique. La première est représentée ci-dessous :



1.2.1. Recopier cette première étape du mécanisme. Identifier, en les entourant, le ou les sites donneurs de doublets d'électrons et le ou les sites accepteurs de doublets d'électrons impliqués dans cette étape du mécanisme. Justifier.

1.2.2. Représenter les flèches courbes qui rendent compte de cette étape.

1.3. Dans le cas de la synthèse de l'adrénaline, peut-on dire que le palladium Pd est un catalyseur stéréosélectif ? Expliciter votre raisonnement.

1.4. Le spectre IR du produit obtenu nous permet-il de vérifier que la transformation de l'adréalone en adrénaline a bien eu lieu ? Argumenter la réponse.

1.5. À partir du spectre RMN du produit obtenu, est-il possible d'attribuer à un proton ou à un groupe de protons de la chaîne carbonée de l'adrénaline le signal agrandi ? Justifier.

2. La molécule d'adrénaline et sa structure

2.1. Représenter la molécule d'adrénaline et entourer les groupes caractéristiques en dehors du cycle. Préciser les familles de composés qui leur sont associées.

2.2. Les stéréoisomères A et B de l'adrénaline sont-ils diastéréoisomères ou des énantiomères ? Justifier.

3. L'auto-injection de l'adrénaline

3.1. Déterminer la valeur de la concentration molaire d'adrénaline dans la solution contenue dans l'ampoule d'auto-injection.

3.2. Une personne de masse corporelle 55 kg est victime d'une piqûre de guêpe. Ayant des antécédents de chocs anaphylactiques, elle décide de pratiquer une auto-injection suivant le protocole fourni par le fabricant. Une seule auto-injection est-elle suffisante ? Si non, combien devrait-elle en faire ? Justifier votre démarche.

II - VOYAGE DANS LA CEINTURE D'ASTÉROÏDES (7 points)

« Le moteur le plus courant de l'univers du film Star Wars est un propulseur ionique. Il est amusant de constater que cette technologie a déjà été réellement utilisée. La sonde Dawn avait pour mission d'étudier Vesta et Cérès, les deux principaux corps de la ceinture d'astéroïdes. C'est grâce à ses propulseurs ioniques qu'elle a pu passer d'un astéroïde à l'autre.



Le principe du moteur ionique consiste à ioniser un gaz inerte comme le xénon (c'est-à-dire à produire des ions), à l'aide d'un fort courant électrique. Ensuite, un champ électrique intense accélère les ions produits qui, éjectés par une tuyère, propulsent le vaisseau dans la direction opposée à leur flux. Ce mode de propulsion est très économe : à puissances égales, un moteur ionique consomme dix fois moins de combustible qu'un moteur de fusée classique. Cependant, les moteurs ioniques actuels ne produisent que des accélérations assez faibles et sont tout à fait incapables d'exécuter les acrobaties que réalisent les chasseurs interstellaires de Star Wars. »

D'après Roland Lehoucq – « Faire des sciences avec Star Wars »

Données :

- Charge électrique élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$;
- Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$;
- Masse molaire atomique du xénon : $M = 131,3 \text{ g.mol}^{-1}$;
- La valeur de la célérité c de la lumière dans le vide est supposée connue par le candidat.

Dans cet exercice, on étudiera le principe simplifié de la propulsion ionique, puis dans une partie indépendante, on déterminera la masse de l'astéroïde Cérès.

1. La propulsion ionique

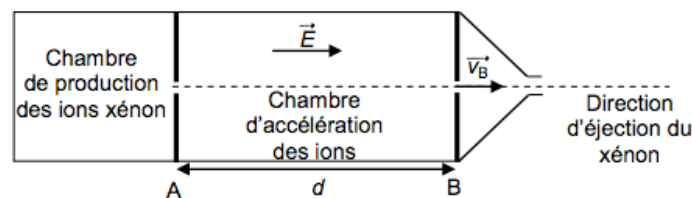


Figure 1. Schéma de principe simplifié d'un moteur ionique.

On considère que la masse de l'ion xénon est égale à la masse d'un atome de xénon soit $m = 2,18 \times 10^{-25} \text{ kg}$.

Les ions xénon Xe^+ , de masse m , pénètrent dans la chambre d'accélération en A, avec une vitesse que l'on considèrera nulle. Une tension électrique U constante est appliquée entre les grilles A et B (figure 1).

1.1.1. Déterminer l'expression du travail $W_{AB}(\vec{F}_e)$ de la force électrique \vec{F}_e appliquée à un ion xénon se déplaçant de la grille A à la grille B en fonction de e et U .

On donne la relation entre le champ électrique E , la tension U , et la distance d entre les grilles A et B : $E = \frac{U}{d}$

1.1.2. La variation de l'énergie cinétique des ions xénon entre les grilles A et B, $(E_c(B) - E_c(A))$ est égale au travail de la force électrique sur ce trajet. En déduire que la vitesse d'un ion xénon à la sortie de la chambre d'accélération est

donnée par la relation : $v_B = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$

1.1.3. Déterminer, pour une tension accélératrice de 300 V, la valeur de la vitesse d'éjection des ions xénon.

On désire illustrer le principe de la propulsion par réaction. On se place dans un référentiel R dans lequel la sonde Dawn est initialement immobile, dans une région de l'espace éloignée de tout astre.

La masse de la sonde Dawn, avant le démarrage du moteur ionique, est égale à $M_s = 1240$ kg.

On étudie dans un premier temps l'éjection d'un seul atome de xénon, de vitesse \vec{v}_B par rapport au référentiel R. Après cette éjection, la sonde de masse $(M_s - m)$, acquiert une vitesse \vec{v}_S par rapport à R.

1.2.1. Donner l'expression de la quantité de mouvement \vec{p}_1 de l'atome éjecté ainsi que la quantité de mouvement \vec{p}_2 de la sonde de masse $(M_s - m)$ après l'éjection de l'atome de xénon. Le schéma ci-contre représente la sonde Dawn ; les vecteurs vitesse sont représentés sans souci d'échelle.

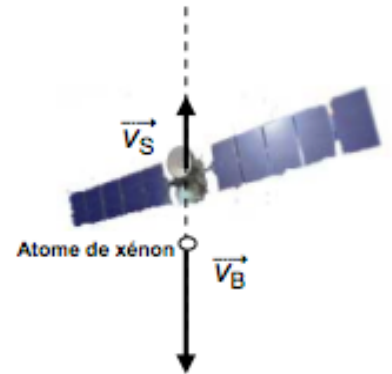
1.2.2. Dans la situation étudiée, justifier la conservation de la quantité de mouvement du système {sonde + atome de xénon} et l'égalité suivante :

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{0}$$

1.2.3. En déduire l'expression de v_s en fonction de v_B , M_s et m .

1.2.4. Calculer la valeur de v_s

On prendra $v_B = 2,1 \times 10^4$ m.s⁻¹.



(En réalité, le moteur ionique éjecte en continu une grande quantité d'atomes de xénon)

2. L'astéroïde Cérés

En 2015, la sonde Dawn s'est mise en orbite quasi-circulaire de rayon r autour de l'astéroïde Cérés, astéroïde de rayon moyen $R = 470$ km. Ses moteurs ioniques désactivés, la sonde Dawn a effectué une révolution autour de Cérés à une altitude moyenne de 13500 km en 15 jours à la vitesse v .

Données :

➤ Masse de Cérés : $M_c = (9,46 \pm 0,04) \times 10^{20}$ kg.

2.1. Donner les caractéristiques de la force exercée par Cérés sur la sonde Dawn. Faire un schéma représentant cette force. On notera M_D la masse de la sonde Dawn.

2.2. Montrer que, dans le cas d'un mouvement circulaire, le mouvement de la sonde Dawn autour de Cérés est uniforme.

2.3. Établir que la vitesse v de la sonde Dawn sur son orbite de rayon r autour de Cérés est donnée par la relation :

$$v = \sqrt{\frac{GM_c}{r}}$$

2.4. En déduire l'expression de la troisième loi de Kepler.

2.5. Déterminer une valeur de la masse de l'astéroïde Cérés dans le cadre de l'hypothèse d'un mouvement circulaire.

III – UTILISATION D'UNE INSTALLATION COUPLANT VOITURE A HYDROGENE ET PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES (5 points)

Madame D., dirigeante d'une société de dépannage à domicile, est soucieuse de l'impact que son entreprise peut avoir sur l'environnement. Afin de diminuer les émissions de gaz à effet de serre et ainsi améliorer le bilan carbone de son entreprise, elle envisage d'installer 70 m² de panneaux solaires sur le toit de ses bâtiments et elle se demande si son installation solaire permettrait de générer l'électricité nécessaire au rechargement du véhicule à hydrogène de sa société qui parcourt en moyenne 20 000 km par an.

Vous rédigerez un rapport argumenté et critique répondant à l'interrogation de Madame D. (20 lignes maximum).

L'ensemble des calculs nécessaires sera présenté séparément, à la suite du rapport.

Document 1 - Panneau photovoltaïque

Le rendement de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique des cellules photovoltaïques est de l'ordre de 20 %.

La puissance solaire moyenne reçue par unité de surface de panneau est 200 W.m⁻².

L'énergie, la puissance et le temps sont reliés par la relation suivante : $E = P \cdot t$

Document 2 - Une voiture à hydrogène

Une voiture à hydrogène dispose d'un moteur électrique alimenté par une pile à combustible.

Cette pile fonctionne grâce à une réaction d'oxydo-réduction. Le dihydrogène contenu dans le réservoir de la voiture réagit avec le dioxygène de l'air qui est insufflé par un compresseur placé dans le compartiment moteur. L'énergie électrique est produite par l'alternateur, et l'eau générée par la transformation est expulsée via le tuyau "d'échappement".

Le dihydrogène nécessaire au fonctionnement de la pile est stocké à l'état gazeux sous une pression de 350 bar dans un réservoir de 110 L placé à l'arrière. Cette capacité de stockage confère au véhicule une autonomie de 200 km.

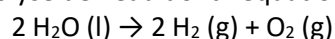
Pour des raisons pratiques et de sécurité, le constructeur a opté pour une solution dans laquelle le dihydrogène est directement produit dans le véhicule par électrolyse de l'eau.

À l'intérieur du réservoir, le volume occupé par une mole de dihydrogène gazeux, appelé volume molaire, est égal à 0,070 L.mol⁻¹ lorsque le réservoir est plein.



Document 3 - Production de dihydrogène par électrolyse

Le dihydrogène est produit par une électrolyse de l'eau dont l'équation est la suivante :



L'énergie chimique à fournir pour former une mole de dihydrogène est $286 \times 10^3 \text{ J.mol}^{-1}$.

Seuls 60 % de l'énergie électrique nécessaire à cette électrolyse sont transformés en énergie chimique utilisable pour la réaction chimique