

# BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE - Session 2016 -

Sciences et Technologies de l'Industrie  
et du Développement Durable  
et  
Sciences et Technologies de Laboratoire  
spécialité Sciences Physiques et Chimiques en Laboratoire

## Épreuve de PHYSIQUE-CHIMIE

**ÉPREUVE DU MERCREDI 22 JUIN 2016**

**Durée de l'épreuve : 3 heures  
Coefficient : 4**

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Ce sujet comporte 15 pages numérotées de 1 à 15.

**Les documents réponses pages 13 à 15 sont à rendre avec la copie.**

*L'usage d'une calculatrice est autorisé.*

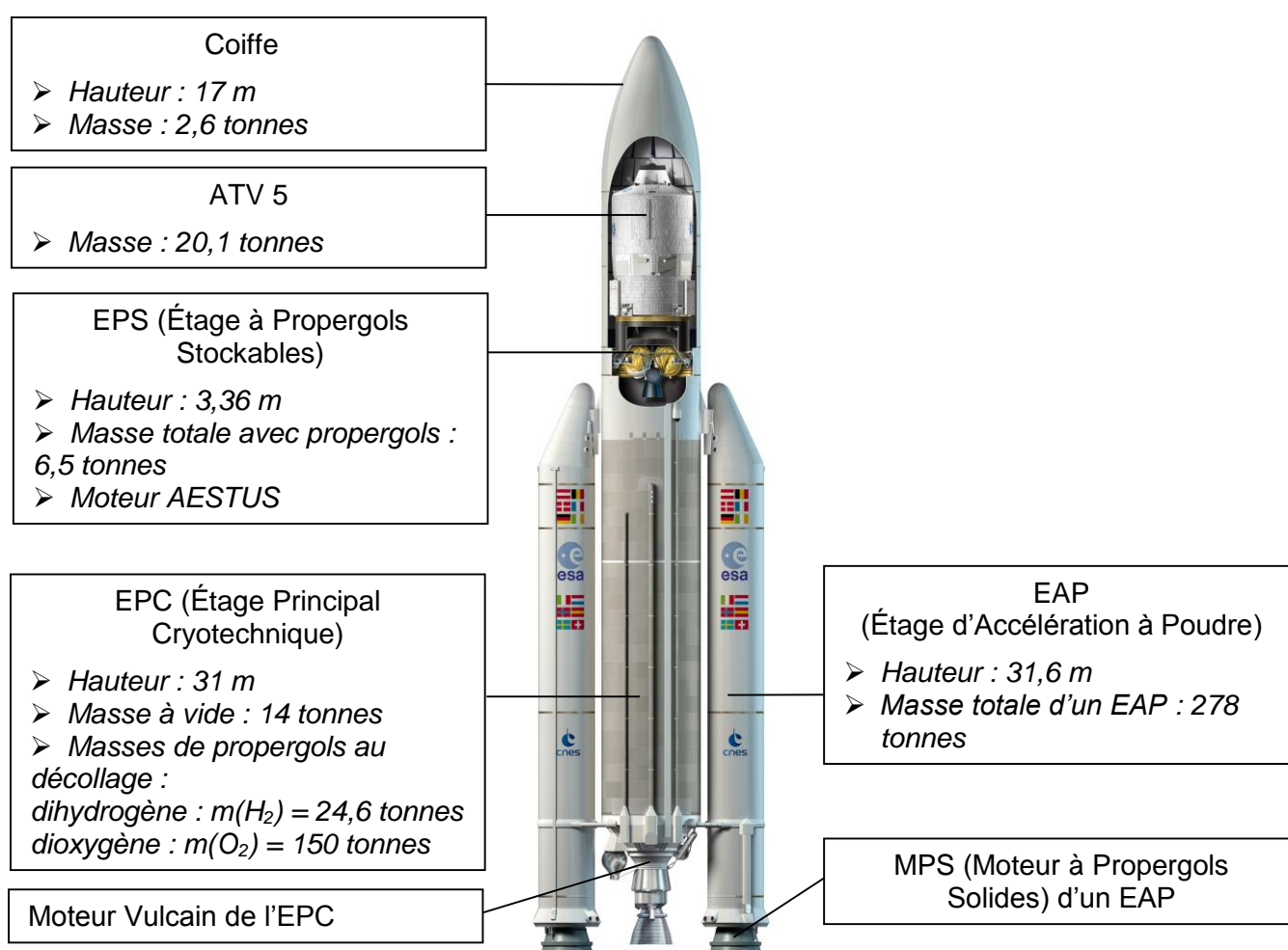
*Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront dans l'appréciation des copies. Toute réponse devra être justifiée.*

## Mission spatiale ATV 5

Dans la matinée du mercredi 30 juillet 2014, le cinquième véhicule automatique de transfert (ATV 5) construit par l'Agence Spatiale Européenne (ESA) a été lancé dans l'espace par la fusée Ariane 5 depuis la base de Kourou en Guyane française. Comme ses prédécesseurs, cet ATV était chargé de convoier la nourriture, l'eau, l'oxygène et les carburants nécessaires au ravitaillement de la Station Spatiale Internationale (International Spatial Station : ISS) et de ses six membres d'équipage, qui orbitent à 400 km de la surface de la Terre.

Placé par Ariane en orbite circulaire, l'ATV 5 a ensuite rejoint la Station grâce à ses propres systèmes de propulsion et de guidage automatiques, sous la surveillance des ingénieurs et astronomes du Centre de Contrôle de l'ATV basé à Toulouse.

### Architecture de la fusée Ariane 5 (d'après [www.arianespace.com](http://www.arianespace.com))



Le sujet se décompose en 3 parties indépendantes les unes des autres :

**Partie A** : objectifs de la mission ATV 5 et préparatifs du lancement (sur 5 points)

**Partie B** : lancement de l'ATV 5 par Ariane 5 (sur 8 points)

**Partie C** : les équipements de l'ATV 5 et son vol autonome jusqu'à l'ISS (sur 7 points)

## Partie A : objectifs de la mission ATV 5 et préparatifs du lancement (5 points)

### A.1. Objectifs de la mission ATV 5

- A.1.1. D'après l'annexe A1, indiquer au minimum quatre objectifs de la mission ATV 5.
- A.1.2. Préciser quelle est la cause de la baisse d'altitude de l'ISS au cours du temps.
- A.1.3. Quelle est la durée approximative de la mission ?
- A.1.4. En utilisant l'annexe A2, déterminer la perte d'altitude totale subie par la Station Spatiale Internationale au cours de la durée de la mission de l'ATV 5, si celui-ci n'avait pas relevé régulièrement l'orbite de la Station.  
On considèrera qu'un mois dure en moyenne 30,5 jours.

### A.2. Préparatifs du lancement de l'ATV par Ariane 5

#### A.2.1. Inspection du système d'arrosage de la table de lancement

Lors du décollage de la fusée, les tuyères (orifices de sortie) des moteurs de la fusée éjectent des gaz très chauds et à très grande vitesse. Pour protéger la table de lancement des effets néfastes des gaz d'échappement et atténuer le bruit produit lors du décollage, les gaz et la table sont arrosés d'eau par l'intermédiaire de 68 bouches de projection de section  $S = 126 \text{ cm}^2$  chacune (voir annexe A3). L'alimentation en eau est assurée par un château d'eau raccordé aux bouches de projection par un réseau de canalisations muni de vannes dont l'ouverture permet de déclencher l'arrosage.

Ce système d'arrosage doit assurer un débit volumique d'eau total  $D_v = 30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  pendant une durée de 50 secondes lors du décollage.

- A.2.1.a. Quel doit être le volume  $V_R$  du réservoir d'eau du château d'eau pour assurer l'arrosage lors d'un décollage ?
- A.2.1.b. Calculer le débit volumique  $D_{v1}$  de l'eau projetée par une bouche.
- A.2.1.c. En déduire la vitesse  $v$  d'éjection de l'eau à chaque bouche de projection au moment du décollage.
- A.2.1.d. Pour que le système d'arrosage puisse fonctionner efficacement, la pression minimale de l'eau au niveau des vannes doit être de 9 bars lorsque celles-ci sont fermées.  
En déduire la hauteur minimale du niveau de l'eau dans le château d'eau.

On donne :

- la valeur de la pression atmosphérique :  $P_{atm} = 1,0 \text{ bar}$
- la masse volumique de l'eau :  $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- l'intensité de la pesanteur à la surface de la Terre :  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

On rappelle que  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

## A.2.2. Remplissage des réservoirs du moteur principal de la fusée

Pour produire la force de poussée nécessaire à la propulsion de la fusée, ses différents moteurs thermiques utilisent deux substances chimiques appelées propergols.

Les propergols nécessaires au fonctionnement du moteur principal d'Ariane 5 (le moteur Vulcain) sont le dihydrogène  $H_2$  et le dioxygène  $O_2$ .

Quelques heures avant le décollage, on procède au remplissage en propergols des deux réservoirs séparés, situés dans l'étage principal cryotechnique (EPC) de la fusée.

- A.2.2.a. Pendant et après le remplissage des réservoirs, le dihydrogène est maintenu à la température  $T = 20 \text{ K}$  et sous la pression  $P = 2,2 \text{ bar}$ . Le dioxygène est maintenu à  $T = 90 \text{ K}$  sous  $P = 3,6 \text{ bar}$ .  
Placer les points correspondant à ces valeurs sur les diagrammes  $P(T)$  du document-réponse DR1.
- A.2.2.b. En déduire l'état physique des deux ergols stockés dans les réservoirs de l'EPC de la fusée.

## Annexe A1

### Les objectifs de la mission ATV 5 (d'après [www.esa.int](http://www.esa.int))

Comme ses prédécesseurs, l'ATV 5 a permis de ravitailler la station spatiale internationale (ISS) et son équipage permanent, qui compte six personnes, en nourriture, en eau, en oxygène et en carburants.

Il transportait également de nouveaux équipements de recherche pour les astronautes, dont le lévitateur électromagnétique qui permet de réaliser des expériences uniques de fonte et de solidification d'échantillons métalliques sans conteneurs et en apesanteur.

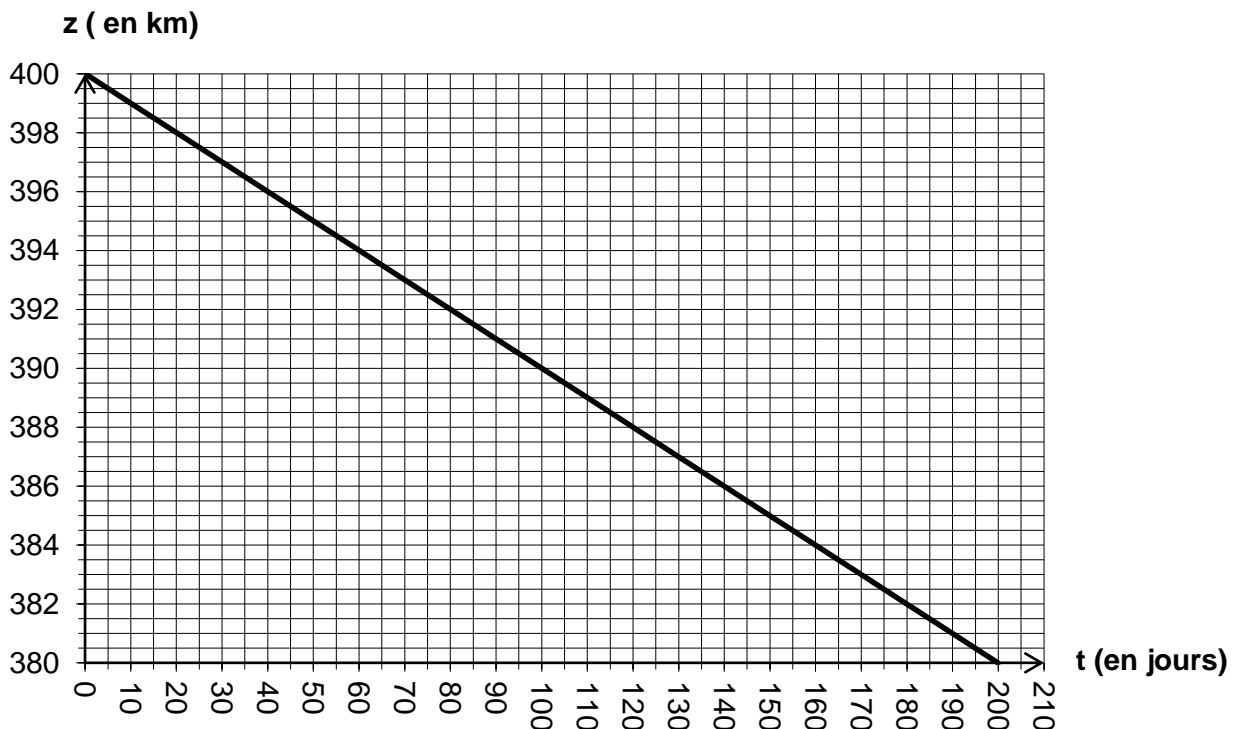
Après son lancement par Ariane 5, l'ATV 5 a volé librement jusqu'à la station spatiale grâce à son système de guidage ultra sophistiqué. La phase d'approche et d'amarrage de l'ATV à la station a permis de tester le nouveau système de capteurs optiques LIRIS (Laser Infrared Imaging Sensors) constitué de 3 caméras et d'un dispositif à émetteurs-récepteurs laser. L'expérience acquise et les images obtenues lors de cette manœuvre faciliteront les approches vers des astéroïdes ou des débris spatiaux lors de prochaines missions.

Tant qu'il restera amarré à la station, l'ATV 5 permettra, grâce à ses moteurs de propulsion, de relever régulièrement l'altitude de la station qui diminue continuellement en raison de la traînée atmosphérique. Il pourra aussi manœuvrer la station afin d'éviter qu'elle n'entre en collision avec des météorites ou des débris flottant dans l'espace. Il servira également de module pressurisé supplémentaire où les astronomes pourront effectuer leurs travaux.

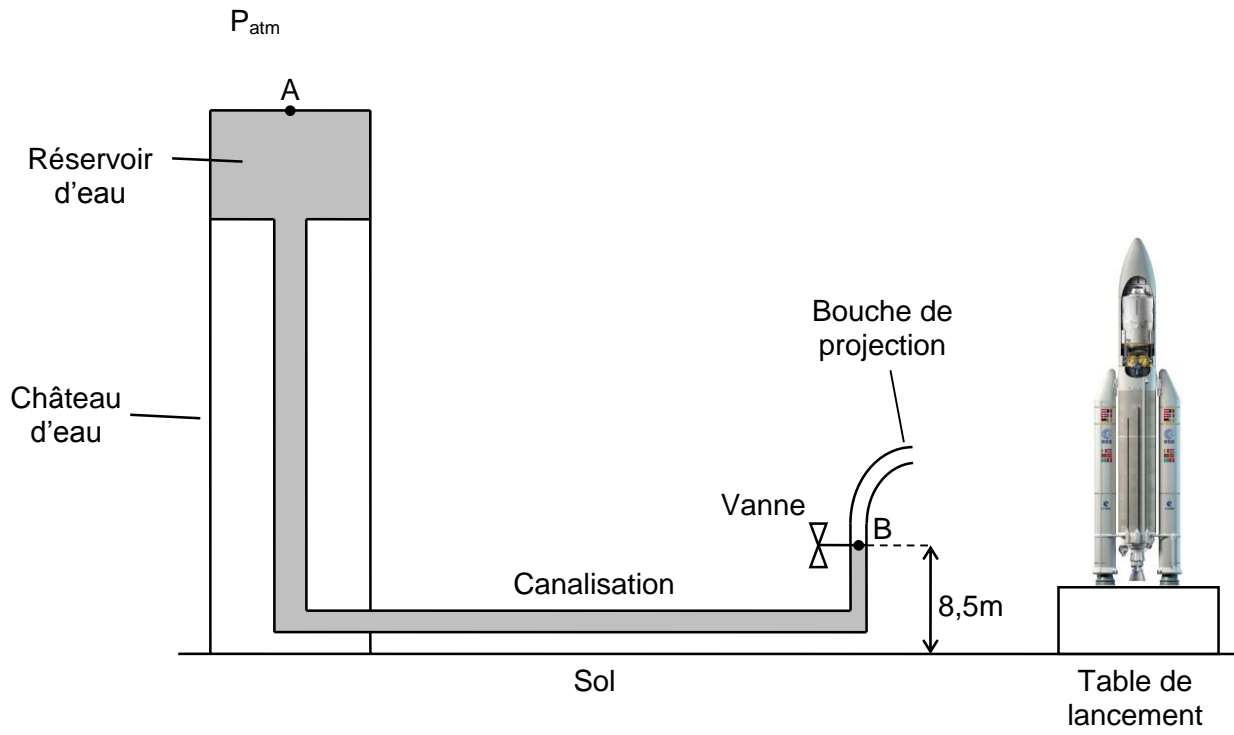
À la fin de sa mission, au bout d'une période d'amarrage d'environ six mois, l'ATV quittera la station rempli des déchets produits par les astronautes et se désintégrera par combustion lors de sa rentrée dans l'atmosphère.

## Annexe A2

### Évolution de l'altitude $z$ de la Station Spatiale Internationale au cours du temps $t$



**Annexe A3**  
**Système d'arrosage de la table de lancement**



## Partie B : lancement de l'ATV 5 par Ariane 5 (8 points)

### B.1. Étude du fonctionnement du moteur Vulcain lors du lancement

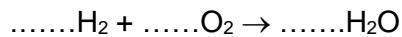
Certaines caractéristiques du moteur Vulcain sont données en annexe B1.

Lors du fonctionnement, le moteur est alimenté séparément en dihydrogène et en dioxygène par deux turbopompes de forte puissance permettant aux propergols d'acquérir un débit, une pression et une vitesse élevés. Une fois mélangés, les deux propergols explosent, produisant les gaz d'échappement à l'origine de la force de poussée qui propulse la fusée.

B.1.1. Sur le document-réponse DR2, compléter le schéma énergétique du moteur à l'aide des termes suivants : moteur - fusée en mouvement - propergols, et en indiquant la nature des différentes énergies transférées.

B.1.2. Étude de la réaction

B.1.2.a. Réécrire l'équation suivante de la réaction chimique qui a lieu entre les deux propergols du moteur et la compléter à l'aide des coefficients stœchiométriques appropriés :



B.1.2.b. Les réservoirs de propergols de la fusée contiennent  $1,2 \cdot 10^7$  mol de dihydrogène et  $4,7 \cdot 10^6$  mol de dioxygène.  
Calculer la quantité de matière d'eau produite lors du fonctionnement du moteur, sachant que tout le dioxygène initialement présent dans le réservoir sera consommé.

B.1.2.c. En déduire que la masse d'eau produite vaut 170 tonnes.

Données :  $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  et  $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

B.1.2.d. Sachant que la masse de vapeur d'eau éjectée par le moteur correspond à la masse de propergols consommée, déterminer, en exploitant la donnée utile de l'annexe B1, la durée de fonctionnement du moteur.

### B.2. Étude du décollage et de la phase d'ascension verticale de la fusée

Dans cette étude, on néglige les forces de frottement dues à l'air et on considère que la masse de la fusée est constante pendant la phase de décollage.

B.2.1. On rappelle que l'intensité de la pesanteur au niveau du sol vaut  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .  
Sachant que la masse de la fusée au décollage est de 774 tonnes, calculer l'intensité  $P$  du poids total de la fusée au décollage.

B.2.2. L'intensité de la force de poussée totale produite par les moteurs des deux EAP et du moteur Vulcain de la fusée au décollage vaut  $F_P = 13 \cdot 10^3 \text{ kN}$ .  
Sur le document-réponse DR3, représenter, à partir du centre de gravité  $G$ , les forces agissant sur la fusée lors du décollage.

La chronologie du décollage et de l'ascension verticale de la fusée est détaillée en annexe B2.

B.2.3. Montrer que l'accélération  $a$  de la fusée au décollage et lors de la phase d'ascension verticale est égale à  $7,0 \text{ m.s}^{-2}$ .

B.2.4. En déduire l'altitude  $z$  atteinte par la fusée en fin d'ascension verticale.

*On rappelle la relation suivante :  $z = \frac{1}{2} a \times \Delta t^2 + v_i \times \Delta t + z_i$   
où  $v_i$  et  $z_i$  sont la vitesse et l'altitude de la fusée au début de l'ascension, et  $\Delta t$  est la durée écoulée depuis le début de l'ascension.*

B.2.5. En exploitant l'annexe B1, montrer que le travail  $W_{\text{vulc}}$  de la force de poussée produite par le moteur Vulcain lors de l'ascension vaut  $6,5.10^8 \text{ J}$ .

B.2.6. En déduire l'énergie  $E_{\text{th}}$  nécessairement libérée durant l'ascension par la réaction chimique qui a lieu entre les propergols du moteur Vulcain.

### **B.3. Traitement de l'eau polluée**

Dans les instants qui suivent le décollage, on observe une forte concentration en chlorure d'hydrogène HCl sur le pas de tir. Le lendemain du décollage, les tunnels d'évacuation des gaz d'échappement de la fusée, creusés dans la table de lancement, sont remplis d'eau polluée acide qu'il faut évacuer. Pour ce faire, l'eau doit d'abord être neutralisée pour obtenir un pH aux alentours de 7 : des bases comme la soude sont ajoutées. À cause de ce processus de neutralisation chimique, les tunnels d'évacuation sont inaccessibles pendant un mois après chaque vol.

B.3.1. Quelle est la nature chimique de la solution formée par dissolution du chlorure d'hydrogène dans l'eau projetée sur le pas de tir de la fusée : acide, basique ou neutre ?

B.3.2. Pour éviter que cette solution ne pollue l'environnement, faut-il augmenter ou diminuer son pH avant de l'évacuer ? Faut-il augmenter ou diminuer la concentration en ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  de la solution ? Que font les techniciens pour cela ?

B.3.3. Écrire l'équation de la réaction acido-basique qui a lieu lorsqu'on neutralise la solution sachant qu'elle met en jeu les deux couples acide - base :  $\text{H}_2\text{O} / \text{OH}^-$  et  $\text{H}_3\text{O}^+ / \text{H}_2\text{O}$ .

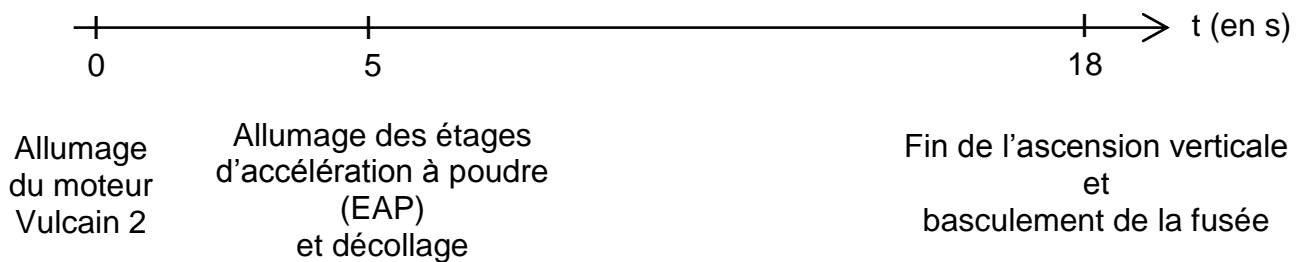


**Annexe B1 :  
Caractéristiques du moteur Vulcain (d'après [www.snecma.com](http://www.snecma.com))**



$F_{\text{vulc}}$ (Force de poussée en kN)	1 100
Pression de combustion (bar)	115
Propergols	dihydrogène et dioxygène
$D_m$ (Débit massique de propergols en $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ )	320
Vitesse de rotation des turbopompes ( $\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$ )	$\text{H}_2$ : 35800 $\text{O}_2$ : 12300
Hauteur (m)	3,45
Diamètre de sortie de la tuyère (m)	2,10
Masse du moteur (kg)	2100
Rendement (%)	40

**Annexe B2 :  
Chronologie du décollage et de l'ascension verticale de la fusée  
(d'après [www.arianespace.com](http://www.arianespace.com))**



## Partie C : les équipements de l'ATV 5 et son vol autonome jusqu'à l'ISS (7 points)

### C.1. Production et stockage de l'énergie nécessaire au fonctionnement du système de guidage de l'ATV

Suite à son lancement par Ariane 5, l'ATV vole librement vers la station spatiale en orbite circulaire à 400 km de la surface de la Terre et s'y amarre.

Durant cette phase de vol libre, les 16 panneaux solaires de l'ATV, répartis sur les 4 ailes solaires de l'appareil, et un ensemble de 4 batteries nickel-cadmium (Ni-Cd) fournissent l'énergie nécessaire au fonctionnement du système de guidage automatique de l'appareil.

L'ATV en rotation rapide autour de la Terre est éclairé par le soleil pendant 61 minutes : les panneaux alimentent alors le système de navigation de l'ATV et rechargent les batteries.

Lorsque l'ATV est masqué par l'ombre de la Terre, durant 31 minutes, ce sont les batteries qui alimentent le système de guidage.

C.1.1. Sur le document-réponse DR4, compléter la chaîne énergétique du dispositif pendant la journée à l'aide des termes suivants : *système de guidage - panneaux solaires - Soleil - batteries*, et en indiquant la nature des différentes énergies transférées.

C.1.2. Le fonctionnement du système de guidage de l'ATV nécessite une puissance  $P_{sg} = 900 \text{ W}$ .

C.1.2.a. Pendant la journée, l'éclairement énergétique, supposé constant, reçu par les panneaux est de  $1370 \text{ W.m}^{-2}$ .

En déduire, à l'aide de l'annexe C1 :

- la puissance  $P_a$  reçue par les panneaux,
- la puissance  $P_u$  qu'ils fournissent,
- que la puissance reçue par les batteries vaut  $P_{bat} = 6,9 \text{ kW}$ .

C.1.2.b. Calculer l'intensité du courant débité par l'association de batteries pour alimenter le système de guidage lorsque l'ATV n'est pas éclairé, sachant que la tension aux bornes de l'ensemble vaut  $U = 57,6 \text{ V}$ .

C.1.2.c. Déterminer la charge  $Q$  consommée par le système de guidage lorsque l'ATV n'est pas éclairé.

C.1.2.d. La charge initiale de l'ensemble des batteries étant de 160 A.h, ces batteries permettent-elles de faire fonctionner correctement le système de guidage ? Justifier la réponse.

C.1.3. L'ATV est également équipé de 4 piles Li-MnO<sub>2</sub> non rechargeables fournissant l'énergie nécessaire au fonctionnement des capteurs optiques de rendez-vous lors de la phase d'amarrage du véhicule à l'ISS.

Chaque pile est constituée de deux électrodes, l'une en carbone C et en lithium Li, l'autre en dioxyde de manganèse MnO<sub>2</sub> (voir document réponse DR5). Lors du fonctionnement de la pile, les atomes de lithium Li se transforment en ions lithium Li<sup>+</sup> qui quittent l'électrode en carbone et traversent l'électrolyte pour venir s'insérer dans la structure du dioxyde de manganèse.

Préciser sur le document réponse DR5 :

- le sens de déplacement des ions lithium dans l'électrolyte ;
- le sens de circulation des électrons et du courant  $I$  dans le circuit électrique ;
- le nom de chaque électrode, le nom de la réaction qui a lieu à chaque électrode, ainsi que l'équation de la réaction qui a lieu à l'électrode en carbone et en lithium.

## **C.2. Mise en œuvre du système optique lors de la phase d'approche et d'amarrage de l'ATV à la station spatiale**

Pour s'amarrer à la station, l'ATV 5 est équipé du système optique LIRIS (Laser Infrared Imaging Sensors) constitué de 3 caméras et d'un dispositif à émetteurs-récepteurs laser. Ce système sophistiqué permet d'obtenir des images 3D de la station spatiale et de calculer en temps réel la distance et la vitesse de l'ATV par rapport au point d'amarrage de la station.

C.2.1. Les trois caméras du système LIRIS détectent les ondes électromagnétiques émises par la station spatiale dont l'énergie  $E$  est comprise entre  $1,99 \cdot 10^{-22}$  J et  $2,48 \cdot 10^{-19}$  J.

C.2.1.a. Déterminer l'intervalle des longueurs d'ondes  $\lambda$  détectées par les caméras du système LIRIS. Justifier.

On rappelle :

- la valeur de la vitesse des ondes électromagnétiques dans le vide :  
 $c = 3,0 \cdot 10^8$  m.s<sup>-1</sup>
- la constante de Planck :  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  J.s

C.2.1.b. En déduire, à partir de l'annexe C2, la nature de ces ondes.

C.2.2. Dès que l'ATV s'est rapproché à moins de 250 m de la station, chaque émetteur du système LIRIS envoie, à intervalles de temps réguliers, une brève impulsion laser en direction de la station spatiale qui la réfléchit dans la direction du récepteur correspondant de l'ATV (Voir annexe C3). Le système LIRIS mesure la durée  $\Delta t$  écoulée entre l'émission de chaque impulsion laser et la réception de son écho pour calculer la distance et la vitesse de l'ATV par rapport à la station.

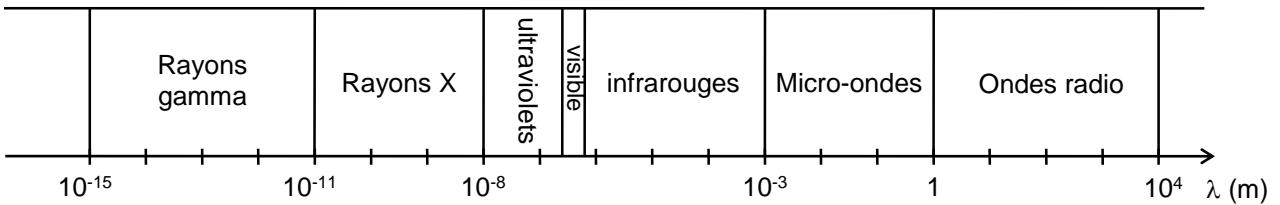
Aurait-on pu utiliser des émetteurs-récepteurs à ultrasons pour réaliser l'amarrage de l'ATV à la station ? Justifier.

**Annexe C1 :  
Quelques caractéristiques des panneaux solaires de l'ATV 5**

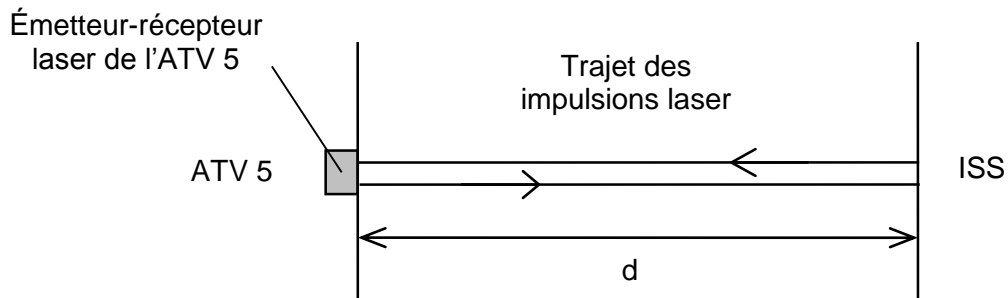
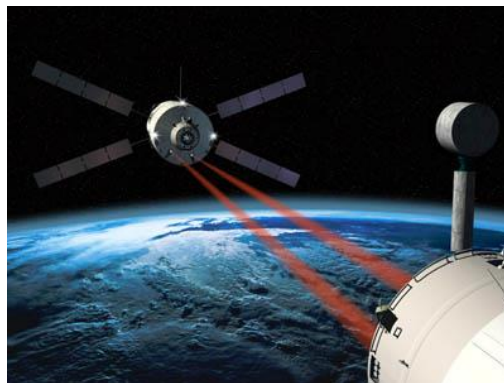


Nombre d'ailes solaires de l'ATV 5	4
Nombre total de panneaux	16
Surface totale des panneaux	33,6 m <sup>2</sup>
Technologie des cellules photovoltaïques	Silicium monocristallin
Rendement	17%

**Annexe C2 :  
Spectre des ondes électromagnétiques**



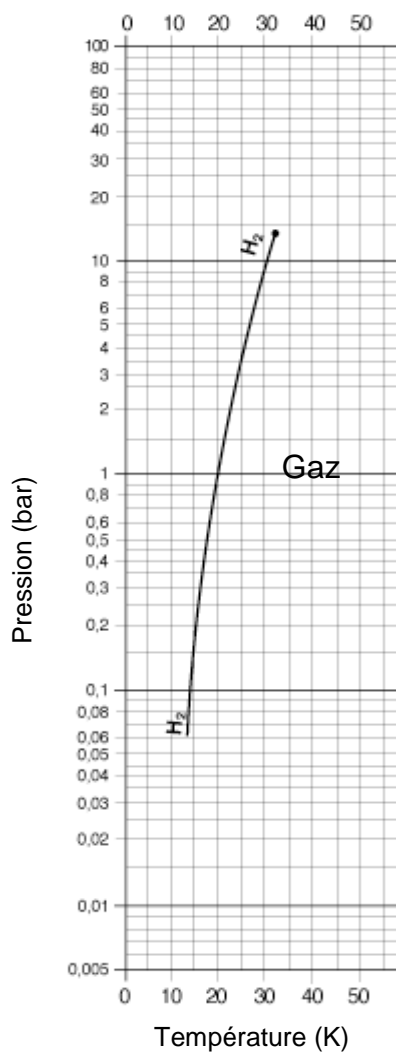
**Annexe C3 :  
Fonctionnement des émetteurs-récepteurs laser du système LIRIS**



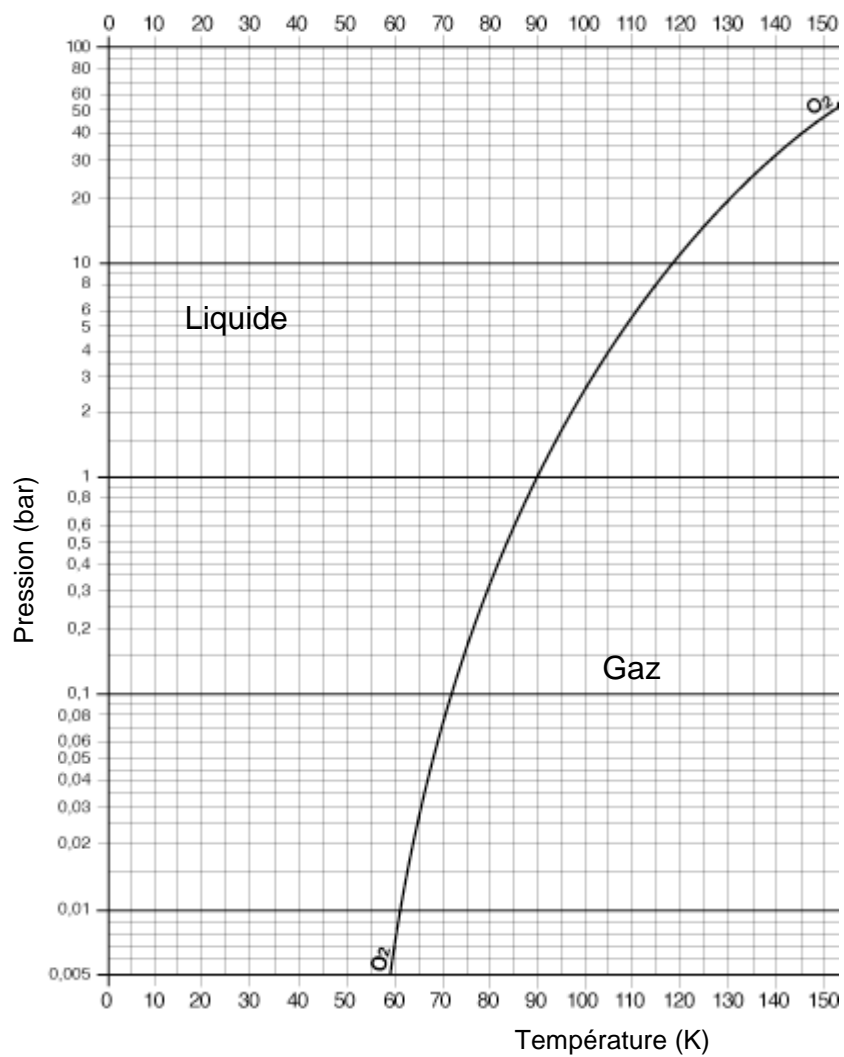
## Documents - réponses

DR1 : diagramme pression-température P(T) du dihydrogène et du dioxygène

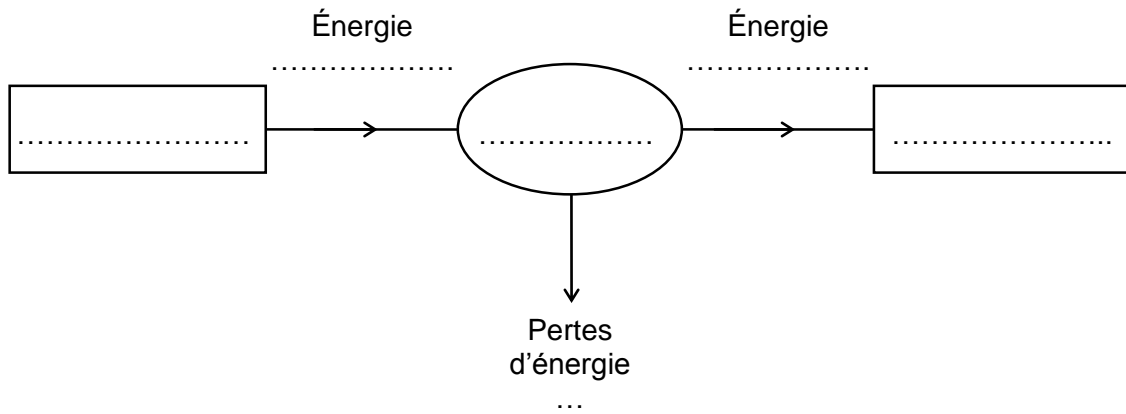
H<sub>2</sub>



O<sub>2</sub>



**DR2 : schéma énergétique du moteur Vulcain 2**

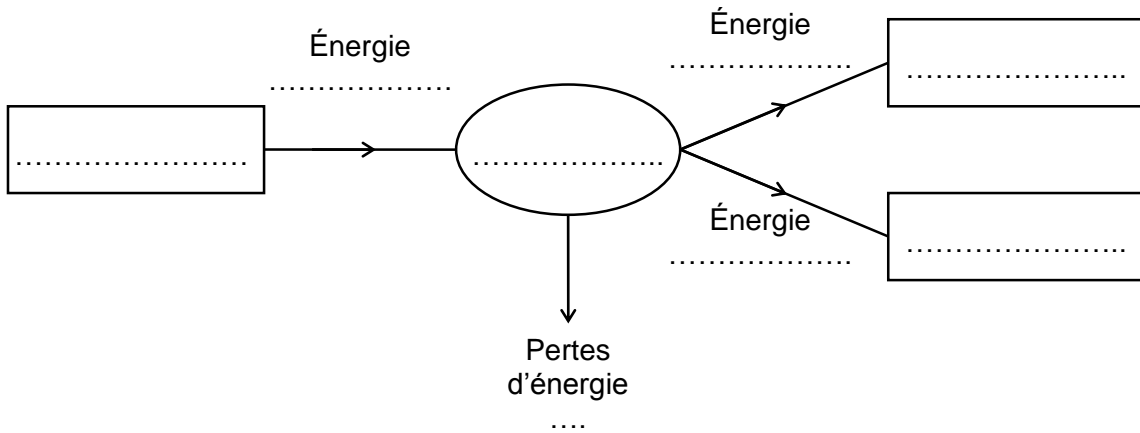


**DR3 : représentation des forces agissant sur la fusée lors du décollage et de la phase d'ascension verticale**

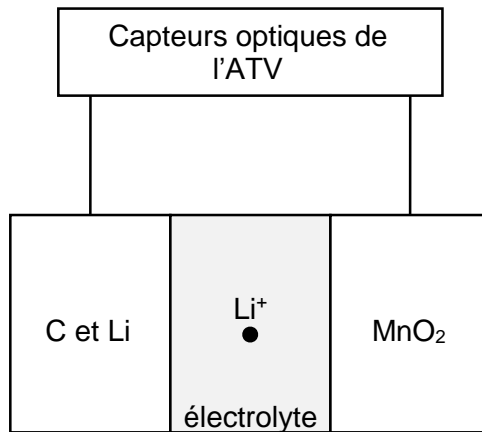


Échelle : 1cm ↔ 2000 kN

**DR4 : chaîne énergétique du dispositif d'alimentation électrique de l'ATV pendant la journée**



**DR5 : principe de fonctionnement d'une pile Li-MnO<sub>2</sub> de l'ATV**



	Électrode C et Li	Électrode MnO <sub>2</sub>
Nom de l'électrode		
Nom de la réaction		
Équation de la réaction		