

BAC BLANC 2013

PHYSIQUE-CHIMIE

Sujet spécifique

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30

L'usage d'une calculatrice EST autorisé
Du papier millimétré est mis à disposition

Ce sujet comporte trois exercices.
Chaque exercice sera traité sur une copie séparée.
Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

EXERCICE I - LA CHAPTALISATION (7 points)

Cet exercice se propose d'étudier le procédé de chaptalisation décrit par Jean-Antoine Chaptal (1756-1832) dans son essai *L'art de faire, de gouverner et de perfectionner les vins*.



1. Fermentation alcoolique du glucose

En 1801, Jean-Antoine Chaptal écrit : « Le principe sucré existe dans le moût* et en fait un des principaux caractères, il disparaît par la fermentation et est remplacé par l'alcool qui caractérise essentiellement le vin. » Le sucre mentionné est du glucose contenu dans le jus de raisin, de formule brute $C_6H_{12}O_6$ qui, sous l'action des levures de la peau du raisin, se transforme en éthanol. Cette réaction, dite fermentation alcoolique, produit également du dioxyde de carbone.

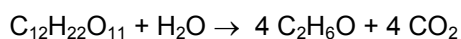
* Le *moût* désigne la mixture obtenue après pression ou cuisson de fruits ou d'autres produits destinés à la fermentation.

- 1.1. Représenter la formule topologique de l'éthanol de formule brute C_2H_6O .
- 1.2. Quelle est la classe de l'éthanol ?
- 1.3. Écrire l'équation de la réaction de formation de l'éthanol lors de la fermentation alcoolique du glucose.

2. Fermentation alcoolique du saccharose

Plus loin, Chaptal précise : « Comme le but et l'effet de la fermentation spiritueuse se réduisent à produire de l'alcool, en décomposant le principe sucré, il s'ensuit que la formation de l'un est toujours en proportion de la destruction de l'autre [...] c'est pour cela qu'on augmente à volonté la quantité d'alcool, en ajoutant du sucre au moût qui paroît en manquer. » Cette méthode d'ajout de sucre a gardé son nom, la chaptalisation ; elle est utilisée depuis la fin du XVIII^e siècle.

Le sucre utilisé pour la chaptalisation est le saccharose de formule de brute $C_{12}H_{22}O_{11}$. L'équation de la réaction de transformation du saccharose en éthanol s'écrit :



On appelle degré alcoolique d'un vin d° , le volume V (exprimé en mL) d'éthanol pur présent dans 100 mL de ce vin. Par exemple, lorsque $d^\circ = 7$, cela veut dire que dans 100 mL de vin, il y a 7 mL d'éthanol pur. On s'intéresse à la quantité de saccharose à ajouter pour augmenter le degré alcoolique d'un vin.

Données :

- Masse volumique de l'éthanol $\rho = 0,79 \text{ g.mL}^{-1}$;
- Masses molaires moléculaires :
 $M(\text{éthanol}) = 46 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{saccharose}) = 342 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{glucose}) = 180 \text{ g.mol}^{-1}$.

2.1. En considérant la fermentation alcoolique à partir du saccharose comme une réaction totale, quelle est la relation liant la quantité de matière de saccharose initiale notée $n_{\text{saccharose}}$ à la quantité de matière finale d'éthanol obtenue notée $n_{\text{éthanol}}$?

2.2. Montrer que la quantité de matière d'éthanol correspondant à l'augmentation d'un degré alcoolique d'un litre de vin est égale à $1,7 \times 10^{-1} \text{ mol}$. En déduire la masse théorique de saccharose correspondante.

3. Peut-on chaptaliser le Muscadet ?

Dans l'appellation muscadet, la chaptalisation est autorisée si la teneur en glucose du moût est inférieure à 161 g.L^{-1} . Pour savoir s'il est possible légalement d'ajouter du saccharose dans le moût de ce vin, il est nécessaire de doser le glucose qu'il contient.

Principe du dosage : On oxyde, à chaud et en milieu basique, le glucose par l'acide 3,5-dinitrosalicylique (DNS), espèce chimique incolore. Cette réaction produit l'acide 3-amino-5-nitrosalicylique qui est un composé rouge. Une fois la réaction avec le DNS terminée, l'acide 3-amino-5-nitrosalicylique formé est dosé par spectrophotométrie visible. Cette réaction étant totale et le DNS étant en excès, la quantité d'acide formé est proportionnelle à la quantité de glucose oxydé.

Protocole du dosage :

Étape 1 : à partir d'une solution mère de glucose de concentration molaire $C_{\text{glucose}} = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ et d'une solution contenant le DNS, un groupe d'élèves prépare cinq solutions dont ils mesurent les absorbances, une fois la réaction d'oxydation achevée. Les volumes utilisés pour préparer ces solutions et les valeurs des absorbances mesurées sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

On notera C la concentration molaire en glucose dans la solution préparée.

Solution	1	2	3	4	5
Volume de la solution mère V_{SM} (mL)	0	0,30	0,60	0,90	1,20
Volume du réactif contenant le DNS (mL)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Volume d'eau distillée (mL)	3,0	2,7	2,4	2,1	1,8
Absorbance	0	0,25	0,51	0,74	1,1

Étape 2 : le groupe d'élèves prépare une solution X à partir d'une solution de moût du raisin Muscadet que l'on a dilué 50 fois. Les volumes utilisés pour préparer cette solution et la valeur de l'absorbance mesurée sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

Solution	X
Volume du moût de raisin dilué V_{md} (mL)	0,40
Volume du réactif contenant le DNS (mL)	2,0
Volume d'eau distillée (mL)	2,6
Absorbance	0,67

On notera C_X la concentration molaire en glucose de la solution de moût du raisin Muscadet.

Exploitation :

3.1. Pourquoi a-t-on dilué le moût avant de préparer la solution X ?

3.2. Est-il possible de rajouter du saccharose dans le moût du raisin de Muscadet dans le respect de la réglementation ?

On attend pour cette question l'explicitation détaillée du raisonnement, une courbe, les calculs et une conclusion.

EXERCICE II - DES ÉQUILIBRES ACIDO-BASIQUES EN MILIEU BIOLOGIQUE (8 points)

Le pH des liquides biologiques doit être maintenu dans des fourchettes étroites pour que la vie soit possible. Un changement de pH perturberait très sérieusement le métabolisme des organismes vivants. Les différents milieux disposent de systèmes tampon performant pour maintenir constant leur pH.

L'objectif de l'exercice est de comprendre le maintien et la régulation du pH des milieux biologiques, puis d'effectuer une étude de l'acide lactique, acide intervenant dans des processus biologique de notre organisme.

Donnée : Pour un couple acido-basique symbolisé A/B, on peut écrire : $\text{pH} = \text{pK}_A + \log \frac{[B]}{[A]}$

Demi-équation associée au couple $\text{CO}_2(\text{aq})/\text{HCO}_3^-(\text{aq})$: $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) = \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$

1. Les solutions tampon : maintien du pH des milieux biologiques

Document 1

Dans les milieux biologiques, les systèmes tampon amortissent les variations de pH lorsqu'il y a une perturbation de l'équilibre acide-base. L'effet du système tampon est plus efficace si la concentration en chacune des espèces le constituant est grande et si le pK_A du système tampon est proche du pH des milieux biologiques ; l'effet est maximum lorsque $\text{pH} = \text{pK}_A$.

Dans le corps humain, le pH du sang et des fluides extracellulaires varie peu autour de 7,4 et le pH normal intracellulaire est de 6,8 à 7,0 selon les cellules.

Ainsi, le pH intracellulaire est maintenu pratiquement constant grâce au système "phosphate" ($\text{H}_2\text{PO}_4^-(\text{aq})/\text{HPO}_4^{2-(\text{aq})}$).

1.1. Donner une estimation de la valeur du pK_A du couple $\text{H}_2\text{PO}_4^-(\text{aq})/\text{HPO}_4^{2-(\text{aq})}$.

Document 2

Un autre système tampon important dans l'organisme fait intervenir le couple dioxyde de carbone / ion hydrogénocarbonate $\text{CO}_2(\text{aq})/\text{HCO}_3^-(\text{aq})$. Dans les conditions normales de respiration, la concentration molaire en dioxyde de carbone dans le sang est telle que $[\text{CO}_2(\text{aq})] = \alpha \times p(\text{CO}_2)$. α est la constante de solubilité de valeur $\alpha = 0,030 \text{ mmol.L}^{-1}.\text{mmHg}^{-1}$ et $p(\text{CO}_2)$ la pression partielle du dioxyde de carbone dans l'alvéole pulmonaire exprimée en millimètre de mercure (mm Hg). Sa valeur est normalement $p(\text{CO}_2) = 40 \text{ mm Hg}$. La concentration molaire des ions hydrogénocarbonate est $[\text{HCO}_3^-(\text{aq})] = 24 \text{ mmol.L}^{-1}$.

1.2. Sachant que le pK_A du couple $\text{CO}_2(\text{aq})/\text{HCO}_3^-(\text{aq})$ est égal à 6,1 à 37°C, montrer que le pH du sang humain est maintenu à la valeur habituelle dans les conditions normales de respiration.

2. Les perturbations et les mécanismes régulateurs

Document 3

Les perturbations portant sur la régulation du pH dans l'organisme peuvent provenir du métabolisme. Par exemple les acidoses métaboliques peuvent être dues à une activité physique importante au cours de laquelle un acide est fabriqué par l'organisme suite à une mauvaise oxygénation des tissus. La formation de cet acide entraîne une baisse du pH dans le sang.

Dans les acidoses métaboliques, la réaction ventilatoire est rapide, elle implique une hyperventilation pour abaisser la quantité de dioxyde de carbone dans le sang, qui doit normalement diminuer en quelques minutes.

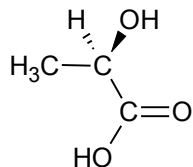
Le sang contient, à l'état normal, $1,65 \text{ g.L}^{-1}$ d'ions hydrogénocarbonate et $0,060 \text{ g.L}^{-1}$ de dioxyde de carbone dissous, les concentrations en base et en acide pouvant être régulées par contrôle de leur excrétion : $\text{CO}_2(\text{g})$ par voie respiratoire (rapide) et $\text{HCO}_3^-(\text{aq})$ par voie rénale (lente).

À l'aide de l'expression de la constante d'acidité du couple $\text{CO}_2(\text{aq})/\text{HCO}_3^-(\text{aq})$, expliquer comment une hyperventilation permet de corriger une acidose métabolique.

3. Un acide de l'organisme : l'acide lactique

L'acide produit par l'organisme lors d'une acidose métabolique est l'acide lactique. C'est un acide faible de formule brute $C_3H_6O_3$.

3.1. Recopier la représentation de l'acide lactique figurant ci-dessous puis entourer et nommer les groupes caractéristiques.



3.2. La **figure 7** représente deux simulations de courbes de titrage pH-métrique de deux solutions aqueuses acides différentes par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ($Na^+(aq) + HO^-(aq)$).

Les deux acides sont l'acide chlorhydrique, un acide fort et l'acide lactique, un acide faible.

La concentration molaire en soluté apporté des deux solutions aqueuses d'acide est $c = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$.

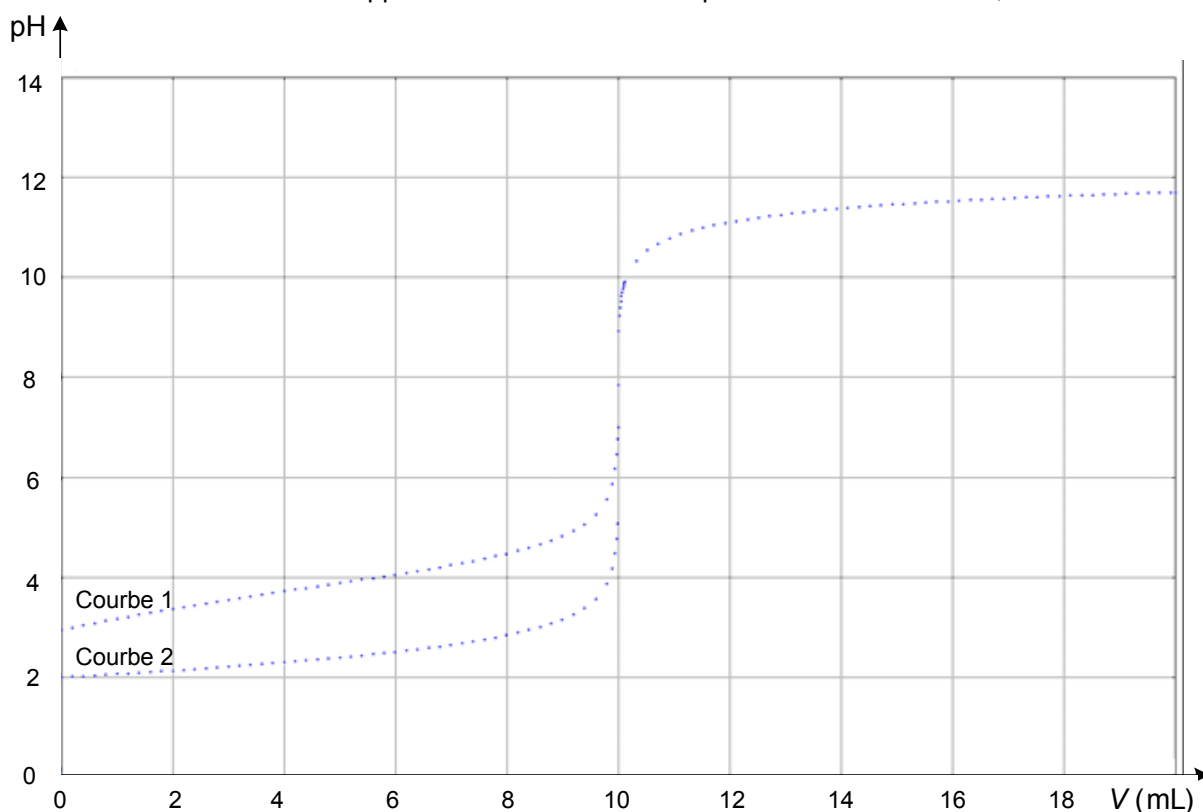
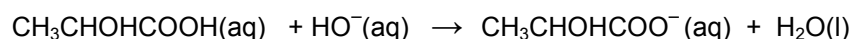


Figure 7. Titrage des solutions A et B

3.2.1. Calculer le pH de la solution d'acide fort avant l'ajout de la solution aqueuse de soude et en déduire la courbe correspondant à son titrage pH-métrique.

3.2.2. On donne l'équation de la réaction de titrage de l'acide lactique :



Montrer que pour un volume de solution aqueuse de soude ajouté égal à $\frac{V_E}{2}$, V_E étant le volume versé à l'équivalence, le pH de la solution vaut pK_A .

En déduire une estimation du pK_A de l'acide lactique.

4. La précision d'un titrage

Un élève effectue le titrage colorimétrique d'un volume $V_A = (20,0 \pm 0,05)$ mL d'une solution aqueuse d'acide lactique de concentration molaire attendue $c_A = (2,22 \pm 0,005) \times 10^{-2}$ mol.L⁻¹ par une solution aqueuse de soude étiquetée «concentration $c_B = (3,00 \pm 0,01) \times 10^{-2}$ mol.L⁻¹».

4.1. La valeur du volume à l'équivalence relevée par un élève est $V_E = (10,1 \pm 0,3)$ mL. L'estimation de l'incertitude sur la mesure est liée au repérage de l'équivalence et à la précision de la burette dans les conditions de l'expérience. Etablir la relation à l'équivalence entre c_A , V_A , V_E et c_B puis déterminer la concentration molaire expérimentale c_{Aexp} en acide lactique, obtenue par l'élève. (1 pt)

4.2. On définit l'incertitude relative d'une grandeur X par le rapport $\frac{\Delta X}{X}$. On estime qu'une incertitude relative est négligeable devant une autre, si elle est environ dix fois plus petite.

4.2.1. Montrer que les incertitudes relatives sur V_A et c_B sont négligeables devant celle sur V_E .

4.2.2. Dans cette hypothèse, on peut montrer que l'incertitude relative $\frac{\Delta c_{Aexp}}{c_{Aexp}}$ est égale à $\frac{\Delta V_E}{V_E}$. En déduire l'encadrement de la concentration molaire en acide lactique c_{Aexp} , obtenue par l'élève.

4.2.3. L'encadrement de la concentration molaire obtenue expérimentalement est-elle cohérente avec l'encadrement de la concentration molaire attendue ? Justifier.

4.2.4. Quelle(s) raison(s) pourrai(en)t expliquer un écart éventuel entre l'encadrement attendu et l'encadrement expérimental ?

EXERCICE III - LANCEMENT D'UN SATELLITE PAR LA FUSÉE ARIANE (5 points)

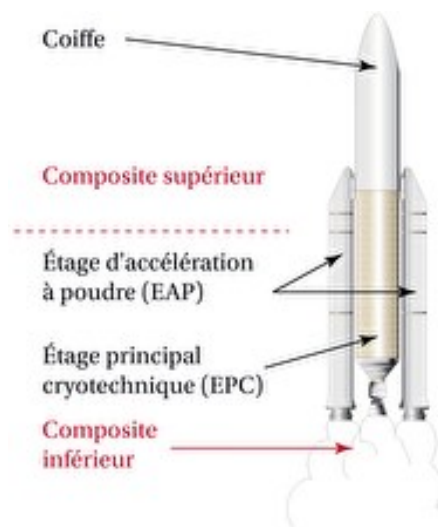
Le 31 juillet 1973, les ministres chargés des affaires spatiales de dix pays européens décident, pour permettre l'accès de l'Europe à l'espace en toute indépendance, de produire un lanceur de satellites (encore appelé fusée) : ainsi est née la famille Ariane.

Le dernier membre de la famille, Ariane 5, de conception différente des lanceurs précédents, comprend deux éléments (ou composites) principaux, un composite inférieur et un composite supérieur.

Le composite inférieur est constitué de l'étage principal cryogénique (EPC) et de l'étage d'accélération à poudre (EAP) dont chaque propulseur mesure 3 m de diamètre et 31 m de hauteur.

Le composite supérieur comprend une case à équipements (le cerveau du lanceur), un étage à propergol stockable et la coiffe qui abrite le ou les satellites.

La masse M_0 d'Ariane 5 au moment du lancement est de 780 t dont près de 90 % est constitué d'ergols consommés par les moteurs. Le rôle d'un moteur fusée est d'éjecter le plus de matière possible à la plus grande vitesse possible : au décollage, les moteurs d'Ariane 5 éjectent chaque seconde 4 000 kg de matière à une vitesse v_e , ce qui produit une poussée F de 13 000 kN.



Le décollage de la fusée a été filmé à 25 images par seconde. Le film a été étudié à l'aide d'un logiciel de pointage. L'étalonnage a été effectué à partir de la hauteur de la fusée, puis le pointage a été réalisé toutes les 5 images au niveau de la coiffe. Grâce aux fonctionnalités du logiciel, à partir des coordonnées, on a obtenu les valeurs de la vitesse au cours du temps.

Vous disposez ci-dessous d'un tableau avec les premières valeurs des courbes $y=f(t)$ et $v_y=g(t)$ (figures 1 et 2).

TABLEAUX

t(s)	y(m)	$v_y(\text{m.s}^{-1})$
0	- 21,952	0
0,2	- 21,89	- 0,095
0,4	- 21,99	0
0,6	- 21,89	0
0,8	- 21,99	0,1575

t(s)	y(m)	v _y (m.s ⁻¹)
1	-21,827	2,6225
1,2	-20,941	4,5875
1,4	-19,992	5,8525
1,6	-18,6	6,6425
1,8	-17,335	7,5925
2	-15,563	9,6475
2,2	-13,476	10,755
2,4	-11,261	11,23
2,6	-8,984	13,6025
2,8	-5,82	16,1325
3	-2,531	17,3975
3,2	1,139	18,3475
3,4	4,808	19,6125
3,6	8,984	21,195
3,8	13,286	22,4575
4	17,967	24,04
4,2	22,902	24,8325
4,4	27,9	26,4125
4,6	33,467	28,6275
4,8	39,351	30,21
t	45,551	32,5825
5,2	52,384	34,955
5,4	59,533	37,327

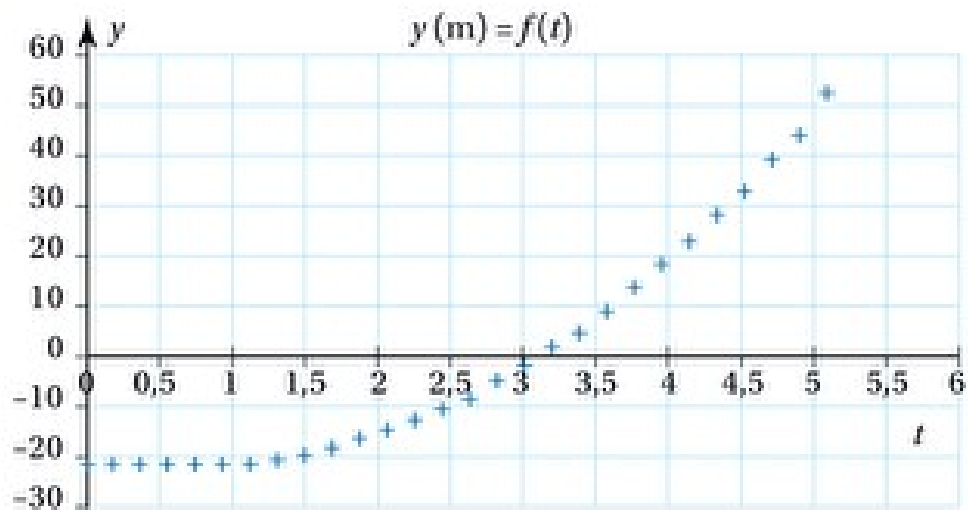


Figure 1

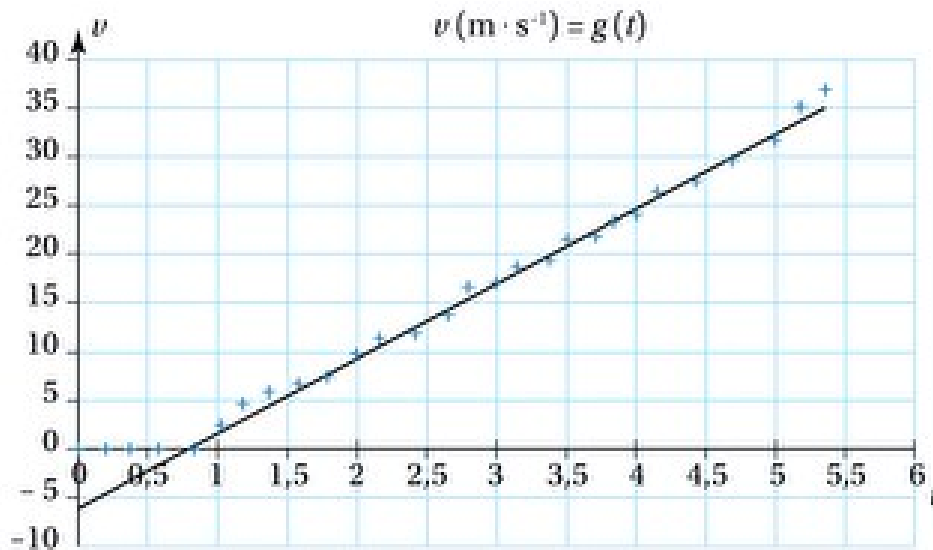


Figure 2

1. Expliquer comment la vitesse v_y a été calculée par le logiciel. Retrouver la valeur pour la date $t = 1,6$ s.
2. À l'aide des documents fournis, déterminer la date du décollage t_{dec} .
3. Calculer les quantités de mouvement de la fusée 2,00 s après le décollage et 3,00 s après le décollage, notées respectivement p_2 et p_3 .

4. En déduire la variation de la quantité de mouvement pendant cette même seconde, $\frac{\Delta p}{\Delta t}$.
5. En appliquant la deuxième loi de Newton, déterminer la poussée des moteurs et comparer à la valeur donnée ci-dessus (dans cette question, on négligera la variation de masse de la fusée et les forces de frottement).

6. La vitesse d'éjection \vec{v}_e des gaz issus de la combustion du pergol est donnée par la relation $\vec{v}_e = \frac{\Delta t}{\Delta M} \vec{F}$,

avec $\frac{\Delta M}{\Delta t}$ la variation de masse de la fusée par unité de temps, et caractérise la consommation des moteurs. Calculer la valeur numérique de v_e (on utilisera la valeur de F donnée dans l'énoncé)

7. Quel est le signe de $\frac{\Delta M}{\Delta t}$? En déduire le sens de \vec{v}_e . Qu'en pensez-vous ?
8. À l'aide d'une loi connue qu'on énoncera, expliquer pourquoi l'éjection des gaz propulse la fusée vers le haut.

Données : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$