

# Concours de l'A.C.P.

11 avril 2003

9:00 – 12:00

## Feuille d'information du candidat

L'information fournie ci-dessous est utilisée pour communiquer au candidat et aux collèges les résultats du concours, pour déterminer l'éligibilité du candidat à certains concours ultérieurs, ainsi qu'à des fins statistiques. Seul le code du candidat, attribué par le coordonnateur provincial, identifie ses copies lors de la correction.

Code du candidat :

SVP ne rien inscrire dans cet espace.

### **PRIÈRE D'ÉCRIRE LISIBLEMENT EN LETTRES MAJUSCULES.**

**Nom de Famille :** \_\_\_\_\_ **Prénom :** \_\_\_\_\_

**Adresse (domicile) :** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ **Code postal :** \_\_\_\_\_

**Téléphone :** (     ) \_\_\_\_\_ **courriel :** \_\_\_\_\_

**Collège/école :** \_\_\_\_\_ **Année :** \_\_\_\_\_

**Professeur de physique :** \_\_\_\_\_

**Date de naissance :** \_\_\_\_\_ **Sexe :** \_\_\_\_\_

**Citoyenneté :** \_\_\_\_\_

Depuis combien d'années étudiez-vous dans un établissement canadien ? \_\_\_\_\_

Préférez-vous recevoir votre correspondance en français ou en anglais ? (F/E) \_\_\_\_\_

**Commandité par :**

L'Association canadienne des physiciens

Les Olympiades canadiennes de chimie et de physique

## Association canadienne des physiciens Concours de physique 2003

La durée de cet examen est de trois heures. Le rang d'un candidat et le prix accordé seront basés sur les réponses aux parties A et B. Les résultats de la partie A serviront à déterminer les candidats dont les réponses écrites à la partie B seront corrigées. Les questions de la partie B présentent un spectre varié de difficulté. Essayez d'accumuler le plus de points possible dans les problèmes plus faciles avant de vous attaquer aux plus difficiles. Dans certains cas, par exemple, la réponse à la partie (a) est nécessaire à la solution de la partie (b); si vous ne pouvez répondre rigoureusement à la partie (a), vous pouvez tout de même passer à la partie (b) en admettant une solution hypothétique à la partie (a). On ne s'attend pas à ce tous les étudiants puissent terminer cet examen à temps. Chaque question à développement peut comporter une partie plus difficile. Les calculatrices non programmables sont autorisées. Ayez soin de bien indiquer les réponses aux questions à choix multiples sur la carte-réponse qui vous est fournie et, surtout, écrivez vos solutions à chacun des problèmes à développement sur des **feuilles séparées**, ces questions étant corrigées par des personnes différentes en des endroits différents. Bonne chance !

### Données

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Vitesse de la lumière         | $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$                               |
| Constante de gravitation      | $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$  |
| Rayon terrestre               | $R_T = 6,38 \times 10^6 \text{ m}$                               |
| Masse de la Terre             | $M_T = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$                            |
| Masse du Soleil               | $M_S = 2,0 \times 10^{30} \text{ kg}$                            |
| Rayon orbital de la Terre     | $R_{TS} = 1,50 \times 10^8 \text{ km}$                           |
| Accélération gravitationnelle | $g = 9,80 \text{ m/s}^2$   |
| Charge élémentaire            | $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$                             |
| Masse de l'électron           | $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$                          |
| Masse du proton               | $m_p = 1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$                         |
| Constante de Planck           | $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$                |
| Constante de Coulomb          | $1/4\pi\epsilon_0 = 8,99 \times 10^9 \text{ J}\cdot\text{m/C}^2$ |
| Vitesse du son dans l'air     | $v_s = 343 \text{ m/s}$  |
| Conversion eV/joule           | $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$                   |

### Partie A : Choix multiples

#### Question 1

Un condensateur à plaques parallèles porte une charge  $q$  et n'est relié à rien. On augmente la distance entre les plaques. L'énergie électrique emmagasinée par le condensateur

- (a) diminue ;
- (b) ne change pas ;
- (c) augmente ;
- (d) peut se comporter de l'une des trois façons précédentes, tout dépendant du changement de la capacité.

#### Question 2

Lorsqu'une onde mécanique ou bien électromagnétique passe d'un milieu à un autre, elle subit un changement...

- (a) d'amplitude seulement ; (b) de vitesse et longueur d'onde ;
- (c) de vitesse seulement ; (d) de longueur d'onde seulement.

#### Question 3

Deux pièces identiques dans une maison parfaitement isolée communiquent par une porte ouverte. La température dans chacune d'elles est maintenue à une valeur différente. La pièce contenant le plus de molécules d'air est...

- (a) celle où la température est la plus haute ;
- (b) celle où la température est la plus basse ;
- (c) celle où la pression est la plus haute ;
- (d) ni l'une ni l'autre, car elles ont le même volume.

#### Question 4

Trois avions, A, B et C, larguent chacun un objet, à la même altitude et avec la même vitesse initiale  $v_0$  par rapport au sol. À l'instant du largage, A vole à l'horizontale, B grimpe selon un angle  $\theta$  par rapport à l'horizontale, et C pique vers le sol selon le même angle. En supposant le sol horizontal et négligeant tout effet aérodynamique, les vitesses  $v$  auxquelles les trois objets percutent le sol satisfont :

- (a)  $v_A = v_B < v_C$  ; (b)  $v_A > v_B = v_C$  ;
- (c)  $v_A < v_B < v_C$  ; (d)  $v_A = v_B = v_C$ .

#### Question 5

Deux sphères conductrices identiques, A et B, ont la même charge électrique. Elles sont séparées par une distance très supérieure à leur diamètre et exercent l'une sur l'autre une force électrostatique  $F$ . Une troisième sphère C, identique aux deux autres, n'a pas de charge et se trouve loin d'elles au moment initial. La sphère C est alors amenée en contact avec la sphère A pendant un bref instant, puis avec la sphère B, après quoi elle est de nouveau placée loin des deux autres. La force électrostatique entre A et B est maintenant :

- (a)  $3F/8$  ; (b)  $F/2$  ;
- (c)  $F/4$  ; (d)  $F/16$ .

#### Question 6

Au sol, la Terre exerce une force  $F$  sur une astronaute. La force exercée par la Terre sur cette astronaute dans la navette spatiale en orbite basse autour de la Terre, à 300 km d'altitude, est...

- (a) légèrement inférieure à  $F_0$  ;
- (b) légèrement supérieure à  $F_0$  ;
- (c) exactement  $F_0$  ;
- (d) zéro, puisqu'en orbite l'astronaute est en apesanteur.

#### Question 7

Une personne fait tourner à vitesse constante  $v$  une balle à l'extrémité d'une corde de longueur  $\ell$ . Le travail fourni pendant une révolution par la tension  $T$  dans la corde est...

- (a) 0 ; (b)  $mv^2/2$  ;
- (c)  $2\pi\ell T$  ; (d) indéterminé par l'information donnée.

**Question 8**

Un gaz dans un récipient exerce sur sa paroi une pression causée par...

- (a) le changement d'énergie cinétique des molécules du gaz lorsqu'elles rebondissent sur la paroi ;
- (b) les collisions entre les molécules du gaz ;
- (c) la force répulsive entre les molécules du gaz ;
- (d) le changement de quantité de mouvement des molécules du gaz lorsqu'elles rebondissent sur la paroi.

**Question 9**

Une créature martienne semblable à une grenouille terrestre effectue un bond d'une portée  $R$  à la vitesse initiale  $v_0$  au-dessus du sol horizontal. Soit  $\theta$  l'angle initial de sa trajectoire. La hauteur maximale que la créature peut atteindre, si l'on néglige le frottement causé par l'atmosphère ténue de Mars, est...

- (a)  $\frac{R}{4} \tan \theta$  ;
- (b)  $\frac{R}{4} \sin \theta$  ;
- (c)  $\frac{R}{2} \tan \theta$  ;
- (d) indéterminée, par manque d'information.

**Question 10**

Le travail fourni pour accélérer un camion au repos jusqu'à la vitesse  $v$  sur une route horizontale...

- (a) est inférieur à celui nécessaire pour l'accélérer de  $v$  à  $2v$  ;
- (b) est égal à celui nécessaire pour l'accélérer de  $v$  à  $2v$  ;
- (c) est supérieur à celui nécessaire pour l'accélérer de  $v$  à  $2v$  ;
- (d) peut être n'importe quel des choix ci-dessus puisqu'il dépend de la force agissant sur le camion et de la distance sur laquelle elle agit.

**Question 11**

Si la Terre ne tournait pas sur son axe, la grandeur de l'accélération gravitationnelle à l'Équateur serait d'environ...

- (a) 0,003% supérieure ;
- (b) 0,3% supérieure ;
- (c) 0,3% inférieure ;
- (d) 0,003% inférieure.

**Question 12**

Vous voulez exercer sur une boîte une force telle que la boîte se déplace à vitesse constante sur un sol horizontal. Soit  $\mu_k$  le coefficient de frottement cinétique entre les deux. Parmi les quatre possibilités ci-dessous, la force exercée sur la boîte sera la plus petite possible si vous...

- (a) poussez avec une force orientée selon un angle  $0 < \theta < 90^\circ$  vers le bas par rapport à l'horizontale ;
- (b) tirez avec une force orientée selon le même angle  $\theta$  qu'en (a), mais vers le haut par rapport à l'horizontale ;
- (c) procédez comme en (a) ou en (b) indifféremment, puisque la grandeur de la force est identique dans les deux cas ;
- (d) poussez ou tirez avec une force orientée à l'horizontale.

**Question 13**

Dans une boucle rectangulaire suivant le bord extérieur de cette page, à plat sur votre table, un courant électrique circule dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. On établit alors un champ magnétique uniforme, dirigé parallèlement à la page du haut vers le bas. La force magnétique sur la page en soulève...

- (a) le bord gauche ;
- (b) le bord droit ;
- (c) le bord supérieur ;
- (d) le bord inférieur.

**Question 14**

Une voiture peut accélérer à un maximum de  $3,0 \text{ m/s}^2$ . En supposant qu'elle ne dérape pas, son accélération maximale, lorsqu'elle remorque une autre voiture de masse deux fois supérieure à la sienne, prend la valeur :

- (a)  $3,0 \text{ m/s}^2$  ;
- (b)  $1,5 \text{ m/s}^2$  ;
- (c)  $1,0 \text{ m/s}^2$  ;
- (d)  $0,5 \text{ m/s}^2$ .

**Question 15**

Deux satellites de même masse, A et B, se déplacent sur des orbites concentriques autour de la Terre. La distance de B au centre de la Terre est deux fois celle de A. Les forces centripètes agissant sur A et sur B sont dans un rapport de...

- (a) 1 à 1 ;
- (b) 1 à  $\sqrt{2}$  ;
- (c) 1 à 2 ;
- (d) 1 à 4.

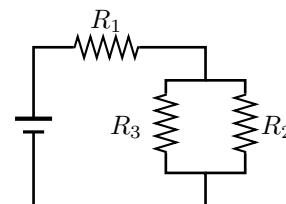
**Question 16**

Un proton se trouve au repos en  $(x, y) = (0, 0)$ , alors qu'un électron est au repos en  $(d, h)$ , avec  $d \gg h$ . À l'instant  $t = 0$ , on établit un champ électrique uniforme  $E$  de grandeur inconnue, orienté dans la direction positive des  $y$ . Supposant  $d$  suffisamment grand pour permettre de négliger l'interaction proton-électron, les coordonnées  $y$  des deux particules auront au même instant  $t > 0$  des valeurs égales...

- (a) à environ  $y = d/2000$  ;
- (b) impossibles à déterminer puisque  $E$  est inconnu ;
- (c) à environ  $y = d/43$  ;
- (d) nulle part : les particules se déplacent dans des directions opposées.

**Question 17**

Dans le circuit ci-dessous, on augmente la résistance  $R_2$ .  $I_j$  étant le courant dans la résistance  $R_j$  ( $j=1, 2, 3$ ), il s'ensuit que



- (a)  $I_1$  et  $I_2$  augmentent ;
- (b)  $I_1$  diminue et  $I_2$  augmente ;
- (c)  $I_1$  et  $I_2$  diminuent ;
- (d)  $I_1$  augmente et  $I_2$  diminue.

**Question 18**

Deux chariots A et B, faits de la même matière et *en apparence* identiques, se trouvent sur un rail à coussin d'air. On donne alors une vitesse constante à B qui entre en collision avec A au repos. Après cette collision, les deux chariots se déplacent dans la même direction. On en déduit que...

- (a) A est creux ;
- (b) B est creux ;
- (c) A et B sont absolument identiques ;
- (d) les réponses ci-dessus sont toutes trois possibles.

**Question 19**

L'échelle de longueur la plus petite connue en physique est la longueur de Planck. Elle fait partie intégrante de certaines théories cosmologiques actuelles. Laquelle des expressions suivantes peut représenter cette longueur de Planck ? (Voir le tableau des données.)

- (a)  $\sqrt{e^2/\hbar c}$  ;
- (b)  $\sqrt{\hbar c/G}$  ;
- (c)  $\sqrt{G\hbar c}$  ;
- (d)  $\sqrt{\hbar G/c^3}$ .

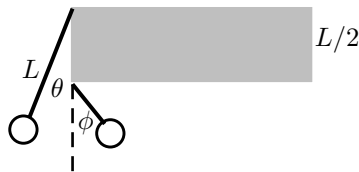
**Question 20**

Le télescope spatial Webb, dont le lancement est programmé pour 2010, sera équipé d'un miroir de 6 m de diamètre. Comparé au télescope spatial Hubble, dont le miroir a un diamètre de 2,4 m, il pourra distinguer des objets dont l'écart angulaire est...

- (a) 2,5 fois plus petit ;
- (b) 5 fois plus petit ;
- (c) un ordre de grandeur plus petit ;
- (d) le même : avec un miroir plus grand, on collecte seulement plus de lumière.

**Question 21**

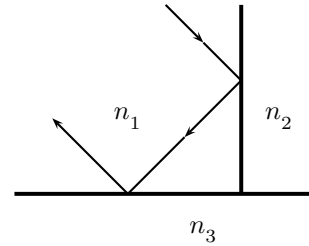
Un pendule simple de longueur  $L$  est suspendu à la face supérieure d'une poutre plate d'épaisseur  $L/2$ . On écarte la masse du pendule de la poutre, de façon à ce que le fil fasse un angle  $\theta < 30^\circ$  avec la verticale, tel qu'illustré ci-dessous, puis on la lâche à partir du repos. Son angle de déflexion maximum  $\phi$  vers la droite est tel que



- (a)  $\phi = \theta$  ;
- (b)  $\phi < \theta$  ;
- (c)  $\theta < \phi < 2\theta$  ;
- (d)  $\phi \geq 2\theta$ .

**Question 22**

Dans le diagramme ci-dessous, un rayon lumineux est incident à l'angle critique sur l'interface entre deux milieux 1 et 2, et se trouve complètement réfléchi. La lumière subit aussi une réflexion totale à l'interface entre les milieux 1 et 3, se dirigeant ensuite dans la direction opposée à sa direction initiale. Les deux interfaces sont perpendiculaires. Les indices de réfraction des milieux doivent être tels que



- (a)  $n_1 < n_2 < n_3$  ;
- (b)  $n_1^2 - n_3^2 \geq n_2^2$  ;
- (c)  $n_1^2 - n_2^2 \geq n_3^2$  ;
- (d)  $n_1^2 + n_2^2 \geq n_3^2$ .

**Question 23**

Dans l'intérêt de la science, un physicien équipé d'instruments de mesure acoustique effectue un saut à l'élastique. Tout en se balançant verticalement au bout de son élastique avec une période de 6,0 s, il mesure la fréquence d'une source sonore immobile au sol, directement au-dessous de lui, et observe un écart de 84 Hz entre le maximum et le minimum des fréquences. Étant donné que la source émet à la fréquence constante de 1370 Hz, et en supposant que les oscillations du physicien ne s'atténuent pas sensiblement pendant la durée des mesures, leur amplitude est d'environ...

- (a) 10 m ;
- (b) 20 m ;
- (c) 32 m ;
- (d) 15 m.

**Question 24**

Une personne traîne un colis sur le sol à vitesse constante. On considère la Terre et le colis comme un système. Parmi les énoncés suivants concernant la force nette  $F$  exercée par la personne sur ce système, ainsi que le travail  $W$  qu'elle fournit par la même occasion, lequel est juste ?

- (a)  $F = 0$  et  $W = 0$  ;
- (b)  $F \neq 0$  et  $W = 0$  ;
- (c)  $F = 0$  et  $W \neq 0$  ;
- (d)  $F \neq 0$  et  $W \neq 0$ .

**Question 25**

Un aimant se déplace dans une bobine. Parmi les facteurs suivants :

- I. la vitesse de déplacement de l'aimant,
- II. l'intensité du champ de l'aimant,
- III. le nombre d'enroulements de la bobine,

lesquels peuvent avoir une influence sur la f.é.m. induite dans la bobine ?

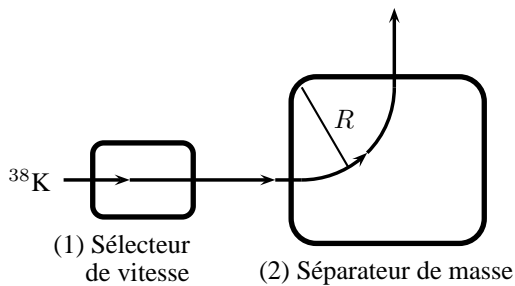
- (a) I seulement ;
- (b) I et II seulement ;
- (c) II et III seulement ;
- (d) I, II et III.

Partie B

**Problème 1**

Au grand laboratoire de physique des particules et de physique nucléaire, TRIUMF, situé sur le campus de l'université de Colombie-Britannique, un important programme de recherches fait appel à d'intenses faisceaux d'isotopes instables d'atomes alcalins (potassium K, rubidium Rb, francium Fr). Ceux-ci ont comme avantage que, ne possédant qu'un seul électron sur leur couche de valence, la structure en couches closes de leurs ions simplifie les calculs.

En bombardant une cible d'oxyde de calcium avec des protons de 0,5 GeV provenant de l'accélérateur de TRIUMF, on obtient une grande quantité d'isotopes. Jusqu'à récemment, l'isotope désiré était sélectionné à l'aide du Séparateur d'Isotopes en Ligne de TRIUMF (TISOL en anglais)—maintenant remplacé par un accélérateur-séparateur combiné (ISAC)—et dirigé sous forme de faisceau de faible vitesse vers les sites d'expériences. On vous charge de mettre au point une version très simplifiée de TISOL. Plus précisément, vous souhaitez sélectionner des ions de  $^{38}\text{K}$  de 20 keV d'énergie. L'ion de  $^{38}\text{K}$  a une masse de  $6,3 \times 10^{-26}$  kg. La séparation doit se faire en deux étapes, tel qu'illustré ci-dessous.



La figure montre la trajectoire souhaitée pour un ion de  $^{38}\text{K}$  de 20 keV dans le système. Cette trajectoire est obtenue par l'emploi de champs électromagnétiques constants dans le temps. On négligera les interactions entre ions.

- (a) Dans un premier temps, parmi tous les ions ( $^{38}\text{K}$  ou autres) pénétrant dans le sélecteur de vitesse par la gauche, seuls ceux dont la vitesse correspond à celle d'un ion de  $^{38}\text{K}$  de 20 keV peuvent traverser sans être déviés. Proposez une configuration de champ capable de produire ce résultat, faites un croquis montrant l'orientation du (ou des) champ(s), puis déduisez autant d'informations que vous le pouvez sur l'intensité du (ou des) champ(s).
- (b) À l'étape suivante, les ions de  $^{38}\text{K}$  sont les seuls déviés sur une trajectoire de 2,1 m de rayon. Encore une fois, proposez une configuration de champ aboutissant à ce résultat, faites un croquis montrant l'orientation du (ou des) champ(s), puis déduisez autant d'informations que vous le pouvez sur l'intensité du (ou des) champ(s).

**Problème 2**

Le phénomène des marées est en majeure partie engendré par la variation des forces gravitationnelles de la Lune et du Soleil d'un côté à l'autre de la Terre. Cette variation déforme la surface des grandes masses d'eau, telles que les océans, causant un renflement dans la direction de la variation et un pincement dans la direction perpendiculaire. Les deux renflements diamétralement opposés (marée haute) se déplacent à la surface terrestre suivant la rotation diurne de la Terre.

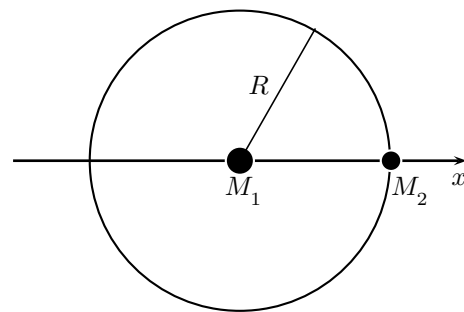
La baie de Fundy, entre le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse, est réputée être le siège des plus hautes marées au monde. Leur amplitude n'est que d'environ un mètre à l'entrée de la baie, mais au fond, 260 km plus loin, l'amplitude peut atteindre 16 m. On supposera que la vitesse des ondes dans l'eau de la baie (pour des longueurs d'onde très grandes et une profondeur suffisamment faible) est d'environ 25 m/s. La baie est étroite comparé à sa longueur.

À partir de ces données, examinez l'hypothèse selon laquelle ces marées exceptionnellement hautes peuvent résulter d'un phénomène de résonance forcée par la Lune. Supposez la profondeur de la baie uniforme, et négligez l'influence du Soleil. Indication : calculez la période d'oscillation de l'eau dans la baie.

**Problème 3**

Le lancement du grand télescope spatial de la prochaine génération est programmé pour 2010. Il sera mis sur orbite autour du Soleil, dans une zone spéciale où sa distance par rapport à la Terre et au Soleil peut demeurer constante. C'est le mathématicien franco-italien Joseph-Louis Lagrange qui, au XVIII<sup>e</sup> siècle, a le premier calculé l'emplacement de ces zones. Bien qu'elle repose sur des approximations, sa solution est assez ardue ; vous devriez cependant être en mesure de trouver une solution partielle à l'aide d'un raisonnement semi-qualitatif.

Soit donc deux masses ponctuelles,  $M_1$  et  $M_2$ , désignant respectivement celles du Soleil et de la Terre. Toutes deux sont en orbite, de période d'une année, autour de leur centre de masse à la vitesse angulaire  $\omega$ . Ces orbites sont à peu de chose près circulaires, et la distance  $R$  entre  $M_1$  et  $M_2$  est constante. Comme  $M_1 \gg M_2$ , le mouvement de  $M_1$  est indétectable à l'échelle de la figure ci-dessous et peut être négligé.



On veut déterminer où, sur la ligne passant par  $M_1$  et  $M_2$ , un objet de masse  $m$  peut être en orbite autour du centre de masse (qu'on situera à la position de  $M_1$ ) à la même vitesse angulaire constante  $\omega$ . On peut sans risque supposer  $m$  suffisamment petit de sorte que son influence sur le mouvement de  $M_1$  et de  $M_2$  est nulle.

- (a) Donner l'équation que doivent satisfaire les forces s'exerçant sur  $m$  en orbite, en fonction de  $\omega$ ,  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $R$  et  $x$ , où  $x$  est la distance entre  $m$  et  $M_1$ .
- (b) Montrez que dans la limite  $M_2 \ll M_1$ , cette condition peut s'écrire

$$u^3 - 1 = \pm \frac{\alpha u^2}{(1 \pm u)^2}$$

où  $u \equiv x/R$  et  $\alpha \equiv M_2/M_1$ .

- (c) Ne tentez pas de résoudre cette équation algébrique. Utilisez plutôt un raisonnement physique pour trouver combien

il existe de solutions  $x$ , et où approximativement les zones de Lagrange sont situées sur l'axe des  $x$ . Faites un croquis en vous basant sur la figure ci-haut et expliquez votre raisonnement.

- (d) Le télescope spatial Webb (ainsi qu'il sera appelé) fonctionnera à la température d'environ 35 K, et il devra donc être en permanence à l'abri des sources thermiques, tout en ayant la vue du ciel la plus dégagée possible. Laquelle de vos solutions (s'il en existe une) vous paraît convenir le mieux au télescope Webb, et pourquoi ?
- (e) S'il existe d'autres zones de Lagrange qui ne se trouvent pas sur l'axe des  $x$ , l'équation en (b) est incapable de les déterminer ; mais quel serait alors leur nombre minimum ? Justifiez votre réponse.

Indication utile : la troisième loi de Képler, selon laquelle  $\omega^2 R^3 = GM_1$ , s'applique en bonne approximation au système.