

Préambule

Ce document est une proposition de correction d'épreuve du CAPES externe de physique-chimie. Il ne doit pas être considéré comme un modèle de copie à rendre mais plutôt comme une aide à la correction.

Il est possible que quelques erreurs se soient glissées dans cette version. Si vous pensez en avoir trouvé une, merci de me contacter via l'adresse phy-chim@laposte.net ou en flashant le QR-code suivant ;



Si vous appréciez la qualité de ce document vous pouvez me soutenir en effectuant un don en cliquant [ICI](#) ou en flashant le QR-code ci-dessous :



Ce document est mis à disposition gratuitement selon les termes de la Licence Creative Commons : Attribution – Pas d'utilisation commerciale – Partage dans les mêmes conditions 4.0 International.



Table des matières

2022 – ÉPREUVE ÉCRITE DISCIPLINAIRE

Partie A : Composition de physique - Dans l'optique d'un voyage : des ondes pour observer, voyager et se réchauffer.....3

I – Au-delà de l'horizon

1. Observation d'un muret au bord du lac du Bourget
2. Voir au-delà de l'horizon

II – Aller sur Mars

1. Aller très vite sur Mars
2. Aller sur Mars par l'orbite de Hohmann

III – Communiquer avec la sonde spatiale

IV – Comment déterminer la puissance surfacique du rayonnement solaire sur Terre avec un thermomètre et un cylindre d'aluminium ?

Partie B : Composition de chimie – Les acides α -aminés.....14

I – Les acides aminés en solution aqueuse

II – Les protéines

- A. Synthèse peptidique : synthèse du dipeptide alanine-glycine
- B. Protéines dans l'alimentation et apport calorique : apport calorique du dipeptide phénylalanine – acide aspartique

III – Production industrielle d'acides aminés – industrie pharmaceutique

- A. Obtention de la (-)-cystéine par électrosynthèse
- B. Propriétés antioxydantes de la cystéine

Partie A : Composition de physique - Dans l'optique d'un voyage : des ondes pour observer, voyager et se réchauffer

I – Au-delà de l'horizon

1. Observation d'un muret au bord du lac du Bourget

1. L'angle sous lequel le promeneur voit le muret est donnée par :

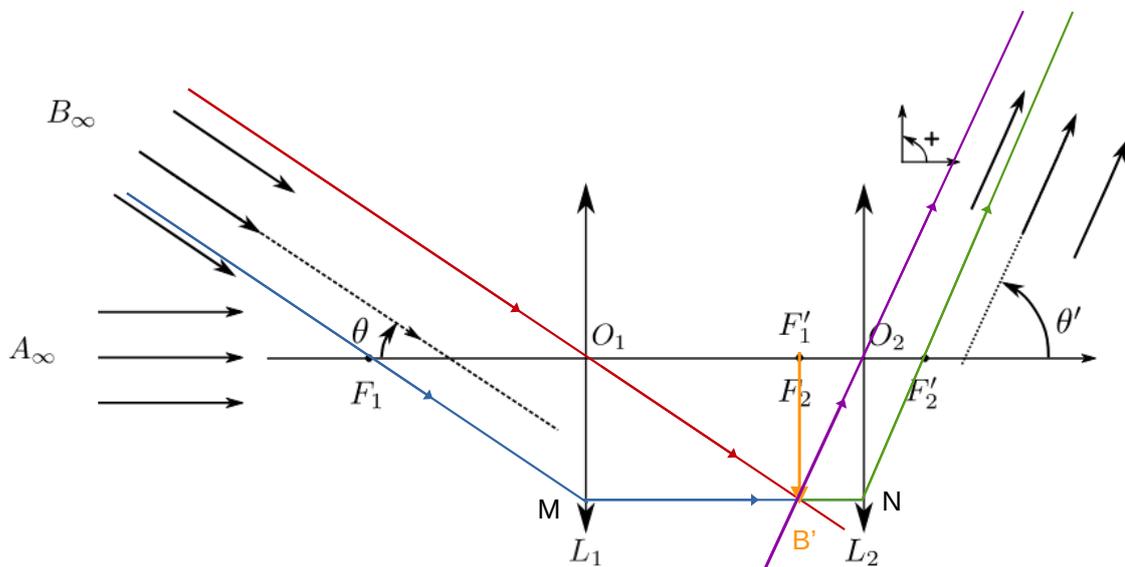
$$\tan(\alpha) = \frac{1,6}{16,7 \cdot 10^3} = 0,000096 \text{ rad} = \frac{0,000096 \times 360 \times 60}{2 \cdot \pi} ' = 0,33'$$

Cela est inférieur à la résolution angulaire de l'œil de $\alpha_0 = 1,5'$ donc le muret n'est pas visible à l'œil nu.

Remarque : 1° (degré) = $60'$ (minute d'arc) = $360''$ (seconde d'arc)

2. Pour L_1 l'image (intermédiaire) d'un objet situé à l'infini se situe en F_1' . Pour L_2 l'image (finale) d'un objet situé en $F_2 = F_1'$ se situe à l'infini. Ainsi elle peut être observée à l'œil nu sans accommodation. On parle de système afocal.

- 3.



Tout rayon passant par le foyer objet F_1 ressort de la lentille parallèlement à l'axe optique.

Tout rayon passant par le centre optique O_1 de la lentille n'est pas dévié.

Tout rayon arrivant parallèle à l'axe optique ressort en passant par le foyer image F_2' .

L_1 est l'objectif et L_2 est l'oculaire.

L'image intermédiaire obtenue est renversée et réelle.

4. On peut écrire $\theta \approx \tan(\theta) = \frac{O_1 M}{O_1 F_1} = \frac{O_1 M}{f_1'}$ et $\theta' \approx \tan(\theta') = \frac{O_2 N}{O_2 F_2'} = \frac{O_1 M}{f_2'}$

$$\text{Finalement } G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{f_1'}{f_2'} = \frac{700}{25} = 28$$

Après grandissement le promeneur voit le muret sous un angle $\alpha' = G \times \alpha = 28 \times 0,33' = 9,2'$ ce qui est supérieur à la résolution angulaire de l'œil de $\alpha_0 = 1,5'$ donc le muret est visible avec le zoom.

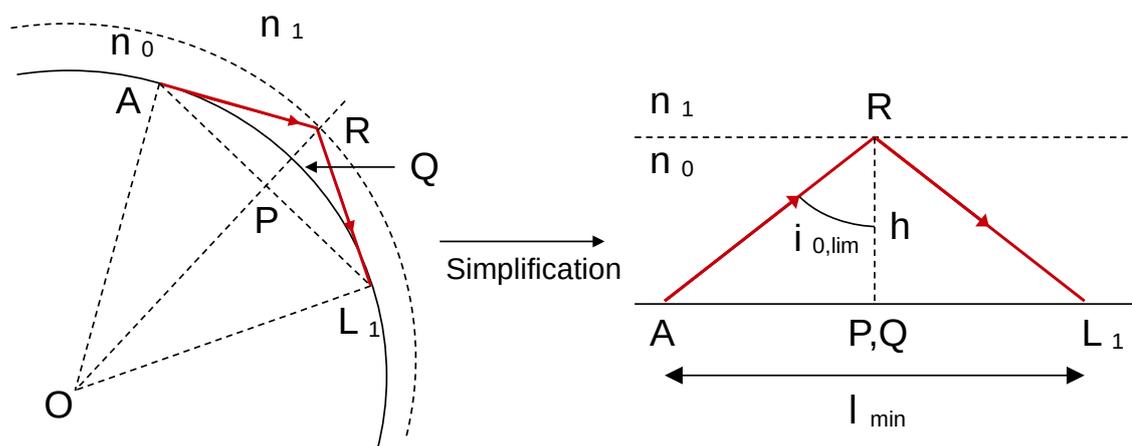
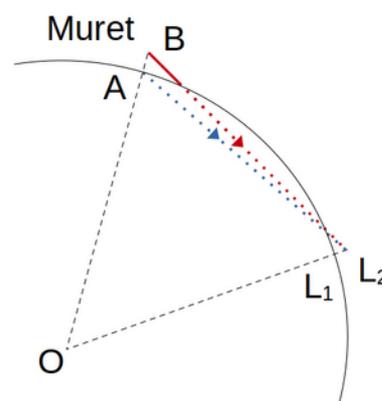
2. Voir au-delà de l'horizon

5. Dans un milieu transparent et d'indice optique homogène, la lumière se propage en ligne droite. Aucun des rayons issus de A ou de B ne peut atteindre L_2 .
6. Cela peut être expliqué grâce au phénomène de réflexion totale au niveau de l'interface située à 20 m d'altitude.

À la limite de la réflexion totale l'angle de réfraction i_1 vaut $i_{1,\text{lim}} = 90^\circ$. On cherche l'angle d'incidence $i_{0,\text{lim}}$ pour l'obtenir.

La 2^e loi de Descartes donne : $n_0 \times \sin(i_{0,\text{lim}}) = n_1 \times \sin(i_{1,\text{lim}})$

$$\text{Soit } i_{0,\text{lim}} = \arcsin\left(\frac{n_1 \times \sin(i_{1,\text{lim}})}{n_0}\right) = \arcsin\left(\frac{(1+26 \cdot 10^{-5}) \times \sin(90^\circ)}{1+29 \cdot 10^{-5}}\right) = 89,6^\circ$$



On en déduit $l_{\text{min}} = 2 \times h \times \tan(i_{0,\text{lim}}) = 2 \times 20 \times \tan(89,6^\circ) = 5729 \text{ m} = 5,73 \text{ km}$

Pour des angles d'incidence $i_0 < i_{0,\text{lim}}$ il n'y a pas de réflexion totale donc les objets situés à moins de $l_{\text{min}} = 5,73 \text{ km}$ ne sont pas visibles (sauf s'ils sont plus haut que l'horizon).

Pour des angles d'incidence $i_0 > i_{0,\text{lim}}$, il a réflexion totale et la distance parcourue par le rayon en rouge est plus grande que l_{min} . Donc le mur situé à 16,7 km peut être vu.

7. Les lignes 19 et 20 correspondent aux conditions initiales c'est-à-dire à l'altitude et sa dérivée par rapport à l'abscisse au départ.

La ligne 34 correspond à une boucle « tant que » permettant d'arrêter les calculs de z et x lorsque l'abscisse finale est atteinte.

Cette boucle exécute les calculs grâce à la méthode d'Euler : $f(x_i + p) = f(x_i) + \left. \frac{\partial f(x)}{\partial x} \right|_{x_i} \times p$.

On obtient un phénomène analogue à une réflexion totale mais dans un milieu à gradient d'indice. Le rayon est dévié par réfractions successives. L'allure est celle d'une parabole. Il s'agit du phénomène de mirage (supérieur).

II – Aller sur Mars

1. Aller très vite sur Mars

a. Faisceau laser

8. L'équation de Maxwell-Faraday donne : $\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

Cela se traduit par la relation $-\vec{k} \wedge \vec{E} = -\omega \times \vec{B}$

Remarque : En notation complexe une onde plane progressive monochromatique peut être modélisée par une grandeur complexe $\underline{\vec{X}} = \vec{X} \cdot e^{i(\omega \cdot t - \vec{k} \cdot \vec{r})}$ avec $\vec{k} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \vec{u}$ le vecteur d'onde et $\omega = 2\pi \cdot f$ la pulsation.

Ici on peut écrire $\underline{\vec{B}} = \vec{B} \cdot e^{i(\omega \cdot t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \varphi)}$ soit $\frac{\partial \underline{\vec{B}}}{\partial t} = \vec{B} \cdot i \cdot \omega \cdot e^{i(\omega \cdot t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \varphi)} = \underline{\vec{B}} \cdot i \cdot \omega$

En coordonnées cartésiennes on peut écrire $\underline{\vec{E}} = \vec{E} \cdot e^{i(\omega \cdot t - \vec{k} \cdot \vec{r})} = \vec{E} \cdot e^{i\omega \cdot t - i(k_x \cdot x + k_y \cdot y + k_z \cdot z)}$

$$\begin{aligned} \text{rot } \vec{E} &= \vec{\nabla} \wedge \vec{E} = \begin{pmatrix} \partial/\partial x \\ \partial/\partial y \\ \partial/\partial z \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix} \\ &= \left(\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \right) \vec{u}_x + \left(\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} \right) \vec{u}_y + \left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \right) \vec{u}_z \\ &= -(E_z \cdot ik_y - E_y \cdot ik_z) \vec{u}_x - (E_x \cdot ik_z - E_z \cdot ik_x) \vec{u}_y - (E_y \cdot ik_x - E_x \cdot ik_y) \vec{u}_z \\ &= -i \begin{pmatrix} k_x \\ k_y \\ k_z \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix} = -i \vec{k} \wedge \vec{E} \end{aligned}$$

9. Le vecteur de Poynting correspond à la densité de flux de puissance de l'onde électromagnétique : $\vec{\Pi} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0}$

En utilisant le résultat précédent on obtient : $\vec{\Pi} = \frac{\vec{E} \wedge (-\vec{k} \wedge \vec{E})}{\mu_0 \omega}$ soit $\Pi = \frac{E^2 \cdot k}{\omega \cdot \mu_0}$

Or la relation de dispersion donne $\omega = k \cdot c$ avec $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}$.

On en déduit $\Pi = \frac{E^2 \cdot k}{k \cdot c \cdot \mu_0} = \frac{E^2 \cdot c}{c^2 \cdot \mu_0} = \frac{E^2 \cdot c \cdot \mu_0 \cdot \epsilon_0}{\mu_0} = E^2 \cdot c \cdot \epsilon_0$

Puis $\langle \Pi \rangle_t = c \cdot \epsilon_0 \times \overbrace{\langle E_0^2 \cos^2(\omega \cdot t - k \cdot z) \rangle}_E = \frac{E_0^2 \cdot c \cdot \epsilon_0}{2}$

Remarque : Démonstration de $\langle \cos^2(\omega \cdot t - k \cdot z) \rangle_t = 1/2$

◦ $\cos^2(\omega \cdot t - k \cdot z) + \sin^2(\omega \cdot t - k \cdot z) = 1$ (A)

◦ $\cos(2(\omega \cdot t - k \cdot z)) = \cos^2(\omega \cdot t - k \cdot z) - \sin^2(\omega \cdot t - k \cdot z)$ (B)

Finalement (A) + (B) donne : $\cos(2(\omega \cdot t - k \cdot z)) + 1 = 2\cos^2(\omega \cdot t - k \cdot z)$

Soit $\langle \cos^2(\omega \cdot t - k \cdot z) \rangle_t = \frac{1}{2} \times \langle \cos(2(\omega \cdot t - k \cdot z)) \rangle_t + \frac{1}{2}$

Or $\langle \cos(2(\omega \cdot t - k \cdot z)) \rangle_t = \int_0^T \cos(2(\omega \cdot t - k \cdot z)) \cdot dt = \frac{1}{2\omega} \cdot [\sin(2(\omega \cdot t - k \cdot z))]_0^{2\pi/\omega}$
 $= \frac{1}{2\omega} \cdot [\sin(4\pi - 2k \cdot z) - \sin(k \cdot z)]$
 $= \frac{1}{2\omega} \cdot [\sin(2k \cdot z) - \sin(2k \cdot z)] = 0$

Finalement : $\langle \cos^2(\omega \cdot t - k \cdot z) \rangle_t = 1/2$

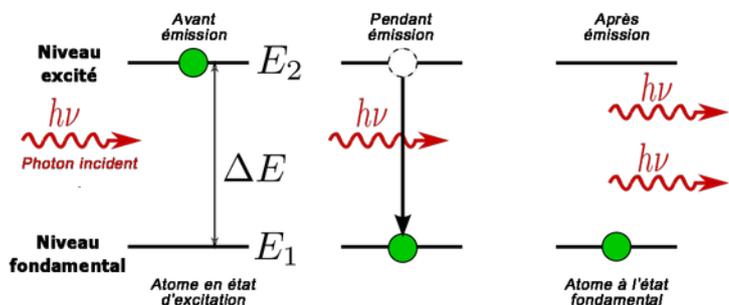
10. D'après la formule précédente :

$$E_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Pi}{c \cdot \epsilon_0}} = \sqrt{\frac{2 \cdot P/S}{c \cdot \epsilon_0}} = \sqrt{\frac{2 \times 70 \cdot 10^9 / (\pi \cdot (30/2)^2)}{3,00 \cdot 10^8 \times 8,85 \cdot 10^{-12}}} = 2,7 \cdot 10^5 \text{ V/m}$$
 pour le laser DE-STAR 4.

Pour un laser du lycée de puissance P = 1 mW avec un faisceau de rayon R = 1 mm on

obtient : $E_0 = \sqrt{\frac{2 \times 1 \cdot 10^{-3} / (\pi \cdot (1 \cdot 10^{-3})^2)}{3,00 \cdot 10^8 \times 8,85 \cdot 10^{-12}}} = 5 \cdot 10^2 \text{ V/m}$ soit près de 300 fois moins.

11. Il s'agit d'un phénomène d'interaction lumière-matière. Un premier photon incident provoque une transition électronique d'un niveau excité vers un niveau de plus basse énergie au sein d'un atome.



Source : [Wikimedia.org / Arnaud54 / CC-BY-SA-4.0](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arnaud54/CC-BY-SA-4.0)

Pour cela il faut que l'énergie du premier photon soit égale à l'énergie de cette transition électronique. Ceci provoque l'émission (stimulée) d'un second photon de même énergie, donc

de même fréquence et de même longueur d'onde, et de même phase que le premier. Ils sont dits cohérents.

b. Durée mise par la sonde pour aller sur Mars

12. En un temps Δt seuls les photons situés à une distance comprise entre 0 m et $l=c \cdot \Delta t$ ont le temps de percuter la surface S. Ils sont contenus dans un volume $V=l \cdot S$ et il y en a $N=V \times n$.

On en déduit $N=c \cdot \Delta t \cdot S \cdot n$

13. On a $\vec{p}_i = \frac{h}{\lambda} \vec{u}$ et $\vec{p}_r = -\frac{h}{\lambda} \vec{u}$

On en déduit la variation d'impulsion totale en un temps Δt : $\Delta \vec{p} = N \times (\vec{p}_r - \vec{p}_i) = -2 \cdot \Delta t \cdot S \cdot n \cdot h \cdot v \cdot \vec{u}$

Avec $v = f = \frac{c}{\lambda}$ la fréquence.

14. La 2^e loi de Newton (principe fondamental de la dynamique) et la 3^e loi de Newton (principe des actions réciproques) donnent : $\vec{F} = -F_{\text{réflecteur} / \text{photon}} \vec{u} = \frac{-\Delta \vec{p}}{\Delta t} = 2 \cdot S \cdot n \cdot h \cdot v \cdot \vec{u}$

Or la puissance du laser vaut $P = \frac{E}{\Delta t} = \frac{N \times (h \cdot v)}{\Delta t} = c \cdot S \cdot n \cdot h \cdot v$

Il vient : $\vec{F} = 2 \frac{P}{c} \cdot \vec{u}$

15. La 2^e loi de Newton appliquée à la sonde donne : $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$

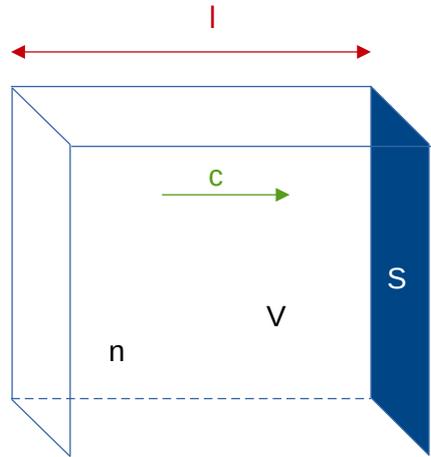
On en déduit, le long de l'axe z : $v = \frac{F}{m} \cdot t + v_0$ avec $v_0 = v(t=0) = 0 \text{ m/s}$.

Et $z = \frac{1}{2} \cdot \frac{F}{m} \cdot t^2 + z_0 = \frac{P}{c \cdot m} \cdot t^2$ avec $z_0 = z(t=0) = 0 \text{ m}$.

Le temps de voyage vaudrait donc :

$$t = \sqrt{\frac{c \cdot L_{TM} \cdot m}{P}} = \sqrt{\frac{3,00 \cdot 10^8 \times 80 \cdot 10^9 \times 100}{70 \cdot 10^9}} = 185164 \text{ s} = 2,1 \text{ j}$$

Une puissance de 70 GW paraît fantaisiste. En effet c'est l'équivalent d'environ 70 réacteurs de centrale nucléaire à plein régime. En considérant que le réseau de laser et ses panneaux sont en orbite autour de la Terre on peut considérer que la puissance radiative provenant du Soleil est de 350 W/m^2 . Il faudrait au minimum une surface de $S = P/P_s = 70 \cdot 10^9 / 350 = 200$ millions de m^2 voire 1 milliard de m^2 soit $1\,000 \text{ km}^2$ en tenant compte du rendement des panneaux de l'ordre de 20 % ce qui paraît peu réaliste.



2. Aller sur Mars par l'orbite de Hohmann

16. Un référentiel est constitué d'une origine, de 3 axes et d'une horloge permettant de se repérer dans l'espace et le temps. Un tel référentiel est galiléen si le principe d'inertie s'applique dans ce référentiel. Ce principe s'énonce ainsi : « si les forces qui s'exercent sur un système se compensent alors celui-ci est en mouvement rectiligne uniforme ».

Référentiel héliocentrique : origine au centre du Soleil + 3 axes pointant vers 3 étoiles fixes

Référentiel géocentrique : origine au centre de la Terre + 3 axes pointant vers 3 étoiles fixes

Le caractère non galiléen de ce référentiel se manifeste par le phénomène de marée d'origine solaire (respectivement lunaire). Les forces de marée se manifestent lorsque la force de gravitation exercée par le Soleil (respectivement la Lune) n'est pas exactement compensée par la force d'entraînement due au mouvement de rotation de la Terre autour du Soleil (respectivement du centre de masse Terre-Lune).

Référentiel terrestre : origine à la surface de la Terre + 3 axes en rotation avec la Terre.

Le caractère non galiléen de ce référentiel a été illustré par Léon Foucault en 1851 avec un pendule dont le plan de rotation était censé être fixe dans le référentiel terrestre. Foucault constate que ce dernier est en réalité en rotation autour de la verticale du lieu de l'expérience. Il existe donc des « pseudo-forces » dues à la rotation de la Terre.

Remarque : On pouvait aussi citer le mouvement apparemment immobile des satellites géostationnaires (plus simple) ou encore la rotation des cyclones (plus complexe) pour illustrer le caractère non galiléen du référentiel terrestre.

17. Le théorème du moment cinétique appliqué à la planète P de masse m dans le référentiel héliocentrique R_S supposé galiléen donne :

$$\frac{d\vec{L}_{/S}}{dt} = \vec{M}_{/O}(F_{S/P}) \quad \text{avec} \quad \vec{L}_{/S} = \vec{SP} \wedge m\vec{v} \quad \text{et} \quad \vec{M}_{/O}(F_{S/P}) = \vec{SP} \wedge \vec{F}_{S/P}$$

La force de gravitation $\vec{F}_{S/P}$ étant une force radiale, elle est colinéaire à \vec{SP} et on a $\vec{M}_{/O}(F_{S/P}) = \vec{SP} \wedge \vec{F}_{S/P} = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$ donc $\vec{L}_{/S} = \vec{SP} \wedge m\vec{v} = \vec{Cste}$ et $L_{/S} = SP \cdot m \cdot v = Cste$.

La vitesse (angulaire et linéaire) de la planète est donc constante.

Remarque : On peut aussi remarquer que la force gravitationnelle étant perpendiculaire à la trajectoire, son travail est nul ce qui d'après le théorème de l'énergie cinétique implique que cette dernière soit constante. Or une énergie cinétique constante implique une vitesse constante.

Dans la suite de la question on note « r » le rayon de l'orbite de la planète et « a » son accélération.

En coordonnées cylindriques, le vecteur position de la planète s'écrit : $\vec{r} = r \cdot \vec{u}_r$

Sa vitesse (orthoradiale) s'écrit : $\vec{v} = v \cdot \vec{u}_\theta = r \cdot \frac{d\theta}{dt} \cdot \vec{u}_\theta + \underbrace{\frac{dr}{dt} \cdot \vec{u}_r}_{=0 \text{ car } r = \text{cste}}$ (A)

Son accélération (radiale) s'écrit : $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = a \cdot \vec{u}_r = -r \cdot \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 \vec{u}_r$ (B)

De plus la vitesse linéaire de la planète vaut : $v = r \cdot \frac{d\theta}{dt} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T}$ (C)

La force de gravitation a pour expression : $\vec{F}_g = -G \cdot \frac{M_s \cdot m}{r^2} \cdot \vec{u}_r$ (D)

Le PFD appliqué à la planète dans le référentiel héliocentrique supposé galiléen donne :

$$G \cdot \frac{M_s}{r^2} = r \cdot \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 \text{ en utilisant (B) et (D)}$$

Soit $G \cdot \frac{M_s}{r^2} = \frac{v^2}{r}$ puis $G \cdot \frac{M_s}{r^2} = \frac{(2\pi r/T)^2}{r}$ en utilisant (C).

Finalement on obtient la 3^e de Kepler : $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{M_s \cdot G}$ (E)

Remarque : rappel sur les coordonnées cylindriques

Le repère cartésien $(O, \vec{u}_x, \vec{u}_y)$ est fixe et le repère cylindrique $(O, \vec{u}_r, \vec{u}_\theta)$ est en rotation à la vitesse angulaire $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ autour de O.

En 2D, un point M peut être repéré par :

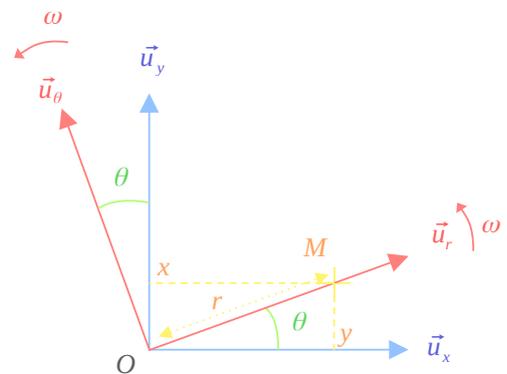
- $\vec{OM} = x \cdot \vec{u}_x + y \cdot \vec{u}_y$ dans le repère cartésien
- $\vec{OM} = r \cdot \vec{u}_r$ dans le repère cylindrique

On peut décomposer les vecteurs du repère cylindrique mobile comme suit :

- $\vec{u}_r = (\vec{u}_r \cdot \vec{u}_x) \vec{u}_x + (\vec{u}_r \cdot \vec{u}_y) \vec{u}_y = \cos \theta \cdot \vec{u}_x + \sin \theta \cdot \vec{u}_y$
- $\vec{u}_\theta = (\vec{u}_\theta \cdot \vec{u}_x) \vec{u}_x + (\vec{u}_\theta \cdot \vec{u}_y) \vec{u}_y = -\sin \theta \cdot \vec{u}_x + \cos \theta \cdot \vec{u}_y$

Ces 2 vecteurs étant en mouvement il est utile de savoir les dériver par rapport au temps (on rappelle que $\frac{df(x_1)}{dx_2} = \frac{df(x_1)}{dx_1} \cdot \frac{dx_1}{dx_2}$) :

- $\frac{d\vec{u}_r}{dt} = \frac{d \cos \theta}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} \cdot \vec{u}_x + \frac{d \sin \theta}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} \cdot \vec{u}_y = -\sin \theta \cdot \omega \cdot \vec{u}_x + \cos \theta \cdot \omega \cdot \vec{u}_y = \omega \cdot \vec{u}_\theta$
- $\frac{d\vec{u}_\theta}{dt} = \frac{d(-\sin \theta)}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} \cdot \vec{u}_x + \frac{d \cos \theta}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} \cdot \vec{u}_y = -\cos \theta \cdot \omega \cdot \vec{u}_x - \sin \theta \cdot \omega \cdot \vec{u}_y = -\omega \cdot \vec{u}_r$



18. L'orbite de transfert est une demi-ellipse dont l'un des foyers est le Soleil. Son demi grand axe vaut $a_H = \frac{R_{ST} + R_{SM}}{2} = \frac{1,50 \cdot 10^{11} + 2,3 \cdot 10^{11}}{2} = 1,9 \cdot 10^{11} m$ et la sonde la parcourt en 1 demi-période donnée par la 3^e loi de Kepler appliquée au système sonde-Soleil :

$$\frac{T}{2} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot a^3}{M_S \cdot G}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot (1,9 \cdot 10^{11})^3}{1,99 \cdot 10^{30} \times 6,67 \cdot 10^{-11}}} = 23 \cdot 10^6 s \approx 270 j$$

Le transfert Terre → Mars dure 2 ans.

Remarque : Si on ne connaît pas la valeur de la distance Terre-Soleil $R_{ST} = 1u \cdot a = 150$ millions de km, on peut la retrouver à partir de la 3^e loi de Kepler appliquée au système Terre-Soleil.

Pour la Terre : $T = 1$ an et on en déduit :

$$R_{ST} = \sqrt[3]{\frac{T^2 \cdot M_S \cdot G}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{(1 \times 365,25 \times 24 \times 60 \times 60)^2 \times 1,99 \cdot 10^{30} \times 6,67 \cdot 10^{-11}}{4 \cdot \pi^2}} = 150 \cdot 10^9 m$$

19. La période de révolution de Mars autour du Soleil vaut :

$$T_M = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R_{SM}^3}{G \cdot M_S}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \times (2,3 \cdot 10^{11})^3}{6,67 \cdot 10^{-11} \times 1,99 \cdot 10^{30}}} = 60 \cdot 10^6 s = 23 \text{ mois (terrestres)}$$

Sa vitesse angulaire vaut : $\omega_M = \frac{1 \text{ tour}}{T_{Mars}} = \frac{360^\circ}{23 \text{ mois}} = 16^\circ / \text{mois}$

Celle de la Terre vaut : $\omega_T = \frac{1 \text{ tour}}{T_T} = \frac{360^\circ}{12 \text{ mois}} = 30^\circ / \text{mois}$

Considérons une date t_0 favorable au transfert de Hohmann. À cette date la position de la Terre lors du lancement est alignée avec celle de Mars lors de l'arrivée et le Soleil S (T_1 , M_2 et S sont alignés comme sur la figure 7 de l'énoncé).

Pour qu'une telle situation se reproduise il faut obtenir le même écart angulaire entre la Terre et Mars noté $\widehat{MST}(t_0)$ que lors de la situation précédente.

À une date t_1 quelconque, cet écart vaut $\widehat{MST}(t_1) = \widehat{MST}(t_0) + \omega_T(t_1 - t_0) - \omega_M(t_1 - t_0)$

Il faut que cet écart soit le même à 1 tour près soit : $\omega_T(t_1 - t_0) - \omega_M(t_1 - t_0) = 360^\circ$

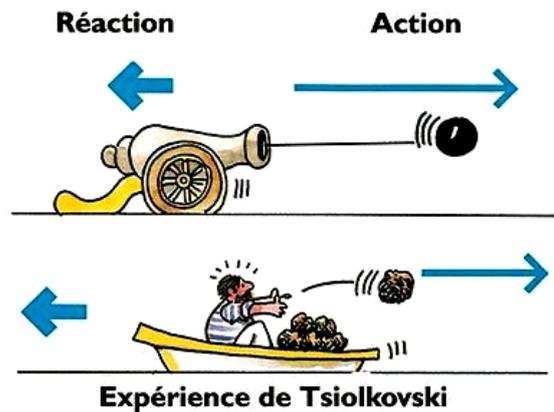
Soit $t_1 - t_0 = \frac{360}{\omega_T - \omega_M} = \frac{360}{30 - 16} = 26 \text{ mois}$

20. Il s'agit du principe des actions réciproques : $F_{\text{carburant}/\text{fusée}}^{\rightarrow} = -F_{\text{fusée}/\text{carburant}}^{\rightarrow}$

Pour l'illustrer ce principe on peut s'appuyer sur les situations suivantes :

- tir d'un boulet par un canon
- propulsion d'une barque par lancers de pierres (expérience de Constantin Tsiolkovski, Russe, 1857-1935, pionnier de l'aéronautique)

- propulsion d'un ballon de baudruche par éjection d'air



Source : www.scientimomes.org

21. Les équations (C) et (E) de la question 17 donnent :

$$\frac{v_{T_1}}{2 \cdot \pi} = \frac{r_T}{T_T} \quad \text{et} \quad \frac{1}{T_T} \cdot \left(\frac{T_T}{r_T} \right)^3 = \frac{4 \pi^2}{M_S \cdot G}$$

Finalement : $\frac{1}{T_T} \cdot \left(\frac{2 \pi}{v_{T_1}} \right)^3 = \frac{4 \pi^2}{M_S \cdot G}$ soit $v_{T_1} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \pi \cdot M_S \cdot G}{T_T}}$

On obtient une vitesse orbitale de : $v_{T_1} = \sqrt[3]{\frac{2 \pi \times 6,67 \cdot 10^{-11} \times 1,99 \cdot 10^{30}}{1 \times 365 \times 24 \times 3600}} = 2,98 \cdot 10^4 \text{ m/s}$

22. L'énergie mécanique de la sonde s'écrit : $E_m = -\frac{1}{2} \cdot G \cdot \frac{m \cdot M_S}{a_h} = E_c + E_p$

L'énergie cinétique de la sonde juste après le transfert (périhélie) vaut : $E_c = \frac{1}{2} \times m \times (v'_{T_1})^2$

Son énergie potentielle de gravitation au périhélie et en ne tenant compte que du champ de

gravitation créé par le Soleil vaut : $E_p = G \cdot \frac{m \cdot M_S}{R_{ST}}$

L'expression de l'énergie mécanique devient : $-\frac{1}{2} \cdot G \cdot \frac{m \cdot M_S}{a_h} = \frac{1}{2} \times m \times (v'_{T_1})^2 + G \cdot \frac{m \cdot M_S}{R_{ST}}$

Soit : $v'_{T_1} = \sqrt{G \cdot M_S \cdot \left(\frac{2}{R_{ST}} - \frac{1}{a_h} \right)}$ juste après le transfert de la sonde sur l'orbite de Hohmann.

On obtient une vitesse de $v'_{T_1} = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \times 1,99 \cdot 10^{30} \times \left(\frac{2}{150 \cdot 10^9} - \frac{1}{1,9 \cdot 10^{11}} \right)} = 3,27 \cdot 10^4 \text{ m/s}$

L'incrément de vitesse vaut :

$$\Delta v_{T_1} = v'_{T_1} - v_{T_1} = 3,27 \cdot 10^4 - 2,98 \cdot 10^4 = 2,9 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

Un incrément de vitesse de 2,9 km/s donné à la sonde au périhélie permet à la sonde de passer d'une orbite circulaire terrestre à une orbite elliptique de Hohmann dont l'aphélie est sur l'orbite de Mars.

Une fois à l'aphélie il est nécessaire de fournir un nouvel incrément de vitesse à la sonde pour que sa vitesse atteigne celle de la planète Mars (sans compter la mise en orbite martienne de la sonde ou son « amarssissage »).

De plus il faudrait tenir compte de l'influence de la Terre car lors du lancement il faut extraire la sonde du champ de gravitation terrestre en atteignant la vitesse de libération.

Remarque : En adaptant les questions 17 et 22 on peut calculer l'incrément de vitesse à donner à la sonde pour atteindre la vitesse de Mars :

$$\begin{aligned}\Delta v_{M_2} &= v_{M_2} - v'_{M_2} \\ &= \sqrt{G \cdot \frac{M_S}{R_{SM}}} \times \left(1 - \sqrt{2 - \frac{R_{SM}}{a_h}} \right) \\ &= \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 1,99 \cdot 10^{30}}{2,3 \cdot 10^{11}}} \times \left(1 - \sqrt{2 - \frac{2,3 \cdot 10^{11}}{1,9 \cdot 10^{11}}} \right) \\ &= 2,7 \cdot 10^3 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Et la vitesse de libération à la surface de la Terre est donnée par $E_m = E_c + E_p = 0 \text{ J}$ soit :

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot \Delta v_{T_0}^2 - G \cdot \frac{m \cdot M_T}{R_T} = 0 \text{ J}$$

$$\text{Soit } \Delta v_{T_0} = \sqrt{2 \cdot G \cdot \frac{M_T}{R_T}} = \sqrt{\frac{2 \times 6,67 \cdot 10^{-11} \times 5,97 \cdot 10^{24}}{6,4 \cdot 10^6}} = 1,1 \cdot 10^4 \text{ m/s}$$

Cette valeur surpasse largement les 2 incréments calculés précédemment : c'est le lancement de la sonde depuis la Terre qui représente la plus grande part du coût énergétique de la mission.

III – Communiquer avec la sonde spatiale

23. Les équations de Maxwell dans ce plasma électriquement neutre s'écrivent :

$$\begin{cases} \text{div } \vec{E} &= 0 \text{ (électroneutralité)} \\ \text{rot } \vec{E} &= -\partial \vec{B} / \partial t \\ \text{div } \vec{B} &= 0 \\ \text{rot } \vec{B} &= \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \partial \vec{E} / \partial t \end{cases}$$

En combinant les équations de Maxwell-Faraday, Maxwell-Ampère et la loi d'ohm locale on

$$\text{obtient : } \text{rot}(\text{rot } \vec{E}) = -\text{rot} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t} \text{rot } \vec{B} = -\mu_0 \sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

D'après le formulaire : $\vec{rot}(\vec{rot} \vec{E}) = \underbrace{grad(\text{div} \vec{E})}_0 + \Delta \vec{E}$

Finalement $k^2 = -i\mu_0 \sigma \omega + \mu_0 \epsilon_0 \omega^2$

En multipliant par $c^2 = \frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}$ on obtient : $k^2 c^2 = \omega^2 - \omega_p^2$

Pour $\omega > \omega_p$ le vecteur d'onde k est réel, l'onde se propage. Si $\omega < \omega_p$ alors k est un imaginaire pur de la forme $k = -i|k|$ et l'atténuation de l'onde se fait de manière exponentielle : $\vec{E} = \underline{E}_0 e^{i\omega t} e^{-|k|z} \cdot \vec{u}_x$.

24. Dans le vide la relation de dispersion s'écrit $\omega = k \cdot c = \frac{2\pi c}{\lambda}$.

Pour la pulsation plasma on obtient : $\lambda_p = \frac{2\pi c}{\omega_p} = \frac{2\pi \times 3,00 \cdot 10^8}{56 \cdot 10^6} = 34 \text{ m}$.

Pour des longueurs d'onde supérieure (donc des pulsations inférieures), l'onde est absorbée. Cela explique l'indication « très grandes longueurs d'onde bloquées » de la figure 9.

IV – Comment déterminer la puissance surfacique du rayonnement solaire sur Terre avec un thermomètre et un cylindre d'aluminium ?

25. Un bilan d'énergie appliquée au cylindre donne :

$$m_0 \times c \times \frac{dT}{dt} = \varphi \times S - \frac{(T - T_{air})}{R_{th}} \quad \text{avec } S = \pi \cdot \frac{d^2}{4}$$

26. Évaluons la valeur de R_{th} :

En dérivant l'équation de la question 25 on obtient :

$$m_0 \times c \times \frac{d^2 T}{dt^2} = -\frac{1}{R_{th}} \cdot \frac{dT}{dt}$$

Injectons l'équation de la fonction de modélisation :

$$m_0 \times c \times (D^2 \cdot B \cdot e^{-Dt}) = \frac{1}{R_{th}} \times (D \cdot B \cdot e^{-Dt})$$

Ce qui donne : $R_{th} = \frac{1}{m_0 \times c \times D} = \frac{1}{0,043 \times 897 \times 6,83 \cdot 10^{-4}} = 38 \text{ K/W}$

Évaluons la valeur de φ (méthode n°1) :

En régime permanent $T_\infty = A = 30,3^\circ \text{C}$ et $dT/dt = 0 \text{ K/s}$.

L'équation de la question 25 devient : $\varphi \times S - \frac{(T_\infty - T_{air})}{R_{th}} = 0$

Soit $\varphi = \frac{(T_\infty - T_{air})}{\pi \cdot d^2 / 4 \times R_{th}} = \frac{(30,3 - 19,8)}{\pi \times 0,026^2 / 4 \times 38} = 5,2 \cdot 10^2 \text{ W/m}^2$

Évaluons la valeur de φ (méthode n°2) :

À l'instant initial $T = T_{air}$ et l'équation de la question 25 devient :

$$m_0 \times c \times \left. \frac{dT}{dt} \right|_{t=0} = \varphi \times S$$

En injectant l'équation de la fonction de modélisation :

$$-m_0 \times c \times B \times D \times e^{-D \times 0} = \varphi \times S$$

$$\text{Finalement } \varphi = -\frac{m_0 \times c \times B \times D}{S} = -\frac{0,043 \times 897 \times (-10,4) \times 6,83 \cdot 10^{-4}}{\pi \times 0,026^2 / 4} = 5,2 \cdot 10^2 \text{ W/m}^2$$

27. La valeur de la résistance thermique est très élevée. Pour l'isolation des bâtiments on dépasse rarement des valeurs de $R_{th} = 10 \text{ K/W}$.

La valeur de la puissance surfacique du rayonnement solaire est correcte. On atteint généralement les 1000 W/m^2 à midi les jours de beau temps. Ici la valeur est moindre car l'angle zénithal $Z = 68^\circ$ est élevée (l'angle zénithal minimum en France est de $Z_{min} = \text{colatitude Paris} - \text{inclinaison de la terre} = (90 - 48) - 23 = 19^\circ$).

Remarque : Ici le rayonnement solaire est sous-évalué car la surface exposée du cylindre – même si elle est noire mat – réfléchit une petite fraction du rayonnement. De plus il faudrait tenir compte des pertes par rayonnement données par la loi de Stefan-Boltzman $\varphi_{perdue} = \sigma \cdot T^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \times (30,3 + 273)^4 = 480 \text{ W/m}^2$ loin d'être négligeable devant la puissance φ reçue.

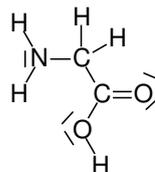
Partie B : Composition de chimie – Les acides α -aminés

I – Les acides aminés en solution aqueuse

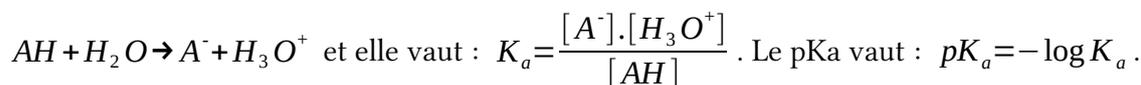
1. Les acides aminés contiennent une fonction amine (groupe amino) et une fonction acide carboxylique (groupe carboxyle). La glycine se nomme acide 2-aminoéthanoïque en nomenclature IUPAC.
- 2.

Atome	Numéro atomique Z	Configuration électronique	Électrons de valence	Nombre de liaisons	Nombre de doublets non liants
Hydrogène H	1	(1s) ¹	1	1	0
Carbone C	6	(1s) ² (2s) ² (2p) ²	4	4	0
Azote N	7	(1s) ² (2s) ² (2p) ³	5	3	1
Oxygène O	8	(1s) ² (2s) ² (2p) ⁴	6	2	2

La représentation de Lewis de la glycine est :

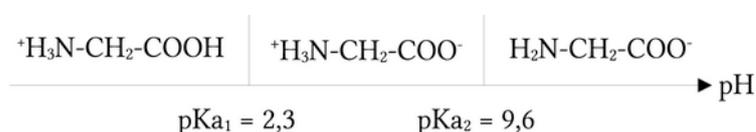


3. a) K_a est la constante d'acidité du couple AH/A^- associée à la réaction de l'acide sur l'eau :



b) Le pK_a du groupe carboxyle est $pK_{a1} = 2,3$ (proche de 4) et celui du groupe amino vaut $pK_{a2} = 9,6$ (proche de 10). Dans l'eau ($pH \sim 7$) le groupe carboxyle est donc déprotoné tandis que le groupe amino est protoné. La forme zwitterionique $^+H_3N-CH_2-COO^-$ prédomine.

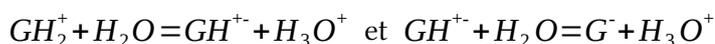
c) Le diagramme de prédominance est :



4. La glycine existe sous 3 formes que l'on notera GH_2^+ (forme acide positive), GH^+ (forme zwitterionique électriquement neutre) et G^- (forme basique négative).

Si on veut une charge globale nulle il faut que $[GH_2^+] = [G^-]$ (A).

Les constantes d'équilibre K_{a1} et K_{a2} sont associées aux réactions :



On peut écrire : $K_{a1} = \frac{[GH^+] \cdot [H_3O^+]}{[GH_2^+]}$ (B) et $K_{a2} = \frac{[G^-] \cdot [H_3O^+]}{[GH^+]}$ (C)

En multipliant (B) et (C) et en utilisant (A) on obtient $K_{a1} \cdot K_{a2} = [H_3O^+]^2$

En appliquant la fonction $-\log$ on obtient $pK_{a1} + pK_{a2} = 2 pI$ soit $pI = \frac{1}{2}(pK_{a1} + pK_{a2})$

Remarque : quelques rappels

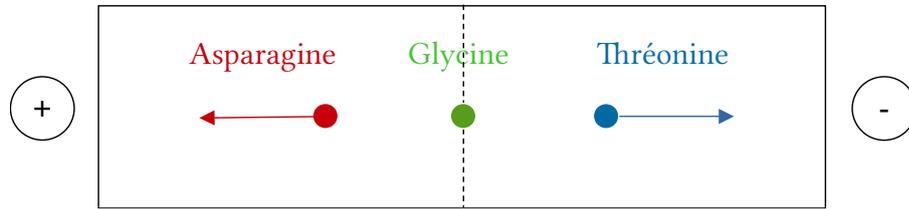
$$pH = -\log[H_3O^+] \quad pKa = -\log Ka \quad \log(1) = 0 \quad \log(a \cdot b) = \log a + \log b$$

5. Calculs des pH isoélectriques :

Glycine	Asparagine	Thréonine
$pI = \frac{1}{2}(2,3 + 9,6) = 6,0$	$pI = \frac{1}{2}(2,2 + 8,7) = 5,5$	$pI = \frac{1}{2}(2,6 + 10,4) = 6,5$

Le $pH=6$ est isoélectrique pour la glycine, c'est la tache centrale qui n'a pas migré.

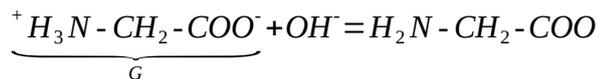
À ce pH c'est la forme totalement déprotonée, basique et négative de l'asparagine qui est plus abondante que celle totalement protonée, acide et positive (le zwitterion restant majoritaire). La tache de l'asparagine migre donc vers le pôle positif *ie* vers la gauche. À l'inverse la tache de la thréonine migre vers le pôle négatif vers la droite.



6. Lors d'une mesure par conductimétrie on applique une tension alternative à une électrode constituée de 2 plaques de surface S (en m^2) en vis-à-vis séparées d'une distance L (en m). L'appareil mesure la tension U (en V) et l'intensité I (en A) pour en déduire la conductance :

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U} \text{ en } \Omega^{-1} = S \text{ (siemens) et la conductivité } \sigma = G \times \frac{L}{S} \text{ en } \Omega^{-1} \cdot m^{-1} = S \cdot m^{-1}$$

7. a) L'équation de la réaction support de titrage est :



- b) L'équivalence est obtenue pour $\underbrace{n(OH^-)}_{\text{versée}} = \underbrace{n_G}_{\text{initiale}}$ donc $c_T \times \underbrace{V_e}_{\text{équivalent}} = \frac{m_G}{M_G}$

On en déduit :

$$m_G = c_T \times V_e \times M_G = 0,100 \times 12,8 \cdot 10^{-3} \times (5 \times 1,0 + 2 \times 12,0 + 1 \times 14,0 + 2 \times 16,0) = 0,096 \text{ g}$$

- c) L'incertitude type vaut :

$$u(m_G) = m_G \times \sqrt{\left(\frac{u(c_T)}{c_T}\right)^2 + \left(\frac{u(V_e)}{V_e}\right)^2 + \left(\frac{u(M(G))}{M(G)}\right)^2} = 0,096 \times \sqrt{\left(\frac{0,001}{0,100}\right)^2 + \left(\frac{0,2}{12,8}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{75,0}\right)^2} = 0,002 \text{ g}$$

On a pris $U(V_e) = \underbrace{0,1 \text{ mL}}_{\text{burette graduée}} + \underbrace{0,1 \text{ mL}}_{\text{lecture graphique}}$

Le résultat avec son incertitude de type B vaut : $m_G = (0,096 \pm 0,002) \text{ g}$

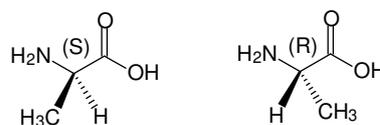
- d) On peut dire que le complément alimentaire n'est pas de la glycine pure.

8. À la demi-équivalence ($V = 6,4 \text{ mL}$) la moitié de la forme zwitterionique de la glycine a réagi (la réaction de dosage étant quantitative). Les concentrations en forme zwitterionique A et basique B sont donc égales et : $pH = pKa_2 + \log \frac{[B]}{[A]} = pKa_2$. On lit $pKa_2 = 9,6$.

II – Les protéines

A. Synthèse peptidique : synthèse du dipeptide alanine-glycine

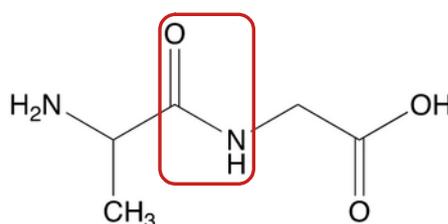
9. Les 2 stéréoisomères de l'alanine sont représentés ci-contre. L'ordre de priorité des substituants du carbone asymétrique, selon les règles CIP, est :



S-alanine et *R-alanine*

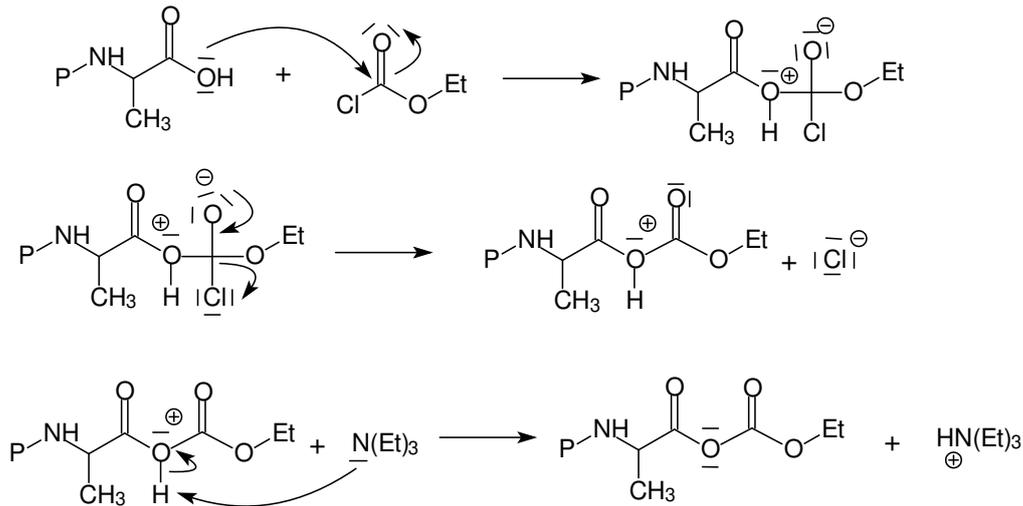
Ces 2 molécules sont énantiomères (l'une est l'image en miroir de l'autre).

10. Dans le dipeptide la figure 4 on identifie une fonction **amide**.

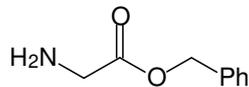


11. L'alanine (Ala) et la glycine (Gly) possèdent 2 sites réactifs : le groupe amine et le groupe carboxyle. En les faisant réagir directement, ces sites réactifs réagissent sans distinction pour donner le dipeptide souhaité Ala-Gly mais aussi : Ala-Ala, Gly-Gly et Gly-Ala.
12. Étape n°1 : Protection du groupe amino de l'alanine
Étape n°2 : Activation électrophile du carbone du groupe carboxyle
Étape n°3 : Protection du groupe carboxyle de la glycine
Étape n°4 : Création de la liaison peptidique
Étape n°5 : Déprotection du groupe amino
Étape n°6 : Déprotection du groupe carboxyle

13.



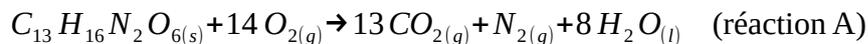
14. Le produit B est



, le sous-produit est de l'eau H_2O .

B. Protéines dans l'alimentation et apport calorique : apport calorique du dipeptide phénylalanine – acide aspartique

15. a) L'équation de la réaction de combustion complète de Phe-Asp s'écrit :



b) L'énergie thermique libérée par cette combustion vaut :

$$Q = m \times c_m \times \Delta T = 2000 \times 4,18 \times 4,10 = 34,3 \cdot 10^3 J = 34,3 kJ$$

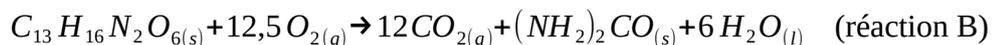
On en déduit le pouvoir calorifique du dipeptide Phe-Asp :

$$PC = \frac{Q}{m} = \frac{34,3}{2,00} = 17,2 kJ \cdot g^{-1}$$

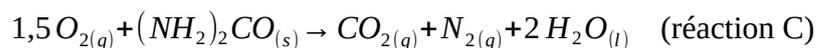
c) L'énergie molaire de combustion est définie par la formule :

$$H_{comb,A} = \frac{Q}{n} = PC \times M = 17,2 \cdot 10^{-3} \times (13 \times 12 + 16 \times 1,0 + 2 \times 14,0 + 6 \times 16,0) = 5,09 MJ \cdot mol^{-1}$$

16. a) L'équation de métabolisation du dipeptide s'écrit :



b) Remarquons que l'équation de réaction B se décompose comme (B) = (A) + (C) avec :



$$\begin{aligned} \Delta_r H_C &= \Delta_f H(CO_{2(l)}) + \Delta_f H(N_{2(g)}) + 2\Delta_f H(H_2O_{(l)}) - 1,5\Delta_f H(O_{2(g)}) - \Delta_f H(urée_{(s)}) \\ &= (-393,5 + 0 - 2 \times 285,8) - (1,5 \times 0 - 333,1) \\ &= -632 kJ \cdot mol^{-1} \end{aligned}$$

On en déduit que $\Delta_r H_B = \Delta_r H_A + \Delta_r H_C = -5,09 - 0,632 = -5,72 MJ \cdot mol^{-1}$.

Puis $PC = \frac{H_{comb,B}}{M} = \frac{5,72 \cdot 10^3}{296} = 19,3 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$

17. Le pouvoir calorifique moyen de ce complément alimentaire vaut :

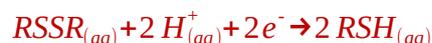
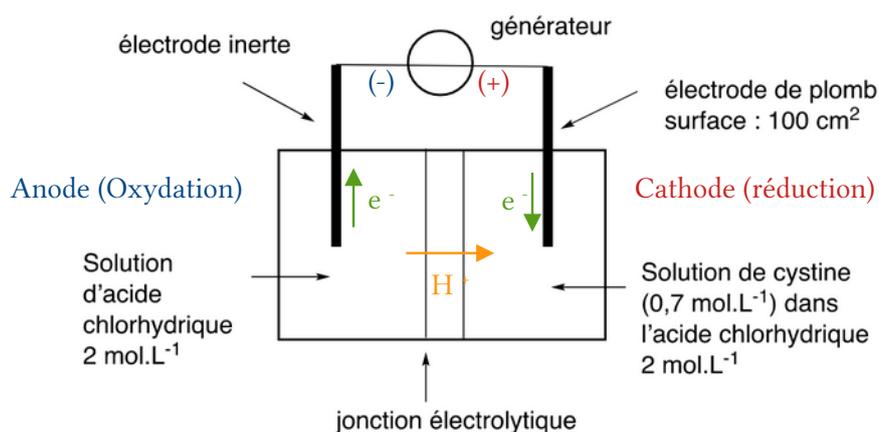
$$\overline{PC} = \frac{1640}{100} = 16,4 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$$

Il se rapproche du pouvoir calorifique calculé précédemment ce qui suggère que les pouvoirs calorifiques des protéines, des acides aminés seules et du glucose sont assez proches.

III – Production industrielle d'acides aminés – industrie pharmaceutique

A. Obtention de la (-)-cystéine par électrosynthèse

18.



19. 50 g de cystéine correspond à : $n = \frac{m}{M} = \frac{50}{3 \times 12,0 + 7 \times 1,0 + 32,1 + 14,0 + 2 \times 16,0} = 0,41 \text{ mol}$

Pour obtenir cette quantité il faut réduire 0,20 mol de cystéine à l'aide de 0,41 mol d'électrons.

La charge électrique à faire circuler est : $Q = n_e \times F = 0,41 \times 96500 = 40 \cdot 10^3 \text{ C}$

Cela correspond à une énergie : $E = \frac{Q \cdot U}{\eta_F} = \frac{40 \cdot 10^3 \times 3,0}{0,90} = 1,3 \cdot 10^5 \text{ J}$

B. Propriétés antioxydantes de la cystéine

20. L'AEQS consiste à considérer que les espèces chimiques intermédiaires sont consommées aussi vite qu'elles sont produites. Leurs concentrations sont alors constantes.

L'intermédiaire R-SOH est produite par la réaction (2) or elle est immédiatement consommée lors de la réaction (3) très facile. Sa concentration reste faible est quasi-constante : on peut lui appliquer l'AEQS.

En revanche la quantité de R-S⁻ est liée à celle en R-SH via l'équilibre (1) et R-S⁻ ne peut être consommé rapidement que si R-SOH est déjà présent. On ne peut pas lui appliquer l'AEQS.

21. La vitesse de réaction est définie par : $v = \frac{d[RSSR]}{dt} = k_3 \cdot [RSOH] \cdot [RS^-]$ (A)

L'équilibre de (1) donne :

$$k_{a2} = \frac{[RS^-] \cdot [H^+]}{[RSH]} \quad (B)$$

L'AEQS appliquée à RSOH donne :

$$\frac{d[RSOH]}{dt} = 0 = k_2 \cdot [RS^-] \cdot [H_2O_2] - k_3 \cdot [RSOH] \cdot [RS^-] \quad (C)$$

En transformant (B) on obtient : $[RS^-] = \frac{k_{a2} \cdot [RSH]}{[H^+]}$ (B')

En transformant (C) on obtient : $k_2 \cdot [H_2O_2] = k_3 \cdot [RSOH]$ (C')

En substituant (B') et (C') dans (A) il vient : $v = k_2 \cdot [H_2O_2] \cdot k_{a2} \cdot \frac{[RSH]}{[H^+]}$

Que l'on peut noter $v = k \cdot [H_2O_2] \cdot [RSH]$ en posant $k = \frac{k_2 \cdot k_{a2}}{[H^+]}$

22. Analyse de la 1^{re} expérience :

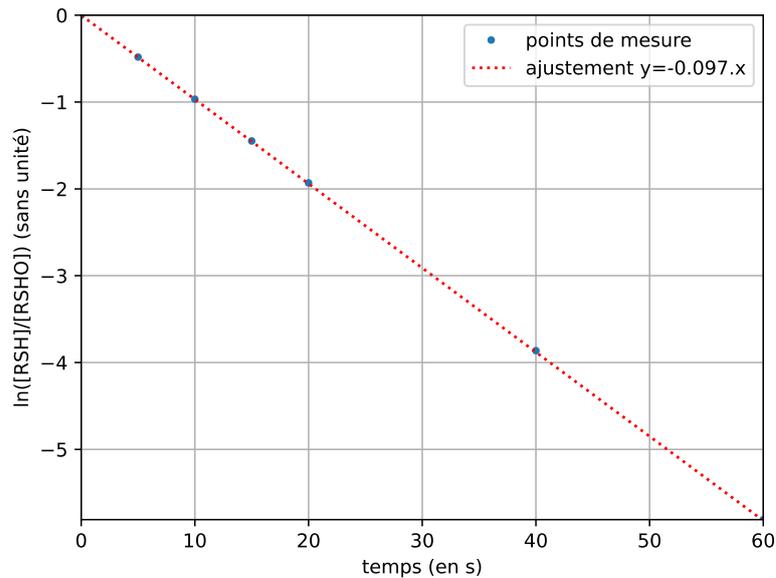
Dans la première expérience $[H_2O_2] \gg [RSH]$, on peut considérer que $[H_2O_2] = [H_2O_2]_0$ tout au long de l'expérience.

L'équation globale de la réaction donne $v = \frac{d[RSSR]}{dt} = -2 \cdot \frac{d[RSH]}{dt}$.

D'après la réponse précédente on peut écrire : $-2 \cdot \frac{d[RSH]}{dt} = k \cdot [H_2O_2]_0 \cdot [RSH]$.

Soit $\frac{d[RSH]}{[RSH]} = -\frac{k}{2} \cdot [H_2O_2]_0 \cdot dt$ puis par intégration : $\ln\left(\frac{[RSH]}{[RSH]_0}\right) = -\frac{k}{2} \cdot [H_2O_2]_0 \cdot t$.

Remarque :



La représentation graphique de $\ln\left(\frac{[RSH]}{[RSH]_0}\right) = f(t)$ est une droite en accord avec la loi proposée.

Une régression linéaire de $\ln\left(\frac{[RSH]}{[RSH]_0}\right) = f(t)$ donne le coefficient directeur :

$$-\frac{k}{2} \cdot [H_2O_2]_0 = -0,097 \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Soit } k = \frac{2 \times 0,097}{400} = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ L} \cdot \text{mmol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

Évaluons la vitesse initiale de la réaction lors de l'expérience 1 :

$$v_{01} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{d[RSH]}{dt} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{24,7 - 40,0}{5 - 0} = 1,53 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

Analyse de la 2^e expérience :

Évaluons la vitesse initiale de la réaction lors de l'expérience 2 :

$$v_{02} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{d[RSH]}{dt} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{38,1 - 40,0}{10 - 0} = 0,095 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

Or d'après la loi proposée on devrait avoir : $v_0 = k \cdot [H_2O_2]_0 \cdot [RSH]_0$

$$\text{Soit } \frac{v_{01}}{v_{02}} = \frac{[H_2O_2]_{01}}{[H_2O_2]_{02}} \text{ car } [RSH]_{01} = [RSH]_{02} \text{ et } k_1 = k_2 = k.$$

$$\text{Le calcul donne : } \frac{v_{01}}{v_{02}} = \frac{1,53}{0,095} = 16,1 \text{ et } \frac{[H_2O_2]_{01}}{[H_2O_2]_{02}} = \frac{400}{20} = 20 \text{ ce qui est cohérent.}$$