

**OBJECTIF
CAPES**

PHYSIQUE CHIMIE

Écrits et oraux

Épreuves disciplinaires
Épreuves disciplinaires appliquées
Corrigés détaillés
Conseils et méthodes pour l'oral
Fiches leçons
Préparation à l'entretien

Romain **Hadjerci** (coord.)
Jean-Rémy **Colard-Itté**
Jean **Delserieys**
Romain **Granier**
Jean-Thibaut **Spaniol**



PARTIE 1.
ÉPREUVES
ÉCRITES
D'ADMISSIBILITÉ

Sujet épreuve disciplinaire 2022

Partie A : Composition de physique

Dans l'optique d'un voyage :
Des ondes pour observer, voyager et se réchauffer

Plan du sujet

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 avec 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

DOCUMENTS ANNEXES POUR LE SUJET :

- Document 1.** Programme Python utilisé pour tracer la trajectoire des rayons lumineux dans un milieu à gradient d'indice

Données

- La limite de résolution de l'œil est l'angle minimal α_0 en-dessous duquel deux points lumineux, séparés d'un angle $\alpha < \alpha_0$, ne peuvent être distingués, $\alpha_0 = 1,5'$;
- Célérité d'une onde électromagnétique dans le vide : $c = 3 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- Permittivité diélectrique du vide : $\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F}\cdot\text{m}^{-1}$;
- La perméabilité du vide est notée μ_0 et on a $\varepsilon_0\mu_0c^2 = 1$;
- Constante gravitationnelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$;
- Masse du Soleil : $M_S = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$;
- Distance Soleil – Mars : $R_{SM} = 2,3 \times 10^8 \text{ km}$;
- Opérateur divergence en coordonnées cartésiennes :

$$\text{div } \vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$$
- Opérateur gradient en coordonnées cartésiennes :

$$\overrightarrow{\text{grad}} U = \frac{\partial U}{\partial x} \vec{u}_x + \frac{\partial U}{\partial y} \vec{u}_y + \frac{\partial U}{\partial z} \vec{u}_z$$
- Relation entre opérateurs vectoriels :

$$\overrightarrow{\text{rot}} (\overrightarrow{\text{rot}} \vec{A}) = \overrightarrow{\text{grad}} (\text{div } \vec{A}) - \vec{\Delta} \vec{A}.$$

La question intitulée « **Résolution de problème** » nécessite de l'initiative.

Le candidat est invité à consigner ses pistes de recherche et à y consacrer un temps suffisant. La qualité de la démarche choisie et son explication seront évaluées tout autant que le résultat final.

I. Au-delà de l'horizon

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

« Tout a commencé par une question apparemment élémentaire nous arrivant par courriel : « Comment se fait-il que la surface des océans est courbe alors que celle des lacs est plate ? Ne devrait-elle pas aussi être courbée ? » La réponse nous semblait évidente et nous avons donc répondu en substance : « Les lacs ont la même courbure que les océans : celle de la Terre. Mais comme ils sont bien moins étendus que les océans, leur courbure est difficile à percevoir. »

C'était sans compter sur la réponse très argumentée, relatant des observations précises, des mesures et des calculs numériques, qui nous est revenue quelques heures plus tard. Le promeneur, posté sur la rive du lac du Bourget avec un zoom, placé à 0,51 mètre de hauteur, avait observé un muret d'un port de plaisance situé à l'autre bout du lac, à 16,7 kilomètres de distance.

Ce muret était haut de 1,6 mètres, or les calculs montraient que, compte tenu de la courbure terrestre, il n'aurait dû voir que des structures dont la hauteur dépasse 15 mètres. Le promeneur en déduisait que le lac était plat. Manifestement, il avait vu quelque chose qu'il n'aurait pas dû voir : il avait vu au-delà de l'horizon ! »

Pour La Science N°502 / Août 2019

Dans les questions Q1 à Q4, on considère que le lac est plat : on néglige donc la courbure de la Terre.

Q1. Le promeneur essaie de voir à l'œil nu le muret situé de l'autre côté du lac. Cela est-il possible sans lunette d'observation ? Justifier précisément votre réponse.

Le promeneur a utilisé « *un zoom* ». On considère qu'il s'agit d'une lunette d'observation à l'infini modélisée par deux lentilles minces convergentes de centres O_1 et O_2 (voir figure 1).

La lentille L_1 a pour distance focale $f'_1 = 700$ mm, la lentille L_2 a pour distance focale $f'_2 = 25$ mm.

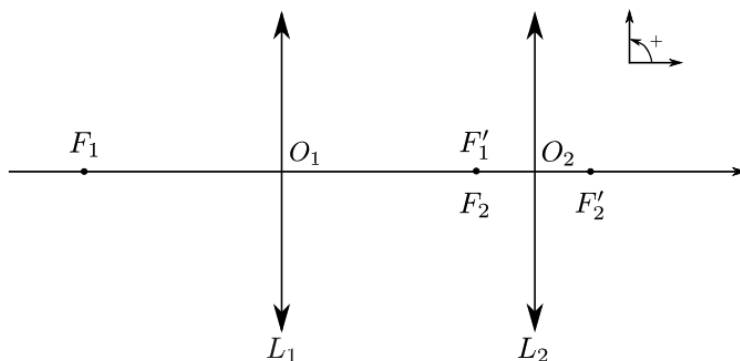


Figure 1 - Lunette (la figure n'est pas à l'échelle).

Q2. Expliquer pourquoi les foyers F'_1 et F_2 doivent être confondus pour une lunette destinée à l'observation d'objets situés « à l'infini », pour une observation sans accommodation par un œil normal (emmétrope). Comment appelle-t-on un tel système ?

Dans les questions Q3 et Q4, on considère que le muret est à l'infini. Il est délimité par les points objets A_∞ , B_∞ . On appelle θ l'angle orienté entre l'axe optique et la direction associée au point B_∞ (voir figure 2).

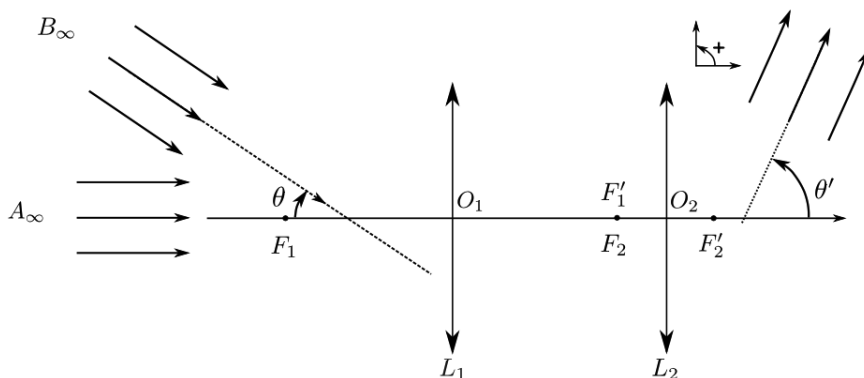


Figure 2.

Q3. Réaliser une construction soignée avec tous les rayons nécessaires pour passer du point objet B_∞ à son image B' à travers la lunette. Justifier la construction réalisée.

Identifier la lentille associée à l'oculaire et celle associée à l'objectif.

Qualifier l'image formée par la lunette.

Commenter.

Q4. On appelle θ' l'angle orienté entre l'axe optique et la direction associée au point image B' (voir figure 2).

Établir l'expression du grossissement de la lunette $G = \frac{\theta'}{\theta}$ en fonction de f_1' et f_2' .

Le muret peut-il bien être observé à travers la lunette ?

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

« [...] les calculs montraient que, compte tenu de la courbure terrestre, il n'aurait dû voir que des structures dont la hauteur dépasse 15 mètres. Le promeneur en déduisait que le lac était plat. Manifestement, il avait vu quelque chose qu'il n'aurait pas dû voir : il avait vu au-delà de l'horizon ! »

Q5. Dans cette question :

- L'indice de réfraction de l'air est supposé uniforme ;
- La lunette de l'observateur est en L_2 (voir figure 3) ;
- Le muret est maintenant repéré par les points A et B à distance finie de la lunette (voir figure 3).

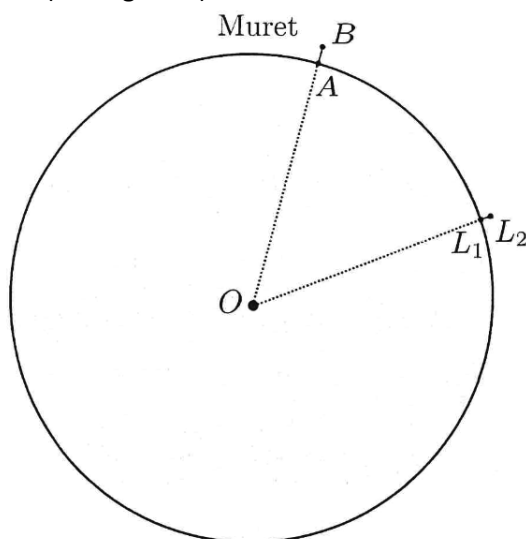


Figure 3 - Terre, position du muret, position de la lunette
(le schéma n'est pas à l'échelle).

Du point L_2 , le promeneur n'aurait dû voir ni le bas, ni le haut du muret. Expliquer qualitativement cela à l'aide d'un schéma.

Le promeneur a pourtant bien vu le muret situé à 16,7 km.

À cause des variations de pression et de température, la densité de l'air peut dépendre de l'altitude, il en est donc de même de l'indice de réfraction de l'air.

Dans un modèle particulièrement simple, on peut considérer que l'indice de réfraction de l'air a une valeur n_0 uniforme jusqu'à une altitude e , puis que l'indice vaut n_1 .

On prendra les valeurs numériques suivantes :

- $e = 20 \text{ m}$;
- $n_0 - 1 = 29 \times 10^{-5}$;
- $n_1 - 1 = 26 \times 10^{-5}$.

Q6. Pour simplifier le problème, et se placer dans le cas le plus défavorable, on considère que le bas du muret (point A) est très bien vu de la lunette située au niveau du sol en L_1 (voir figure 3).

Expliquer qualitativement à l'aide d'un schéma, comment cela peut être possible.

Valider cette explication par une application numérique, pour l'application numérique on pourra éventuellement effectuer une simplification du problème en négligeant la courbure de la Terre.

Q7. Dans un modèle plus élaboré, on considère qu'il existe un gradient d'indice au-dessus du lac.

L'altitude est notée z , elle est comptée positivement à partir de $z = 0$ au niveau du sol.

L'indice de réfraction de l'air, $n(z)$, s'écrit donc : $n(z) = n_0 + Az$, avec $A = \left(\frac{n_1 - n_0}{e}\right)$.

L'équation de la trajectoire des rayons lumineux est donnée par la fonction $z(x)$ où x est l'abscisse repérant la position horizontale entre le mur et la lunette.

$x(z)$ est solution de l'équation différentielle :

$$\frac{d^2z}{dx^2} = \frac{A(n_0 + Az)}{(n_0 \sin i_0)^2}$$

i_0 est l'angle que fait le rayon avec la verticale en $z = 0$.

On résout cette équation par la méthode d'Euler. Le programme écrit en langage Python permettant de tracer la trajectoire des rayons lumineux est donné dans l'annexe, on y trouve également la trajectoire d'un rayon lumineux. Dans ce programme **np.tan(x)** renvoie $\tan(x)$.

- Expliquer les lignes 19 et 20.
- Expliquer la signification et le rôle de l'instruction de la ligne 34.

Commenter l'allure de la courbe obtenue.

Nommer le phénomène décrit.

II. Aller sur Mars

1. Aller très vite sur Mars

Présentation :

Le NASA Institute for Advanced Concepts (NIAC) est un programme financé par la NASA. Son but est de recenser des propositions révolutionnaires en aéronautique et astronautique afin de tester des concepts utiles aux futures missions de la NASA.

En 2015 le programme NIAC a sélectionné l'étude du professeur Philip Lubin de l'Université de Californie à Santa Barbara sur la « propulsion énergétique dirigée pour explorer d'autres mondes ».

La propulsion dirigée étudiée par P. Lubin se ferait grâce à la force exercée par les photons issus d'un laser arrivant sur le réflecteur d'une sonde spatiale. Le laser « DE-STAR 4 » (Directed Energy System for Targeting of Asteroids and exploration) de l'étude de P. Lubin aurait une puissance moyenne de 70 GW. Il s'agirait en fait d'un réseau de plusieurs lasers constituant l'unique faisceau d'un « laser à phase asservie ». Ces lasers seraient répartis sur un carré de côté 10 km, ils seraient alimentés par un réseau de cellules photovoltaïques, approximativement de même taille que le réseau de lasers. Ces cellules photovoltaïques recevraient le rayonnement solaire.

Sources :

J. Bible, J. Bublitz, I. Johansson, G. Hughes and P. Lubin, "Relativistic Propulsion Using Directed Energy."

Nanophotonics and Macrophotonics for Space environments VII, Proc. Of SPIE 2013.

Rapport final du projet financé par la NASA :

<http://www.nasa.gov/feature/deep-in-directed-energy-propulsion-for-interstellar-exploration/>

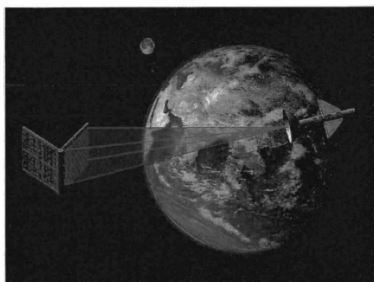


Figure 4 - Vue d'artiste de DE-STAR propulsant une sonde spatiale.

Cette partie présente le projet de P. Lubin d'une sonde allant de la Terre à Mars par propulsion photonique.

a. Faisceau Laser

On considère une zone de l'espace, assimilée à du vide, dans laquelle on modélise l'onde électromagnétique émise par le laser par une onde plane, progressive, et monochromatique.

Les champs électrique et magnétique sont notés respectivement $\vec{E}$ et $\vec{B}$.

Le vecteur d'onde est noté $\vec{k}$.

La pulsation est notée ω .

Q8. Donner l'expression de $\vec{B}$ en fonction de $\vec{k}$ et $\vec{E}$ et de ω .

De quelle équation de Maxwell cette relation se déduit-elle ?

Q9. Donner l'expression du vecteur de Poynting $\vec{\Pi}$.

Rappeler sa signification physique et son unité.

Le champ électrique s'écrit : $\vec{E} = E_0 \cos(\omega t - kz) \vec{u}_x$.

Montrer que la moyenne temporelle de la puissance surfacique transportée par l'onde électromagnétique dans la direction $\vec{u}_z$ est donnée par l'expression :

$$\|\langle \vec{\Pi} \rangle_t\| = \frac{\varepsilon_0 c E_0^2}{2}$$

La puissance moyenne totale du laser DE-STAR 4 est $P = 70$ GW. L'intégralité de la puissance émise par le laser est reçue par un réflecteur de diamètre $D = 30$ m situé sur la sonde spatiale.

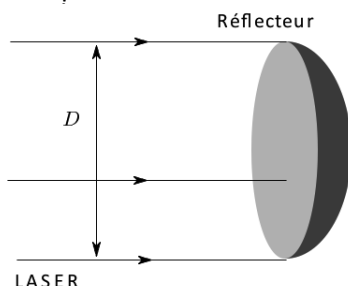


Figure 5 - Laser arrivant sur un réflecteur.

Q10. On considère que, lorsque le faisceau laser arrive sur le réflecteur en incidence normale, le diamètre de ce faisceau est égal au diamètre D du réflecteur.

Déterminer l'amplitude E_0 du champ électrique du laser au niveau du réflecteur. Comparer cette valeur à la valeur du champ électrique associé à l'onde lumineuse émise par les lasers utilisés dans les lycées, de puissance typique 1 mW. Pour cela, le candidat devra expliciter la ou les valeur(s) choisie(s) pour certaine(s) grandeur(s) physique(s).

Q11. L'existence des lasers est rendue possible par le phénomène d'émission stimulée. Expliquer succinctement ce que signifie « émission stimulée ».

b. Durée mise par la sonde pour aller sur Mars

Le réflecteur est assimilé à une surface plane parfaitement réfléchissante, orthogonale au vecteur unitaire $\vec{u}_z$ (voir figure 6).

Dans le cadre d'un modèle corpusculaire, les photons associés à l'onde électromagnétique plane, progressive, monochromatique, produite par le laser, arrivent en incidence normale sur la surface du réflecteur. Les photons se réfléchissent sur cette surface et lui transfèrent ainsi de la quantité de mouvement.

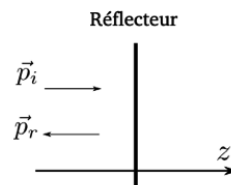


Figure 6 - Réflexion des photons sur le réflecteur.

On admet que le vecteur d'onde associé à une onde électromagnétique plane progressive monochromatique est $\vec{k} = \frac{2\pi}{\lambda} \vec{u}$ où λ est la longueur d'onde, et $\vec{u}$ le vecteur unitaire indiquant le sens de propagation de l'onde.

La quantité de mouvement d'un photon associé à une onde électromagnétique de vecteur d'onde $\vec{k}$ est $\vec{p} = \hbar \vec{k}$, où $\hbar$ est la constante de Planck réduite, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, h étant la constante de Planck.

On note S l'aire de la surface du réflecteur illuminée par le laser.

On suppose que le réflecteur reçoit l'intégralité de la puissance P du laser en tout point de la trajectoire de la Terre à Mars.

On note n le nombre de photons par unité de volume dans le faisceau incident.

On note λ la longueur d'onde du laser.

On se place dans le cadre de la mécanique classique.

On ne prend pas en compte l'effet Doppler.

Q12. Montrer que le nombre de photons arrivant sur la surface S de réflecteur pendant une durée Δt est : $c \times n \times S \times \Delta t$.

Q13. Quelle est la quantité de mouvement $\vec{p}_i$ d'un photon incident ?

Quelle est la quantité de mouvement $\vec{p}_r$ d'un photon réfléchi ?

Montrer que la variation de la quantité de mouvement totale des photons arrivant pendant la durée Δt sur la surface S de réflecteur est :

$\Delta \vec{p} = -2 \times n \times S \times h \times \nu \times \Delta t \vec{u}_z$, où ν est la fréquence de l'onde.

Q14. En déduire que la force $\vec{F}$ exercée par le laser sur la surface S de réflecteur s'écrit $\vec{F} = 2 \times n \times S \times h \times v \vec{u}_z$.

On rappelle que P est la puissance du laser couvrant la surface S de réflecteur, montrer que $\vec{F} = 2 \times \frac{P}{c} \vec{u}_z$.

Q15. On suppose que la seule force exercée sur la sonde est celle exercée par le laser. La distance Terre – Mars, notée L_{TM} varie peu dans le temps. On considère un intervalle de temps suffisamment court pour que cette distance varie peu : on prend $L_{TM} = 80 \times 10^9$ m.

La masse de la sonde que P. Lubin propose d'utiliser est de 100 kg.

Quelle serait la durée du voyage Terre – Mars si ce projet pouvait être réalisé ? Commenter l'ensemble des hypothèses formulées, par exemple sous le prisme énergétique.

2. Aller sur Mars par l'orbite de Hohmann

« Tianwen-1, Hope, Mars 2020,...

Le point commun à tous ces noms ? Il s'agit de missions spatiales de Mars dont le lancement est prévu entre la mi-juillet et le début d'août 2020. Une accumulation temporelle qui n'est pas fortuite : ces missions profitent d'une fenêtre de lancement vers la Planète rouge qui ne s'ouvre que tous les 26 mois. Toutes ces sondes spatiales suivront la même trajectoire, grosso modo une demi-ellipse. Pourquoi cette fenêtre ? Et quelles trajectoires ces engins empruntent-ils ? »

Pour la science N°514 / Août 2020

Dans une approche simplifiée :

- Les orbites terrestre et martienne sont considérées comme circulaires ;
- Sauf indication contraire, on néglige l'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur la sonde et l'attraction exercée par Mars sur la sonde. La sonde n'est donc soumise qu'à la force d'attraction gravitationnelle due au Soleil ;
- La sonde quitte l'orbite terrestre à l'instant t_1 et rejoint l'orbite martienne à l'instant t_2 , on note $\Delta t = t_2 - t_1$ la durée du transfert ;
- À l'instant t_1 , Mars est en M_1 (voir figure 7), la Terre est en T_1 et la sonde se trouve au voisinage de la Terre (à l'échelle considérée, elle se trouve quasiment en T_1) ; à cet instant t_1 , les propulseurs de la sonde sont allumés pendant une durée très courte devant Δt . Cela confère à la sonde un incrément de vitesse qui la place sur une orbite lui permettant de rejoindre Mars ;

- Pendant le voyage de T_1 à M_2 (voir figure 7), la sonde n'utilise pas ses propulseurs. Elle se trouve sur une orbite de transfert elliptique ayant le point T_1 comme périhélie et le point M_2 comme aphélie. Cette trajectoire est appelée « orbite de Hohmann » ;
- À l'instant t_2 , la sonde arrive au voisinage de Mars (à cette échelle on considère qu'elle se trouve sur le point M_2 de l'orbite martienne), les propulseurs de la sonde sont à nouveau allumés pendant une durée très courte devant Δt . Cela confère à la sonde un incrément de vitesse qui la place sur l'orbite martienne.

Le soleil est en S .

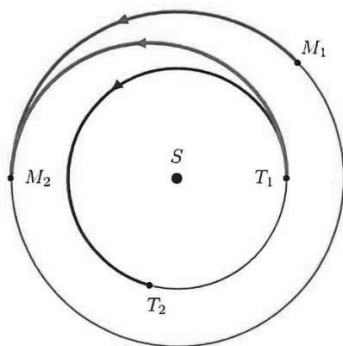


Figure 7 - *Orbite terrestre, orbite martienne, et orbite de transfert de Hohmann.*

Q16. Qu'est-ce qu'un référentiel galiléen ?

Définir le référentiel héliocentrique, le référentiel géocentrique, et le référentiel terrestre.

Citer une manifestation du caractère non galiléen du référentiel géocentrique, et une manifestation du caractère non galiléen du référentiel terrestre.

Dans les questions suivantes, on se place dans le référentiel héliocentrique.

Q17. On considère une planète de période de révolution T autour du Soleil. Elle décrit un cercle de rayon a et de centre S .

La constante gravitationnelle est notée G , la masse du Soleil est notée M_S .

Justifier que la trajectoire circulaire de la planète est nécessairement uniforme.

Démontrer la relation : $\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM_S}$.

Comment se nomme cette relation ?

On admet qu'elle se généralise à une trajectoire elliptique de demi-grand axe a .

Q18. La durée de l'année terrestre est considérée comme connue, elle sera notée T_T .

La distance Soleil – Terre sera notée R_{ST} , elle n'est volontairement pas fournie dans les données en début de sujet.

La distance Soleil – Mars est notée R_{SM} .

Estimer la durée du transfert de la Terre à Mars.

Une application numérique est attendue.

Q19. Résolution de problème.

Justifier la phrase : « *ces missions profitent d'une fenêtre de lancement vers la Planète rouge qui ne s'ouvre que tous les 26 mois.* »

L'objectif du système de propulsion spatiale de la sonde est d'accroître sa vitesse afin de la faire passer de l'orbite terrestre à l'orbite de Hohmann puis à l'orbite martienne. La masse de carburant consommé lors du passage d'une orbite à l'autre est liée à la variation (incrément) de vitesse nécessaire à ce changement d'orbite. Cela explique la nécessité de savoir comment déterminer les incréments de vitesse. L'orbite de Hohmann permet de minimiser les dépenses de carburant.

Q20. L'éjection de carburant par la fusée permet sa propulsion. Sur quel principe mécanique est basé ce phénomène ? Comment l'illustreriez-vous ?

Q21. Au départ la vitesse v_{T_1} de la sonde est pratiquement égale à la vitesse de la terre sur son orbite. Montrer que la vitesse de la Terre sur son orbite est :

$$v_{T_1} = \left(\frac{2\pi M_S G}{T_T} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Q22. On admet que l'énergie mécanique de la sonde de la masse m sur l'orbite de Hohmann est $E_H = -\frac{1}{2} \frac{GmM_S}{a_H}$, où a_H est le demi-grand axe de la trajectoire elliptique associée.

Déterminer v'_T , vitesse de la sonde sur l'orbite de Hohmann au point T_1 , juste après le transfert de la sonde de l'orbite terrestre à l'orbite de Hohmann.

Quel est l'incrément de vitesse permettant le passage de l'orbite terrestre à l'orbite de Hohmann ? On fera l'application numérique.

Avec ce modèle, l'incrément total de vitesse à donner pour le voyage aller est de $5,5 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.

À quel autre moment de la trajectoire faut-il fournir un incrément de vitesse, et donc entraîner une consommation de carburant ?

Quelle interaction nécessitant une consommation de carburant supplémentaire n'a pas été prise en compte ?

III. Communiquer avec la sonde spatiale

Les communications entre la Terre et la sonde sur l'orbite de Hohmann se font avec des ondes électromagnétiques.

On souhaite déterminer la gamme de longueurs d'onde pouvant être utilisée pour ces communications.

On note O , le point de la Terre où se trouve un centre spatial qui envoie des signaux vers la sonde. On considère, pour simplifier, que la sonde est sur l'axe Oz à la verticale de ce centre spatial.

L'atmosphère terrestre est assimilée au vide, sauf dans une zone située entre 80 km et 800 km d'altitude environ, appelée ionosphère (voir figure 8).

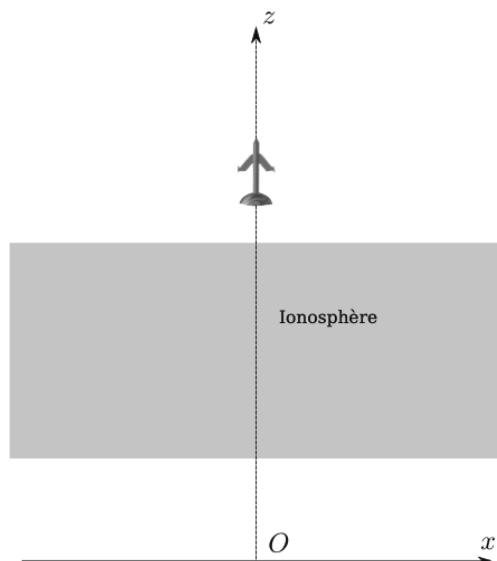


Figure 8 - Centre spatial sur Terre en O , ionosphère, sonde spatiale.

L'ionosphère est constituée d'un gaz sous très faible pression et partiellement ionisé par le rayonnement solaire, c'est le plasma ionosphérique.

On envoie depuis le sol une onde plane progressive monochromatique vers la sonde.

On utilise la notation complexe avec $i^2 = -1$.

Dans l'ionosphère :

- Le champ électrique est supposé transverse, il est noté :

$$\vec{E} = \underline{E}_0 e^{i(\omega t - kz)} \vec{u}_x, \text{ où } k \text{ est éventuellement complexe ;}$$

- La densité de courant volumique est : $\vec{j} = \underline{\sigma} \vec{E}$, avec $\underline{\sigma} = \frac{\varepsilon_0 \times \omega_p^2}{i\omega}$, où ω_p est une pulsation caractéristique du plasma considéré, appelée pulsation plasma.

Q23. Écrire les équations de Maxwell en notation complexe. Justifier que dans la situation considérée : $\text{div } \vec{E} = 0$. Commenter. Montrer que la relation de dispersion est $\underline{k}^2 c^2 = \omega^2 - \omega_p^2$. Commenter cette relation.

La pulsation plasma dans l'ionosphère est $\omega_p = 56 \times 10^6 \text{ Rad}\cdot\text{s}^{-1}$

Q24. La figure 9 représente la courbe d'absorption de l'atmosphère terrestre (opacité atmosphérique).

Quelle partie de la courbe peut être expliquée par le modèle précédent ?

Donner une gamme de fréquences des ondes à utiliser afin de communiquer avec la sonde.

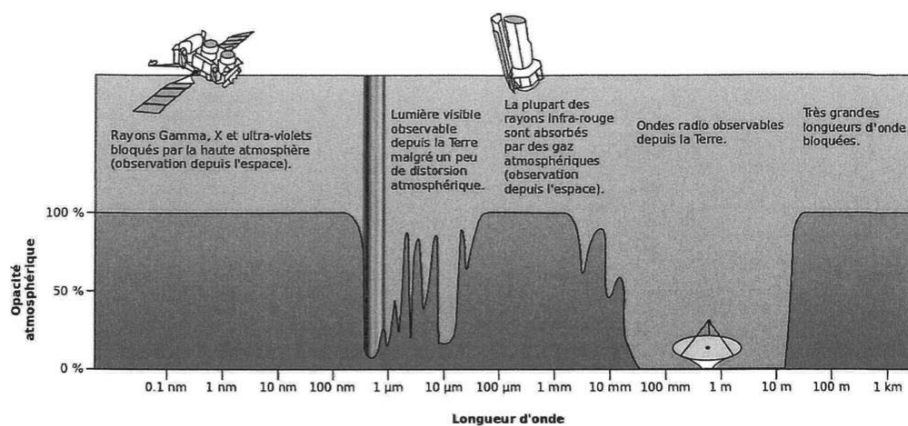


Figure 9 - Opacité atmosphérique en fonction de la longueur d'onde.

Source : <http://eduscol.education.fr/1750/programmes-et-ressources-en-enseignement-scientifique-voie-gt>.

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

On s'intéresse à un dispositif expérimental destiné à mesurer la puissance surfacique moyenne du rayonnement solaire reçu sur Terre.

Expérience

Un cylindre plein, en aluminium, est exposé au Soleil de sorte que son axe de révolution soit dans la direction des rayons du Soleil (voir figure 10). La face du cylindre exposée au Soleil est teinte en noir mat.

Le cylindre en aluminium est inséré dans un isolant.

Un cache opaque comportant une ouverture circulaire, de même diamètre que celui du cylindre, empêche les rayons du Soleil de chauffer l'isolant.

Les mesures de la température du cylindre ont été réalisées toutes les minutes pendant une durée $\Delta t = 1 \text{ h } 43 \text{ minutes}$. La température initiale du cylindre est celle de l'air ambiant.

L'expérience s'est déroulée à Toulouse le vendredi 18 décembre 2020.

Hypothèse de la modélisation :

- La température du cylindre est supposée uniforme ;
- La température de l'air ambiant peut être considérée comme uniforme et constante : $T_{air} = 19,8^\circ\text{C}$;
- À tout instant, la puissance perçue par le cylindre est supposée proportionnelle à l'écart entre la température $T(t)$ du cylindre et celle de l'air, on peut modéliser cette puissance perdue par l'existence d'une résistance thermique R_{th} enveloppant le cylindre ;
- L'angle zénithal Z , entre la direction des rayons du Soleil et la verticale, est supposé constant et vaut 69° .

Schéma de l'expérience

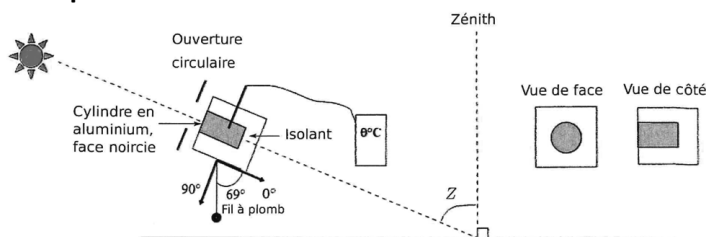


Figure 10 – Expérience.

Résultats des mesures

La figure 11 reproduit l'évolution de la température en fonction du temps et la modélisation de la courbe obtenue.

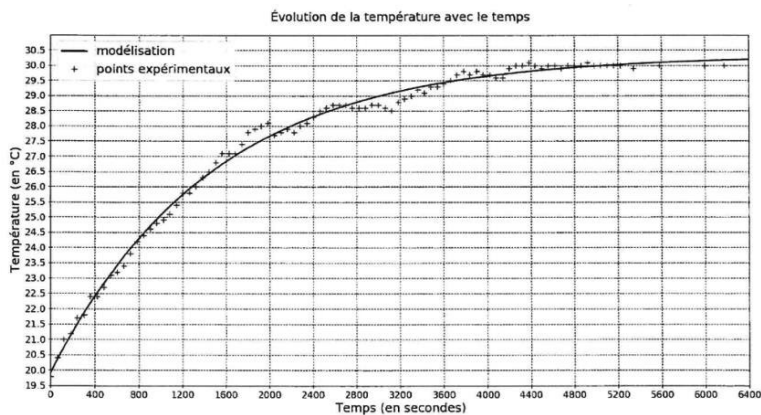


Figure 11.

La modélisation des résultats expérimentaux utilise la fonction suivante pour la température : $T(t) = A + Be^{-Dt}$. Les valeurs de A , B , et D sont :

$$A = 30,3^{\circ}\text{C} ;$$

$$B = -10,4^{\circ}\text{C} ;$$

$$D = 6,83 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}.$$

Pendant l'expérience, la puissance surfacique moyenne du rayonnement solaire reçu par la face du cylindre teintée en noir, est notée φ .

Caractéristiques du cylindre d'aluminium :

- capacité thermique massique de l'aluminium : $c = 897 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;
- diamètre du cylindre : $d = 26 \text{ mm}$;
- longueur du cylindre : $L = 30 \text{ mm}$;
- masse du cylindre : $m_0 = 43 \text{ g}$.

Q25. Dans le cadre du modèle proposé, établir l'équation différentielle vérifiée par la température $T(t)$ du cylindre.

Q26. Dédire de cette équation :

- une estimation de la valeur de la résistance thermique R_{th} ;
- une estimation de φ (puissance surfacique moyenne du rayonnement solaire reçu par la face du cylindre teintée en noir).

Q27. Commenter ces deux valeurs.

Annexes

Document 1. Programme Python utilisé pour tracer la trajectoire des rayons lumineux dans un milieu à gradient d'indice

```

1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 # Variables
5 R = 6371.e3
6 h1 = 0.51
7 l = 16.7e3
8
9 n0 = 1.+29e-5
10 n1 = 1.+26e-5
11
12 i0deg = 89.283
13 i0 = (i0deg/180)*np.pi
14
15 e = 20
16 A = (n1-n0)/e
17 C = n0*np.sin(i0)
18
19 z0 = 0
20 dzdx0 = 1/np.tan(i0)
21
22 num = 5000
23 dx = l/num
24
25 # Algorithme
26
27 def euler(F, x_ini, x_fin, z_0, dzdx_0, pas):
28
29     Z = np.array([z_0,dzdx_0])
30     x = x_ini
31     liste_Z = [Z]
32     liste_x = [x_ini]
33
34     while x+pas<=x_fin:
35         Z = Z+pas*F(Z)
36         liste_Z.append(Z)
37         x = x+pas
38         liste_x.append(x)
39
40     return liste_x,liste_Z
41
42 def fonc(Z):
43     z = Z[0]
44     dzdx = Z[1]
45     return np.array([dzdx,(A*z+n0)*A/C**2])
46
47
48 x,Z=euler(fonc, 0., l, z0, dzdx0, dx)
49
50 listezcourb = [Z[k][0] for k in range(len(x))]
51
52 # Courbes
53 plt.plot(x, listezcourb, 'black')
54 plt.show()

```

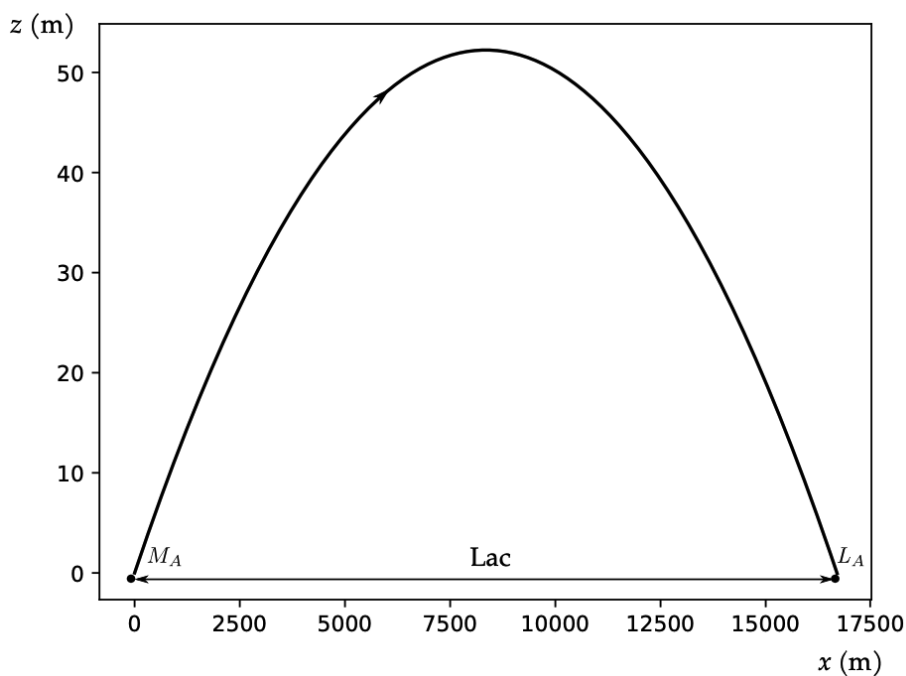


Figure 12 - Trajectoire des rayons lumineux - Modèle avec un gradient d'indice. Le schéma n'est pas à l'échelle.

Sujet épreuve disciplinaire 2022

Partie B : Composition de chimie

Les acides α -aminés

La glycine, un acide α -aminé présent dans les protéines, ingrédient essentiel à la vie sur Terre, a été détecté pour la première fois sur la comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko par la sonde européenne Rosetta. Nous allons nous intéresser ici à l'étude de la glycine et des acides α -aminés en général. Nous étudierons leurs propriétés en solution aqueuse dans une première partie, les protéines et leur apport calorique dans une deuxième partie, et la production industrielle d'acides aminés dans la dernière partie.

Plan du sujet

- I. Les acides aminés en solution aqueuse**
- II. Les protéines**
 1. Synthèse peptidique : synthèse du dipeptide alanine-glycine
 2. Protéines dans l'alimentation et apport calorique : Apport calorique du dipeptide phénylalanine – acide aspartique.
- III. Production industrielle d'acides aminés – industrie pharmaceutique**
 1. Obtention de la (-)-cystéine par électrosynthèse
 2. Propriétés antioxydantes de la cystéine

DOCUMENTS ANNEXES POUR LE SUJET :

- Document 1.** Synthèse du dipeptide alanine-glycine, Ala-Gly
Document 2. Détermination de l'apport calorique des aliments

Données

- Structure chimique de quelques acides α -aminés**

Formule générale				$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{R} \end{array}$		
Nom de l'acide aminé	Glycine	Asparagine	Thréonine	Cystéine	Acide aspartique	Phénylalanine
Structure chimique du groupement R	H	$\text{CH}_2 - \text{CONH}_2$	$\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$	CH_2SH	CH_2COOH	CH_2Ph

- Numéros atomiques et masses molaires atomiques :**

Élément	H	C	N	O	S
Numéro atomique	1	6	7	8	16
Masses molaires atomiques ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	1,0	12,0	14,0	16,0	32,1

- Constante des gaz parfaits :** $R = 8,31 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;
- Constante de Faraday :** $F = 96500 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- Grandeurs thermodynamiques (à 298 K) :**
 - Autoprotolyse de l'eau :** $pK_e = 14,0$;
 - Propriétés acido-basiques de différents couples acide/base de Brønsted :**
 - Acide carboxylique ($\text{R} - \text{COOH} / \text{R} - \text{COO}^-$) : $pK_a \approx 4$;
 - Amine : ($\text{R} - \text{NH}_3^+ / \text{R} - \text{NH}_2$) : $pK_a \approx 10$;
 - Glycine : $pK_{a_1} = 2,3$; $pK_{a_2} = 9,6$;
 - Asparagine : $pK_{a_1} = 2,2$; $pK_{a_2} = 8,7$;
 - Thréonine : $pK_{a_1} = 2,6$; $pK_{a_2} = 10,4$;
 - Cystéine : $pK_{a_1} = 1,7$; $pK_{a_2} = 8,3$; $pK_{a_3} = 10,8$;
- Enthalpies standard de formation à 298 K :**

	Urée (s)	O_2 (g)	CO_2 (g)	H_2O (l)
$\Delta_f H^\circ$ ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)	-333,1		-393,5	-285,8

- Capacité thermique de l'eau liquide :** $c_{eau} = 4,18 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$;
- Potentieux standard à $pH = 0$ et à 298 K :**

Couples	H^+ (aq) / H_2 (g)	O_2 (g) / H_2O (l)	RSSR (aq) / RSH (aq)
E° (V)/ESH	0,00	1,23	0,08

- **Conductivités limites molaires** : la glycine est notée GH

ion	Na^+	HO^-	GH_2^+	G^-
$\lambda_i^\circ (mS \cdot m^2 \cdot mol^{-1})$	5,01	19,8	3,43	1,50

- **Incertitudes**

- Incertitude type sur les volumes V

$u(V)$	Burette graduée	Pipette de 25 mL		Fiole jaugée de 50 mL
		Jaugée	Graduée	
	0,1 mL	0,05 mL	0,2 mL	0,1 mL

Il est rappelé que l'incertitude type $u(A)$ de la grandeur $A = \frac{X \times Y}{Z}$ est déterminée

par la relation : $\frac{u(A)}{A} = \sqrt{\left(\frac{u(X)}{X}\right)^2 + \left(\frac{u(Y)}{Y}\right)^2 + \left(\frac{u(Z)}{Z}\right)^2}$.

I. Les acides aminés en solution aqueuse

Les acides α -aminés, de formule générale $R - CH(NH_2) - COOH$, sont les constituants des protéines, macromolécules naturelles aux fonctions biologiques multiples. Le plus simple d'entre eux est la glycine $H_2N - CH_2 - COOH$. Dans cette partie, nous allons nous intéresser à ses propriétés. C'est un solide incolore, soluble dans l'eau.

Q1. Nommer les fonctions chimiques présentes dans les acides aminés. Donner le nom de la glycine en nomenclature IUPAC.

Q2. Donner la configuration électronique des atomes constituant la glycine. En déduire le schéma de Lewis de celle-ci.

Q3. La glycine présente des propriétés acido-basiques auxquelles on peut associer deux grandeurs notées pK_{a_1} et pK_{a_2} .

- Donner la définition de la grandeur K_a et de la grandeur pK_a associée pour un couple acide/base de Brønsted.
- En analysant les valeurs pK_{a_1} et pK_{a_2} de la glycine, montrer que la forme moléculaire $H_2N - CH_2 - COOH$ est ultra-minoritaire dans l'eau devant la forme zwitterionique.
- Établir un diagramme de prédominance de la glycine en précisant les représentations moléculaires des espèces majoritaires dans chaque domaine.

On s'intéresse à présent à l'électrophorèse, technique chromatographique mettant en jeu la migration de particules chargées sous l'action d'un champ électrique. Elle permet de séparer et d'analyser un mélange de plusieurs acides aminés.

L'échantillon à analyser (contenant le mélange d'acides aminés) est déposé au centre d'un support solide conducteur soumis à un champ électrique entre ses deux extrémités (**Figure 1**).

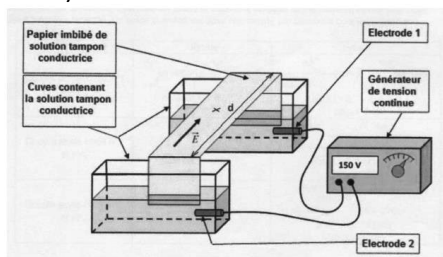


Figure 1 - Dispositif d'électrophorèse
(Source : bac S Nouvelle Calédonie 2016).

On appelle pI isoélectrique d'une espèce chimique, noté pI , le pH pour lequel cette espèce ne migre pas dans un champ électrique. On peut prévoir la valeur du pI en calculant le pH pour lequel la charge nette de l'espèce étudiée est nulle, à partir des valeurs pK_a associées aux propriétés acido-basiques des différents groupements ionisables de la molécule.

Q4. Démontrer que le pH isoélectrique de la glycine est égal à $pI = (pK_{a_1} + pK_{a_2}) / 2$.

Un mélange de trois acides aminés : glycine, asparagine et thréonine est déposé sur la ligne centrale. Le résultat de la **figure 2** est obtenu après l'établissement du champ électrique.

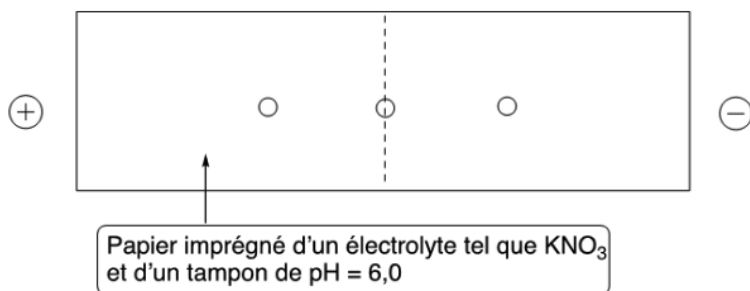


Figure 2 - Résultat de la séparation par électrophorèse d'un mélange de glycine, asparagine et thréonine.

Q5. Détailler la démarche permettant d'identifier les trois acides aminés sur le résultat de l'électrophorèse, puis positionner qualitativement les trois acides aminés à la fin de l'expérience.

La glycine est un additif alimentaire, noté E640. Elle est également vendue comme complément alimentaire. On souhaite vérifier que ce complément est bien de la glycine pure comme indiqué sur l'étiquette. On prépare une solution (S) en dissolvant une masse $m = 0,10$ g de complément dans 25,0 mL d'eau. Cette solution (S) est complétée à $V_0 = 50$ mL par de l'eau distillée puis dosée par une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $c_T = 0,100 \pm 0,001$ mol·L⁻¹. Le dosage est suivi par pH -métrie et conductimétrie. Les résultats obtenus sont reportés sur la **figure 3**.

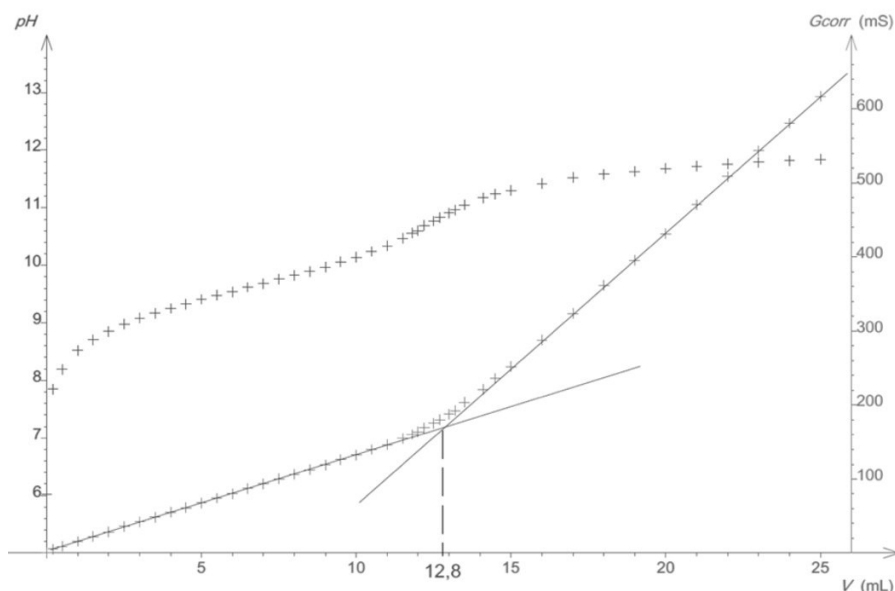


Figure 3 - Résultat du suivi pH-métrique et conductimétrique obtenus lors du dosage de la solution (S).

La conductance corrigée, G_{corr} , est définie à partir de la conductance G par la relation $G_{corr} = G \times \frac{V_0 + V}{V_0}$. Dans cette relation, V désigne le volume de titrant ajouté.

Q6. Rappeler la (les) grandeur(s) physique(s) mesurée(s) lors d'une mesure conductimétrique. Préciser le lien entre cette (ces) grandeur(s) et la conductivité.

Q7. Exploitation les résultats obtenus

- Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation qui a lieu lors du dosage.
- Exploiter les résultats expérimentaux de la **figure 3** de manière à déterminer la masse de la glycine dans la solution (S).
- Calculer l'incertitude type $u(m)$ sur la masse.
- Le complément alimentaire est-il de la glycine pure ? Justifier.

Q8. Montrer, en justifiant la réponse, que l'exploitation d'une des courbes de la **figure 3** permet d'accéder à une grandeur thermodynamique caractéristique des couples acido-basiques.

II. Les protéines

1. Synthèse peptidique : synthèse du dipeptide alanine-glycine

Les protéines sont des chaînes d'acides aminés qui peuvent entrer dans la composition des muscles, de la peau, des ongles, des poils, du sang, etc. La synthèse peptidique est le processus consistant à faire réagir différents acides aminés afin de former des polypeptides ou des protéines. Dans la mesure où l'ordre d'enchaînement de ces acides aminés est d'une importance cruciale, la synthèse peptidique nécessite la mise en œuvre d'une stratégie spécifique que l'on se propose d'illustrer ici sur l'exemple de la synthèse d'un dipeptide alanine-glycine dont la formule est donnée dans la **figure 4**. Le schéma de la synthèse est donné dans le **document 1. en annexe**.

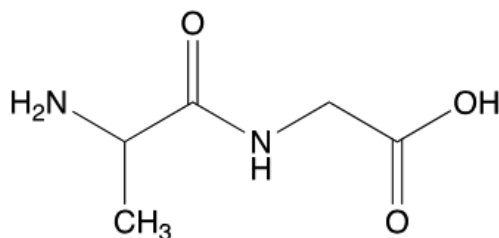


Figure 4 - Formule topologique du dipeptide alanine-glycine.

Q9. Représenter les différents stéréoisomères de configuration de l'alanine. Préciser, en justifiant le classement, les configurations absolues du(des) atome(s) de carbone asymétrique(s) et indiquer la(les) relation(s) d'isomérisation qui les lient.

Q10. Identifier la fonction chimique créée lors de la formation du dipeptide.

Q11. Expliciter la (les) raison(s) pour laquelle ou lesquelles on ne fait pas directement réagir l'alanine avec la glycine.

Q12. Analyser le **document 1. en annexe** en explicitant le rôle de chacune des étapes en termes de stratégie de synthèse.

Q13. Donner le mécanisme de l'étape 2 en assimilant le réactif **A** à un chlorure d'acide.

Q14. Identifier le produit **B** de l'étape 3.

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

Les protéines alimentaires sont des macronutriments indispensables car non seulement elles constituent une source d'acides aminés naturels essentiels (au nombre de 8) qui ne peuvent pas être synthétisés par l'organisme, mais elles fournissent également de l'énergie au même titre que les lipides et les glucides. On se propose ici de déterminer l'apport calorique moyen, par gramme de protéine, en prenant comme modèle le dipeptide phénylalanine - acide aspartique. Le **document 1. en annexe** présente la méthode employée en thermochimie alimentaire.

Q15. Exploitation du **document 2**.

- Écrire l'équation de la réaction qui modélise la combustion du dipeptide dans la bombe calorimétrique, sachant qu'à l'issue de la combustion, l'élément azote se retrouve sous forme de diazote gazeux et l'eau produite est à l'état liquide.
- À l'aide des données thermodynamiques et des résultats expérimentaux présentés dans le **document 2. en annexe**, évaluer le pouvoir calorifique PC du dipeptide exprimé en $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$.
- Déduire de la question précédente l'enthalpie standard de combustion du dipeptide.

Les valeurs des apports caloriques des aliments protéinés indiqués sur les emballages diffèrent de celles que l'on peut déterminer par calorimétrie. La raison en est que, lors de la combustion, l'azote contenu dans les protéines conduit à la formation de diazote alors que lors de leur métabolisme, l'azote des aliments est converti en urée $(\text{NH}_2)_2\text{C} = \text{O}$.

Q16. Modélisation de la métabolisation du dipeptide par l'organisme

- Écrire l'équation de la réaction qui modélise le métabolisme du dipeptide dans l'organisme.
- À l'aide des données thermodynamiques, déterminer la valeur du pouvoir calorifique PC du dipeptide exprimé en $\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$.

Q17. Commenter l'étiquette d'un complément alimentaire riche en protéines reproduite dans la **figure 5**.

3 Whey			Par	30 gr.	100 gr.
	Par	30 gr.	100 gr.		
Valeur		492 kJ	1640 kJ		
énergétique		115,8 kcal	386 kcal		
Protéines		22 gr.	73 gr.	Aspartate	2,3 gr.
Glucides		3,83 gr.	12,75 gr.	Serine	0,97 gr.
Lipides		1,55 gr.	5,16 gr.	Histidine	0,36 gr.
Arginine		0,45 gr.	1,49 gr.	Thréonine	1,39 gr.
Alanine		1,05 gr.	3,49 gr.	Proline	1,15 gr.
Leucine		2,21 gr.	7,36 gr.	Tyrosine	0,55 gr.
Fenylalanine		0,63 gr.	2,11 gr.	Valine	1,23 gr.
Tryptophane		0,29 gr.	0,98 gr.	Méthionine	0,46 gr.
Lysine		2,07 gr.	6,89 gr.	Cystine	0,46 gr.
Isoleucine		1,33 gr.	4,45 gr.	Acide glutamique	4,76 gr.
				Glycine	0,30 gr.
				Complexe d'enzymes digestives	49,8 mg.
					166 mg.

Figure 5 - Étiquette d'un complément alimentaire.

III. Production industrielle d'acides aminés – industrie pharmaceutique

Au cours de ces dernières années, la liste des acides aminés utilisés dans l'industrie pharmaceutique a considérablement augmenté (arginine, acides aminés aromatiques, cystéine, etc...).

Il existe plusieurs modes de production des acides aminés dont l'électrosynthèse.

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

Pour obtenir directement l'énantiomère naturel d'un acide aminé, une possibilité est de l'extraire directement des protéines. Ainsi, traditionnellement, la *L* –cystéine est produite à partir de kératine, laquelle est obtenue par exemple à partir de plumes dont on extrait la cystine. La cystéine (notée RSH) est ensuite obtenue par réduction électrochimique de la cystine (notée RSSR) en milieu acide.

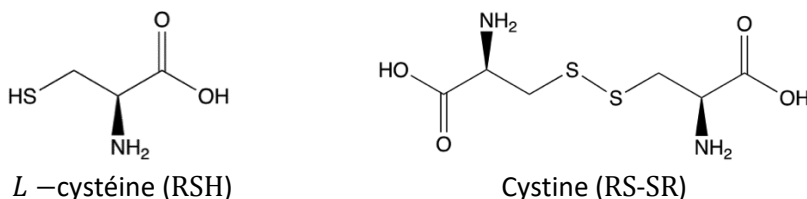


Figure 6 - Structure chimiques de la (*L*) –cystéine de la cystine.

La cellule d'électrolyse utilisée pour la production de cystéine est représentée dans la **figure 7**. Une membrane sépare les compartiments anodique et cathodique et permet le passage des ions hydrogène H^+ .

Caractéristiques : l'électrolyte utilisé est une solution d'acide chlorhydrique, la tension d'électrolyse est de 3,0 V.

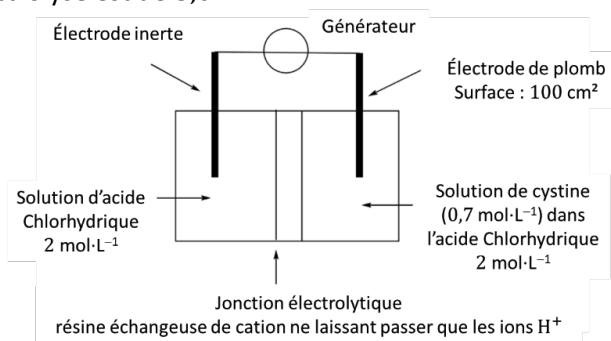


Figure 7 - Schéma de la cellule d'électrolyse utilisée pour la production de la cystéine.

Q18. Recopier le schéma de la cellule d'électrolyse et le compléter en indiquant le sens de branchement du générateur, l'anode, la cathode, le sens de déplacement des porteurs de charge et les réactions électrochimiques ayant lieu à chaque électrode.

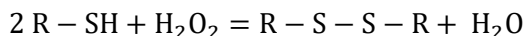
Q19. Sachant que le rendement faradique est de 90 %, déterminer l'énergie nécessaire pour produire 50 g de cystéine.

2. Propriétés antioxydantes de la cystéine

En raison de leur capacité à piéger les espèces réactives de l'oxygène, les composés contenant des fonctions thiol peuvent être très efficaces comme antioxydants et ainsi permettre la stabilisation des produits pharmaceutiques. Cependant, cette propension à l'oxydation rend plus difficile la formulation de protéines et de peptides contenant des résidus cystéine libres. C'est la raison pour laquelle de nombreuses études s'intéressent à la cinétique d'oxydation de la cystéine en cystine par des dérivés de l'oxygène.

On étudie ici la réaction d'oxydation de la cystéine avec le peroxyde d'hydrogène, H_2O_2 , en milieu tamponné aqueux sur une large gamme de pH (allant de 4 à 13) et pour des rapports variables de concentrations initiales en réactif. La réaction est suivie par chromatographie liquide haute performance (CLHP) en phase inverse, technique qui permet de déterminer simultanément les concentrations en eau oxygénée, cystéine et produit.¹

L'équation de la réaction modélisant l'oxydation de la cystéine par le peroxyde d'hydrogène est la suivante :



Pour expliquer cette transformation à l'échelle microscopique le mécanisme présenté dans la **figure 8** est postulé. Dans ce mécanisme, les hypothèses suivantes, *i)* et *ii)*, sont considérées : *i)* les actes [1] et [-1] sont en pré-équilibre rapide ; *ii)* l'acte [3] est beaucoup plus facile que l'acte [2]. Les intermédiaires réactionnels sont $R - SOH$ et $R - S^-$. Le but de l'étude est de vérifier si le mécanisme modèle proposé est compatible avec les données expérimentales.

¹ Kinetics and Mechanism of the Reaction of Cysteine and Hydrogen Peroxide in Aqueous Solution. D. Luo et al. J. Pharm.Sciences, 2004, vol 92, n°2, p 304- 316

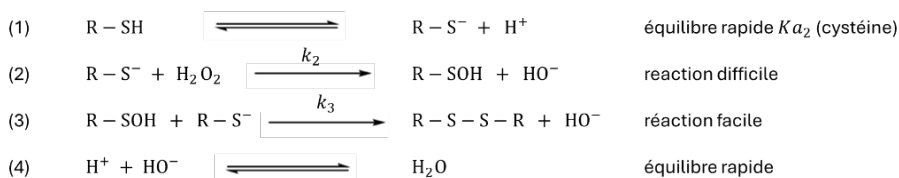


Figure 8 - Mécanisme proposé pour la réaction d'oxydation de la cystéine par le peroxyde d'hydrogène.

Q20. Expliquer l'Approximation des États Quasi Stationnaires (AEQS), puis indiquer en justifiant la réponse s'il est possible d'appliquer cette approximation à chacun des intermédiaires réactionnels.

Q21. Montrer en utilisant le mécanisme réactionnel de la **figure 8**, que dans le cas d'un milieu réactionnel tamponné, la loi de vitesse de la réaction s'écrit $v = k[\text{R-SH}][\text{H}_2\text{O}_2]$, k étant une constante dont l'expression sera donnée.

L'étude expérimentale décrite ci-dessous est proposée, en regard de la modélisation proposée ci-dessus.

Expérience n°1 :

$[\text{RSH}]_0 = 40,0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 400 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; $p\text{H}$ fixé par une solution tampon : $p\text{H} = 6,0$; $T = 25^\circ\text{C}$

$t \text{ (s)}$	0	5	10	15	20	40	60
$[\text{RSH}] \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	40,0	24,7	15,2	9,4	5,8	0,84	0,12

Expérience n°2 :

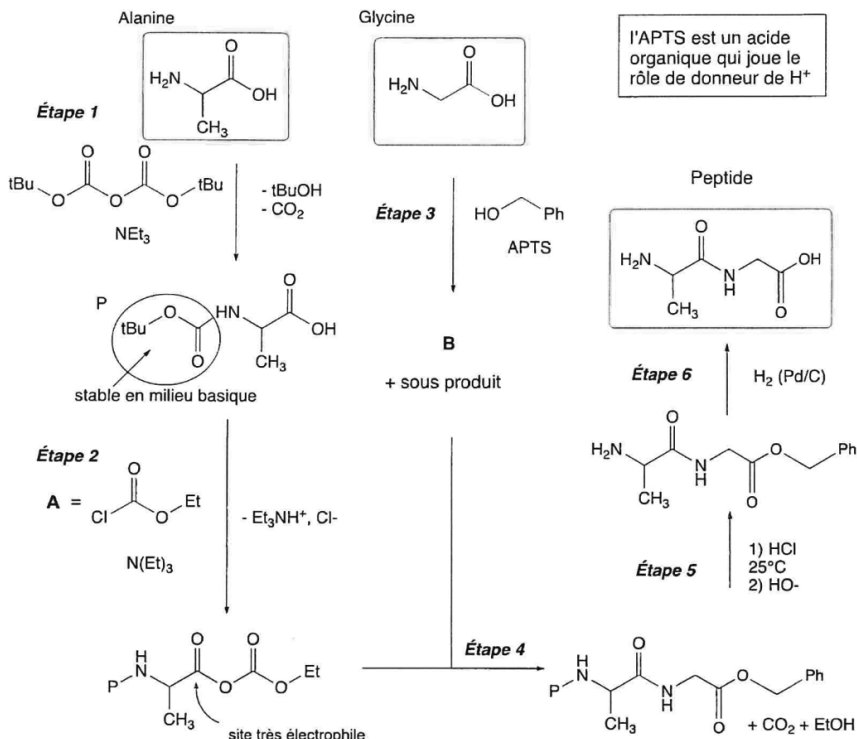
$[\text{RSH}]_0 = 40,0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 20,0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; $p\text{H}$ fixé par une solution tampon : $p\text{H} = 6,0$; $T = 25^\circ\text{C}$

$t \text{ (s)}$	0	10	50	100	500	1000	2000
$[\text{RSH}] \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	40,0	38,1	32,2	27,0	11,7	6,9	3,7

Q22. Montrer que les expériences n°1 et n°2 mises en œuvre permettent de valider le mécanisme postulé. Déterminer, à partir de ces résultats expérimentaux, la valeur de k .

Annexes

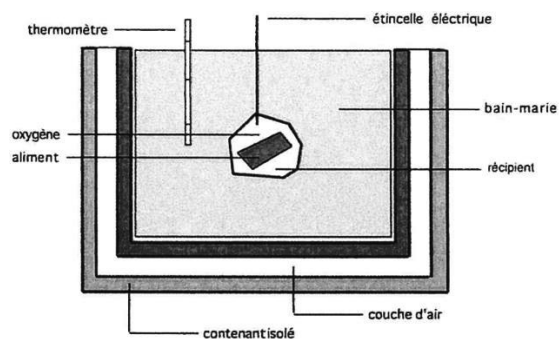
Document 1. Synthèse du dipeptide alanine-glycine, Ala-Gly



Document 2. Détermination de l'apport calorifique des aliments

Pour accéder à l'apport énergétique des aliments, il est possible d'utiliser la calorimétrie indirecte, laquelle repose sur la mesure du transfert thermique mis en jeu lors de la combustion des aliments (thermochimie alimentaire).

Pour cela, on réalise la combustion dans un récipient placé dans une enceinte calorifugée remplie d'eau. Un morceau d'aliment est introduit dans le récipient et celui-ci est ensuite rempli de dioxygène. Un courant électrique permet d'enflammer le mélange {aliment-dioxygène}. L'énergie libérée par la combustion de l'aliment est alors transmise à l'eau du bain entourant le récipient dont on mesure la température. Le transfert thermique libéré par l'oxydation représente la valeur énergétique totale de l'aliment. Ramené à un gramme d'aliment, ce transfert thermique définit son pouvoir calorifique PC exprimé en $kJ \cdot g^{-1}$ qui est égal à l'opposé de l'enthalpie de la réaction de combustion par unité de masse.



Volume d'eau : 2000 mL. La combustion de 2,00 g du dipeptide phénylalanine – acide aspartique ($C_{13}H_{16}N_2O_6$) conduit à une augmentation de la température de l'eau de 4,10 °C.

Sujet épreuve disciplinaire appliquée 2022

Plan du sujet

- Partie 1 – La modélisation en physique-chimie
- Partie 2 – Étude de la poussée d'Archimède
- Partie 3 – Quotient de réaction à l'état final
- Partie 4 – Le concept d'énergie : enjeux et continuité
- Partie 5 – Optimisation de la synthèse d'un arôme de framboise

Annexes

Annexe 1 – Ressources utiles pour la partie 1 du sujet

- 1.A. Extrait d'un livre de didactique sur la modélisation
- 1.B. Activité proposée dans le cadre de l'enseignement de sciences physiques et chimiques en laboratoire de la classe de terminale de la série STL-SPCL
- 1.C. Photographies de figures obtenues sur une cuve à ondes
- 1.D. Diverses représentations ou énoncés à propos des piles
- 1.E. Activité expérimentale évaluée

Annexe 2 – Ressources utiles pour la partie 2 du sujet

- 2.A. Activité proposée en classe de terminale de la voie générale
- 2.B. Activité visant à exploiter l'expression de la poussée d'Archimède

Annexe 3 – Ressources utiles pour la partie 3 du sujet

- 3.A. Activité expérimentale traitant du quotient de réaction à l'état final
- 3.B. Résultats obtenus lors du test de l'activité par l'enseignant

Annexe 4 – Ressources utiles pour la partie 4 du sujet

- 4.A. Activité proposée dans le cadre de l'enseignement de spécialité physique-chimie et mathématiques en classe de terminale STL-SPCL
- 4.B. Activité sur le thème de l'énergie interne
- 4.C. Réponses d'élèves à deux questions d'une évaluation diagnostique

Annexe 5 – Ressources utiles pour la partie 5 du sujet

- 5.A. Activité documentaire sur la synthèse de l'arôme de framboise
- 5.B. Extrait du document distribué aux élèves lors d'une activité expérimentale portant sur la synthèse d'un composé à l'odeur de framboise
- 5.C. Protocole d'une estérification utilisant un appareil Dean Stark

Annexe 6 – Extraits de programmes officiels

Documents réponses (D.R.)

D.R.1. Diagramme des deux mondes

D.R.2. Extrait du compte rendu d'un élève

Partie 1 – La modélisation en physique-chimie

Les programmes de physique-chimie de lycée mettent en avant la pratique expérimentale et l'activité de modélisation, afin de donner aux élèves une vision authentique de la discipline. La démarche de modélisation vise à établir des liens entre le « monde » des objets, des expériences, des faits, et le « monde » des modèles et des théories. L'annexe **1.A** décrit cette mise en relation comme pouvant s'opérer en physique-chimie mais également dans la vie quotidienne.

Objectifs de cette partie

- Analyser des ressources et des situations pédagogiques à la lumière de la démarche de modélisation ;
- Proposer des situations pédagogiques favorisant la mise en œuvre d'une activité de modélisation par les élèves.

Q1. On s'intéresse dans un premier temps aux modèles qui ont une fonction descriptive : ils permettent de regrouper dans une même catégorie des dispositifs, des objets, des événements qu'on caractérise de façon identique en science en sélectionnant quelques unes de leurs propriétés. L'annexe **1.B** propose une introduction à la notion d'onde dans le cadre du programme de sciences physiques et chimiques en laboratoire de la classe de terminale de la série STL-SPCL.

- a) Affecter chacune des situations suivantes à un des ensembles repérés par les lettres A à D de la figure 1 de l'annexe **1.A** que l'on reproduira sur la copie :
 - une « échelle de perroquet » (ou ondoscope) dont on déplace une des extrémités ;
 - une vague arrivant sur une plage ;
 - un grondement de tonnerre ;
 - une succession de vagues observées grâce à une « cuve à ondes ».
- b) Rédiger la définition d'une onde que vous proposeriez aux élèves préalablement à l'activité de l'annexe **1.B**.
- c) Proposer un corrigé à destination des élèves de l'activité de l'annexe **1.B**.
- d) Indiquer, pour l'activité de l'annexe **1.B**, le choix didactique fait quant au lien à établir par les élèves entre « les deux mondes » évoqués dans l'annexe **1.A**.

Q2. Pour modéliser la propagation des sons, on trouve dans certains manuels scolaires la description d'une expérience illustrant que la flamme d'une bougie placée devant un haut-parleur émettant brusquement un son fort ne s'incline

pas (et ne s'éteint pas). Décrire le modèle « de la vie quotidienne » (ensemble D de l'annexe 1.A) que cette expérience vise à mettre en défaut.

Q3. En enseignement de spécialité de la classe terminale de la voie générale, les élèves découvrent des modèles explicatifs au sujet des ondes pour interpréter différents phénomènes. On s'intéresse dans cette question au phénomène d'interférences. Pour mettre en évidence le phénomène, un enseignant réalise en classe l'expérience suivante : il alimente deux haut-parleurs identiques avec le même signal sinusoïdal de fréquence voisine de 1 kHz ; les haut-parleurs sont posés sur le bureau du professeur, ils sont distants d'environ 2 m et émettent dans la même direction (vers le fond de la salle), puis les élèves sont invités à circuler latéralement dans la salle en se bouchant une oreille.

- a) Décrire la perception auditive d'un élève au cours de son déplacement.
- b) Schématiser cette situation et indiquer les concepts que les élèves doivent maîtriser pour pouvoir interpréter l'observation.
- c) Établir les conditions d'interférences constructives et destructives.
- d) Estimer quantitativement une distance caractéristique du phénomène perçu par un élève se déplaçant latéralement au fond de la salle. Commenter. Le candidat précisera les valeurs des grandeurs qu'il jugera opportun d'introduire.

Q4. Pour que les élèves puissent tester les conditions d'interférences constructives et destructives dans le cas de deux ondes à la surface de l'eau issues de deux sources ponctuelles en phase, un enseignant réalise deux photos de la même situation observée sur une « cuve à ondes », présentées dans l'annexe 1.C.

- a) Justifier à l'aide d'un argument qualitatif que les zones claires de la photographie réalisée avec une grande durée d'exposition indiquent les lieux d'interférences constructives.
- b) Traduire mathématiquement la condition d'interférences constructives. On rappelle la définition bifocale de l'hyperbole en mathématiques : ensemble des points M tels que, pour deux points fixes F et F', $|MF - MF'| = 2a$ où a est un réel inférieur à la distance $\frac{FF'}{2}$. Commenter alors qualitativement l'allure de la figure obtenue avec un grand temps d'exposition.
- c) Formuler une unique question visant à faire tester aux élèves la condition d'interférences constructives dans la situation étudiée en s'appuyant sur les photographies de l'annexe 1.C. Une dimension quantitative est attendue. Préciser la réponse attendue.

- d) Formuler une réponse à un élève qui, après l'introduction de la notion d'interfrange en optique, demanderait à l'enseignant où l'on peut voir l'interfrange dans le cas des ondes à la surface de l'eau.

Q5. L'annexe **1.D** propose différentes représentations ou énoncés qu'on peut rencontrer dans les manuels scolaires de spécialité physique-chimie de la classe de terminale de la voie générale ou dans des productions d'élèves au sujet du fonctionnement d'une pile.

- a) Positionner chacune des représentations de l'annexe **1.D**, repérées par leur numéro, sur le **document-réponse D.R.1 à rendre avec la copie**.
- b) L'activité décrite dans l'annexe **1.E** permet de mettre en œuvre une démarche de modélisation. Sur le **document-réponse D.R.1 à rendre avec la copie**, représenter par des flèches les questions qui permettent de faire des liens entre le monde des objets et des événements et le monde des théories et modèles. Chaque flèche sera associée à une ou plusieurs lettres correspondant aux questions. Toutes les questions ne seront pas obligatoirement mentionnées.
- c) Proposer une correction à destination des élèves de la question f) de l'annexe **1.E**, mettant en évidence la démarche de modélisation.
- d) Proposer une expérience qui, par une autre méthode, permettrait d'estimer la valeur de la capacité électrique de la pile et donc de tester la cohérence de deux modèles, l'un électrochimique, l'autre électrique.
- e) À l'issue de cette activité, un élève demande à l'enseignant pourquoi une pile s'use et comment fonctionnent les piles rechargeables ? Proposer une réponse qui s'appuie explicitement sur la modélisation.

Q6. Citer un autre exemple de modèle descriptif, enseigné au lycée ou au collège, qui ne donne lieu à aucune expression mathématique.

Partie 2 – Étude de la poussée d'Archimède

Le théorème d'Archimède est une des plus anciennes relations connues, énoncée par Archimède dans son *Traité des corps flottants* au III^e siècle av. J.-C, et démontrée seulement au XVI^e siècle. La « poussée d'Archimède » figure dans le programme de physique-chimie et mathématiques de la classe de première STL et dans celui de la spécialité physique-chimie de la classe de terminale générale. Pour cette partie, on se place dans le cadre de ce dernier programme.

Objectifs de cette partie

- Analyser des activités permettant d'introduire et d'exploiter la poussée d'Archimède ;
- Identifier quelques difficultés d'apprentissage au sujet de l'étude des fluides ;
- Élaborer une séquence pédagogique, comportant deux séances, pour traiter la partie du programme de spécialité de terminale générale présentée ci-dessous :

3. Modéliser l'écoulement d'un fluide	
Notions et contenus	Capacités exigibles Activités expérimentales support de la formation
Poussée d'Archimède.	Expliquer qualitativement l'origine de la poussée d'Archimède. Utiliser l'expression vectorielle de la poussée d'Archimède. <i>Mettre en œuvre un dispositif permettant de tester ou d'exploiter l'expression de la poussée d'Archimède.</i>

Q7. Pour introduire la notion de poussée d'Archimède, un enseignant de spécialité physique-chimie de la classe de terminale de la voie générale propose l'activité décrite dans l'annexe **2.A**, inspirée d'une activité conçue initialement pour la classe de première STL.

- Répondre, en anticipant éventuellement sur les observations, aux questions 1, 2, 3, 5 et 7.
- Rédiger une fiche synthèse, à destination des élèves et faisant suite à cette activité, présentant d'une part l'origine physique de la poussée d'Archimède, d'autre part son expression vectorielle avec les conditions de sa validité.

Q8. L'expression de la poussée d'Archimède permet aussi de déterminer expérimentalement la masse volumique d'un liquide.

- a) Concevoir un énoncé pour une activité expérimentale faisant suite à l'activité de l'annexe **2.A**, visant à exploiter l'expression de la poussée d'Archimède afin de déterminer la masse volumique d'une eau saturée en sel. L'énoncé comportera quatre questions au maximum.
- b) Un élève mesure les valeurs suivantes :
 - Poids de l'objet immergé : 2,0 N ;
 - Tension du ressort lorsque l'objet est immergé dans l'eau saturée en sel : 1,7 N ;
 - Volume de l'objet : 25 mL.

Calculer la valeur obtenue pour la masse volumique de l'eau saturée en sel. Commenter.

Q9. Pour permettre aux élèves d'exploiter la poussée d'Archimède, mais également pour les exercer à utiliser les lois de Newton de la mécanique, un enseignant propose l'activité présentée dans l'annexe **2.B** (balance d'Archimède). La question 2 (exploitation) n'est proposée qu'après la prévision et l'expérience, et dépend de la prévision faite. Cette activité est conduite en binôme. Des travaux de recherche ont pu montrer qu'une grande partie des élèves, y compris au niveau post-baccalauréat, prévoient que l'indication de la balance ne change pas.

- a) Interpréter la proposition d'une telle réponse en formulant au moins une hypothèse erronée qui peut conduire des élèves à prévoir une absence de changement.
- b) Rédiger une correction de l'activité, et en déduire une formulation de la partie manquante, indiquée en pointillés, de la question 2 qui permet d'aider les élèves n'ayant pas formulé la bonne prévision.

Élaboration de la séquence pédagogique

Q10. Proposer, de manière synthétique, le contenu d'une séquence d'enseignement constituée de deux séances visant à traiter la partie du programme présentée en introduction. Les activités expérimentales présentées dans les annexes **2.A** et **2.B** pourront être utilisées.

Le candidat :

- proposera une contextualisation et une problématique pour la séquence ;
- explicitera les objectifs et les contenus de chacune des deux séances ;
- décrira une tâche complexe qu'il proposera aux élèves sur ce thème à l'issue de cette séquence.

Partie 3 – Quotient de réaction à l'état final

Objectifs de cette partie

Un enseignant de la spécialité physique-chimie en classe de terminale de la voie générale souhaite construire une séquence pédagogique, comportant plusieurs séances, pour traiter la partie du programme de spécialité de terminale de la voie générale présentée ci-dessous.

Constitution et transformations de la matière	
3. Prévoir l'état final d'un système, siège d'une transformation chimique	
Notions et contenus	Capacités exigibles Activités expérimentales support de la formation
A) Prévoir le sens de l'évolution spontanée d'un système chimique	
État final d'un système siège d'une transformation non totale : état d'équilibre chimique. Modèle de l'équilibre dynamique. Quotient de réaction Q_r. Système à l'équilibre chimique : constante d'équilibre $K(T)$. Critère d'évolution spontanée d'un système hors équilibre chimique.	Relier le caractère non total d'une transformation à la présence, à l'état initial du système, de tous les réactifs et de tous les produits. <i>Mettre en évidence la présence de tous les réactifs dans l'état final d'un système siège d'une transformation non totale, par un nouvel ajout de réactifs.</i> Déterminer le sens d'évolution spontanée d'un système. Déterminer un taux d'avancement final à partir de données sur la composition de l'état final et le relier au caractère total ou non total de la transformation. <i>Déterminer la valeur du quotient de réaction à l'état final d'un système, siège d'une transformation non totale, et montrer son indépendance vis-à-vis de la composition initiale du système à une température donnée.</i>

Phase préparatoire à l'élaboration de la séquence pédagogique

L'une des activités de la séquence est une activité expérimentale décrite dans les annexes **3.A** et **3.B**. On propose dans un premier temps d'analyser et de compléter cette activité avant de l'intégrer dans la séquence pédagogique présentée en introduction de cette partie.

Q11. Dans un objectif de spiralisation, l'enseignant souhaite faire réaliser un étalonnage par spectrophotométrie, ce qui constitue l'objet de la première partie de l'activité présentée dans les annexes **3.A** et **3.B**. La longueur d'onde de travail choisie par l'enseignant est 580 nm.

- a) Proposer une réponse à un élève qui demanderait à l'enseignant pourquoi on apprend qu'il faut, dans la mesure du possible, choisir la longueur d'onde correspondant au maximum d'absorption.
- b) En déduire l'inconvénient du choix fait pour la valeur de la longueur d'onde dans cette activité mais le justifier au regard de la finalité de l'expérience.
- c) L'enseignant fait en sorte que les valeurs d'absorbance ne dépassent pas 1,5. Justifier ce choix et estimer à l'aide du spectre donné en annexe **3.B** et de la longueur d'onde choisie, la valeur maximale de la concentration en $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$ pour réaliser l'étalonnage.

Q12. Proposer la rédaction de la première partie « étalonnage par spectrophotométrie » de l'activité en cours d'élaboration de l'annexe **3.A**, comportant au maximum 5 questions, et réinvestissant à la fois les notions nécessaires à la réalisation d'un dosage par étalonnage spectrophotométrique et les techniques qui lui sont liées. Cette première partie doit conduire les élèves à réaliser des mesures. Un exemple de résultats obtenus est donné dans l'annexe **3.B**.

Q13. L'annexe **3.B** rassemble les résultats obtenus par le professeur lors de la préparation de l'activité expérimentale décrite dans l'annexe **3.A**.

- a) Calculer la valeur $Q_{r,f}$ obtenue pour la solution S1.
- b) Interpréter la variabilité des valeurs du quotient réactionnel à l'état final obtenues expérimentalement et présentées dans l'annexe **3.B**, en identifiant les choix réalisés et les étapes du protocole qui peuvent en être l'origine.

Élaboration de la séquence pédagogique

Q14. Proposer, de manière synthétique, le contenu d'une séquence d'enseignement constituée de plusieurs séances visant à traiter la partie du programme présentée en introduction. L'activité expérimentale de l'annexe **3.A** étudiée dans les questions précédentes constituera l'une des activités de la séquence.

Le candidat :

- détaillera la nature des différentes briques élémentaires constitutives de la séquence : types d'activités, phase d'institutionnalisation, évaluations ;
- proposera un découpage de la séquence en séances en explicitant l'objectif de chaque séance et l'articulation des briques élémentaires au sein de chaque séance ;
- rédigera intégralement la trace écrite qui figurera dans le cahier de cours des élèves institutionnalisant les savoirs sur cette partie du programme.

Partie 4 – Le concept d'énergie : enjeux et continuité

Le concept d'énergie est utilisé dans tous les programmes de physique-chimie de collège et de lycée. L'analyse de phénomènes variés du point de vue de l'énergie constitue un objectif d'apprentissage majeur et pérenne au cours de l'histoire de l'enseignement secondaire.

Objectifs de cette partie

- Produire et analyser des ressources d'enseignement au sujet de l'énergie en tenant compte des différents niveaux d'enseignement et de la polysémie du terme énergie ;
- Analyser et identifier quelques difficultés d'élèves au sujet de l'énergie.

Q15. Le terme énergie est utilisé dans des contextes très différents, y compris dans d'autres disciplines scolaires que la physique et la chimie. Citer deux expressions de la vie courante qui utilisent le mot énergie et qui peuvent poser problème dans le cadre de l'apprentissage de la physique-chimie. Justifier dans les deux cas en quoi elles peuvent poser problème eu égard aux caractéristiques de l'énergie.

Q16. Au-delà du vocabulaire et des contextes d'usage, indiquer une difficulté à ce que les élèves donnent du sens au concept d'énergie au collège.

Q17. L'activité proposée dans l'annexe **4.A** est la première d'une séquence consacrée à la partie « Énergie : conversions et transferts » de l'enseignement de « Physique-chimie et mathématiques » de la classe de terminale STL.

- a) Proposer un corrigé des questions 1 à 9 de l'activité de l'annexe **4.A** à destination des élèves de la classe de terminale STL.
- b) Adapter l'activité pour en faire une évaluation de fin de cycle 4, en précisant pour chaque question posée les connaissances et capacités évaluées. L'évaluation devra permettre d'évaluer particulièrement la schématisation des situations du point de vue de l'énergie et les capacités de calculs simples.

Q18. L'enseignement de spécialité physique-chimie de la classe terminale de l'enseignement général introduit le concept d'énergie interne d'un système et le premier principe de la thermodynamique.

- a) Décrire une expérience réalisable en classe qui permet d'augmenter l'énergie interne d'un système par transfert mécanique ou électrique.
- b) Pour donner du sens au concept d'énergie interne, juste après son introduction, un enseignant propose l'activité décrite dans

l'annexe **4.B**. Proposer un corrigé de l'activité et indiquer les difficultés prévisibles des élèves en lien avec les choix faits par l'enseignant.

Q19. En début de chapitre sur les transferts et bilans thermiques, un enseignant de spécialité de la classe terminale de l'enseignement général propose une évaluation diagnostique à ses élèves. Les réponses sont présentées dans l'annexe **4.C**.

- a)** Citer les réponses justes et les réponses fausses, puis analyser les réponses données par les élèves de manière à identifier les conceptions initiales erronées des élèves.
- b)** Citer les concepts ainsi que les lois éventuelles de physique-chimie au programme de la classe qui permettent de modéliser convenablement les situations proposées dans ce questionnaire.

Partie 5 – Optimisation de la synthèse d'un arôme de framboise

Objectifs de cette partie

Un enseignant de la spécialité physique-chimie en classe de terminale de la voie générale souhaite construire une séquence pédagogique, comportant plusieurs séances, pour traiter la partie du programme de spécialité de terminale de la voie générale présentée ci-dessous.

Constitution et transformations de la matière	
4. Élaborer des stratégies en synthèse organique	
Notions et contenus	Capacités exigibles Activités expérimentales support de la formation
B) Analyser un système chimique par des méthodes physiques	
Optimisation d'une étape de synthèse. Optimisation de la vitesse de formation d'un produit et du rendement d'une synthèse	Identifier, dans un protocole, les opérations réalisées pour optimiser la vitesse de formation d'un produit. Justifier l'augmentation du rendement d'une synthèse par introduction d'un excès d'un réactif ou par élimination d'un produit du milieu réactionnel. <i>Mettre en œuvre un protocole de synthèse pour étudier l'influence de la modification des conditions expérimentales sur le rendement ou la vitesse.</i>

Phase préparatoire à l'élaboration de la séquence pédagogique

Q20. Proposer une correction, à destination des élèves, de la première partie (questions 1 à 5) de l'activité documentaire préparatoire proposée dans l'annexe **5.A**.

Q21. Indiquer la technique réalisable au lycée qui puisse correspondre à la réponse à la question 9) de l'activité préparatoire.

L'annexe **5.B** présente un extrait d'une activité expérimentale.

Q22. Dans le cadre de la mise en œuvre du protocole de l'annexe **5.B**, la présence de deux acides dans le milieu réactionnel (acide acétique et acide sulfurique) est une difficulté pour l'exploitation du titrage acide-base colorimétrique réalisé. L'enseignant choisit alors, comme stratégie d'exploitation de ce titrage, de travailler par différence en donnant un document additionnel élaboré à partir du résultat d'un titrage effectué dans les conditions précisées dans le protocole et réalisé au préalable par le professeur sur une solution aqueuse de volume total 100 mL contenant 5 mL d'acide acétique et 0,5 mL d'acide sulfurique pur. Le volume équivalent obtenu est de $V_e = 25,9$ mL.

Rédiger ce document additionnel à destination des élèves ayant pour but :

- De leur expliquer cette stratégie d'exploitation ;
- De les guider dans l'exploitation de leur titrage et l'obtention du rendement de la synthèse.

Q23. Corriger l'extrait du compte-rendu d'un élève ayant mis en œuvre le protocole de l'annexe **5.B**. Il figure sur le **document-réponse D.R.2 à rendre avec la copie**. Une dimension formative est attendue.

Q24. Dégager l'intérêt que peut présenter l'expérience décrite dans l'annexe **5.C** pour illustrer la partie du programme présentée dans l'introduction. Quelques éléments sur fonctionnement d'un appareil Dean Stark devront être succinctement présentés.

Élaboration de la séquence pédagogique

Q25. Proposer le contenu d'une séquence d'enseignement constituée de plusieurs séances visant à traiter la partie du programme présentée en introduction. L'activité expérimentale présentée dans l'annexe **5.B** constituera l'une des activités de la séquence. Un temps de remédiation, consécutif à l'évaluation du compte rendu présenté dans le **document-réponse D.R.2 à rendre avec la copie**, sera intégré à la séquence.

Le candidat :

- formulera une contextualisation et une problématique pour la séquence ;
- proposera un découpage de la séquence en séances en explicitant l'objectif de chaque séance et son contenu ;
- choisira, en justifiant, le support sur lequel s'appuiera la remédiation, et détaillera la nature des tâches que l'élève devra réaliser.

Annexe 1 – Ressources utiles pour la partie 1 du sujet

1.A - Extrait d'un livre de didactique sur la modélisation.

Concevoir des séquences d'enseignement ou plus largement des ressources d'enseignement nécessite d'avoir un cadre théorique opératoire. [...] Nous présentons ci-dessous le cadre théorique spécifique principal appelé « cadre des deux mondes ». Trois idées sont à l'origine de ce cadre (Tiberghien *et al.*, 2009). Ce cadre est adapté à la physique du niveau de l'enseignement primaire et secondaire.

La première, liée à l'apprentissage, pose que les connaissances des élèves sur le monde matériel jouent un rôle essentiel dans l'apprentissage de la physique.

L'autre, de nature épistémologique, est que les connaissances, qu'elles soient de la physique ou quotidiennes peuvent être d'ordre théorique ou directement décrire des objets et/ou événements ou encore relever de faits expérimentaux et que les liens entre ces types de connaissances sont essentiels dans la compréhension du monde matériel ; il s'agit des deux mondes et de leurs relations. En effet pour des raisons d'adaptation à l'enseignement effectif, nous avons mis ensemble la théorie et le modèle, même si cette différence est importante.

La troisième idée relève de l'apprentissage en lien avec les deux idées précédentes. Elle pose qu'il est possible de trouver des éléments de connaissance sur lesquels les élèves peuvent s'appuyer pour construire de nouvelles connaissances en physique.

Extrait du livre *Les modèles, des incontournables pour enseigner les sciences !*
dir. Evrard T. & Amory B. De Boeck Ed.

La figure 1 ci-dessous, adaptée de l'ouvrage cité, décrit l'outil principal issu du cadre présenté.

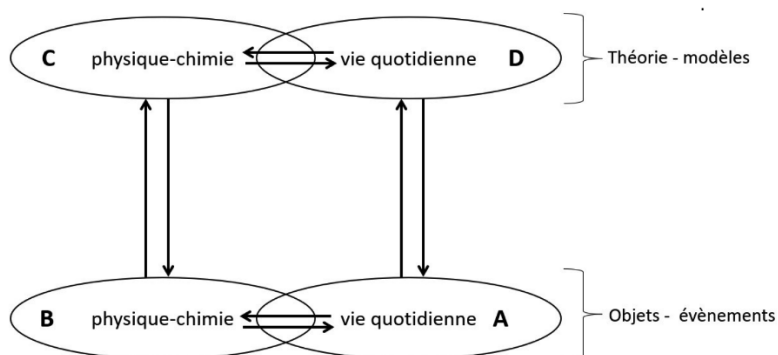
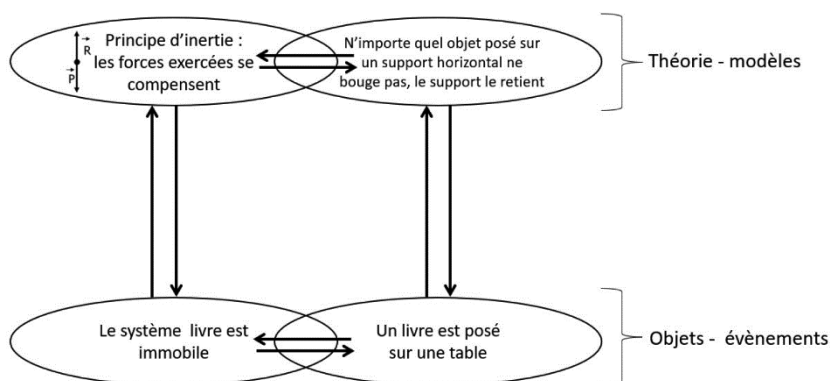


Figure 1 - Outil « Relations de modélisations » (Tiberghien *et al.*, 2009).

Un exemple est donné ci-dessous dans le cas où l'on demande à un élève de justifier à l'aide de ses connaissances en physique, l'immobilité d'un livre posé sur une table.



1.B – Activité proposée dans le cadre de l'enseignement de sciences physiques et chimiques en laboratoire de la classe de terminale de la série STL-SPCL.

D'après Collections numériques STL-SPCL – Eduscol

Activité 1 : l'onde, un modèle pour des situations très diverses

Dans la vie courante, on entend parler d'ondes dans des situations très diverses qui, *à priori*, ont très peu de points communs. En effet, la définition d'une onde par les physiciens, vue préalablement à cette activité, est très générale et s'applique à des domaines variés.

1. Citer quelques situations de la vie quotidienne (hormis celles décrites ci-après) qui mettent en jeu des ondes. On citera au moins un exemple de phénomène naturel et un exemple de situation créée par l'Homme dans un domaine technologique.
2. On donne ci-dessous 8 situations : certaines sont mises en œuvre dans la classe, d'autres sont illustrées par des photographies ou des animations. Lesquelles font intervenir une onde ? Pour chaque situation rejetée, indiquer quel élément de la définition d'une onde n'est pas satisfait.

Situation 1 : Une corde d'escalade est étendue sur le sol de la salle de classe. Un élève tient une des extrémités et un autre donne une impulsion à l'autre extrémité.



Situation 2 : Une goutte tombe sur la surface d'un plan d'eau.



Situation 3 : Dans le désert, les dunes de sable forment des vagues.



Situation 4 : Un jour d'orage, **on entend** le tonnerre quelques secondes après que l'impact a eu lieu.

Situation 5 : Un jour d'orage, **on voit** l'éclair quelques instants après que l'impact a eu lieu.



Situation 6 : On déplace un des barreaux d'une « échelle de perroquet » initialement au repos (photo ci-contre).

Situation 7 : Un pendule est constitué d'un petit objet solide suspendu à un fil. On l'écarte de sa position d'équilibre et on le laisse osciller.

Situation 8 : Des dominos sont disposés verticalement les uns à côté des autres. On fait tomber le premier...

