Corrigé complet — Bac S 2005 Centres étrangers (ancien programme)

Physique-chimie, Bac S (épreuve écrite) **16 points** **3 h 30**

Ex 1	**L'hydrogène: un combustible d'avenir** Isotopes · Fusion nucléaire · Énergie de liaison · Courbe d'Aston · Électrolyse · Charge électrique et intensité	7 pts	1 h 31	22 questions	p. 2
Ex 2	**Utilisons le beurre pour dissoudre une tache de graisse!** Groupes caractéristiques et nomenclature · Estérification · Chauffage à reflux · Rendement d'une synthèse · Saponification · Ion carboxylate amphiphile	4 pts	52 min	13 questions	p. 9
Ex 3	**Spécialité : Argentimétrie: dosages volumétriques par précipitation** Titrage par précipitation · Équivalence d'un titrage · Titrage direct et titrage indirect · Indicateur de fin de réaction · Domaine de pH d'une méthode	4 pts	52 min	13 questions	p. 14
Ex 4	**Voyage autour de Saturne** Force d'interaction gravitationnelle · Deuxième loi de Newton · Repère de Frenet · Mouvement circulaire uniforme · Troisième loi de Kepler · Satellite stationnaire	5 pts	1 h 05	13 questions	p. 18

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

L'hydrogène: un combustible d'avenir

Bac S 2005 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 1 **7 points** **Durée conseillée 1 h 31**

1.1 Première partie (fusion nucléaire). Que représentent les symboles A et Z dans l'écriture ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$ d'un noyau ?

A est le nombre de masse : c'est le nombre de nucléons (protons et neutrons) du noyau.

Z est le numéro atomique (nombre de charge) : c'est le nombre de protons du noyau.

A : nombre de nucléons ; Z : nombre de protons.

COMPRENDRE
Le nombre de neutrons n'apparaît pas dans le symbole : il se calcule par $N = A - Z$.

1.2 Par quoi diffèrent les isotopes d'un même élément chimique ?

Des isotopes ont le même nombre de protons Z (c'est le même élément) mais des nombres de neutrons différents, donc des nombres de nucléons A différents.

Les isotopes diffèrent par leur nombre de neutrons.

1.3 Donner la composition du noyau de deutérium.

Données utiles deutérium ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$

Pour ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$: $Z = 1$ proton et $A - Z = 2 - 1 = 1$ neutron.

Le noyau de deutérium contient 1 proton et 1 neutron.

1.4 Nommer un isotope du deutérium et donner la composition de son noyau.

Données utiles tritium ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$

Le tritium ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$ a le même numéro atomique $Z = 1$ que le deutérium : c'est un de ses isotopes. Son noyau contient 1 proton et $3 - 1 = 2$ neutrons.

Tritium ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$: 1 proton et 2 neutrons.

COMPRENDRE
L'hydrogène 1, ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$, convient aussi : son noyau est un proton seul, sans neutron.

2 Pour les réactions (1) et (2) entre deux noyaux de deutérium, donner le nom et le symbole des noyaux formés ${}^{A_1}_{Z_1}\mathrm{X}$ et ${}^{A_2}_{Z_2}\mathrm{X}$.

Données utiles (1) : ${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{A_1}_{Z_1}\mathrm{X} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$; (2) : ${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{A_2}_{Z_2}\mathrm{X} + {}^{1}_{1}\mathrm{p}$

Une réaction nucléaire conserve le nombre de nucléons et le nombre de charge (lois de Soddy).

Réaction (1) : $2 + 2 = A_1 + 1$ donc $A_1 = 3$; $1 + 1 = Z_1 + 0$ donc $Z_1 = 2$. L'élément de numéro atomique 2 est l'hélium.

Réaction (2) : $2 + 2 = A_2 + 1$ donc $A_2 = 3$; $1 + 1 = Z_2 + 1$ donc $Z_2 = 1$. L'élément de numéro atomique 1 est l'hydrogène.

(1) : hélium 3, ${}^{3}_{2}\mathrm{He}$; (2) : tritium, ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$.

MÉTHODE
Écrire deux équations séparées, une sur les A (en haut), une sur les Z (en bas), puis identifier l'élément grâce à Z dans le tableau des données.

3.1 Expliquer l'expression « la répulsion coulombienne ».

Deux corps portant des charges électriques de même signe exercent l'un sur l'autre des forces répulsives : c'est l'interaction électrostatique, décrite par la loi de Coulomb. Cette force est d'autant plus intense que les charges sont proches.

Répulsion coulombienne : force électrostatique qui repousse deux charges de même signe.

3.2 Quel est le signe de la charge électrique des noyaux de deutérium et de tritium ?

Un noyau est formé de protons, chargés positivement, et de neutrons, de charge nulle. Les noyaux de deutérium et de tritium contiennent chacun un proton.

Les deux noyaux sont chargés positivement (charge $+e$) : ils se repoussent.

COMPRENDRE
C'est pour vaincre cette répulsion qu'il faut une température très élevée : les noyaux, très rapides, peuvent alors s'approcher assez pour fusionner.

4.1 Rappeler la définition de l'énergie de liaison E_L.

L'énergie de liaison E_L d'un noyau est l'énergie qu'il faut apporter à ce noyau, pris au repos, pour le séparer en ses nucléons isolés et immobiles.

E_L : énergie à fournir pour dissocier le noyau au repos en nucléons séparés au repos.

4.2 Calculer en mégaélectronvolt (MeV) l'énergie de liaison du noyau de tritium.

Données utiles $m_p = 1{,}007\,28$ u ; $m_n = 1{,}008\,66$ u ; $m(^3_1\mathrm{H}) = 3{,}015\,50$ u ; 1 u correspond à 931,5 MeV

Le noyau $^3_1\mathrm{H}$ contient 1 proton et 2 neutrons. Son défaut de masse est :

$$\Delta m = m_p + 2\,m_n - m(^3_1\mathrm{H})$$

$$\Delta m = 1{,}007\,28 + 2 \times 1{,}008\,66 - 3{,}015\,50 = 0{,}009\,10 \text{ u}$$

L'énergie de liaison est $E_L = \Delta m \cdot c^2$. Comme une masse de 1 u correspond à une énergie de 931,5 MeV :

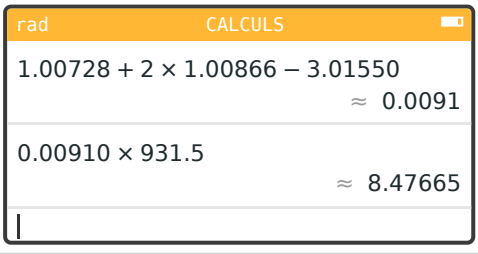
$$E_L = 0{,}009\,10 \times 931{,}5$$

$E_L(^3_1\mathrm{H}) = 8{,}48$ MeV

PIÈGE
Passer par les kilogrammes et $c = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1} est correct mais plus long et moins précis (on trouve 8,50 MeV). L'équivalence 1 u ↔ 931,5 MeV donne directement des MeV.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : la soustraction ne laisse que trois chiffres au défaut de masse ($0{,}009\,10$ u), donc trois chiffres au résultat. On retrouve $8{,}48 \div 3 \approx 2{,}8$ MeV par nucléon, valeur citée en 4.4.

À LA CALCULATRICE



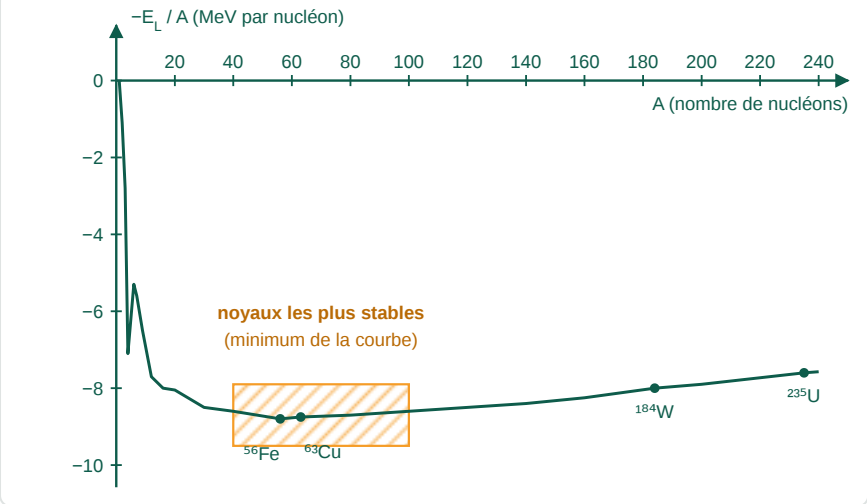
4.3 Sur la courbe d'Aston de l'annexe 1 ($-E_L/A$ en fonction de A), indiquer par des hachures la zone où l'on trouve les noyaux les plus stables.

Un noyau est d'autant plus stable que son énergie de liaison par nucléon E_L/A est grande, donc que $-E_L/A$ est petit : les noyaux les plus stables sont au plus bas de la courbe.

Le minimum se situe autour du fer et du cuivre, pour A compris environ entre 40 et 100, où E_L/A approche 9 MeV par nucléon.

Zone hachurée : le creux de la courbe, autour de $A \approx 60$.

PIÈGE
Comparer les énergies de liaison E_L et non E_L/A : l'uranium a une énergie de liaison bien plus grande que le fer, il est pourtant moins stable.



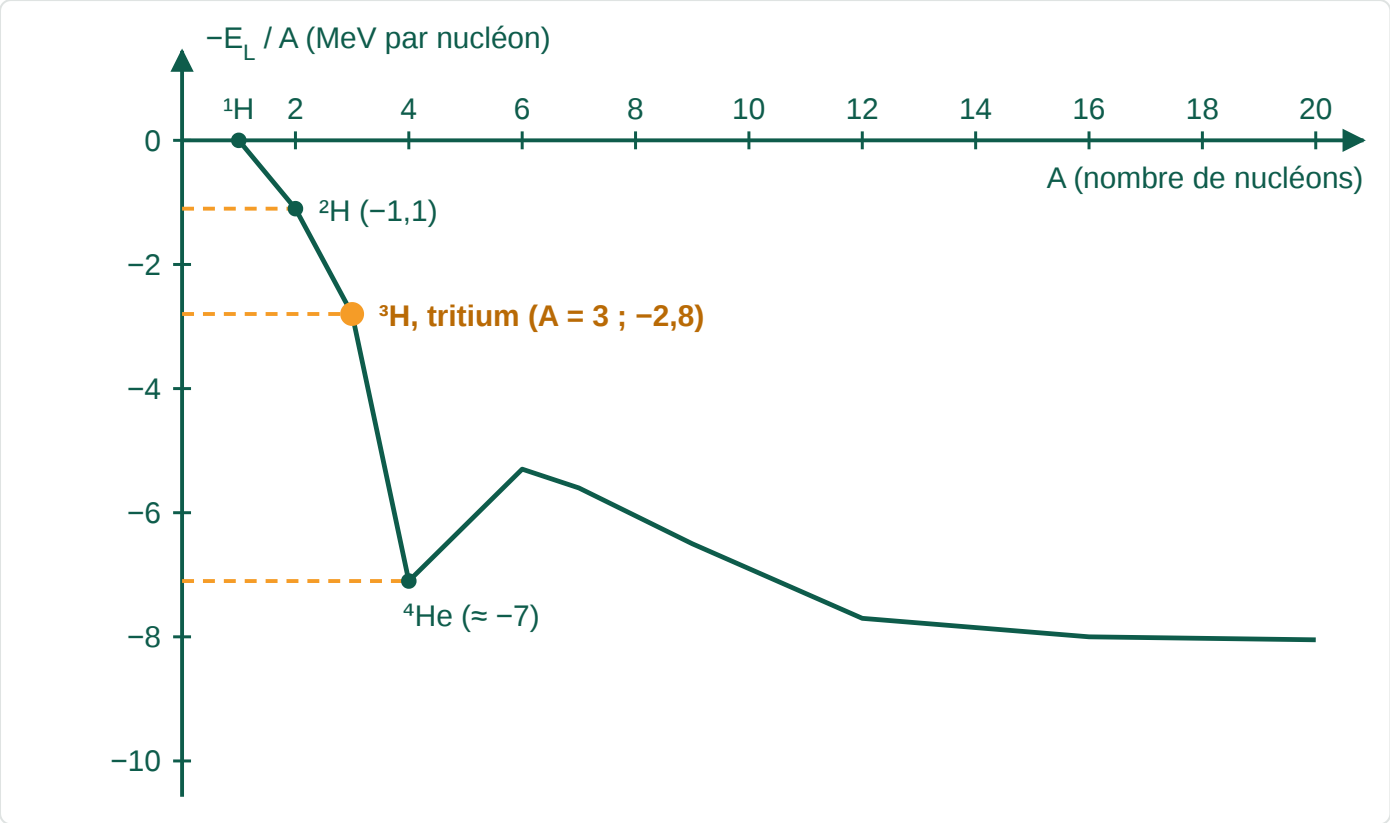
4.3 · Annexe 1 complétée : zone des noyaux les plus stables (hachures)

4.4.1 L'énergie de liaison par nucléon du tritium est d'environ 2,8 MeV. Repérer sur la courbe la place du noyau de tritium.

Données utiles $E_L/A \approx 2{,}8$ MeV par nucléon ; $A = 3$

Le tritium ${}_1^3\mathrm{H}$ a pour abscisse $A = 3$ et pour ordonnée $-\dfrac{E_L}{A} \approx -2{,}8$ MeV par nucléon. Il se place sur la partie très pentue du début de la courbe, entre ${}_1^2\mathrm{H}$ et ${}_2^4\mathrm{He}$.

Tritium : point de coordonnées $(3\ ;\ -2{,}8)$.



4.4.1 · Début de la courbe d'Aston agrandi : place du tritium et lectures

4.4.2 Comparer, à partir de la courbe d'Aston, l'énergie de liaison par nucléon de ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ à celles de ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$ et ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$. Dégager l'intérêt énergétique de la réaction (3).

Données utiles réaction (3) : ${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$; lectures sur la courbe

Lectures : $\frac{E_L}{A} \approx 1{,}1$ MeV pour ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$, 2,8 MeV pour ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$ et environ 7 MeV pour ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$.

L'énergie de liaison par nucléon de l'hélium 4 est nettement plus grande que celles du deutérium et du tritium : le noyau formé est beaucoup plus stable que les noyaux de départ.

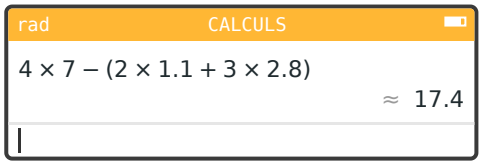
Dissocier les deux noyaux de départ coûte $2 \times 1{,}1 + 3 \times 2{,}8 \approx 10{,}6$ MeV ; la formation de l'hélium 4 restitue $4 \times 7 \approx 28$ MeV. La différence, de l'ordre de 17 MeV, est cédée au milieu extérieur.

${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ est bien plus lié : la réaction (3) libère de l'énergie, environ 17 MeV par fusion.

COMPRENDRE

Sur la courbe, la fusion fait « descendre » les nucléons vers les noyaux plus stables. Le neutron libre n'a pas d'énergie de liaison : il ne compte pas dans le bilan.

À LA CALCULATRICE



5 Montrer que l'énergie libérée par la réaction (3) vaut 17,6 MeV.

Données utiles $m(^2_1\mathrm{H}) = 2{,}013\,55$ u ; $m(^3_1\mathrm{H}) = 3{,}015\,50$ u ; $m(^4_2\mathrm{He}) = 4{,}001\,50$ u ; $m_n = 1{,}008\,66$ u ; 1 u correspond à 931,5 MeV

Perte de masse au cours de la réaction (3) :

$$|\Delta m| = m(^2_1\mathrm{H}) + m(^3_1\mathrm{H}) - m(^4_2\mathrm{He}) - m_n$$

$$|\Delta m| = 2{,}013\,55 + 3{,}015\,50 - 4{,}001\,50 - 1{,}008\,66 = 0{,}018\,89 \text{ u}$$

La masse des produits est inférieure à celle des réactifs : la masse perdue est convertie en énergie libérée, $E_{\text{lib}} = |\Delta m| \cdot c^2$.

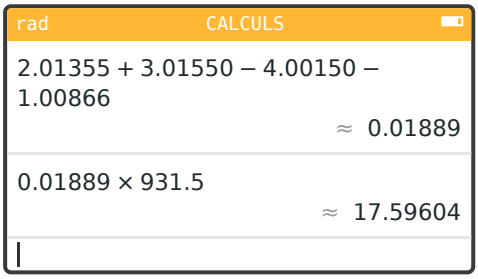
$$E_{\text{lib}} = 0{,}018\,89 \times 931{,}5 = 17{,}60 \text{ MeV}$$

$E_{\text{lib}} = 17{,}60$ MeV $\approx 17{,}6$ MeV : valeur attendue.

PIÈGE
Oublier le neutron dans la masse des produits. Avec la convention $\Delta E = (m_{\text{produits}} - m_{\text{réactifs}})\,c^2$, on trouve $-17{,}6$ MeV : le signe négatif traduit une énergie cédée, l'énergie libérée est sa valeur absolue.

COMPRENDRE
Ce calcul exact confirme l'estimation de 17 MeV faite en 4.4.2 à partir de la courbe d'Aston.

À LA CALCULATRICE



1.1 Deuxième partie (électrolyse de l'eau). La réaction qui a lieu dans l'électrolyseur est-elle spontanée ? Justifier.

Données utiles $2\,\mathrm{H_2O\,(l)} = 2\,\mathrm{H_2\,(g)} + \mathrm{O_2\,(g)}$; générateur de tension continue d'environ 2 V

L'eau ne se décompose pas d'elle-même en dihydrogène et dioxygène. La réaction n'a lieu que parce qu'un générateur impose le passage d'un courant et apporte de l'énergie électrique au système : c'est une transformation forcée.

La réaction n'est pas spontanée : elle est forcée par le générateur.

COMPRENDRE
La transformation spontanée est la réaction inverse, entre $\mathrm{H_2}$ et $\mathrm{O_2}$: c'est celle qui se produit dans une pile à combustible.

1.2 Écrire la demi-équation électronique correspondant à la formation du dihydrogène.

Données utiles couples $\mathrm{O_2\,(g)}$ / $\mathrm{H_2O\,(l)}$ et $\mathrm{H^+\,(aq)}$ / $\mathrm{H_2\,(g)}$

Le dihydrogène est le réducteur du couple $\mathrm{H^+\,(aq)}$ / $\mathrm{H_2\,(g)}$: il se forme par réduction des ions $\mathrm{H^+}$.

$2\,\mathrm{H^+\,(aq)} + 2\,\mathrm{e^-} = \mathrm{H_2\,(g)}$

MÉTHODE
Vérifier la demi-équation en deux temps : conservation des éléments (2 H de chaque côté), puis des charges ($2 - 2 = 0$).

1.3 À quelle électrode se dégage le dihydrogène : cathode ou anode ? Justifier.

La formation de $\mathrm{H_2}$ est une réduction : les ions $\mathrm{H^+}$ gagnent des électrons. Par définition, l'électrode où se produit la réduction est la cathode.

Le dihydrogène se dégage à la cathode.

MÉTHODE
Moyen mnémotechnique valable pour une pile comme pour une électrolyse : **c**athode et réd**uc**tion commencent par une consonne, **a**node et **o**xydation par une voyelle.

1.4 À quel pôle du générateur cette électrode est-elle branchée ?

La réduction consomme des électrons : ils doivent arriver à la cathode par le circuit extérieur. Or, hors du générateur, les électrons partent de sa borne négative.

La cathode est reliée au pôle négatif du générateur.

PIÈGE
Dans une pile, la cathode est le pôle positif. Dans un électrolyseur, c'est l'inverse : elle est reliée au pôle négatif. Seule la définition (cathode = réduction) ne change pas.

2.1 Donner la relation entre la quantité de matière de dihydrogène formée $n(\mathrm{H_2})$ et l'avancement x de la demi-équation.

Données utiles $2\,\mathrm{H^+\,(aq)} + 2\,\mathrm{e^-} = \mathrm{H_2\,(g)}$ (1.2)

Le nombre stœchiométrique de $\mathrm{H_2}$ vaut 1 et il n'y a pas de dihydrogène à $t_0 = 0$.

$n(\mathrm{H_2}) = x$

2.2 Donner la relation entre la quantité d'électrons mise en jeu n_e et l'avancement x à l'instant t.

La demi-équation fait intervenir 2 électrons pour 1 molécule de $\mathrm{H_2}$ formée.

$n_e = 2\,x$

2.3 Donner l'expression de la valeur absolue de la charge électrique Q à l'instant t en fonction de l'avancement x.

Données utiles F : charge transportée par une mole d'électrons ; $n_e = 2\,x$ (2.2)

Une mole d'électrons transporte la charge F, donc n_e moles transportent $Q = n_e \cdot F$.

$Q = 2\,x\,F$

2.4 Montrer que l'intensité du courant qui a circulé pour produire la quantité $n(\mathrm{H_2})$ est $I = \dfrac{2\,F \cdot n(\mathrm{H_2})}{\Delta t}$.

Données utiles $Q = I\,\Delta t$; $Q = 2\,x\,F$ (2.3) ; $n(\mathrm{H_2}) = x$ (2.1)

D'après l'énoncé, $Q = I\,\Delta t$, donc $I = \dfrac{Q}{\Delta t}$.

Avec $Q = 2\,x\,F$: $\quad I = \dfrac{2\,x\,F}{\Delta t}$.

Enfin $x = n(\mathrm{H_2})$:

$I = \dfrac{2\,F \cdot n(\mathrm{H_2})}{\Delta t}$: expression attendue.

2.5 Calculer la valeur de l'intensité I du courant qui circule dans l'électrolyseur quand le débit horaire de dihydrogène est de 5 m³.

Données utiles $V(\mathrm{H_2}) = 5\ \mathrm{m^3}$ en $\Delta t = 1\ \mathrm{h}$; $V_{\text{molaire}} = 25\ \mathrm{L \cdot mol^{-1}}$; $F = 9{,}65 \times 10^4\ \mathrm{C \cdot mol^{-1}}$

Avec $n(\mathrm{H_2}) = \dfrac{V(\mathrm{H_2})}{V_{\text{molaire}}}$, la relation de la question 2.4 devient :

$$I = \frac{2\,F \cdot V(\mathrm{H_2})}{V_{\text{molaire}} \cdot \Delta t}$$

Conversions : $V(\mathrm{H_2}) = 5\ \mathrm{m^3} = 5 \times 10^3$ L et $\Delta t = 1\ \mathrm{h} = 3\,600$ s.

$$I = \frac{2 \times 9{,}65 \times 10^4 \times 5 \times 10^3}{25 \times 3\,600} = 1{,}1 \times 10^4\ \mathrm{A}$$

$I \approx 1{,}1 \times 10^4$ A, soit environ 11 kA.

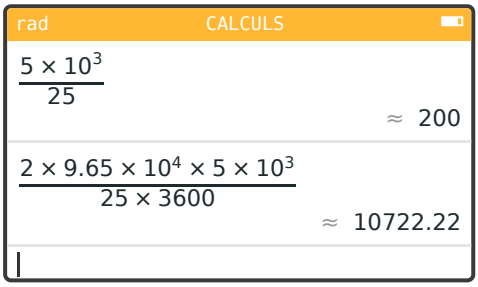
PIÈGE

Laisser le volume en m³ alors que V_{molaire} est en litres par mole, ou la durée en heures : l'intensité s'exprime en ampères, soit des coulombs par seconde.

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs, comme V_{molaire}. Le résultat, 11 kA, est cohérent avec les « plusieurs kiloampères » annoncés par l'énoncé ; il correspond à 200 mol de $\mathrm{H_2}$ par heure.

À LA CALCULATRICE



Utilisons le beurre pour dissoudre une tache de graisse!

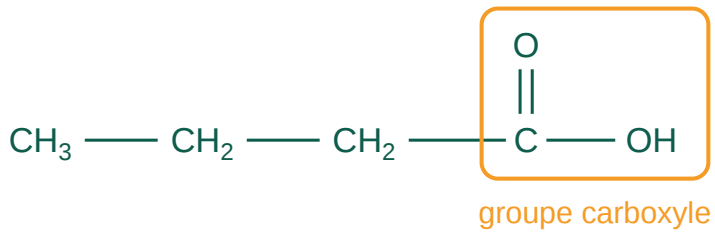
Bac S 2005 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Nommer le groupe caractéristique de l'acide butanoïque et l'encadrer sur la formule semi-développée.

Le groupe caractéristique est le groupe $-COOH$ situé en bout de chaîne (voir la formule ci-dessous).

Groupe **carboxyle**.

PIÈGE
Encadrer seulement $-OH$ ou seulement $C=O$: le groupe carboxyle réunit les deux, portés par le même atome de carbone. « Acide carboxylique » est le nom de la famille, pas celui du groupe.



1.1 · Formule semi-développée de l'acide butanoïque, groupe carboxyle encadré

1.2.1 Nommer le produit C. À quelle famille appartient-il ?

Données utiles C : $CH_3-CH_2-CH_2-COO-CH_2-CH_2-CH_3$

La molécule C contient le groupe $-COO-$ lié à deux chaînes carbonées : c'est un ester.

La chaîne qui porte le carbone du groupe compte 4 atomes de carbone (butanoate) ; la chaîne liée à l'oxygène en compte 3 (propyle).

C est le **butanoate de propyle**, de la famille des **esters**.

MÉTHODE
Nom d'un ester : la partie venant de l'acide (côté $C=O$) donne le terme en « -oate », la partie venant de l'alcool (côté O) donne le terme en « -yle ».

1.2.2 Écrire la formule semi-développée du réactif B et donner son nom.

Un ester s'obtient par action d'un acide carboxylique sur un alcool. Le groupe propyle $-CH_2-CH_2-CH_3$ de C provient de l'alcool, dont le groupe hydroxyle est en bout de chaîne.

B : $CH_3-CH_2-CH_2-OH$, le **propan-1-ol**.

PIÈGE
Répondre « propanol » sans indice de position : le propan-2-ol donnerait un ester ramifié, différent de C.

1.2.3 Quelle est la nature du produit D ?

L'estérification s'écrit : acide carboxylique + alcool = ester + eau.

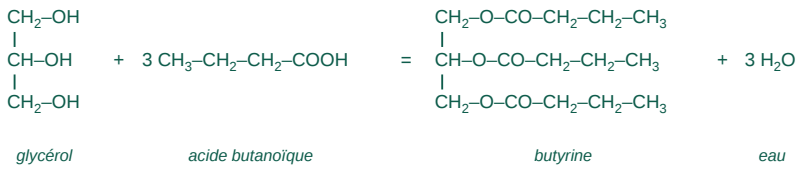
$$C_3H_7-COOH + C_3H_7-OH = C_3H_7-COO-C_3H_7 + H_2O$$

D est de l'**eau**, H_2O.

2.1 En utilisant les formules semi-développées, écrire l'équation de synthèse de la butyrine.

Le glycérol possède trois groupes hydroxyle : chacun réagit avec une molécule d'acide butanoïque (estérification) et libère une molécule d'eau.

Glycérol + 3 acide butanoïque = butyrine + 3 H_2O (formules semi-développées ci-dessous).



2.1 · Équation de la synthèse de la butyrine

PIÈGE
Oublier les nombres stœchiométriques 3 devant l'acide et devant l'eau : un triester demande trois molécules d'acide et libère trois molécules d'eau.

2.2 Le mélange réalisé est-il stœchiométrique ?

Données utiles $m_1 = 39{,}6$ g d'acide ; $n_2 = 0{,}150$ mol de glycérol ; $M(\text{acide butyrique}) = 88{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Quantité de matière d'acide : $n_1 = \dfrac{m_1}{M(\text{acide})} = \dfrac{39{,}6}{88{,}0} = 0{,}450$ mol.

D'après l'équation, il faut 3 mol d'acide pour 1 mol de glycérol. Le mélange est stœchiométrique si $\dfrac{n_1}{3} = \dfrac{n_2}{1}$.

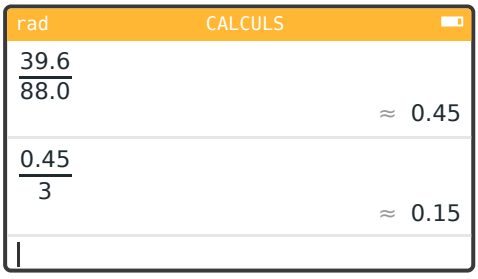
$\dfrac{n_1}{3} = \dfrac{0{,}450}{3} = 0{,}150$ mol et $n_2 = 0{,}150$ mol.

$\dfrac{n_1}{3} = n_2 = 0{,}150$ mol : le mélange est **stœchiométrique**.

PIÈGE
Comparer directement n_1 et n_2 : ce sont les quantités divisées par les nombres stœchiométriques qu'il faut comparer.

COMPRENDRE
Les données ont trois chiffres significatifs : on écrit $0{,}450$ mol et non $0{,}45$ mol. La masse molaire du glycérol ne sert pas, puisque n_2 est déjà donnée.

À LA CALCULATRICE



2.3 Parmi les montages (1), (2) et (3) de l'annexe 2, lequel utiliser pour réaliser cette synthèse ?

La synthèse se fait en chauffant, sans perdre de matière : il faut un chauffage à reflux. Le réfrigérant vertical condense les vapeurs, qui retombent dans le ballon. Les montages (1) et (2) sont des montages de distillation.

Le **montage (3)**, chauffage à reflux.

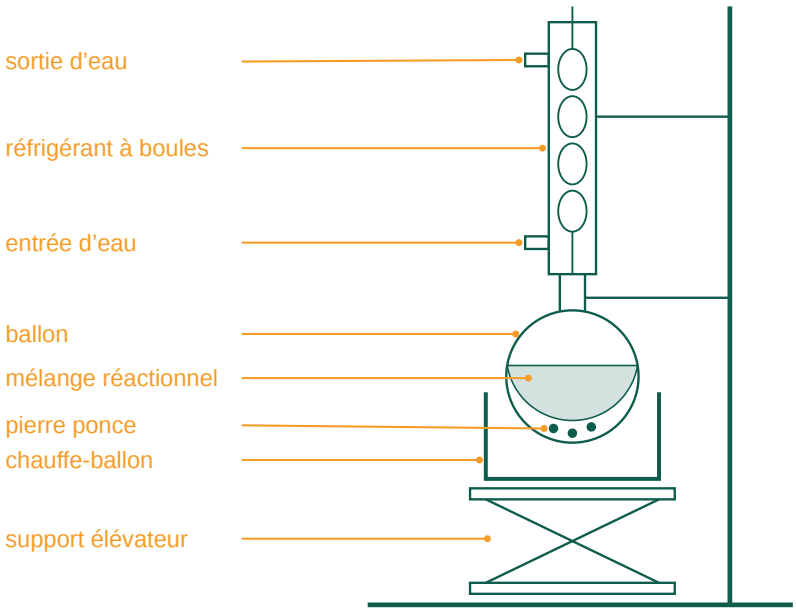
COMPRENDRE
Chauffer accélère la transformation (la température est un facteur cinétique) ; le reflux évite les pertes de réactifs et de produits par évaporation.

2.4 Légender le schéma du montage choisi.

Les légendes sont portées sur le schéma du montage (3) ci-dessous. L'eau du réfrigérant entre par le bas et sort par le haut.

Montage (3) légendé : réfrigérant à boules, ballon, mélange réactionnel, pierre ponce, chauffe-ballon, support élévateur, entrée et sortie d'eau.

PIÈGE
Inverser l'entrée et la sortie d'eau : l'eau entre toujours par le bas, pour que le réfrigérant reste entièrement rempli.



2.4 · Annexe 2 : montage (3) légendé

2.5 On obtient une masse m de butyrine. Calculer le rendement r de la réaction.

Données utiles $m = 29{,}0$ g ; $M(\text{butyrine}) = 302\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $n_2 = 0{,}150$ mol ; mélange stœchiométrique (2.2)

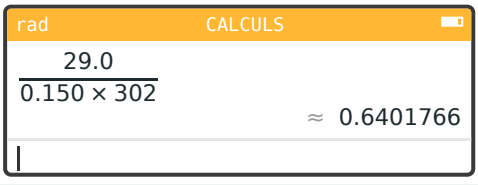
Si la transformation était totale, le mélange étant stœchiométrique, il se formerait $n_{\max} = n_2 = 0{,}150$ mol de butyrine, soit une masse $m_{\max} = n_2 \times M(\text{butyrine})$.

$$r = \frac{m}{m_{\max}} = \frac{m}{n_2 \times M(\text{butyrine})} = \frac{29{,}0}{0{,}150 \times 302} = 0{,}640$$

$r = 0{,}640$, soit $64{,}0\ \%$.

COMPRENDRE
Le rendement est inférieur à $100\ \%$ car l'estérification est une transformation limitée : elle conduit à un état d'équilibre où réactifs et produits coexistent.

À LA CALCULATRICE

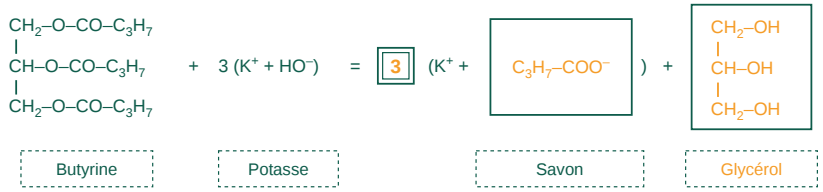


3.1 Nommer la réaction qui conduit à la formation du précipité observé et compléter son écriture en annexe 3.

La butyrine, triester, réagit avec les ions hydroxyde HO^- de la potasse : c'est une hydrolyse basique d'ester. Elle donne trois ions carboxylate (ici butanoate, associés à K^+ dans le savon) et du glycérol.

Réaction de **saponification** ; annexe 3 complétée ci-dessous.

PIÈGE
Écrire l'acide C_3H_7-COOH dans le cadre du savon : en milieu basique, on obtient l'ion carboxylate $C_3H_7-COO^-$.



3.1 · Annexe 3 complétée (en orange : les cadres remplis)

3.2 Donner deux caractéristiques de cette transformation à chaud.

À chaud, la saponification est **rapide** et **totale**.

COMPRENDRE
C'est la différence avec l'estérification et l'hydrolyse d'un ester par l'eau, qui sont lentes et limitées.

3.3 Le rendement après filtration n'est que de 85 %. Calculer la masse de savon produite à partir de la butyrine.

Données utiles $m_{\text{beurre}} = 20$ g ; butyrine : 35 % en masse ; $M(\text{butyrine}) = 302\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{savon}) = 126\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; potasse en excès

Masse de butyrine dans le beurre : $m_{\text{but}} = 0{,}35 \times m_{\text{beurre}}$.

Quantité de butyrine : $n_{\text{but}} = \dfrac{0{,}35 \times m_{\text{beurre}}}{M(\text{butyrine})}$.

La potasse est en excès, la butyrine est le réactif limitant. D'après l'équation, 1 mol de butyrine donne 3 mol de savon : $n_{\text{savon, max}} = 3\,n_{\text{but}}$.

Avec un rendement de 85 % : $m_{\text{savon}} = 0{,}85 \times 3\,n_{\text{but}} \times M(\text{savon})$

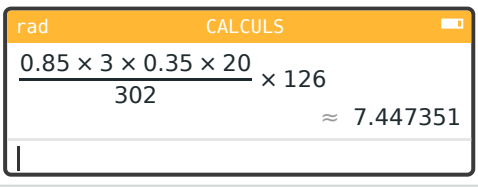
$$m_{\text{savon}} = 0{,}85 \times 3 \times \frac{0{,}35 \times 20}{302} \times 126$$

$m_{\text{savon}} = 7{,}4$ g

PIÈGE
Oublier le facteur 3 (on trouverait 2,5 g), ou partir des 20 g de beurre alors que seuls 35 % sont de la butyrine.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme 20 g, 35 % et 85 %. La calculatrice affiche 7,447, qui s'arrondit à 7,4 g.

À LA CALCULATRICE



4 En s'aidant du schéma, identifier la composition et la propriété de chacune des deux parties de l'ion carboxylate modélisé.

Sur le schéma, la partie 1 (le trait) plonge dans la graisse et la partie 2 (le cercle) reste au contact de l'eau.

Partie 1 : la chaîne carbonée, ici $C_3H_7^-$. Elle a de l'affinité pour la graisse et fuit l'eau : elle est lipophile et hydrophobe.

Partie 2 : le groupe carboxylate $-COO-$, chargé négativement. Il a de l'affinité pour l'eau et fuit la graisse : il est hydrophile et lipophobe.

Partie 1 : chaîne carbonée, **lipophile (hydrophobe)** ; partie 2 : groupe $-COO-$, **hydrophile (lipophobe)**.

COMPRENDRE
Les chaînes s'enfoncent dans la graisse, les têtes chargées restent dans l'eau : la tache se fragmente en gouttes entourées d'ions, qui se repoussent et sont emportées par l'eau.

Spécialité : Argentimétrie: dosages volumétriques par précipitation

Bac S 2005 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1.1 Écrire l'équation de la réaction de dosage des ions chlorure par les ions argent.

Les ions argent réagissent avec les ions chlorure pour former le précipité de chlorure d'argent :

$\mathrm{Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \longrightarrow AgCl(s)}$

COMPRENDRE
Les ions $\mathrm{Na^+}$ et $\mathrm{NO_3^-}$ sont spectateurs : ils ne figurent pas dans l'équation. La réaction support d'un titrage est totale et rapide, d'où la flèche simple.

1.1.2 Donner l'équation de la précipitation du chromate d'argent, formé par les ions chromate et les ions argent.

Le précipité est électriquement neutre : il faut deux ions $\mathrm{Ag^+}$ pour un ion $\mathrm{CrO_4^{2-}}$.

$\mathrm{2\,Ag^+(aq) + CrO_4^{2-}(aq) \longrightarrow Ag_2CrO_4(s)}$

PIÈGE
Écrire $\mathrm{AgCrO_4}$: l'ion chromate porte deux charges négatives, l'ion argent une seule charge positive. Vérifier la conservation des charges et des éléments.

1.2 Préciser le domaine d'utilisation de la méthode de Mohr. Justifier.

Données utiles pH > 7,5 : précipitation de $\mathrm{AgOH(s)}$; pH < 6,5 : chromate d'argent soluble

- Si pH > 7,5 : une partie des ions $\mathrm{Ag^+}$ versés précipite en $\mathrm{AgOH(s)}$ au lieu de réagir avec les ions chlorure. Le volume versé à l'équivalence est alors faussé.
- Si pH < 6,5 : le chromate d'argent est soluble, le précipité rouge brique ne se forme pas et la fin du dosage n'est plus repérable.

La méthode de Mohr s'utilise pour $6{,}5 \leqslant \mathrm{pH} \leqslant 7{,}5$.

MÉTHODE
Pour un domaine de travail, examiner chaque condition séparément : l'une concerne la réaction support (elle doit être la seule à consommer le réactif titrant), l'autre le repérage de l'équivalence.

1.3 Indiquer à quel type de dosage, direct ou indirect, correspond la méthode de Mohr.

Les ions chlorure de l'erlenmeyer réagissent directement avec les ions argent versés à la burette : une seule réaction support, et l'équivalence relie les quantités des deux espèces.

La méthode de Mohr est un dosage **direct**.

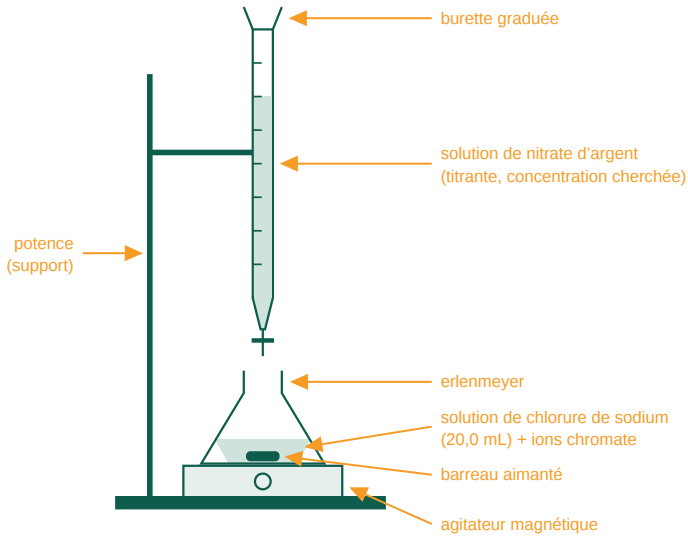
1.4.1 Compléter le schéma légendé du dispositif expérimental (annexe 2).

Données utiles $V_1 = 20{,}0$ mL de solution de chlorure de sodium, $c_1 = 4{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; 5 gouttes de chromate de potassium

Voir l'annexe complétée : sept légendes.

Burette : solution de nitrate d'argent (titrante). Erlenmeyer : solution de chlorure de sodium et ions chromate (titrée).

PIÈGE
Inverser les deux solutions. Le protocole dit « faire couler la solution de nitrate d'argent contenue dans la burette » : la prise d'essai de chlorure de sodium est dans l'erlenmeyer.



1.4.1 · Annexe 2 complétée : dispositif de titrage

1.4.2 En déduire la concentration de la solution de nitrate d'argent.

Données utiles $V_1 = 20{,}0$ mL ; $c_1 = 4{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_{\text{eq1}} = 18{,}2$ mL

On note c la concentration cherchée. À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \longrightarrow \text{AgCl}$:

$$n_{\text{versé}}(\text{Ag}^+) = n_{\text{initial}}(\text{Cl}^-) \quad \text{soit} \quad c\,V_{\text{eq1}} = c_1\,V_1$$

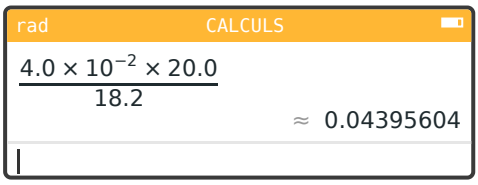
$$c = \frac{c_1\,V_1}{V_{\text{eq1}}} = \frac{4{,}0 \times 10^{-2} \times 20{,}0}{18{,}2}$$

$$\boxed{c = 4{,}4 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

PIÈGE
Le virage est repéré par le chromate d'argent, mais la relation à l'équivalence s'écrit avec la réaction de dosage (1.1.1), de coefficients 1 et 1, pas avec celle de l'indicateur.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme c_1, la donnée la moins précise. Les deux volumes peuvent rester en mL : leurs unités se simplifient dans le rapport.

À LA CALCULATRICE



2.1.1 Écrire l'équation de la première réaction consommant des ions argent.

Les ions argent, apportés en excès, précipitent tous les ions chlorure de la prise d'essai :

$$\boxed{\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{AgCl}(\text{s}) \qquad (1)}$$

2.1.2 Écrire l'équation de la deuxième réaction consommant des ions argent, avec les ions thiocyanate.

Les ions argent restants précipitent avec les ions thiocyanate versés :

$$\boxed{\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{SCN}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{AgSCN}(\text{s}) \qquad (2)}$$

2.1.3 Retrouver la relation à l'équivalence : $n_0(\mathrm{Ag^+}) = n_0(\mathrm{Cl^-}) + n_{\mathrm{eq}}(\mathrm{SCN^-})$.

Les ions argent introduits sont consommés par les deux réactions :

$$n_0(\mathrm{Ag^+}) = n_{(1)}(\mathrm{Ag^+}) + n_{(2)}(\mathrm{Ag^+})$$

- Réaction (1) : les ions $\mathrm{Cl^-}$ sont le réactif limitant, tous consommés, avec des coefficients 1 et 1, donc $n_{(1)}(\mathrm{Ag^+}) = n_0(\mathrm{Cl^-})$.
- Réaction (2) : à l'équivalence, les ions $\mathrm{Ag^+}$ restants ont réagi mole à mole avec les ions thiocyanate versés, donc $n_{(2)}(\mathrm{Ag^+}) = n_{\mathrm{eq}}(\mathrm{SCN^-})$.

$n_0(\mathrm{Ag^+}) = n_0(\mathrm{Cl^-}) + n_{\mathrm{eq}}(\mathrm{SCN^-})$

MÉTHODE
Dosage en retour : écrire le bilan du réactif mis en excès, « quantité introduite = quantité consommée par l'espèce à doser + quantité restante », puis doser le reste.

2.2.1 Préciser le domaine d'utilisation de la méthode de Charpentier-Volhard. Justifier.

Données utiles pH > 7,5 : précipitation de $\mathrm{AgOH(s)}$; pH > 2 : précipitation de $\mathrm{Fe(OH)_3}$

- Si pH > 7,5 : des ions $\mathrm{Ag^+}$ précipitent en $\mathrm{AgOH(s)}$; ils sont consommés par une troisième réaction et le bilan de la question 2.1.3 est faux.
- Si pH > 2 : les ions $\mathrm{Fe^{3+}}$ précipitent en $\mathrm{Fe(OH)_3}$; ils ne peuvent plus former le complexe rouge sang avec les ions thiocyanate et l'équivalence n'est plus repérable.

La seconde condition est la plus contraignante.

La méthode de Charpentier-Volhard s'utilise en milieu très acide : $\mathrm{pH} < 2$.

COMPRENDRE
C'est le rôle des 5 mL d'acide nitrique ajoutés dans le protocole : garantir un pH inférieur à 2 sans apporter d'ions chlorure.

2.2.2 Aurait-on pu utiliser la méthode de Mohr pour doser les ions chlorure de cette solution d'acide chlorhydrique ? Justifier.

Données utiles domaine de la méthode de Mohr : $6{,}5 \leqslant \mathrm{pH} \leqslant 7{,}5$ (1.2)

Une solution d'acide chlorhydrique est nettement acide : son pH est inférieur à 6,5. Dans ce milieu, le chromate d'argent est soluble : le précipité rouge brique n'apparaît pas à la fin du dosage.

Non : le pH de la solution est hors du domaine de la méthode de Mohr, l'équivalence ne serait pas repérable.

2.3 À quel type de dosage, direct ou indirect, correspond la méthode de Charpentier-Volhard ?

Les ions chlorure ne réagissent pas avec la solution versée à la burette. On les fait réagir avec un excès connu d'ions argent, puis on dose cet excès par les ions thiocyanate ; la quantité d'ions chlorure s'en déduit par différence.

La méthode de Charpentier-Volhard est un dosage **indirect** (dosage en retour).

2.4 Déduire de la relation du 2.1.3 la concentration c_A de la solution d'ions chlorure.

Données utiles $V_A = 10{,}0$ mL ; $V_0 = 25{,}0$ mL ; $c_0 = 5{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $c_2 = 4{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $V_{eq2} = 8{,}0$ mL

Avec $n_0(\text{Ag}^+) = c_0\,V_0$, $n_0(\text{Cl}^-) = c_A\,V_A$ et $n_{eq}(\text{SCN}^-) = c_2\,V_{eq2}$, la relation devient :

$$c_0\,V_0 = c_A\,V_A + c_2\,V_{eq2} \quad \text{d'où} \quad c_A = \frac{c_0\,V_0 - c_2\,V_{eq2}}{V_A}$$

$$c_A = \frac{5{,}0 \times 10^{-2} \times 25{,}0 - 4{,}0 \times 10^{-2} \times 8{,}0}{10{,}0}$$

$$\boxed{c_A = 9{,}3 \times 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}}$$

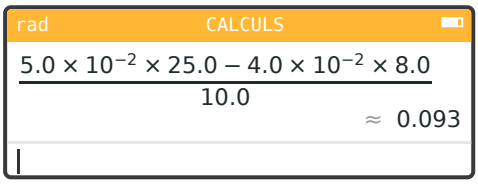
PIÈGE

Écrire $c_A V_A = c_2 V_{eq2}$ comme pour un dosage direct : les ions thiocyanate dosent l'excès d'ions argent, pas les ions chlorure.

COMPRENDRE

Le sujet prend ici $c_0 = 5{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, valeur différente de celle obtenue par étalonnage au 1.4.2. On utilise la valeur donnée dans cette partie.

À LA CALCULATRICE



Voyage autour de Saturne

Bac S 2005 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1.1 Nommer la (les) force(s) extérieure(s) appliquée(s) au satellite Titan, de masse M_T.

Système {Titan}, étudié dans le référentiel saturno-centrique.

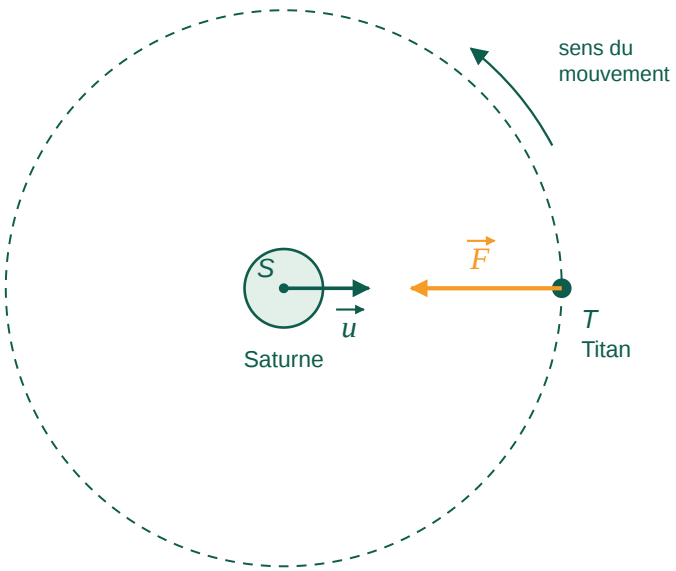
Titan n'est soumis qu'à une force : la force d'attraction gravitationnelle exercée par Saturne.

1.1.2 Représenter qualitativement sur un schéma Saturne, Titan et la (les) force(s) extérieure(s) appliquée(s) sur Titan.

La force $\vec{F}$ est appliquée au centre T de Titan, portée par la droite (ST) et dirigée de T vers S.

Voir le schéma : $\vec{F}$ part de T et pointe vers S.

PIÈGE
Une flèche partant de Saturne représenterait la force subie par Saturne. La force étudiée a son origine en T, sur le système.



1.1.2 · Saturne, Titan sur son orbite circulaire et la force exercée par Saturne

1.1.3 Donner l'expression vectorielle de cette (ces) force(s).

Les centres S et T sont distants de R_T et $\vec{u}$ est dirigé de S vers T, alors que la force attire Titan vers S :

$$\vec{F} = -\frac{G\,M_S\,M_T}{R_T^2}\,\vec{u}$$

PIÈGE
Oublier le signe « $-$ » : la force est attractive, donc de sens opposé à $\vec{u}$. Ne pas confondre non plus R_T (rayon de l'orbite) et R_S (rayon de la planète).

1.2.1 Exprimer l'accélération vectorielle $\vec{a}$ du centre d'inertie T de Titan en précisant la loi utilisée.

Dans le référentiel saturno-centrique supposé galiléen, la deuxième loi de Newton appliquée à Titan (masse M_T constante) s'écrit $\vec{F} = M_T\,\vec{a}$, soit

$$M_T\,\vec{a} = -\frac{G\,M_S\,M_T}{R_T^2}\,\vec{u}$$

$$\boxed{\vec{a} = -\frac{G\,M_S}{R_T^2}\,\vec{u}}$$

COMPRENDRE
La masse M_T se simplifie : l'accélération, donc le mouvement, ne dépend pas de la masse du satellite, seulement de celle de l'astre attracteur et de la distance.

1.2.2 Dans la base $(\vec{t}, \vec{n})$, où $\vec{a} = a_t\,\vec{t} + a_n\,\vec{n}$, donner les expressions littérales de a_t et de a_n en fonction de la vitesse v du satellite.

Pour un mouvement circulaire de rayon R_T :

$$\boxed{a_t = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} \quad \text{et} \quad a_n = \frac{v^2}{R_T}}$$

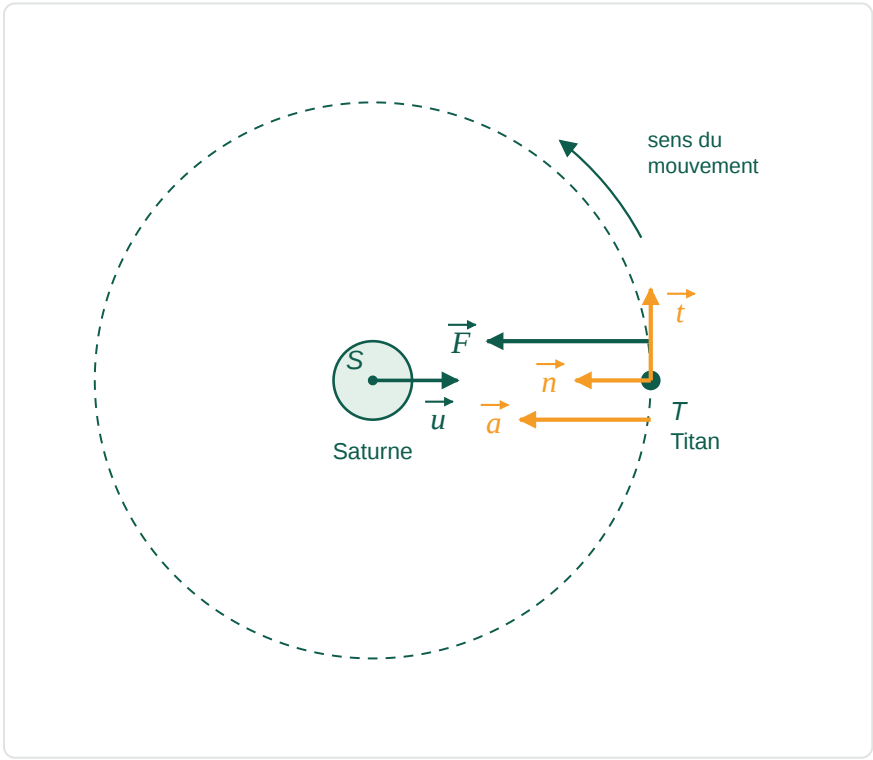
COMPRENDRE
a_t traduit la variation de la valeur de la vitesse ; a_n traduit le changement de direction du vecteur vitesse, et n'est jamais nulle sur un cercle.

1.2.3 À quelle composante se réduit l'accélération vectorielle $\vec{a}$ de Titan dans la base $(\vec{t}, \vec{n})$? Compléter le schéma précédent avec la base $(\vec{t}, \vec{n})$ et l'accélération $\vec{a}$.

Comme $\vec{n} = -\vec{u}$, le résultat de 1.2.1 devient $\vec{a} = \dfrac{G\,M_S}{R_T^2}\,\vec{n}$:
l'accélération n'a aucune composante selon $\vec{t}$.

$\vec{a} = a_n\,\vec{n}$: l'accélération se réduit à sa composante normale, elle est dirigée vers S (centripète).

MÉTHODE
Sur le schéma : $\vec{t}$ tangent à l'orbite dans le sens du mouvement, $\vec{n}$ de T vers S, $\vec{a}$ de même direction et de même sens que $\vec{F}$.



1.2.3 · Schéma complété : les trois vecteurs dirigés vers S sont portés par la droite (TS), décalés ici pour rester lisibles

1.3.1 Montrer que le mouvement de Titan est uniforme.

D'après 1.2.3, la composante tangentielle de l'accélération est nulle : $a_t = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$.

La valeur v de la vitesse est constante : le mouvement circulaire de Titan est **uniforme**.

PIÈGE
Écrire « l'accélération est nulle » ou « $\vec{a}$ est constant ». Seule a_t est nulle ; le vecteur $\vec{a}$ garde la même norme mais change de direction à chaque instant.

1.3.2 Retrouver l'expression de la vitesse de Titan sur son orbite autour de Saturne : $v = \sqrt{\dfrac{G\,M_S}{R_T}}$.

On identifie les deux expressions de la composante normale (1.2.2 et 1.2.3) :

$$\frac{v^2}{R_T} = \frac{G\,M_S}{R_T^2} \quad \text{donc} \quad v^2 = \frac{G\,M_S}{R_T}$$

$v = \sqrt{\dfrac{G\,M_S}{R_T}}$, expression attendue.

MÉTHODE
Force centrale et orbite circulaire : deuxième loi de Newton, puis identification dans la base $(\vec{t}, \vec{n})$. Selon $\vec{t}$: mouvement uniforme. Selon $\vec{n}$: la vitesse.

2.1.1 À partir de $T = \dfrac{2\pi R}{v}$ et de $v = \sqrt{\dfrac{G\,M_S}{R}}$, retrouver la troisième loi de Kepler $\dfrac{T^2}{R^3} = \dfrac{4\pi^2}{G\,M_S}$.

On élève la période au carré, puis on remplace v^2 par $\dfrac{G\,M_S}{R}$:

$$T^2 = \frac{4\pi^2 R^2}{v^2} = 4\pi^2 R^2 \times \frac{R}{G\,M_S} = \frac{4\pi^2 R^3}{G\,M_S}$$

$\dfrac{T^2}{R^3} = \dfrac{4\pi^2}{G\,M_S}$, expression attendue.

COMPRENDRE
Le rapport $\dfrac{T^2}{R^3}$ ne dépend que de M_S : il a la même valeur pour tous les satellites de Saturne, Titan, Encelade ou la sonde.

2.1.2 Utiliser la troisième loi de Kepler pour déterminer la valeur du rayon R_E de l'orbite d'Encelade.

Données utiles $T_E = 1{,}37$ jour terrestre ; $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ S.I. ; $M_S = 5{,}69 \times 10^{26}$ kg

Pour Encelade : $\dfrac{T_E^2}{R_E^3} = \dfrac{4\pi^2}{G\,M_S}$, donc $R_E = \sqrt[3]{\dfrac{G\,M_S\,T_E^2}{4\pi^2}}$.

Période en secondes : $T_E = 1{,}37 \times 24 \times 3600 = 1{,}18 \times 10^5$ s.

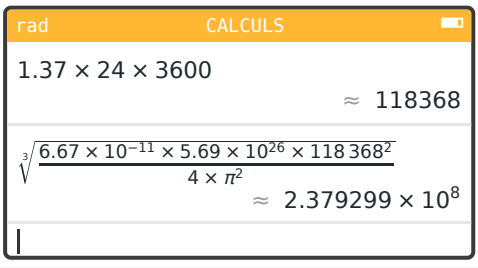
$$R_E = \sqrt[3]{\frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}69 \times 10^{26} \times (1{,}37 \times 24 \times 3600)^2}{4\pi^2}}$$

$R_E = 2{,}38 \times 10^8$ m $= 2{,}38 \times 10^5$ km

PIÈGE
Laisser T_E en jours. Avec G en unités S.I., la période doit être en secondes et le rayon sort en mètres.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme G, M_S et T_E. Encelade est environ cinq fois plus proche de Saturne que Titan ($R_T = 1{,}22 \times 10^6$ km), d'où sa période bien plus courte.

À LA CALCULATRICE



3.1 Quelle condition doit-on avoir sur les périodes T_S (rotation de Saturne sur elle-même) et T_C (révolution de Cassini autour de Saturne) pour que la sonde soit « saturno-stationnaire » ?

Pour rester à la verticale d'un même point de l'équateur, la sonde doit faire un tour d'orbite pendant que Saturne fait un tour sur elle-même.

$T_C = T_S$

COMPRENDRE
Il faut aussi que l'orbite soit dans le plan de l'équateur et parcourue dans le sens de rotation de Saturne ; l'énoncé ne demande que la condition sur les périodes.

3.2.1 En utilisant la troisième loi de Kepler, montrer que l'altitude de la sonde vaut $h = \sqrt[3]{\dfrac{T_C^2\, G\, M_S}{4\pi^2}} - R_S$.

La sonde est à la distance $R_C = R_S + h$ du centre de Saturne. La troisième loi de Kepler donne :

$$\frac{T_C^2}{(R_S+h)^3} = \frac{4\pi^2}{G\,M_S} \quad \text{donc} \quad (R_S+h)^3 = \frac{T_C^2\, G\, M_S}{4\pi^2}$$

$h = \sqrt[3]{\dfrac{T_C^2\, G\, M_S}{4\pi^2}} - R_S$, expression attendue.

PIÈGE
Remplacer R par h dans la loi de Kepler. Le rayon de l'orbite se mesure depuis le centre de Saturne ; l'altitude se mesure depuis sa surface.

3.2.2 Calculer la valeur de h.

Données utiles $T_C = T_S = 10\text{ h }39\text{ min}$ (3.1) ; $R_S = 6{,}0 \times 10^4$ km ; $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ S.I. ; $M_S = 5{,}69 \times 10^{26}$ kg

$T_C = T_S = 10 \times 3600 + 39 \times 60 = 38\,340$ s et $R_S = 6{,}0 \times 10^7$ m.

$$h = \sqrt[3]{\frac{38\,340^2 \times 6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}69 \times 10^{26}}{4\pi^2}} - 6{,}0 \times 10^7$$

Le rayon de l'orbite vaut $1{,}12 \times 10^8$ m, d'où :

$h = 5{,}2 \times 10^7\text{ m} = 5{,}2 \times 10^4\text{ km}$

PIÈGE
Deux conversions à faire : T_S en secondes et R_S en mètres. Soustraire $6{,}0 \times 10^4$ (en km) d'un rayon en mètres ne change presque rien et donne $1{,}1 \times 10^8$ m, faux.

COMPRENDRE
R_S n'a que deux chiffres significatifs (connu à $0{,}1 \times 10^7$ m près) : la différence se donne à cette précision, soit $5{,}2 \times 10^7$ m.

À LA CALCULATRICE

