

Tronc commun

Exercice I

1. Le laser de ChemCam

1.1. Deux propriétés du laser à **choisir** parmi les suivantes :

- la lumière émise est **monochromatique**,
- il présente une **très grande puissance par unité de surface**,
- un laser émet un faisceau lumineux **directif**,
- pour le laser pulsé, comme celui de Chemcam, il permet une **concentration temporelle de l'énergie**

1.2. D'après le document 1, le laser émet un rayonnement de longueur d'onde égale à 1067 nm, donc **supérieure à 800 nm** : il s'agit d'un rayonnement **infrarouge** et non pas de la lumière visible.

1.3. Afin d'obtenir une irradiance suffisante pour créer un plasma, le document 1 nous indique qu'elle doit être **supérieure à 1,0 GW.cm⁻²**.

On apprend aussi que l'irradiance I correspond à la puissance P par unité de surface A : $I = \frac{P}{A}$.

$$\text{Or } P = \frac{E}{\Delta t} \text{ et l'aire d'un disque vaut } A = \pi.R^2 = \pi.\left(\frac{D}{2}\right)^2, \text{ donc } I = \frac{E}{\pi.\left(\frac{D}{2}\right)^2.\Delta t}$$

$$I = \frac{15 \times 10^{-3}}{\pi \times \left(\frac{350 \times 10^{-6} \times 10^2}{2}\right)^2 \times 5 \times 10^{-9}} = 3 \times 10^9 \text{ W.cm}^{-2} = 3 \text{ GW.cm}^{-2}$$

L'irradiance est **supérieure à 1,0 GW.cm⁻²**. Les caractéristiques du laser de Chemcam permettent donc bien d'obtenir une irradiance suffisante pour créer des plasmas.

2. Test de fonctionnement de l'analyseur spectral de ChemCam.

2.1. L'énergie d'un atome est **quantifiée**.

Or chaque atome (ou ion) possède des **niveaux d'énergie qui lui sont propres** (comme celui de l'élément calcium donné au document 2).

La désexcitation spontanée d'un niveau d'énergie E_j à un niveau d'énergie E_i ($E_i < E_j$) tels que $\Delta E = E_j - E_i$ s'accompagne **de l'émission d'un photon** d'énergie $\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$.

Les niveaux d'énergie étant différents d'un atome à l'autre, les **longueurs d'ondes λ des radiations émises seront différentes**.

Ceci explique pourquoi deux atomes (ou ions) différents ne donnent pas le même spectre d'émission. Chaque spectre est unique et constitue « la carte d'identité » ou « l'empreinte digitale » de l'élément.

2.2. D'après la relation $\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$. en respectant les unités SI et en transformant ΔE exprimé en Joule en eV

$$\Delta E = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{423 \times 10^{-9} \times 1,602 \times 10^{-19}} = 2,94 \text{ eV}$$

Cela correspond donc à la **transition énergétique** entre le deuxième niveau excité et le niveau fondamental soit de $E_2 = 2,94 \text{ eV}$ vers le niveau $E_0 = 0,0 \text{ eV}$

2.3. La roche témoin analysée par Chemcam contient l'élément calcium.

Si l'analyseur spectral de Chemcam fonctionne bien, nous devons retrouver dans le spectre d'émission atomique du document 4, les longueurs d'onde des raies d'émission de l'élément calcium présentées au document 3. Ceci est en effet le cas :

Longueur d'onde des raies d'émission de l'élément Ca (doc.3)(nm)	394	397	423	443	444	446
Correspondance dans le spectre de la roche témoin (doc.4)	C	D	F	J	K	L

Exercice II :

1.1. D'après l'énoncé : $R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$ ← m R_{th} s'exprime en $\frac{m}{W.m^{-1}.K^{-1}.m^2} = \frac{1}{W.K^{-1}} = K.W^{-1}$

$W.m^{-1}.K^{-1}$ m^2

1.2. Pour avoir une meilleure isolation, il faut une résistance thermique élevée.

Comme $R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$, avec la surface S à isoler constante, on peut :

- augmenter l'épaisseur e de la paroi (e au numérateur),
- choisir un matériau moins bon conducteur thermique, ainsi λ est plus faible (λ au dénominateur).

1.3. Il faut additionner les résistances thermiques des 5 parois des murs extérieurs :

$$R_{th} = \left(\sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} \right) \cdot \frac{1}{S} \quad \text{Il faut convertir } e \text{ en } m.$$

$$R_m = \left(\frac{1,5 \times 10^{-2}}{0,50} + \frac{5,0 \times 10^{-2}}{0,80} + \frac{6,0 \times 10^{-2}}{0,040} + \frac{20 \times 10^{-2}}{0,60} + \frac{2,5 \times 10^{-2}}{1,05} \right) \times \frac{1}{85} = \mathbf{0,023 K.W^{-1}}$$

Remarque : la surface S étant la même pour toutes les parois, on a factorisé par $1/S$.

1.4. On souhaite remplacer les matériaux isolants des combles par de la laine de verre, tout en conservant une résistance thermique identique, indiquée dans le tableau $R_{combles} = 0,053 K.W^{-1}$.

Les combles ont une surface $S = 79 m^2$

$$R_{combles} = \frac{e}{\lambda_{lv} \times S} \text{ donc } e = R_{combles} \cdot \lambda_{lv} \cdot S \quad e = 0,053 \times 0,038 \times 79 = \mathbf{0,16 m}$$

1.5.1. Les transferts thermiques s'effectuent de l'intérieur (corps chaud à 19°C) vers l'extérieur et le sol (corps froids à 4°C et 10°C).

1.5.2. Exprimons le flux thermique pour les vitres : $\Phi = \frac{Q_v}{\Delta t}$ et $\Phi = \frac{T_i - T_e}{R_{th}}$.

Donc $\frac{Q_v}{\Delta t} = \frac{T_i - T_e}{R_{th}}$, on en déduit l'expression de la chaleur $Q_v = \frac{(T_i - T_e) \cdot \Delta t}{R_{th}}$

Pour une journée de 24 h : $Q_v = \frac{(19 - 4) \times 24 \times 3600}{0,10} = 1,296 \times 10^7 J = \mathbf{13 MJ}$

Comme la température intérieure reste constante, c'est que l'énergie interne de la maison ne varie pas $\Delta U = 0$. Le poêle à bois doit fournir à la maison autant d'énergie que celle-ci en cède vers le milieu extérieur :

$$Q_{poele} = Q_m + Q_v + Q_s + Q_c$$

$$Q_{poele} = 56 + 13 + 37 + 24 = \mathbf{130 MJ} \text{ chaque jour.}$$

Remarque : inutile de convertir $T_i - T_e$ en K car $((19+273) - (4+273)) = 15 K = 15^\circ C$

1.6. Pour savoir si la maison est passive, il faut déterminer ses besoins en chauffage par m^2 habitable et par an.

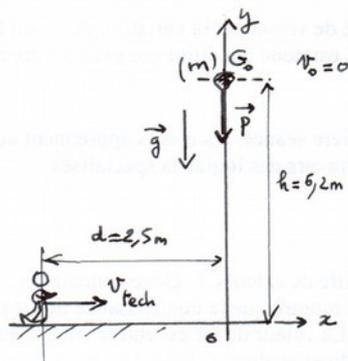
$$\text{Besoins} = \frac{Q_{poele} \text{ (en kWh)} \times (\text{durée de la période de chauffage en jours})}{\text{surface habitable}}$$

$$\text{Besoins} = \frac{(130/3,6) \times 100}{68} = \mathbf{53 kWh.m^{-2}.an^{-1}}$$

Les besoins en chauffage, bien que largement inférieurs à ceux d'un bâtiment classique, sont supérieurs au critère défini pour une maison passive ($15 kWh.m^{-2}.an^{-1}$).

Incident sur le chantier

2.1.



2.2. Considérons comme système le sac de sable dans le référentiel terrestre (supposé galiléen) en chute libre. Il n'est soumis qu'à l'action de son poids.

Appliquons la deuxième loi de Newton

$$\vec{P} = m \vec{g}$$

$$\sum \vec{f}_{ext/m} = m \vec{a}$$

$$\vec{a} = \vec{g}$$

soit

$$m \vec{g} = m \vec{a}$$

$$|\vec{a}| \begin{cases} a_x = g_x = 0 \\ a_y = g_y = -g \end{cases}$$

Le mouvement étant vertical car $v_0 = 0$ on ne considère que l'axe Oy : $a_y = -g$

Par définition, $a_y = \frac{dv_y}{dt}$. En primitivant, on obtient $v_y = -gt + v_{0y}$.

Le sac de sable tombe sans vitesse initiale, soit $v_{0y} = 0 \text{ m.s}^{-1}$ donc : $v_y = -gt$

D'autre part $v_y = \frac{dy_s}{dt}$. En primitivant, on a : $y_s = -\frac{1}{2}gt^2 + y_0$.

Or à $t = 0 \text{ s}$, le sac est à la hauteur $h = 6,2 \text{ m}$, donc $y_0 = h$ d'où : $y_s = -\frac{1}{2}gt^2 + h$

Numériquement : $y_s = -\frac{1}{2} \times 9,8 \times t^2 + 6,2$ Soit, comme indiqué, $y_s = -4,9.t^2 + 6,2$

2.3. Il faut déterminer si le technicien se trouve ou non au niveau du point de chute du sac, après une durée égale à celle du temps de chute du sac.

La chute se termine lorsque le sac touche le sol alors $y_s = 0$.

D'après l'équation précédente, la durée de la chute t_c est telle que $0 = -4,9.t_c^2 + 6,2$

$$t_c^2 = \frac{6,2}{4,9}$$

$t_c = \sqrt{\frac{6,2}{4,9}} = 1,1 \text{ s}$ Or le technicien se déplace à la vitesse $v_{tech} = 1,1 \text{ m.s}^{-1}$ donc il aura parcouru $d_{tech} = v_{tech} \cdot t_c$

$d_{tech} = 1,1 \times 1,1 = 1,2 \text{ m}$.

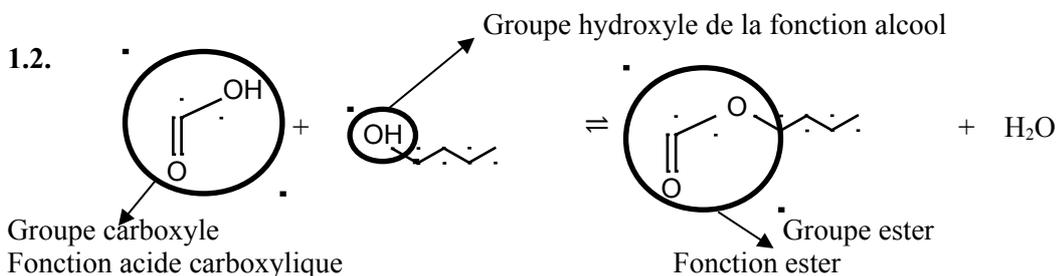
Le sac de sable va s'écraser à 1,3 m devant le technicien ($d - d_{tech} = 2,5 - 1,2$).

Le technicien ne risque rien.

Exercice III

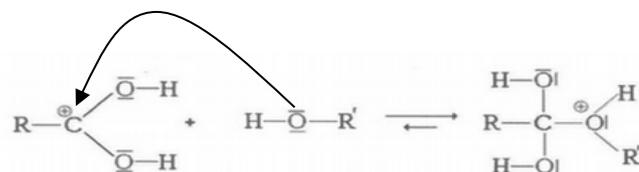
1. Réaction de synthèse du méthanoate de butyle et son mécanisme

1.1. L'acide formique a pour formule HCOOH , il est contient un seul atome de carbone, c'est l'acide méthanoïque.



1.3. Au cours de l'étape (a) un doublet non-liant de l'atome d'oxygène (site donneur) va permettre de former une liaison avec le proton H^+ (site accepteur). L'atome d'oxygène va se trouver ainsi porteur d'une charge positive.

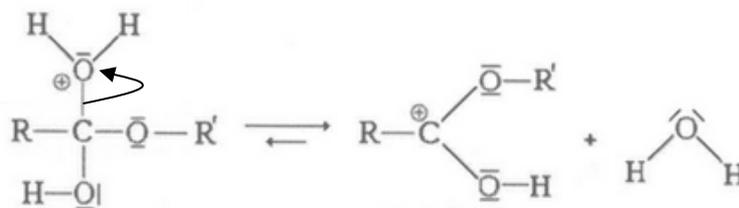
1.4. Étape ©



Il s'agit de la formation d'une liaison.

Étape (e)

Il s'agit de la rupture d'une liaison.



1.5. Le numéro atomique du carbone est $Z(C) = 6$.

Sa structure électronique est $(K)^2 (L)^4$, l'atome C possède 4 électrons célibataires sur sa couche électronique externe. Or sur la formule semi-développée présentée dans l'étape (e), on ne voit que 3 liaisons covalentes simples ($= 3 e^-$) autour du C : il a perdu un électron.

Le numéro atomique de l'oxygène est $Z(O) = 8$.

Sa structure électronique est $(K)^2 (L)^6$, l'atome O possède 2 électrons célibataires et 2 doublets non liants sur sa couche électronique externe. La formule semi-développée montre 3 liaisons covalentes simples ($= 3 e^-$) et un doublet non liant ($= 2 e^-$), donc O est entouré de seulement 5 électrons, il en a perdu un.

2. Optimisation du protocole de synthèse

2.1. Le mélange introduit est stœchiométrique si on a introduit les mêmes quantités de matière de chacun des réactifs (les coefficients stœchiométriques étant égaux à 1).

Quantité d'acide formique introduite initialement : $n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{\rho_1 \cdot V_1}{M_1}$

Or $d_1 = \frac{\rho_1}{\rho_{eau}}$ alors $\rho_1 = d_1 \cdot \rho_{eau}$ donc $n_1 = \frac{d_1 \cdot \rho_{eau} \cdot V_1}{M_1} = \frac{1,22 \times 1,0 \times 7,5}{46,0} = 0,20 \text{ mol}$

Quantité de butan-1-ol introduite initialement : $n_2 = \frac{m_2}{M_2} = \frac{d_2 \cdot \rho_{eau} \cdot V_2}{M_2}$

$n_2 = \frac{0,81 \times 1,0 \times 18,0}{74,0} = 0,20 \text{ mol}$

Le mélange est bien stœchiométrique car $n_1 = n_2$

2.2. Le protocole indique un bain-marie à une température de 50°C , en présence d'acide sulfurique concentré (catalyseur). On a donc un mélange stœchiométrique, avec catalyseur et un chauffage de 50°C , soit la **courbe (c)**.

2.3. Le rendement de la synthèse est $\eta = \frac{m_{\text{expérimentale}}}{m_{\text{attendue}}} = \frac{n_{\text{expérimentale}}}{n_{\text{attendue}}}$

Le mélange est stœchiométrique donc on obtiendra, au maximum, $n_1 = n_2 = n$ mol d'ester.

D'après la courbe (c), la quantité d'ester obtenue est de 0,13 mol.

$\eta = \frac{0,13}{0,20} = 0,65 = 65\%$

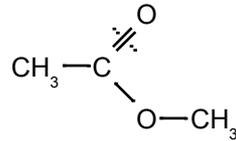
2.4. Trois facteurs influencent la synthèse de l'ester :

- la température : si on compare les courbes (c) et (b), le même état final d'équilibre est atteint plus rapidement en chauffant (50°C).
- la présence du catalyseur : on compare les courbes (a) et (c) : le même état final d'équilibre est atteint plus rapidement en utilisant un catalyseur.
- l'excès d'un des réactifs : si on compare les courbes (e) et (d), on voit sur la courbe (e) que l'état final d'équilibre est atteint plus vite et la quantité finale d'ester formée est plus importante. L'excès d'un réactif favorise la formation de l'ester.

2.5. Si on veut augmenter le rendement il faut mettre un réactif en excès, si on veut atteindre plus vite l'état final d'équilibre ($=$ diminuer la durée de réaction) il faut chauffer (vers 50°C) et enfin il faut utiliser un catalyseur.

3. Identification des esters.

3.1. Molécule d'éthanoate de méthyle :

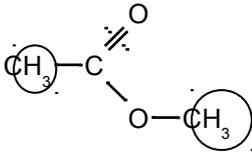


3.2. Le méthanoate d'éthyle et l'éthanoate de méthyle possèdent le même groupe caractéristique ester ce qui provoquera la même bande d'absorption en spectroscopie IR, on ne pourra donc pas différencier ces deux molécules.

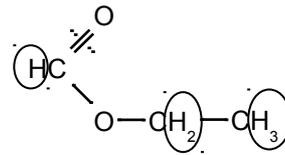
3.3. La molécule d'éthanoate de méthyle présente deux groupes d'atomes d'hydrogène équivalents, donc son spectre présente deux signaux (deux singulets) alors que la molécule de méthanoate d'éthyle présente trois groupes d'atomes d'hydrogène équivalents, soit trois signaux(1 singulet , 1 triplet et 1 quadruplet) .

Le spectre de RMN 1 correspond au méthanoate d'éthyle et le spectre de RMN 2 à l'éthanoate de méthyle.

éthanoate de méthyle



méthanoate d'éthyle



Exercice de spécialité

Document 1 : module de commande

Puissance électrique moyenne de **1,70 kW**

Besoin de l'équipage : **0,82 kg de O₂/jour/personne**

Volume de l'espace pressurisé **6,5 m³**

4,0 kg d'eau /jour/personne

On peut déjà calculer les besoins de l'équipage pour la mission complète de 3 personnes pour 14 jours :

Dioxygène : $m(\text{O}_2) = 0,82 \times 3 \times 14 = 34,4 \text{ kg}$

Eau : $m(\text{H}_2\text{O}) = 4,0 \times 3 \times 14 = 168 \text{ kg}$

Document 2 : module de service

3 piles à combustible, pouvant fournir chacune une puissance électrique de 1,4 kW

Le système de production électrique consomme **21 moles de dihydrogène pour produire 1,0 kW pendant une heure.**

Document 3 : pile à combustible

À l'anode, le dihydrogène est oxydé : $\text{H}_2 + 2 \text{HO}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^-$

À la cathode, le dioxygène est réduit : $\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightarrow 4 \text{HO}^-$

Masses molaires atomiques : $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g.mol}^{-1}$.

Document 4 : stockage

Deux réservoirs de O₂, chacun peut contenir **147 kg de dioxygène.**

Deux réservoirs de H₂, chacun peut contenir **12,8 kg de dihydrogène.**

Il s'agit de comparer les besoins aux stocks et aux capacités de production du vaisseau.

Indépendance en énergie électrique :

Consommation :

La puissance consommée par le vaisseau Apollo est de 1,70 kW.

L'énergie et la puissance sont liées par la relation $E = P \cdot \Delta t$.

Pour 14 jours, l'énergie nécessaire à l'alimentation du vaisseau est donc de :

$$E_{(\text{néc } 14 \text{ jours})} = 1,70 \times (24 \times 14) = 5,71 \times 10^2 \text{ kW.h}$$

Ces besoins doivent être couverts par le fonctionnement des piles à combustible.

Production :

Trois piles à combustible fournissent chacune une puissance électrique de 1,4 kW.

Chaque pile peut fournir, en 14 jours, une énergie de $1,4 \times (24 \times 14) = 4,7 \times 10^2 \text{ kW.h}$

Pour les trois piles, l'énergie produite est donc $E_{(\text{produite})} = 14,1 \times 10^2 \text{ kW.h}$

Conclusion :

$14,1 \times 10^2 \text{ kW.h} > 5,71 \times 10^2 \text{ kW.h}$: le système électrique est largement dimensionné mais cette énergie ne sera disponible que si les réserves en H_2 et O_2 sont suffisantes pour assurer le fonctionnement des piles pendant toute la durée du séjour.

Indépendance en H_2 :

Consommation : par les piles à combustible

Le système de production électrique consomme 21 moles de dihydrogène pour produire 1,0 kW pendant une heure, soit une énergie de 1,0 kW.h.

On peut déterminer la quantité d' H_2 nécessaire aux besoins électriques :

$$21 \text{ mol} \rightarrow 1,0 \text{ kW.h}$$

$$n_{\text{H}_2} \rightarrow 5,71 \times 10^2 \text{ kW.h}$$

$$n_{\text{H}_2} = 21 \times 5,71 \times 10^2 = 1,2 \times 10^4 \text{ mol}$$

Soit une masse de dihydrogène $m(\text{H}_2) = n_{(\text{H}_2)} \times M(\text{H}_2)$

$$m(\text{H}_2) = 1,2 \times 10^4 \times 2,0 = 2,4 \times 10^4 \text{ g} = 24 \text{ kg}$$

Stock de H_2 :

Deux réservoirs de H_2 ; chacun peut contenir 12,8 kg de dihydrogène.

Ainsi on dispose de **25,6 kg de H_2** .

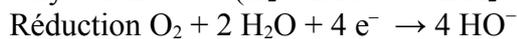
Conclusion :

Le stock de dihydrogène est suffisant.

Indépendance en O_2 :

Consommation :

- par les piles à combustible



Bilan de la pile à combustible : $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$

Comme calculé précédemment, on consomme $1,2 \times 10^4 \text{ mol}$ de H_2 .

D'après l'équation, on consomme alors $n_{\text{O}_2} =$

$$n_{\text{O}_2} = \frac{1,2 \times 10^4}{2} = 0,6 \times 10^4 \text{ mol}$$

Soit une masse de dioxygène $m(\text{O}_2) = n_{(\text{O}_2)} \times M(\text{O}_2)$

$$m_{(\text{O}_2)} = 0,6 \times 10^4 \times 32,0 = 1,92 \times 10^5 \text{ g} = 192 \text{ kg}$$

- par les astronautes

0,82 kg de O_2 /jour/personne donc pour 3 personnes pendant 14 jours :

Consommation de dioxygène : $m_{(\text{O}_2)}^{\text{nécessaire}} = 0,82 \times 3 \times 14 = 34,4 \text{ kg}$

$$\text{Total consommation} = 192 + 34,4 = 226 \text{ kg}$$

Stock de O_2 :

Deux réservoirs de dioxygène ; chacun peut contenir 147 kg de dioxygène.

Ainsi on dispose de **294 kg de O_2** .

Conclusion :

Le stock de dioxygène suffit à assurer la production électrique et à assurer la respiration des astronautes.

Indépendance en eau :

Production d'eau :

L'eau est produite par les piles et dépend de la quantité de réactifs qu'elles consomment.

D'après l'équation de fonctionnement de la pile, la quantité d'eau produite est égale à celle de dihydrogène consommée : $n_{\text{H}_2\text{O}} = n_{\text{H}_2} = 1,2 \times 10^4 \text{ mol}$

Soit une masse d'eau $m(\text{H}_2\text{O}) = n_{(\text{H}_2\text{O})} \times M(\text{H}_2\text{O}) = 1,2 \times 10^4 \times 18,0 = 2,16 \times 10^5 \text{ g} = \mathbf{2,2 \times 10^2 \text{ kg}}$

Consommation :

4,0 kg d'eau /jour/personne donc pour 3 personnes pendant 14 jours :

Consommation d'eau : $m(\text{H}_2\text{O})_{\text{nécessaire}} = 4,0 \times 3 \times 14 = \mathbf{168 \text{ kg}}$

Conclusion :

La quantité d'eau produite (216 kg) est très suffisante pour la vie à bord (168 kg).

Conclusion générale :

Les ressources embarquées en O_2 et H_2 sont supérieures aux besoins de la mission et peuvent pallier un prolongement imprévu du séjour en orbite.