# ChemCam

Bac S 2014 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 1 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

**1.1** Donner deux propriétés du laser.

Deux propriétés parmi :

- la lumière émise est **monochromatique** (une seule longueur d'onde) ;
- le faisceau est très **directif** (il diverge très peu) ;
- l'énergie est **concentrée dans l'espace** : forte puissance par unité de surface ;
- pour un laser pulsé, l'énergie est aussi **concentrée dans le temps** (impulsions très brèves).

Le laser émet une lumière monochromatique, en un faisceau directif.

**COMPRENDRE**
Le laser et ses propriétés figuraient au programme de Terminale S. Ils ne sont plus étudiés en spécialité depuis 2021 ; la suite de l'exercice (photon, niveaux d'énergie, spectres) reste au programme.

**1.2** Le laser de ChemCam émet-il de la lumière visible ? Justifier.

**Données utiles** document 1 : $\lambda = 1067$ nm

Dans le vide, le domaine visible s'étend d'environ $400$ nm à $800$ nm.

Le laser émet à $\lambda = 1067\ \text{nm} > 800\ \text{nm}$.

Le rayonnement est **infrarouge** : le laser de ChemCam n'émet pas de lumière visible.

**PIÈGE**
Répondre « non » sans citer les bornes du visible ne rapporte pas les points : « justifier » demande de comparer $1067$ nm à $800$ nm et de nommer le domaine.

**1.3** Montrer que les caractéristiques du faisceau laser permettent d'obtenir une irradiance suffisante pour créer un plasma.

**Données utiles** document 1 : $E = 15$ mJ ; $\Delta t = 5$ ns ; $D = 350\ \mu\text{m}$ ; seuil $1{,}0\ \text{GW}\cdot\text{cm}^{-2}$

Puissance d'une impulsion : $P = \dfrac{E}{\Delta t} = \dfrac{15\times10^{-3}}{5\times10^{-9}} = 3\times10^{6}\ \text{W}$

Surface éclairée (disque de diamètre $D = 350\ \mu\text{m} = 3{,}50\times10^{-2}$ cm) :

$$S = \pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi\times\left(\frac{3{,}50\times10^{-2}}{2}\right)^2 = 9{,}6\times10^{-4}\ \text{cm}^2$$

Irradiance (puissance par unité de surface) :

$$I = \frac{P}{S} = \frac{E}{\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2\Delta t} = \frac{3\times10^{6}}{9{,}6\times10^{-4}} = 3\times10^{9}\ \text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$$

$I \approx 3\ \text{GW}\cdot\text{cm}^{-2} > 1{,}0\ \text{GW}\cdot\text{cm}^{-2}$ : l'irradiance dépasse le seuil, le plasma peut se former.

**PIÈGE**
Le seuil est en $\text{GW}\cdot\text{cm}^{-2}$ : convertir $D$ en centimètres (ou le seuil en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$). Utiliser le rayon $D/2$, pas le diamètre, dans l'aire du disque.

**COMPRENDRE**
Un seul chiffre significatif : la durée $5$ ns n'en a qu'un. L'énergie est modeste ($15$ mJ), mais délivrée en quelques nanosecondes sur une tache minuscule : c'est la double concentration qui donne des gigawatts par centimètre carré.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{15\times10^{-3}}{5\times10^{-9}} \approx 3000000$$

$$\pi\times\left(\frac{3.50\times10^{-2}}{2}\right)^2 \approx 9.621128\times10^{-4}$$

$$\frac{15\times10^{-3}}{\pi\times\left(\frac{3.50\times10^{-2}}{2}\right)^2\times5\times10^{-9}} \approx 3.118138\times10^{9}$$

**2.1** Justifier pourquoi deux atomes (ou ions) différents ne donnent pas le même spectre d'émission.

L'énergie d'un atome ou d'un ion est quantifiée : elle ne prend que certaines valeurs, les niveaux d'énergie, qui sont propres à chaque espèce.

Quand l'atome passe d'un niveau $E_j$ à un niveau inférieur $E_i$, il émet un photon d'énergie

$$\Delta E = E_j - E_i = \frac{h\,c}{\lambda}$$

Des niveaux différents donnent des écarts $\Delta E$ différents, donc des longueurs d'onde $\lambda$ différentes.

Chaque atome ou ion a ses propres niveaux d'énergie, donc ses propres raies : son spectre d'émission le caractérise.

**COMPRENDRE**
C'est ce qui rend l'analyse possible : repérer les longueurs d'onde des raies du plasma revient à lire la signature de chaque élément présent dans la roche.

**2.2** À l'aide du document 2, identifier, pour l'ion $Ca^+$, la transition énergétique correspondant à la raie de longueur d'onde 423 nm.

**Données utiles** $h = 6{,}63\times10^{-34}$ J · s ; $c = 3{,}00\times10^{8}$ m · s$^{-1}$ ; 1 eV $= 1{,}602\times10^{-19}$ J ; $\lambda = 423$ nm

Énergie du photon émis :

$$\Delta E = \frac{h\,c}{\lambda} = \frac{6{,}63\times10^{-34}\times3{,}00\times10^{8}}{423\times10^{-9}} = 4{,}70\times10^{-19}\ \text{J}$$

En électronvolts : $\Delta E = \dfrac{4{,}70\times10^{-19}}{1{,}602\times10^{-19}} = 2{,}94$ eV

Cette énergie est l'écart entre deux niveaux du document 2. Seul l'écart $2{,}94 - 0{,}00 = 2{,}94$ eV convient.

La raie à 423 nm correspond à la transition du niveau 2,94 eV vers le niveau fondamental 0,00 eV.

**PIÈGE**
Chercher un niveau d'énergie 2,94 eV sans raisonner sur un écart : ici la transition aboutit au fondamental, mais ce n'est pas général. En émission, la flèche descend.

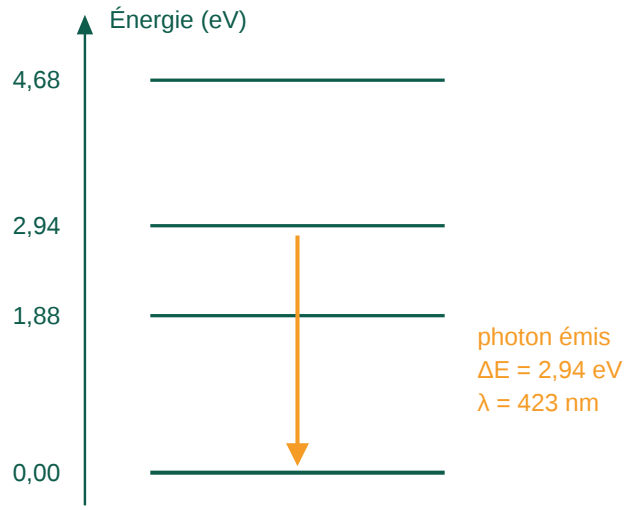
**MÉTHODE**
Raie d'émission : 1) $\Delta E = hc/\lambda$ avec $\lambda$ en mètres ; 2) conversion en eV en divisant par $1{,}602\times10^{-19}$ ; 3) recherche des deux niveaux dont la différence vaut $\Delta E$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{6.63\times10^{-34}\times3.00\times10^{8}}{423\times10^{-9}} \approx 4.702128\times10^{-19}$$

$$\frac{\frac{6.63\times10^{-34}\times3.00\times10^{8}}{423\times10^{-9}}}{1.602\times10^{-19}} \approx 2.935161$$




**2.2** · Document 2 : transition associée à la raie à 423 nm

**2.3** Le document 4 présente le spectre de la roche témoin. L'analyseur spectral de ChemCam fonctionne-t-il correctement ? Justifier.

**Données utiles** document 3 : raies de $Ca^+$ à 394 ; 397 ; 423 ; 443 ; 444 et 446 nm

La roche témoin contient du calcium : si l'analyseur fonctionne, son spectre doit présenter toutes les raies du document 3.

Sur le document 4, l'axe porte les repères 400, 420 et 440 nm. On lit la position des pics :

| Raie du calcium (nm) | 394 | 397 | 423 | 443 | 444 | 446 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pic du document 4 | B | D | F | J | K | L |

Les six raies attendues sont présentes, aux bonnes longueurs d'onde.

L'analyseur spectral détecte bien l'élément calcium de la roche témoin : il fonctionne correctement.

**PIÈGE**

Près de 394 nm, deux pics voisins (B et C) : on retient B, beaucoup plus intense, qui forme avec D le doublet caractéristique de l'ion $Ca^+$. Le petit pic C appartient à un autre élément.

**COMPRENDRE**

Les pics A, E, G et H ne figurent pas dans le document 3 : la roche contient d'autres éléments que le calcium. Leur présence ne remet pas en cause le test.