

Le laser

-I-La lumière d'un laser est-elle toujours rouge?

Le laser le plus utilisé au lycée, le laser He-Ne, émet une lumière rouge à 632 nm.
Mais qu'est-ce qui conditionne la couleur de cette lumière?

Dans un laser, c'est le milieu amplificateur qui définit le type de rayonnement produit.

Le laser He-Ne est un laser à gaz. Le milieu amplificateur est constitué d'un mélange gazeux d'atomes d'hélium et de néon. C'est le néon qui est à l'origine de la radiation lumineuse émise. L'inversion de population, qui consiste à placer davantage d'atomes dans un état excité que dans l'état fondamental, est assurée par l'hélium. Les atomes d'hélium sont excités à l'aide d'une décharge électrique, puis cèdent leur énergie aux atomes de néon par collision. La collision a pour effet de placer les électrons du néon dans des états d'énergie supérieurs. Les électrons dans cet état excité vont céder leur énergie par émission stimulée, en produisant une radiation à 632 nm (Fig. 1).

Dans le laser CO_2 , le milieu amplificateur est cette fois-ci un mélange gazeux de molécules de dioxyde de carbone et de diazote. C'est la molécule de dioxyde de carbone qui est responsable de la radiation émise et l'inversion de population est réalisée par la molécule de diazote. Le diazote, excité par une décharge électrique, transmet son énergie par collision au dioxyde de carbone. Contrairement à l'atome, qui n'échange de l'énergie que par des transitions électroniques, la molécule a aussi la possibilité d'emmagasiner de l'énergie sous forme vibratoire et donc d'effectuer des transitions entre ces niveaux d'énergie. En effet, les atomes d'une molécule sont comme liés par des micro-ressorts qui vibrent lorsqu'ils sont excités. La molécule de dioxyde de carbone est capable de vibrer selon les trois modes représentés sur la figure 2. Chaque mode de vibration correspond à un niveau d'énergie. Les deux transitions d'énergie du laser au dioxyde de carbone sont d'origine vibratoire. Les radiations produites ont pour longueurs d'onde 9,6 μm et 10,6 μm (Fig. 3).

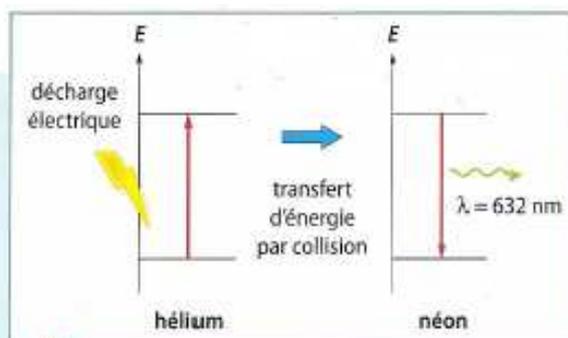


Fig. 1 Diagramme d'énergie simplifié du laser He-Ne.



Fig. 2 Modes de vibration de la molécule de CO_2 .

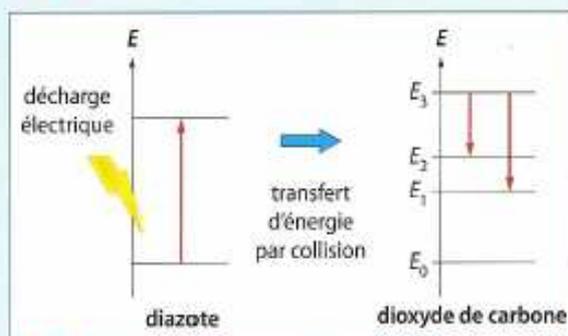


Fig. 3 Diagramme d'énergie simplifié du laser CO_2 .

Données: Constante de Planck: $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
Vitesse de la lumière dans le vide: $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

1) Le laser He-Ne:

- 1.a) Comment l'atome peut-il emmagasiner de l'énergie?
- 1.b) Calculer la valeur de la transition d'énergie électronique produisant la radiation de ce laser.
- 1.c) Dans quel domaine spectral émet le laser He-Ne?

2) Le laser CO_2 :

- 2.a) Quelles formes d'énergie peuvent emmagasiner les molécules?
- 2.b) Quelle forme d'énergie possède la molécule de dioxyde de carbone excitée dans le milieu amplificateur du laser?
- 2.c) L'émission stimulée n'est-elle réservée qu'aux atomes?
- 2.d) Repérer sur la figure 3 à quelles transitions correspondent les émissions à 9,6 et 10,6 μm .
- 2.e) Calculer la valeur de la transition d'énergie vibratoire de chacune des radiations émises.
- 2.f) Dans quel domaine spectral émet le laser CO_2 ?

3) Pour conclure:

- 3.a) Quels sont les deux types de transition d'énergie recensés dans cette activité?
- 3.b) Associer à chaque type de transition son domaine spectral.
- 3.c) Comparer les ordres de grandeur des valeurs des transitions d'énergie vibratoires et électroniques.

4) La lumière d'un laser est-elle toujours rouge?

joof *L'homme a ce choix: laisser entrer la lumière ou garder les volets fermés.*

-II- Le laser, outil d'investigation.

Y a-t-il des traces d'une vie passée sur la planète Mars? Pour la première fois, Un laser va être utilisé pour tenter de répondre à cette question.

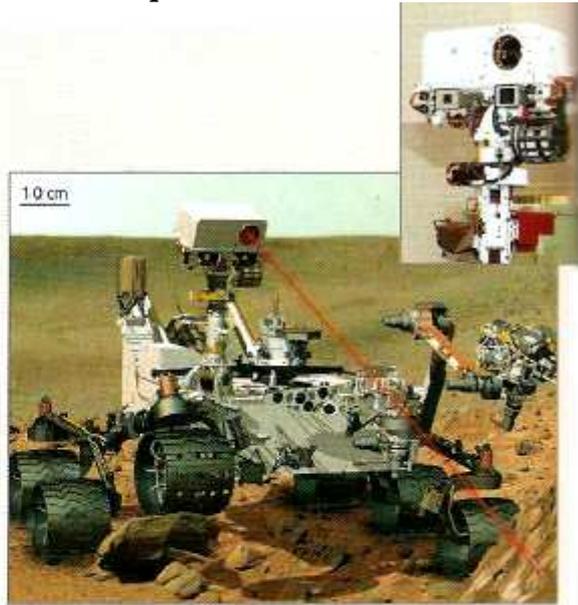
Mars Science Laboratory est la mission d'exploration de la planète Mars par le rover Curiosity (**document 1**). Lancé par une fusée Atlas V le 26 novembre 2011, le rover doit explorer le cratère Gale pour rechercher si un environnement favorable à l'apparition de la vie a existé, en analysant la composition minéralogique de Mars et en étudiant la géologie de la zone explorée.

À bord de Curiosity se trouve ChemCam (Chemistry Camera), un mini-laboratoire qui permet d'analyser à distance la nature et la composition des roches grâce à un laser pulsé. Ce laser, placé au sommet du mât du rover, a une portée de 7 mètres et une puissance de 6 MW. Il envoie des impulsions qui frappent la roche sur une surface circulaire de 0,5 mm de diamètre pendant environ 55 nanosecondes. De 50 à 70 impulsions sont nécessaires pour obtenir une analyse spectrale correcte de la roche.

Chauffée à plus de 10 000 °C sous les impulsions du laser, la couche superficielle de la roche est vaporisée.

La lumière de désexcitation émise est collectée par un télescope et envoyée par fibre optique à trois spectromètres. L'analyse spectrale de cette lumière, dans le visible et l'ultraviolet, permet de déterminer la composition chimique élémentaire de la roche. L'opération ne demande que quelques secondes, alors qu'il fallait plusieurs heures aux instruments installés sur les rovers Spirit et Opportunity des précédentes missions. De plus, son utilisation consomme relativement peu d'énergie.

Une mission du rover Curiosity.



Le rover Curiosity (dessin d'artiste), et son laboratoire ChemCam.

Rover: nom usuel donné aux véhicules destinés à explorer la surface des corps célestes (planètes, lune, etc.).

Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiations): amplification de lumière par émission stimulée de rayonnement.

1) Analyser les documents:

- 1.a) Quelles sont les deux caractéristiques du faisceau de lumière émis par le laser embarqué sur le rover Curiosity?
- 1.b) D'après le document 2, qu'est-ce qu'un laser pulsé?
- 1.c) Calculer en joule l'énergie nécessaire, dans le meilleur des cas, à la réalisation d'une analyse spectrale. Justifier la dernière phrase du texte.
- 1.d) Quel est l'intérêt d'utiliser un laser pulsé pour vaporiser des roches?
- 1.e) Pour caractériser l'éclairement d'une surface, on définit la puissance surfacique P_e par:

$$P_e = \frac{\text{puissance}}{\text{aire de la surface}} \text{ avec } 0 \leq P_e \text{ en } \text{W} \cdot \text{m}^{-2}.$$

Comparer la puissance surfacique du rayonnement frappant la roche martienne à celle de la Terre soumise au rayonnement solaire à midi en été, $P_e = 1,0 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$.

Justifier le fait que la roche puisse être vaporisée.

2) Faire une recherche:

- 2.a) Quelle est la durée des impulsions lasers les plus courtes que l'homme soit actuellement produire? À faible puissance, rechercher l'intérêt d'impulsions si courtes.
- 2.b) Indiquer d'autres applications des lasers pulsés.