

Thème : Ondes et information

Chapitre : Ondes électromagnétiques

Objectifs :

- Ordonner les domaines des ondes électromagnétiques en fonction de la fréquence et de la longueur d'onde dans le vide.
- Citer les longueurs d'ondes perceptibles par l'œil humain.
- Citer la valeur de la célérité d'une onde électromagnétique dans le vide.
- Citer quelques caractéristiques du rayonnement émis par différentes sources lumineuses d'usage courant.
- Extraire d'une documentation fournie et exploiter les principales caractéristiques (longueur d'onde, puissance, directivité) d'un laser.
- Citer les risques et les précautions associés à l'utilisation de sources lumineuses variées

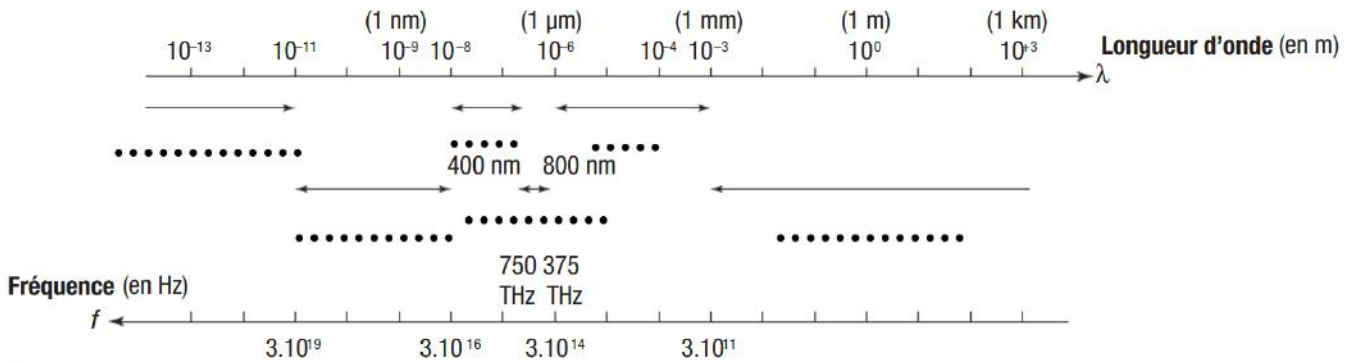
Sommaire

1. Cours	2		
1.1 Les différents domaines des ondes électromagnétiques	2	1.5 Risques et précautions associés à l'utilisation de sources lumineuses variées. . .	3
1.2 Longueurs d'ondes perceptibles par l'œil humain	2	2. Activité 1 : Les ondes électromagnétiques au service de la santé.	4
1.3 Célérité des ondes électromagnétiques	2	3. Activité 2 : Quelques sources lumineuses.	5
1.4 Caractéristiques du rayonnement émis par différentes sources lumineuses	3	4. Exercices	7

1. Cours

1.1 Les différents domaines des ondes électromagnétiques

Compléter le schéma suivant en utilisant les termes suivants : Rayon γ , Rayons X, Visible, UV, IR, Ondes hertziennes.



▲ Domaines des ondes électromagnétiques.

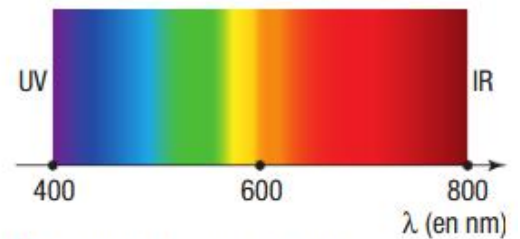
1.2 Longueurs d'ondes perceptibles par l'œil humain

Quel est l'intervalle de longueurs d'ondes perceptible par l'œil humain ?

.....

Par quels domaines le spectre du domaine visible est limité ?

.....



▲ Spectre du domaine du visible.

1.3 Célérité des ondes électromagnétiques

De quoi est composé une onde électromagnétique ?

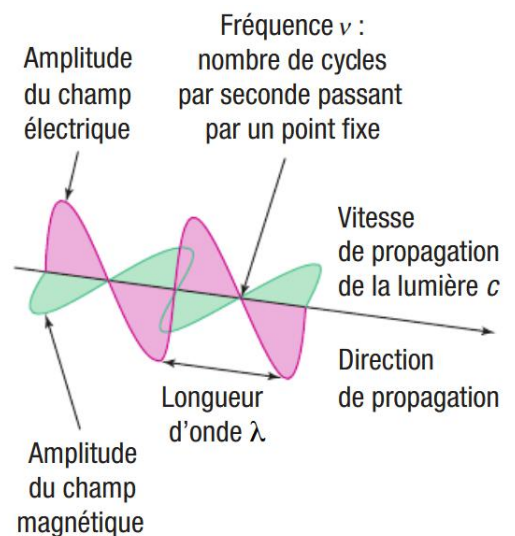
.....

Quelle est la célérité des ondes électromagnétiques dans le vide ? On la notera c .

.....

Donner la relation entre la célérité d'une onde électromagnétique c , sa longueur d'onde λ et sa fréquence ν :

.....



▲ Grandeurs associées à une onde électromagnétique

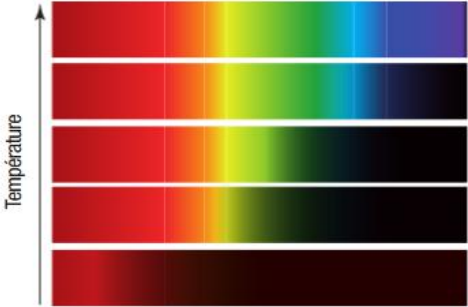
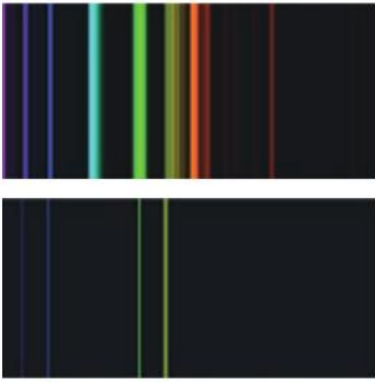
1.4 Caractéristiques du rayonnement émis par différentes sources lumineuses

Quel type de rayonnement émet un laser ?

.....

Quel type de rayonnement émet les sources lumineuses d'usage courant ?

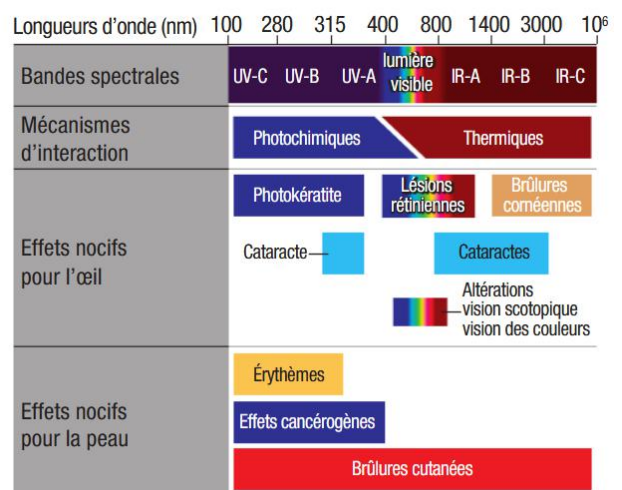
.....

Rayonnement émis par un solide chaud (Soleil, lampe à filament, radiateur à résistance électrique, etc.)	Rayonnement émis par un gaz chaud (Tube fluocompact, lampe à vapeur de gaz, etc.)
<ul style="list-style-type: none"> Maintenu à une température T, un corps émet un rayonnement polychromatique dont l'intensité passe par un maximum de longueur d'onde noté λ_{max} Loi de Wien Quand la température d'un corps augmente, le maximum de longueur d'onde se déplace progressivement vers les courtes longueurs d'onde. 	<ul style="list-style-type: none"> Un gaz chaud émet un spectre de raies caractéristiques du gaz.  <p>▲ Exemples de spectre de raies : tube fluocompact (en haut), lampe à vapeur de mercure (en bas)</p>

1.5 Risques et précautions associés à l'utilisation de sources lumineuses variées.

Les sources lumineuses peuvent présenter des risques, pour les yeux et la peau principalement, en fonction des longueurs d'ondes et des durées d'exposition, d'où leur classement en 4 groupes de dangerosité.

- Groupe de risque 0 (GR0) : pas de risque**, quel que soit le temps d'observation de la source.
- Groupe de risque 1 (GR1) : risque faible**. Temps d'exposition maximal de 10 000 s (environ 3h).
- Groupe de risque 2 (GR2) : risque modéré**. Temps d'exposition maximal de 100 s.
- Groupe de risque 3 (GR3) : risque élevé**. Temps d'exposition maximal de 0,25 s.



▲ Les effets des rayonnements optiques artificiels sur la peau et l'œil.

2. Activité 1 : Les ondes électromagnétiques au service de la santé.

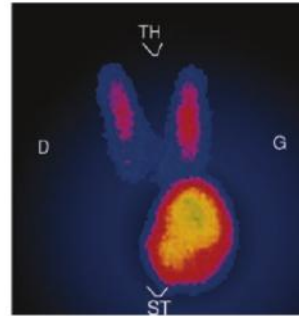
Objectif :

- Ordonner les domaines des ondes électromagnétiques en fonction de la fréquence et de la longueur d'onde dans le vide.

La **lumière infrarouge** ($1 \mu\text{m} < \lambda < 1 \text{ mm}$; $3 \text{ MHz} > f > 3 \text{ kHz}$) est réputée pour soulager les douleurs musculaires et articulaires. Une agréable chaleur créée par la lumière infrarouge pénètre la peau, facilitant la circulation sanguine et réchauffant les muscles. Lorsque les muscles sont apaisés, ils se relâchent et se relaxent automatiquement. Au même moment, l'augmentation de la circulation sanguine permet au corps de se débarrasser des impuretés et d'envoyer rapidement du sang riche en oxygène aux muscles tendus et douloureux, les soulageant efficacement.



FIGURE 1 – Des rayonnements pour soulager les douleurs.



La scintigraphie est une technique d'imagerie utilisant des substances radioactives, appelées « **tra-
ceurs radioactifs** », que l'on injecte à l'intérieur d'un organisme en quantité infime, et qui ont la propriété de se fixer sur les organes ou les tissus du patient que l'on souhaite étudier.

Ces marqueurs radioactifs vont émettre des **rayons γ** ($\lambda < 0,01 \text{ nm}$; $f > 3 \times 10^{19} \text{ Hz}$) détectés par une gamma-caméra.

FIGURE 2 – Scintigraphie thyroïdienne.

Les lampes utilisées pour stériliser les équipements médicaux émettent un **rayonnement UV** ($10 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$; $3 \times 10^{16} \text{ Hz} > f > 750 \text{ THz}$). L'énergie transportée par ces ondes transforme le dioxygène de l'air en ozone. Or l'ozone (O_3) possède un fort pouvoir germicide, d'où le nom de **lampes germicides**.

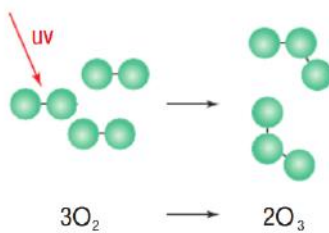


FIGURE 3 – Les lampes germicides.

Le scanner détermine la densité radiologique des différentes structures du corps, c'est-à-dire leur plus ou moins grande aptitude à absorber les **rayons X** ($10^{-11} \text{ m} < \lambda < 10^{-8} \text{ m}$; $3 \times 10^{19} \text{ Hz} > f > 3 \times 10^{16} \text{ Hz}$).



FIGURE 4 – Scanner ou tomодensitométrie.

1. Quels sont les quatre domaines d'onde électromagnétiques cités dans les documents ci-dessus ?
2. **Ordonner** les domaines de la plus petite longueur d'onde à la plus grande.
3. **Indiquer**, pour chaque valeur limite des différents domaines, les fréquences de l'onde électromagnétique correspondante.
4. On dit que l'imagerie par scintigraphie est une imagerie fonctionnelle (imagerie qui permet de visualiser l'activité du corps humain), alors que la radiographie et la tomодensitométrie sont des imageries essentiellement anatomiques. **Expliquer** cette différence.

3. Activité 2 : Quelques sources lumineuses.

Objectif :

- Citer quelques caractéristiques du rayonnement émis par différentes sources lumineuses d'usage courant.
- Extraire d'une documentation fournie et exploiter les principales caractéristiques (longueur d'onde, puissance, directivité) d'un laser.

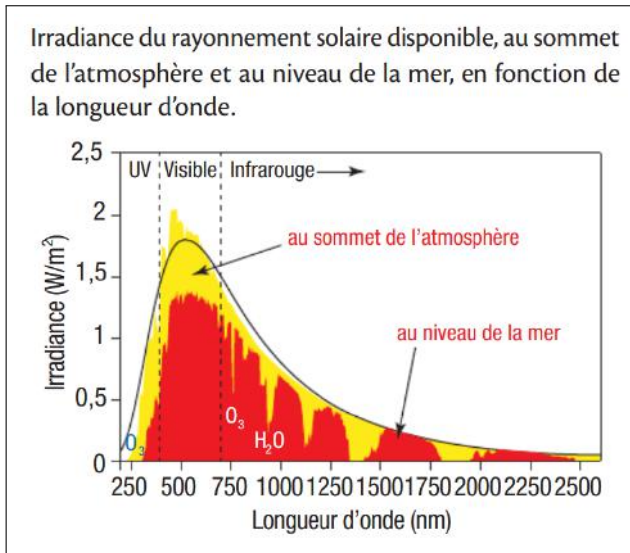


FIGURE 1 – Spectre du rayonnement solaire.

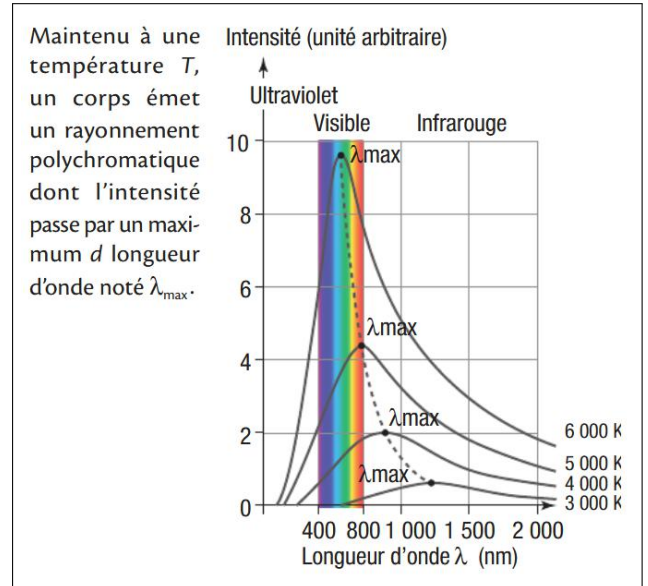
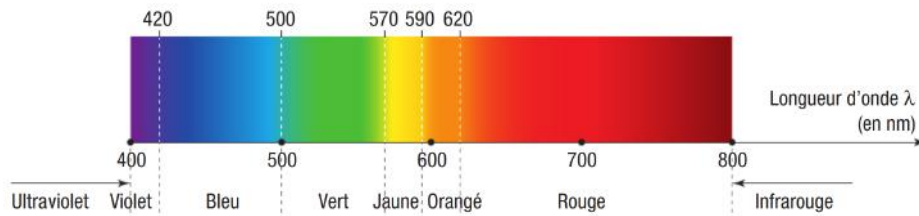


FIGURE 2 – Intensité rayonnée par un corps chaud à différentes températures.

Comparaison de la lumière ordinaire et de la lumière laser	
La lumière ordinaire est...	La lumière laser est...
<ul style="list-style-type: none"> • polychromatique Avec un prisme, la lumière que l'on voit blanche peut être décomposée dans les couleurs de l'arc-en-ciel. 	<ul style="list-style-type: none"> • monochromatique Il existe de nombreux types de lasers de couleurs différentes.
<ul style="list-style-type: none"> • multidirectionnelle Les différentes ondes lumineuses se déplacent dans toutes les directions de l'espace à partir de la source. 	<ul style="list-style-type: none"> • unidirectionnelle Toutes les ondes lumineuses se déplacent dans la même direction et forment un faisceau de lumière étroit, non divergent.
<ul style="list-style-type: none"> • de plus en plus diluée en puissance La puissance diminue inversement proportionnellement au carré de la distance entre la source et le point de réception. 	<ul style="list-style-type: none"> • d'une grande puissance lumineuse Très directif, un faisceau laser possède donc une très grande densité d'énergie. De plus, il peut facilement être concentré dans le temps et donc concentrer une grande puissance lumineuse.

FIGURE 3 – Quelques caractéristiques d'un laser (« Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation »).

1. Donner la valeur approximative de la longueur d'onde correspondant au maximum d'émission du rayonnement solaire. En vous appuyant sur la figure ci-dessous, expliquer à quel domaine correspond ce rayonnement.



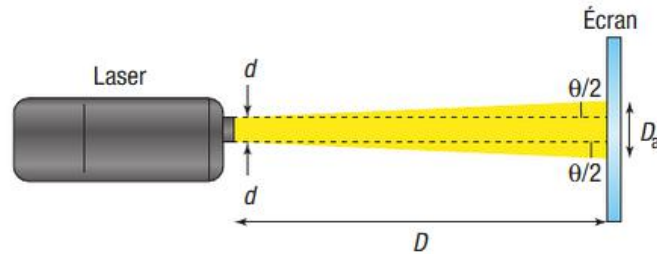
2. Pourquoi, à la longueur d'onde d'environ 1400 nm, la quantité d'énergie solaire reçue au niveau de la mer est-elle quasiment nulle ?
3. En exploitant le graphique de la figure 2, **expliquer** pourquoi les zones rouges d'une flamme sont moins chaudes que les zones bleues.
4. **Citer** la caractéristique qui explique pourquoi on utilise une ampoule ordinaire et non un laser pour éclairer une pièce.
5. **Citer** la caractéristique qui justifie l'emploi d'un laser pour découper un matériau.

4. Exercices

Exercice 1

Les lasers sont couramment utilisés en télémétrie. La très légère divergence du faisceau permet de visualiser la distance mesurée.

Pour mesurer la directivité d'un faisceau laser, on peut déterminer son angle de divergence θ (voir schéma ci-après).



On montre alors que $\theta = \frac{2\lambda}{\pi \cdot d}$ où θ est l'angle de divergence (en radians), λ est la longueur d'onde du laser et d est le diamètre du faisceau (en mm) à la sortie du laser.

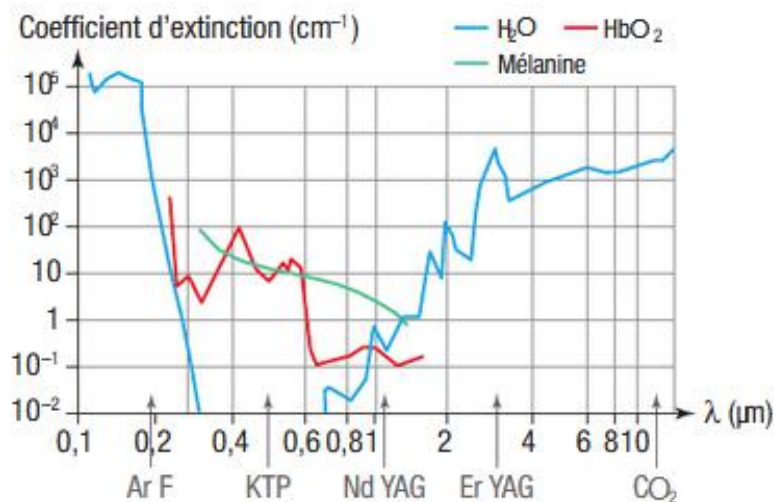
1. Déterminer l'angle de divergence θ pour un laser rouge $\lambda = 650 \text{ nm}$ dont le diamètre du faisceau est de 1 mm.
2. En déduire le diamètre D_a de la tache formée sur un écran placé à une distance $D = 200 \text{ m}$ du laser.
3. Rappeler la vitesse de propagation de la lumière laser.
4. Calculer la durée que met le faisceau laser pour parcourir l'aller-retour, pour un écran placé à une distance de 200 m.

Exercice 2

Les trois principales utilisations des lasers en dermatologie sont :

- le laser vasculaire, où la cible du laser est l'hémoglobine HbO_2 ;
- le laser dépilatoire, où la cible du laser est la mélanine située dans la tige pileaire et le bulbe du poil ;
- le laser pigmentaire, où les cibles sont soit les pigments des tatouages, soit l'eau dans le traitement des rides.

Le principe est identique pour l'ensemble des techniques : l'énergie du faisceau laser est absorbée par la cible, provoquant son échauffement et ainsi son traitement.



▲ Spectres d'absorptions de l'eau H_2O , de l'hémoglobine HbO_2 et de la mélanine

Par exemple, pour détruire un poil, on utilisera un laser dont la longueur d'onde correspond à une absorption maximale de la mélanine mais à une absorption minimale de l'eau et de l'hémoglobine.

1. **Déterminer** les longueurs d'onde des lasers Ar F, KTP, Nd YAG, Er YAG et CO₂.
2. Dans quel domaine électromagnétique émet le laser CO₂ ?
3. Pour chacun de ces lasers, **préciser** quelle est l'espèce chimique (eau, hémoglobine ou mélanine) qui absorbe le plus d'énergie.
4. À partir des courbes du schéma, **choisir** le type de laser qui convient le mieux pour effectuer une épilation, puis pour effectuer un traitement anti-rides.
5. À quelle longueur d'onde faudrait-il régler un laser pour un traitement optimal d'une couperose (rougeurs marquées sur le visage, dues à la dilatation de petits vaisseaux sanguins) ?

Exercice 3

On caractérise l'absorption des ondes électromagnétiques dans la matière par le coefficient d'absorption linéique μ . Il permet de calculer la couche de demi-atténuation :

$$CDA = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (1)$$

qui correspond à l'épaisseur de matière qui réduit de moitié l'intensité du faisceau incident.

Pour le plomb, le coefficient d'absorption linéique est de $\mu = 0,79 \text{ cm}^{-1}$ pour des ondes électromagnétiques d'énergie de longueur d'onde $1,5 \times 10^{-12} \text{ m}$.

1. Quel est le domaine de ce type de radiation ?
2. **Calculer** la CDA pour le plomb.
3. Même calcul pour l'aluminium dont le coefficient d'absorption linéique μ est égale à $0,182 \text{ cm}^{-1}$ à cette longueur d'onde.
4. **Justifier** l'emploi du plomb comme matériau de protection privilégié en médecine nucléaire.

Exercice 4

L'une des missions de l'observatoire de la Côte d'Azur (OCA), situé sur le plateau de Calern, près de Grasse dans les Alpes-Maritimes, est de déterminer avec précision la distance Terre-Lune.

La station de télémétrie laser de l'OCA émet une radiation lumineuse de longueur d'onde 1 064 nm. Mais un dispositif permet de doubler la fréquence, de sorte qu'il émet à la sortie du télescope une radiation de longueur d'onde $\lambda = 532 \text{ nm}$ dans le vide. Un tir laser émet une centaine d'impulsions pendant une dizaine de secondes, chacune durant 20 ps. Chaque impulsion émet une énergie $E = 200 \text{ mJ}$.



▲ Doc. 1 Tir laser de l'OCA

Tout faisceau lumineux diverge.
 À son départ, le faisceau laser a un diamètre D de deux mètres (...). La diffraction provoque donc une faible divergence, de un millionième de radian, soit un élargissement du faisceau de l'ordre du micromètre par mètre parcouru. Mais comme la distance Terre-Lune mesure la bagatelle d'environ 400 000 kilomètres, l'effet à l'arrivée est important.
 La diffraction se produisant de la même façon pour le faisceau retour, on ne détecte qu'une infime partie de cette lumière réfléchie : environ 2×10^{-18} millijoule par impulsion envoyée.
Pour la Science, dossier n° 53, octobre-décembre 2006, « La lumière, c'est combien de photons ? »
 Jean-Michel Courty et Nicolas Treps, université Pierre et Marie Curie, Paris.

▲ Doc. 2 Divergence du faisceau laser

À l'aide d'une horloge d'une très grande précision ($\Delta t = 1 \text{ ps}$; $1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$), la durée d'un aller-retour d'une impulsion émise par le laser peut être enregistrée et la distance Terre-Lune d_{T-L} est alors calculée automatiquement.
 Cinq réflecteurs, dont la surface réfléchissante est de l'ordre de $s = 0,5 \text{ m}^2$, ont été déposés, en différents points de la surface de la Lune, par les missions américaines (Apollo) et russes (Lunokhod) entre 1969 et 1973. Le tableau de mesures suivant résume les données obtenues pour chaque impulsion reçue lors de tirs effectués entre le 27 et le 30 novembre 2002.

Date	Heure en h:min:ns	Durée aller-retour en 10^{-13} s	Distance Terre-Lune d_{T-L} en km
29/11/2002	04:43:255837213	24 216 009 976 909	362 988,85770
29/11/2002	05:03:362399138	24 199 488 939 775	362 741,21358
29/11/2002	05:59:835258680	24 164 440 511 979	?
29/11/2002	06:10:435854710	24 159 439 560 814	362 140,88849
30/11/2002	04:23:300384145	24 096 826 051 427	361 202,33560

▲ Doc. 3 Distance Terre-Lune

1. **Monter**, en utilisant la relation $c = \lambda f$, que doubler la fréquence permet de diviser par deux la longueur d'onde émise initialement par le laser.
2. À partir des informations fournies dans le document 2, **calculer** le rayon de la tache lumineuse obtenue sur la Lune. Il est conseillé de schématiser la situation.
3. **Commenter** les propos de Jean-Michel Courty et Nicolas Treps, quand ils écrivent que même si le faisceau émis possède une faible divergence, l'effet sur la Lune est important, en comparant le diamètre de la tache obtenue sur la Lune au diamètre initial D du faisceau laser.
4. Par quel calcul sont obtenues les distances Terre-Lune de la dernière colonne du tableau ? **Expliciter** celui manquant dans le tableau de mesures, puis **calculer** sa valeur, en se contentant de la précision de la calculatrice.

Donnée : La célérité de la lumière utilisée pour le traitement des données est celle dans le vide $c = 299792458 \text{ m.s}^{-1}$.