

➤ Objectifs du TP :

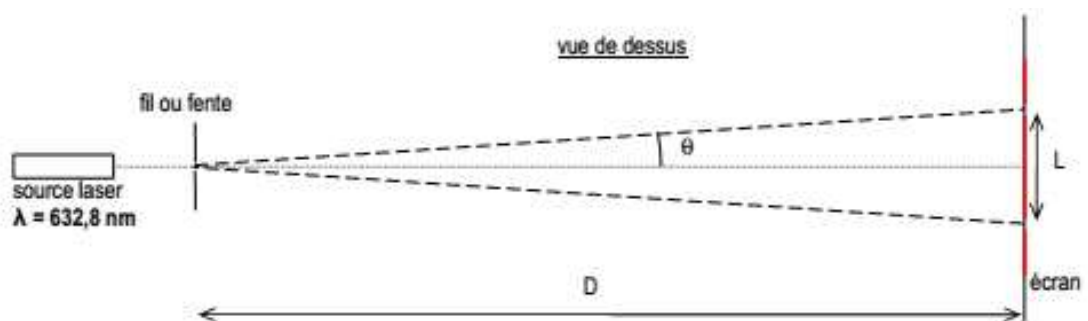
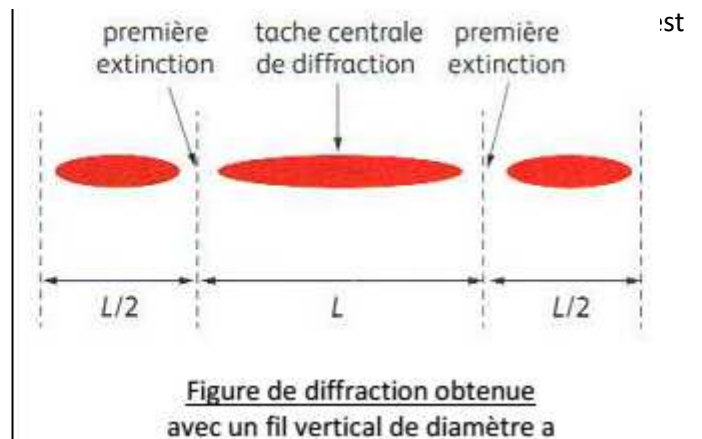
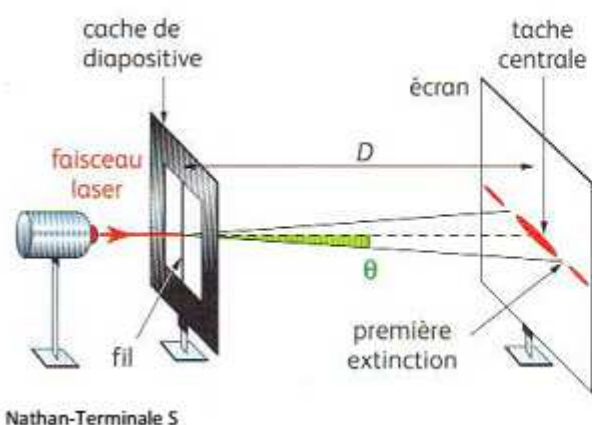
- Mettre en évidence le phénomène de diffraction des ondes lumineuses. Etudier l'influence de différents paramètres sur la figure de diffraction. Déterminer les conditions nécessaires à la diffraction.
- Mettre en évidence le phénomène d'interférences des ondes lumineuses.
- Bien distinguer le phénomène de diffraction et celui des interférences.

I. Etude quantitative de la diffraction (1h maximum)

- La diffraction caractérise la déviation des ondes (lumineuse, acoustique, radio, rayon X...) lorsqu'elles rencontrent un obstacle. Ce phénomène semble avoir été observé pour la première fois par Léonard de VINCI en 1500. Pour l'expliquer, le physicien néerlandais Christiaan HUYGENS proposa en 1678 une théorie ondulatoire de la lumière.

1. Dispositif expérimental

- Le faisceau du laser « Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation » ne doit jamais pénétrer directement dans l'œil (lésion irréversible de la rétine). Il faut également se méfier d'éventuelles réflexions parasites.
- La figure de diffraction obtenue lors de l'expérience lors de la diffraction par un fil et celle obtenue lors de la diffraction par une fente d'une lumière monochromatique sont considérées comme identiques.



L : largeur de la tache centrale (m)
 D : distance entre fente (ou fil) et écran (m)
 θ : ouverture (ou écart) angulaire du faisceau diffracté (rad)

a : diamètre du fil ou de la fente (m)
 λ : longueur d'onde dans l'air de la lumière monochromatique utilisée (m)

Données : écart angulaire : $\theta = \frac{\lambda}{a}$; largeur de la tache centrale : $L = \frac{2 \times \lambda \times D}{a}$

- La lumière du laser est alors diffractée : on observe sur l'écran une figure de diffraction. La figure de diffraction obtenue permet d'observer des taches lumineuses : on mesurera la largeur L de la tache centrale.

2. Observer et mesurer

- **Protocole** : il faut interposer les différents fils ou fentes, de largeurs connues a, à une distance **constante** (quelques cm) du laser, la distance D ayant été mesurée et devant rester constante également.
- Observer la figure de diffraction sur l'écran.
- La largeur L correspond à la distance entre les milieux de chacune des premières extinctions, situées de part et d'autre de la tache centrale

2.1. Mesurer et noter la distance D entre le fil et l'écran.

2.2. Mesurer et noter, dans le tableau ci-dessous, la largeur L de la tache centrale pour les différents fils ou fentes de largeurs connus (dans l'ordre des fentes).

- **Appel 1** : Appeler le professeur pour qu'il vérifie une mesure.

a (mm)	0,40	0,28	0,10	0,08	0,035	0,025	0,060
L (mm)							

2.3. Comment varie la largeur L de la tache centrale quand le diamètre a du fil ou de la fente augmente ?

2.4. Utiliser Regressi et créer la représentation graphique permettant de montrer que L et a sont liés par la relation : $L = k/a$. Expliquer. Déterminer la valeur de k.

- **Appel 2** : Appeler le professeur pour qu'il valide vos mesures puis enregistrer vos valeurs.

➤ On peut montrer que, dans les conditions de l'expérience : $L = 2 \times \lambda \times \frac{D}{a}$

2.5. Dédurre de la question précédente la valeur de la longueur d'onde $\lambda_{\text{expérimentale}}$ (en m puis en nm) du faisceau laser.

2.6. En déduire l'erreur relative $\left| \frac{\lambda_{\text{expérimentale}} - \lambda_{\text{théorique}}}{\lambda_{\text{théorique}}} \right|$. Conclure sur les causes d'incertitude.

3. Diamètre d'un cheveu ou d'un fil

3.1. Imaginer un protocole expérimental permettant de déterminer le diamètre d'un cheveu.

- **Appel 3** : Faire valider par le professeur

➤ Faire don d'un cheveu à la science et réaliser l'expérience.

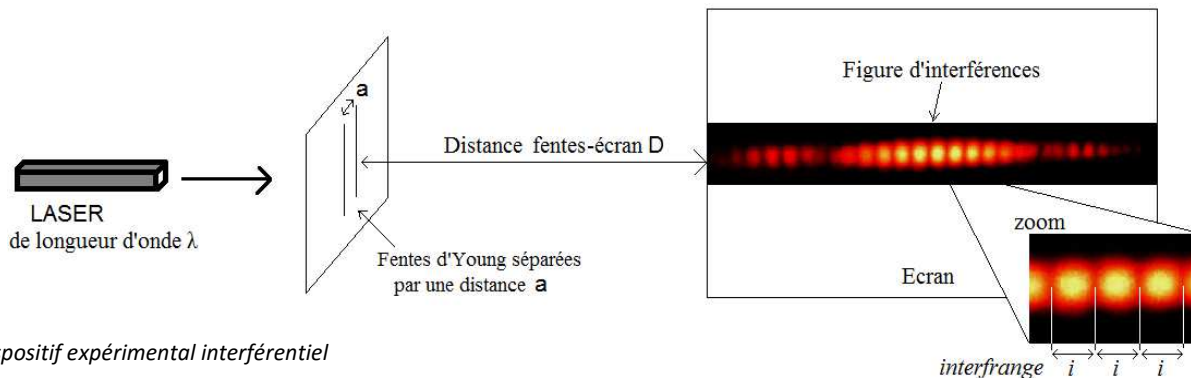
3.2. Déterminer le diamètre de votre cheveu en m puis en μm .

II. Les interférences lumineuses (1h maximum)

- Au début du XIX^{ème} siècle, le physicien britannique Thomas YOUNG (*doc.1*) réalise une expérience qui a marqué l'Histoire des sciences. En plaçant devant une source lumineuse un cache percé de deux fentes fines parallèles et proches, il observe, en projection sur un écran, une alternance de raies sombres et brillantes : les franges d'interférences.

1. Protocole expérimental

- Réaliser le montage du *doc.2*, où les fentes d'Young sont deux fentes étroites et parallèles.
- Placer l'écran à une distance **D** maintenue fixe d'environ 2,0 m des fentes.



doc.2 Dispositif expérimental interférentiel

1.1. Pour différentes distances **a**, mesurer avec la plus grande précision l'*interfrange* **i**, qui est la distance séparant deux franges consécutives d'égale intensité lumineuse.

- **Appel 3** : Appeler le professeur pour qu'il vérifie une mesure.
- 1.2. Consigner les valeurs dans un tableau sur votre feuille et dans Regressi.

2. Exploitation

- Ouvrir le logiciel *Regressi*, puis entrer les valeurs expérimentales **a** et **i** dans leur unité légale.

- La valeur de l'interfrange **i** peut se calculer l'expression suivante :
$$i = \frac{\lambda \times D}{a}$$

2.1. Modéliser la courbe $i = f(1/a)$. Noter le coefficient directeur de cette courbe.

2.2. Calculer la valeur de la longueur d'onde λ du Laser. Conclure.

2.3. Comment serait modifiée la figure d'interférences si on éclairait les mêmes fentes d'Young avec un Laser vert ? dossier Q:\RessourcesTS\TP physique\ TP_CH03_interferences_lumiere_blanche

2.4. Quel est l'intérêt d'utiliser une grande distance **D** ?

3. Application au réseau

- Donnée** : $\lambda = 650 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$
- Un réseau (*doc.3*) est constitué d'un support transparent sur lequel ont été gravés des traits parallèles équidistants. Le "pas" du réseau, noté **a**, correspond à la distance séparant deux traits consécutifs.
- Ces traits parallèles se comportent comme des fentes, qui, lorsqu'elles sont éclairées, donnent une figure d'interférences.



doc.3 Réseau de 530 traits/mm

3.1. Proposer un protocole expérimental afin de déterminer la valeur du pas **a** de ce réseau.

3.2. Après accord du professeur, le mettre en œuvre et déterminer la valeur du pas **a**.

4. Calcul d'incertitudes pour le cas étudié

- Les incertitudes type sont notées **u**

➤ Pour une lecture simple sur une graduation : $u_{\text{tolérance}} = \frac{1 \text{ graduation}}{6}$

➤ Pour une double lecture sur une graduation : $u_{\text{tolérance}} = \sqrt{2} \times \frac{1 \text{ graduation}}{6}$

➤ Pour une indication du constructeur ($\pm \Delta c$) : $u_{\text{tolérance}} = \frac{\Delta c}{\sqrt{3}}$

- Les incertitudes élargies sont notées **U**

➤ Pour un niveau de confiance de 95%, $k = 2$

➤ L'incertitude élargie **U** sur le mesurage **M** est : $U(M) = k \times u(M)$

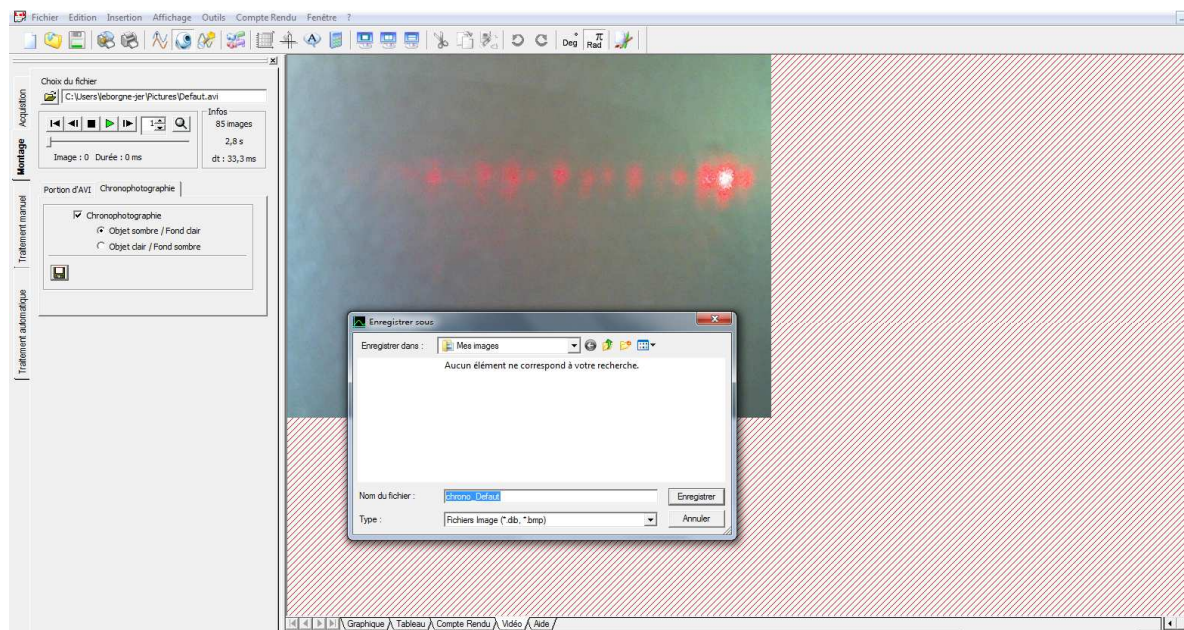
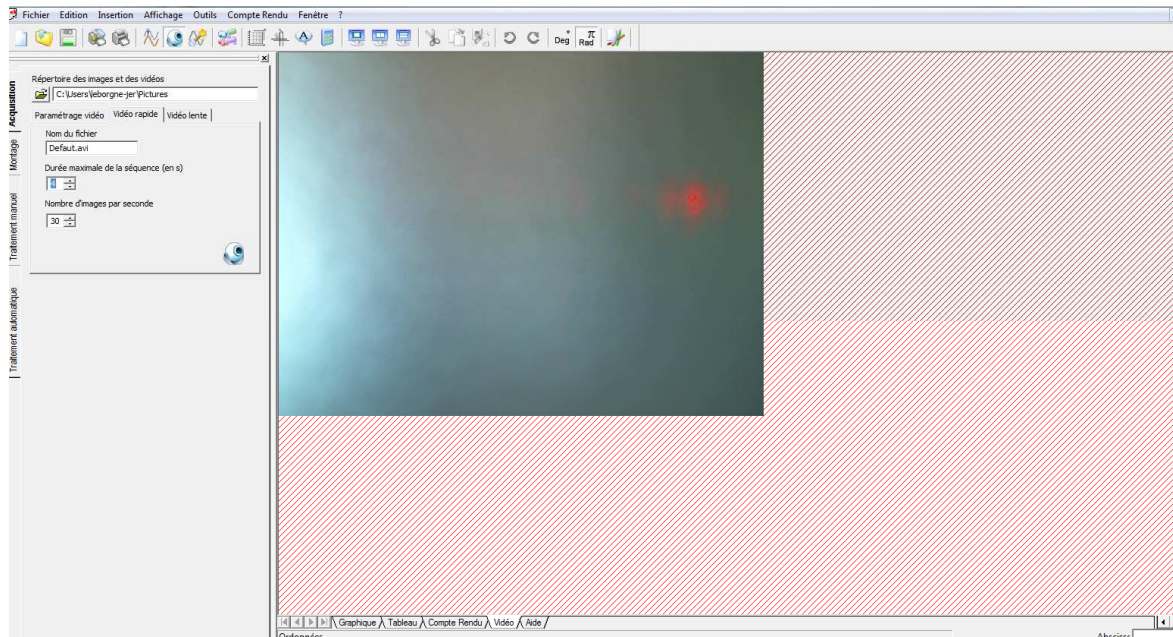
- Le résultat se présente, pour le cas étudié, sous la forme : $a = a_{\text{mesuré}} \pm U(a)$

4.1. Déterminer l'incertitude absolue sur **i** et **D**, notée respectivement **U(i)** et **U(D)**.

4.2. L'incertitude élargie sur **a** se calcule par la relation $U(a) = a \times \sqrt{\left(\frac{U(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{U(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{U(D)}{D}\right)^2}$. Calculer la valeur de **U(a)**.

4.3. En déduire un encadrement de la valeur expérimentale **a** du pas du réseau. Est-ce en accord avec la valeur indiquée par le fabricant ?

Capture par le logiciel Génériss 5+



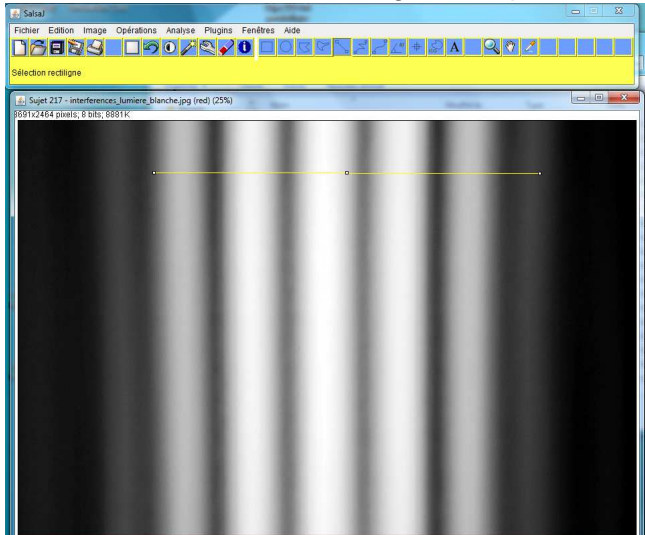
Mesure d'interfrange par le logiciel SalsaJ

PROTOCOLE

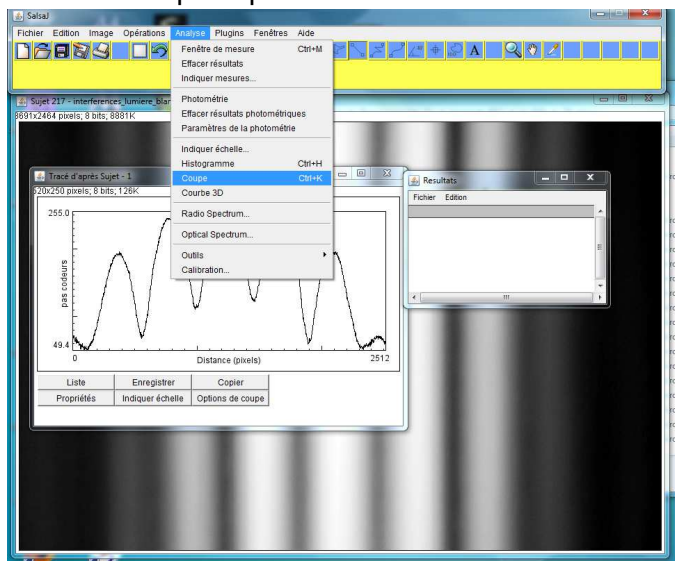
- Ouvrir le fichier de l'image n°2, nommé « TP_CH03_interferences_lumiere_blanche.jpg » avec le logiciel *SalsaJ*. Dans le menu « Image », cliquer sur « Couleurs » puis sur « Séparation R/V/B » : on visualise séparément les trois composantes : R (rouge ou red), V (vert ou green) et B (bleu ou blue) de la photographie numérique.

➤ Sur la composante rouge :

l'icône « Sélection rectiligne » permet de tracer une ligne de coupe ;



l'icône « Coupe » permet d'afficher les variations de l'intensité lumineuse sur cette ligne.



- Déterminer, le plus précisément possible, la valeur de l'interfrange i mesuré en pixels. Pour les deux autres composantes, les mesures ont été réalisées et rassemblées dans le tableau ci-dessous.
- Compléter le tableau. Les valeurs y sont indiquées en pixels.

i_{bleu}	i_{vert}	i_{rouge}
323	372	573-169=404

III. Etude quantitative de la diffraction

1. Dispositif expérimental

2. Observer et mesurer

2.1. Distance entre le fil et l'écran : **D = 2,10 m**

2.2.

a (mm)	0,40	0,28	0,10	0,08	0,035	0,025	0,060
L (mm)	7	9	26	34	77	110	45

2.3. La largeur L de la tâche centrale diminue quand le diamètre a du fil ou de la fente augmente.

2.4. La largeur L de la tâche centrale est inversement proportionnelle au diamètre a du fil d'où cette modélisation : $L = k/a$ avec $k = 2,68 \text{ mm}^2 = 2,68 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

2.5. De $L = 2 \times \lambda \times \frac{D}{a}$, on obtient $L = (2\lambda \times D)/a$ soit $k = 2\lambda \times D$ d'où $\lambda_{\text{expérimentale}} = \frac{k}{2D} = 6,38 \times 10^{-7} \text{ m}$
 $\lambda_{\text{expérimentale}} = 638 \text{ nm}$.

2.6. Erreur relative : $\left| \frac{\lambda_{\text{expérimentale}} - \lambda_{\text{théorique}}}{\lambda_{\text{théorique}}} \right| = \left| \frac{638 - 650}{650} \right| \times 100 = 1,8 \%$ ce qui est relativement faible.

3. Diamètre d'un cheveu ou d'un fil

3.1. Pour déterminer le diamètre d'un cheveu, il faut remplacer la fente de largeur a par un cheveu de diamètre inconnu dans les mêmes conditions expérimentales que précédemment donc à la même distance D et avec le même laser.

3.2. Le diamètre de votre cheveu peut se déterminer à l'aide de la courbe $L = k/a$ par lecture graphique.
 Diamètre du cheveu de 40 μm à 100 μm .

IV. Les interférences lumineuses

1. Protocole expérimental

1.1. Pour mesurer avec la plus grande précision l'interfrange i , il faut mesurer une distance d pour plusieurs interfranges.

1.2. Pour D = 2,10 m

a (μm)	200	300	500
i (mm)	7,0	5,0	3,0

2. Exploitation

2.1. Voir courbe page suivante. $i = k/a$ avec $k = 1,44 \text{ mm}^2 = 1,44 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

2.2. $i = \frac{\lambda \times D}{a} = \frac{k}{a}$ soit $k = \lambda \times D$ d'où $\lambda = \frac{k}{D}$; $\lambda = \frac{1,44 \times 10^{-6}}{2,10} = 6,85 \times 10^{-7} \text{ m} = 685 \text{ nm}$.

L'erreur commise sur la longueur d'onde λ est beaucoup plus importante (5,4 % d'erreur relative) car la mesure de l'interfrange est plus difficile d'une part et nous n'avons que 3 valeurs pour a.

2.3. Un Laser vert a une longueur d'onde ($\approx 530 \text{ nm}$) plus faible que celle d'un laser rouge (650 nm) On n'observerait plus d'interfranges pour une distance mesurée identique.

2.4. L'intérêt d'utiliser une grande distance D est d'obtenir des franges mieux séparées.

3. Application au réseau

3.1. On remplace les fentes d'Young par le réseau. On observe alors des points colorés.

La distance qui sépare deux points consécutifs est l'interfrange i facilement mesurable.

La longueur d'onde du laser est connue (650 nm \pm 10 nm). La distance D, la plus grande possible, est mesurée. On calcule alors le pas a du réseau en appliquant la relation $a = \frac{\lambda \times D}{i}$.

3.2. Pour D = 2,10 m, i = 71 cm = 0,71 m

$$a = \frac{\lambda \times D}{i} = \frac{650 \times 10^{-9} \times 2,10}{0,71} = 1,9 \times 10^{-6} \text{ m} (= 1,9 \mu\text{m}) \text{ distance séparant 2 traits consécutifs du réseau}$$

sur 1 mm, le nombre de traits est $\frac{1 \times 10^{-3}}{1,9 \times 10^{-6}} = 520$ traits assez proche de la valeur théorique de 530 traits/mm.

4. Calcul d'incertitudes pour le cas étudié

4.1. La mesure de i et D résulte de la mesure avec une double lecture sur une règle. Pour un niveau de confiance de 95%, $k = 2$, avec 1 graduation de la règle = 1 mm alors $U(i) = U(D) = 2\sqrt{2} \times \frac{1 \text{ mm}}{6} = 0,47 \text{ mm}$.

$$U(\lambda) = 2 \times \frac{\Delta c}{\sqrt{3}} \text{ avec } \Delta c = 10 \text{ nm. Pour un niveau de confiance de 95\%, } U(\lambda) = 12 \text{ nm}$$

4.2. Remarque : L'incertitude élargie fait intervenir des rapports : il n'est pas nécessaire de convertir les grandeurs ; il suffit de vérifier que ces deux grandeurs soient dans les mêmes unités.

$$U(a) = 1,9 \times 10^{-6} \times \sqrt{\left(\frac{12}{650}\right)^2 + \left(\frac{0,47}{710}\right)^2 + \left(\frac{0,47}{2100}\right)^2};$$

$$U(a) = 1,9 \times 10^{-6} \times 1,85 \times 10^{-2} = 3,5 \times 10^{-8} \text{ m} = 0,035 \text{ } \mu\text{m}; \quad \boxed{a = 1,9 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,04 \text{ } \mu\text{m}}$$

4.3. $1,86 \text{ } \mu\text{m} \leq a \leq 1,94 \text{ } \mu\text{m}$. Pour 530 traits par mm, $a_{\text{constructeur}} = \frac{1}{530} = 1,89 \times 10^{-3} \text{ mm} = 1,89 \text{ } \mu\text{m}$
la valeur indiquée par le fabricant est bien comprise dans l'encadrement de a

