

Etude d'une peinture flamande de Jan Van Eyck : XV^e siècle

Les époux Arnolfini – 1434

« Fake or not fake » ?



Données numériques

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

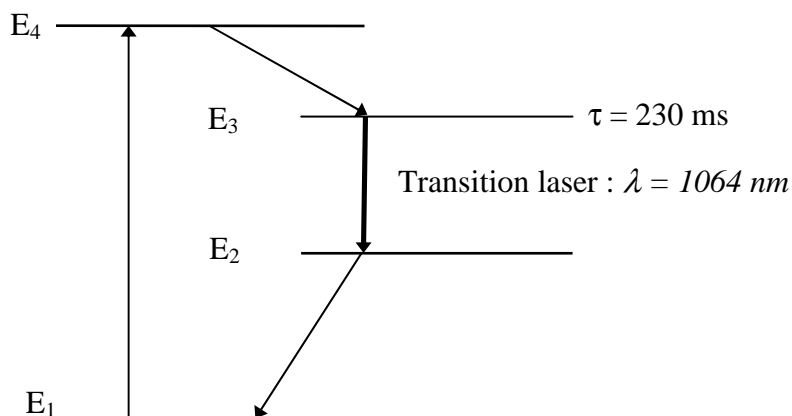
$$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \quad 1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

A - Méthode Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)

1) Laser à solide dopé : laser YAG-Nd (Yttrium - Aluminium - Grenat $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$)

I - Caractéristiques du faisceau émis

Ce laser *impulsionnel* délivre une énergie : $E = 700 \text{ mJ}$ par pulse de $\Delta t = 10 \text{ ns}$.



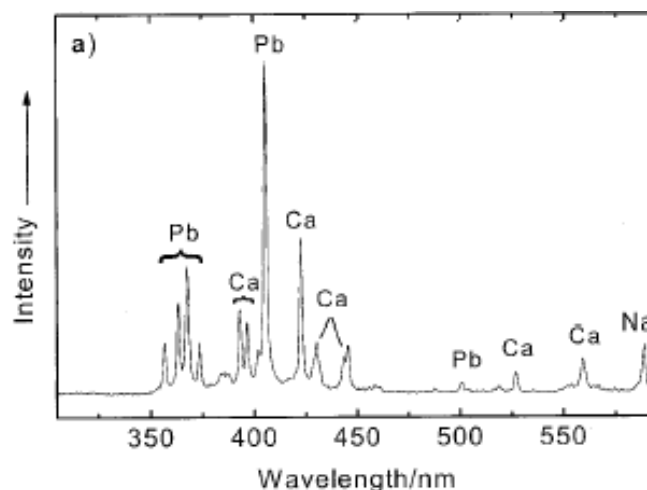
Niveaux d'énergie de l'ion Nd^{3+} dans un cristal de grenat d'aluminium et d'yttrium.

- En l'absence d'excitation extérieure, quel est le niveau d'énergie le plus peuplé ?
- Que signifie « *pompage optique* » ?
 - abaisser tous les niveaux électroniques
 - exciter les atomes
 - inverser la population entre 2 niveaux d'énergie
- Comment peut-on exciter l'ion au niveau E_4 ?
- Pourquoi peut-il y avoir une *transition laser* entre les niveaux E_3 et E_2 ?
- Par un schéma, expliquer ce que signifie « *émission stimulée* ».
- Dans quel domaine spectral se situe le rayonnement ?
- Quelle est l'énergie d'un photon émis par le laser ?
- Quel est le nombre N de photons émis par pulse ?
- Quelle est la puissance P délivrée par ce laser en un pulse ?
- Quel est alors l'éclairement d'une surface : $S = 1 \text{ mm}^2$?

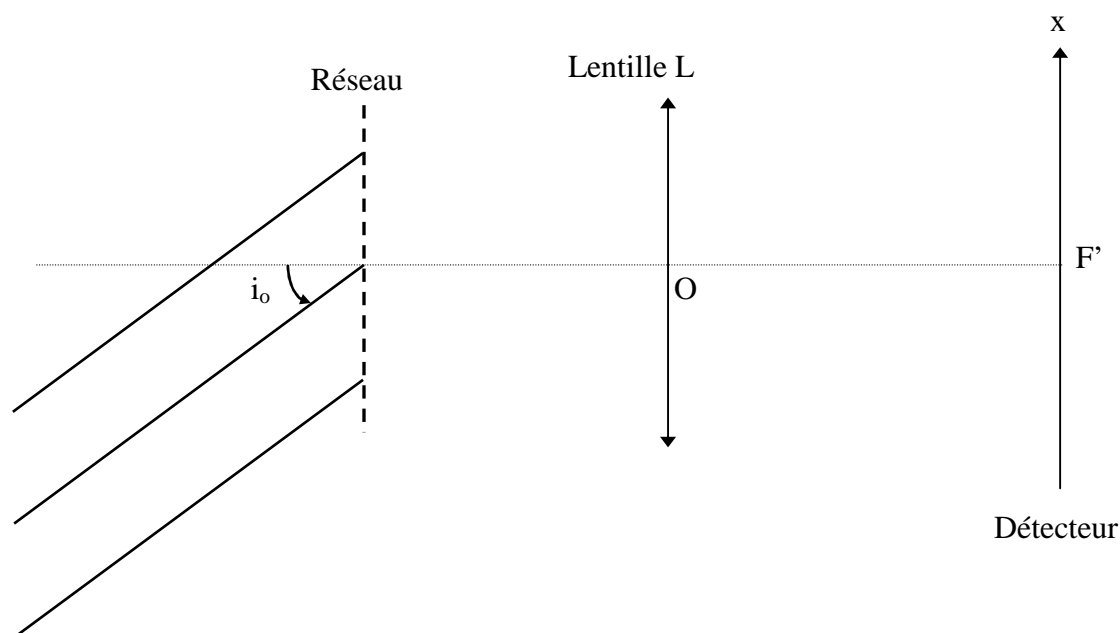
II) Analyse spectrale de la lumière plasma

Arrivé à la surface de la peinture, le laser crée un « *plasma* » : dans un *plasma*, les atomes perdent un ou plusieurs électrons. La matière ainsi dissociée est dans un état d'énergie très élevée. En se désexcitant, elle émet de la lumière visible qui est analysée, via une fibre optique, par un spectromètre à réseau qui sépare les différentes longueurs d'onde émises.

En pointant le laser vers une partie blanche du voile, on enregistre le spectre suivant :



Pour obtenir ce spectre, on a réalisé le montage suivant :



Le réseau plan, utilisé par transmission et comportant : $n = 1\,060$ traits par millimètre, est éclairé par un faisceau de lumière parallèle.

L est une lentille mince convergente de distance focale : $OF' = 100 \text{ mm}$. Son axe principal est perpendiculaire au plan du réseau.

Le détecteur est dans le plan focal image de cette lentille ; on repère les raies en mesurant la distance x entre le foyer principal image F' et la raie étudiée.

$$\text{Formule fondamentale du réseau en transmission : } \sin i' - \sin i = k n \lambda$$

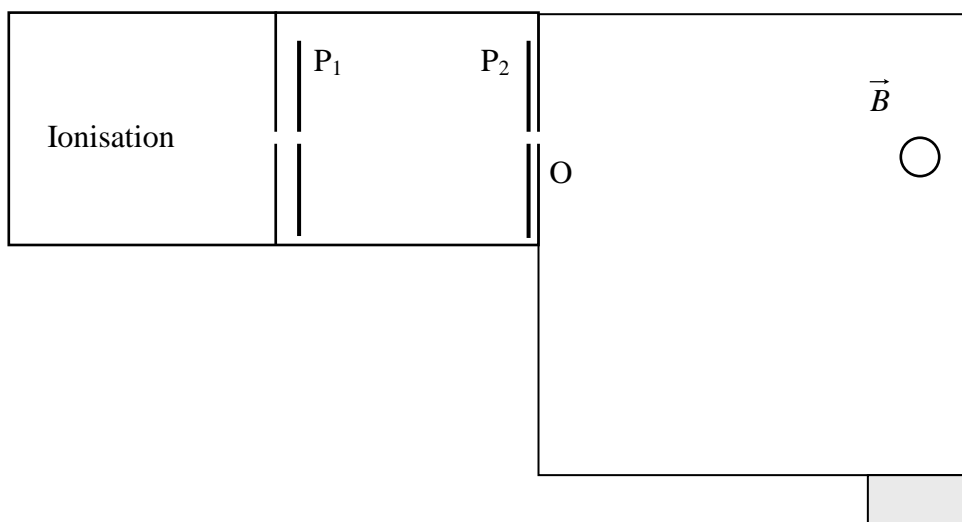
- a) Les radiations de longueur d'onde : $\lambda_0 = 450 \text{ nm}$ convergent au foyer principal image F' de la lentille L .
- Tracer le schéma optique.
 - Calculer l'angle d'incidence i_0 nécessaire si $i' = 0$ pour le spectre d'ordre : $k = -1$.
- b) Compléter le schéma en traçant la marche d'un faisceau de longueur d'onde : $\lambda < \lambda_0$
- c) Le point M est repéré par son abscisse : $x = F'M$
- Etablir la relation : $\lambda = f(i')$
 - Montrer que si l'angle i' est faible, cette relation peut se mettre sous la forme :
- $$\lambda = \lambda_0 + \frac{x}{k n OF'}$$
- Déterminer λ si $x = 4,67 \text{ mm}$
- d) Montrer que cette longueur d'onde correspond à la transition entre les niveaux $4,376 \text{ eV}$ et $1,328 \text{ eV}$ sur le diagramme de Grotian du plomb. Représenter cette transition.



Diagramme de Grotian

B – Spectrométrie de masse

On prélève quelques milligrammes de la couche picturale du voile, que l'on ionise par laser.



I) Action du champ électrique \vec{E}

Les ions, de charge (+ e) et de masse m sortent de la chambre d'ionisation avec une vitesse \vec{v}_0 négligeable. Ils sont alors accélérés entre 2 plaques métalliques parallèles P₁ et P₂.

La tension accélératrice, c'est-à-dire la différence de potentiel entre les 2 plaques, a pour valeur :
 $U = V_1 - V_2 = 14\,000\text{ V}$.

- Quelle plaque doit être portée au potentiel électrique le plus élevé ?
- Tracer en rouge la trajectoire des ions entre les plaques.
- Indiquer le sens de la force électrique \vec{F}_e à laquelle sont soumis les ions pour être accélérés entre les plaques.
- En déduire la direction et le sens du champ électrique \vec{E} entre les plaques ?
- Prouver que l'énergie cinétique des ions à la sortie des plaques est : $E_c = e(V_1 - V_2) = eU$
- Quelle est leur vitesse v en fonction de e , U et m ?

II) Action du champ magnétique \vec{B}

Les ions pénètrent ensuite dans une région de l'espace où règne un champ magnétique uniforme \vec{B} , d'intensité : $B = 0,1\text{ T}$.

- Comment peut-on produire un champ magnétique uniforme et constant au cours du temps ?
- La trajectoire des ions est un quart de cercle de rayon R .
 - Tracer la trajectoire et indiquer, en un point M de la trajectoire :
 - le vecteur vitesse \vec{v}
 - la force magnétique \vec{F}_m
- Indiquer la direction et le sens de \vec{B} pour que les ions décrivent un quart de cercle.

- d) Prouver que la vitesse v des ions est constante et que le rayon de la trajectoire est : $R = \frac{m v}{e B}$
- e) Etablir l'expression du rayon R de la trajectoire en fonction de la charge e des ions, de leur masse m , du champ magnétique B et de la tension accélératrice U .
- f) Déterminer et calculer numériquement la masse m des ions si : $R = 0,25 \text{ m}$ et $U = 4\,711 \text{ V}$.
- Les ions détectés sont-ils des ions ${}_{82}^{208}\text{Pb}^{+}$?

C – Rhéologie - Peinture à l'huile- Fluide de Bingham

Idéalement, une peinture s'étale facilement, mais ne coule pas. Les peintres exigent d'autres qualités de leurs pâtes : parfois, ils veulent en superposer les couches sans qu'elles se mélangent ; d'autres fois, ils veulent au contraire modifier une couleur avec une autre afin d'atteindre un ton précis. Au XVII^e siècle, les peintres flamands ont inventé un additif : le «*médium flamand*» qui rassemble toutes les caractéristiques souhaitables d'une peinture d'artiste : s'étaler facilement ; se figer ; se laisser facilement recouvrir ; sécher lentement.

Quelles sont les propriétés d'une peinture au *médium flamand* ? Tout d'abord, il faut appliquer une force minimale avec le pinceau pour l'étaler. Ensuite, laissée à elle-même, elle se fige en quelques minutes comme de la gelée, mais sans sécher. Pour la recouvrir, le peintre donne des coups de pinceau assez légers pour ne point dépasser le *seuil d'écoulement* de la première couche. S'il veut fondre les couleurs des deux couches, il n'a qu'à appuyer assez fort avec son pinceau afin de vaincre le seuil d'écoulement de la couche sous-jacente. Retrouvant sa fluidité, la couche inférieure se mélange alors avec la seconde.

Les physiciens qualifient de *rhéofluidifiants avec seuil d'écoulement de tels mélanges*. Ils se fluidifient lorsqu'on les agite, mais reprennent petit à petit leur état initial lorsqu'on les laisse au repos.

- Faire un schéma pour définir la vitesse de cisaillement, le taux de cisaillement et la viscosité d'un fluide.
- Tracer le rhéogramme du *médium flamand* : fluide *rhéofluidifiant avec seuil d'écoulement*

Si la composition exacte du médium flamand reste inconnue aujourd'hui, nous savons qu'il contient de l'huile de lin cuite et de la résine. Dissoute dans l'huile, cette résine se disperse en petites sphères. Des liaisons se forment progressivement entre ces composants, ce qui explique que la peinture se fige en quelques minutes. Cette immobilisation rapide n'empêche pas qu'il faille des jours, voire des mois, avant que cette même peinture soit entièrement sèche. Grâce à ce médium merveilleux, Rubens aurait peint La Kermesse en 24 heures.