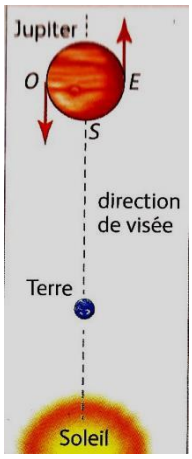
# L'effet Doppler-Fizeau en astrophysique - CORRECTION

En appliquant **l'effet Doppler** sonore à la lumière, Christian Doppler (1803-1853), mathématicien et physicien autrichien, suggère que la couleur des étoiles est une conséquence de leur mouvement par rapport à la Terre. Le physicien et astronome français Hippolyte Fizeau (1819-1896) démontre en 1848 que la vitesse des étoiles est trop faible par rapport à celle de la lumière pour que cet effet soit observable. Il conclut cependant que les **raies d'absorption** d'un élément chimique sur le spectre d'une étoile en mouvement par rapport à la Terre doivent être décalées par rapport à leur position sur le spectre du Soleil. La mesure de ce décalage permettrait alors de remonter à la vitesse de l'étoile dans la direction d'observation (fig. 1).

**L'effet Doppler-Fizeau** s'est plus récemment illustré dans la détection des exoplanètes, les planètes en dehors du système solaire. En effet, la présence d'une planète massive autour d'une étoile provoque un léger mouvement périodique de l'étoile, que l'on peut mesurer par cette méthode. La période de ce mouvement permet d'évaluer la masse de la planète et de conclure sur le type de planète détectée.

## Comment mesurer un décalage Doppler pour déterminer la période de rotation de Jupiter ?

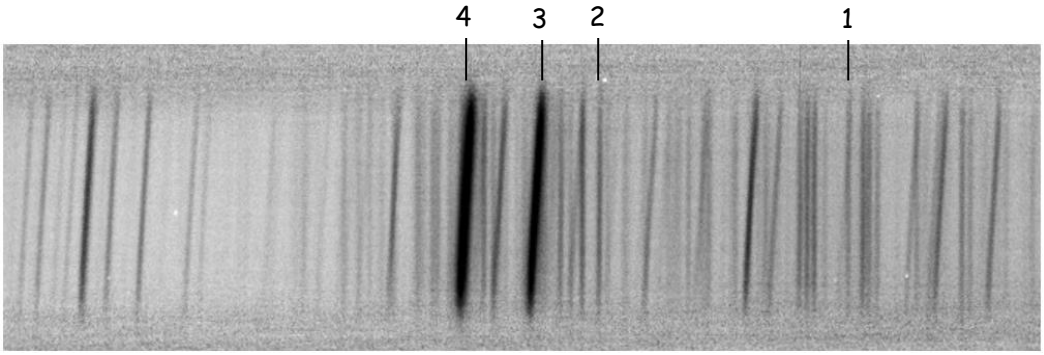
### A. Les raies d'absorption du spectre de Jupiter




Le spectre ci-dessous est celui de la lumière du soleil diffusée par Jupiter et reçue par la Terre. La fente du spectroscope utilisé est dans le plan équatorial de Jupiter. Dans ce plan, à cause de la rotation de la planète (période T= 9 h 55 min), le point O sur la figure ci-contre se rapproche du Soleil ou de la Terre, tandis que E s'en éloigne, et que S reste à la même distance.

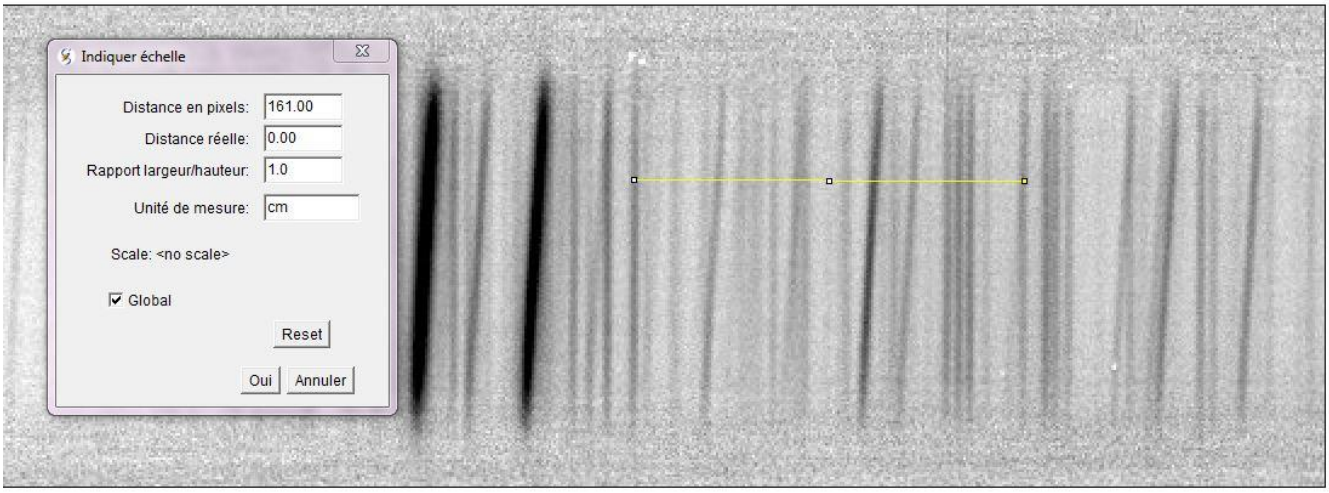
Ainsi, ce spectre présente des raies d'absorption dues aux éléments présents dans l'atmosphère du Soleil (raies inclinées **3** et **4)** et de la Terre (raies non inclinées **1** et **2**). $\lambda_1$ = 592,136 nm et $\lambda_2$ = 590,101 nm.

C'est l'effet Doppler-Fizeau qui permet d'expliquer l'inclinaison des raies : les raies d'absorption correspondant à la source O (se rapprochant de l'observateur) se décalent vers les courtes longueurs d'onde (partie inférieure du spectre), tandis que celles correspondant au point E (partie supérieure du spectre) se décalent vers les grandes longueurs d'onde. Celles correspondant à S ne subissent aucun décalage. La mesure du décalage $\Delta\lambda$ en longueur d'onde entre le bord supérieur (ou inférieur) d'une raie et son centre permet de calculer la valeur v de la vitesse du point E (ou du point O) dans la direction de visée.

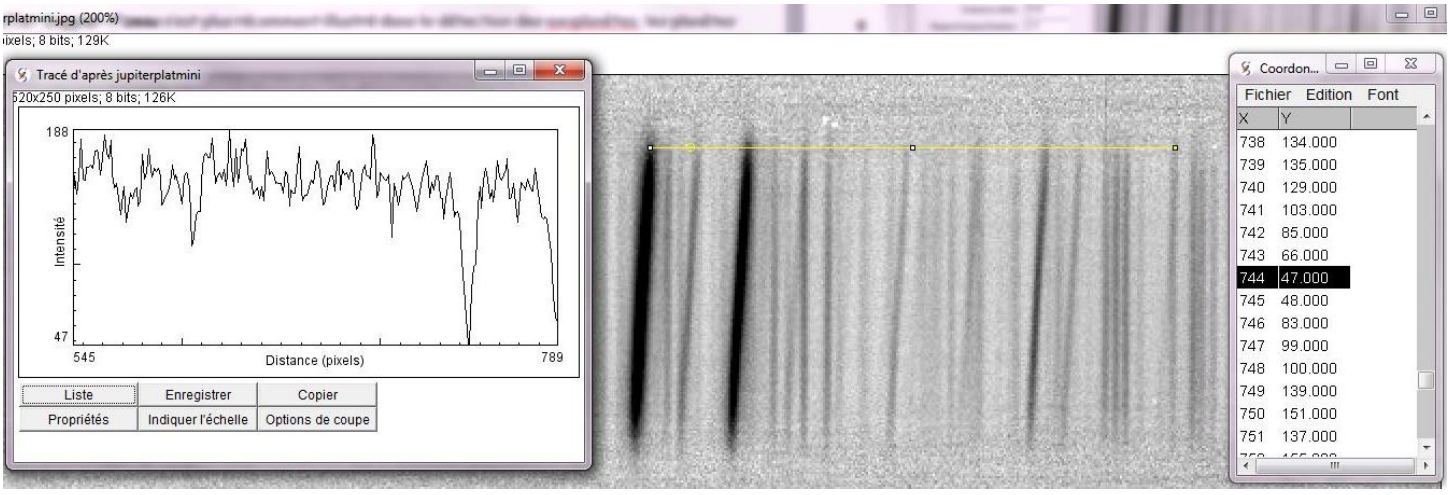


## B. Traitement d'images avec le logiciel « SalsaJ »

1) Lancer le logiciel de traitement d'images « SalsaJ », et ouvrir l'image du spectre de Jupiter, disponible sur le bureau du PC sous le nom « Spectre_Jupiter_Doppler »
2) Dans la fenêtre contenant l'image du spectre, en utilisant la fonction zoom **(On utilise l'image du spectre zoom 200%)**, tracer un segment horizontal reliant avec précision les raies d'absorption numérotées ① et ② sur le spectre de Jupiter.



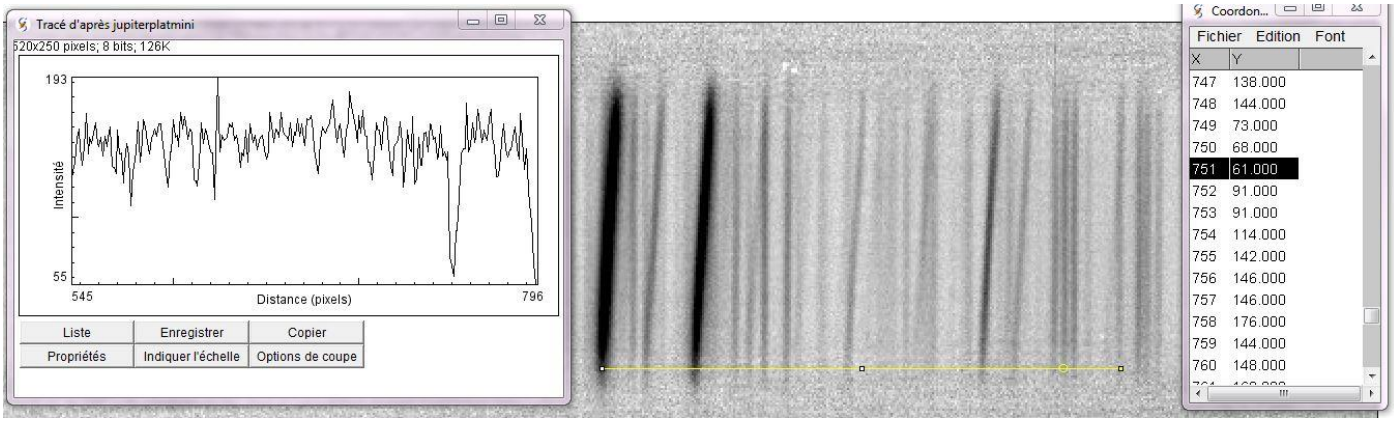

3) Dans la barre « menu » du logiciel, choisir « Analyse » puis « Indiquer l'échelle », cocher la case « Global ». Noter le nombre de pixels séparant les raies ① et ②: **161** pixels
4) Calculer la valeur « $\lambda_1 - \lambda_2$ », et en déduire l'échelle du document : **161** pixels → **2,035 nm**
5) Sur le bord supérieur, tracer avec précision un trait horizontal partant du centre de la raie ① et allant jusqu'au centre de la raie ④.




6) Dans la barre de « menu », cliquer sur « Analyse puis « Coupe ». Positionner le curseur sur le minimum d'intensité, dû à la raie ③. Noter la valeur de l'écart en longueur d'onde entre la raie ① et le bord supérieur de la raie ③ : $(\lambda_1 - \lambda_3)_{\text{bord sup}}$ = **744 pixels = 744 x 2,035 / 161 = 9,404 nm**

D'où $\lambda_{3\text{bord sup}}$ = **582,732 nm**

**** Pour plus de précision, rechercher ce minimum dans la « Liste » fournie par le logiciel ****




7) Recommencer les deux opérations précédentes afin de déterminer l'écart en longueur d'onde entre la raie ① et le bord inférieur de la raie ③ : $(\lambda_1-\lambda_3)_{\text{bord inf}}$ = 751 pixels = 750x2,035 / 161 = 9,492 nm

D'où $\lambda_{3\text{bord inf}}$ = 582,644 nm

## C. Exploitation des résultats

8) En utilisant la valeur de « $\lambda_1$ », et celles notées pour les deux écarts, déterminer la valeur moyenne de « $\lambda_3$ » : $\lambda_3 = \frac{\lambda_{3\text{bord inf}} + \lambda_{3\text{ bord sup}}}{2} = \frac{\lambda_1 - 9{,}404 + \lambda_1 - 9{,}492}{2}$ nm = 582,688 nm

9) Calculer le décalage Doppler « $|\Delta\lambda|$ » décrit dans le texte : $|\Delta\lambda| = \lambda_3 - \lambda_{3\text{ bord inf}} = \lambda_{3\text{ bord sup}} - \lambda_3$ nm

$|\Delta\lambda|$ = 582,732–582,688 = $4{,}4\times10^{-2}$ nm

10) Dans le cas étudié ici, on montre que $|\Delta\lambda| = \frac{2v}{c} \times \lambda_3$, où v est la valeur de la vitesse de « E » (ou de « O »), et c est celle de la lumière.

Déterminer la valeur de « v » en prenant c = 3,00 x $10^8$ m.$s^{-1}$ : $v = \frac{c \times |\Delta\lambda|}{2\lambda_3}$ = 1,13 x $10^4$ m.$s^{-1}$

## D. Conclure

11) Le rayon de Jupiter est de 71,5 x $10^3$ km. A partir de « v », déterminer la valeur de la période « T » de rotation de Jupiter : $T = \frac{2\pi R}{v}$ s

$2\times\pi\times R = 4{,}49\times10^8$ m on a donc $T = 3{,}964\times10^4$ s

**** « T » correspond au temps mis par Jupiter pour faire un tour sur elle-même ****

12) Comparer cette valeur à celle du texte. Calculer le pourcentage d'erreur réalisée lors de la mesure avec le logiciel.

$T^{Th}$ = 9h55min = 9x3600+55x60 = $3{,}57\times10^4$ s

On calcule l'écart relatif $\frac{\Delta T}{T} = \frac{39640-35700}{35700}$ x100 = 11 %

**L'erreur commise lors des mesure n'est pas énorme, la valeur est fiable.**