

FICHE 1**Fiche à destination des enseignants****TS 7****De la rotation de Saturne à la structure de ses anneaux**

<i>Type d'activité</i>	<i>Activité expérimentale</i>						
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> Notions et contenus du programme de Terminale S Effet Doppler. </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> Compétences exigibles du programme de Terminale S Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mesurer une vitesse en utilisant l'effet Doppler. Exploiter l'expression du décalage Doppler de la fréquence dans le cas des faibles vitesses. Utiliser des données spectrales et un logiciel de traitements d'images pour illustrer l'utilisation de l'effet Doppler comme moyen d'investigation en astrophysique. </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center; padding: 5px;">Compétences d'après le préambule du cycle terminal</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 5px;"> Démarche scientifique Mettre en œuvre un raisonnement Mobiliser ses connaissances Maîtriser les compétences mathématiques de base Approche expérimentale Valider des résultats obtenus et des hypothèses faites Estimer la précision des mesures Faire preuve d'initiative <div style="text-align: center;">Compétences sur « Extraire et exploiter »</div> Exploiter Traitement numérique des équations Analyse critique d'un résultat <div style="text-align: center;">Compétences sur « Mesures et incertitudes »</div> Expression et acceptabilité du résultat Maîtriser l'usage des chiffres significatifs et l'écriture scientifique </td> </tr> </table>	Notions et contenus du programme de Terminale S Effet Doppler.	Compétences exigibles du programme de Terminale S Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mesurer une vitesse en utilisant l'effet Doppler. Exploiter l'expression du décalage Doppler de la fréquence dans le cas des faibles vitesses. Utiliser des données spectrales et un logiciel de traitements d'images pour illustrer l'utilisation de l'effet Doppler comme moyen d'investigation en astrophysique.	Compétences d'après le préambule du cycle terminal		Démarche scientifique Mettre en œuvre un raisonnement Mobiliser ses connaissances Maîtriser les compétences mathématiques de base Approche expérimentale Valider des résultats obtenus et des hypothèses faites Estimer la précision des mesures Faire preuve d'initiative <div style="text-align: center;">Compétences sur « Extraire et exploiter »</div> Exploiter Traitement numérique des équations Analyse critique d'un résultat <div style="text-align: center;">Compétences sur « Mesures et incertitudes »</div> Expression et acceptabilité du résultat Maîtriser l'usage des chiffres significatifs et l'écriture scientifique	
Notions et contenus du programme de Terminale S Effet Doppler.	Compétences exigibles du programme de Terminale S Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour mesurer une vitesse en utilisant l'effet Doppler. Exploiter l'expression du décalage Doppler de la fréquence dans le cas des faibles vitesses. Utiliser des données spectrales et un logiciel de traitements d'images pour illustrer l'utilisation de l'effet Doppler comme moyen d'investigation en astrophysique.						
Compétences d'après le préambule du cycle terminal							
Démarche scientifique Mettre en œuvre un raisonnement Mobiliser ses connaissances Maîtriser les compétences mathématiques de base Approche expérimentale Valider des résultats obtenus et des hypothèses faites Estimer la précision des mesures Faire preuve d'initiative <div style="text-align: center;">Compétences sur « Extraire et exploiter »</div> Exploiter Traitement numérique des équations Analyse critique d'un résultat <div style="text-align: center;">Compétences sur « Mesures et incertitudes »</div> Expression et acceptabilité du résultat Maîtriser l'usage des chiffres significatifs et l'écriture scientifique							
<i>Commentaires sur l'activité proposée</i>	Cette activité illustre le thème <div style="text-align: center;">« OBSERVER »</div> <div style="text-align: center;">Ondes et particules</div> et le sous thème <div style="text-align: center;">Propriétés des ondes</div> en classe de terminale S.						
<i>Conditions de mise en œuvre</i>	Durée : 1 h 30 Pour effectuer cette activité expérimentale, il faut télécharger le logiciel libre de droit « SalsaJ » à l'adresse suivante : <div style="text-align: center;">http://www.sciencesalecole.org/ressources/salsaj-2.html</div> Cette activité complète l'activité TS 6(a) Radar en vue mais peut être traitée de manière indépendante.						
<i>Pré requis (TS)</i>	Connaître la définition d'une onde mécanique progressive. Connaître et exploiter la relation entre la période ou la fréquence, la longueur d'onde et la célérité.						

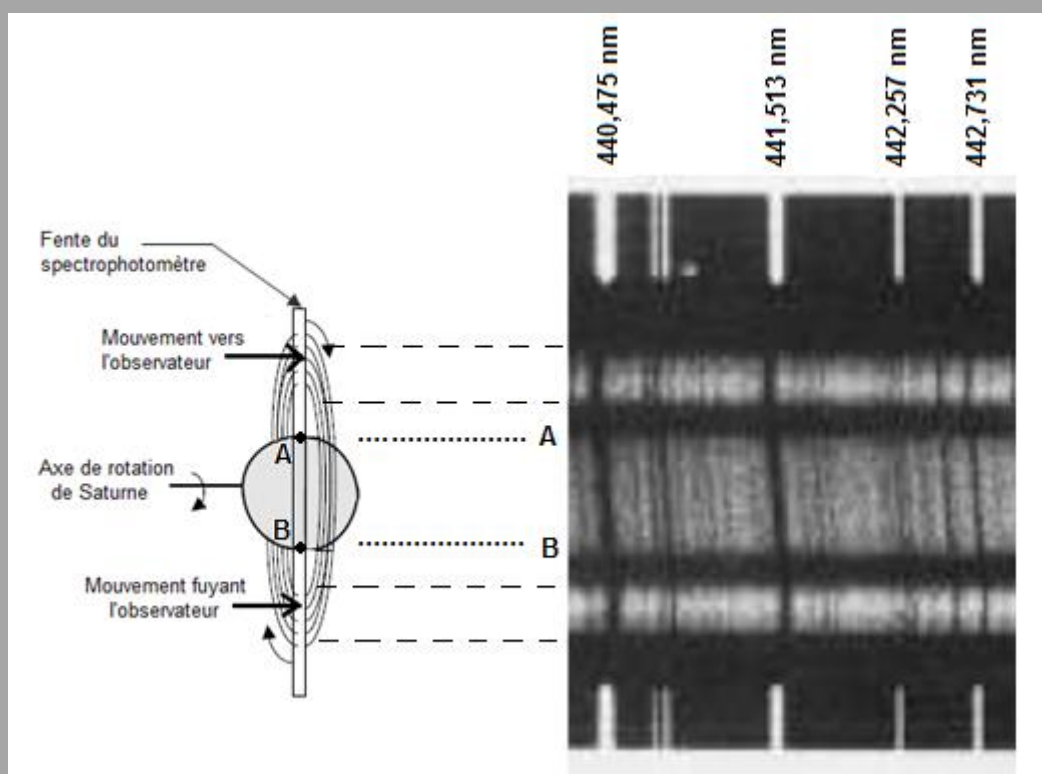
Fiche 2 Fiche à destination des élèves

TS 7

Application de l'effet Doppler à l'astrophysique : De la rotation de Saturne à la structure de ses anneaux

Partie 1 Expression du décalage en longueur d'onde

Vous faites partie d'une équipe d'astrophysiciens chargée d'étudier Saturne et ses anneaux. Pour cela vous disposez d'un extrait du spectre de Saturne et de ses anneaux réalisé par un spectrographe de l'observatoire de Haute Provence le 24 juillet 1962. A cette date, Saturne est en opposition avec le soleil, c'est-à-dire que le Soleil, La Terre et Saturne sont alignés dans cet ordre. La fente du spectrographe permet d'isoler une bande étroite comprenant le centre de Saturne et ses anneaux selon la figure ci-dessous



De manière à pouvoir effectuer un étalonnage des longueurs d'onde en nm, ce spectre est encadré par le spectre d'émission du fer obtenu dans les mêmes conditions c'est-à-dire avec le même spectrographe.

Question 1

a) A quelle famille d'ondes appartiennent les ondes lumineuses monochromatiques étudiées dans l'extrait du spectre de Saturne. Ces ondes lumineuses monochromatiques appartiennent-elles au domaine du visible ?
Rappeler leur célérité dans le vide avec 3 chiffres significatifs.

b) Avec une règle, étudier qualitativement l'inclinaison des raies de Saturne et de ses anneaux par rapport aux raies d'émission du fer.

Vous décidez de noter v_{SA} , la vitesse d'un point de la surface de Saturne. Au moment où le spectre est enregistré, vous considérez que le point A, placé à la surface de Saturne se rapproche de la Terre, à la vitesse v_{SA} , et le point B s'en éloigne à la vitesse, v_{SA} .

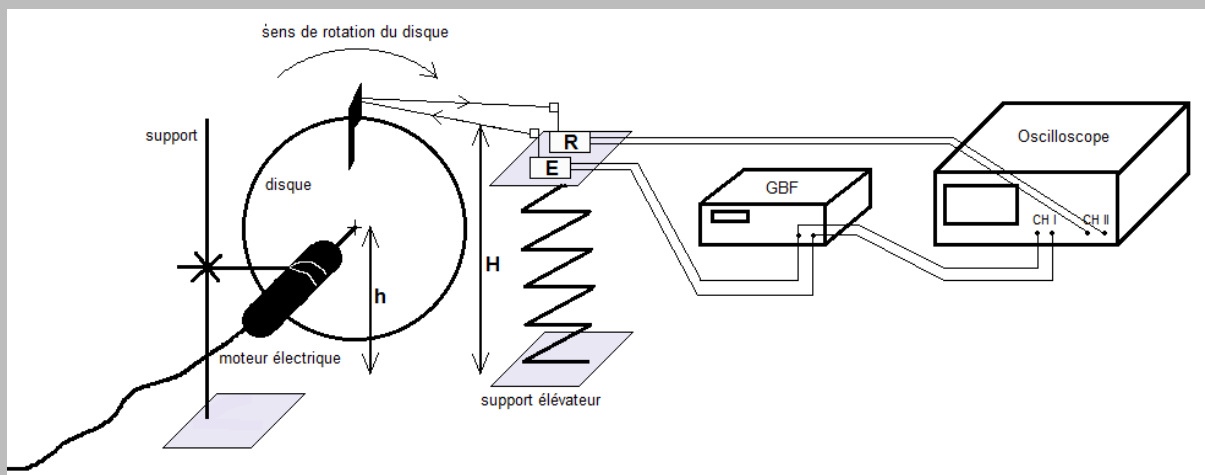
Question 2

a) Dans quel sens s'effectue le décalage en longueur d'onde, dans le spectre, d'une raie pour le point A et d'une raie pour le point B par rapport leur raie de référence ?

b) Quelle hypothèse pouvez-vous alors émettre pour les raies d'un système, par exemple une galaxie, qui s'éloigne de la Terre ?

Vous effectuez ensuite l'analogie avec une expérience que vous avez vue dans un ouvrage scientifique. Elle met en jeu un émetteur, E, et un récepteur, R, d'ultrasons.

- Sur un disque, est fixée solidement une lame de zinc selon un des rayons. Sous l'action d'un moteur électrique, le disque est animé d'un mouvement de rotation uniforme de manière à ce que la lame s'approche de l'émetteur et du récepteur avec la vitesse v_{ob} .



- Les résultats expérimentaux permettent de vérifier la formule :

$$f = f_0 \left(1 + \frac{2 v_{ob}}{v_{onde}} \right)$$

où f est la fréquence de l'onde détectée par le récepteur, f_0 est la fréquence de l'onde émise, v_{ob} est la vitesse de l'obstacle s'approchant de l'émetteur et du récepteur et v_{onde} est la célérité des ondes ultrasonores dans l'air.

- Lorsque l'obstacle s'éloigne de l'émetteur et du récepteur à la vitesse v_{ob} , on peut établir la formule :

$$f = f_0 \left(1 - \frac{2 v_{ob}}{v_{onde}} \right)$$

Question 3

Les ondes ultrasonores sont-elles des ondes électromagnétiques ? (Justifier)

Question 4

a) Quels sont, dans le cas de l'étude de Saturne, l'émetteur et le récepteur des ondes lumineuses monochromatiques ?

b) Quelle surface diffuse la lumière et joue le même rôle que l'obstacle (la lame de zinc) dans l'expérience avec les ondes ultrasonores ?

Question 5

a) En utilisant les formules précédentes, exprimer, les fréquences f_A et f_B d'une onde lumineuse monochromatique diffusée au niveau des points A et B de la surface de Saturne en fonction de la fréquence, f_0 , de l'onde incidente, de la vitesse à la surface de Saturne, v_{SA} , et de la célérité de la lumière dans le vide, c .

b) Exprimer la longueur d'onde dans le vide, λ , d'une onde lumineuse monochromatique en fonction de sa fréquence, f , et de sa célérité, c .

La vitesse à la surface de Saturne est très faible devant la célérité de la lumière dans le vide. Dans ce cas, on a les approximations suivantes :

$$\frac{1}{1 + \frac{2 v_{SA}}{c}} \approx 1 - 2 \frac{v_{SA}}{c} \quad \text{et} \quad \frac{1}{1 - \frac{2 v_{SA}}{c}} \approx 1 + 2 \frac{v_{SA}}{c}$$

Question 6

a) En utilisant les approximations données, exprimer les longueurs d'onde dans le vide λ_A et λ_B d'une onde lumineuse monochromatique diffusée au niveau des points A et B en fonction de la longueur d'onde, λ_0 , de l'onde incidente et de la célérité, c , de la lumière.

b) En déduire que le décalage en longueur d'onde $\lambda_B - \lambda_A = \Delta\lambda$ de l'onde lumineuse monochromatique diffusée aux points A et B vérifie l'équation :


$$\Delta\lambda = \frac{4 v_{SA}}{c} \cdot \lambda_0$$

Partie 2 Étude du spectre de Saturne et de ses anneaux à l'aide d'un logiciel de traitements d'images


Pour mesurer le plus précisément possible $\Delta\lambda$, on utilise le logiciel « SalsaJ » se trouvant dans le dossier « XXXXXXXXX . » .

- Ouvrir le logiciel « SalsaJ »
- Cliquer sur « fichier » puis « ouvrir » et rechercher l'image « spectre de Saturne et de ses anneaux.jpg » se trouvant dans le dossier « XXXXXXXXX . »

Une fenêtre avec l'image vient alors d'apparaître sur l'écran.


- Grossir l'image, en cliquant en haut à droite de la nouvelle fenêtre sur l'onglet « agrandir ».
- Cliquer sur l'onglet , puis, avec la souris, tracer sur l'image, une ligne horizontale passant par les quatre raies du fer dont on connaît la longueur d'onde.
- Cliquer sur l'onglet « analyse » puis « coupe ».

Une nouvelle fenêtre, « tracé d'après spectre », représentant l'intensité lumineuse le long du segment tracé en fonction du nombre de pixels vient d'apparaître sur l'écran.

- Pour faire un zoom avant de cette nouvelle fenêtre, cliquer sur l'icône  puis positionner la souris sur la zone du graphe que l'on étudie. Effectuer un clic gauche jusqu'à obtenir un agrandissement satisfaisant permettant de bien visualiser les quatre raies du fer dont les longueurs d'onde sont données.
(Remarque un clic droit permet de faire un zoom arrière)
- Avec le curseur, noter le nombre de pixels séparant la raie de longueur d'onde 441,513 nm et celle de longueur d'onde 442,731 nm.


Question 7

a) Compléter alors la correspondance suivante : **1,218 nm** ↔ **pixels**

- Fermer la fenêtre « tracé d'après spectre »
- Cliquer, sur l'onglet , et placer une ligne horizontale en haut du spectre de Saturne.
- Positionner cette ligne horizontale à l'extrême gauche de l'image avec les flèches de direction du clavier puis allonger cette ligne pour qu'elle puisse balayer l'intégralité du spectre.
- Cliquer sur l'onglet analyse puis coupe.
- On étudie la raie noire, fine et inclinée de Saturne correspondant à la longueur d'onde $\lambda = 442,731 \text{ nm}$.

b) Après avoir effectué un zoom avant, noter le pixel, p_A , correspondant à cette raie.

$p_A =$

- Fermer la fenêtre « tracé d'après spectre »
- Cliquer, sur l'onglet , et placer une ligne horizontale en bas du spectre de Saturne.
- Positionner cette ligne horizontale à l'extrême gauche de l'image avec les flèches de direction du clavier puis allonger cette ligne pour qu'elle puisse balayer l'intégralité du spectre.
- Cliquer sur l'onglet analyse puis coupe.
- On étudie toujours la raie noire, fine et inclinée de Saturne correspondant à la longueur d'onde $\lambda = 442,731 \text{ nm}$.

c) Après avoir effectué un zoom avant, noter le pixel, p_B , correspondant à cette raie.

$$p_B =$$

- Fermer la fenêtre « tracé d'après spectre »

Question 8

- À l'aide de la différence de pixels $p_B - p_A$ et de la correspondance précédemment établie, calculer $\Delta\lambda$.
- En déduire la vitesse, v_{SA} , à la surface de Saturne.

L'observation directe de saturne a permis de mesurer son rayon équatorial, R_{SA} . On a ainsi obtenu :

$$R_{SA} = 60,3 \cdot 10^3 \text{ km.}$$

Question 9

En déduire la période de rotation de Saturne sur elle-même au niveau de l'équateur. Dans les tables, on trouve $T_{th} = 37 \cdot 10^3$ s. La période de rotation obtenue en étudiant le spectre de Saturne est-elle en accord avec la valeur théorique ?

Question 10

A la question précédente, on a demandé si la période de rotation obtenue était en accord avec la valeur théorique. En étudiant la précision de votre mesure, expliquer pourquoi l'énoncé se contente de vérifier un accord.

On étudie maintenant les anneaux de Saturne. Deux hypothèses peuvent être formulées :

Si les anneaux sont constitués par un corps solide solidaire de Saturne en rotation autour de l'axe de rotation de cette planète, la vitesse des bords externes des anneaux serait plus importante que celle des bords internes (pour un disque en rotation, plus on étudie un point éloigné du centre de rotation, plus la vitesse est importante). Le décalage en longueur d'onde par rapport à une raie de référence serait alors plus important pour les bords externes que pour les bords internes.

Si les anneaux sont constitués par des poussières séparées les unes des autres, la vitesse des bords externes des anneaux serait moins importante que celle des bords internes car l'étude des satellites qui sera effectuée ultérieurement montre que plus le rayon de l'orbite est important plus la vitesse est faible. Le décalage en longueur d'onde par rapport à une raie de référence serait alors plus faible pour les bords externes que pour les bords internes.

Question 11

Avec le logiciel « SalsaJ », étudier ce décalage en traçant un segment vertical. Conclure sur la nature des anneaux de Saturne.

FICHE 3

Correction. Fiche à destination des enseignants

TS 7

Application de l'effet Doppler à l'astrophysique : De la rotation de Saturne à la structure de ses anneaux

Étude de Saturne par effet Doppler

Question 1

a) Les ondes lumineuses monochromatiques font partie des ondes électromagnétiques. Elles appartiennent au domaine du visible car les longueurs d'onde dans le vide sont proches de 440 nm, soit entre 400 nm et 800 nm. Leur célérité dans le vide est :

$$c = 3,00.10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

b) Les raies d'émission du fer qui permettent l'étalonnage ne sont pas inclinées. Les raies de Saturne sont inclinées. Les raies des anneaux sont inclinées mais en sens inverse par rapport à celle de Saturne.

Question 2

a) Le décalage en longueur d'onde d'une raie pour le point A qui se rapproche de la Terre s'effectue vers le violet. Le décalage en longueur d'onde d'une raie pour le point B qui s'éloigne de la Terre s'effectue vers le rouge.

b) Par analogie avec le résultat précédent, on peut émettre l'hypothèse que si un système s'éloigne de la Terre, on observe un décalage des raies vers le rouge.

Question 3

Les ondes ultrasonores sont des ondes mécaniques progressives car elles ont besoin d'un milieu matériel pour se propager. Ceci n'est pas le cas pour les ondes électromagnétiques qui peuvent se propager dans le vide. Les ondes ultrasonores ne sont donc pas des ondes électromagnétiques.

Question 4

a) L'émetteur est le soleil. Le récepteur est le spectrographe de l'observatoire de Haute Provence.

b) La lumière est diffusée par la surface de Saturne qui diffuse la lumière émise par le soleil. La surface de Saturne joue donc le rôle de l'obstacle dans l'expérience proposée.

Question 5

a) Le point A s'approche de la Terre, on a donc :

$$f_A = f \left(1 + \frac{2 v_{SA}}{c} \right)$$

Le point B s'éloigne de la Terre, on a donc :

$$f_B = f \left(1 - \frac{2 v_{SA}}{c} \right)$$

b) $c = \lambda f$ soit $\lambda = \frac{c}{f}$

Question 6

$$\lambda_A = \frac{c}{f_A} = \frac{c}{f_0 \left(1 + \frac{2 v_{SA}}{c}\right)} = \frac{\lambda_0}{\left(1 + \frac{2 v_{SA}}{c}\right)}$$

On utilise l'approximation donnée par l'énoncé. On obtient : $\lambda_A = \lambda_0 \left(1 - 2 \frac{v_{SA}}{c}\right)$

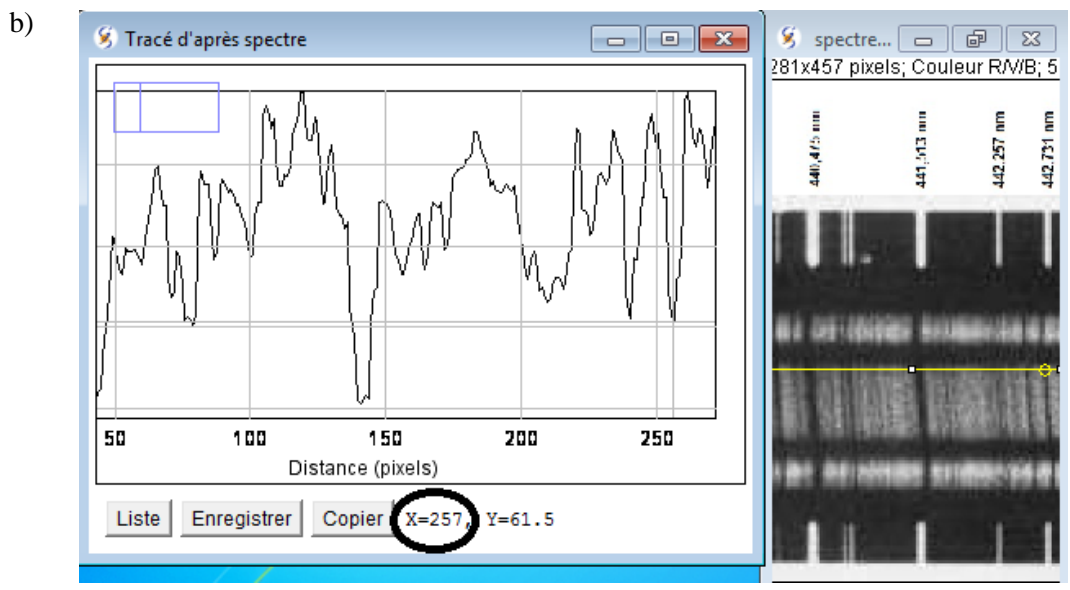
$$\lambda_B = \frac{c}{f_B} = \frac{c}{f_0 \left(1 - \frac{2 v_{SA}}{c}\right)} = \frac{\lambda_0}{\left(1 - \frac{2 v_{SA}}{c}\right)}$$

On utilise l'approximation donnée par l'énoncé. On obtient : $\lambda_B = \lambda_0 \left(1 + 2 \frac{v_{SA}}{c}\right)$

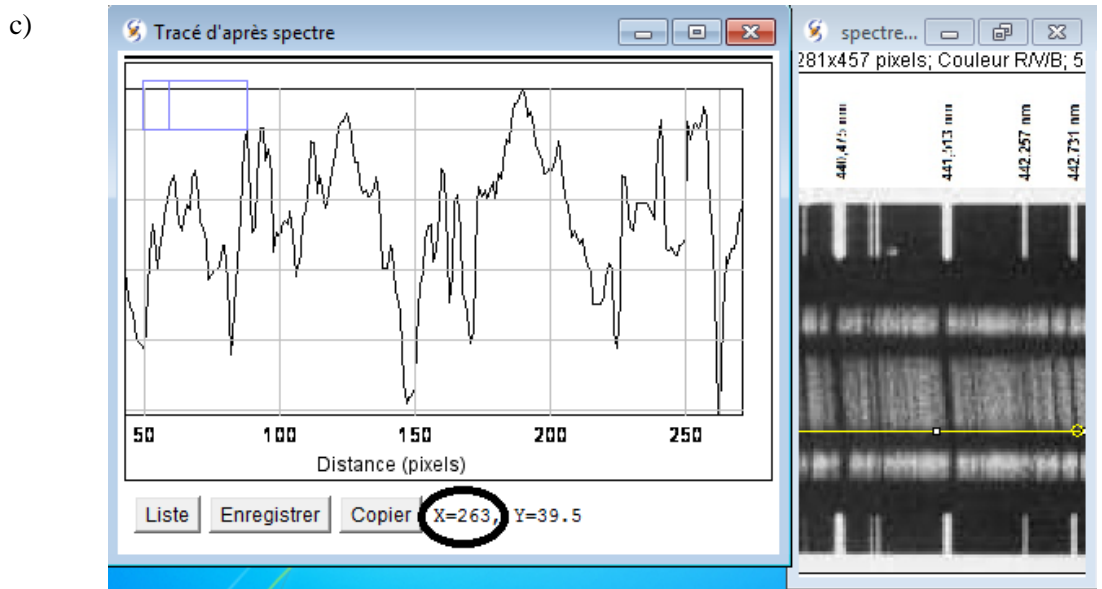
On a donc $\Delta\lambda = \lambda_B - \lambda_A = \left[\lambda_0 \left(1 + 2 \frac{v_{SA}}{c}\right)\right] - \left[\lambda_0 \left(1 - 2 \frac{v_{SA}}{c}\right)\right] = \frac{4 v_{SA}}{c} \cdot \lambda_0$

Question 7

a) On obtient la correspondance 1,218 nm ↔ 116 pixels



On obtient $p_A = 257$.



On obtient $p_B = 263$.

Question 8

Avec la correspondance $1,218 \text{ nm} \leftrightarrow 116 \text{ pixels}$, on calcule

$$\Delta\lambda = (p_B - p_A) \times \frac{1,218}{116} = (263 - 257) \times \frac{1,218}{116} = 6.10^{-2} \text{ nm}$$

$$\text{On a } \Delta\lambda = \frac{4 v_{SA}}{c} \cdot \lambda \text{ soit } v_{SA} = \frac{\Delta\lambda \cdot c}{4 \lambda} = \frac{6.10^{-2} \times 3,00.10^8}{4 \times 442,731} = 1.10^4 \text{ m.s}^{-1}.$$

Remarque :

$\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ est un rapport sans dimension. La conversion de $\Delta\lambda$ et λ en m est donc inutile.

Question 9

$$\text{On a } v_{SA} = \frac{2\pi R}{T} \text{ soit } T = \frac{2\pi R}{v_{SA}} = \frac{2\pi \times 60,3.10^6}{1.10^4} = 4.10^4 \text{ s}$$

Il y a donc accord avec la valeur théorique T_{th} donnée par l'énoncé.

Question 10

Compte tenu de la précision apportée par l'exploitation de l'image du spectre, le décalage en longueur d'onde $\Delta\lambda$ correspond à 6 pixels et ne **peut être présenté qu'avec 1 seul chiffre significatif**. Il en est donc de même pour tous les résultats qui en découlent c'est-à-dire pour v_{SA} et T . Avec une telle précision, l'énoncé ne peut demander une validation d'un résultat mais simplement un accord.

Remarque : Toutefois sur la calculatrice on conserve tous les chiffres pour effectuer les calculs.

Question 11

Sur le logiciel SalsaJ, en traçant un segment vertical, on constate que le décalage en longueur d'onde par rapport à une raie de référence serait est plus important à l'intérieur des anneaux qu'à l'extérieur des anneaux.

Donc la vitesse est plus importante à l'intérieur des anneaux qu'à l'extérieur : les anneaux de Saturne sont donc constitués de poussières.