Rouen - 28 octobre 2008

UDP - HOU-SalsaJ

L'Allée des étoiles,

exercices d'astrophysique avec Galilée, Hubble et Vera Rubin

Allongé sur le tapis de vacoas, enroulé avec Ouma dans la couverture de l'armée, je regarde les étoiles…, je dis leurs noms à haute voix, comme je les récitais à mon père, marchant dans l'Allée des étoiles : Arcturus, Denebola, Bellatrix, Bételgeuse, Acomar, Antarès, Shaula, Altaïr, Andromède, Fomalhaut.

J-M.G. Le Clézio, 1985, dans *Le chercheur d'or* . Prix Nobel de littérature 2008.

Suzanne Faye, Lycée Chaptal, Paris
Michel Faye, Lycée Louis-le-Grand, Paris
mfaye2@wanadoo.fr

Le chercheur d'or

J-M.G. Le Clézio

Ciels de Van Gogh,

Forêt de vacoas sur l'île de la Réunion,

Constellation d'Orion dans le ciel de France

1-Arcturus: étoile rouge, dans le prolongement de la queue de la Grande Ourse

2 – Denebola: étoile de la constellation du Lion, à trouver en partant de la Grande Ourse

3 – Bellatrix: étoile géante bleue, γ, de la constellation d'Orion

4 – Bételgeuse: supergéante rouge de la Constellation d'Orion

5 – Acomar (Acamar, Acherbnar, Akhenar) étoile la plus brillante de la constellation de l'Eridan

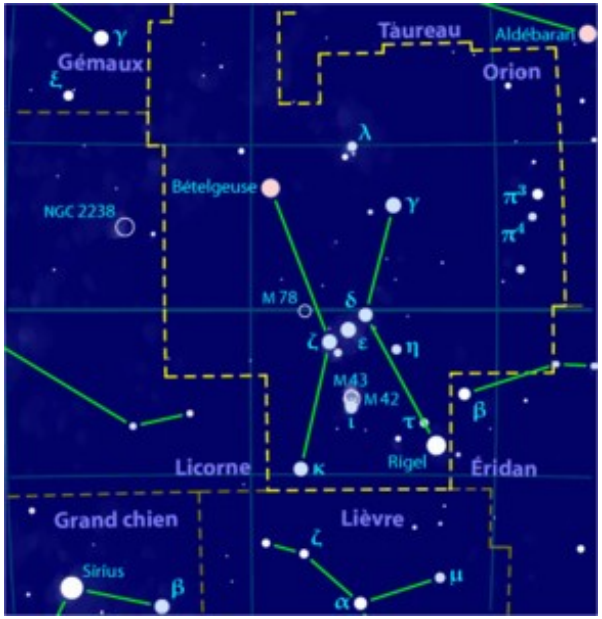
6 – Antarès: étoile double dont une supergéante rouge en fin de vie

7 – Shaula: étoile triple dans la constellation du Scorpion

8 – Altaïr: étoile bleutée de la constellation de L'Aigle

9 – Andromède: constellation contenant la célèbre galaxie d'Andromède, M 31

10 – Fomalhaut: étoile la plus brillante de la constellation du Poisson



Logiciel **SalsaJ** téléchargeable gratuit sur www.eu-hou.net

HOU =

Hands-On-Universe

www.handsonuniverse.org

F-HOU,

France Hands-On-Universe
www.eu-hou.net

EU-HOU,

Europe Hands-On-Universe
www.eu-hou.net

Tous les hommes marchent dans la boue,
mais certains regardent les étoiles

Oscar Wilde

I – Vue d'ensemble

Exercices avec SalsaJ

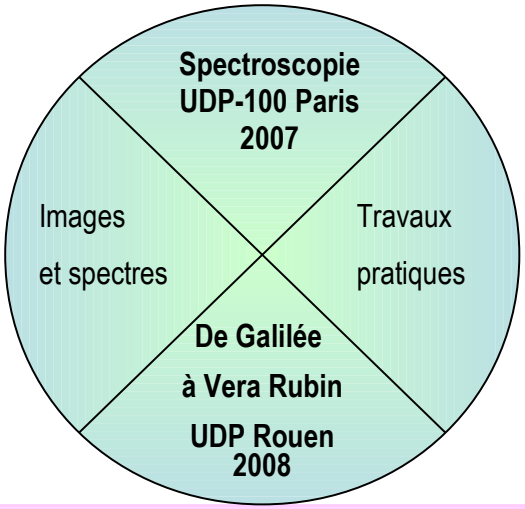
UPD 2007 – Paris : Spectres et Halloween pour astrophysiciens

- Céphéides
- Loi de Képler : trou noir central de notre galaxie,
- Effet Doppler et 2ème loi de Newton : exoplanètes; introduction à la matière noire; trou noir.

UDP 2008 – Rouen : Galilée, Hubble et Vera Rubin, messagers célestes

- Lune, Soleil, satellites de Jupiter
- Courbe de lumière d'une supernova
- Redshift et matière noire, étude détaillée de la galaxie NGC 7083

Sur le CD



Méthodes de l'astrophysique, Lucienne Gougenheim, Hachette CNRS

L'astronomie au féminin, Yaël Nazé, Vuibert

Matière sombre et énergie noire, Mystères de l'Univers, Alain Bouquet Emmanuel Monnier, Dunod

Pour les jeunes:

Georges et les secrets de l'univers, Lucy et Stephen Hawking, Pocket

II – SalsaJ Coupes: Comparer planètes et étoiles

Notre Lune:

Pas d'atmosphère

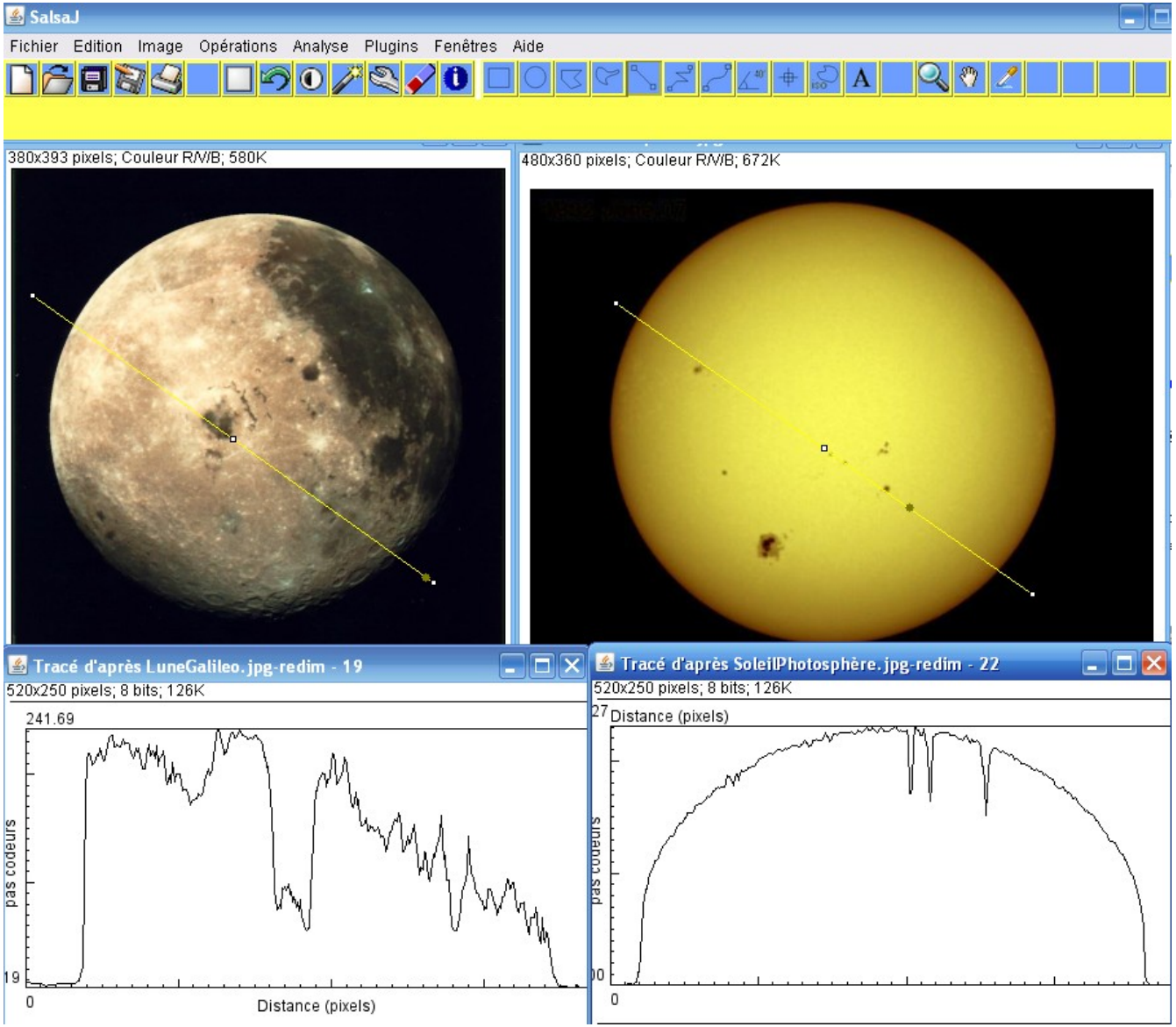
Montagnes et vallées

Notre Soleil:

Gaz(plasma)

atmosphère

Taches solaires



1610:
Lunes de Jupiter, découvertes par Galilée

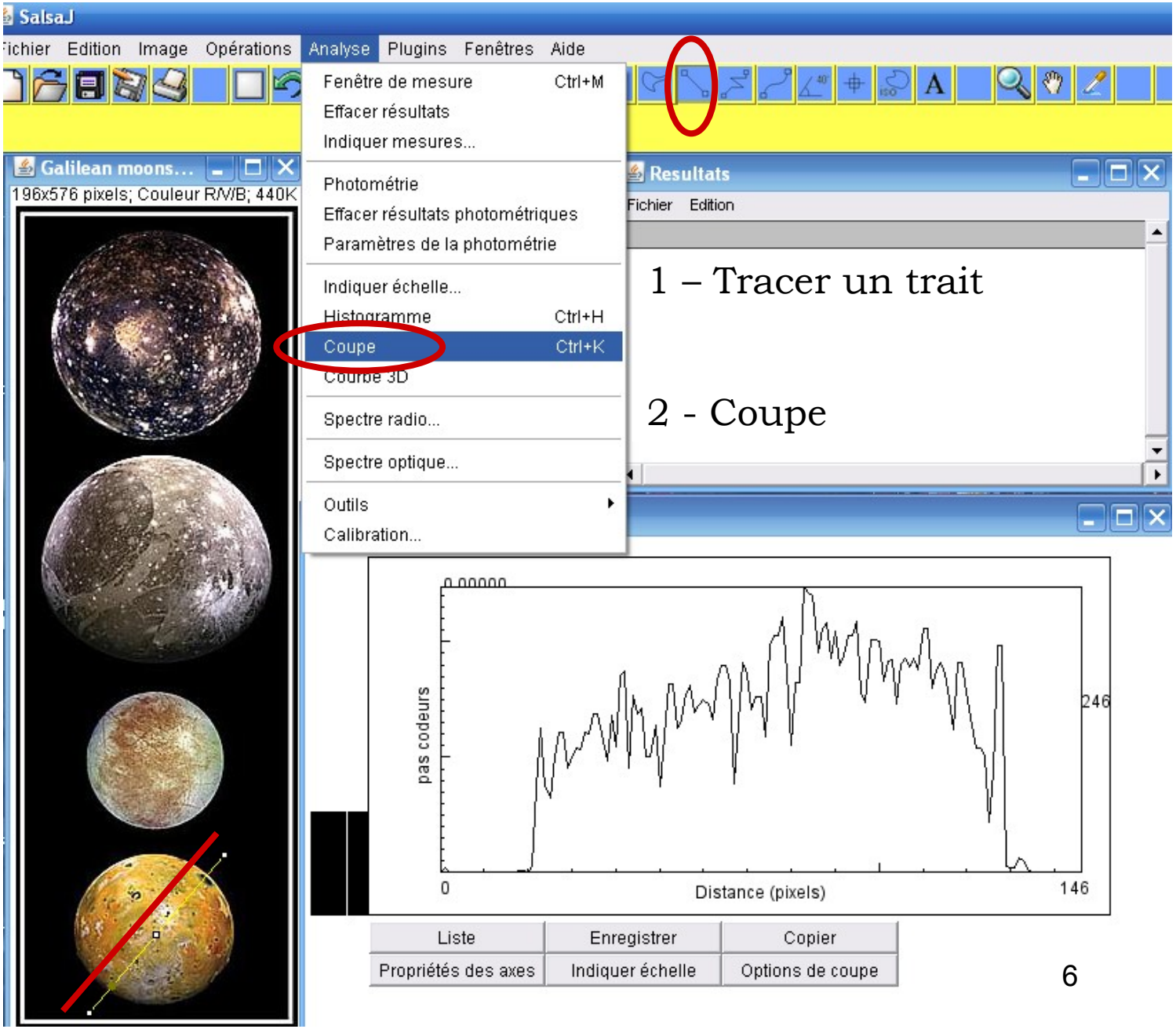
Callisto

Ganymède

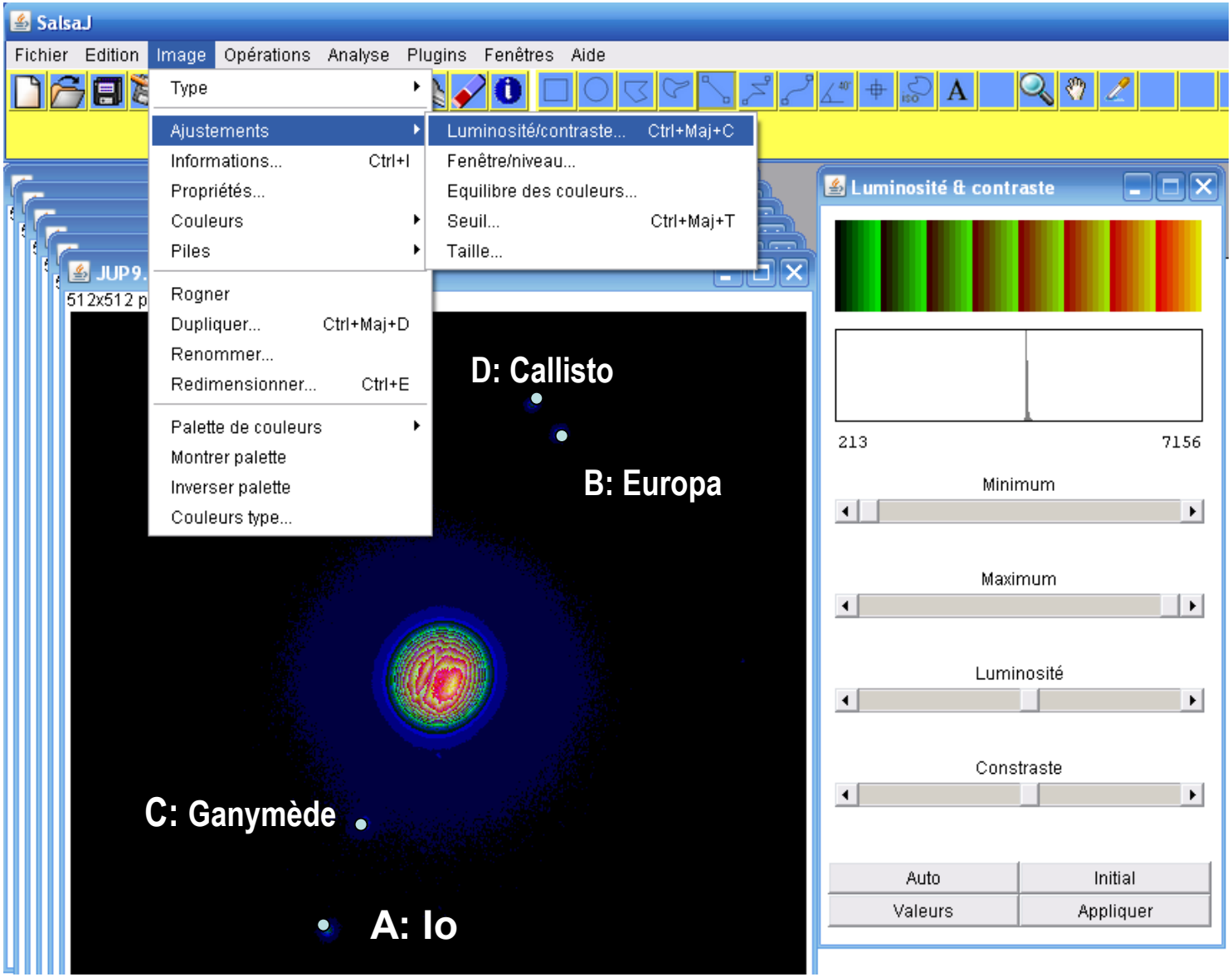
Europe

Io

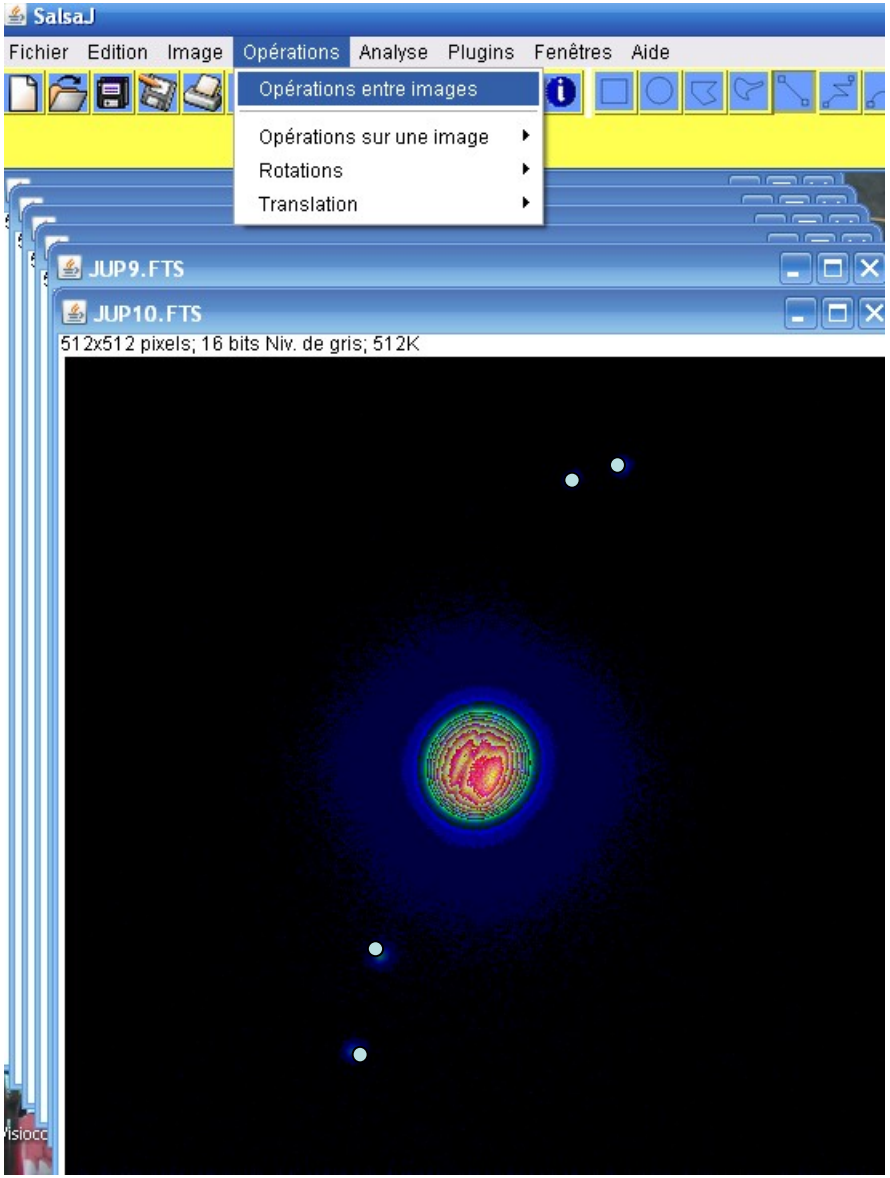
Credit NASA

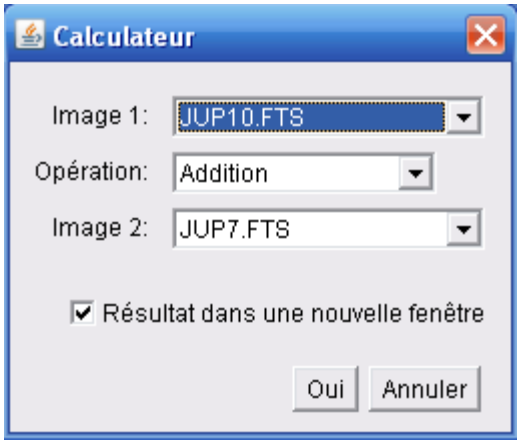


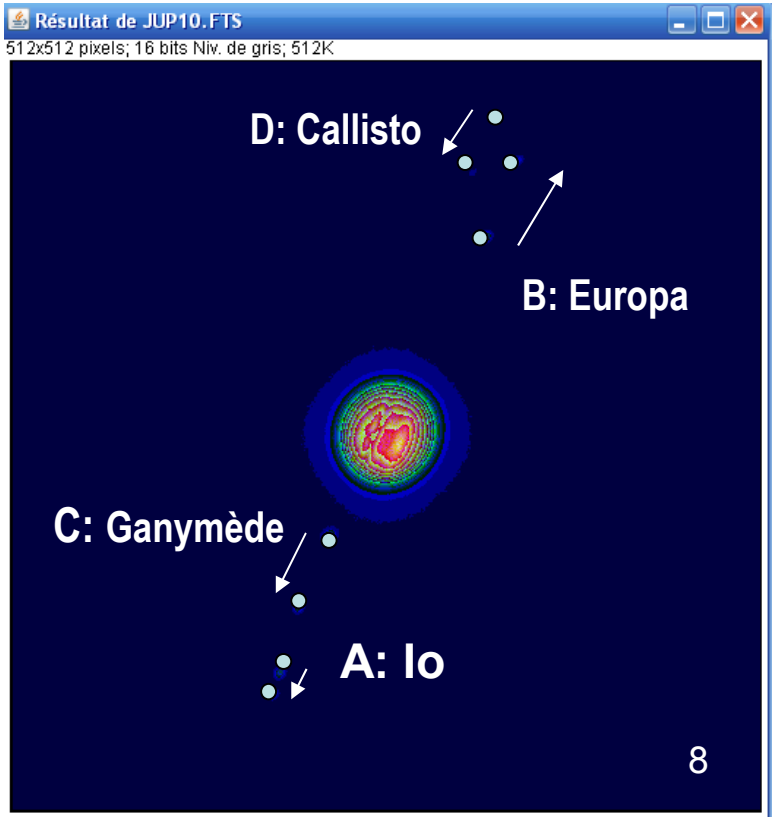
III – SalsaJ Operations: Les lunes de Jupiter

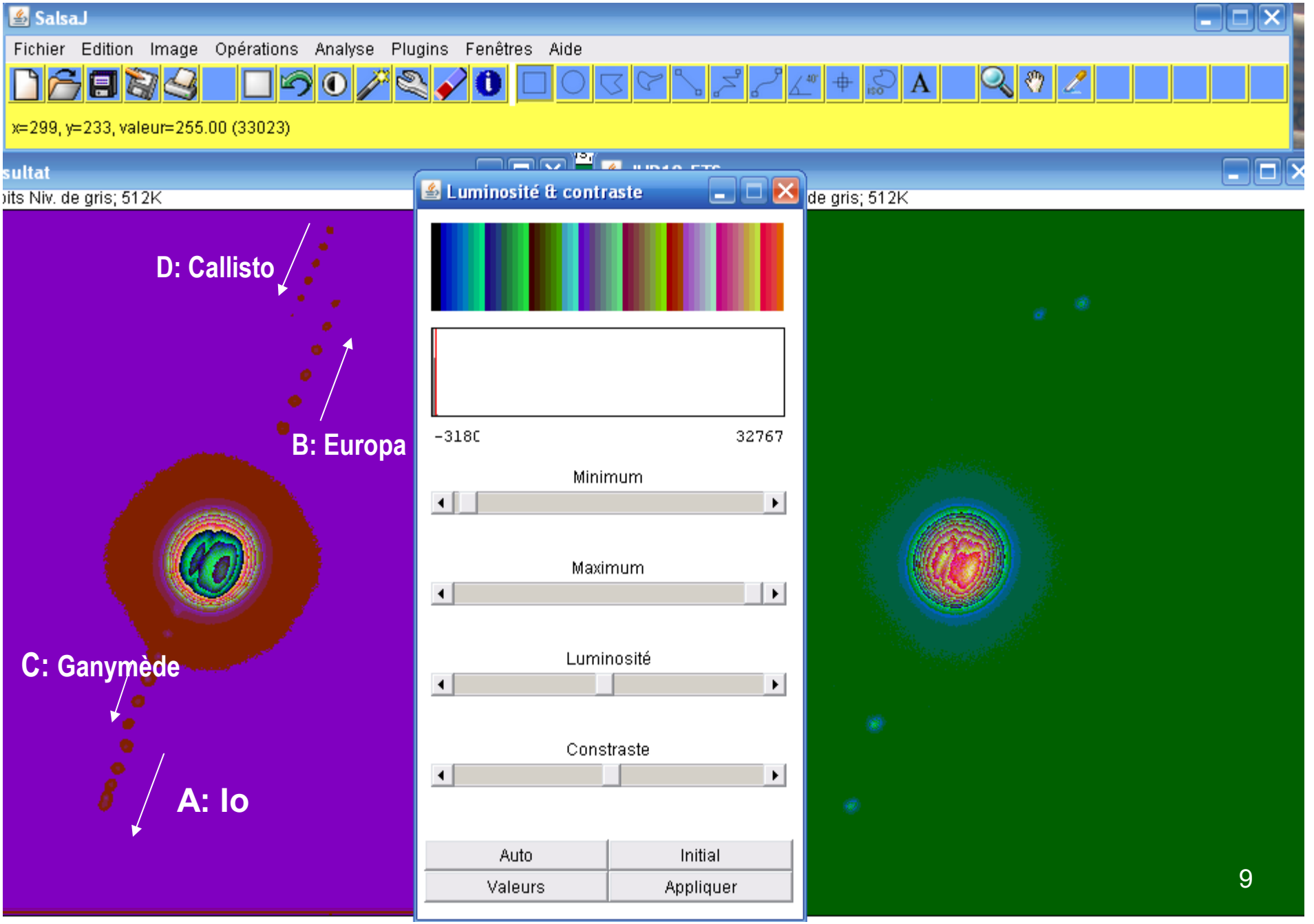


Additionner (ou soustraire) des images








SalsaJ
Fichier Edition Image Opérations Analyse Plugins Fenêtres Aide
x=299, y=233, valeur=255.00 (33023)
sultat
its Niv. de gris; 512K
D: Callisto
B: Europa
C: Ganymède
A: Io
Luminosité & contraste
-318C
32767
Minimum
Maximum
Luminosité
Constraste
Auto
Initial
Valeurs
Appliquer
de gris; 512K

Etudions les satellites de Jupiter avec SalsaJ:

1 – On dispose de 5 images calibrées (date 23/4/92, une heure exactement entre chaque image (voir image info); extension angulaire du pixel: 0.6 arcsec.

2 – Jupiter est aux coordonnées centrales (216; 216)

3 – Sur l'image numéro 10, la lune Io est à la distance R du centre de Jupiter

On peut donc mesurer et calculer :

1 – Période orbitale de Io : T = 1,8 jour

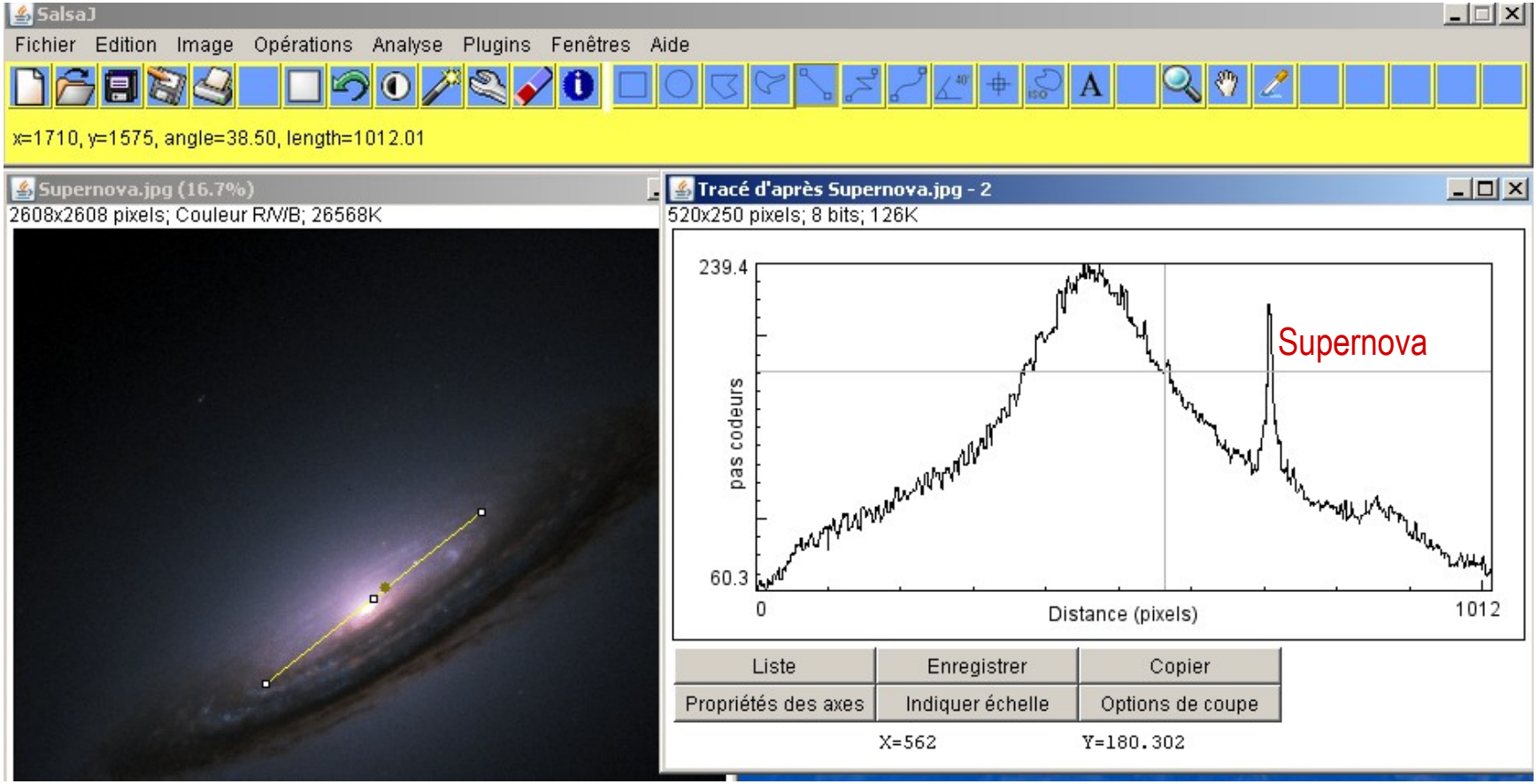
2 – Rayon orbital de Io : $R = 4{,}2 \,.\, 10^8$ m

3 – Masse de Jupiter : $M_J = 4\pi^2 R^3 / G T^2 = 2.\ 10^{27}$ kg

Nom	Date de découverte	Découvertes par	Distance au centre de Jupiter (10^3 km)	Période orbitale (days)	Masse (10^{20} kg)
Io (A)	1610	Galileo Galilei	421.6	1.769138	893.2
Europa (B)			670.9	3.551181	480.0
Ganymede (C)			1070.4	7.154553	1481.9
Callisto (D)			1882.7	16.689018	1075.9

IV –Photometrie avec SalsaJ: Courbe de lumière d'une supernova

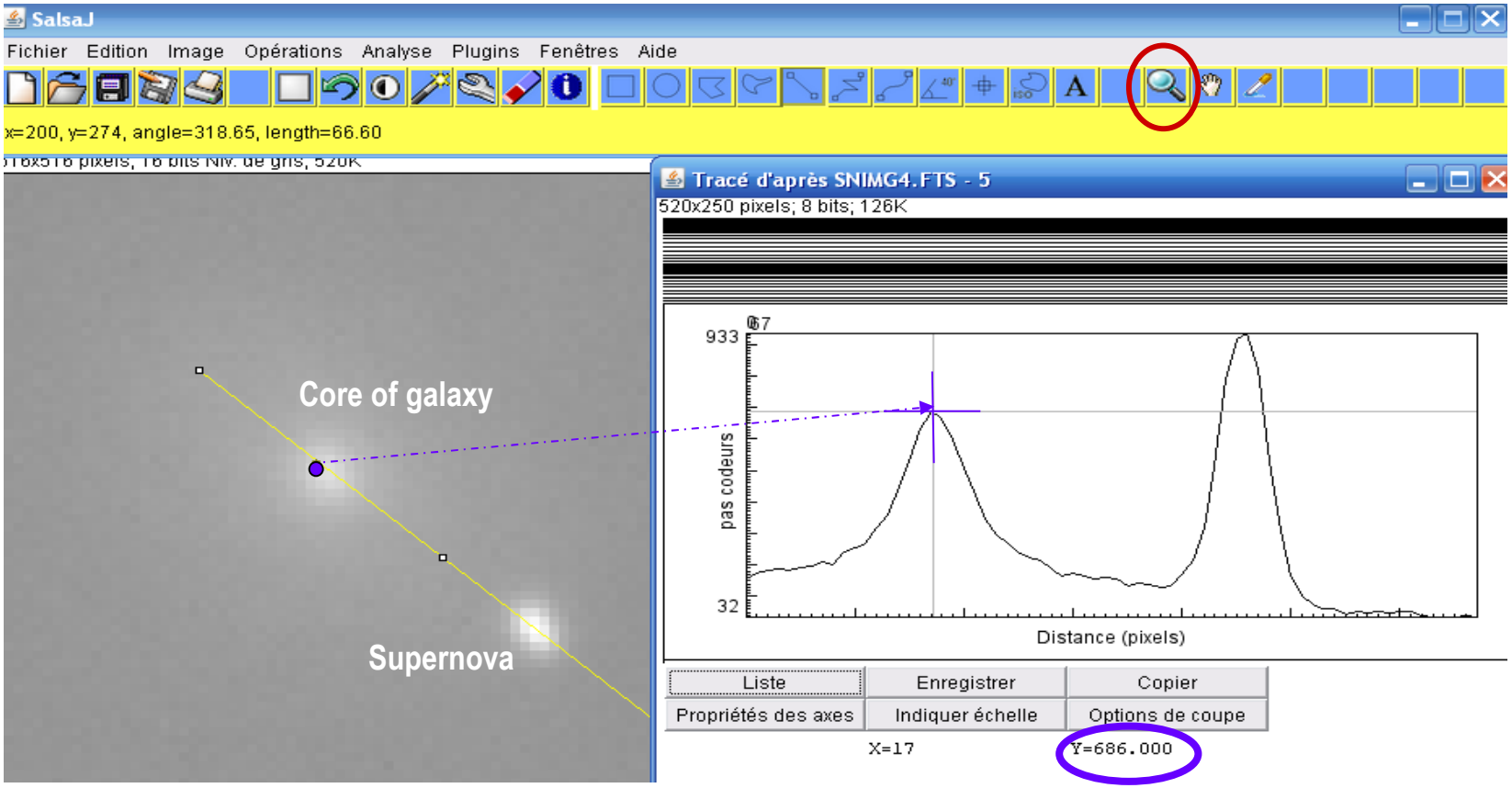
Supernova = **explosion** d'étoile aussi intense que le cœur d'une galaxie



1-Ouvrir les images SUPERNOVA_LIGHT_CURVES (12 images/ Lire les dates dans Image Info)

2 – La photométrie automatique n'est pas assez précise; **ouvrir chaque image et l'agrandir (zoom)**

3-Utiliser **Analyse / Coupe**, suivre la courbe avec le curseur, lire les ordonnées des divers pics



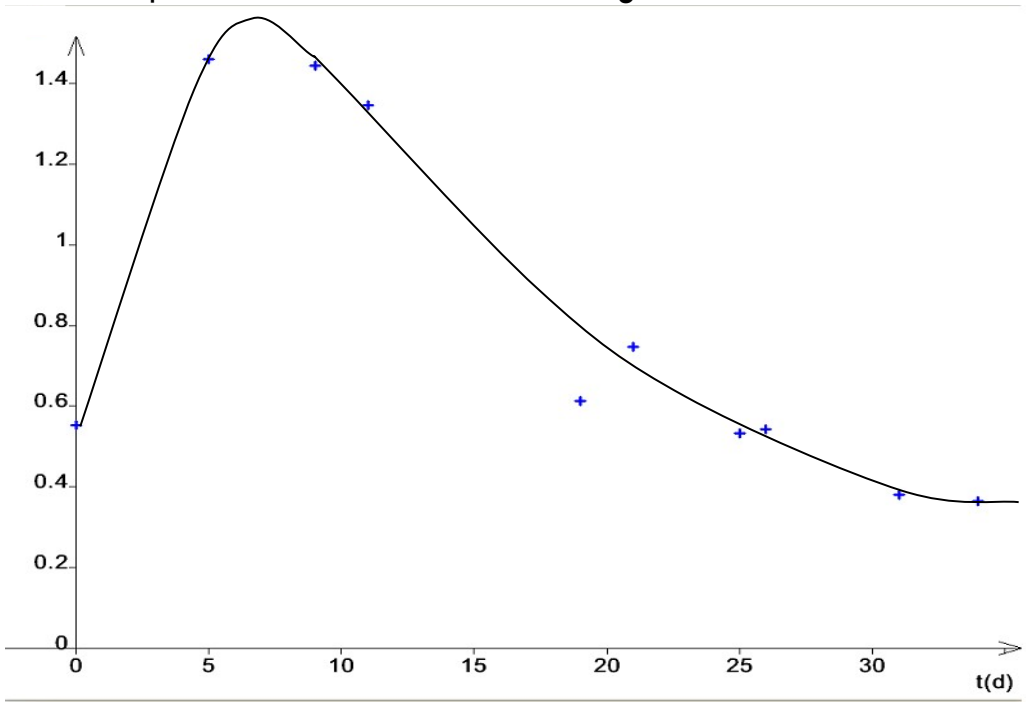
Date (Image Info)	0	5	9	11	12	19	20	21	25	26	31	34
Cœur de la galaxie (éclat)	393	561	1457	686	765	1117	1116	1181	1237	1060	916	1115
Supernova(éclat)	217	819	2103	923	823	665	913	883	658	576	349	407
Supernova/Coeur	0.552	1.460	1.443	1.345	1.076	0.595	0.818	0.748	0.532	0.543	0.381	0.365

Tracer la courbe de lumière d'une supernova en fonction de la date

(en prenant pour référence le cœur de la galaxie)

Ordonnée = rapport d'éclairements:

Eclat de la Supernova / Eclat du cœur de la galaxie



Date

Les supernovae sont utilisées comme étoiles standards pour mesurer les distances dans l'Univers.

La Fille de Galilée

par DAVA SOBEL

La vie et les lettres de la fille aînée de Galilée, Sœur Maria Céleste.

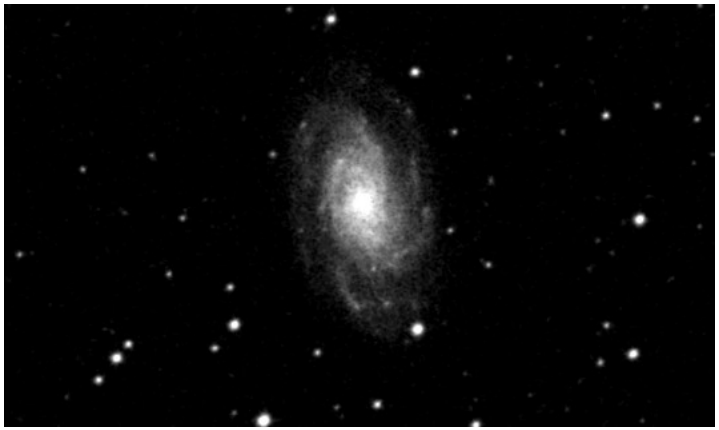
Des lettres qui rendent compte des combats de Galilée et d'une relation père fille particulière.

http://galileo.rice.edu/index.html

2ème partie:

Danser avec une galaxie

La galaxie NGC 7083, redshift et matière noire



Mesurer le redshift d' Edwin Hubble's redshift et la matière noire de Vera Rubin

Suzanne FAYE, Lycée Chaptal, Paris, France

Michel FAYE, Lycée Louis-le-Grand, Paris, France

mfaye2@wanadoo.fr

I - Redshift d'une galaxie

extraits du CD – Texte complet sur le CD

1 – Effet Doppler-Fizeau

Les raies dans le spectre optique des galaxies, sont décalées (Cf flèches ci-contre) par effet Doppler-Fizeau dû à la vitesse des galaxies par rapport à nos observatoires.

Décalage Doppler-Fizeau : $\Delta\lambda / \lambda = V / c$

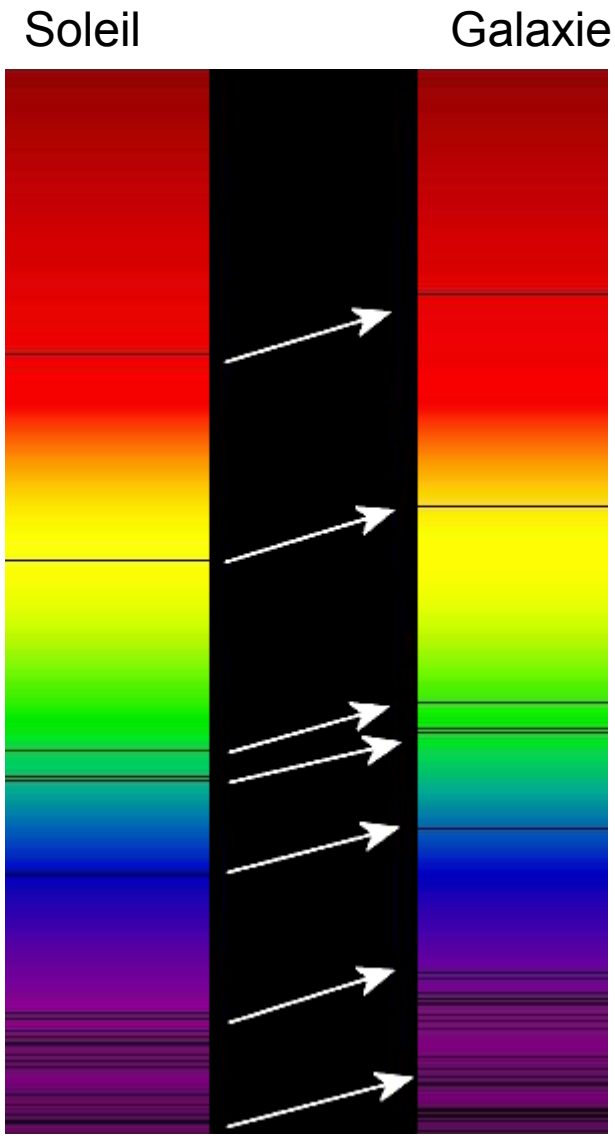
V : vitesse de la galaxie;

c : vitesse de la lumière

On distinguera plus loin

vitesse d'expansion (Hubble, redshift)

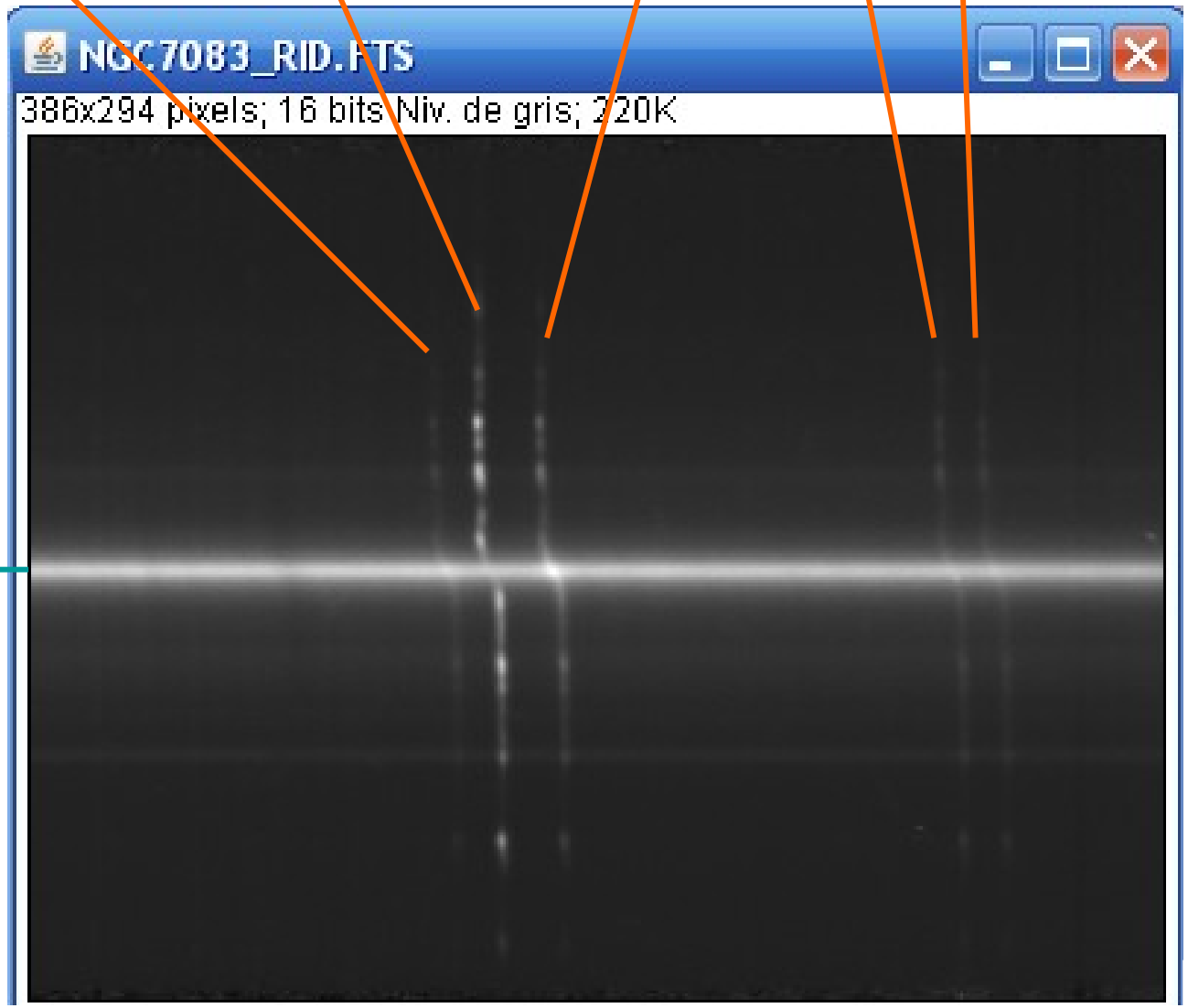
vitesse de rotation propre (Vera Rubin).



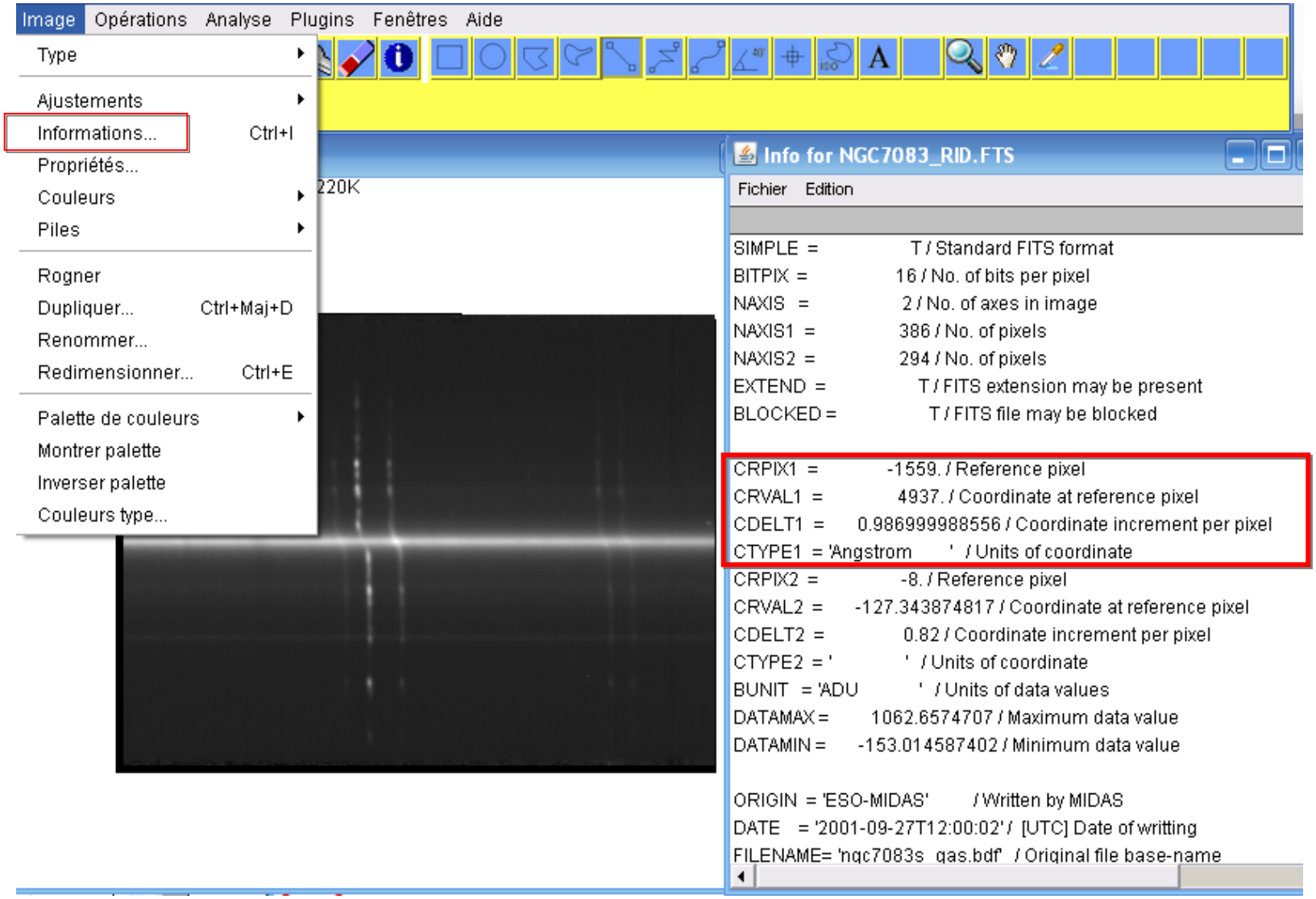
2 – Partie du spectre de la galaxie NGC 7083, fourni par le VLT - ESO

Raies d'émission provenant du disque galactique

Spectre continu émis par le cœur de la galaxie



3 – Regardons Image/ Informations

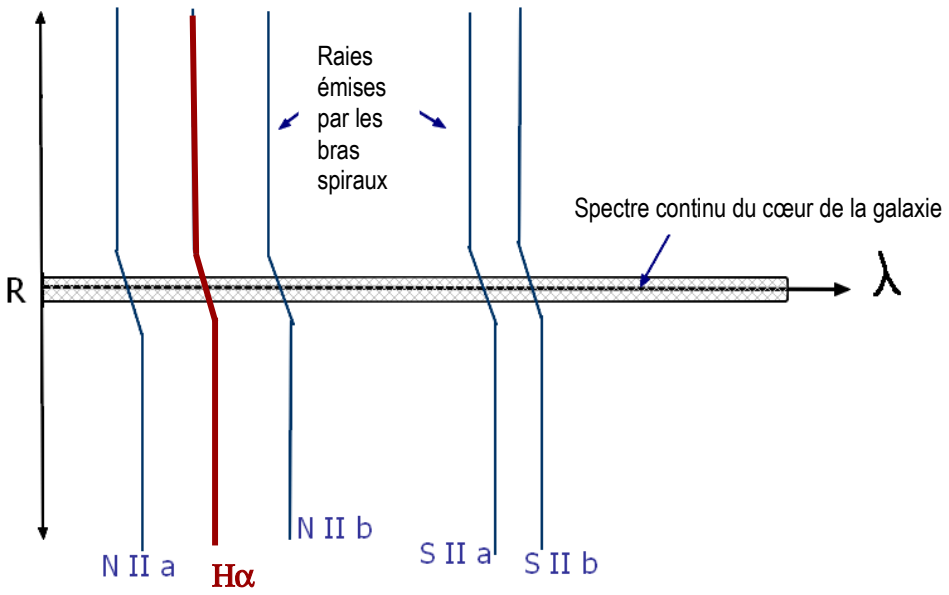


4 – Quelles raies les astronomes du VLT nous ont-ils envoyées?

N azote

H hydrogène

S soufre



λ(pixel) = a*(pixel-référence) + b

=

CDELT1 * (pixel+ 1559) + 4937 (Å)

Image / Information:

CRPIX1 = - 1559.	Pixel-référence
CRVAL1 = 4937.	Coordonnée du pixel de référence
CDELT1 = 0.986999988556	Coordonnée increment par pixel
CTYPE1 = 'Angstrom '	Unité des coordonnées

→

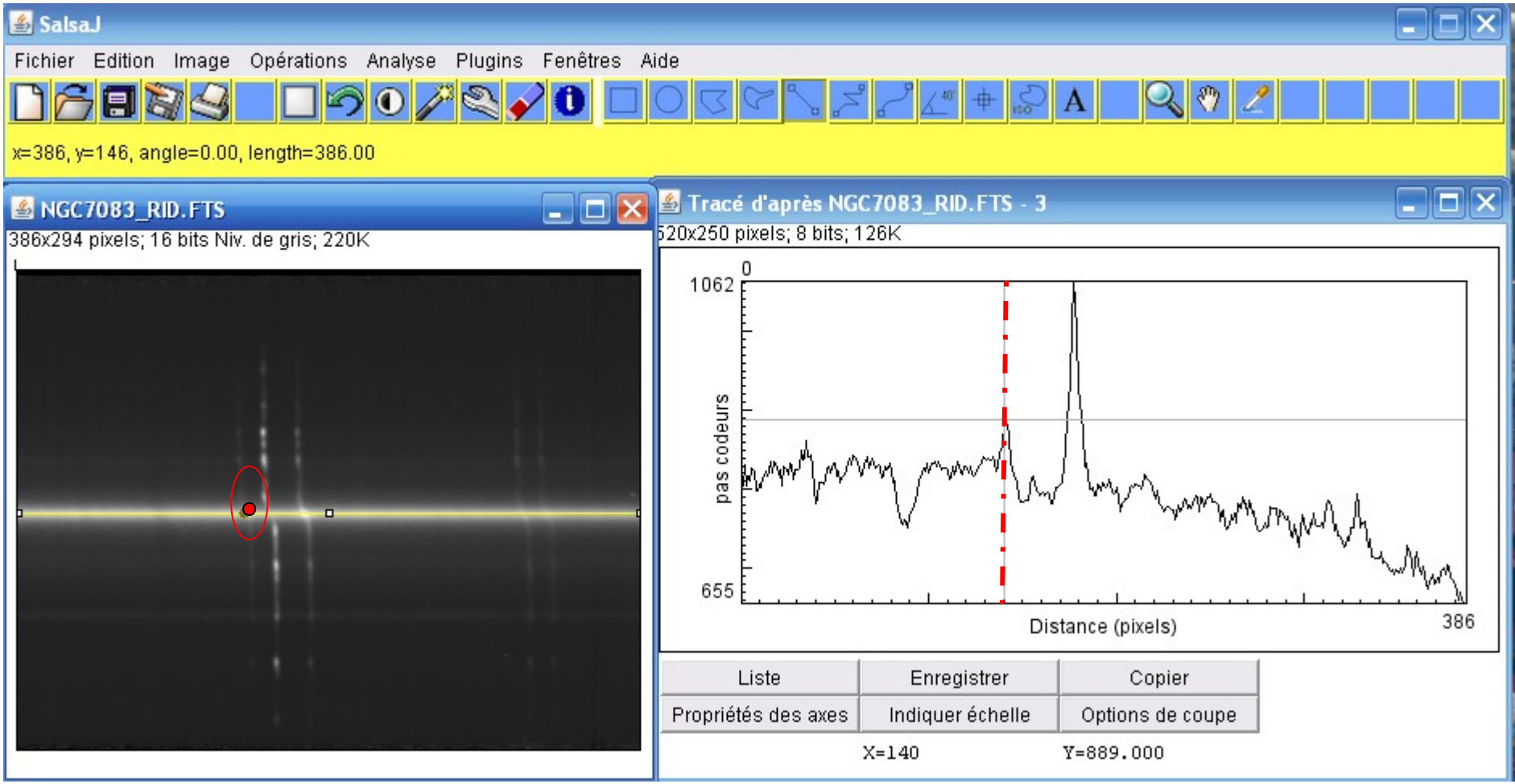
On peut prendre

1pixel = 1 Angstrom

D'où

λ (Å) = 6496 +pixel

5 – Comment compter les pixels avec précision? « Coupe! »



6 – Etude du redshift pour la raie H_α au cœur de la galaxie

λ(pixel) = 6496 + pixel (Å) = 649,6 + 0,1* pixel

Raie	Longueur d'onde sur Terre λ_1 (nm)	Spectre de NGC 7083 Raies au cœur de la galaxie X (pixel) => λ_2 (nm)		Redshift $\Delta\lambda/\lambda = (\lambda_2 - \lambda_1) / \lambda_1$	$V_{galaxie} = c.\ \Delta\lambda/\lambda$ Vitesse d'expansion (km/s) $c = 3.10^5$ km/s
Hα	656.28	X=156	λ_2 =663.0	0.0102	3060

Avec les 5 raies du spectre de NGC 7083, on a : $V_{NGC7083} = 3,09 * 10^3$ km/s

Expansion de l'Univers:

D'après la loi de Hubble : $V_{galaxie} = H * D$,

avec la constante de Hubble $H \approx 73\ km.s^{-1}.Mpc^{-1}$

1pc = 3,26 a.l. et 1a.l. ≈ $9,47.10^{15}$ m

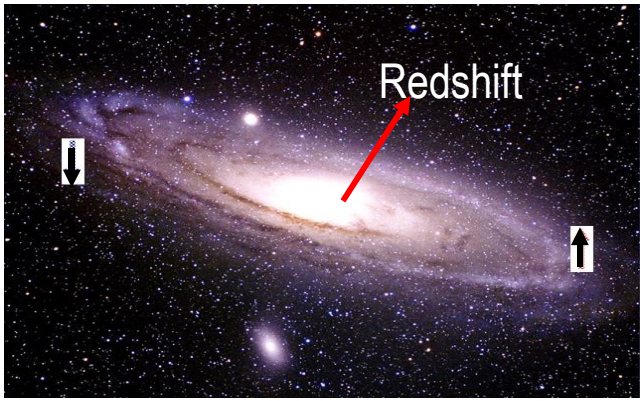
$D = V_{NGC7083} / H = 3,09*10^3 / 73$

= 42,3 Mpc = $4,23 \times 10^7$ pc

D = $13,8 \times 10^7$ a.l.

D = $1,31 \times 10^{24}$ m

II – Dansons avec la galaxie

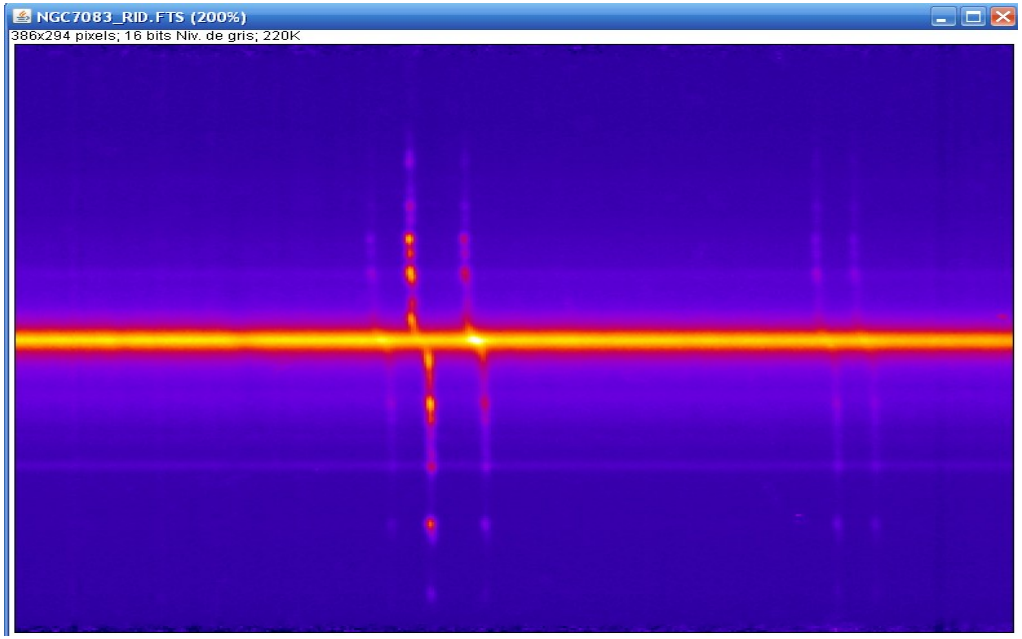


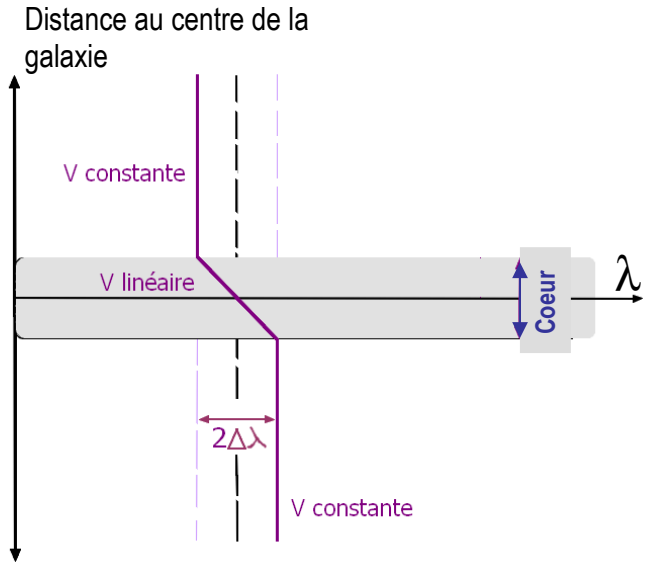
Redshift global

(expansion de l'Univers)

+

Effet Doppler « relatif »
par rotation propre

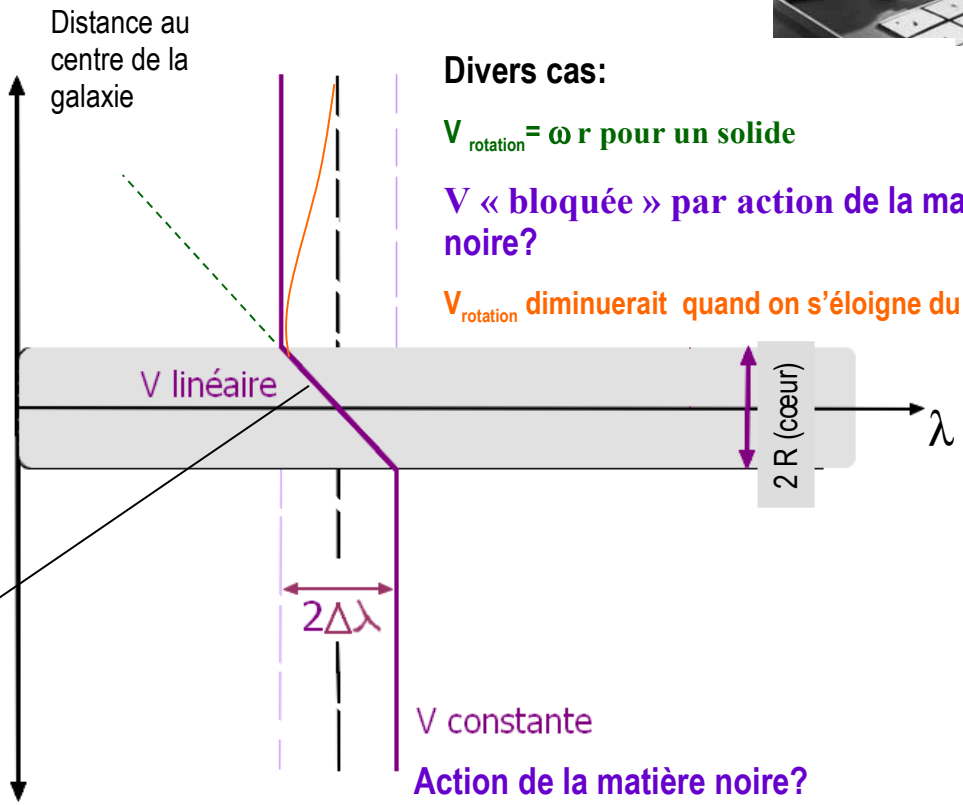




1 – Pourquoi le décalage spectral est-il constant pour r > R ?

Vera Rubin *(née en 1928) a fait un travail important sur la rotation des galaxies ; elle a ainsi mis en évidence l'existence d'une importante masse inconnue, la matière noire*

Rotation autour du coeur



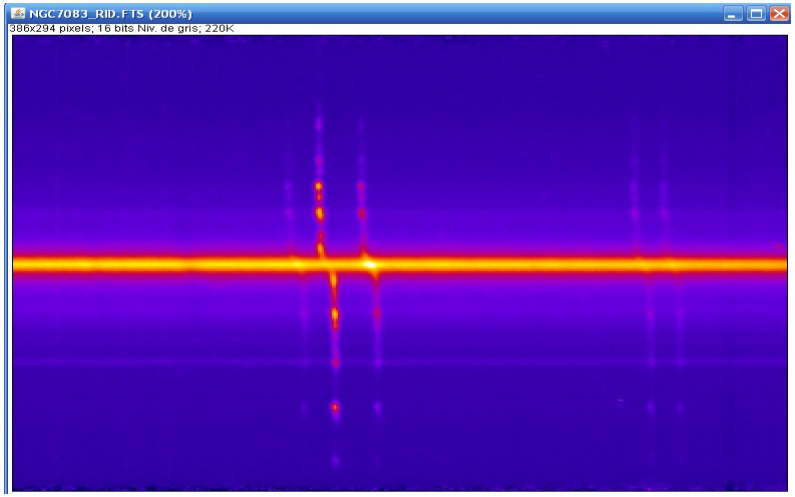
Divers cas:

$V_{rotation} = \omega r$ pour un solide

V « bloquée » par action de la matière noire?

$V_{rotation}$ diminuerait quand on s'éloigne du coeur

2 – On observe une courbe de rotation « plate » : effet Doppler constant



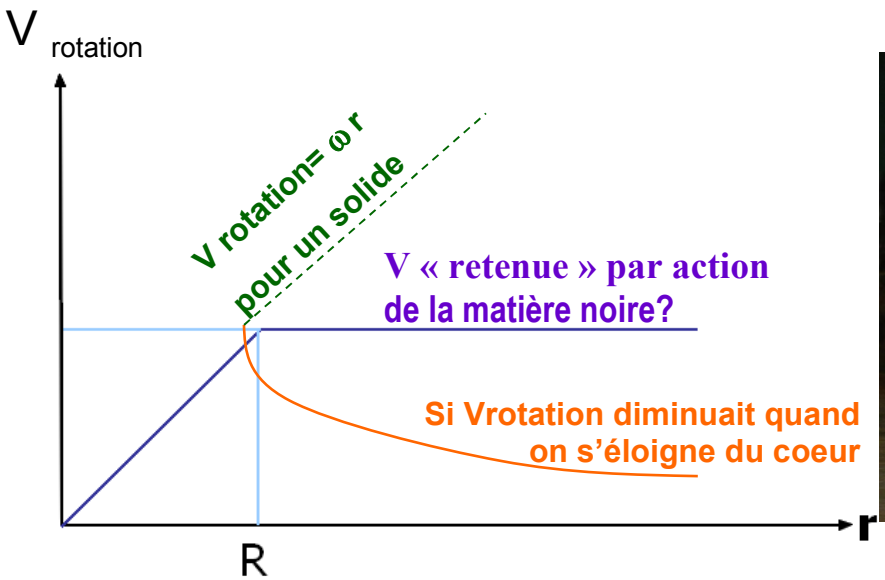
* Effet Doppler $\Delta\lambda$ constant pour r > R,

ce qui signifie que la vitesse (linéaire)de rotation propre est alors constante

* Si on tient compte de l'inclinaison i du plan de la galaxie, $\Delta\lambda / \lambda = V_{relative} * \sin(i) / c$)

Les bras de la danseuse sont retenus par???

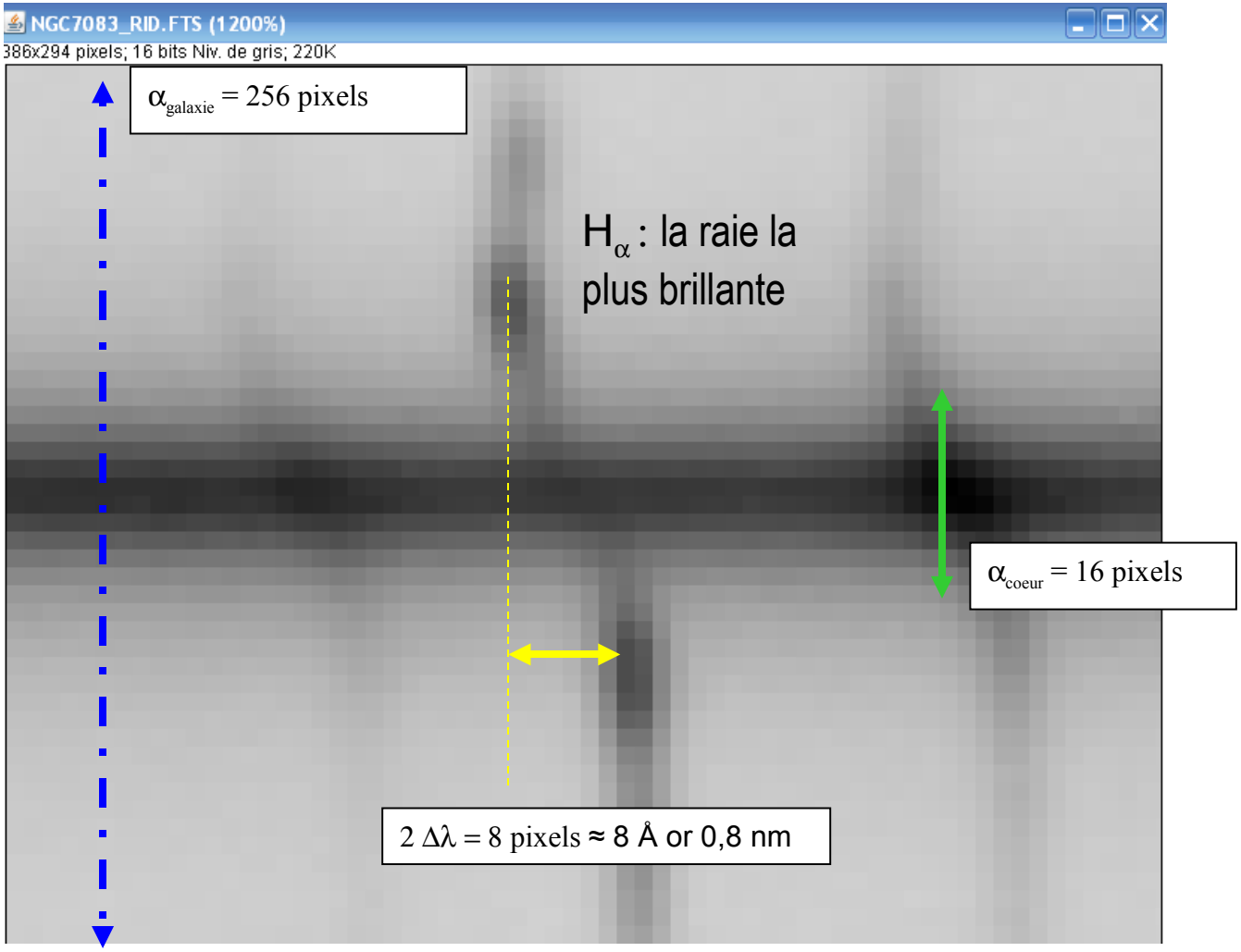
La matière noire!!!



3 – Mesurons $\Delta\lambda / \lambda$ avec la raie H_α

On peut faire des rapports entre mesures en pixels, ou utiliser ***CDELT1: 1 pixel ≈ 1 Å*** *ou 0,1 nm;*

Si on tient compte de l'inclinaison du plan galactique, introduire sin(i) avec i = 55 degrés



$V_{rotation} = [\Delta\lambda/\lambda] * c / \sin(55) = [\Delta\lambda/\lambda] * c / 0{,}82$

Utilisons la raie H_α, la plus brillante (Hydrogène abondant):

$\lambda(H_\alpha / \text{coeur}) \approx 6630\text{Å} = 663$ nm

Par rapport au coeur:

$\Delta\lambda$ = 4 pixels= 4 Å = 0,4 nm

D'où:

$V_{rotation} \approx (4/6630) * c/0.82$

$V_{rotation} \approx 2{,}21.\ 10^5$ m/s

Autour du cœur de la galaxie

$mV^2 / r = G\, m\, M / r^2$

Pour r=R, $M_{coeur} = V^2 R / G$

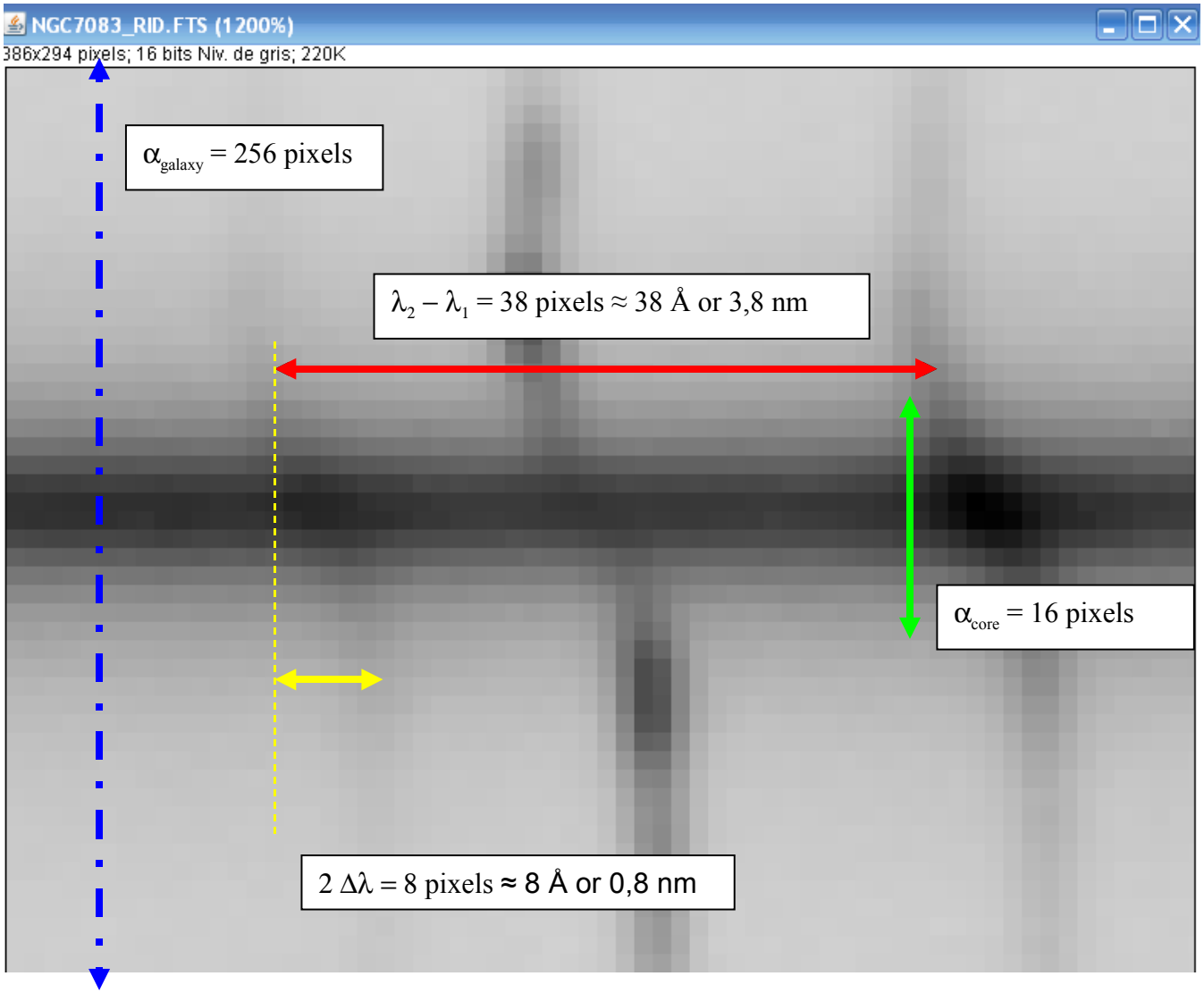
$G = 6{,}67.\ 10^{-11}$ SI

R= $d_{coeur}/2$ ≈ (*voir texte intégral*) $4{,}15.10^{19}$ m

$M_{coeur} = 3.\ 10^{40}$ kg

3bis – Mesurons $\Delta\lambda$ / λ avec le doublet N I et NII

On peut faire des rapports entre mesures en pixels, ou utiliser ***CDELT1: 1 pixel ≈ 1 Å*** *ou 0,1 nm; penser à sin(i); i = 55 degrés*



$V_{rotation}$ =

$[\Delta\lambda/\lambda] * c / \sin(55)$

Avec le doublet de l'azote ,

de longueur d'onde moyenne

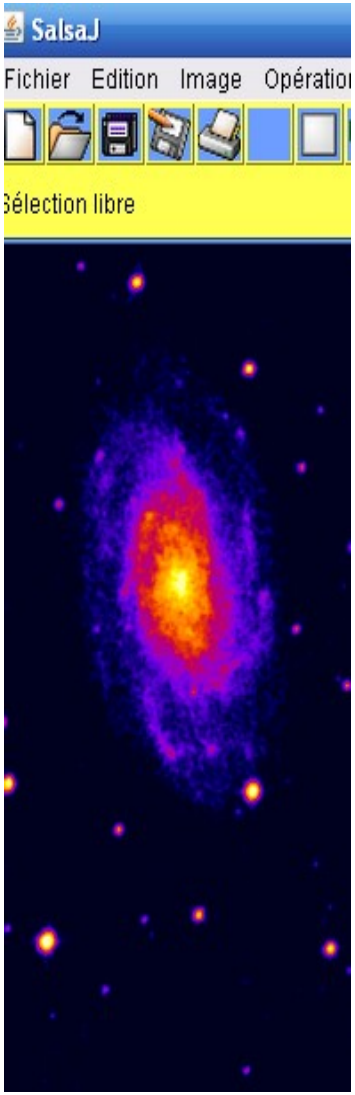
$\lambda = (\lambda_1 + \lambda_2)/2 \approx 6634$Å

il vient:

$V_{rotation} \approx (4/6634) * c/0.82$

$V_{rotation} \approx 2{,}21 \,.\, 10^5$ m/s

Bon accord avec la mesure précédente.



2ème loi de Newton pour le cœur de la galaxie:

$mV^2 / R = G\, m\, M_{coeur} / R^2$

so $M_{coeur} = V^2 R / G$

$G = 6{,}67.\ 10^{-11}$ S.I.

$R = d_{coeur}/2 \approx 4{,}15.10^{19}$ m

$M_{coeur} = 3.\ 10^{40}$ kg

Pour la galaxie toute entière:

$mV^2 / r_{total} = G\, m\, M_{total} / r_{total}^{\ 2}$

so $M_{total} = V^2\, r_{total} / G$

$G = 6{,}67.\ 10^{-11}$ S.I.

$r_{total} = d_{galaxie}/2 \approx 6{,}65.10^{20}$ m

$M_{total} = 4{,}8.\ 10^{41}$ kg

$M_{total} = 16 * M_{coeur} >$ Masse lumineuse

Voici la **matière noire**, masse « cachée »

un défi pour le 21ème siècle !!☺:::☺!!

Bright galaxies, dark matters, par Vera Rubin

Eh oui, masse « cachée » prévue par l'astronome Vera Rubin dans les années 1970

(Une jolie princesse porte secours à un prince, et ce faisant, salit ses beaux habits).

Quand le prince la vit, il dit : « Vous êtes dans un triste état, votre visage est sale, et vous êtes fagotée comme un sac à papier. Quand vous serez propre et ressemblerez à une princesse, je vous épouserai. ».

La princesse répondit : «Pas moi ! » Elle aurait fait une grande scientifique.

Paper bag Princess, de Robert Munsch, traduction française *La princesse dans un sac*
Bright galaxies, dark matter, de Vera Rubin.