

# IMAGE

Imager for Magnetopause Aurora Global Exploration

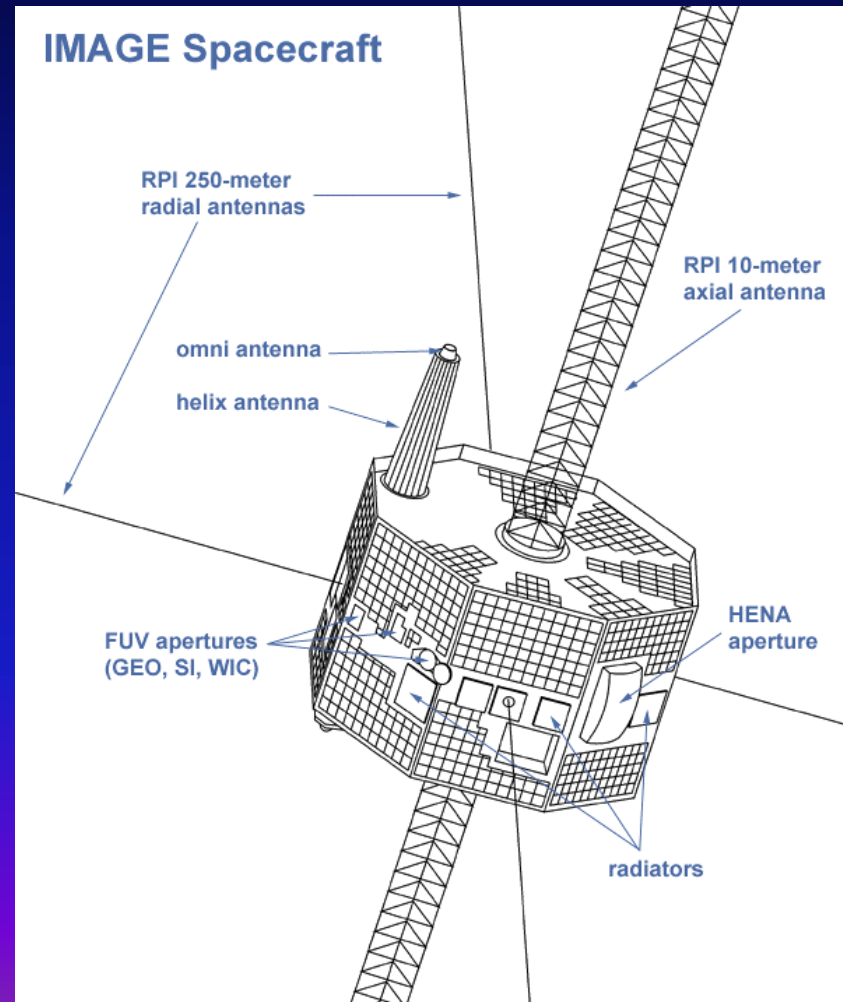


## Objectifs :

- Quels sont les mécanismes dominants pour injecter le plasma dans la magnétosphère sur les échelles de temps des substorms et des orages géomagnétiques?
- Quel est le comportement de la magnétosphère du aux changements du vent solaire?
- Comment et où le plasma de la magnétosphère gagne de l'énergie , est transporté et est perdu pendant les orages géomagnétiques et les substorms magnétosphériques?

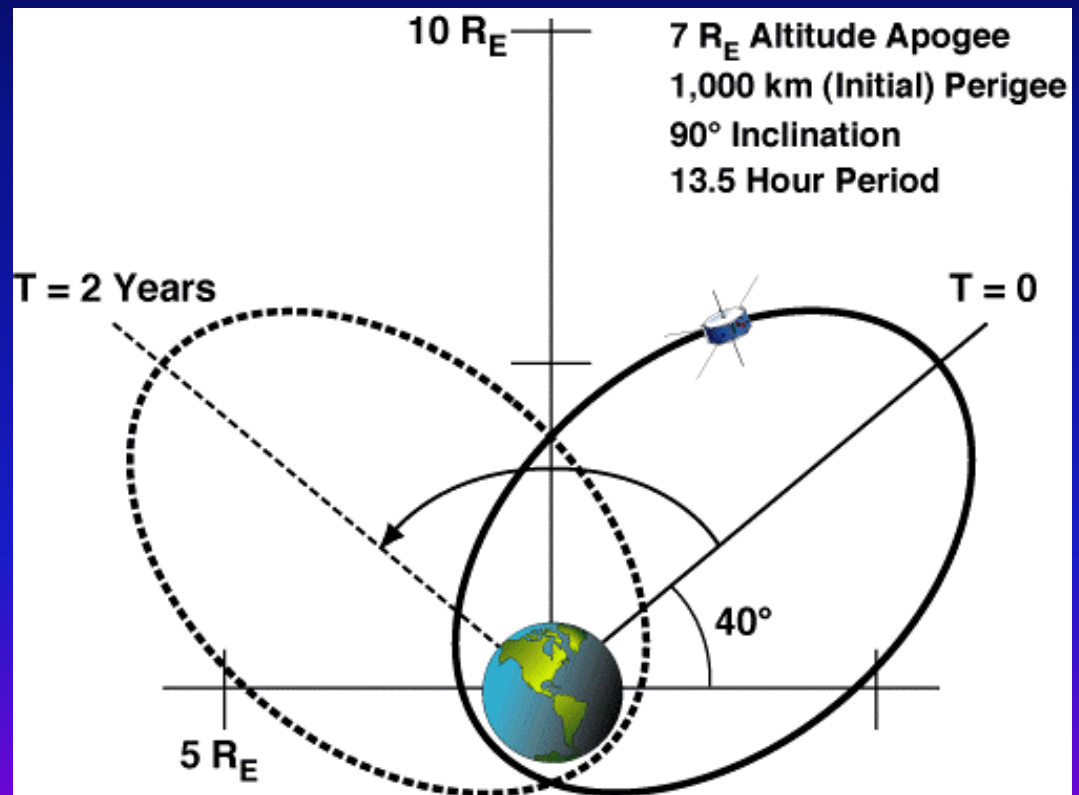
# SATELITE

- Diamètre 2,25 m
- Hauteur 1,52 m
- Poids 494 kg  
(instruments compris)



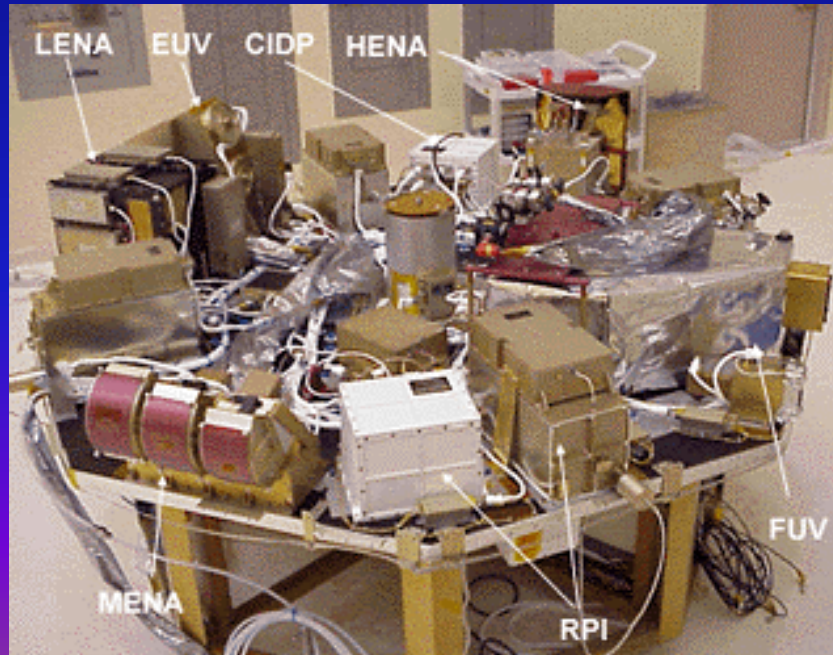
# ORBITE

- Mise en orbite:  
25 Mars 2000
- Apogée:  $7.2 R_E$   
45,922 km
- $40^\circ$  latitude nord  
côté crépuscule
- Période Orbital:  
13,5 h
- Période du Spin:  
2min



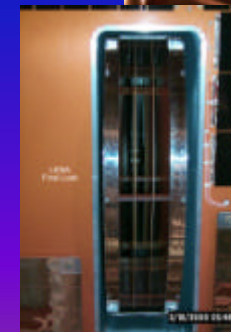
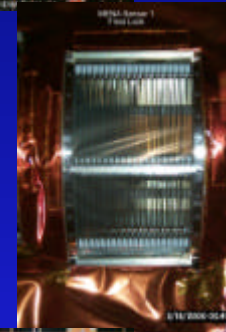
# INSTRUMENTS

- Energetic Neutral Atom (ENA) Imagers
- Radio Plasma Imager (RPI)
- Far-Ultraviolet (FUV) Imaging System
- Extreme Ultraviolet Imager (EUV)



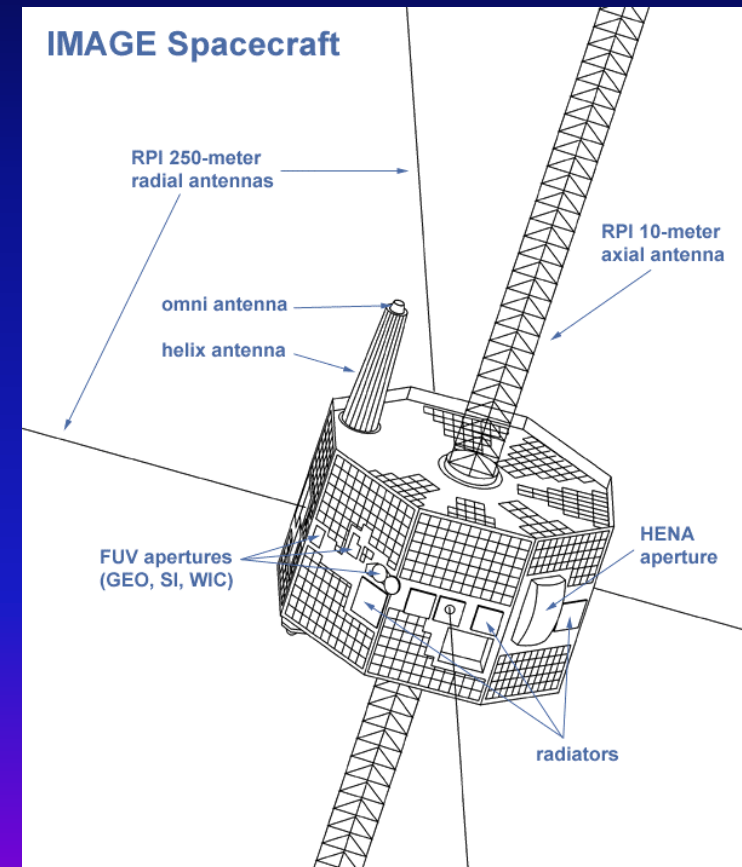
# Energetic Neutral Atom (ENA)

- **High-Energy Neutral Atom (HENA) Imager**  
10-500 keV
- **Medium-Energy Neutral Atom (MENA) Imager**  
1-30 keV
- **Low-Energy Neutral Atom (LENA) Imager**  
10 eV and 500 eV



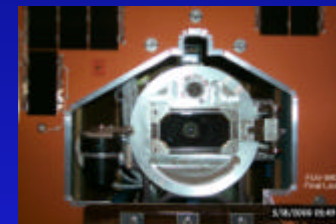
# Radio Plasma Imager (RPI)

- Radar de basse puissance
- Antennes  $z = 20$  m,  $x$  et  $y = 500$  m
- Fréquences de résonance caractéristiques du plasma de la magnétosphère  
3 kilohertz à 3 mégahertz
- Densité des électrons entre  
 $0.1$  et  $10^5 \text{ cm}^3$



# Far-Ultraviolet (FUV) Imaging

- Spectrographic Imager (SI)  
Déplacement Doppler de la raie alpha de Lyman à 121.8 nm émis par les protons des aurores
- Wide-field Imaging Camera (WIC)  
Observe les aurores dans la partie ultraviolette du visible 140-160nm
- Geocorona Imager (GEO)  
Observe la raie alpha de Lyman des protons de la geocorona (121,6nm)





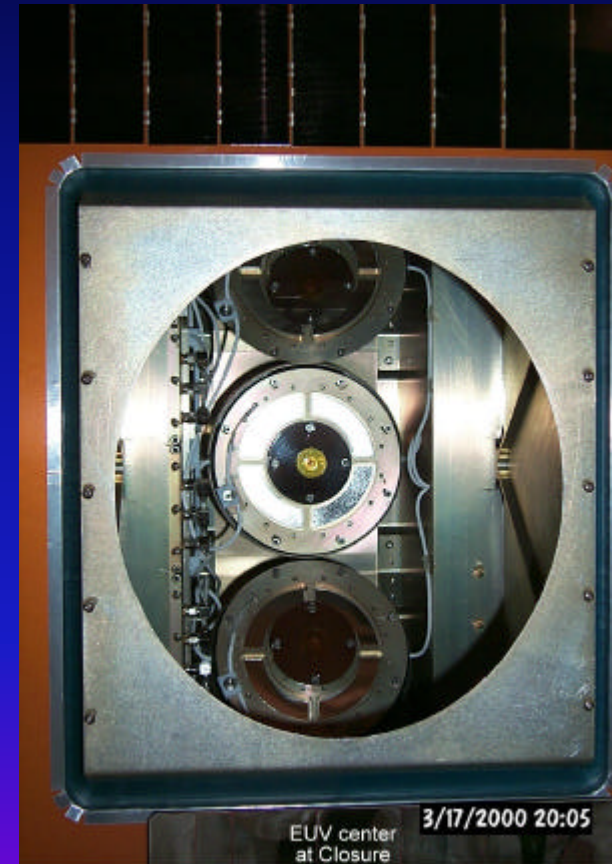
# Extreme Ultraviolet Imager (EUV)



Dr. Bill R. Sandel

Observe la distribution de  $\text{He}^+$  dans la plasmasphère de la terre en détectant la diffusion résonante à 30.4 nm.

Image global de la plasmasphère

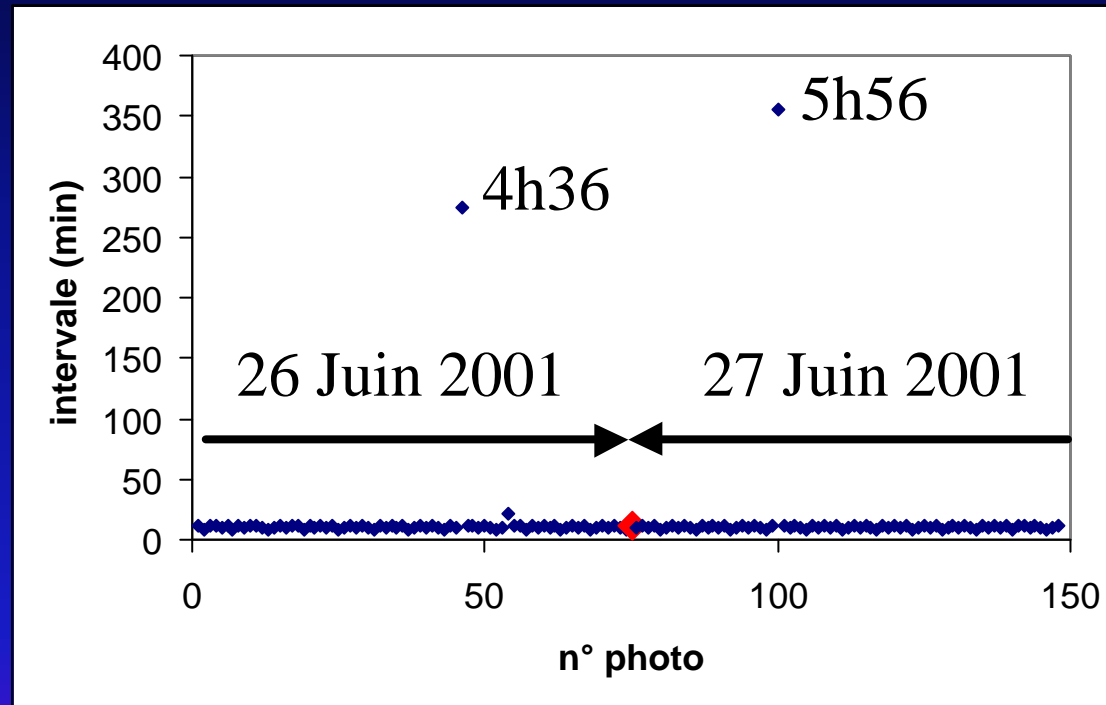




# Images de la plasmasphère

**Objectif** : Mesurer les **vitesse de rotation** de la plasma sphère de façon automatique à l'aide des transformations en **ondelettes**.

# Images de la plasmasphère



Intervalles de 10min

Animation



(terre\_animation.exe)

# Transformation en Ondelette

- Convolution

$$S(a, \mathbf{q}, \mathbf{b}) = \frac{1}{a} \int d^2 \mathbf{x} \, ? \left( \frac{1}{a} r_{-\mathbf{q}} (\mathbf{x} - \mathbf{b}) \right) s(\mathbf{x})$$

- $s$  est le signal
- $?$  est l'ondelette, tradatée de  $\mathbf{b}$ , dilatée de  $a$ , et tournée d'un angle  $\mathbf{q}$  ( $r_{-\mathbf{q}}$  opérateur rotation)

# Ondelette

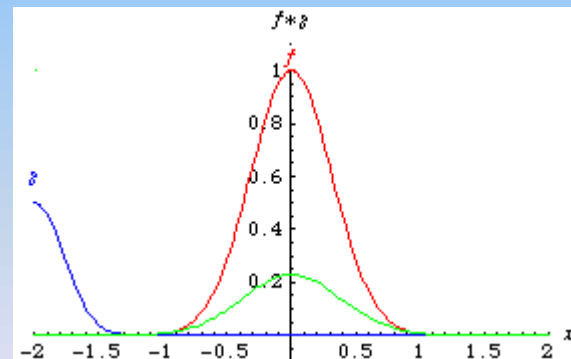
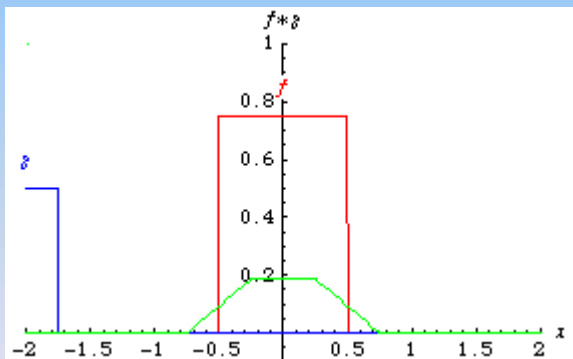
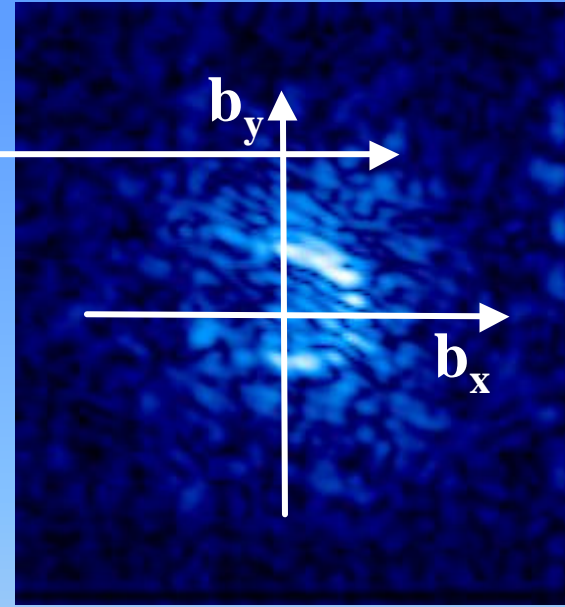
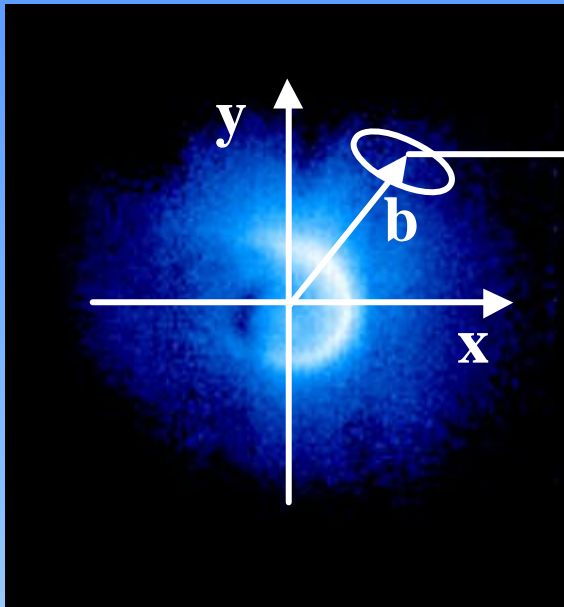
- Fonction bien localisé dans l'espace de positions  $\mathbf{x}$  et dans l'espace de fréquences  $\mathbf{k}$  (transformée de Fourier de l'ondelette)
- Moyenne nulle.  $\int d^2\mathbf{x} \mathbf{y}(\mathbf{x}) = 0$

# Convolution (position)

$$S(a, \mathbf{q}, \mathbf{b}) = \frac{1}{a} \int d^2 \mathbf{x} \, \mathcal{T} \left( \frac{1}{a} r_{-\mathbf{q}}(\mathbf{x} - \mathbf{b}) \right) s(\mathbf{x})$$

- $s(\mathbf{x})$  2 variables
- $S(a, \mathbf{q}, \mathbf{b})$  4 variables, information redondante.
- $S(a, \mathbf{q}, \mathbf{b})$  est appréciable seulement dans les régions où l'ondelette  $\mathcal{T}_{a, \mathbf{q}, \mathbf{b}}$  «coïncide» avec caractéristiques du signal. « microscope mathématique »

# Convolution (position)



<http://mathworld.wolfram.com/>



# Théorème de Convolution

$$S(a, \mathbf{q}, \mathbf{b}) = \frac{1}{a} \int d^2 \mathbf{x} \left( \frac{1}{a} r_{-\mathbf{q}}(\mathbf{x} - \mathbf{b}) \right) s(\mathbf{x})$$

$$F(\mathbf{y}_{a, \mathbf{q}, \mathbf{b}})(\mathbf{k})$$

Filtre en  
fréquence

$$F(s(\mathbf{x}))(\mathbf{k})$$

Espace de fréquences

$$S(a, \mathbf{q}, \mathbf{b}) = F^{-1}(F(\mathbf{y}_{a, \mathbf{q}, \mathbf{b}})(\mathbf{k}) F(s)(\mathbf{k}))$$

# Exemple Pratique

- Image d'un écoulement
- Pattern Recognition, 32(10):1751-1766 (1999)
- Ondelettes de Gabor (**Directionnelles**)
- Déplacement des pixels  $\mathbf{d}(\mathbf{x})$

# Ondelette de Gabor

$$y_j(x) = \frac{k_j^2}{s^2} \exp\left(-\frac{k_j^2 x^2}{2s^2}\right) \exp(i\mathbf{k}_j \cdot \mathbf{x})$$

$$\mathbf{k}_j = \begin{pmatrix} k_{jx} \\ k_{jy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_n \cos j_m \\ k_n \sin j_m \end{pmatrix}$$

Fréquences :  $k_n = 2^{\frac{n+2}{2}} p$  ;  $n = 0, \dots, 4$

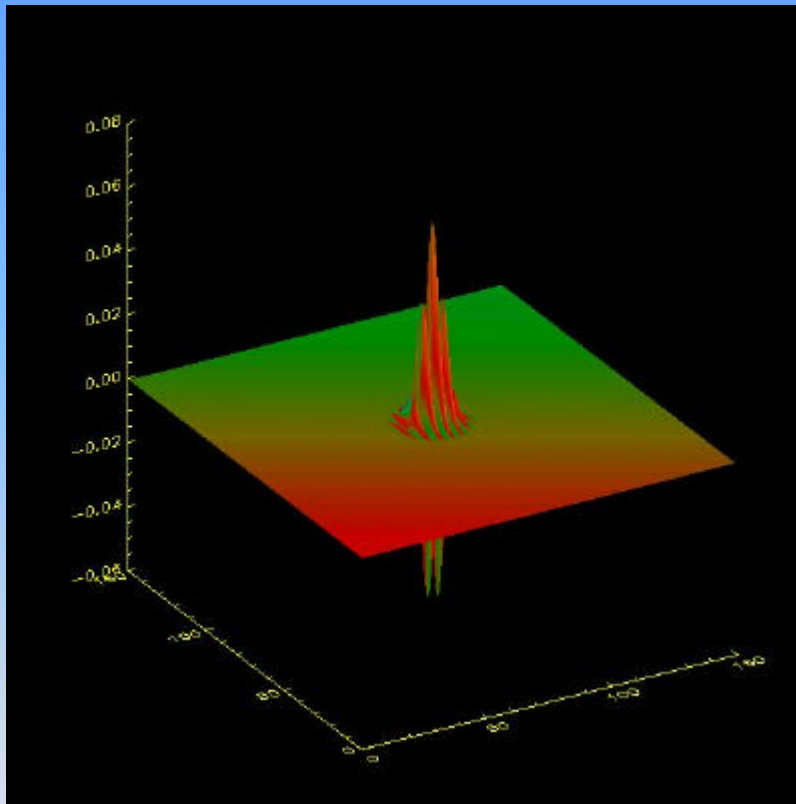
Orientations :  $j_m = m \frac{p}{8}$  ;  $m = 0, \dots, 7$

indice :  $j = m + 8n$       **40 Ondelettes**

Largeur de la gaussienne :  $s / k_j$  avec  $s = 2p$

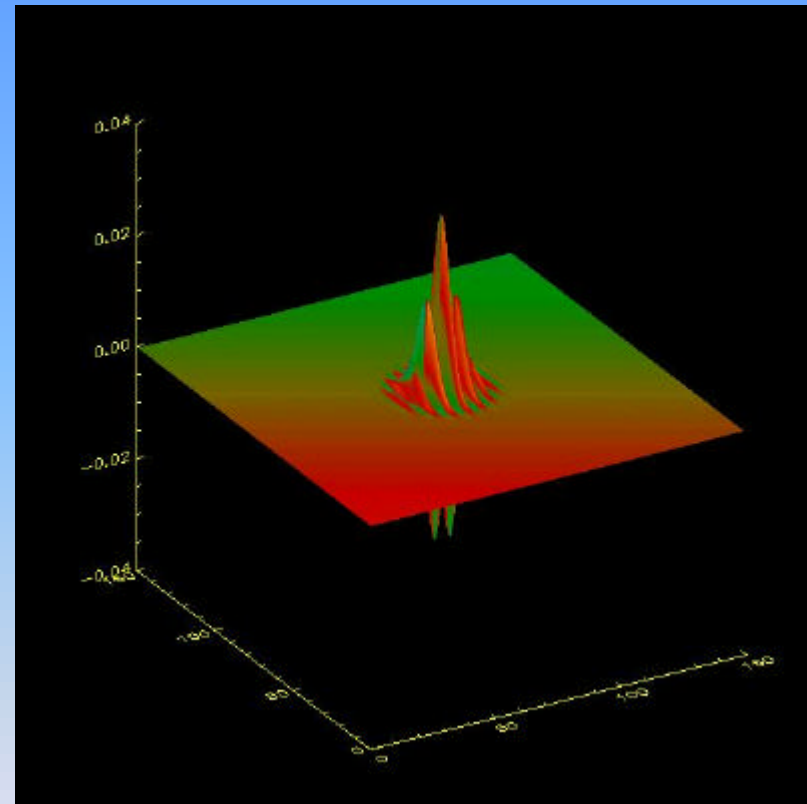
# Ondelette de Gabor

Partie réelle



$$\kappa_v = 2^{-1}\pi, \varphi_\mu = 0$$

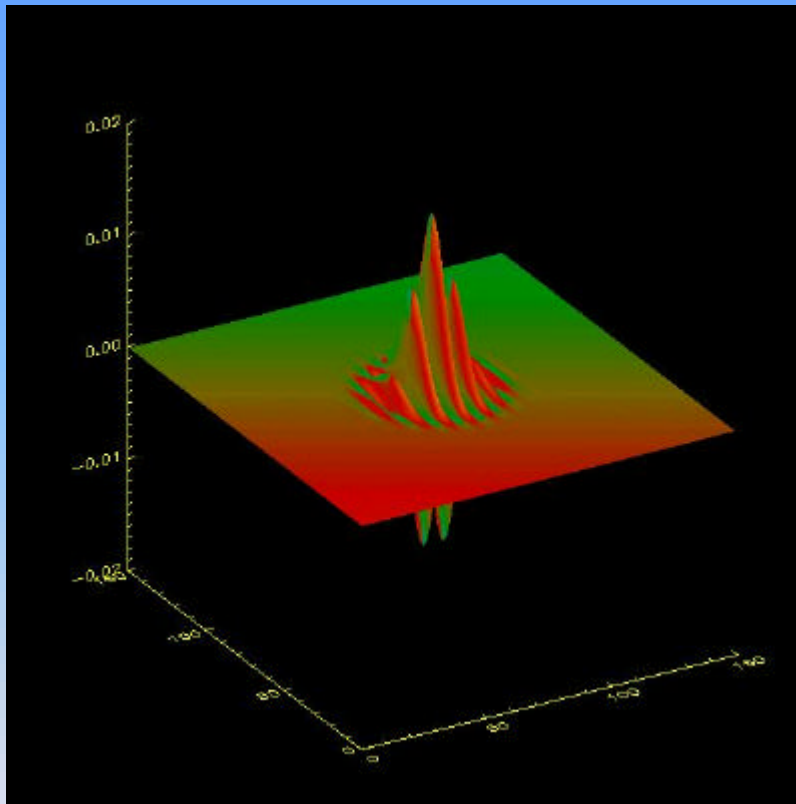
Partie réelle



$$\kappa_v = 2^{-3/2}\pi, \varphi_\mu = 0$$

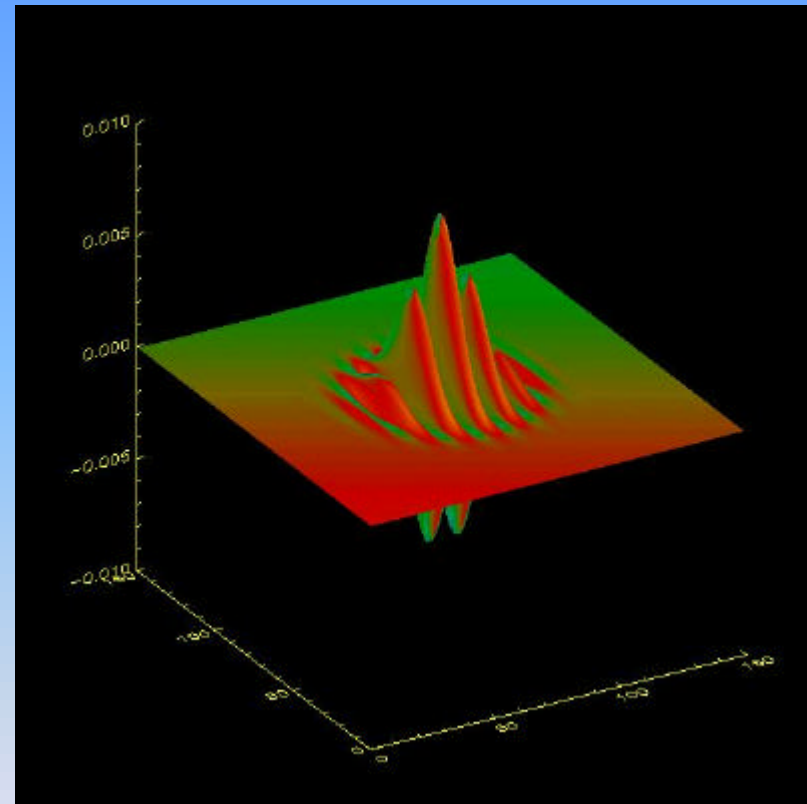
# Ondelette de Gabor

Partie réelle



$$\kappa_v = 2^{-2}\pi, \varphi_\mu = 0$$

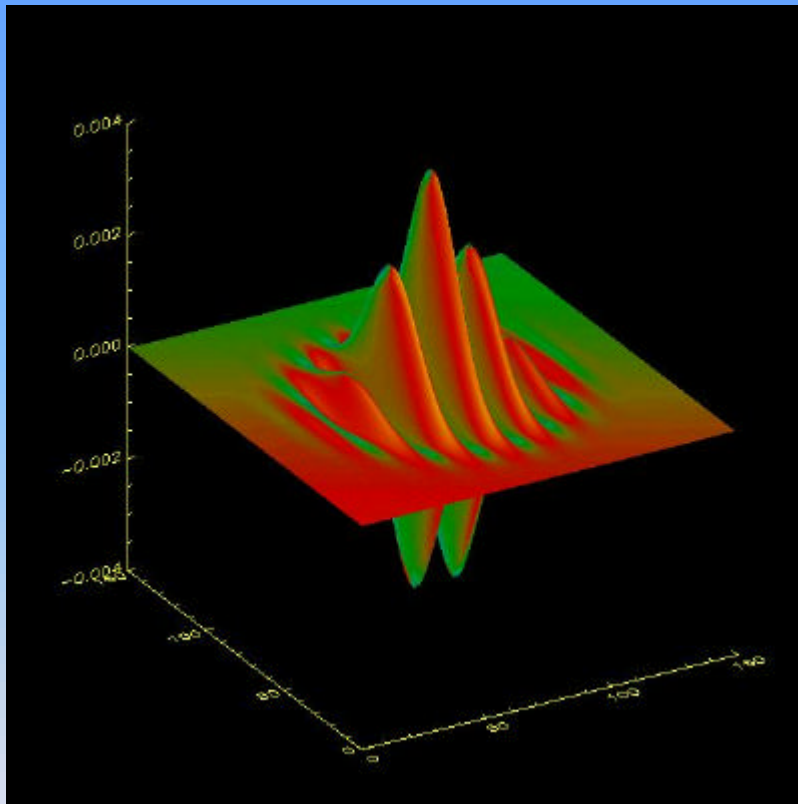
Partie réelle



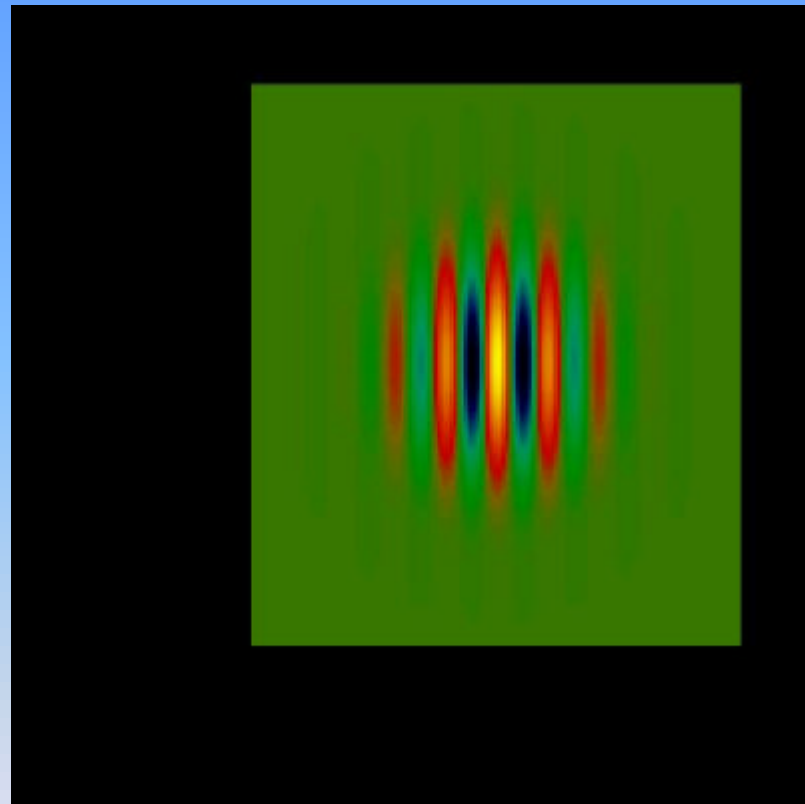
$$\kappa_v = 2^{-5/2}\pi, \varphi_\mu = 0$$

# Ondelette de Gabor

Partie réelle



Partie réelle

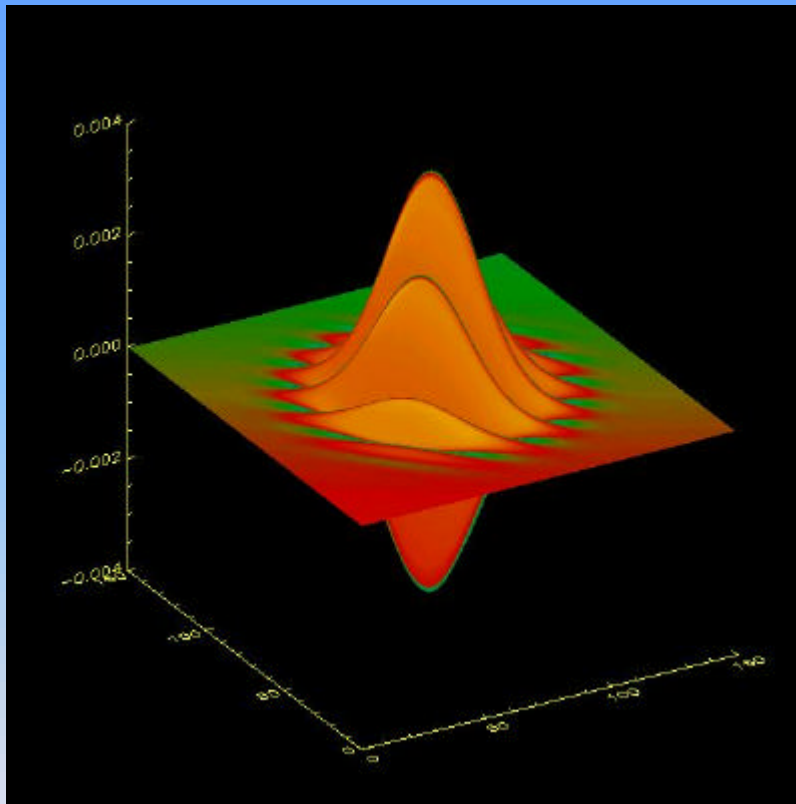


$$\kappa_v = 2^{-3}\pi, \varphi_\mu = 0$$

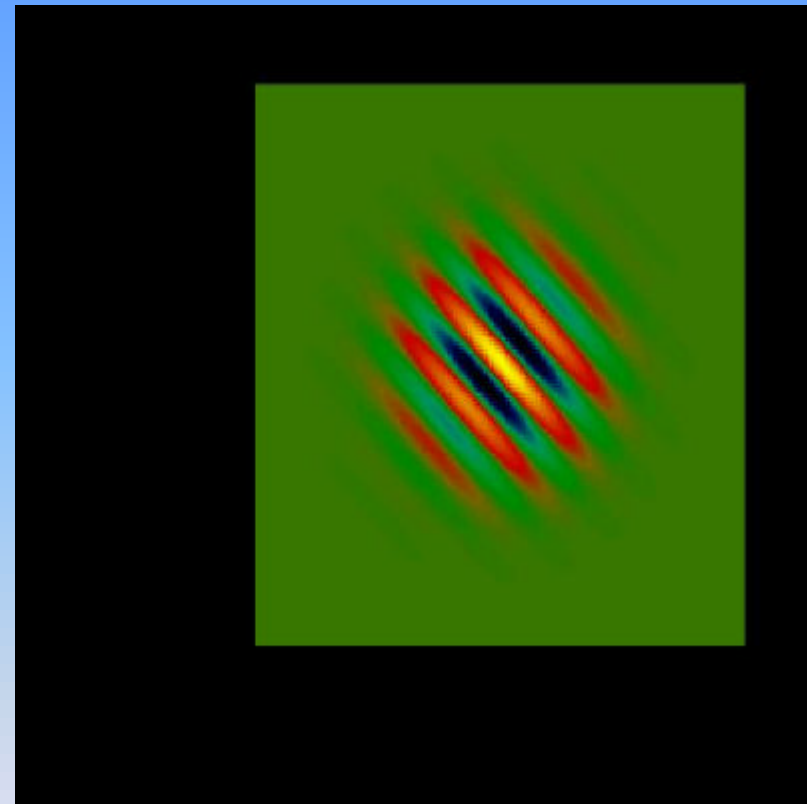


# Ondelette de Gabor

Partie réelle



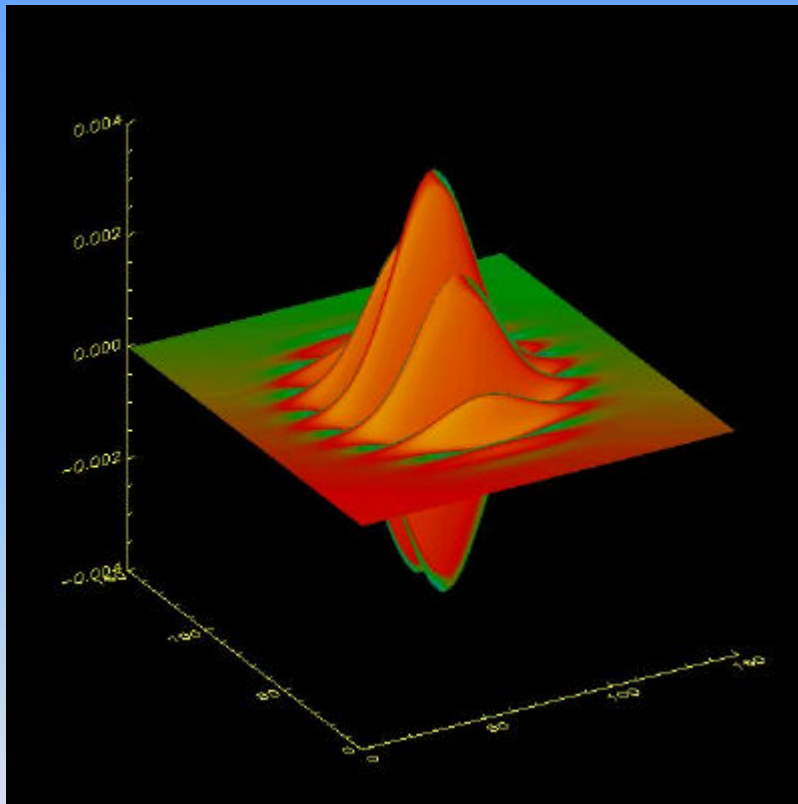
Partie réelle



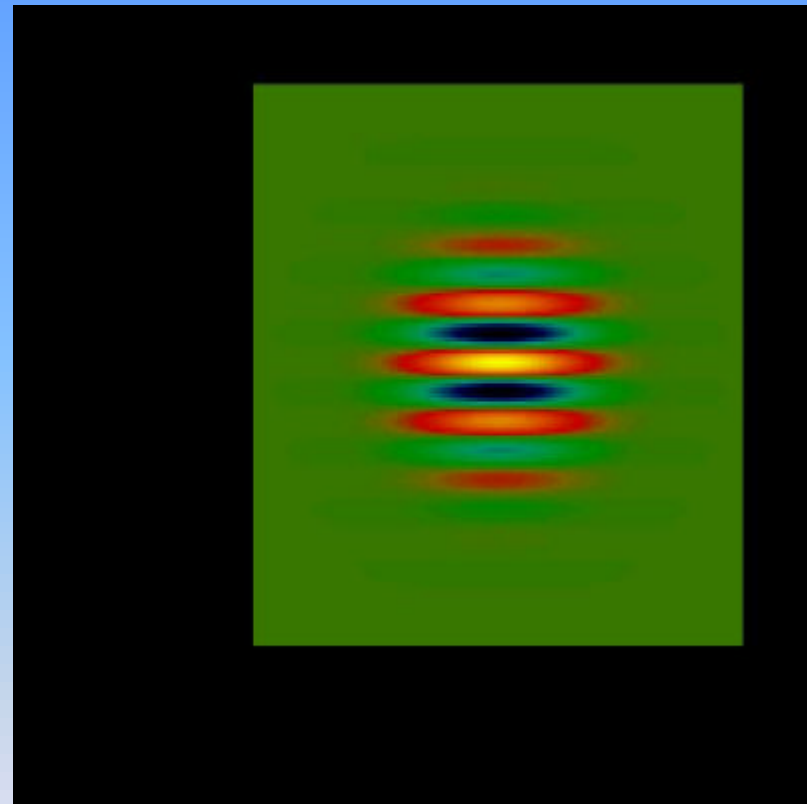
$$\kappa_v = 2^{-3}\pi, \varphi_\mu = \pi/4$$

# Ondelette de Gabor

Partie réelle



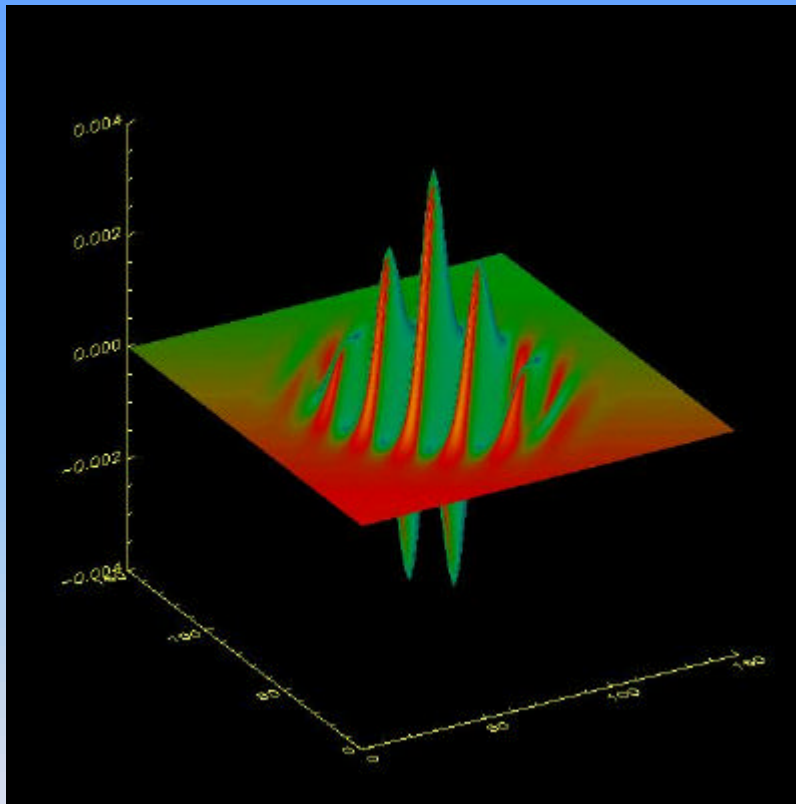
Partie réelle



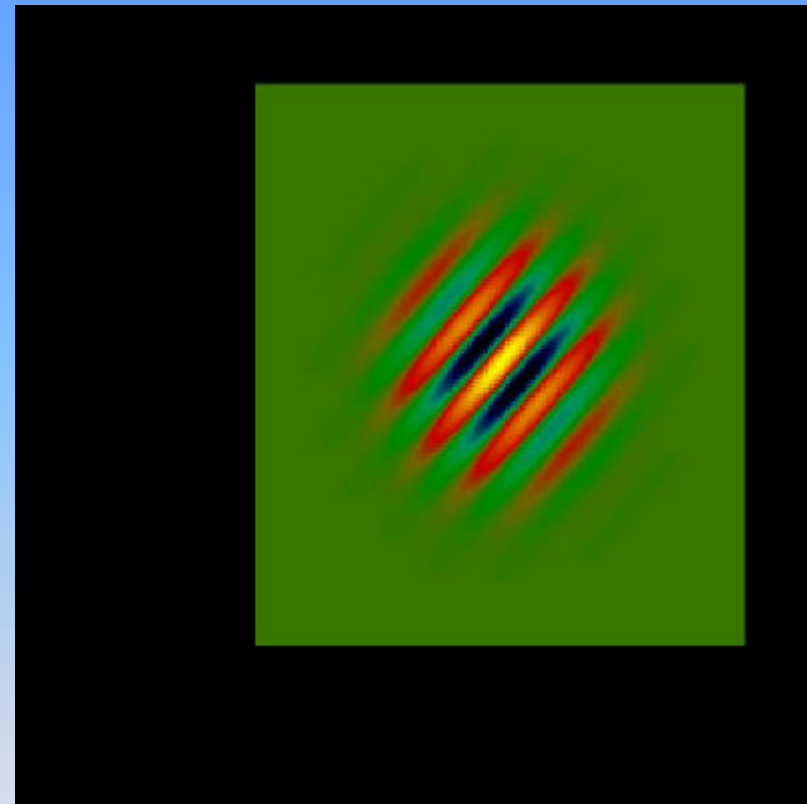
$$\kappa_v = 2^{-3}\pi, \varphi_\mu = \pi/2$$

# Ondelette de Gabor

Partie réelle



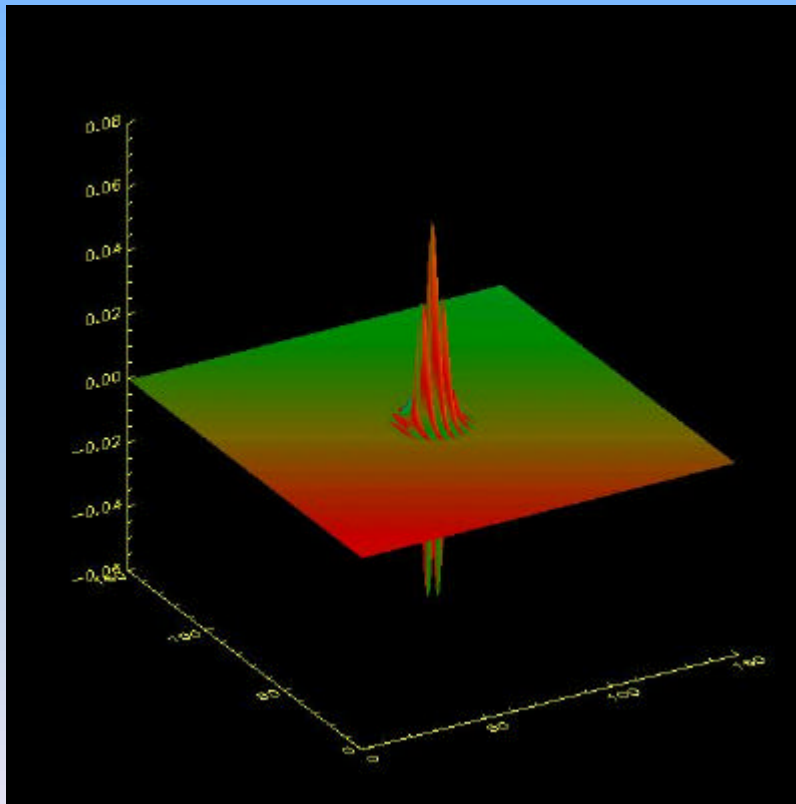
Partie réelle



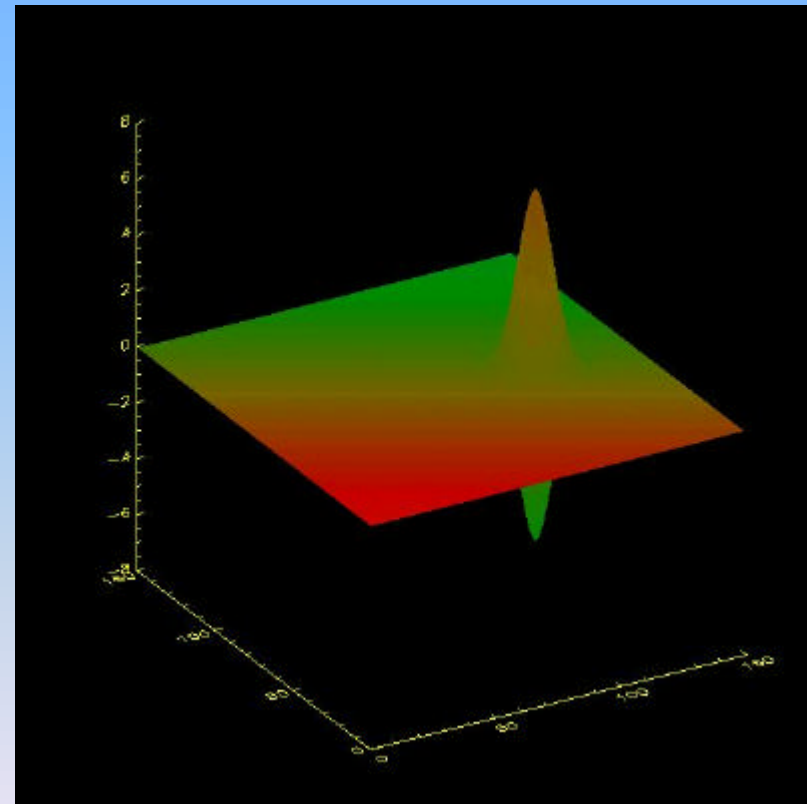
$$\kappa_v = 2^{-3}\pi, \varphi_\mu = 7\pi/8$$

# Domaine Spectral - FFT

Partie réelle

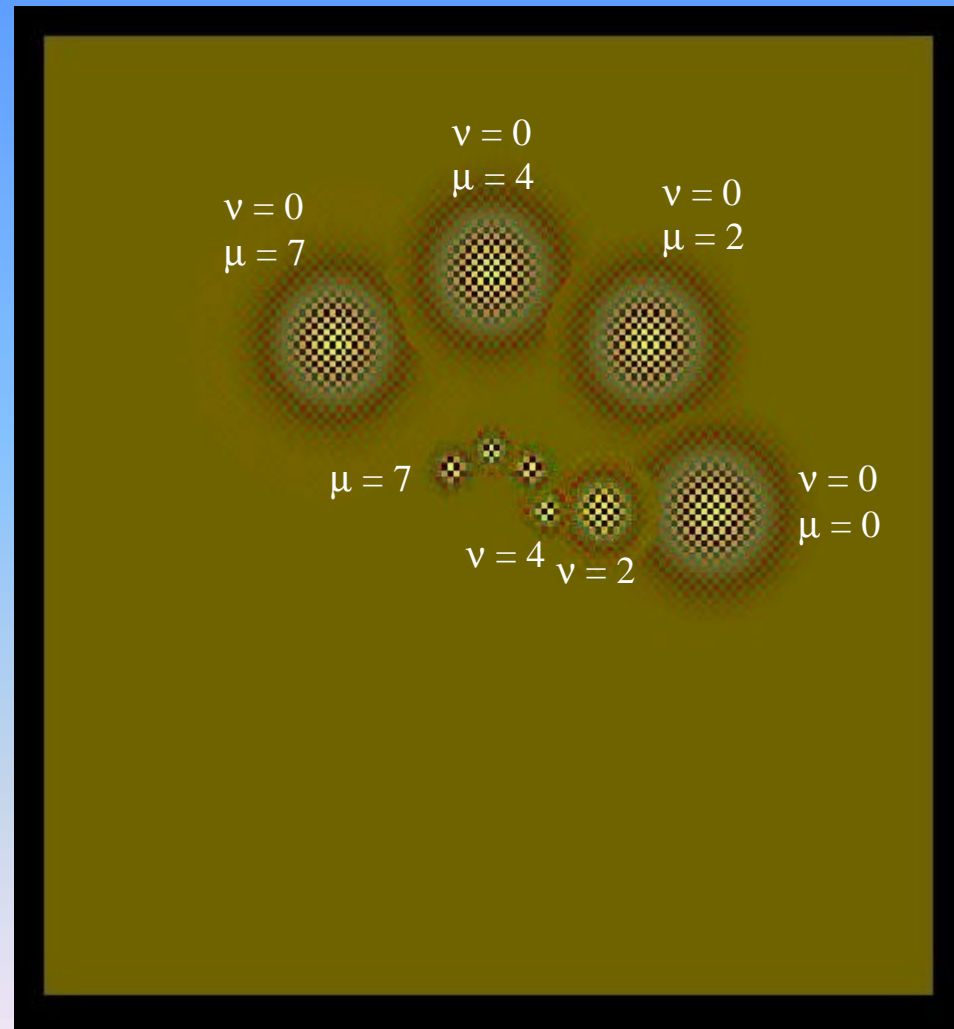


Partie réelle



$\kappa_v = 2^{-1}\pi, \varphi_\mu = 0$   $\longrightarrow$  FFT

# Domaine Spectral - FFT



# Jet J

- Ensemble de 40 coefficients complexes associés à chaque pixel de l'image

$$J_j = a_j \exp(i\mathbf{f}_j)$$

- $j = \mu + 8\nu, \quad a_j(\mathbf{x}), \quad \mathbf{f}_j(\mathbf{x})$
- Image 1 ?  $J$  image 2 ?  $J'$



# Déplacement $\mathbf{d}$

- Les phases varient suivant le déplacement

$$\Delta \mathbf{f}_j = \mathbf{f}_j - \mathbf{f}_j' \approx \mathbf{d} \cdot \mathbf{k}_j$$

- Le déplacement est estimé en comparant ces deux valeurs et en maximisant

$$S_f(J, J') = \frac{\sum_j a_j a_j' \cos(\Delta \mathbf{f}_j - \mathbf{d} \cdot \mathbf{k}_j)}{\sqrt{\sum_j a_j^2 \sum_j a_j'^2}}$$

# Déplacement $\mathbf{d}$

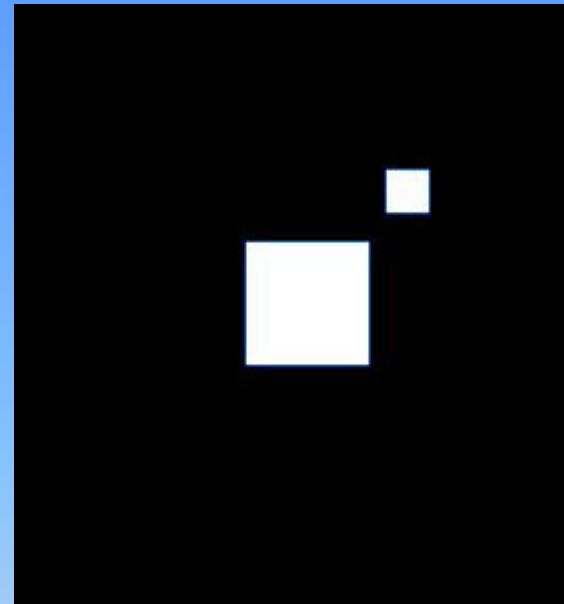
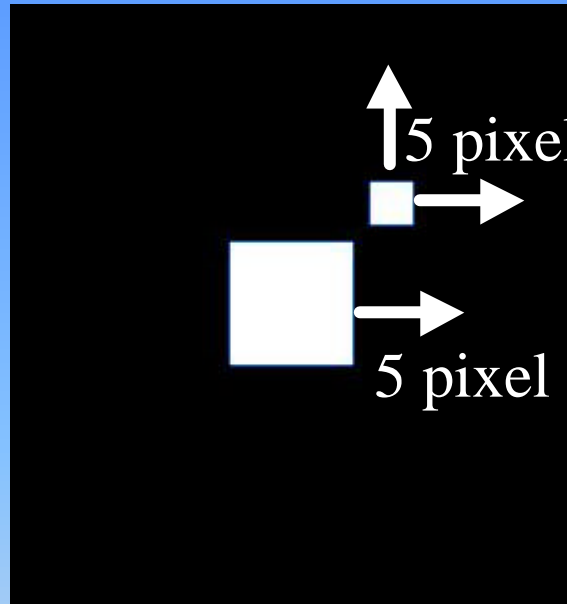
$$\frac{\mathbf{d}}{d d_x} S_f = \frac{\mathbf{d}}{d d_y} S_f = 0$$

$$\mathbf{d}(\mathcal{J}, \mathcal{J}') = \begin{pmatrix} d_x \\ d_y \end{pmatrix} = \frac{1}{\Gamma_{xx}\Gamma_{yy} - \Gamma_{xy}\Gamma_{yx}} \times \begin{pmatrix} \Gamma_{yy} & -\Gamma_{yx} \\ -\Gamma_{xy} & \Gamma_{xx} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Phi_x \\ \Phi_y \end{pmatrix}$$

$$\Phi_x = \sum a_j a'_j k_{jx} \Delta \mathbf{f}_j$$

$$\Gamma_{xy} = \sum a_j a'_j k_{jx} k_{jy}$$

# Images Test



Test 1  (gabor\_test\_carre.exe) Test 2  (gabor\_test\_carre2.exe)

$v = 0, \dots, 4$

$\mu = 0, \dots, 7$

$\sigma = 2\pi$

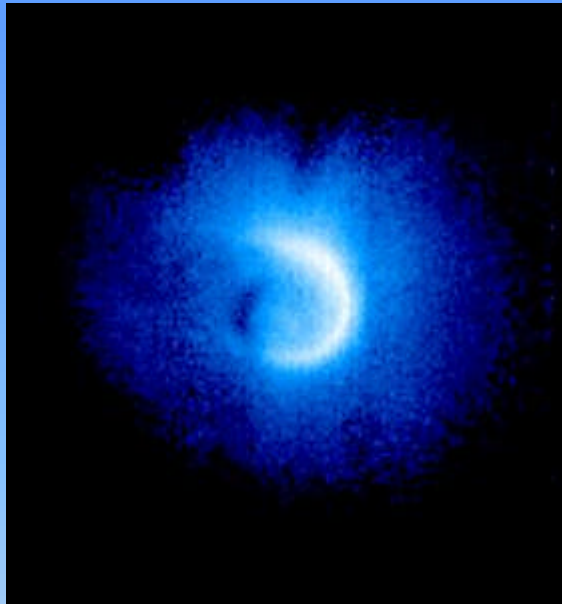
$v = 0, \dots, 4$

$\mu = 0, \dots, 7$

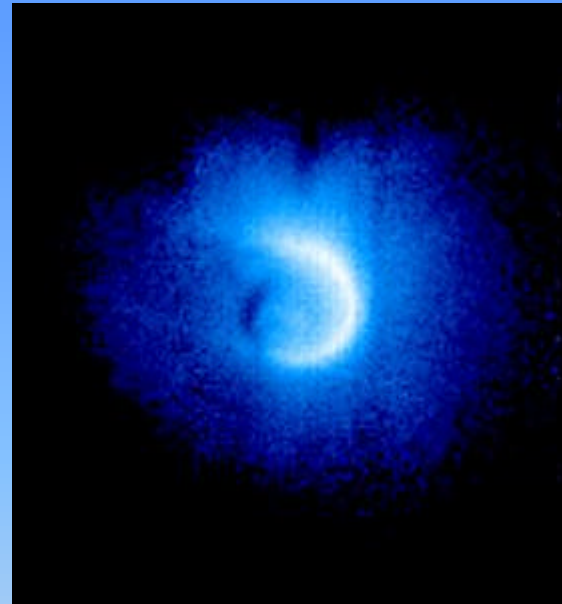
$\sigma = \pi$

Seuil  $a_j > \max(a_j) * 0.9$

# Premier Essai



e20001770705



e20001770715

$\nu = 0, \dots, 4$

$\mu = 0, \dots, 7$

$\sigma = \pi$

Seuil  $a_j > \max(a_j) * 0.9$



(gabor\_terre.exe)