

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion

# Statistique d'orientation des filaments et du champ magnétique dans le milieu interstellaire

## STAGE DE RECHERCHE, MASTER 2

Manuel Berthet  
François Levrier  
Edith Falgarone

LERMA/LRA - Observatoire de Paris  
École Normale Supérieure de Paris

28 juin 2012

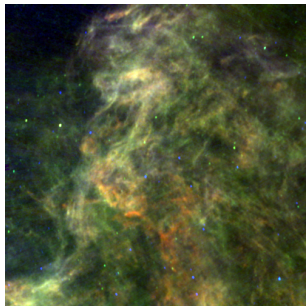
Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion



**FIGURE:** A gauche : IRAS, Polaris Flare,  $100\mu\text{m}$ .  $\sim 100$  pc. A droite : image IRIS (Miville-Deschênes & Lagache, 2005). B :  $12\mu\text{m}$ , V :  $60\mu\text{m}$ , R :  $100\mu\text{m}$ .  $\sim 30$  pc x 30 pc.

**Polaris** : haute latitude galactique ( $b \simeq 28$  degrés), pas de formation stellaire, observé par IRAS à 12, 25, 60 et  $100\mu\text{m}$ , cartes de 12,5 degrés x 12,5 degrés

# Polarisation et champ magnétique

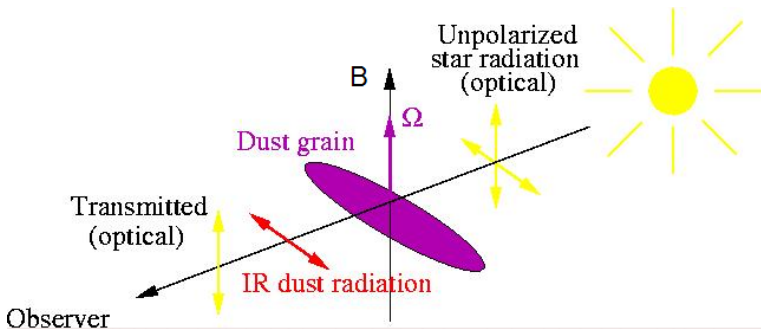
Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion



## Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

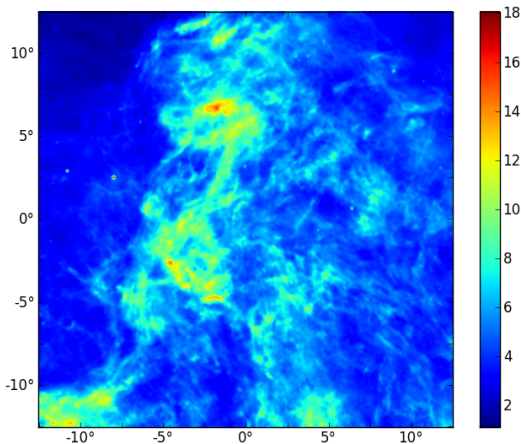
Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion

- 1** Présentation des données
  - IRIS
  - Polarisation
- 2** Traitement pour obtenir l'orientation des filaments
  - Analyse en curvelets
    - Transformées de ondelettes, ridgelets et curvelets
    - Morphological Component Analysis (MCA)
    - Application
  - Détection des filaments
    - DisPerSE
    - Calcul du squelette
- 3** Statistique d'orientation
  - Les filaments
  - Le champ magnétique
- 4** Résultats et discussion



# IRIS (Miville-Deschênes & Lagache, 2005)



**FIGURE:** Images IRIS de Polaris à 100  $\mu\text{m}$ . En abscisses et en ordonnées, les coordonnées angulaires par rapport au centre de l'image. L'unité de l'échelle est le MJy/sr.

Sommaire

Présentation  
des données

IRIS  
Polarisation

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion

## Données de **polarisation de la lumière des étoiles d'arrière-plan** (en environ 60 points)

Mesures effectuées sur le 1.6 m de l'Observatoire du Mont Mégantic, au Québec (K.M. Narasimhan, encadré par P. Hily-Blant et E. Falgarone, 2010)

**TABLE:** Degré et angle de polarisation pour différentes lignes de visée traversant le nuage de Polaris.

R.A. 2000 hms	DEC 2000 dms	HIP/Tycho	$d$ pc	$[V]$ mag	$P$ %	$\sigma_P$ %	$\theta$ deg.	$\sigma_\theta$ deg.
00 :17 :02.90	84 :57 :18.20	1359	180.2	7.8	0.08	0.02	173.29	6.43
00 :42 :43.40	85 :14 :14.10	3354	135.0	9.6	0.02	0.02	164.83	23.51
00 :55 :16.20	85 :42 :09.30	4320	235.3	8.1	0.02	0.03	36.50	33.71
01 :03 :39.70	84 :36 :24.70	4965	149.9	6.7	0.02	0.03	35.00	35.02
01 :22 :49.60	83 :48 :33.30	6447	142.9	9.6	0.10	0.04	168.00	10.74
01 :53 :47.60	88 :33 :05.80	8846	234.2	7.9	0.04	0.01	169.80	5.05
02 :02 :18.30	85 :44 :30.10	9504	166.4	9.2	0.01	0.04	0.00	130.97
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

Application

Détection des  
filaments

DisPerSE

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion

**OBJECTIF** : Sélectionner et cartographier les filaments (obtenir leurs coordonnées sur l'image).

- Filtrage de l'image pour retirer les sources ponctuelles et augmenter le contraste des filaments
- Appliquer un algorithme qui trie et récupère les coordonnées des filaments

## La transformée en ondelettes :

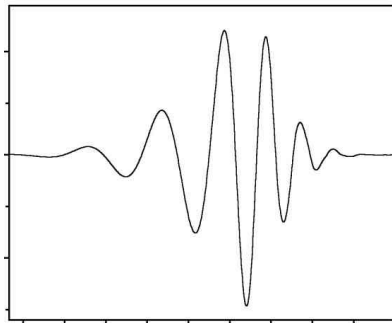


FIGURE: Ondelette mère standard, appelée Daubechies 20.

Passage à 2D :  $\psi(\vec{x}) = \psi_{1D}(|x|) \Rightarrow$  isotropie

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

Application

Détection des  
filaments

DisPerSE

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion

## La transformée en ridgelets :

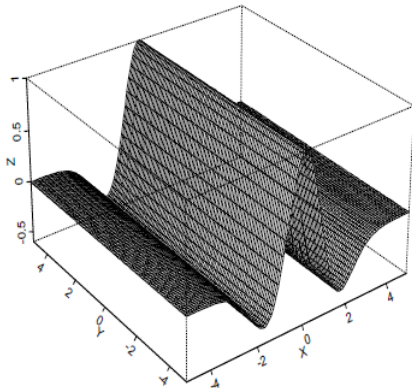


FIGURE: Une ridgelet.

**Curvelets** : Ridgelets locales sur des sous-images

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

Application

Détection des  
filaments

DisPerSE

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion

# Morphological Component Analysis (MCA)

Hypothèse de base : Une image  $F$  est une **superposition linéaire** de  $K$  signaux ( $F_1, \dots, F_K$ ), chacun proche des atomes de base de transformées ( $\Phi_1, \dots, \Phi_K$ )

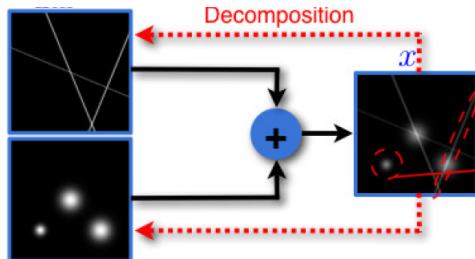


FIGURE: Tirée de M.J. Fadili et al. (2010)

On joue sur le choix des transformées et l'échelle la plus petite explorée

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

**Application**

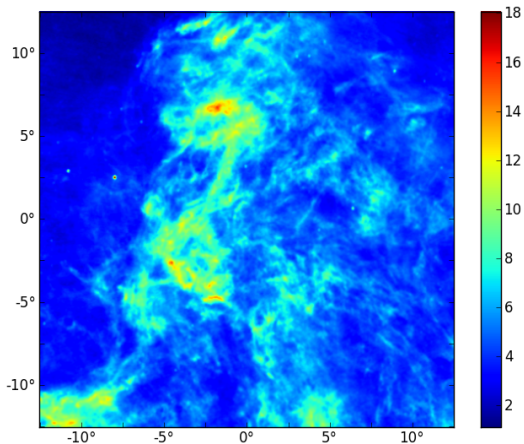
Détection des  
filaments

DisPerSE

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion



**FIGURE:** Image de Polaris, IRIS, à  $100\mu\text{m}$ . En abscisses et en ordonnées, les coordonnées angulaires par rapport au centre de l'image. L'unité de l'échelle est le  $\text{MJy/sr}$ .

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

**Application**

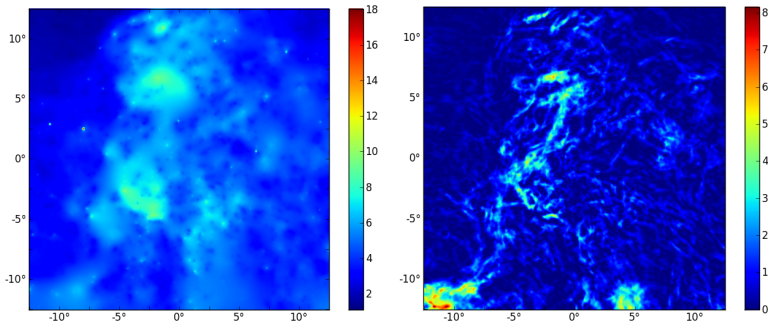
Détection des  
filaments

DisPerSE

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion



**FIGURE:** Ondelettes à trous (à gauche) et curvelets (à droite),  $J = 6$ , décroissance exponentielle du seuil et 50 itérations.



Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

Application

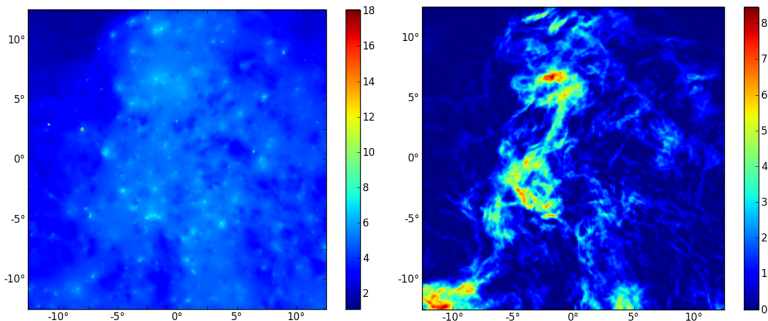
Détection des  
filaments

DisPerSE

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

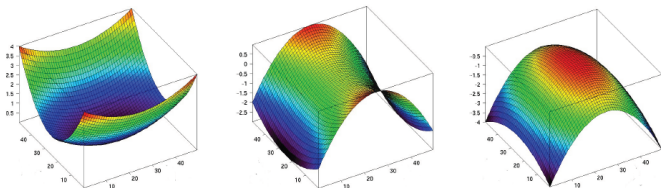
Résultats et  
discussion



**FIGURE:** Ondelettes à trous (à gauche) et curvelets (à droite),  $J = 7$ , décroissance exponentielle du seuil et 20 itérations.

Utilisation du logiciel `DisPerSE` (T. Sousbie, 2011) pour calculer le **"squelette"**, ensemble des filaments

Le squelette est l'ensemble des lignes reliant les maxima en passant par les points selle, en suivant le gradient



**FIGURE:** Quelques points critiques

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

Application

Détection des  
filaments

**DisPerSE**

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion

# DisPerSE : sans filtrage !

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

Application

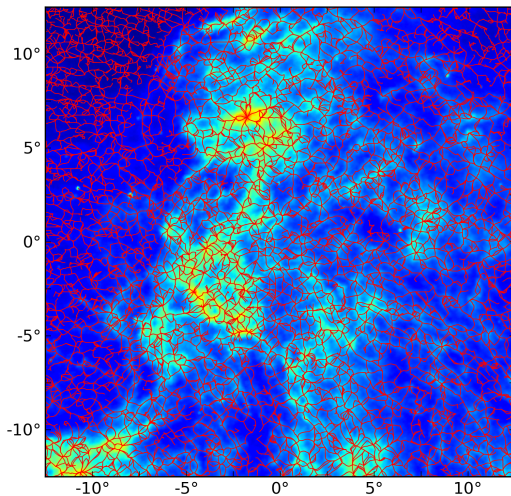
Détection des  
filaments

**DisPerSE**

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion



Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

Application

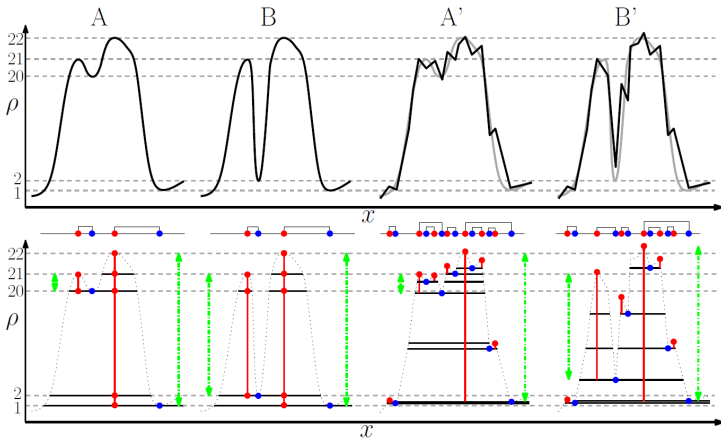
Détection des  
filaments

DisPerSE

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion



**FIGURE:** Illustration de la persistance sur un champ 1D.  $\rho$  est la valeur de la densité. T. Sousbie, 2011

# Influence du seuil de persistance : $p = 0.25$

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

Application

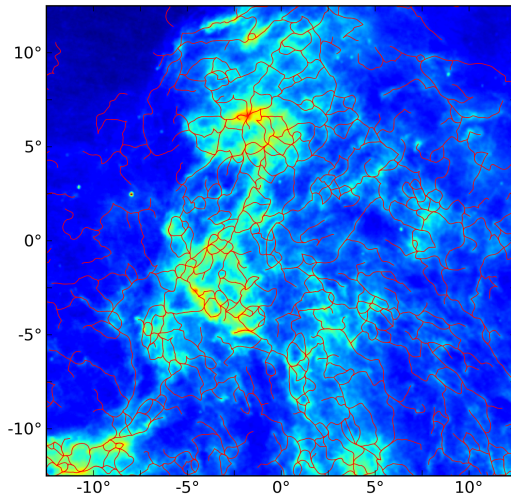
Détection des  
filaments

DisPerSE

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion



# Influence du seuil de persistance : $p = 0.5$

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

Application

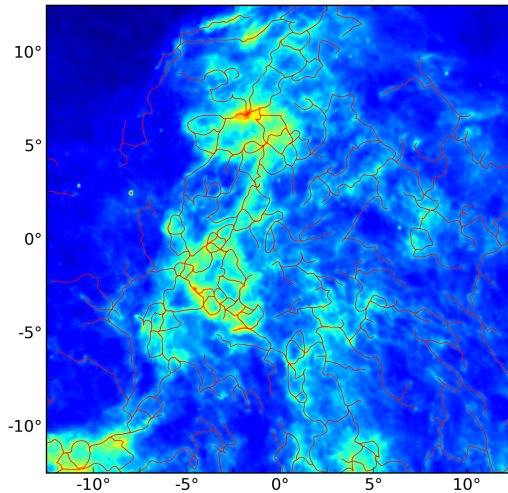
Détection des  
filaments

DisPerSE

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion



# Influence du seuil de persistance : $p = 0.75$

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

Application

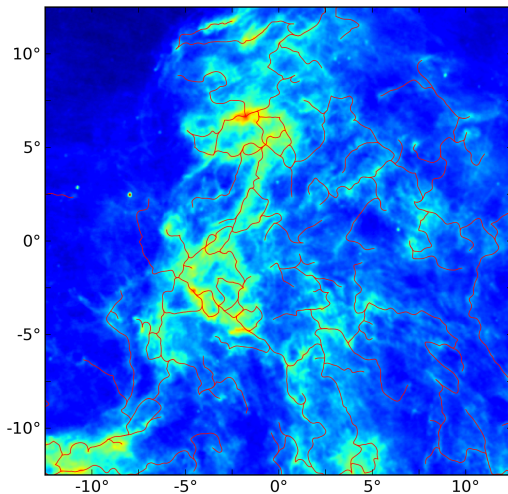
Détection des  
filaments

DisPerSE

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion



# DisPerSE : sans lissage

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

Application

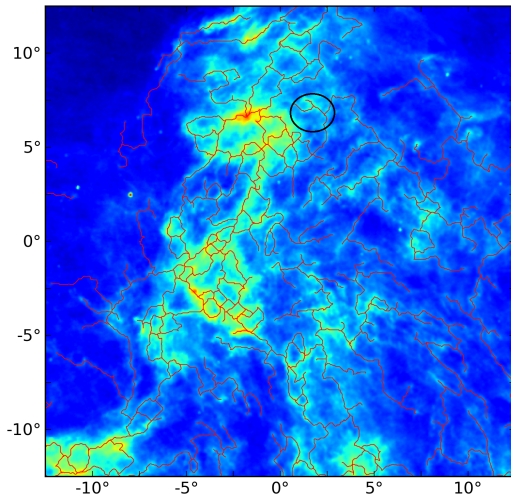
Détection des  
filaments

**DisPerSE**

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion





# DisPerSE : sans lissage (zoom)

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

Application

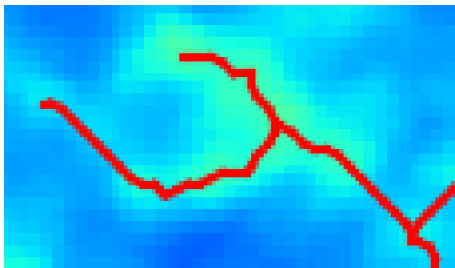
Détection des  
filaments

**DisPerSE**

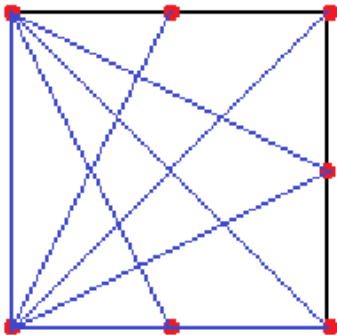
Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion



Sans lissage, seules 8 orientations sont possibles



Lissage par moyenne pondérée des positions des extrémités des segments le long des filaments

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

Application

Détection des  
filaments

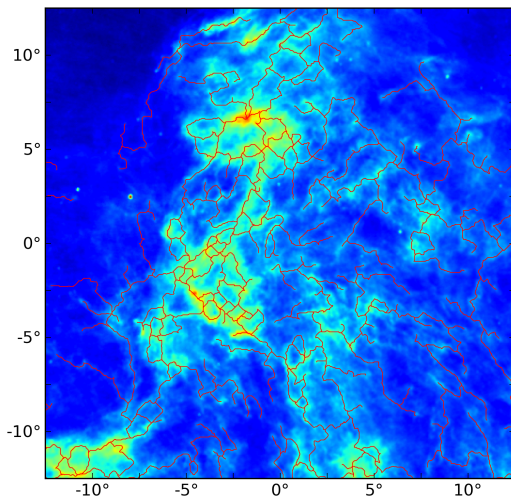
DisPerSE

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion

# Influence du lissage : $s = 0$



Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

Application

Détection des  
filaments

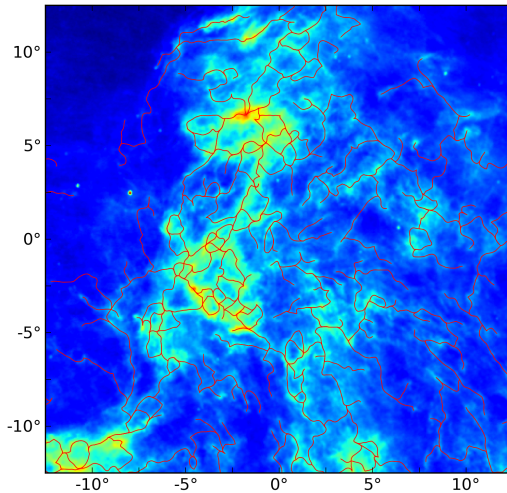
DisPerSE

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion

# Influence du lissage : $s = 10$



Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

Application

Détection des  
filaments

DisPerSE

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion

# Influence du lissage : zooms

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

Application

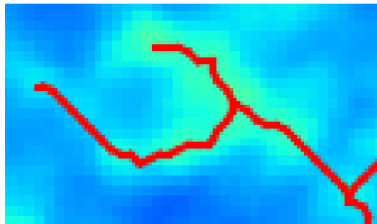
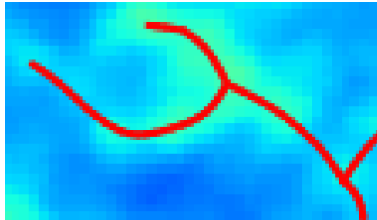
Détection des  
filaments

DisPerSE

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion



# Squelette à partir de l'image originale

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

Application

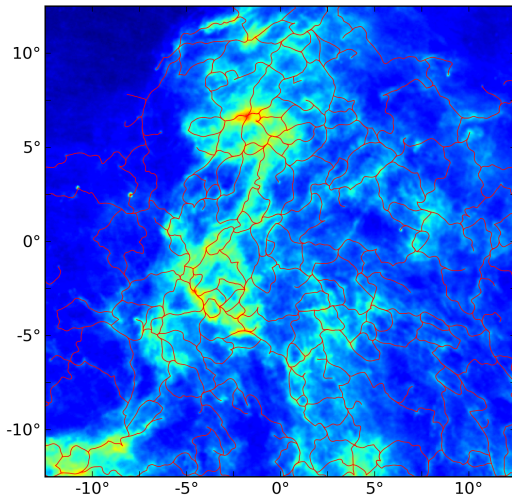
Détection des  
filaments

DisPerSE

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion



# Squelette à partir de la composante en curvelets

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Analyse en curvelets

Transformées de  
ondelettes, ridgelets  
et curvelets

Morphological  
Component  
Analysis (MCA)

Application

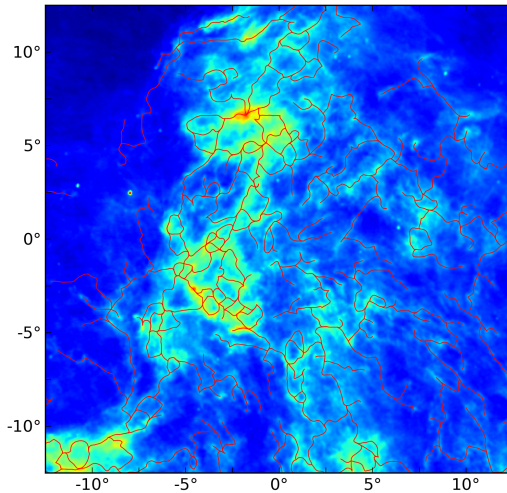
Détection des  
filaments

DisPerSE

Calcul du squelette

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion



# Orientation des filaments : le lissage

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Les filaments  
Le champ  
magnétique

Résultats et  
discussion

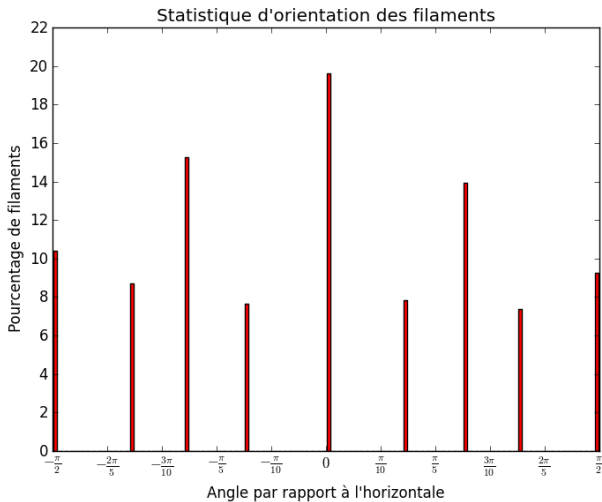


FIGURE: Sans lissage



# Orientation des filaments : le lissage

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Les filaments  
Le champ  
magnétique

Résultats et  
discussion

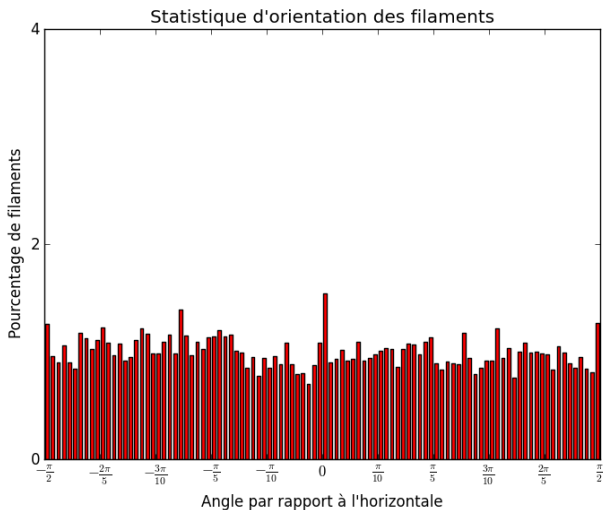


FIGURE: Avec un lissage sur 10 segments

# Orientation des filaments : le lissage

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Les filaments  
Le champ  
magnétique

Résultats et  
discussion

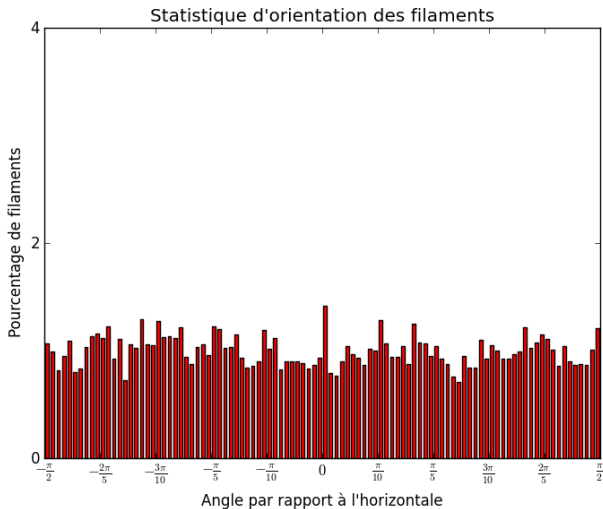


FIGURE: Avec un lissage sur 25 segments

# Orientation des filaments : curvelets, $p = 0.5$

Sommaire

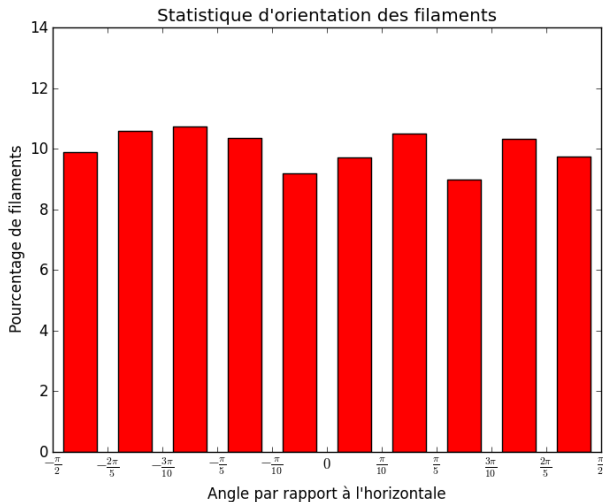
Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Les filaments  
Le champ  
magnétique

Résultats et  
discussion



# Orientation du champ magnétique

Sommaire

Présentation  
des données

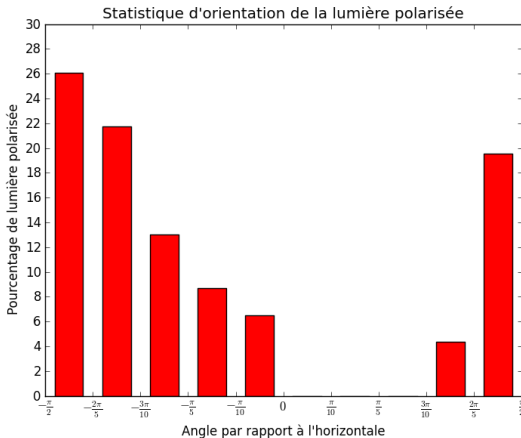
Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Les filaments

Le champ  
magnétique

Résultats et  
discussion



**FIGURE:** Orientation du champ magnétique à partir des données de polarisation filtrées (polarisation supérieure à 5%, incertitude sur l'angle inférieure à 40 degrés).

# Résultats et discussion

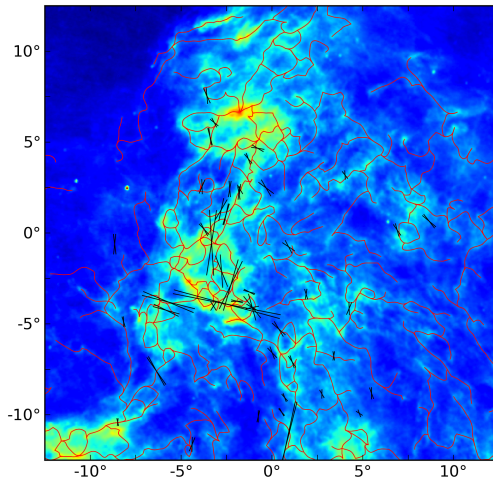
Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion



# Résultats et discussion : Histogramme de l'écart angulaire



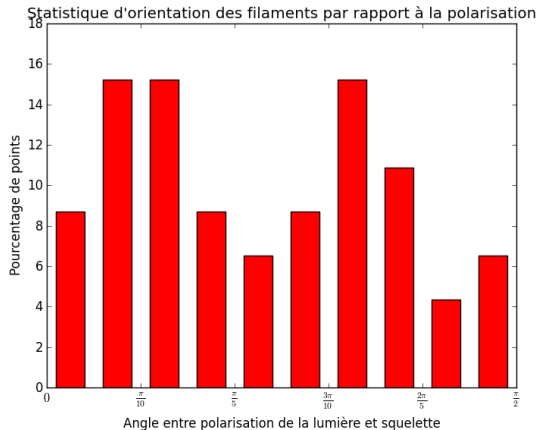
Sommaire

Présentation des données

Traitement pour obtenir l'orientation des filaments

Statistique d'orientation

Résultats et discussion



**FIGURE:** Histogramme de la valeur absolue de l'écart angulaire entre les orientations du champ magnétique et celles du filament le plus proche.

# Histogramme de l'écart angulaire

$p = 0.25$

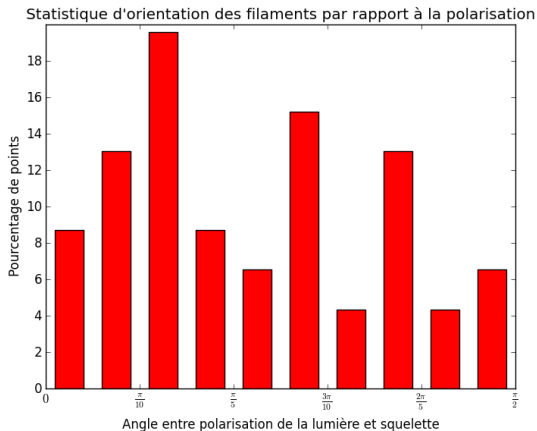
Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

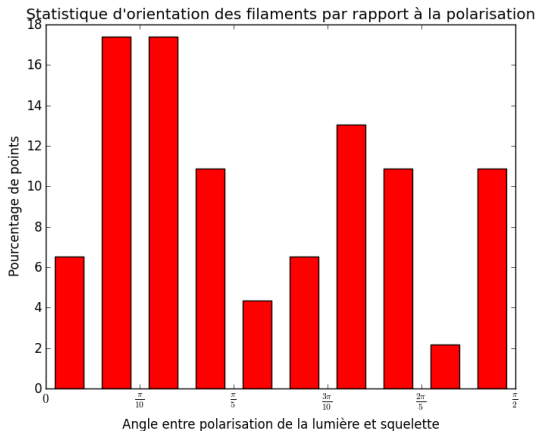
Résultats et  
discussion



**FIGURE:** Histogramme de la valeur absolue de l'écart angulaire entre les orientations du champ magnétique et celles du filament le plus proche.

# Histogramme de l'écart angulaire

$p = 0.75$



**FIGURE:** Histogramme de la valeur absolue de l'écart angulaire entre les orientations du champ magnétique et celles du filament le plus proche.



# Histogramme de l'écart angulaire A partir de l'image originale

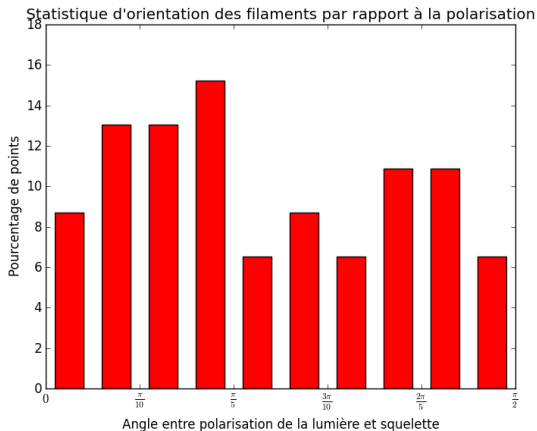
Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion



**FIGURE:** Histogramme de la valeur absolue de l'écart angulaire entre les orientations du champ magnétique et celles du filament le plus proche.

# Résultats et discussion

Il y a plus de 95% de chances que ces distributions soient issues de distributions **non uniformes** : Il y a une **corrélation** entre l'orientation du champ magnétique et l'orientation des filaments les plus proches pour Polaris.

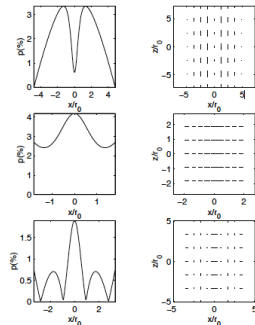
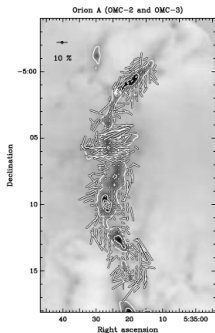
Sommaire

Présentation des données

Traitement pour obtenir l'orientation des filaments

Statistique d'orientation

Résultats et discussion



**FIGURE:** A gauche : de Matthews et al (2009). A droite : de Fiege and Pudritz (2000).

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion

Perspectives pour améliorer ces résultats :

- améliorer le filtrage des filaments, le seuil de persistance n'est pas optimal

# Résultats et discussion

## Squelette image originale

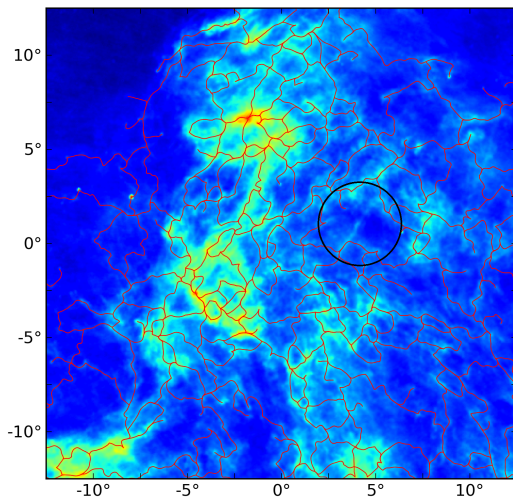
Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion



# Résultats et discussion

## Squelette image originale (zoom)

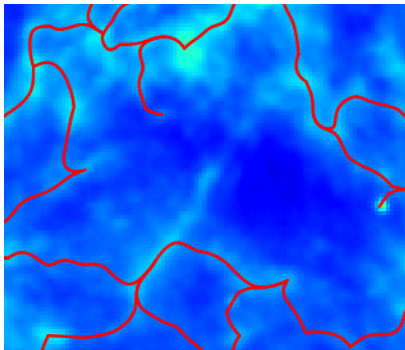
Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion



Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion

Perspectives pour améliorer ces résultats :

- améliorer le filtrage des filaments, le seuil de persistance n'est pas optimal

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion

Perspectives pour améliorer ces résultats :

- améliorer le filtrage des filaments, le seuil de persistance n'est pas optimal
- appliquer cette méthode à d'autres nuages

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion

Perspectives pour améliorer ces résultats :

- améliorer le filtrage des filaments, le seuil de persistance n'est pas optimal
- appliquer cette méthode à d'autres nuages
- obtenir de nouvelles données de polarisation (Planck)



Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion

## Perspectives pour améliorer ces résultats :

- améliorer le filtrage des filaments, le seuil de persistance n'est pas optimal
- appliquer cette méthode à d'autres nuages
- obtenir de nouvelles données de polarisation (Planck)
- filtrer ces données selon la distance au filament le plus proche

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion

## Perspectives pour améliorer ces résultats :

- améliorer le filtrage des filaments, le seuil de persistance n'est pas optimal
- appliquer cette méthode à d'autres nuages
- obtenir de nouvelles données de polarisation (Planck)
- filtrer ces données selon la distance au filament le plus proche
- travailler directement avec les coefficients des curvelets

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion

## Perspectives pour améliorer ces résultats :

- améliorer le filtrage des filaments, le seuil de persistance n'est pas optimal
- appliquer cette méthode à d'autres nuages
- obtenir de nouvelles données de polarisation (Planck)
- filtrer ces données selon la distance au filament le plus proche
- travailler directement avec les coefficients des curvelets
- explorer les possibilités de MCA

Sommaire

Présentation  
des données

Traitement  
pour obtenir  
l'orientation  
des filaments

Statistique  
d'orientation

Résultats et  
discussion

