

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

STAGE DE RECHERCHE, MASTER 2

Sommaire

Présentation
des données

Traitement
pour obtenir
l'orientation
des filaments

Statistique
d'orientation

Résultats et
discussion

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

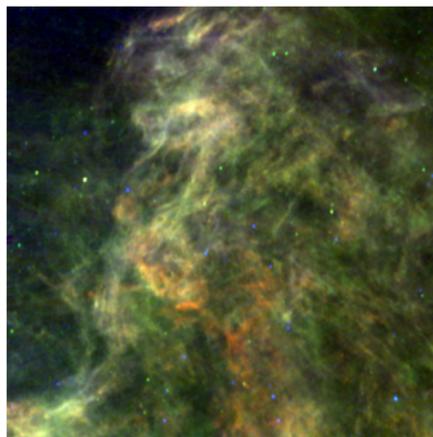


FIGURE: A gauche : IRAS, Polaris Flare, $100\mu\text{m}$. ~ 100 pc. A droite : image IRIS (Miville-Deschênes & Lagache, 2005). B : $12\mu\text{m}$, V : $60\mu\text{m}$, R : $100\mu\text{m}$. ~ 30 pc x 30 pc.

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

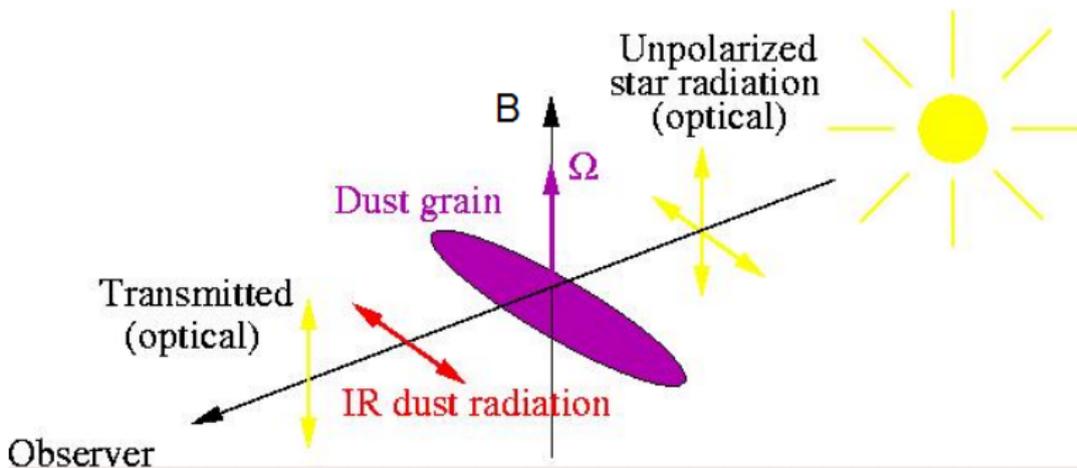
Sommaire

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)

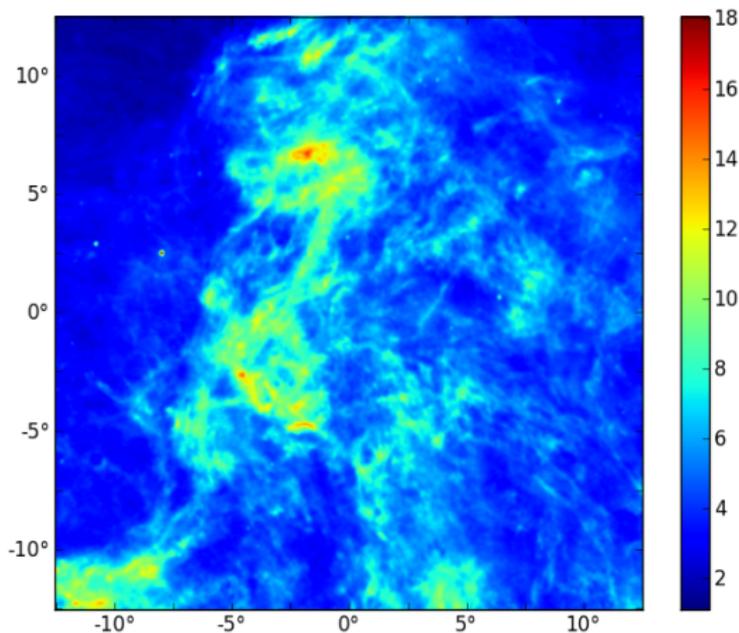


FIGURE: Images IRIS de Polaris à $100 \mu\text{m}$. En abscisses et en ordonnées, les coordonnées angulaires par rapport au centre de l'image. L'unité de l'échelle est le MJy/sr.

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 %	σ_P %	θ deg.	σ_θ 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 :

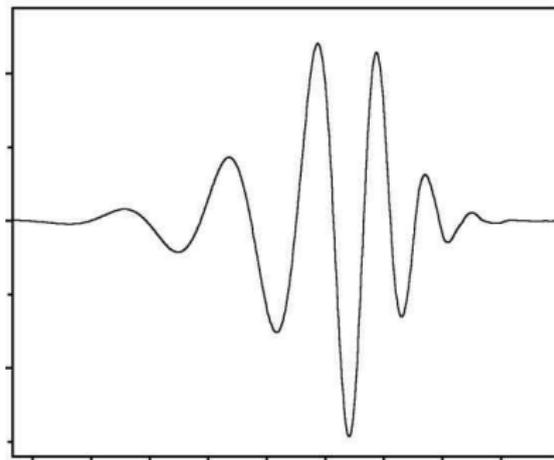


FIGURE: Ondelette mère standard, appelée Daubechies 20.

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 :

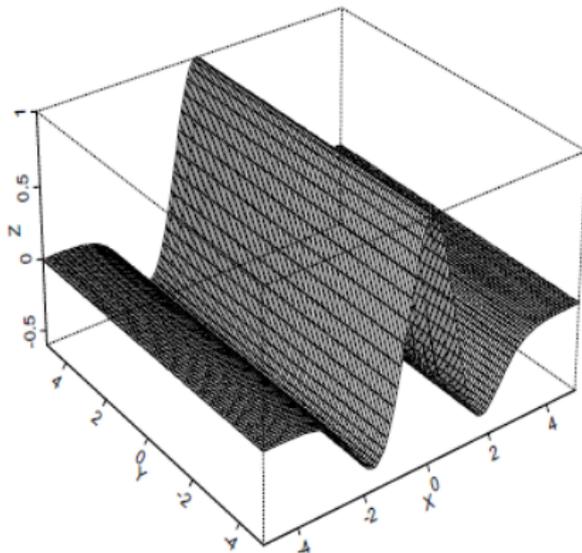


FIGURE: Une ridgelet.

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 (Φ_1, \dots, Φ_K)

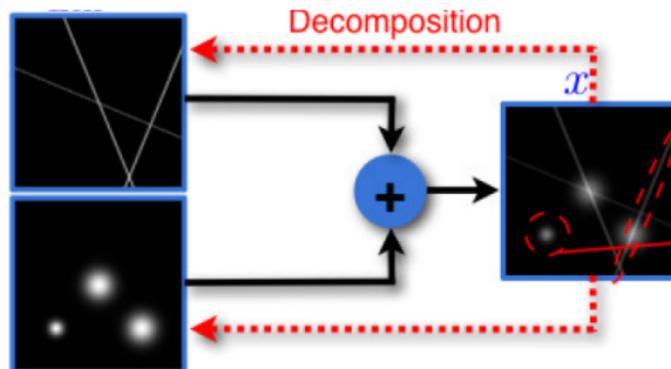


FIGURE: Tirée de M.J. Fadili et al. (2010)

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

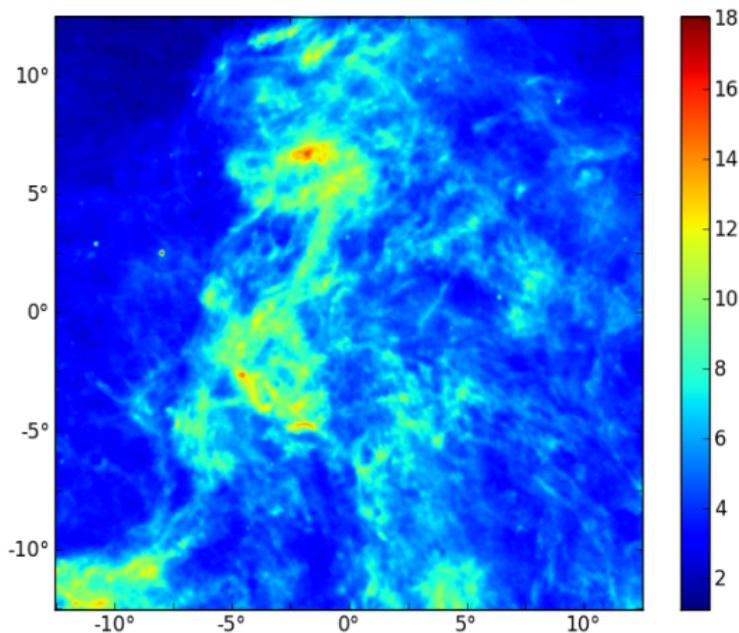


FIGURE: Image de Polaris, IRIS, à $100\mu\text{m}$. En abscisses et en ordonnées, les coordonnées angulaires par rapport au centre de l'image. L'unité de l'échelle est le MJy/sr .

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

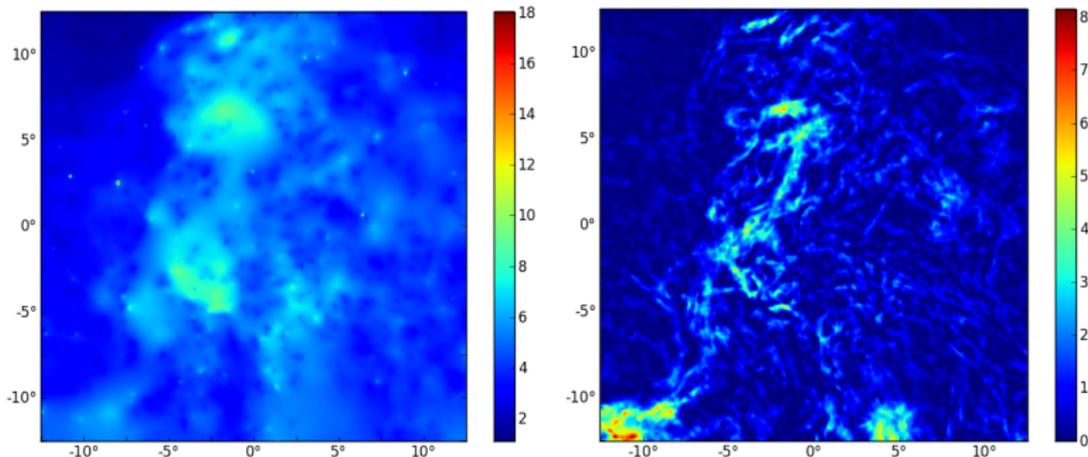


FIGURE: Ondelettes à trous (à gauche) et curvelets (à droite), $J = 6$, décroissance exponentielle du seuil et 50 itérations.

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

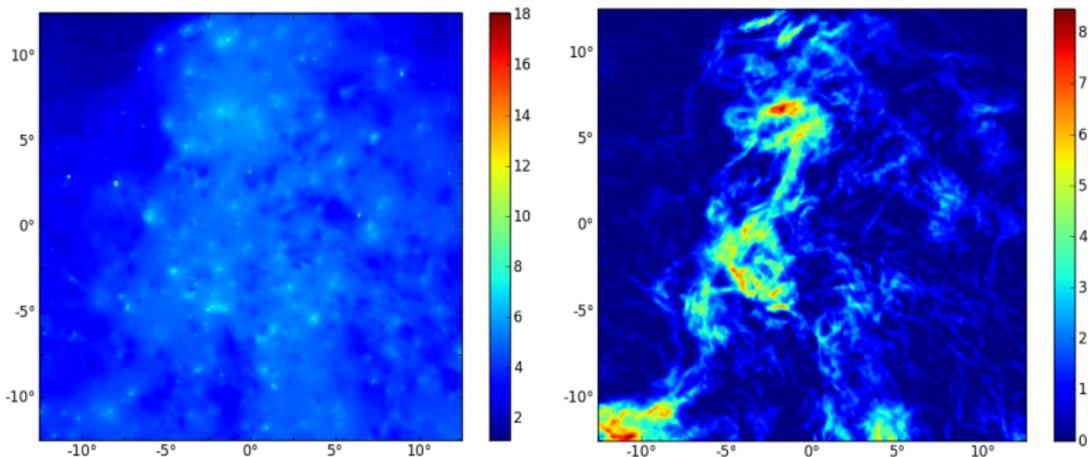


FIGURE: Ondelettes à trous (à gauche) et curvelets (à droite), $J = 7$, décroissance exponentielle du seuil et 20 itérations.

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

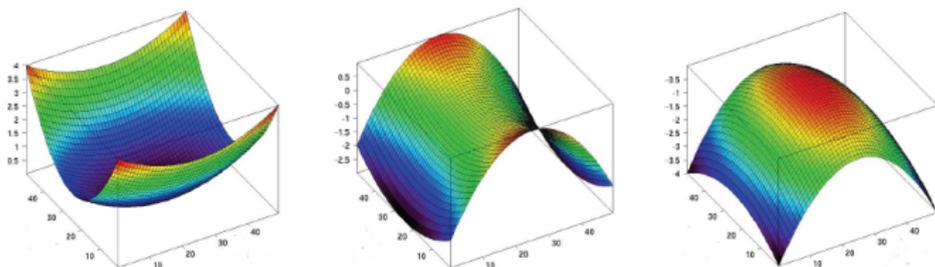


FIGURE: Quelques points critiques

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

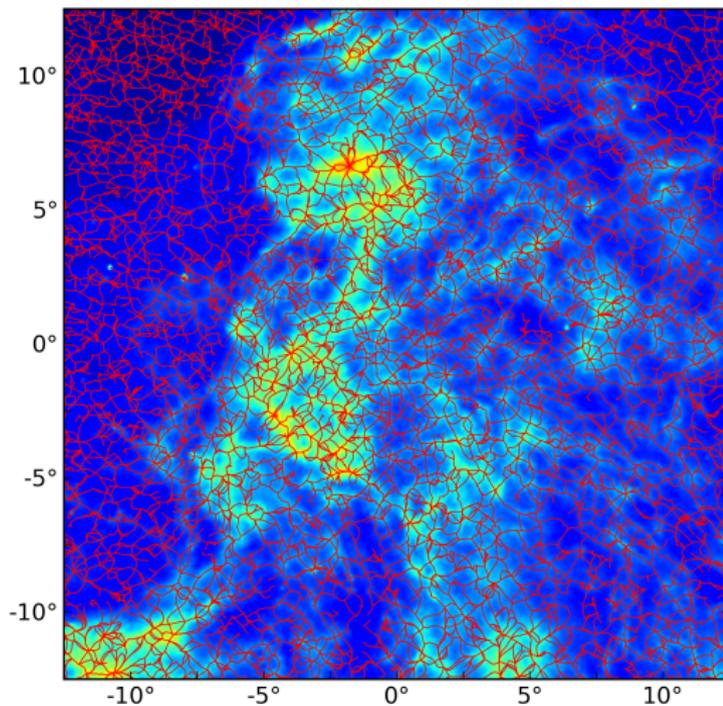
Détection des
filaments

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

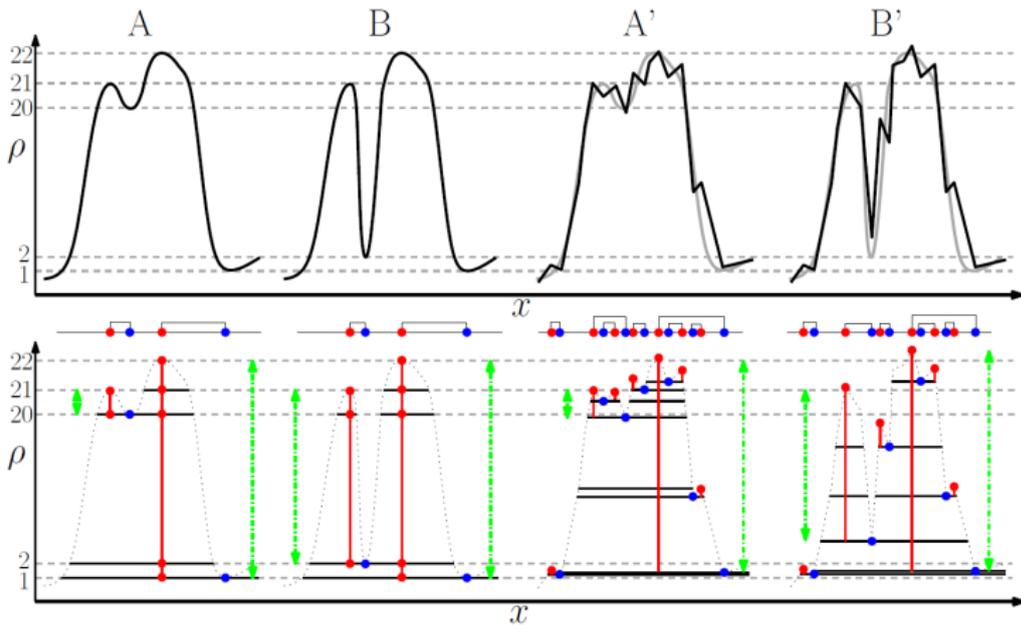


FIGURE: Illustration de la persistance sur un champ 1D. ρ est la valeur de la densité. T. Sousbie, 2011

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

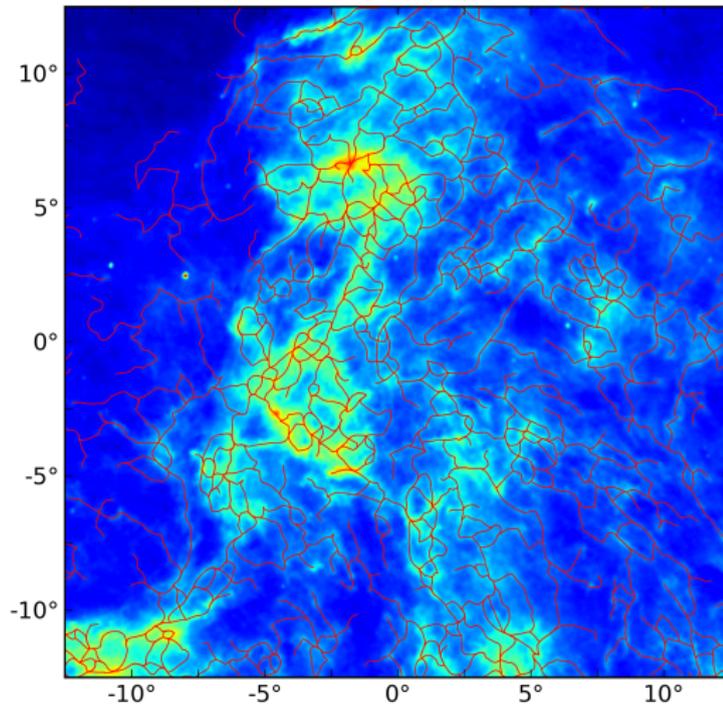
Détection des
filaments

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

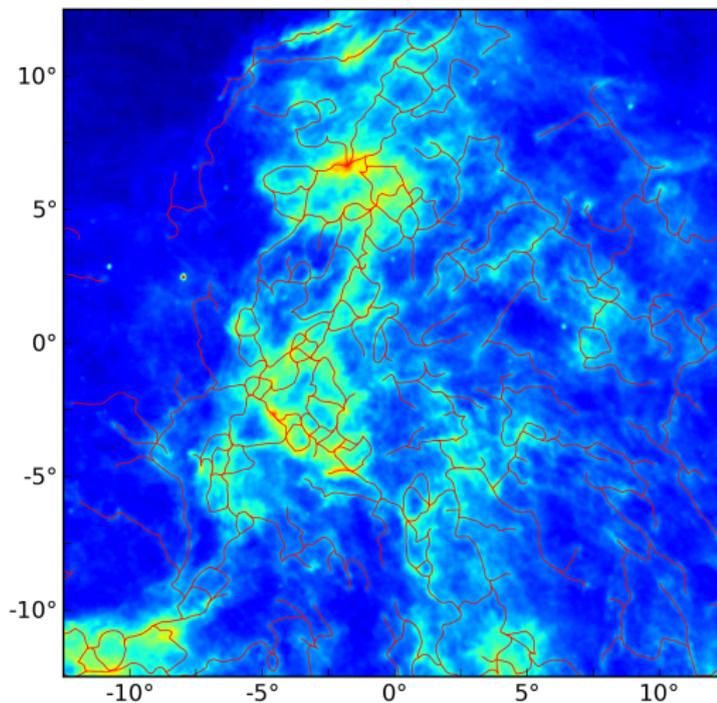
Détection des
filaments

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

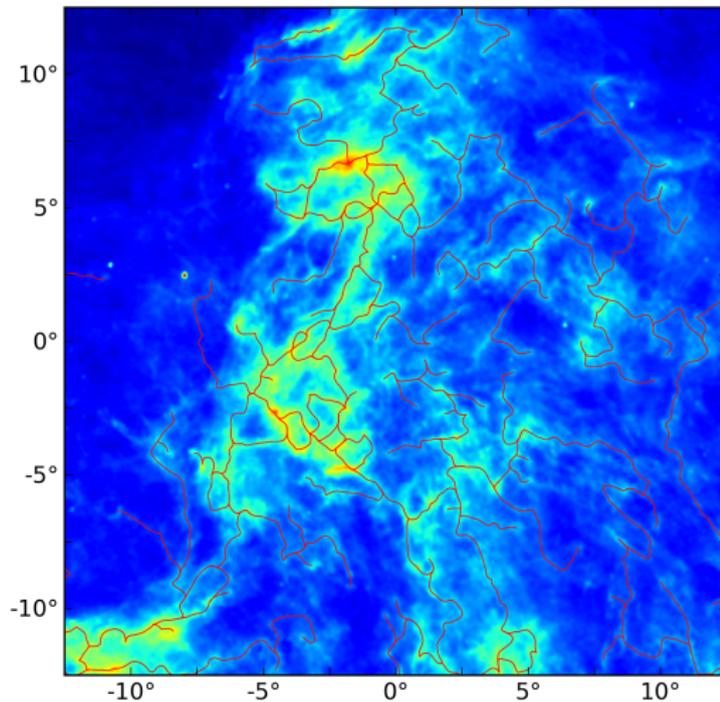
Détection des
filaments

DisPerSE

Calcul du squelette

Statistique
d'orientation

Résultats et
discussion



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

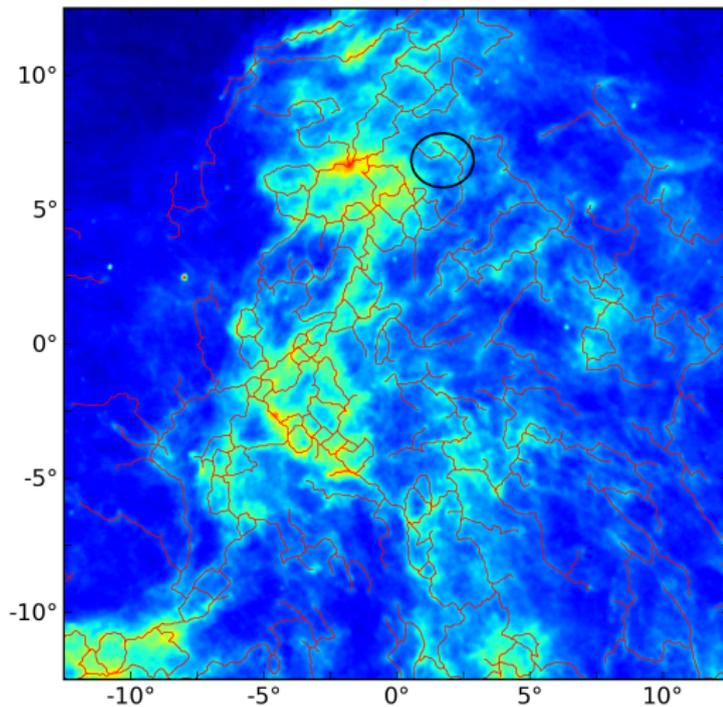
Détection des
filaments

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

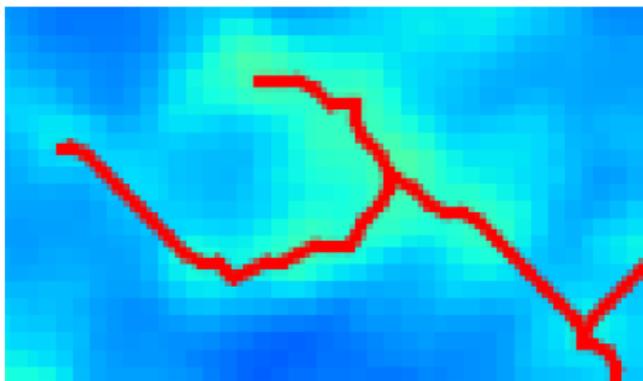
Détection des
filaments

DisPerSE

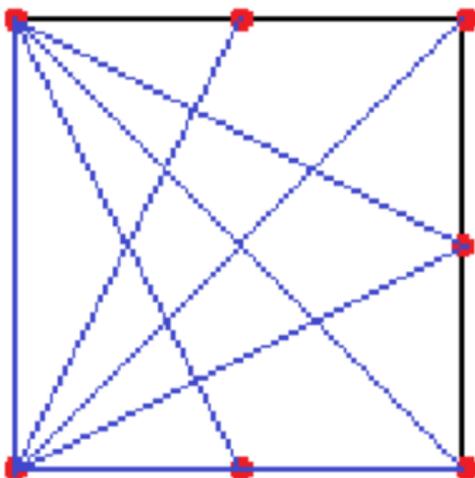
Calcul du squelette

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

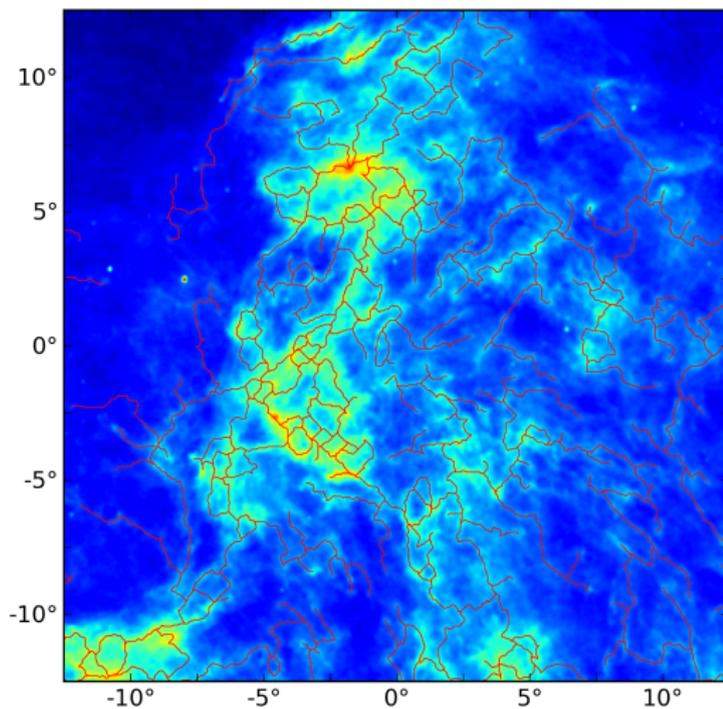
DisPerSE

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

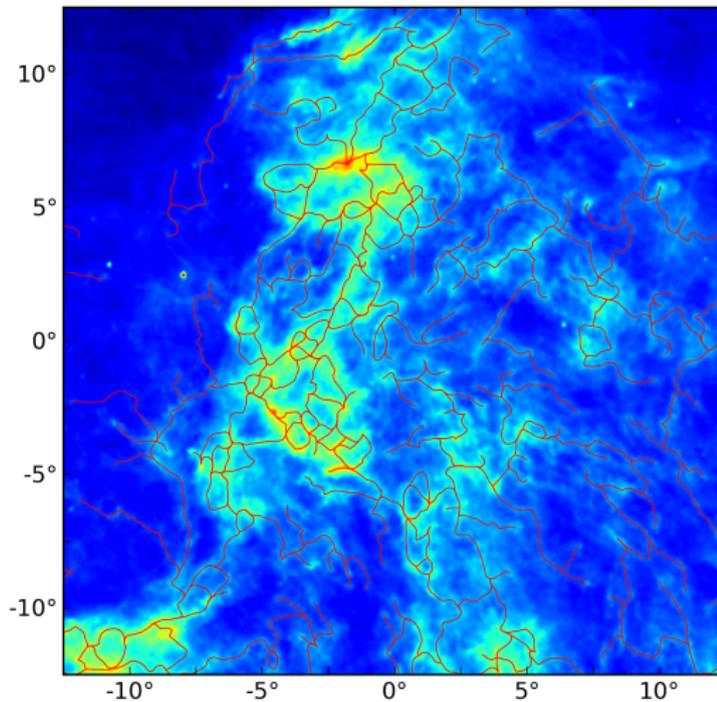
DisPerSE

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

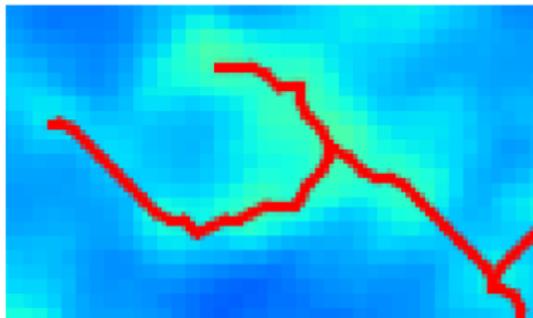
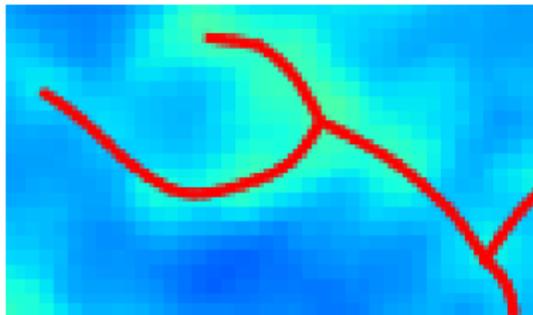
Détection des
filaments

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

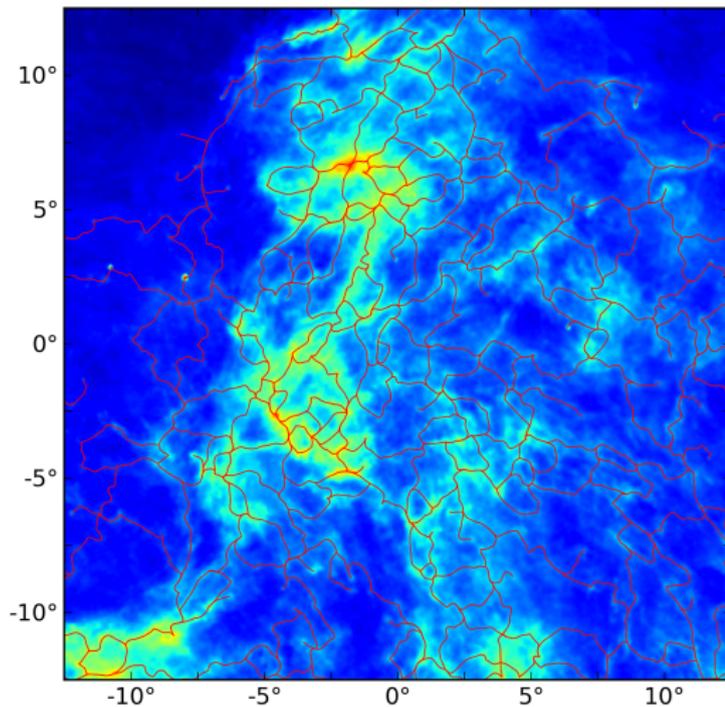
Détection des
filaments

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

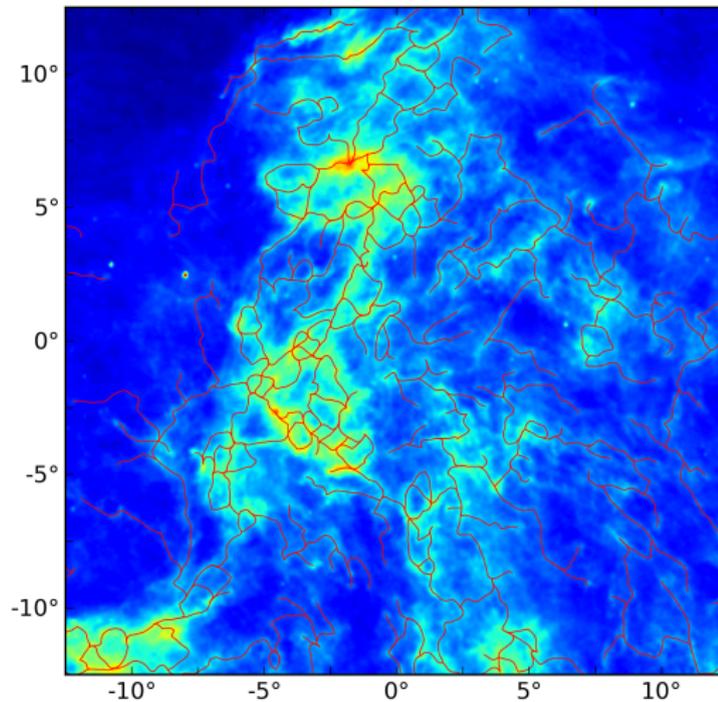
Détection des
filaments

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

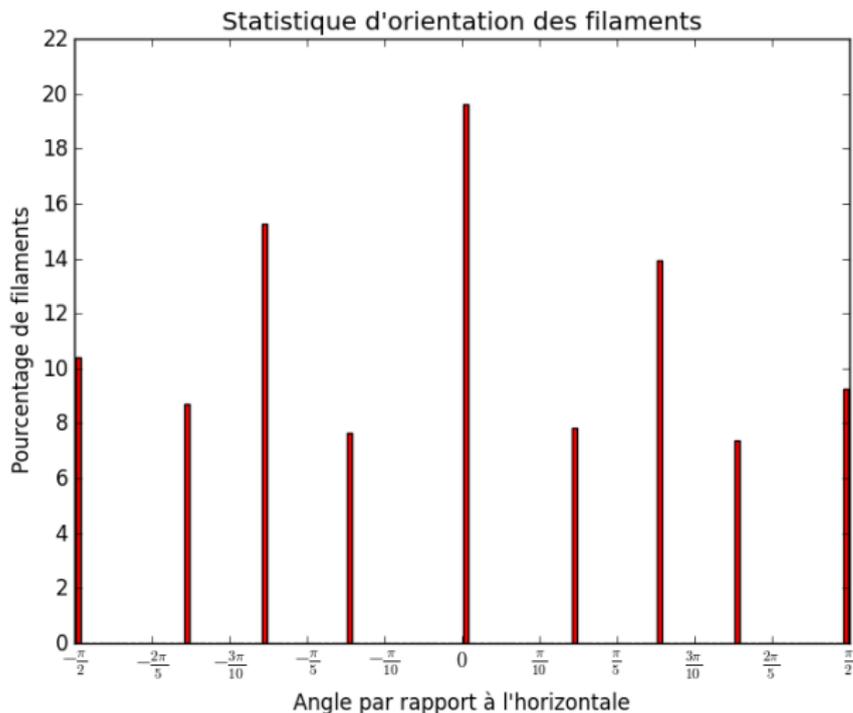


FIGURE: Sans lissage

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

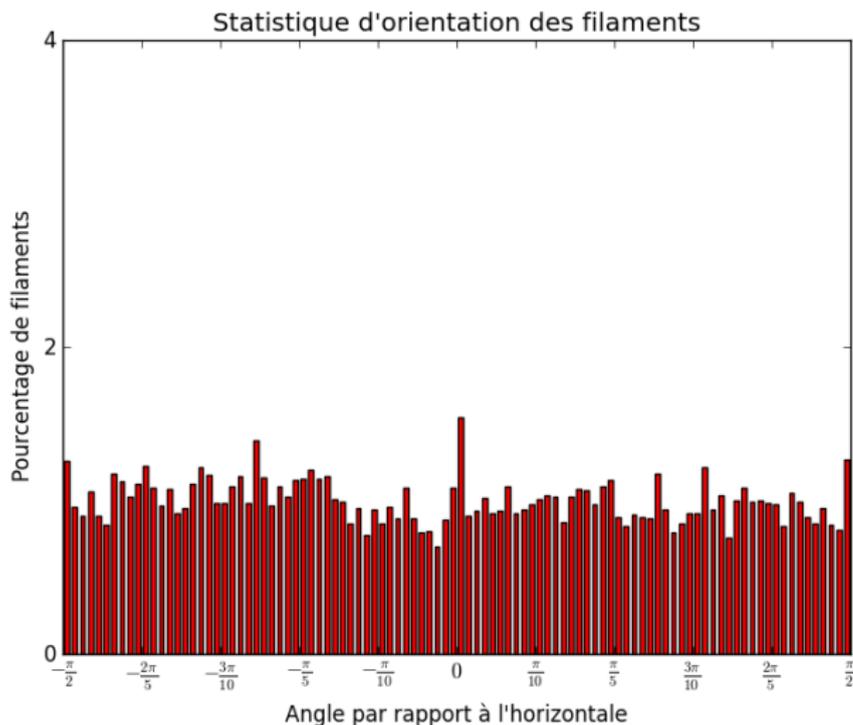


FIGURE: Avec un lissage sur 10 segments

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

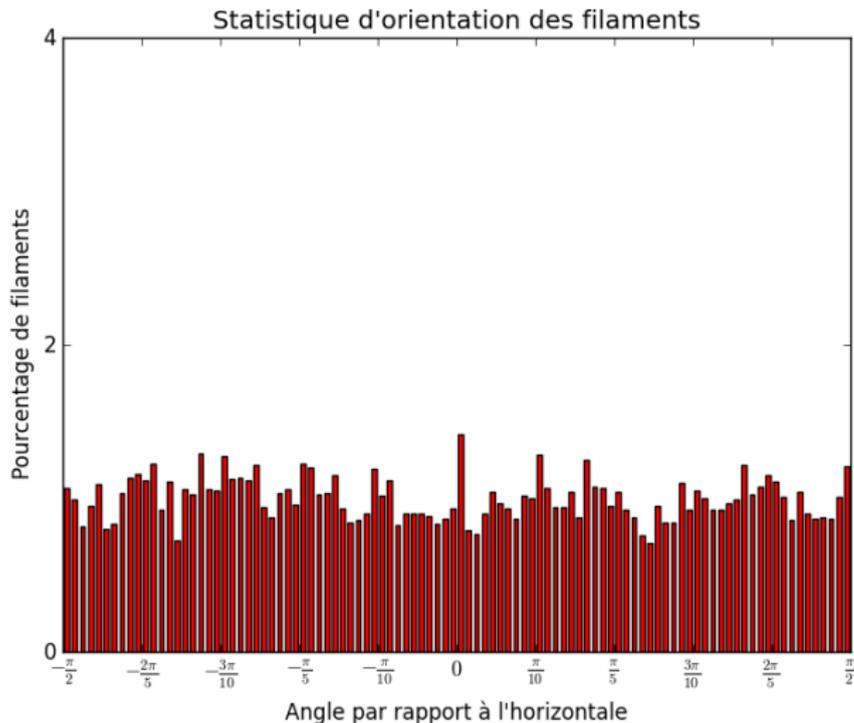


FIGURE: Avec un lissage sur 25 segments

Orientation des filaments : curvelets, $p = 0.5$

Sommaire

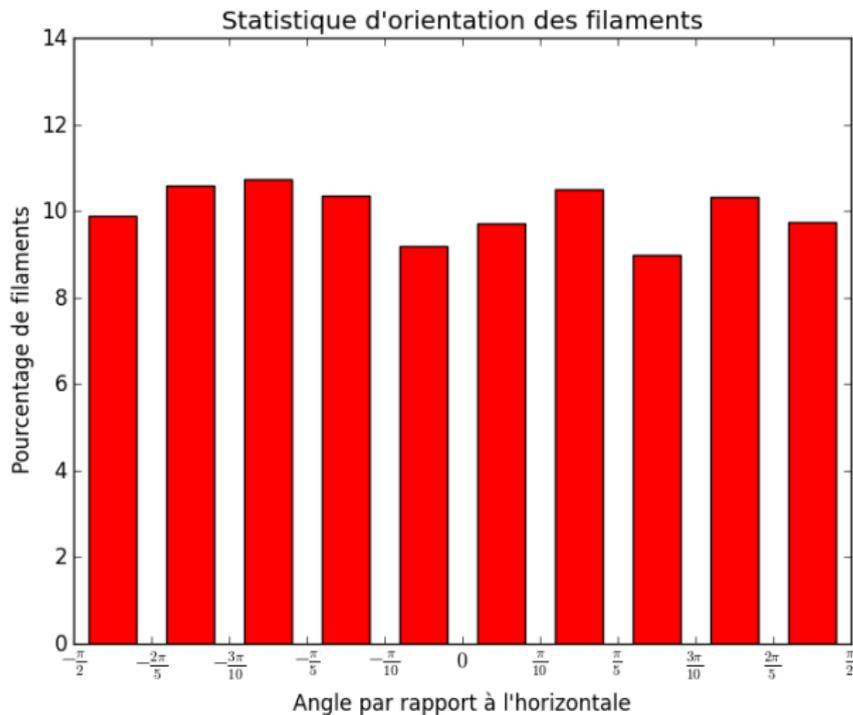
Présentation
des données

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

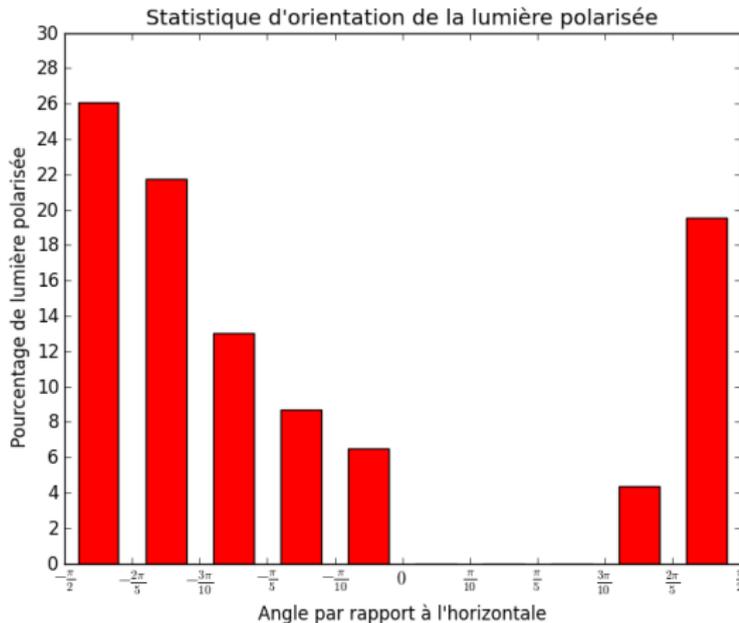


FIGURE: Orientation du champ magnétique à partir des données de polarisation filtrées (polarisation supérieure à 5%, incertitude sur l'angle inférieure à 40 degrés).

Résultats et discussion

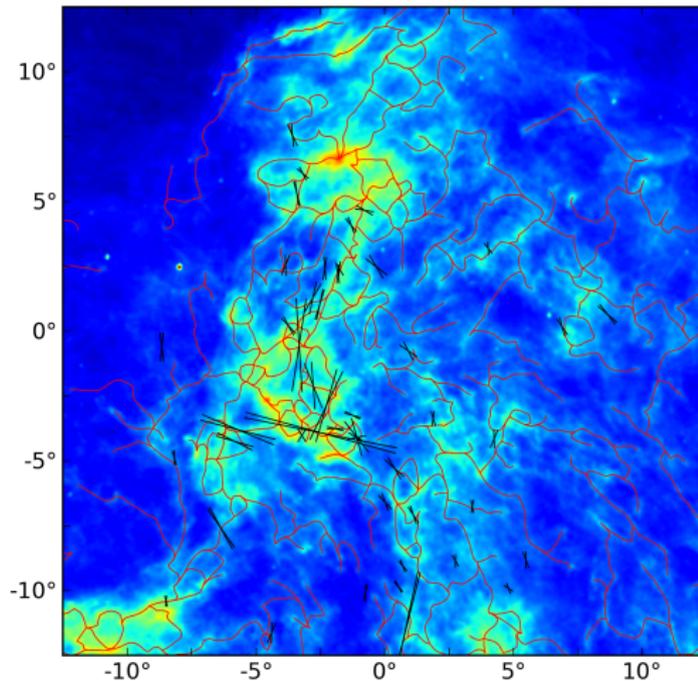
Sommaire

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

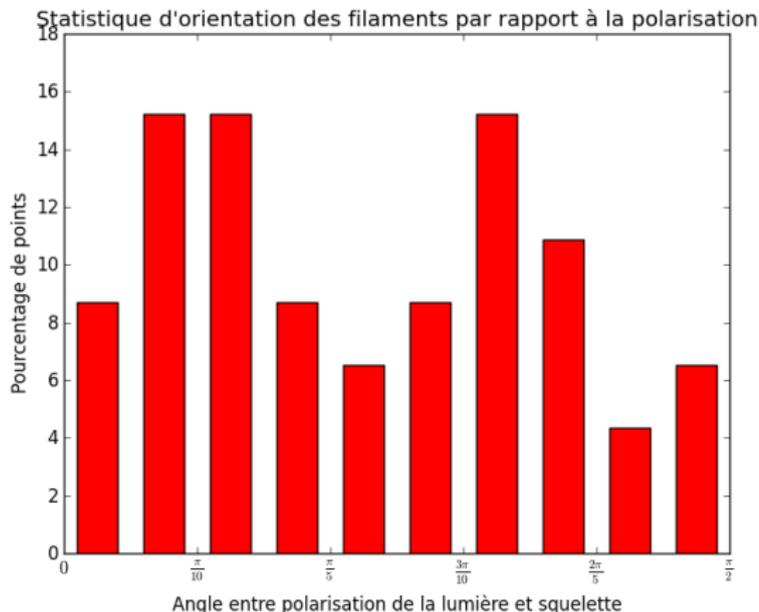


FIGURE: Histogramme de la valeur absolue de l'écart angulaire entre les orientations du champ magnétique et celles du filament le plus proche.

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

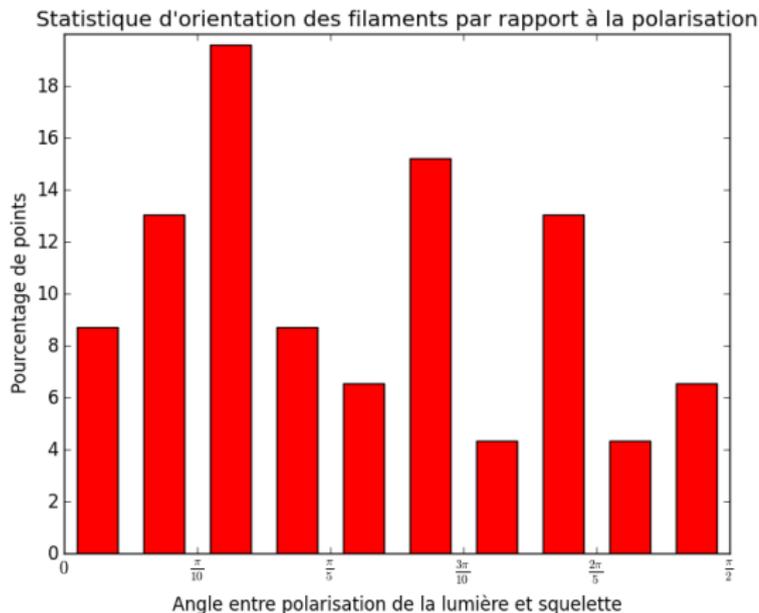


FIGURE: Histogramme de la valeur absolue de l'écart angulaire entre les orientations du champ magnétique et celles du filament le plus proche.

Histogramme de l'écart angulaire

$p = 0.75$

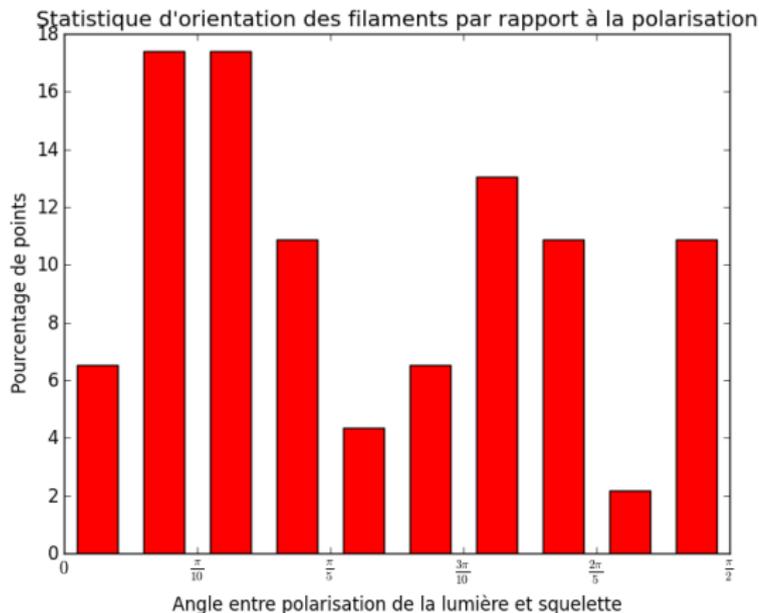


FIGURE: Histogramme de la valeur absolue de l'écart angulaire entre les orientations du champ magnétique et celles du filament le plus proche.

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

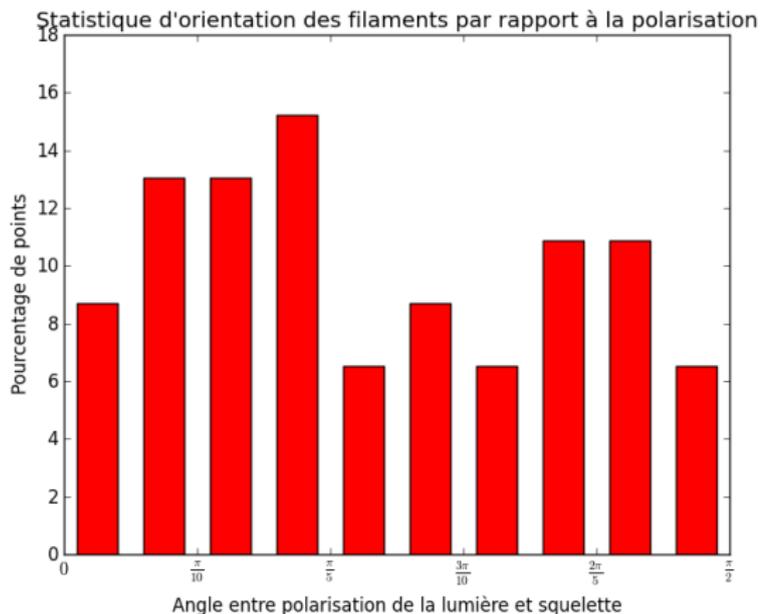


FIGURE: Histogramme de la valeur absolue de l'écart angulaire entre les orientations du champ magnétique et celles du filament le plus proche.

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

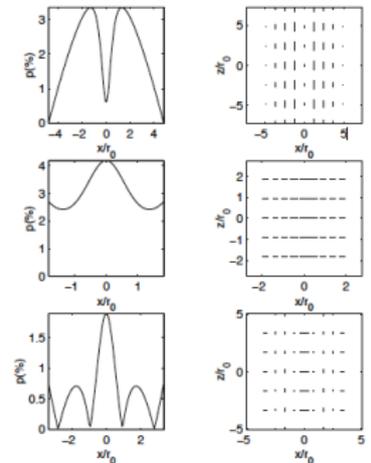
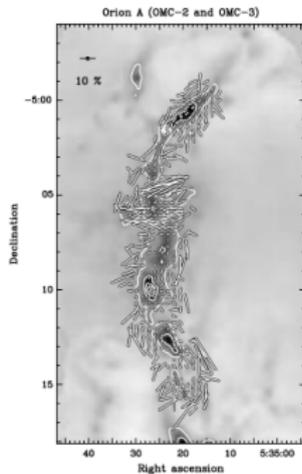


FIGURE: A gauche : de Matthews et al (2009). A droite : de Fiege and Pudritz (2000).

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

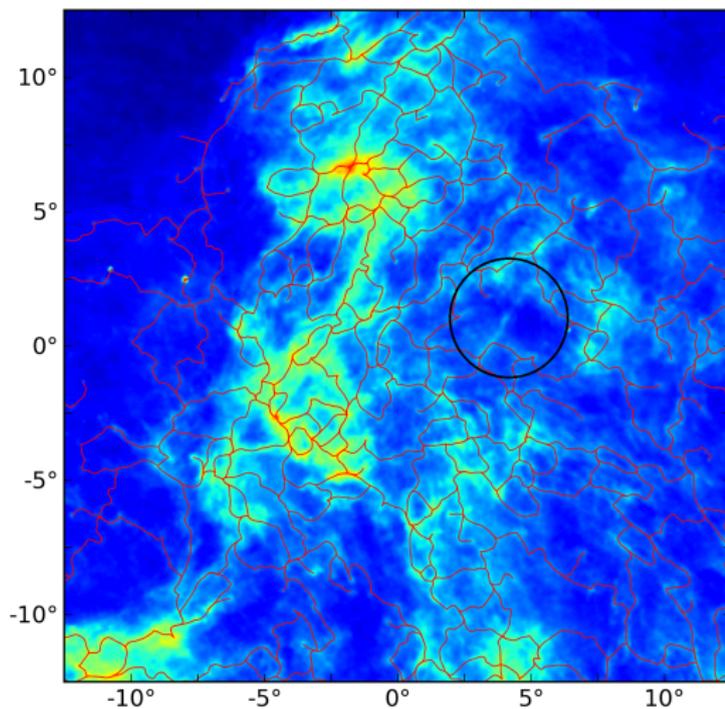
Sommaire

Présentation
des données

Traitement
pour obtenir
l'orientation
des filaments

Statistique
d'orientation

Résultats et
discussion



Résultats et discussion

Squelette image originale (zoom)

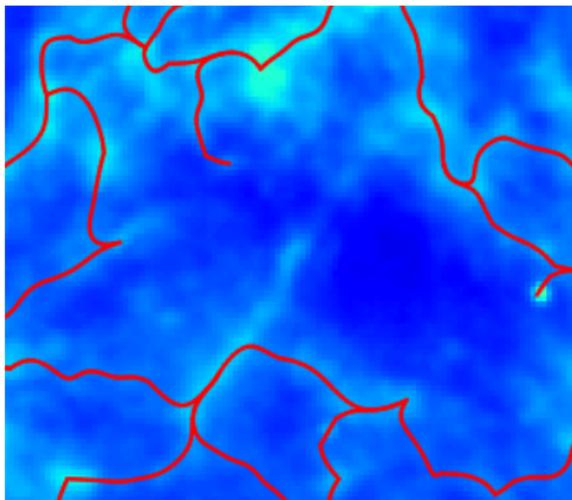
Sommaire

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

