

Vision Multiéchelle



Albert Bijaoui

Laboratoire Cassiopée

Observatoire de la Côte d'Azur

B.P.4229 06304 Nice Cedex (France)

Plan

- Méthode générale de vision en astronomie
- Vision multiéchelle en astronomie
 - MVM: Vision à partir de coefficients seuillés
 - MMVM: Vision à partir des maxima
- Application à l'analyse multibande
- Conclusion

Le modèle classique de Vision

1. Connaître les paramètres de l'image
 - Nature & distribution du bruit
 - Structure et variations de la PSF
2. Déterminer et soustraire la carte du fond
 - Problème de l'Échelle
3. Corréler l'image avec la PSF
4. Seuil de détection et seuillage
5. Étiqueter les domaines connexes
6. Mesure sur les domaines

Limites du modèle classique

- Cartographie du fond
- Extensions lointaines des astres
 - Profils radiaux → Autre modèle
- Mélanges d'objets (blending)
- Superposition d'objets
 - Traitement à différentes échelles
- Pour EFIGI:
 - Trop de variables
 - Dépendance avec l'échelle

Corrélation & Analyse multiéchelle

Lissage adapté à la détection

- **But** : détecter les objets correspondant au patron $p(k,l)$ à la position (k_0, l_0)
- **Hypothèse** : le bruit est gaussien
- **Réponse bien connue** : corrélation entre l'image et le patron
- **Problème 1**: le fond
 - Son estimation dépend de **l'échelle** : le fond est lui même un objet à grande échelle
- **Problème 2** : les interférences entre objets trop proches

Filtre adapté modifié

- Buts:
 - Supprimer le fond
 - Réduire l'influence du voisinage
- Le filtre adapté devient:

$$\psi(k,l) = q(k,l) \frac{p(k,l)S_0 - S_1}{S_2S_0 - S_1^2}$$

- $\Psi(k,l)$ a une moyenne nulle >> le fond est supprimé

→ *Différence entre deux lissages*

$$\psi(k,l) \propto \varphi_1(k,l) - \varphi_2(k,l)$$

Balayage en échelle

- Par **corrélation**, toutes les positions sont balayées
- Les tailles sont balayées par dilatation
>> **analyse multiéchelle**
- Cas d'un patron non isotrope
 - **Balayage en rotation**
 - **Balayage en allongement**
 - **Analyse 5D**
- Choix d'un patron isotrope (3D)
→ *Transformation en Ondelettes*

La transformation en ondelettes continue

- Transforme une fonction $f(x)$ en une fonction $w(a,b)$ à partir d'un patron $\psi(x)$ ayant une **moyenne nulle**
- a : échelle - b : position
- Trois propriétés:
 - **Linéarité** : $w(a,b) = K(a) \langle f(x), \psi((x-b)/a) \rangle$
 - **Covariance avec les translations** :
 $f_0 = f(x-x_0)$ then $w_0(a,b) = w(a, b-x_0)$
 - **Covariance avec les dilatations** :
 $f_s = f(sx)$ then $w_s(a,b) = s^{-1} w(sa, sb)$

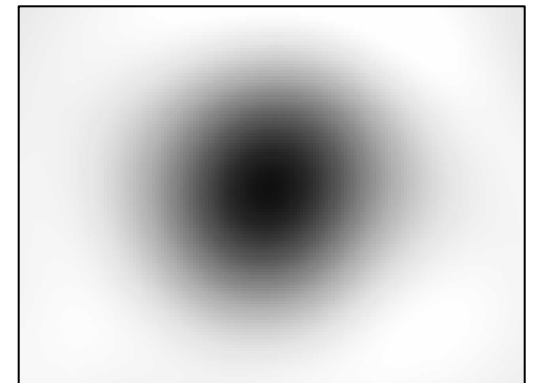
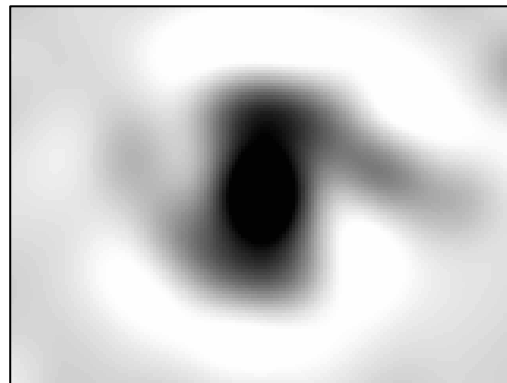
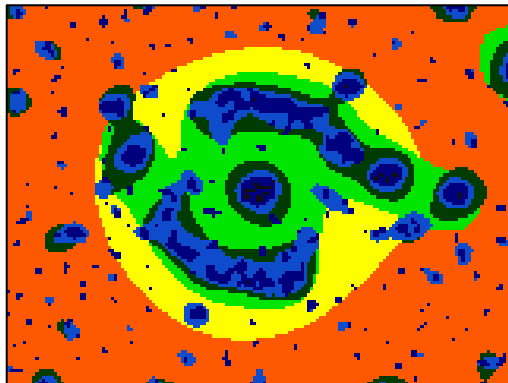
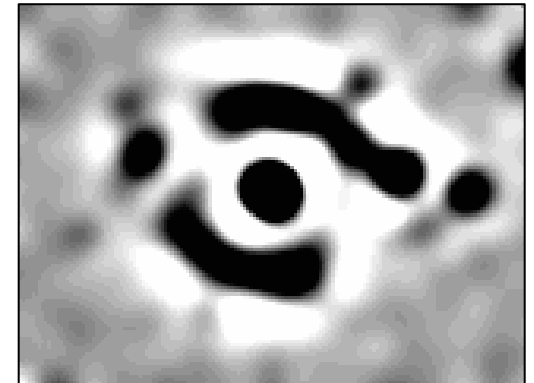
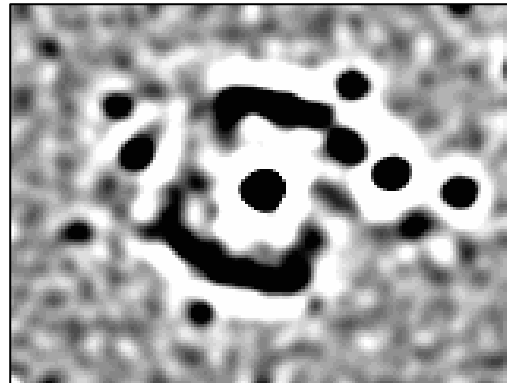
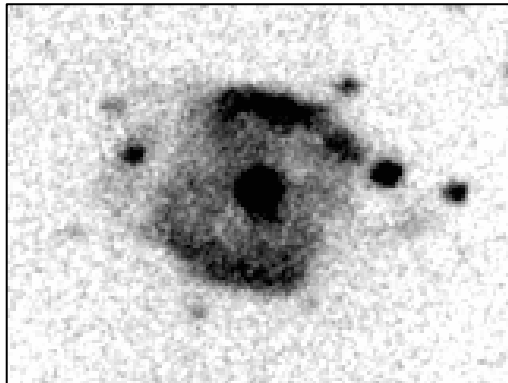
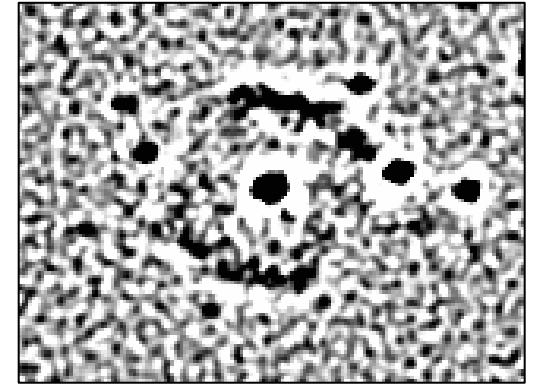
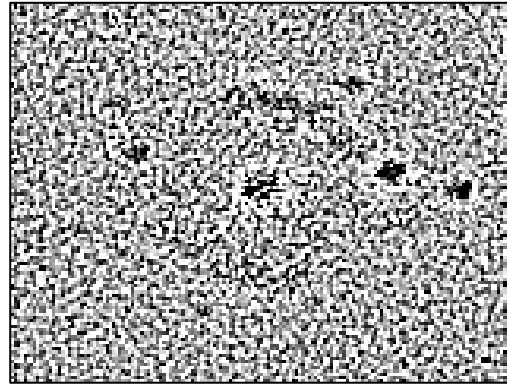
TO Discrètes orthogonales

- Echantillonnage en position / en échelle
- Transformations orthogonales:
 - Rapidité de l'algorithme
 - Non redondance
 - Exactitude de la reconstruction
 - Patrons ne correspondant pas à des formes réelles
 - Sous-échantillonnage à chaque échelle
- Un peu mieux pour EFIGI
 - Représentation plus parcimonieuse

TO Discrètes redondantes

- Algorithme à trous
 - Echantillonnage spatial conservé
 - Accroissement important du nombre de données
 - Suréchantillonnage
- Algorithmes pyramidaux
 - Faible augmentation du nombre de coefficients
 - Les algorithmes pyramidaux semblent plus adaptés à des représentations parcimonieuses, donc pour EFIGI, mais reste le problème du lien géométrique interéchelle

La Nébuleuse Planétaire NGC 40 et sa transformée



Distribution des coefficients en ondelettes

- Si l'image est **localement constante** le coefficient est nul
- En raison du bruit, le coefficient obéit à une loi de distribution (PDF) même si le signal is statistiquement constant (H_0)
- La PDF doit être déterminée dans le cas de H_0
- Plusieurs types de bruit ont été examinés:
 - Gauss, Poisson, Gauss+Poisson, Rayleigh, Exponentiel..

Coefficients significatifs

- De la statistique du bruit on déduit la **PDF** des coefficients $p(w)$
- On considère ($w > 0$):

$$P = \text{Prob}[W > w(i, k, l)] = \int_{w(i, k, l)}^{+\infty} p(W) dW$$

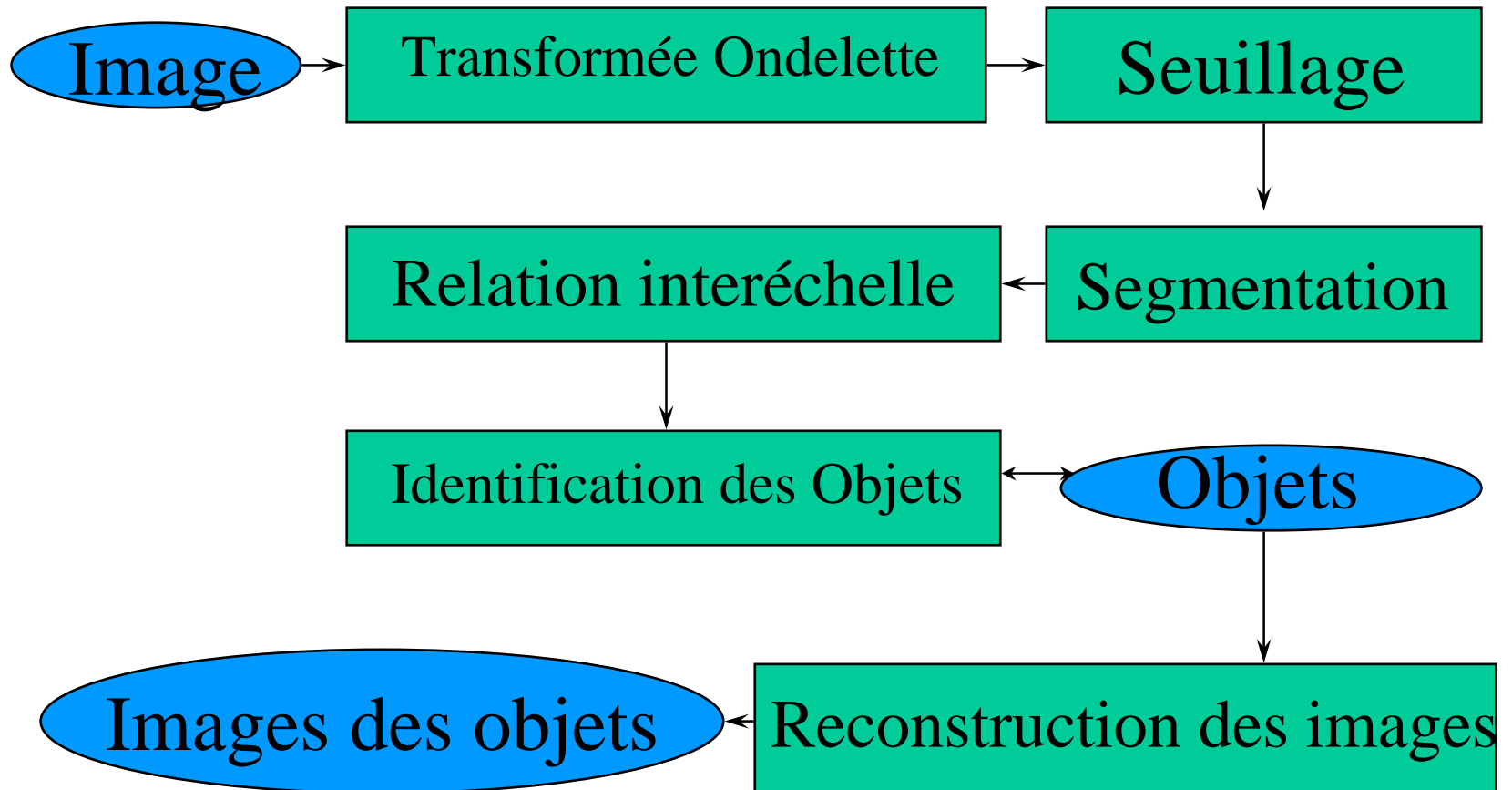
- $P < \varepsilon$ est exclue au niveau ε : le coefficient est **significatif**.
- Ceci au **seuillage** des images ondelettes

Algorithmes de Vision Multiéchelle

Le Modèle de Vision Multiéchelle

- Objets et **connectivité** dans l'espace de la transformée en ondelettes WTS
- Un **volume connexe** de coefficients est associé à chaque objet
- Comment lui **associer** une image?
 - C'est un problème mal posé
 - Il faut donc le régulariser
 - Minimum d'énergie

Le diagramme de MVM



Objet, Image & sa transformée

- À un arbre de domaines donné correspond un volume $S = \{(i, k, l)\}$ dans WTS tel que pour un domaine $D(i, n)$ appartenant à l'objet si $(k, l) \in D(i, n)$ alors $(i, k, l) \in S$
- Un objet $F(k, l)$ conduit aux coefficients dans S : $\mathbf{F} = F(k, l) \Leftrightarrow \{v(i, k, l)\} \quad \forall (i, k, l) \in S$
- On doit avoir

$$v(i, k, l) = w(i, k, l) \quad \forall (i, k, l) \in S$$

Restauration de l'image

- L'équation à résoudre est:

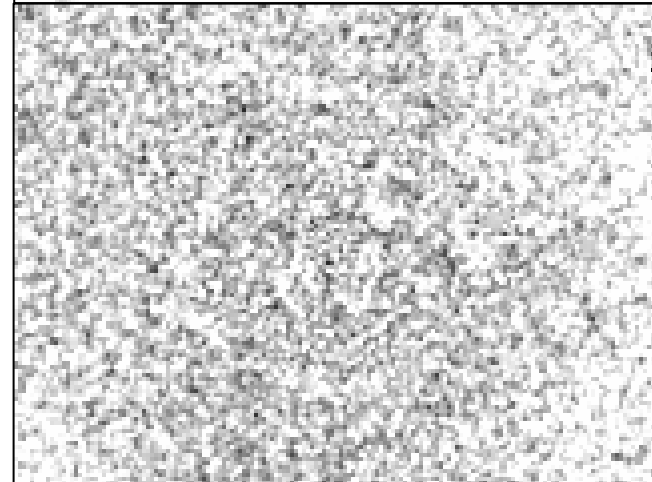
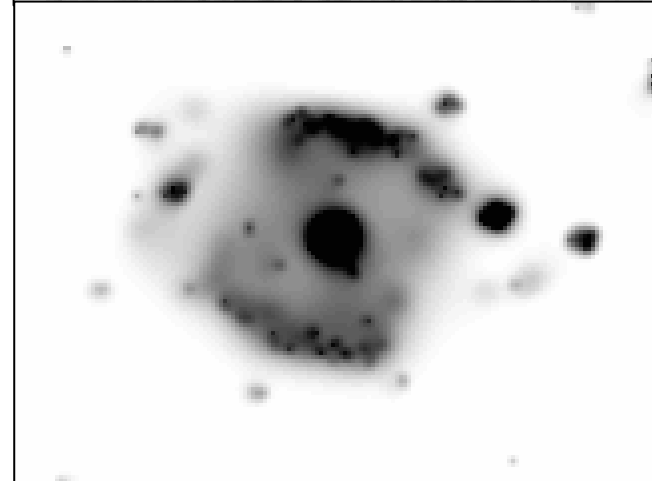
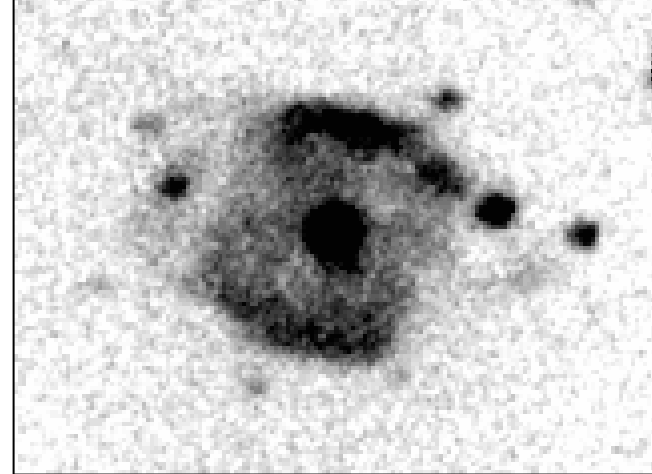
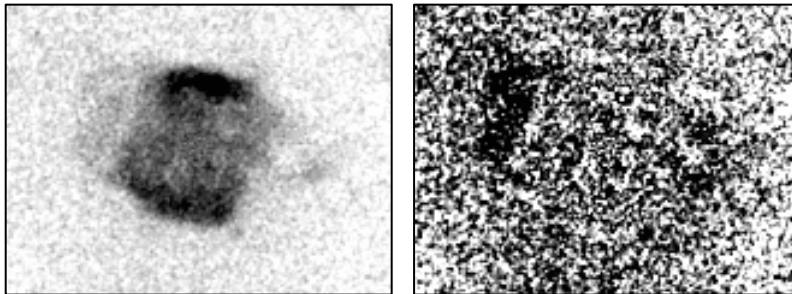
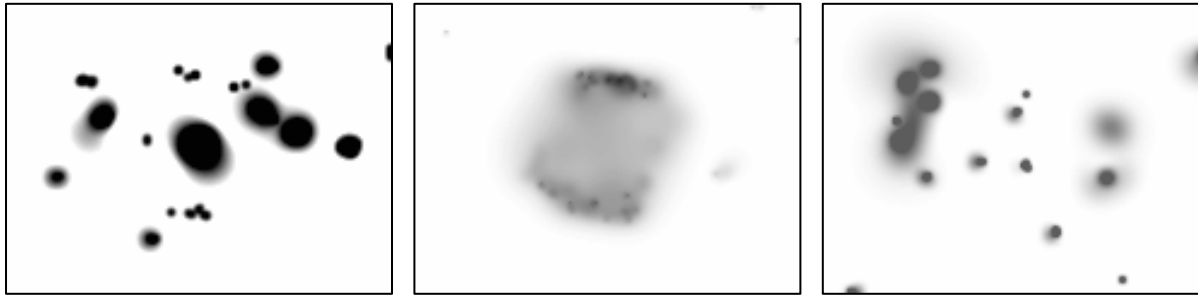
$$\mathbf{V} = (\mathbf{P}_S \circ \mathbf{W})\mathbf{F} = \mathbf{A}\mathbf{F}$$

– Problème mal posé :

- Une infinité de solutions existe
- Exemple : l'image originale
- Régularisation : minimum de l'énergie
- Algorithme : gradient conjugué

Extraction des objets avec MVM

- Seuil 4σ
- 3 itérations



→ Représentation trop lourde pour
EFIGI

Représentation à partir des maxima

- **Maximum local = patron** à cette position et de cette taille
- Seuls les coefficients maximaux sont nécessaires
- La distance entre les maxima doit être suffisamment grand pour éviter les **interférences**
- Les images sont **restaurées à partir des patrons**
- **Schéma itératif**

Décomposition avec MMVM

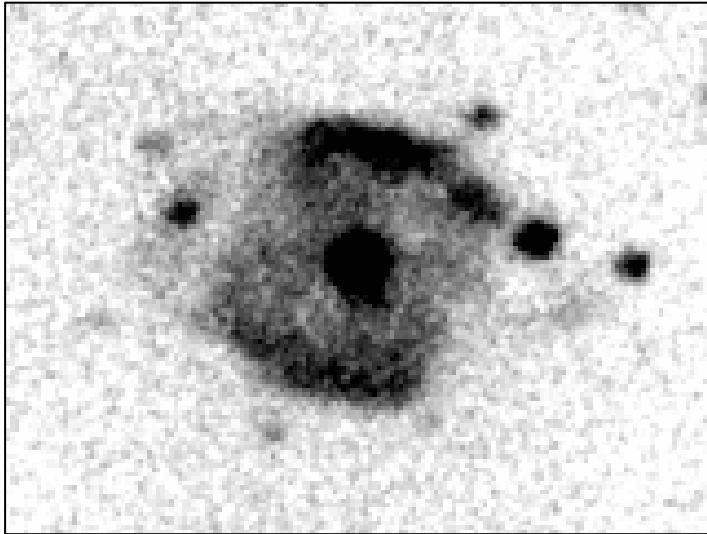


Image originale

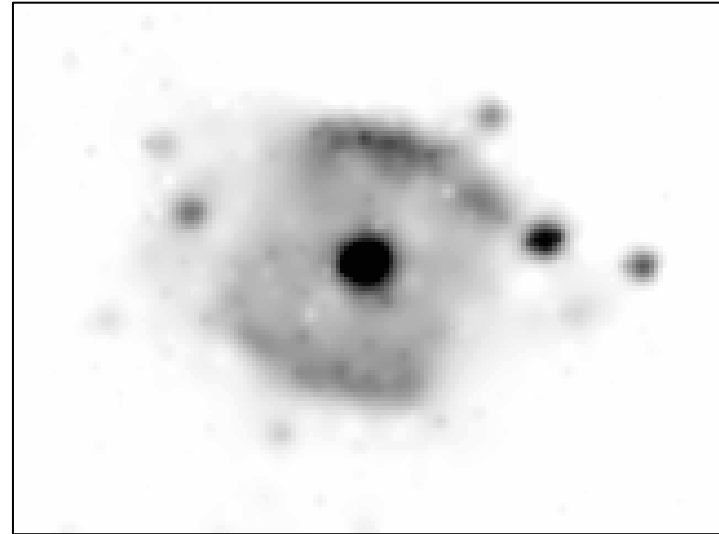
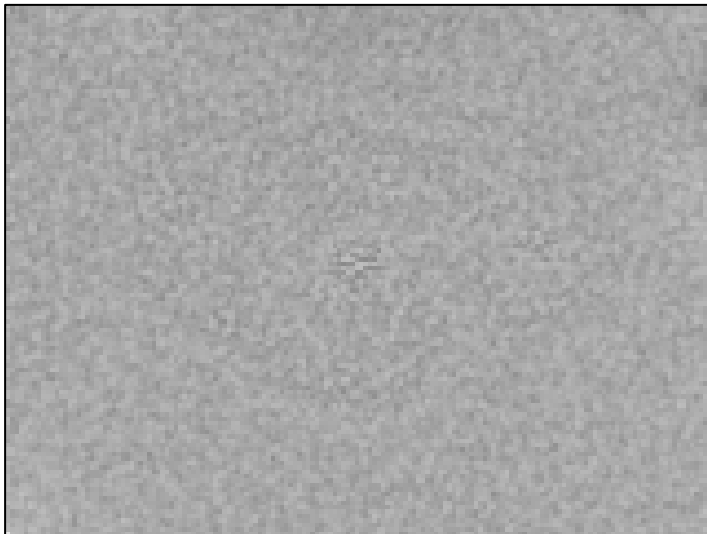


Image restaurée
à partir des
maxima dans WTS



Différence entre
les images

Extraction des objets avec MMVM

- Une **étiquetage** est effectué sur les maxima
 - Projection sur une image binaire
 - Etiquetage de l'image binaire
- L'image est calculée à partir des coefficients relatifs à une **étiquette**
- Réduction des **interférences**
- Restauration rapide des images des objets

Etiquetage des domaines des maxima

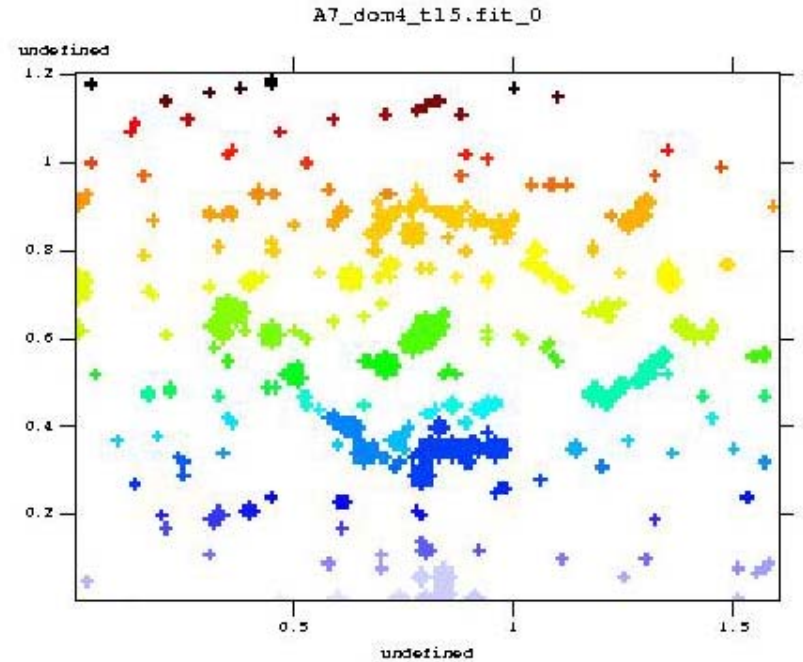
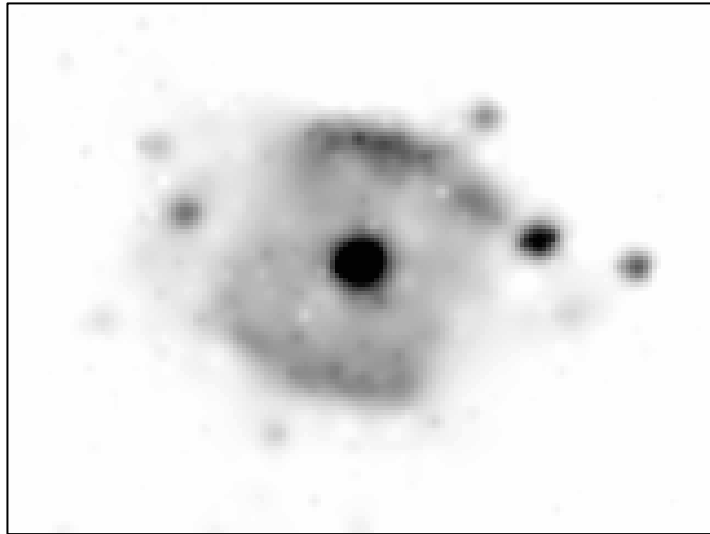
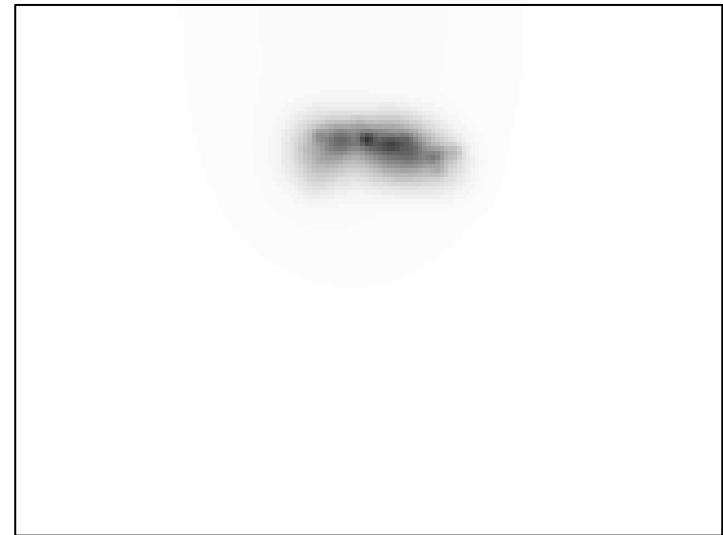
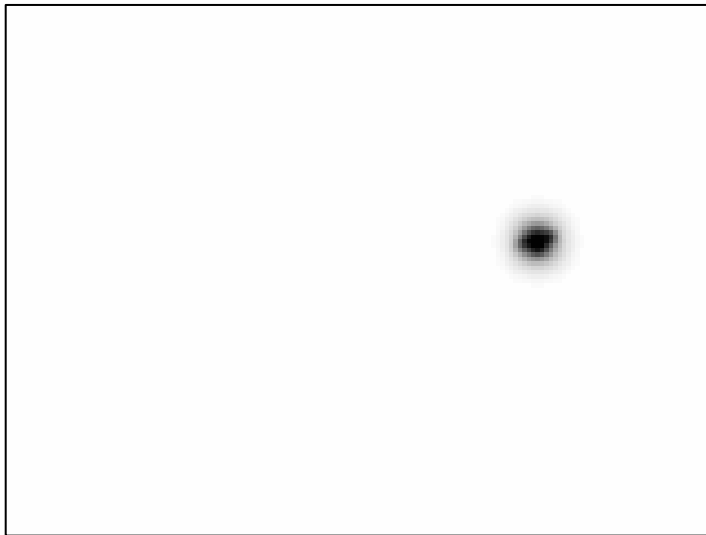
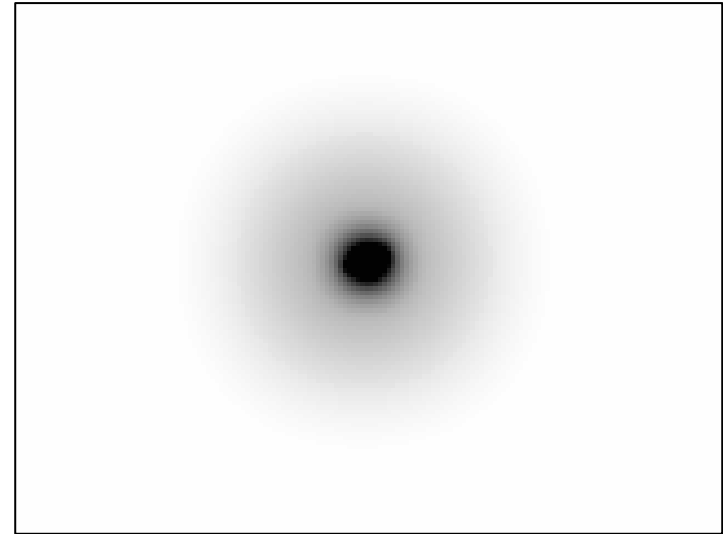
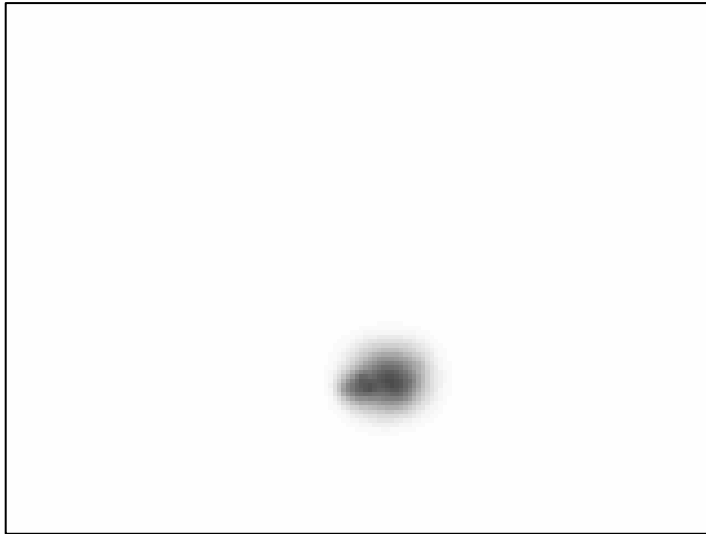


Image restaurée

Image des étiquettes

Représentation parcimonieuse >> EFIGI

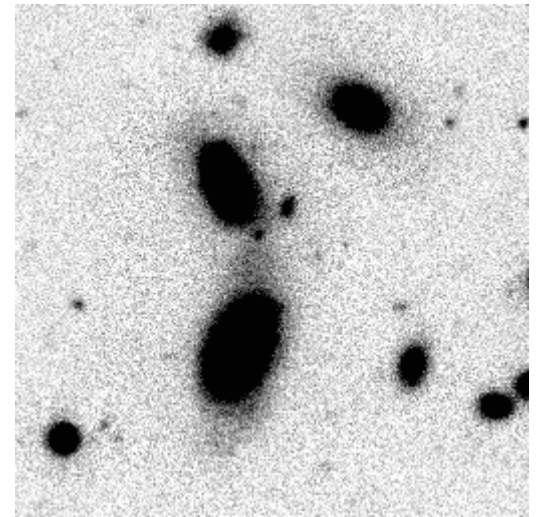
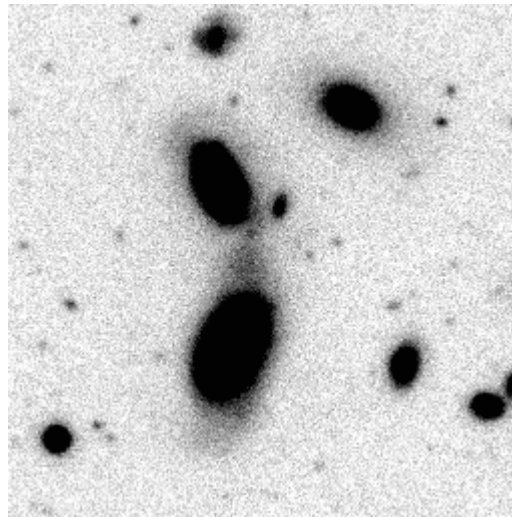
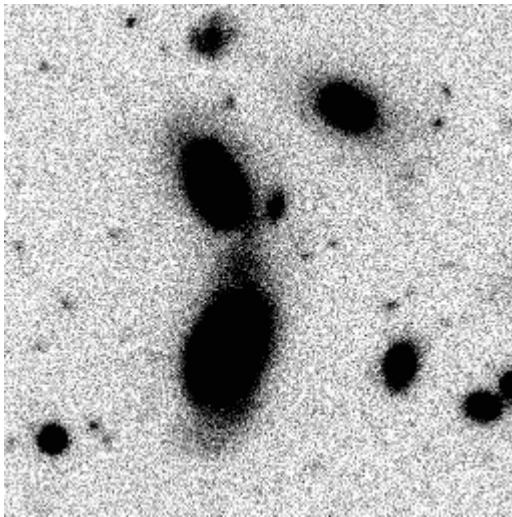
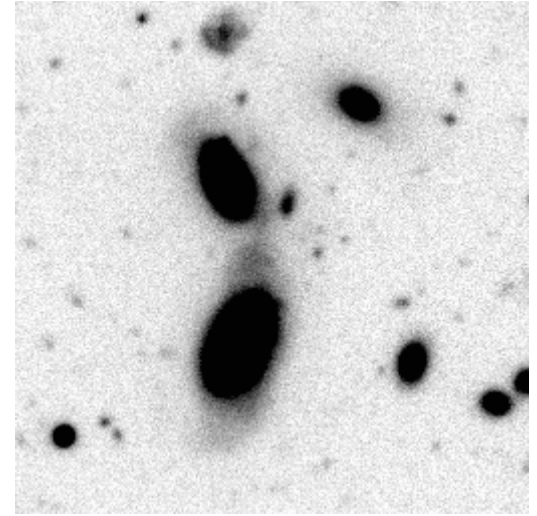
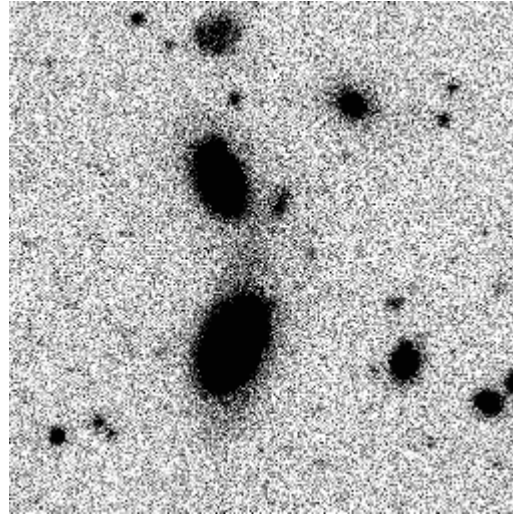
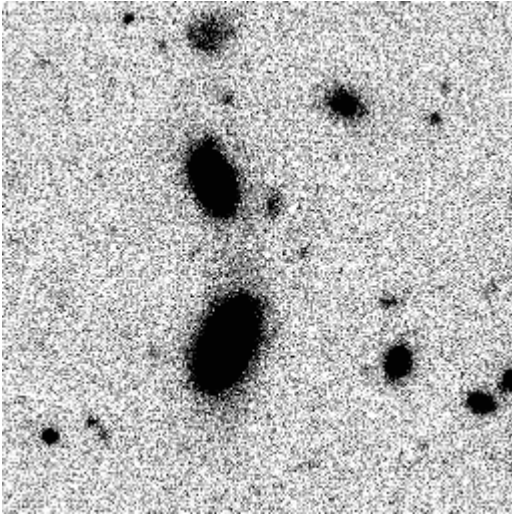
Exemples de reconstruction



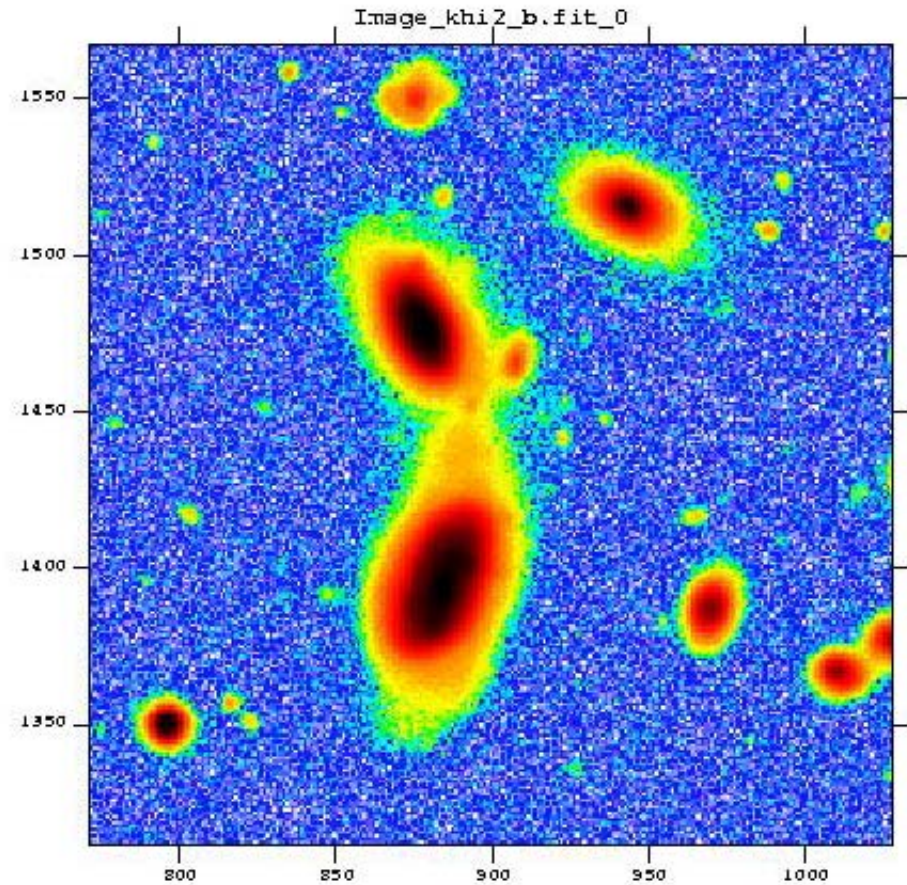
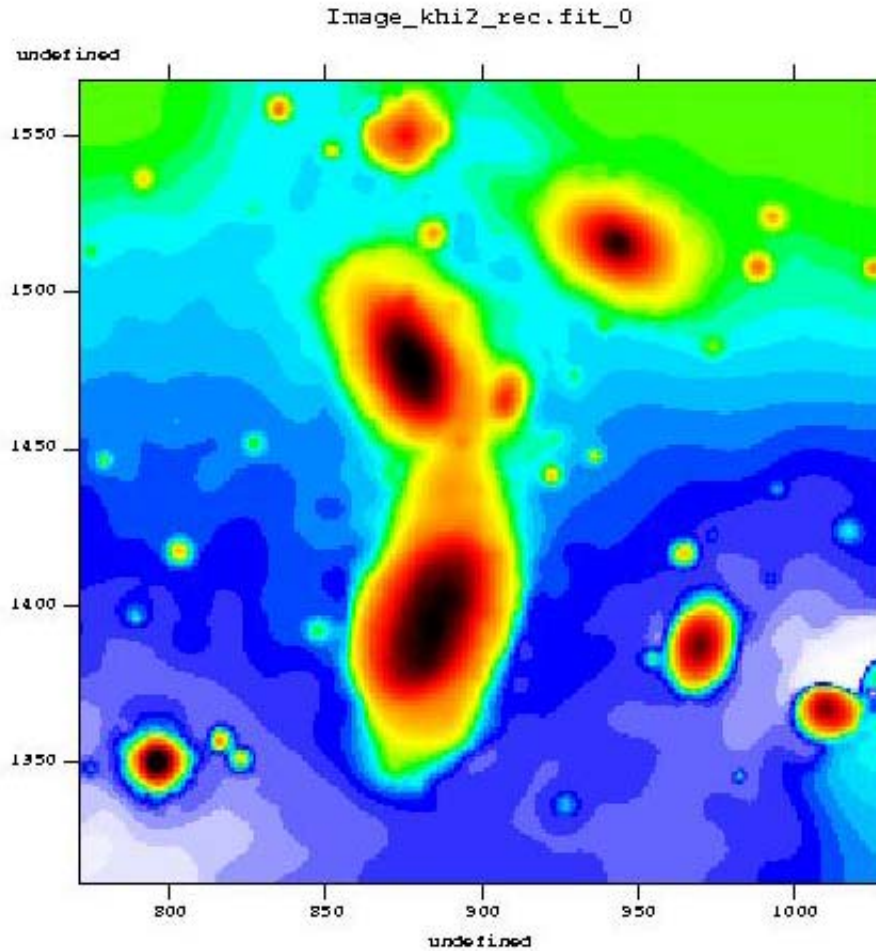
Application à l'imagerie multibande

- Une **image fusion** est obtenue à partir d'un χ^2 local
- MMVM sur l'image fusion donne une décomposition en objets et la localisation correspondante des patrons
- Il suffit **d'adapter les amplitudes** pour restaurer les images, puis leurs objets dans chaque bande

Images U-Up-B-V-R-I

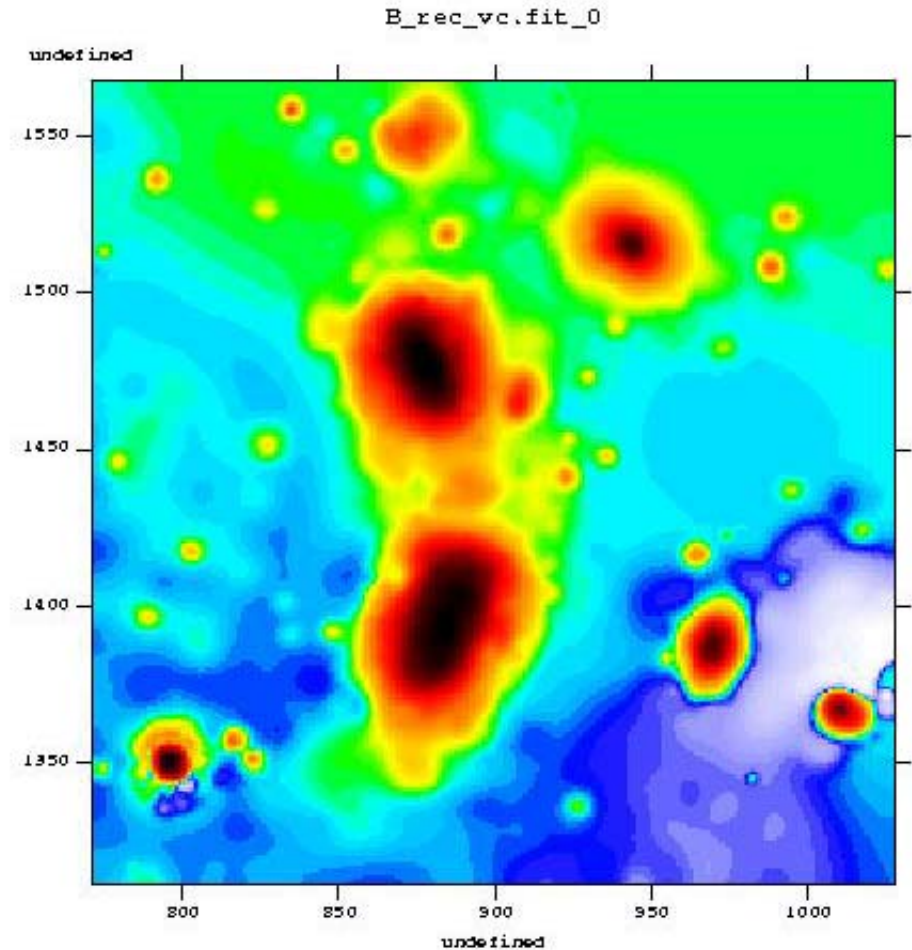


MMVM sur l'image chi-2



Restauration dans chaque bande

- MMVM conduit à un masque de maxima
- On recalcule pour chaque bande les amplitudes optimales des maxima
- On obtient ainsi des mesures cohérentes pour chaque objet pour chaque bande



Des modèles évolutifs

- MMVM conduit à une représentation parcimonieuse
- La **complexité** pour extraire les sources est importante / la méthode générale
 - Facteur 10 / MVM et 50 / MMVM
- La **PSF** peut être introduire dans le patron
- L'extension à d'**autres patrons** permettra d'améliorer l'analyse des structures **allongées**
- MMVM=corrélation avec des patrons adaptés + somme de composantes
 - >> **EFIGI ?**