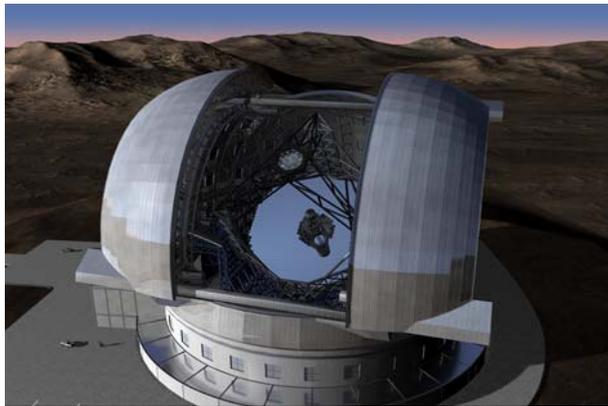


# Traitement d'images en astrophysique

Sandrine Pirès,  
SAP

L'astrophysique s'intéresse à la dynamique et aux propriétés physiques des objets de l'Univers (les étoiles, les planètes, le milieu interstellaire, les galaxies, les amas de galaxies...). Pour comprendre les phénomènes physiques qui gouvernent ces objets, la principale source d'information est la lumière qui nous en vient.



Dans l'Antiquité les observations se faisaient à l'œil nu. Au début du XVIIème siècle, l'œil fut complété par la lunette astronomique puis les premiers télescopes furent développés dans la deuxième partie du XVIIème siècle. Pendant des siècles, les astronomes étaient limités à l'observation de la lumière visible, la qualité de celles-

ci augmentant avec la taille des lunettes ou des télescopes. Mais la lumière visible ne représente qu'une partie du spectre lumineux. Dans la deuxième moitié du XXème siècle, l'envoi de ballons, de sondes spatiales et de satellites allié au développement de nouveaux détecteurs de lumière a permis d'accéder à l'ensemble du rayonnement électromagnétique. Désormais, toute la lumière (rayons gamma, rayons X, ultraviolet, infrarouge, micro-ondes, ondes radio et bien sûr lumière visible) témoigne de ce qui se déroule dans l'univers.

De nos jours, les astronomes disposent d'instruments de pointe pour observer le ciel, dans toutes les longueurs d'onde, depuis le sol ou l'espace, fournissant chaque jour une quantité de plus en plus importante de données. Le traitement de ces



données est aujourd'hui l'un des pôles d'activité les plus innovants et des plus prometteurs pour améliorer nos connaissances en astrophysique. En effet, le développement d'instruments de plus en plus précis exige d'améliorer en parallèle les techniques de traitement d'images associées, pour une meilleure exploitation des instruments existants et futurs.

Le traitement d'images permet d'améliorer la qualité des images pour en extraire l'information pertinente et remonter aux paramètres physiques. Les mathématiques appliquées sont à la base du développement des théories du traitement d'images. Mais le véritable essor n'est survenu que dans les années 1960 quand les ordinateurs sont devenus suffisamment puissants pour travailler sur des images. Aujourd'hui le développement des méthodes de traitement d'images est primordial en astrophysique au même titre que le développement de nouveaux instruments d'observation. Les performances des instruments permettent d'optimiser la qualité des observations, tandis que le traitement d'images permet d'améliorer la qualité des images obtenues et ainsi d'en optimiser l'analyse. Nous allons nous intéresser ici à quelques exemples simples couramment rencontrés dans le traitement d'images astrophysiques.

### Les effets atmosphériques et instrumentaux :

Les images obtenues au sol ou dans l'espace sont toujours limitées en résolution angulaire par la taille du télescope. Avec une optique parfaite, la résolution est inversement proportionnelle au diamètre de l'instrument. Cela signifie que les détails de l'image, dont la dimension angulaire est inférieure à la résolution de l'instrument, ne sont pas distinguables. Cet effet instrumental, présent dans les images obtenues à l'aide de n'importe quel dispositif optique, résulte de son ouverture finie. Jusqu'au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle, les améliorations en résolution s'obtenaient en augmentant le diamètre des instruments. Mais un autre effet empêche les grands télescopes d'atteindre leur résolution angulaire théorique : la turbulence atmosphérique qui, en perturbant la qualité des images en limite la résolution.

Pour l'astronome qui observe un objet céleste à travers son télescope, la turbulence atmosphérique se traduit par l'observation d'une image floue dont les détails de l'image sont peu ou pas visible. Dans un premier temps, pour essayer de réduire cet effet, les astronomes ont fait construire des observatoires en altitude afin de diminuer le parcours de la lumière dans l'atmosphère améliorant ainsi la résolution d'un facteur 2 à 3. Une solution plus efficace consiste à placer des télescopes en dehors de l'atmosphère, en orbite autour de la Terre, éliminant ainsi tous les effets atmosphériques. La résolution de l'image est alors limitée par la taille des télescopes que l'on peut envoyer dans l'espace.

La volonté d'augmenter la résolution des images étant toujours un défi majeur en astrophysique, le traitement d'images est venu proposer une solution élégante à ce problème. Pour comprendre le principe de cette méthode, il faut tout d'abord comprendre le problème de perte de résolution.

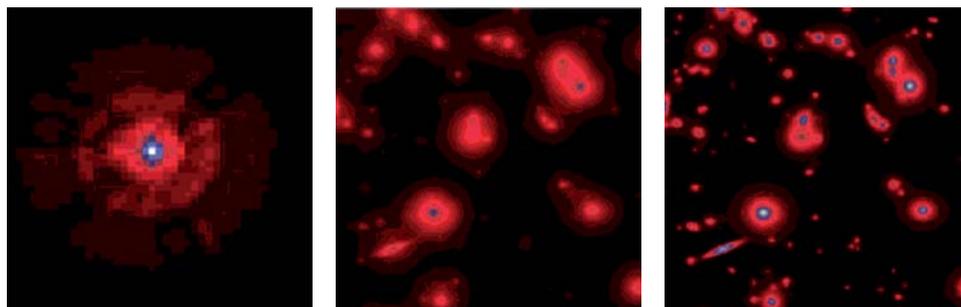
## La perte de résolution :

La résolution angulaire correspond au plus petit angle séparant deux points que l'on parvient à voir comme distinct l'un de l'autre. Pour l'œil humain, la résolution angulaire est d'environ 1 minute d'arc. Pour un système d'imagerie, la résolution angulaire dépend du diamètre de l'objectif. L'objectif agit comme un filtre qui enlève plus ou moins les hautes fréquences du signal. Cela se traduit par un étalement de l'objet observé et une perte des détails. Mathématiquement, on peut le décrire comme une sorte de produit dit de " convolution " entre l'objet O et une fonction donnée H qui correspond à la réponse du système d'imagerie (incluant les effets instrumentaux et atmosphériques) :

La convolution est le remplacement de chaque pixel de l'objet O par une combinaison linéaire de ses pixels voisins. Les coefficients de pondération étant définis à partir de la fonction H.

## La déconvolution :

En pratique, pour connaître la réponse d'un système d'imagerie H, on analyse l'image d'une source ponctuelle, une étoile par exemple. Idéalement, cette image devrait être ponctuelle. En pratique c'est une grosse tache dont la taille est inversement proportionnelle au diamètre du télescope et dépendant de la turbulence atmosphérique au moment de la prise de vue. Cette tache n'est rien d'autre que la réponse du système d'imagerie H (voir la figure 1 à gauche). Connaissant la réponse du système d'imagerie H, on peut alors par une méthode dite de " déconvolution " retrouver l'objet O. Pour cela, on réalise une sorte de division entre I et H. Il existe un certain nombre de méthode de déconvolution donnant des résultats plus ou moins bons. Mais l'intérêt de cette méthode est qu'elle permet de se débarrasser de la réponse du système d'imagerie sans avoir à augmenter indéfiniment la taille de l'objectif ou à sortir de l'atmosphère (voir figure 1).

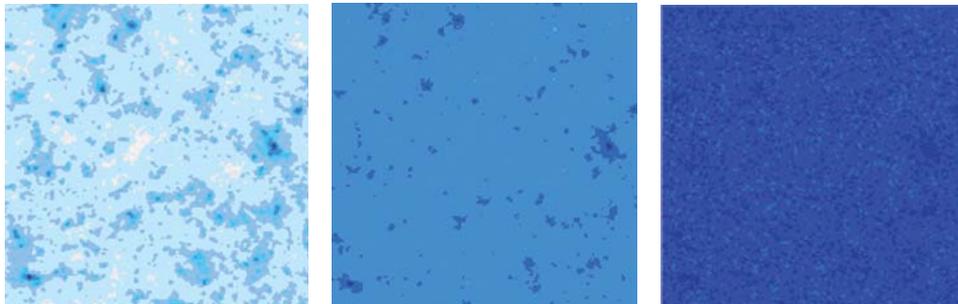


**Figure. 1** : A gauche : la réponse du système d'imagerie, au milieu : une simulation de galaxies perturbée par les effets instrumentaux, à droite : le résultat obtenu par une méthode dite de " déconvolution "

## Les bruits de mesure :

En plus d'être limitées en résolution angulaire, les images obtenues par les instruments de mesure sont toujours entachées d'une incertitude plus ou moins grande. Toute observation du ciel comporte ainsi, en plus du signal, des perturbations qui se superposent à ce signal et que l'on qualifie de " bruit ". Mathématiquement, l'image observée peut alors s'écrire de la manière suivante :

où  $N$  représente le bruit de mesure. On définit alors le rapport signal-sur-bruit d'un signal comme le rapport des énergies du signal et du bruit. Ce rapport signal-sur-bruit conditionne la qualité de l'exploitation des données. S'il est faible, on ne voit que le bruit (voir figure 2)



**Figure 2** : De gauche à droite : la même carte de matière noire simulée avec un rapport signal-sur-bruit respectivement de 2, 0.5 et 0.1

## Amélioration du rapport signal-sur-bruit :

Les méthodes classiques pour améliorer le rapport signal/bruit consiste à essayer d'optimiser les instruments de mesures (en réduisant par exemple le bruit de fond ambiant) ou les caractéristiques d'observations (en jouant sur le temps de pose ou l'ouverture du télescope).

## Le filtrage :

Le traitement d'images propose une méthode pour améliorer la qualité de l'image une fois l'acquisition réalisée : le filtrage. L'un des filtres les plus simples est le filtre moyenneur qui consiste à remplacer chaque pixel de l'image par une moyenne arithmétique estimée à partir du pixel considéré et de ses pixels voisins. Un des filtres les plus utilisés est le filtre gaussien, basé sur le même principe, où la moyenne est pondérée de sorte à favoriser les pixels les plus proches. Les coefficients de pondération sont calculés à partir de la forme d'une fonction Gaussienne d'où son nom.

Des méthodes plus compliquées de filtrage ont été récemment développées s'appuyant sur la recherche de nouvelles représentations du signal. Le principe de ces méthodes consiste à transformer le signal de sorte que le résultat ait un rapport signal-sur-bruit plus élevé. Par exemple, sur la figure 3 à gauche, on voit bien qu'une représentation qui sommerait tous les pixels d'une même colonne de l'image ferait ressortir la ligne dans cette nouvelle représentation. En bas à gauche, on peut voir le résultat de cette opération. On voit ainsi que dans cette nouvelle représentation, il devient facile de séparer la contribution du signal de celle du bruit. Si on met à zéro les coefficients inférieurs à une certaine valeur seuil (voir le résultat en bas à droite) la transformation inverse fournit une image filtrée de l'image de départ (en haut à droite).

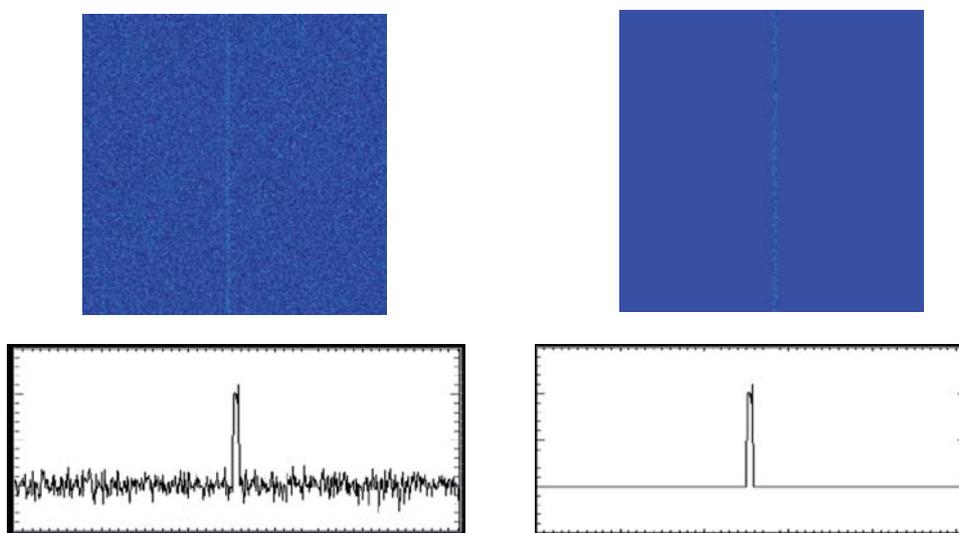
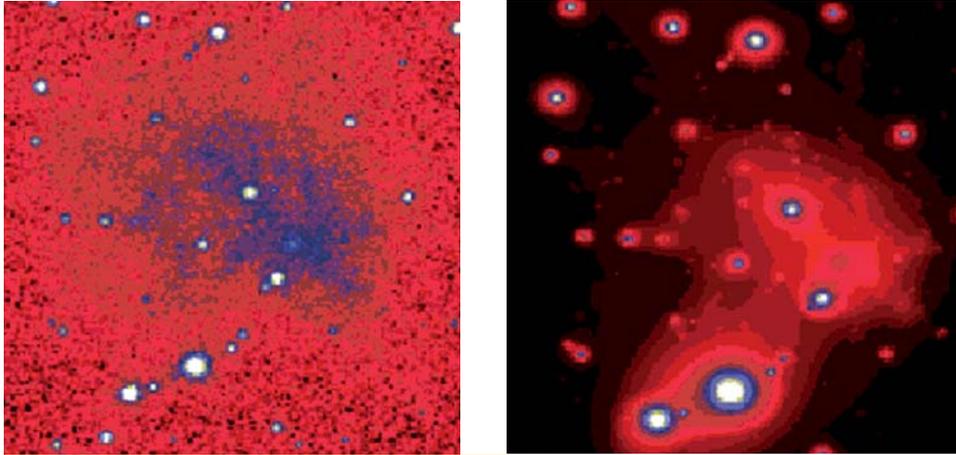


Fig. 3 : En haut à gauche : une image représentant une ligne avec du bruit. En bas à gauche : la même image dans une nouvelle représentation améliorant le rapport-sur-bruit. En bas à droite : le résultat dans cette nouvelle représentation après seuillage. En haut à droite : l'image filtrée par cette méthode.

Bien évidemment cette représentation ne va pas permettre d'augmenter le rapport signal-sur-bruit de toutes les images. Il existe pourtant des représentations qui permettent de bien représenter une grande variété d'images : c'est le cas des représentations en " ondelettes ". Sur la figure 4, on peut voir un exemple de filtrage, sur l'image d'un pulsar et de son nuage associé, réalisé en utilisant une représentation en ondelettes.



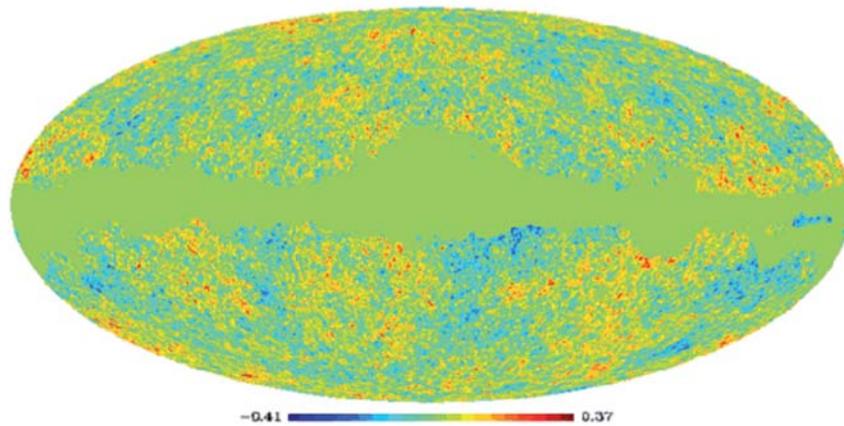
**Figure 4** : L'image à gauche représente le pulsar PSR B0540-69.3 et son nuage. Celle de droite représente le résultat d'un filtrage obtenu par une représentation en ondelettes.

### Les données manquantes :

Autre problème qui peut survenir pendant les observations : la perte de certaines données. Cette mutilation de l'information complique souvent son exploitation. Les causes de perte de données sont multiples : défauts sur la caméra CCD, présence d'objets qui font saturer le détecteur (étoiles brillantes ou rayons cosmiques) ou défaillance temporaire des instruments d'observation.

### Impact des données manquantes sur l'exploitation des données.

Le problème des données manquantes est vaste et quasiment inévitable ce qui rend indispensable un traitement approprié. Celui-ci dépend à la fois de la quantité de données manquantes et de leur répartition mais aussi de l'information que l'on cherche à extraire des données sauvegardées. La figure ci-dessous montre le résultat obtenu par le satellite WMAP après 5 ans d'observation du fond diffus cosmologique. Les données masquées au niveau de l'équateur correspondent à une zone où le signal n'a pu être mesuré précisément à cause de l'absorption due aux poussières situées dans le plan galactique. Cette zone masquée pose problème lors de l'analyse de cette carte à l'aide d'opérateurs qui agissent sur l'ensemble des pixels car le masque introduit des erreurs dans l'estimation des paramètres.

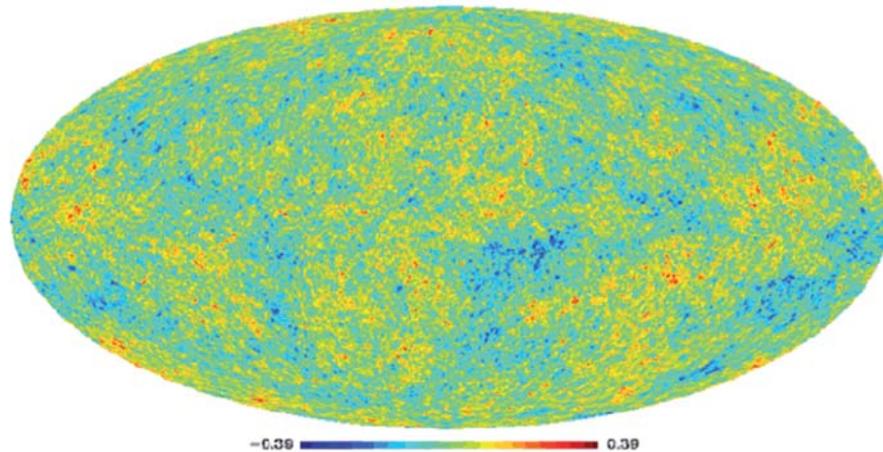


*Figure 5* : Résultat obtenu par le satellite WMAP après 5 ans d'observation du fond diffus cosmologique. Le masque au niveau de la zone équatoriale correspond à la zone d'absorption du plan galactique.

### Les méthodes pour corriger de la présence de masques :

De nombreux travaux ont été réalisés pour corriger de la présence de masques. La plupart proposent de corriger les paramètres calculés en présence du masque de sorte à estimer la vraie valeur des paramètres. Nous présentons dans la figure ci-dessous, le résultat obtenu à l'aide d'une méthode développée récemment dont le principe est tout autre. Cette méthode est appelée " inpainting " par analogie avec les techniques utilisées autrefois par les peintres pour restaurer les œuvres d'art détériorées.

Sur la figure 6 on peut voir le résultat de la méthode d'inpainting sur les données WMAP. Les données restaurées ne sont pas les vraies données mais elles s'en rapprochent suffisamment pour permettre une bonne exploitation de cette carte.



*Figure 6* : Résultat obtenu par la méthode d'inpainting sur les données de WMAP (voir Fig. 5). Les données restaurées sont cohérentes avec les données en dehors du masque.

## Conclusion :

Le traitement d'images permet de modifier le contenu des images afin d'en tirer l'information utile pour une application donnée. L'Astrophysique qui repose sur l'observation du ciel est une base idéale pour l'application et le développement de nouvelles méthodes de traitement d'images. Nous avons présentés ici plusieurs applications courantes du traitement d'images en astrophysique. Mais les possibilités offertes par le traitement d'images sont très vastes et il peut également permettre de résoudre des problèmes bien spécifiques. Aujourd'hui, le traitement d'images est indispensable au traitement, à l'analyse et à l'interprétation des données Astrophysique et ce domaine est en plein essor.

*S.P.*

**Pour en savoir (un peu) plus**

