

Mesurer l'Univers avec des images

Emmanuel Bertin

Institut d'Astrophysique de Paris

L'Univers en image

Par rapport à d'autres types d'images, les images astronomiques ont un contenu exploitable relativement simple : des objets lumineux, aux contours flous (étoiles, nébuleuses ou galaxies), sur un fond plus sombre.

On peut voir ces images comme de grands paysages au relief plus ou moins tourmenté au sein duquel il faudrait répertorier montagnes et collines.

Pour répondre aux questions posées par l'astrophysique moderne, on est amené à réaliser des statistiques extrêmement fines sur les images.

Deux exemples :

- la mesure des petites déflexions du trajet lumineux qu'imprime, sur des galaxies d'arrière-plan, la masse combinée de galaxies d'avant-plan permet de "peser" indirectement la matière invisible dans l'Univers.

Cela impose de mesurer des effets d'aplatissement moyen dans certaines directions, avec une précision meilleure que 0,1%, sur des dizaines de milliers de petites taches floues (les galaxies d'arrière-plan) à peine visibles!

- Les étoiles ne sont pas fixes sur la voûte céleste, elle tournent avec nous autour de la Galaxie, mais sur des orbites variées. Alors qu'il fallait auparavant attendre plusieurs dizaines d'années pour voir *bouger*

quelque-chose, la qualité des images modernes alliées à des techniques précises de mesure permettent la détection de ces mouvements entre plusieurs poses sur un intervalle d'un an, pour un déplacement de quelques centièmes de pixels seulement! Mais le premier défi des astronomes reste le volume de données à analyser ; les expériences actuelles produisent plusieurs dizaines de téra-octets d'images, parmi lesquels des milliards d'étoiles doivent être détectés, mesurés et classés automatiquement. Mesurer l'Univers avec des images Une autre difficulté est la dégradation par la turbulence atmosphérique des images prises depuis la Terre, imposant une limite en pouvoir de résolution sur le ciel, une sorte de *flou*.

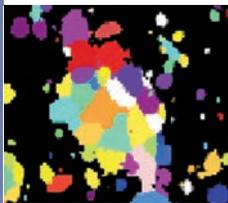
Dans les meilleurs observatoires, cette limite est d'environ 1/2 seconde d'angle, une acuité tout-de-même 100 fois supérieure à celle de l'oeil nu. Les techniques d'optique, dites *adaptatives* permettent aujourd'hui, sous certaines conditions, de corriger le flou de la turbulence, mais malheureusement sur de tout petits champs seulement : quelques secondes d'angle, à peine le diamètre apparent d'une planète comme Mars ! Pour pouvoir observer des images parfaitement nettes sur de plus grandes étendues du ciel, il faut les obtenir depuis l'espace, ce que fait le télescope spatial Hubble aujourd'hui, et ce que feront d'autres télescopes à plus grand champ, demain.

Mesurer l'univers avec des images

De la difficulté de traiter les images astronomiques.

Près de 500 images numériques de la caméra MEGACAM ont été combinées informatiquement pour générer l'image ci-contre. Le champ illustré sur la photo encadrée ne représente qu'un quarante millième de l'étendue de la voûte céleste. Il se situe dans la constellation de la Baleine, près de l'équateur céleste, et a été choisi, entre autres, pour son absence d'étoiles brillantes. Les trois séries d'observations de ce champ, réalisées aux longueurs d'onde du vert, rouge et proche infrarouge, sont présentées ici respectivement dans les couleurs primaires bleu, vert et rouge, reconstituant de manière approximative (mais exagérée) après traitement numérique, les vraies couleurs des astres du ciel profond.

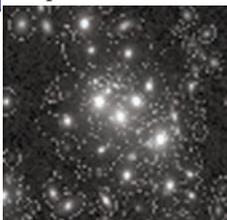
La quantité d'images obtenue par les caméras à grand champ est telle qu'il est impossible pour les astronomes de les examiner une par une. Beaucoup d'entre-eux ne les regardent même jamais! L'examen des



images est confié à des programmes informatiques qui extraient automatiquement une liste complète des sources

qui s'y trouvent.

Chaque astre est ainsi détecté par filtrage et segmentation puis



mesuré : barycentre, étendue, intensité totale, forme ; et enfin classé selon son aspect : étoile, galaxie, ou défaut. Sur une image comme celle-ci, on peut détecter plus de 400 000 sources astronomiques. Avec 400 000 points pour chaque mesure, on peut faire beaucoup de choses :

- * Compter les galaxies par tranche d'intensité apparente, pour chercher à savoir si elles étaient plus nombreuses ou lumineuses par le passé. En effet, en raison de la vitesse finie de la lumière, regarder loin c'est regarder dans le passé.

- * Compter les sources par tranche de couleur, ce qui permet entre autres de dater les populations d'étoiles (les étoiles bleues vivent moins longtemps).

- * Etudier la répartition des sources sur la zone observée, afin d'identifier amas d'étoiles, super-amas de galaxies.

L'expansion globale de l'Univers fait que plus une galaxie est loin de nous, plus elle semble s'éloigner rapidement.

Mesurer l'univers avec des images

L'effet Doppler-Fizeau provoque un décalage vers le rouge de la lumière que nous recevons d'une galaxie, décalage d'autant plus important que celle-ci est lointaine. Très peu de flux nous parvient aux longueurs d'onde du bleu et du vert.

Les galaxies elliptiques qui émettent peu de lumière dans le bleu, apparaissent jaunâtres lorsqu'elles sont proches et franchement rouges lorsqu'elles sont loin.

Dans le domaine de l'analyse automatique des images astronomiques, les efforts actuels se portent notamment sur la mesure automatique et fiable des paramètres de forme des galaxies : estimation précise de l'ellipticité réelle, identification des bras spiraux,...



Galaxie spirale dans la constellation de la Baleine

La caméra électronique utilisée est une MEGACAM. Avec ses 350 mégapixels répartis sur une mosaïque de 36 détecteurs, elle reste encore actuellement la plus grande caméra de ce type au monde. Son champ de vue lui permet de couvrir plus de 4 fois la surface apparente de la pleine lune à la résolution de 0,19 seconde d'angle, en une seule pose! Le remplissage des "trous" entre détecteurs est effectué numériquement en combinant plusieurs poses décalées sur le ciel. Les calibrations en position et en



intensité, ainsi que les mises en correspondance et sommations des images sont entièrement automatisées au sein du pipeline TERAPIX à l'Institut d'Astrophysique de Paris.



Grâce à de nombreuses machines opérant en parallèle, et

à 100 téra-octets* d'espace de stockage, un centre de traitement comme TERAPIX est prévu pour traiter de manière soutenue 100 fois plus de données, au rythme de plus de 10 millions de pixels par seconde.

EB

*Un téra-octet est égal à 1 000 Go

Pour en savoir plus

CFHT - IAP
terapix.iap.fr
www.cfht.hawaii.edu