

Muse : un cube de données, celui du Deep Field South

Alain Brémond

En 1998, le Hubble Space Telescope photographiait une partie du ciel dans laquelle il ne semblait pas y avoir de galaxie. La surprise a été d'en découvrir un très grand nombre (figure 1).



Figure 1 : image du HST du Deep Field South (1998).

L'équipe MUSE a décidé de reprendre ce champ et là aussi, ils ont eu la surprise de découvrir 26 galaxies faibles non visible sur la plus récente photo du satellite Hubble.

Le champ étudié par Muse est un carré de 1 minute d'arc. La résolution spectrale est de 2,4 Å.

Le résultat final de cette étude est représenté sur la figure 2 ci-dessous.

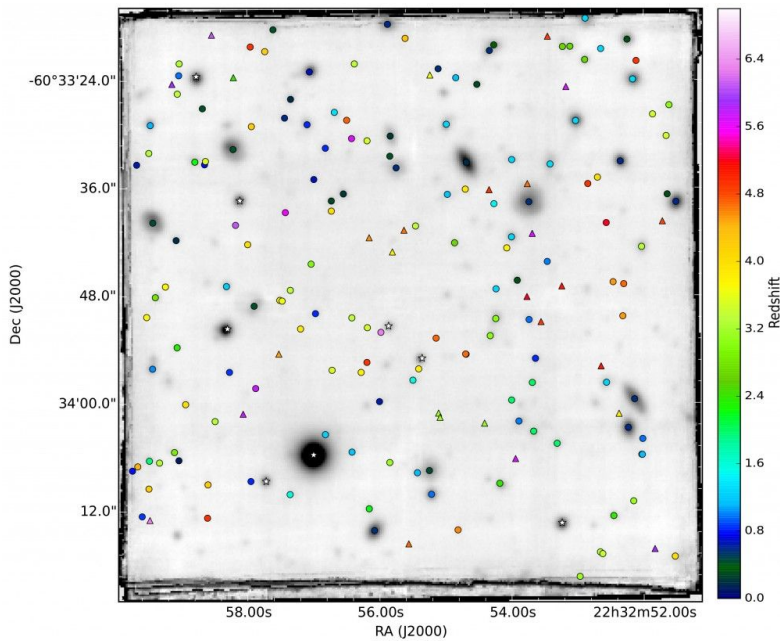


Figure 2 : En dehors de huit étoiles présentes dans le champ, les autres objets sont des galaxies dont l'échelle colorée indique le redshift.

Grâce à l'amabilité de Roland Bacon et ses conseils nous avons eu la possibilité d'examiner les cubes de données de ce travail.

Le fichier analysé est au format fits : 'DATACUBE-HDFS-1.24.fits'

Nous avons utilisé les applications Python *Astropy* et *aplpy* pour analyser ce cube. Deux petits programmes ont été écrits pour cela.

La première étape a été de déterminer le contenu du cube :

Filename: DATACUBE-HDFS-1.24.fits

| No. | Name | Ver | Type | Cards | Dimensions | Format |
|-----|---------|-----|------------|-------|------------------|---------|
| 0 | PRIMARY | 1 | PrimaryHDU | 22 | () | |
| 1 | DATA | 1 | ImageHDU | 27 | (326, 331, 3641) | float32 |
| 2 | STAT | 1 | ImageHDU | 25 | (326, 331, 3641) | float32 |
| 3 | DQ | 1 | ImageHDU | 27 | (326, 331, 3641) | uint8 |

Il contient quatre fichiers dont les trois derniers nous intéressent.

La première extension DATA contient les valeurs de données en 10^{-20} erg.s-1.cm-2.A-1.

La seconde STAT contient les valeurs de variance estimées en unités 10^{-40} erg.s-1.cm-2.A-1.

Le n°1 contient les données sous forme d'une matrice 326 X 331 X 3641

Voici son en-tête :

| Mots-clefs | Valeur | Explication |
|------------|--------------------------|--|
| XTENSION= | 'IMAGE ' | / Image extension |
| BITPIX | = -32 | / array data type (32 bits signés) |
| NAXIS | = 3 | / number of array dimensions |
| NAXIS1 | = 326 | x |
| NAXIS2 | = 331 | y |
| NAXIS3 | = 3641 | z longueurs d'onde (0 à 3641 A) |
| PCOUNT | =0 | / number of parameters |
| GCOUNT | =1 | / number of groups |
| EXTNAME | = 'DATA ' | / extension name |
| CTYPE1 | = 'RA---TAN' | / Right ascension, gnomonic projection |
| CUNIT1 | = 'deg ' | / Units of coordinate increment and value |
| CRVAL1 | = 338.23092027 | / [deg] Coordinate value at reference point |
| CRPIX1 | = 167.401033093 | / Pixel coordinate of reference point |
| CD1_1 | = -5.555555555555555E-05 | / partial of first axis coordinate w.r.t. x |
| CD1_2 | = 0.0 | / partial of first axis coordinate w.r.t. y |
| CTYPE2 | = 'DEC--TAN' | / Declination, gnomonic projection |
| CUNIT2 | = 'deg ' | / Units of coordinate increment and value |
| CRVAL2 | = -60.56375796 | / [deg] Coordinate value at reference point |
| CRPIX2 | = 163.017401336 | / Pixel coordinate of reference point |
| CD2_1 | = 0.0 | / partial of second axis coordinate w.r.t. x |
| CD2_2 | = 5.555555555555556E-05 | / partial of second axis coordinate w.r.t. y |
| CRVAL3 | = 4750.0 | / Start in world coordinate |
| CRPIX3 | = 1.0 | / Start in pixel |
| CDELTA3 | = 1.25 | / Step in world coordinate |
| CTYPE3 | = 'LINEAR ' | / world coordinate type |
| CUNIT3 | = 'Angstrom' | / world coordinate units |
| FSCALE | = 1.0 | / Flux scaling factor |

C'est la description des données : coordonnées (AD et dec) dans le système du WCS et divers renseignements sur les pixels . On s'attend à disposer de 3641 matrices x,y où x est l'ascension droite et y la déclinaison ; chaque pixel de cette matrice correspondant à un niveau de gris. Le tableau est au standard du format fits (Flexible Image Transport System)¹ . Ces codes permettent aux logiciels de construire une image résultante avec les unités correctes.

Le second fichier est identique.

Et voici le contenu du troisième.

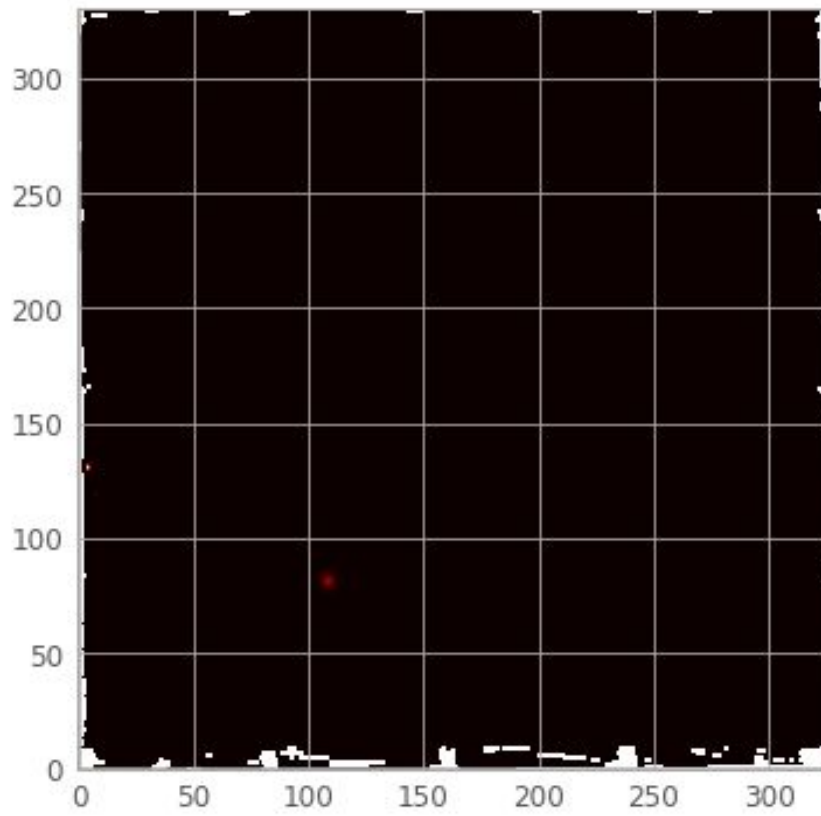
```
XTENSION= 'IMAGE ' / Image extension
BITPIX = 8 / array data type entiers
NAXIS = 3 / number of array dimensions
NAXIS1 = 326
NAXIS2 = 331
NAXIS3 = 3641
PCOUNT = 0 / number of parameters
GCOUNT = 1 / number of groups
EXTNAME = 'DQ ' / extension name
WCSAXES = 2 / Number of coordinate axes
CRPIX1 = 167.401033093 / Pixel coordinate of reference point
CRPIX2 = 163.017401336 / Pixel coordinate of reference point
PC1_1 = -5.55555555556E-05 / Coordinate transformation matrix element
PC2_2 = 5.55555555556E-05 / Coordinate transformation matrix element
CDELTA1 = 1.0 / [deg] Coordinate increment at reference point
CDELTA2 = 1.0 / [deg] Coordinate increment at reference point
CUNIT1 = 'deg ' / Units of coordinate increment and value
CUNIT2 = 'deg ' / Units of coordinate increment and value
CTYPE1 = 'RA---TAN' / Right ascension, gnomonic projection
CTYPE2 = 'DEC--TAN' / Declination, gnomonic projection
CRVAL1 = 338.23092027 / [deg] Coordinate value at reference point
CRVAL2 = -60.56375796 / [deg] Coordinate value at reference point
LONPOLE = 180.0 / [deg] Native longitude of celestial pole
LATPOLE = -60.56375796 / [deg] Native latitude of celestial pole
CSYER1 = 1.51033062781E-05 / [deg] Systematic error in coordinate
CSYER2 = 5.76768648658E-06 / [deg] Systematic error in coordinate
RADESYS = 'ICRS ' / Equatorial coordinate system
```

Notez les valeurs qui font correspondre les coordonnées aux pixels.

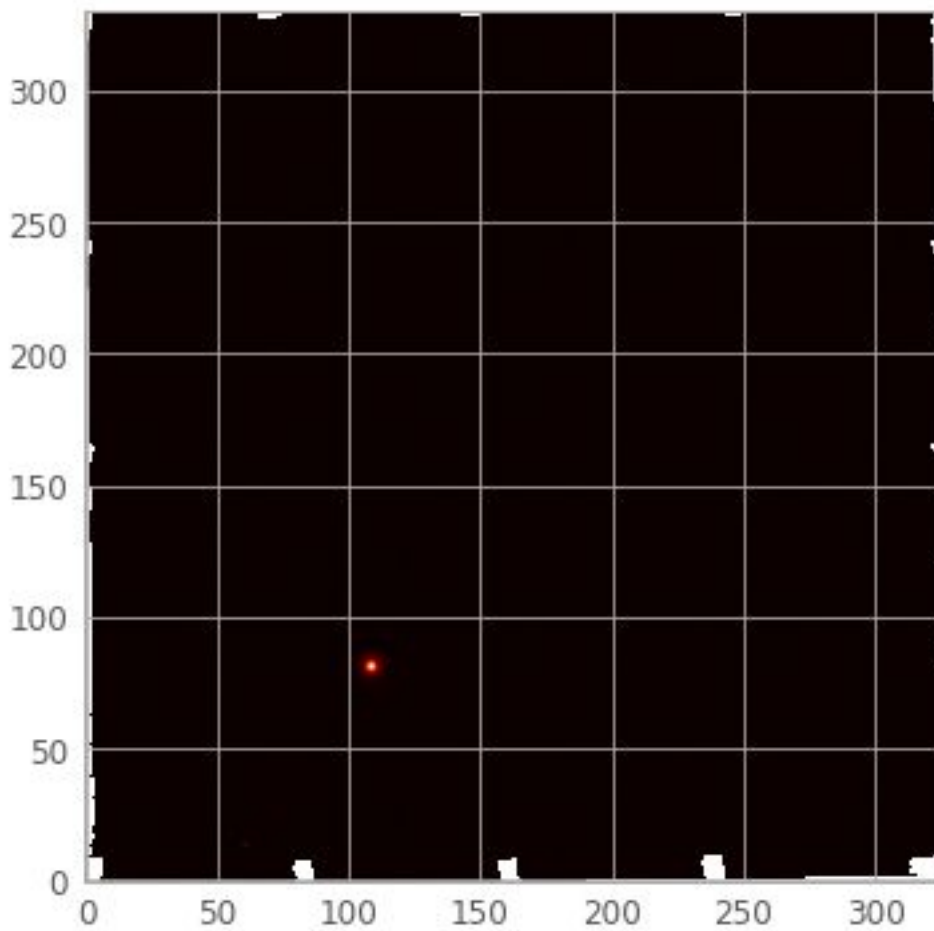
Et enfin les images.

Si l'on extrait la première image du cube, voici ce que l'on obtient :

¹ Les caractéristiques du format fits peuvent être trouvées sur les sites de l'UAI et de la NASA (https://fits.gsfc.nasa.gov/standard30/fits_standard30.pdf).



Voici la centième :



Sur toutes les images individuelles on ne voit que cette étoile.
Pour voir les galaxies il faut composer de nombreuses images :

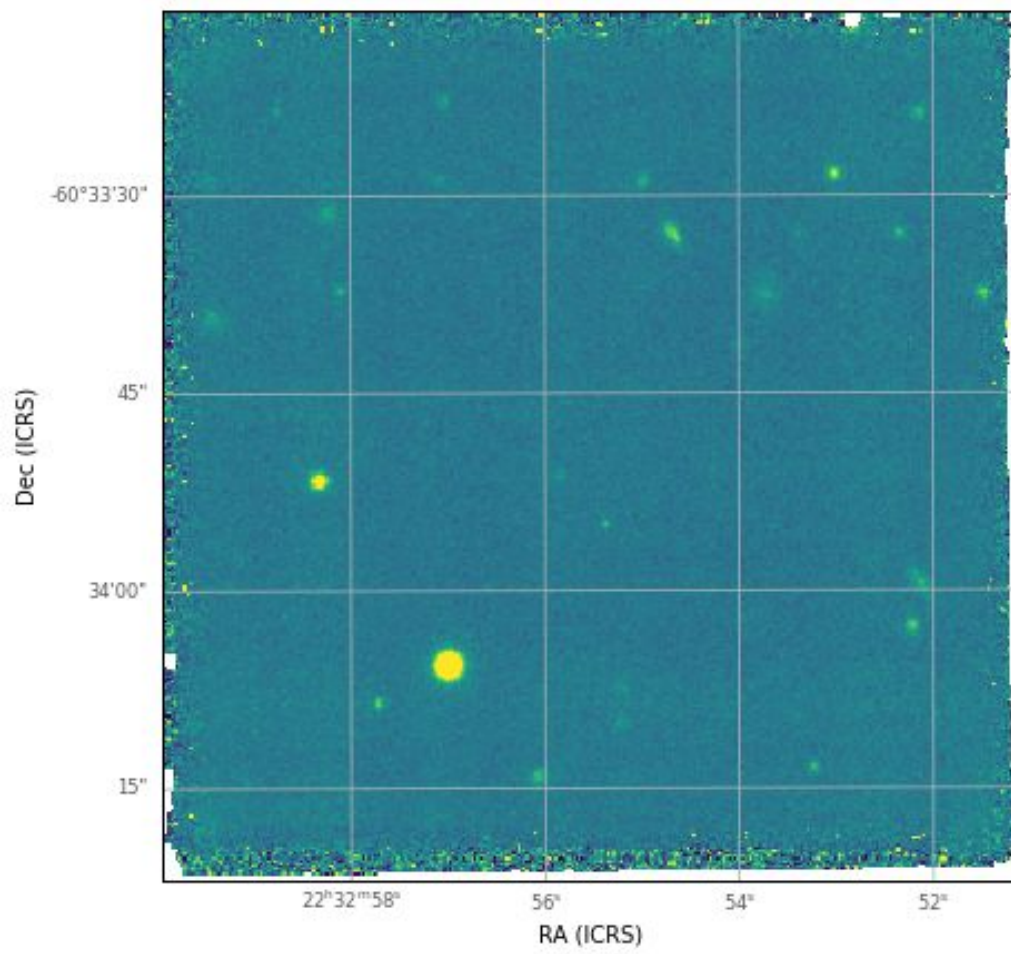


Image issue du fichier DATAcube - HDFS- 1.24

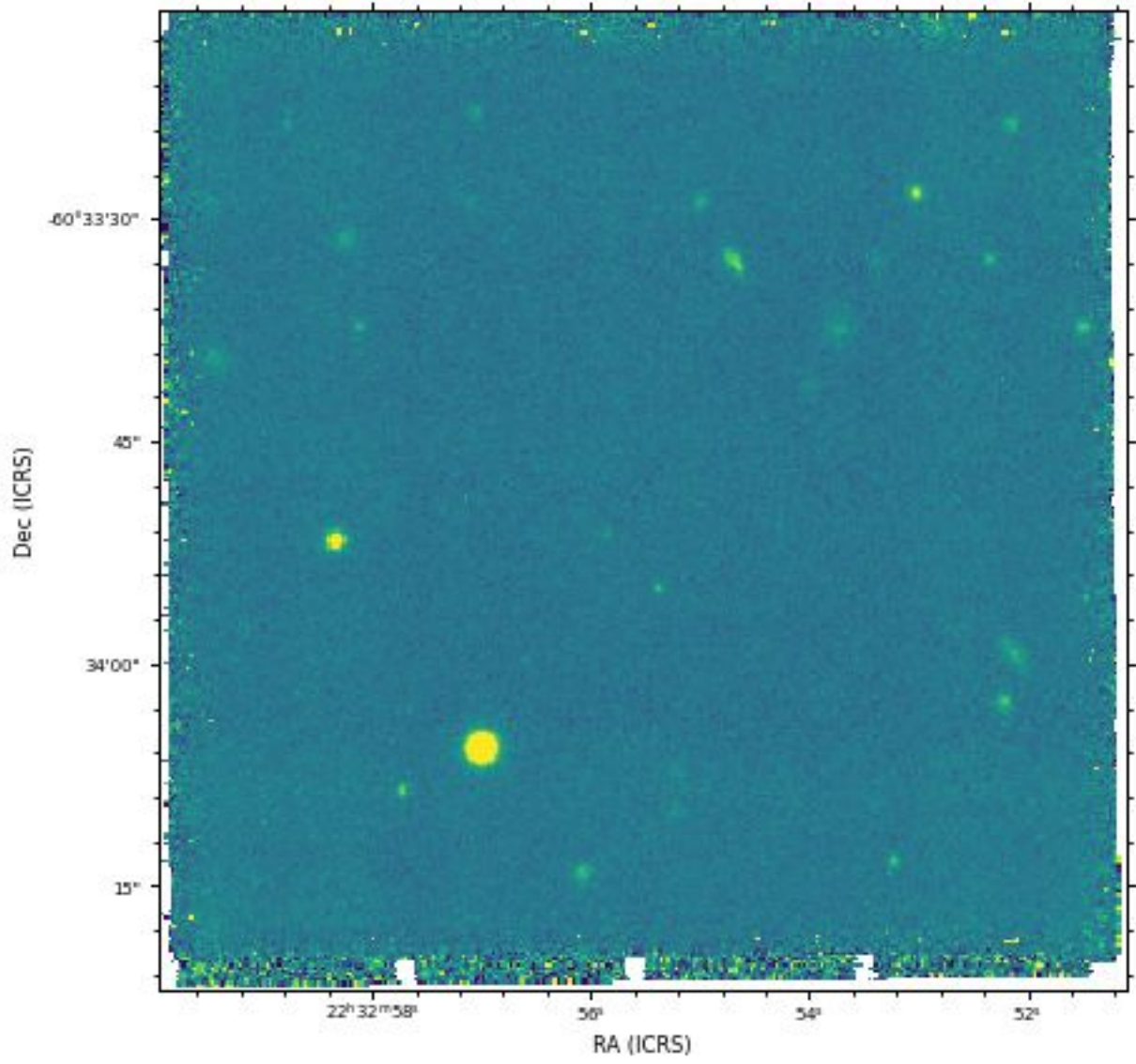
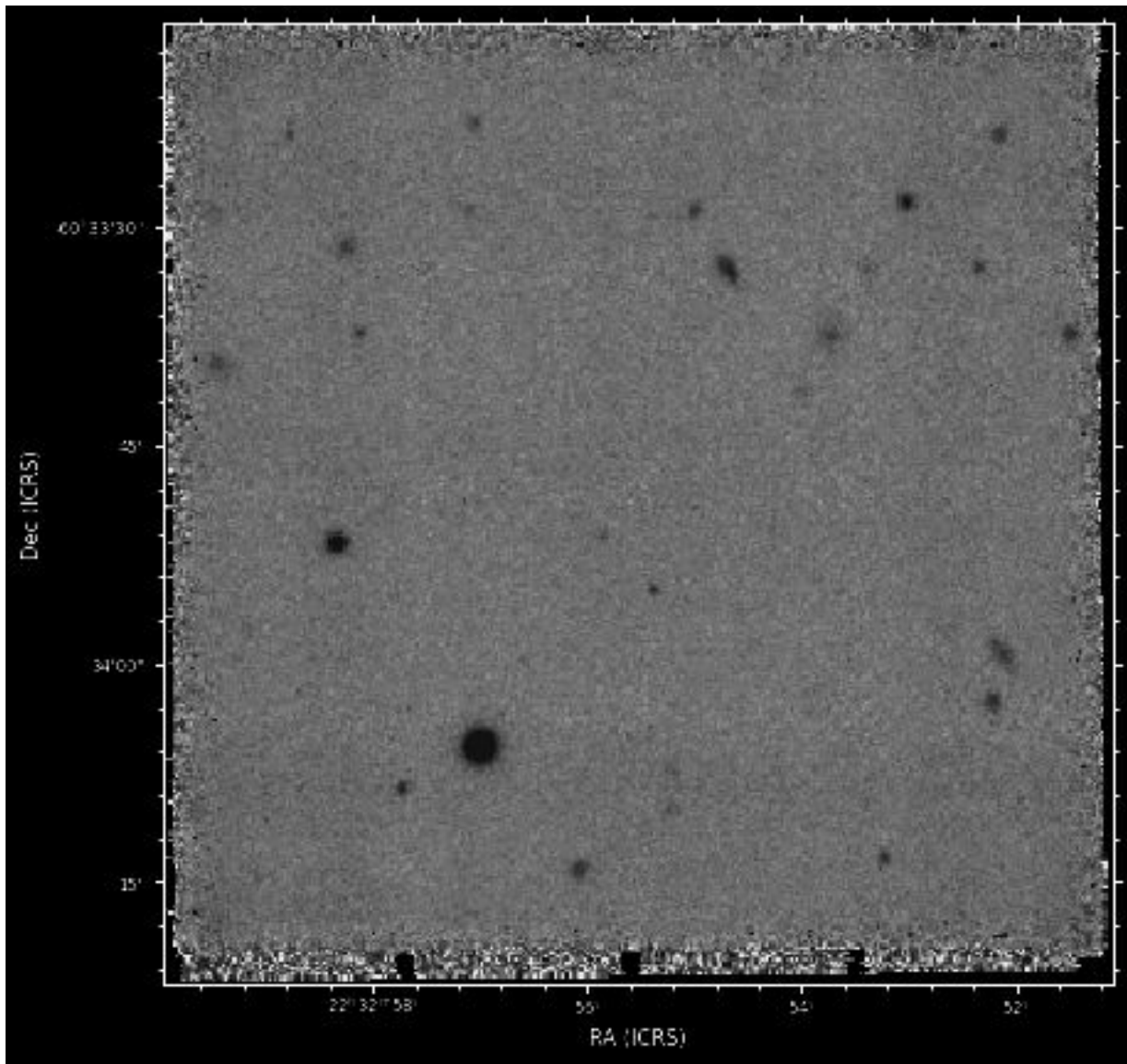


Image issue du fichier DATAcube - HDFS-1.34



Même image en noir et blanc avec inversion : on distingue des points sombres de quelques pixels correspondant à des galaxies très lointaines.

Ceci est la version 1.0 du cube, il existe d'autres cubes de données du Deep Field probablement plus précises mais je n'y ai pas accès.

Voici un commentaire donné par les auteurs : « Nous avons mesuré les décalages rouges de 189 sources jusqu'à une magnitude = 29,5, en augmentant le nombre de décalages spectroscopiques connus dans ce champ de plus d'un ordre de grandeur. Nous avons également découvert 26 galaxies émettrices de Ly α qui ne sont pas détectées dans les images à large bande profondes HF WFPC2. La résolution spectrale intermédiaire de 2,3 Å nous permet de séparer les émetteurs asymétriques résolus de Ly α , les émetteurs [O II] 3727 et les émetteurs [C III] 1908, et la large gamme de longueurs d'onde instantanée de 4500 Å permet d'identifier des raies d'émission uniques, telles que [O III], H β et H α , sur une très large plage de décalage vers le rouge. »

Il existe de nombreux cubes de données issus de l'appareillage MUSE concernant tous types d'objets astronomiques : galaxies, amas globulaires etc.