

## Compte rendu du Bar des Sciences du mardi 19 mai 2020 « les Galaxies confinées dans les amas ont-elles un comportement particulier ? »

**Organisation :** Le « Pavillon des Sciences » nous a proposé ce Bar des Sciences par une conférence organisée par l'Institut d'Astrophysique de Paris.

*Crise sanitaire et confinement obligent, nous avons réalisé un Bar des sciences numérique.*

**Lieu - Horaire :** nous pouvions suivre en direct cette conférence sur Internet via YouTube, en cliquant sur le lien que voici : <https://youtu.be/d5zkLIHTBt0>

Nous pouvions interagir, poser des questions etc....

- mardi 19 mai 2020 - De 18h30 à 19h30

**Participation :** 160 internautes étaient connectés en « live ». Nous étions 4 fois moins qu'à la conférence précédente. Il semble que le sujet, très spécialisé, ait rebuté une partie du « grand public ».

### Thème et Intervenants :

Cette conférence a été animée par Daniel Kunth (IAP) et transmise via YouTube par Jean Mouette.

- « Les galaxies confinées dans les amas ont-elles des comportements particuliers ? »



**Avec Florence DURRET Sorbonne Université, Astronome à l'Institut d'Astrophysique de Paris**

*À très grande échelle dans l'Univers, les galaxies sont distribuées selon des filaments à l'intersection desquels se trouvent les amas de galaxies, qui sont les structures les plus massives observées dans l'Univers.*

*Des galaxies continuent à se déplacer le long des filaments pour « tomber » dans les amas.*

*À l'intérieur des amas eux-mêmes, les galaxies sont en mouvement rapide les unes par rapport aux autres et leurs propriétés sont influencées par les conditions physiques du milieu où elles se trouvent.*

*En particulier, le frottement avec le gaz très chaud (détecté en rayons X) qui baigne tout l'amas va modifier la quantité d'étoiles formées dans les galaxies et conduire à des objets pouvant avoir des formes très étranges (les galaxies « méduses »).*

*D'autre part, la distribution en densité et en température du gaz X permet de comprendre comment chaque amas s'est formé, par des fusions de plus petits amas.*

*Florence DURRET nous a présenté quelques-unes de ces propriétés, en les illustrant avec des résultats obtenus par son équipe au cours des dernières années.*

**Déroulement de la soirée :** [Compte-rendu non relu par la conférencière et n'engageant que son rédacteur.](#)

**Florence DURRET :** commence la conférence en montrant la première diapositive : l'amas de Galaxies COMA qui se trouve dans la direction de la constellation « Coma Berenic's – la chevelure de Bérénice ». On y voit deux très grosses Galaxies en orange et aussi de nombreuses toutes petites Galaxies oranges et deux grosses taches bleues qui sont des étoiles de notre propre Galaxie, qui nous gênent car elles forment un halo de lumière qui pollue les images. Nous allons voir que nous ne sommes pas les seuls à être confinés, **les Galaxies sont aussi confinées dans les amas**. On a fait de nombreuses simulations comme la « Simulation Millenium » avec **10.077.696.000 particules** (plus de 10 milliards) qui montre comment la matière se distribue dans l'univers non pas de façon homogène mais suivant des sortes de filaments (qu'on appelle les **filaments cosmiques**). Si l'on zoome de plus en plus sur ces filaments (on voit l'échelle de la photo qui défile) jusqu'à ce qu'on arrive à l'échelle d'un **amas de Galaxies (ensemble de Galaxies liées par la gravité qui se trouvent à l'intersection de plusieurs filaments cosmiques)**. Un des intérêts des amas est qu'ils sont très riches en Galaxies et qu'ils vont influencer les propriétés de ces galaxies. On arrive à l'échelle de 3,9 Mpc/h.

Si on regarde cette simulation à 4 époques différentes, on trouve :

- Le **début de l'univers** qui correspond à un décalage spectral car les Galaxies s'éloignent toutes les unes des autres et leur lumière est décalée vers le rouge (phénomène Doppler prouvant l'expansion de l'univers). Ce **décalage spectral** au début de l'univers vaut :  **$z = 18,3$**  (correspondant à un **âge de l'univers égal à  $t = 0,21$  Milliard d'années** (Gyr = Giga Year en anglais)).
- Pour un **décalage spectral  $z = 5,7$**  (correspondant à un **âge  $t = 1$  milliard d'années**)
- Pour un **décalage spectral  $z = 1,4$**  (correspondant à un **âge  $t = 4,7$  milliards d'années**)
- Pour un **décalage spectral  $z = 0$**  (correspondant à un **âge  $t = 13,6$  milliards d'années**) qui est l'âge de l'univers, on voit une structure beaucoup plus dense, **cette structure est un amas**.

**Les amas de Galaxies :** ils ont été étudiés par les astronomes le Suisse Fritz ZWICKY (1898 – 1974) et l'Américain George ABELL (1927 – 1983). Les amas de Galaxies comprennent :

- **Des Galaxies (quelques centaines plusieurs milliers)** visibles surtout dans les longueurs d'onde de la lumière visible (0,4 micron à 0,7 microns),
- **Du gaz très chaud émettant en rayons X,**
- **De la matière noire.** Car ZWICKY a montré qu'il n'y avait pas assez de matière pour retenir les galaxies dans les amas. De la matière, n'émettant pas de lumière, retient donc les Galaxies, on l'appelle la matière noire.

**Un amas célèbre : Coma (la chevelure de Bérénice)**



Florence nous montre la diapositive ci-dessus de cet amas avec différentes lumières : en visible on voit **Coma avec ses deux grosses Galaxies** dues à deux amas qui ont fusionné ; avec le **satellite américain Chandra** on voit deux points très brillants qui correspondent aux deux Galaxies très brillantes elliptiques émettant en rayons X et on voit cette tache floue qui correspond à l'émission X de l'ensemble de l'amas. **L'image du centre** est à beaucoup plus grande échelle, prise par le **satellite XMM-Newton, satellite de l'Agence Spatiale Européenne**, on y voit un plus grand détail de cet amas en combinant plusieurs pauses des images.

**Caractéristiques des amas :**

Les amas de Galaxies sont les plus grandes structures de l'Univers liées par la gravité.

**Leurs dimensions : quelques Mégaparsec (Mpc).  $1 \text{ Mpc} = 3.10^{22} \text{ m}$**

**Leur masse : de l'ordre de  $10^{15} M_0$ .  $1M_0 = \text{Masse du Soleil} = 2.10^{30} \text{ kg}$**

**Comment observer les amas ?**

- Observations en **lumière visible** ou **infrarouge proche** : avec des télescopes **au sol** ou **dans l'espace**,

- Observations en **radio** : **au sol**,
- Observations en **rayons X, UV** : **dans l'espace**, car ces rayonnements ne traversent pas l'atmosphère de la terre

Il existe **deux approches complémentaires** :

- **L'analyse détaillée d'amas individuels**,
- La nécessité **de grands relevés d'amas** pour pouvoir faire des **études statistiques**.

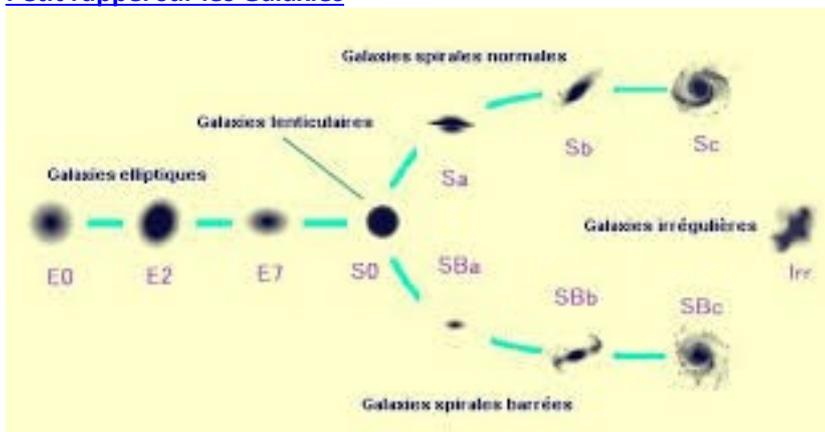
Florence nous montre une photo de l'ensemble d'observatoires astronomiques indépendants, comptant les télescopes parmi les plus grands et les plus puissants du monde et **situés au sommet du volcan Mauna Kea sur l'île d'Hawaï**. Parmi eux le CFHT (Canada France Hawaii Telescope).

Parmi les autres télescopes, **le Subaru Japonais** (télescope de 8 m) dont la France a utilisé les données lorsqu'elles devinrent disponibles. Florence a visité cet ensemble à Hawaï. Dans l'hémisphère sud, elle a accès également, en tant qu'astronome travaillant en France au **VLT (Very Large Telescope) de Paranal au Chili** constitué de 4 télescopes ayant un miroir de 8m20 de diamètre et 17cm d'épaisseur (Antu, Kueyen, Melipal et Yepun). L'homme sur la photo apparaît tout petit à côté de ce grand télescope.

**En projet en 2024 ? Le E-ELT (European Extremely Large Telescope) un télescope de 39m** qui sera constitué de **798 miroirs hexagonaux de 1,4m**. (Car avec des hexagones on peut paver exactement une surface sans laisser de trous). Ce télescope a une taille semblable à celle de l'Arc de Triomphe de la Place de l'Etoile à Paris. Les terrassements sont déjà faits. **Le site est le désert d'Atacama**.

D'autres instruments comme **ESO / ALMA** (voir prochaine conférence).

### Petit rappel sur les Galaxies



La photo ci-dessus montre le **diagramme en diapason de la classification des Galaxies (Hubble)** selon les tailles relatives du bulbe et du disque en :

- **Galaxies elliptiques (sphériques et sphéroïdales)**
- **Galaxies lenticulaires** qui se subdivisent en deux branches :
  - o Les **Galaxies spirales normales** : avec un bulbe central et des bras spiraux de plus en plus ouverts,
  - o Les **Galaxies spirales barrées** (avec une barre qui traverse le bulbe central).
- Les **Galaxies irrégulières**.

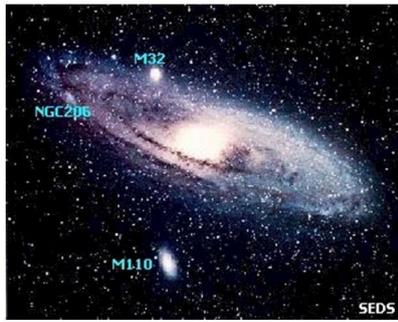
### Quelques images de Galaxies :

Florence nous montre l'image des Galaxies suivantes :

- **ANDROMEDE** (voir photo page suivante) qui est une **Galaxie spirale normale**,
- **MESSIER 87** qui est une **Galaxie elliptique**,
- **MESSIER 104 (Sa)** qui est une **Galaxie spirale normale** (voir photo page suivante)
- **NGC 1232 (Sc)** qui est une **Galaxie spirale normale** (voir photo page suivante)
- **NGC 4214** qui est une **Galaxie irrégulière**, (voir photo ci-dessous)
- **NGC 1365 (SBc)** qui est une **Galaxie spirale barrée** (voir photo ci-dessous).

**NGC 1232**

## MESSIER 31 (ANDROMÈDE) Type Sb



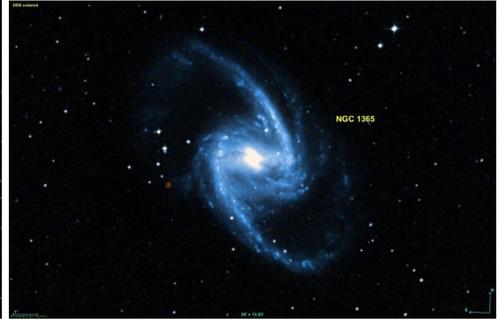
### Galaxie MESSIER 104



### NGC 4214



### NGC 1365



### Qu'y-a-t-il dans une Galaxie ?

Dans une Galaxie, on trouve :

- Des **étoiles**,
- du **gaz froid** (l'**hydrogène** qui sert à former les étoiles)
- et un **halo de matière noire**,

Les **Galaxies elliptiques** sont riches en **étoiles rouges, vieilles, froides**, (Ces Galaxies ne forment plus d'étoiles car elles n'ont plus de gaz pour le faire).

Les **disques des Galaxies spirales** sont riches en **étoiles bleues, jeunes, chaudes**. (Ces Galaxies forment encore des étoiles avec leur gaz).

### Les Galaxies dans les amas

Dans les amas, on observe :

- **plus de Galaxies elliptiques E** dans les régions centrales,
- **plus de Galaxies lenticulaires (S0) et de spirales (S)** dans les zones extérieures.

### Pourquoi ?

Les simulations numériques montrent que les **Galaxies elliptiques** sont formées par la **fusion de Galaxies (elliptiques ou spirales)**.

### Interprétation :

Les **fusions de Galaxies** sont plus fréquentes dans les régions centrales des amas, ce qui implique que les **Galaxies elliptiques** sont au centre des amas.

Dans les zones extérieures des amas, on voit davantage de **Galaxies spirales** où la formation d'étoiles est intense : ces Galaxies sont des Galaxies « de champ », qui « tombent » sur l'amas.

On en déduit que les amas n'ont pas finis de se former.

### La formation d'étoiles dans les Galaxies des amas :

- dans les **régions centrales**, il y a une **diminution de la formation d'étoiles** :
  - o le **gaz des Galaxies** peut être **arraché** par leur mouvement dans le gaz chaud inter-amas,
  - o les **fusions et interactions des Galaxies entre elles** arrachent du **gaz** aux Galaxies.
- Dans les **régions périphériques**, il y a une **augmentation de la formation d'étoiles** : le **gaz des Galaxies des amas** peut être **comprimé** lorsque les Galaxies tombent sur l'amas et former des étoiles (vu dans les simulations numériques).

**Questions de Daniel Kunth :** Combien y-a-t-il de Galaxies dans un amas et n'y a-t-il pas de formation d'étoiles dans les Galaxies elliptiques maintenant ?

**Réponses de Florence DURRET :** Dans un amas il y a quelques centaines à quelques milliers de Galaxies. Il existe aussi de petits amas appelés « groupes » qui contiennent quelques Galaxies à une dizaine de Galaxies. Par exemple, nous, nous sommes dans la voie lactée qui appartient à un groupe de Galaxies : le Groupe local comprenant la Voie Lactée, Andromède et des Galaxies plus petites (comme le nuage de Magellan) et des Galaxies naines.

Il n'y a, en effet, pas de formation d'étoiles dans les Galaxies elliptiques maintenant mais les étoiles se sont formées avant et il s'en est tellement formé qu'elles ont utilisé tout leur gaz et elles ne peuvent donc plus former de nouvelles étoiles.

**Florence DURRET continue son exposé :**

Il peut y avoir quelques spirales dans les régions centrales des amas mais ces spirales sont parfois aussi privées de gaz simplement parce qu'elles se déplacent très vite dans l'amas qui contient un gaz très chaud émettant aux rayons X et, par frottement contre ce gaz très chaud, les Galaxies peuvent elles-mêmes perdre leur gaz qui est du gaz froid et ne peuvent plus former d'étoiles. Et, dans les amas, il y a aussi beaucoup de fusions de Galaxies et ces fusions vont pouvoir arracher leur gaz aux Galaxies et celles-ci ne pourront plus former d'étoiles.

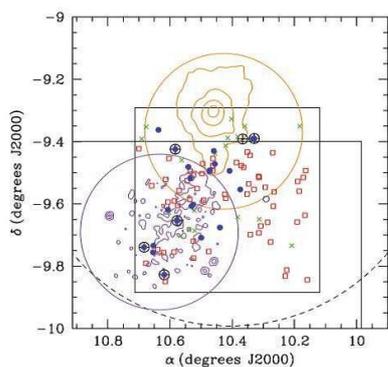
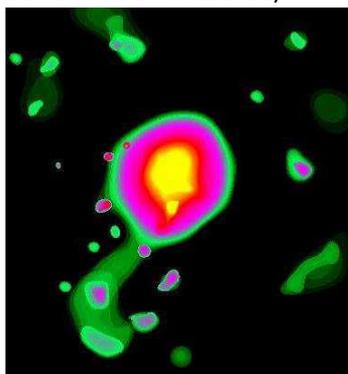
Dans les régions périphériques des amas, il peut arriver, au contraire, qu'il y ait davantage de formation d'étoiles parce que le gaz se trouvant dans les Galaxies extérieures peut être comprimé et tomber dans l'amas car il y a des Galaxies se déplaçant le long des filaments cosmiques et qui peuvent être attirées par les amas, tomber dans l'amas, former des étoiles suite à la compression de leur gaz, cela explique la formation d'étoiles dans ces régions périphériques des amas.

Les Galaxies des amas sont donc différentes des autres Galaxies.

**Dans le filament de l'amas d'ABEL 85**

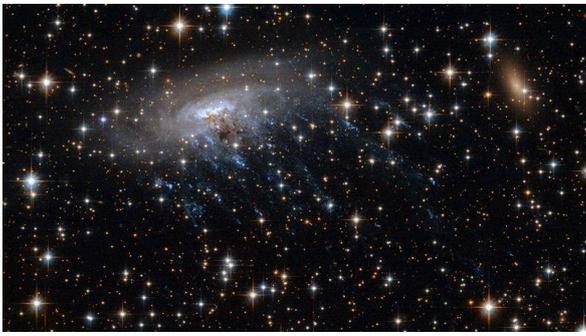
Il peut aussi y avoir des filaments dans lesquels il se forme davantage d'étoiles : dans le filament de l'amas d'ABEL 85, on voit une augmentation du taux de formation d'étoiles :

Un gros filament est détecté en rayons X dans l'amas de Galaxies d'ABELL 85 : on a détecté ce filament avec une raie de l'Hydrogène H $\alpha$  et l'on voit en bleu les formations d'étoiles détectées par cette raie. Il y a surtout de l'émission H $\alpha$  dans le filament de cet amas. On sait détecter des amas dont le filament est en train de tomber sur l'amas (ce sont de petits groupes de Galaxies qui sont en train de tomber sur l'amas et, dans ces petits groupes, il y a davantage de formation d'étoiles).



**Les Galaxies « méduses »**

Dans les amas on trouve aussi toutes sortes de Galaxies avec des formes bizarres, par exemple, les Galaxies « méduses » qui ont été découvertes il y a une dizaine d'années seulement. L'interaction d'une Galaxie avec d'autres Galaxies et / ou avec le gaz chaud de l'amas, conduisent à ces formes bizarres : les Galaxies « méduses » ou « jellyfish galaxies » où la formation d'étoiles est intense mais sur une durée courte. (Voir photo page suivante)



On a surtout détecté ce type de Galaxies **lorsqu'on a observé les amas avec le télescope spatial Hubble** qui a permis d'avoir une excellente résolution donnant une qualité d'image très fine. Ces Galaxies sont interprétées comme **dues à l'interaction soit avec d'autres Galaxies soit avec le gaz chaud qui baigne tout l'amas**. Avec la forme observée de ces Galaxies, **on voit même dans quel sens elles se déplacent dans l'espace**.

**Question de Daniel Kunth issue d'un internaute participant :** Quand deux Galaxies se rencontrent si l'une a plus de gaz que l'autre, y-a-il transfert de gaz et dans quel sens ?

**Réponse de Florence DURRET :** Dans les Galaxies, **le gaz n'est qu'une petite fraction de la masse**, (l'essentiel de cette masse est formé par les étoiles constituantes). Quand on fait une simulation numérique de la rencontre de deux Galaxies, **on étudie essentiellement comment les étoiles vont se redistribuer spatialement** et plusieurs scénarii sont possibles :

- **Deux Galaxies peuvent fusionner** et ne plus former qu'une seule Galaxie,
- **Les deux Galaxies peuvent passer l'une près de l'autre** et s'arracher des étoiles mutuellement et repartir chacune dans sa direction,

**Quant au gaz, il reste confiné dans sa propre Galaxie sauf s'il y a fusion**, dans ce cas, tout le gaz va se trouver réuni.

**Question de Daniel Kunth issue d'un internaute participant :** Combien dénombre-t-on d'amas de Galaxies dans l'univers ? Quelle est la méthode pour les dénombrer ?

**Réponse de Florence DURRET :** pour l'instant, on connaît **quelques dizaines de milliers d'amas de Galaxies**. Plus tard, **en utilisant le télescope spatial satellite EUCLID** on va en détecter **certainement quelques centaines de milliers**. Cela va faire du travail pour les astronomes.

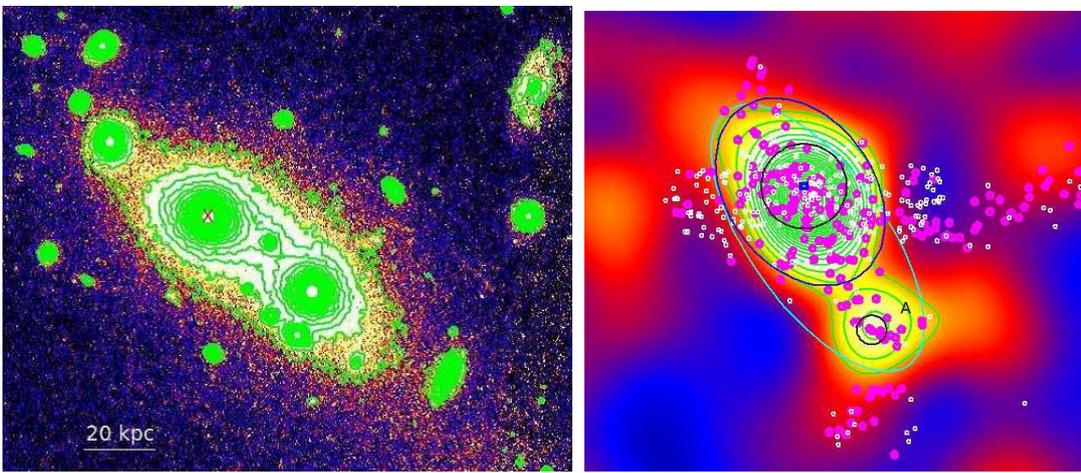
**Florence DURRET continue son exposé :**

**Il peut y avoir aussi des Galaxies centrales d'amas :**

Dans les amas de Galaxies, **la Galaxie elliptique centrale est souvent devenue énorme** par accrétion des Galaxies qui l'entourent. Florence montre une photo de la **Galaxie centrale d'ABELL 611** qui a « avalé » beaucoup de Galaxies environnantes. **Une seule Galaxie centrale elliptique géante peut ainsi faire  $10^{13}$  masses solaires (soit un centième de l'amas tout entier qui fait  $10^{15}$  masses solaires)**.

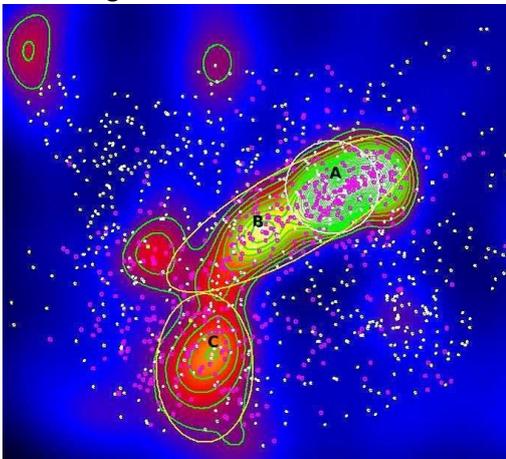
**Florence nous montre une simulation d'un amas de type COMA :** on y voit une expansion générale de l'univers, le décalage spectral diminuant de plus en plus car on se dirige vers l'époque actuelle, **on voit des petites Galaxies en jaune qui fusionnent pour donner des Galaxies de plus en plus grosses**. A la fin de la simulation, on fait un zoom et on arrive sur un amas qui ressemble à **COMA** avec **deux très grosses Galaxies et de nombreuses autres Galaxies plus faibles**.

On constate que **la Galaxie géante a souvent la même orientation dans le ciel que celle de l'amas à très grande échelle**. Il y a donc alignement des Galaxies centrales de l'amas avec la distribution à grande échelle des Galaxies dans l'amas. Les photos page suivante montrent **l'amas C10016 + 1609 (pour  $z=0,5455$ )**



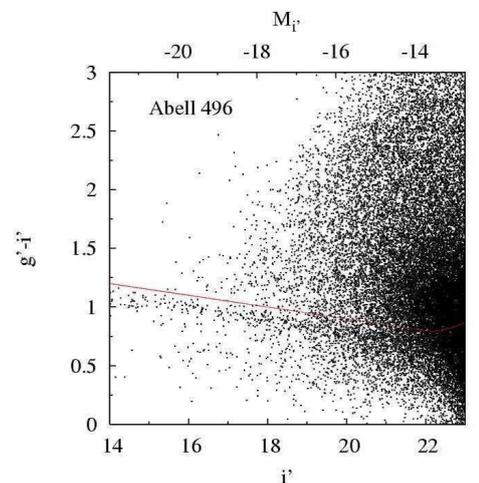
Le rayon du cercle noir central de l'amas supérieure fait 1 Mpc : c'est le rayon de l'amas. On voit la densité des Galaxies, comme des courbes de niveau.

[Florence montre ci-dessous une carte de densité des Galaxies de l'amas MACS J0717 + 3745 \(pour  \$z=0,5458\$ \)](#) avec deux longs filaments de Galaxies.



Les contours verts sont à  $3\sigma$  et plus. Le cercle de centre A est l'amas principal, il a un rayon de 1 Mpc  
 Les ellipses jaunes sont les filaments, ils ont des élongations de  $6.0 \times 1.8$  et  $3.2 \times 2.1$  Mpc. Ce sont donc de très grands filaments.  
 Les points roses sont des Galaxies appartenant à l'amas.  
 Les points blancs sont les autres Galaxies avec les distances mesurées.

[Florence montre le filament de l'amas ABELL 496 et son environnement](#) : le filament passe par l'amas. On y voit très bien le filament (en rouge sur la photo ci-dessous). Certainement des Galaxies sont en train de tomber sur cet amas, le long de ce filament



### La lumière diffuse dans les amas :

Cette lumière diffuse est due à des étoiles arrachées à leur Galaxie **par frottement sur le gaz**. On voit dans la simulation présentée cette lumière diffuse en gris très clair formant une tache floue. Elle correspond à des étoiles qui ne sont plus liées à une Galaxie.

Question de Daniel Kunth issue d'un internaute participant : quelqu'un demande, **qu'y-a-t-il hors des amas ?** On peut imaginer que des étoiles pourraient quitter des amas? Qu'y-a-t-il donc entre les filaments ?

Réponse de Florence DURRET : entre les filaments, il n'y a pas grand-chose, **surtout du vide**. Les Galaxies sont distribuées dans des filaments ou dans des feuillettes et entre ces régions, il y a des régions de vides sans Galaxies. On voit cela même dans l'univers proche, ce n'est donc pas parce qu'on n'a pas su détecter.

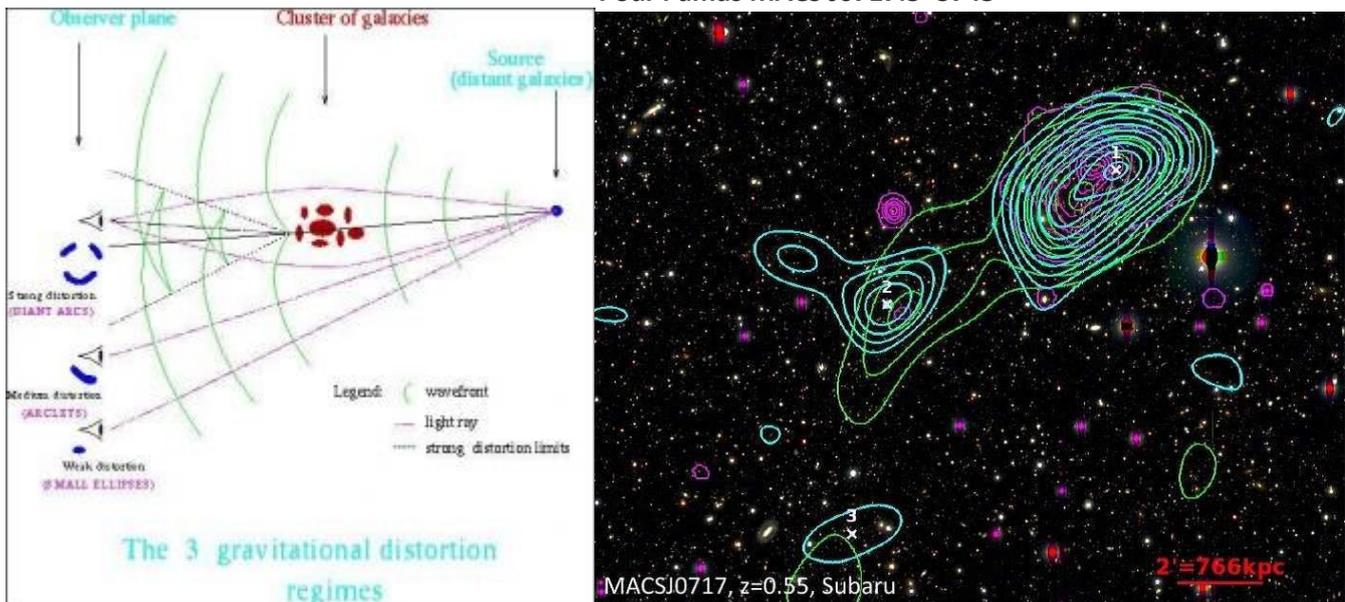
### Florence DURRET continue son exposé :

Elle montre une photo de la **lumière diffuse dans l'amas MACS J0717 + 3745 (pour  $z=0,5458$ )**. La lumière a été **détectée par le télescope spatial Hubble**. En bleu, il n'y a pas de lumière diffuse. En vert on commence à en voir. **La lumière diffuse va de l'orange au rouge** et celle détectée au centre de l'amas est très rouge. Cela veut dire que **cette lumière diffuse est constituée d'étoiles rouges très vieilles**.

### Les amas sont aussi des lentilles gravitationnelles

Ceci est dû à la **théorie d'Albert EINSTEIN** qui montre que **des rayons lumineux sont déviés lorsqu'ils passent vers une concentration de masses**.

**Distribution de matière déduite de l'effet de lentille faible  
Pour l'amas MACS J0717.5+3745**



La photo ci-dessus montre à **gauche la position variable de l'observateur, au centre celle de l'amas de Galaxies** et à **droite une Galaxie lointaine**. Les amas de Galaxies sont une forte concentration de masses. Si un rayon lumineux est émis à droite par une Galaxie lointaine, il va traverser l'amas et va parvenir dans l'œil de l'observateur à gauche, les rayons lumineux de cette Galaxie lointaine vont être déviés et apparaître sous forme de plusieurs arcs suivant l'alignement de l'œil de l'observateur, donc suivant sa position. Suivant le cas, on observe trois grands arcs, ou de petits arcs un peu déformés (effet gravitationnel fort pour la position de l'œil au centre). On va pouvoir ainsi déterminer la distribution de matière dans les amas.

Florence nous montre le **premier arc gravitationnel géant : ABELL 370**, découvert en 1987 par Geneviève SOUCAIL, Bernard FAURE et Yannick MELLIER à Toulouse. L'arc correspondait à un décalage spectral  $z=0,725$  alors que l'amas lui-même était à un décalage  $z=0,375$ . **La Galaxie est donc plus que 2 fois plus loin que l'amas**.

Depuis, **beaucoup d'amas ont été détectés** : l'amas **ABELL 2218** présentant de nombreux arcs gravitationnels correspondant à des images de Galaxies d'arrière-plan (décalage  $z=0,1710$ ). Grâce à l'effet de lentille faible, on va pouvoir détecter la distribution de masse dans l'amas ainsi que le montre la photo ci-dessus à droite pour l'amas **MACS J0717.5+3745**

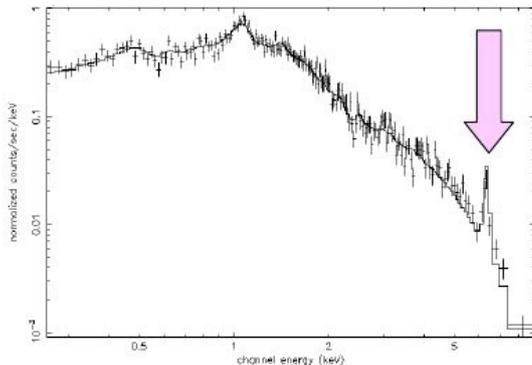
## Les amas de Galaxies en rayons X

- **On observe le ciel en rayons X grâce à des satellites** car les rayons X sont absorbés par l'atmosphère terrestre et ne parviennent pas au sol. On observe les amas grâce au gaz très chaud qu'il contient et qui émet des rayons X.
- Actuellement, **trois grands satellites X sont en orbite : XMM-Newton (européen), Chandra (américain) et Suzaku (japonais).**

Florence montre **quelques exemples d'images d'amas en rayons X : ABELL 2142 (pour  $z=0,09$ ), l'amas du Centaure (pour  $z=0,011$ ).**

## Les spectres obtenus en rayons X

Ces **spectres sont interprétés comme dus à un gaz très chaud ( $10^7$  K)** de très faible densité. La photo ci-dessous montre **la raie du fer** (flèche rose) dans ce **spectre pour l'amas ABELL 85** obtenu avec le **satellite XMM-Newton**



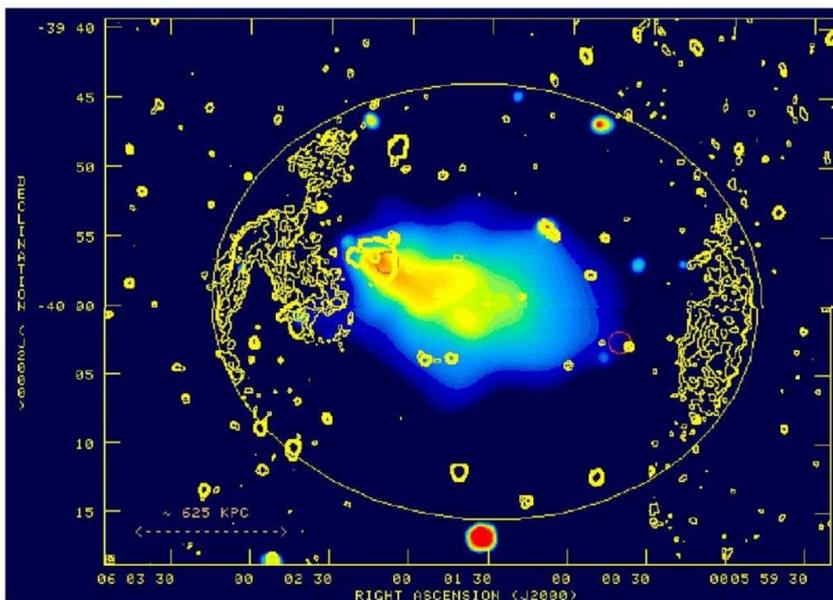
Cette raie du fer permet de calculer l'abondance en fer du gaz chaud dans l'amas qui émet en rayons X.

## Les fusions d'amas

Les fusions d'amas donnent les effets principaux suivants :

- **Pour les Galaxies :**
  - o La formation d'étoiles augmente,
  - o Il y a un excès de Galaxies très brillantes.
- Il y a **émission radio** dans les zones externes,
- **Pour le gaz chaud** inter-amas :
  - o Il y a suppression de la région plus froide au centre,
  - o Il y a aussi une perturbation des distributions de température et de métallicité.

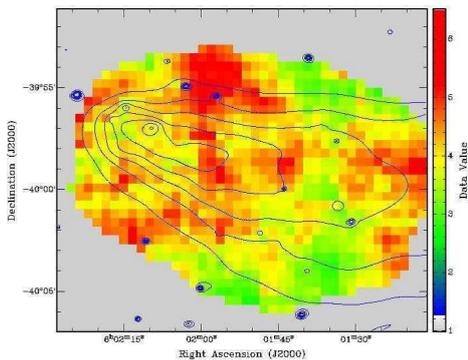
Florence montre **l'image de l'amas A3376 (ci-dessous) dont la fusion de deux amas a créé une émission radio (contour jaune)**



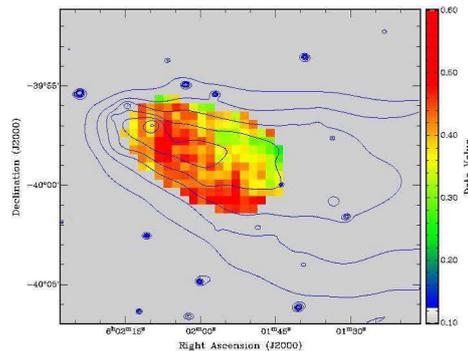
On peut créer en rayons X des **cartes de température** (photo ci-dessous à gauche) du gaz chaud lui-même : (gaz très chaud de couleur rouge, moins chaud de couleur jaune). On peut aussi créer une **carte de métallicité de l'amas** (photos ci-dessous à droite)

**Le même amas A3376 en rayons X**

**Carte de température (XMM-Newton)**

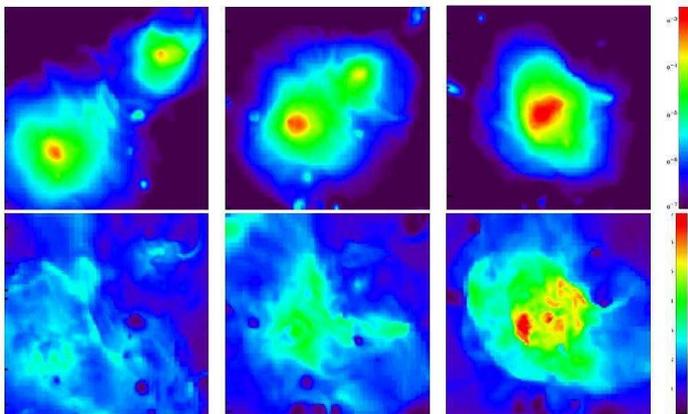


**Carte de métallicité (XMM-Newton)**

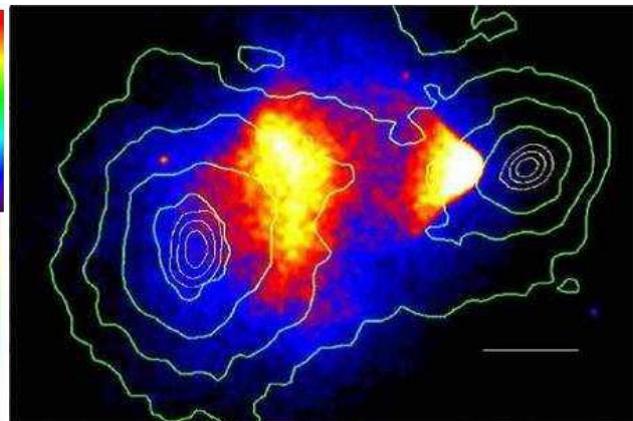


On a fait des **simulations numériques hydrodynamiques** (images ci-dessous). Les photos colonne de droite montrent le petit amas qui se prépare à fusionner dans le gros amas (pour  $z=0,13$ ). Un peu plus tard, la fusion est en train de s'opérer **dans les photos centrales (pour  $z=0,09$ )** et la fusion est totale dans les images de droite (pour  $z=0$ )

**Emissivité**



**Amas du boulet**



**Température du gaz**

Image ci-dessus à gauche, la température du gaz est relativement homogène. Cette température devient plus chaude (photo centrale) au moment de la fusion et encore plus chaude (photo de droite) lorsque cette fusion s'est opérée, on y retrouve des petites régions beaucoup plus chaudes (en rouge). Cette simulation a été parfaitement mise en évidence en **observant l'amas ABELL 85** qui a subi plusieurs fusions d'amas (visible par ces régions plus chaudes observées en rouge). **Cet amas a subi plusieurs fusions :**

- **Une fusion plus ancienne (il y a 3 à 4 milliards d'années)** avec un amas moins massif venant du Nord-Ouest,
- **Une chute (encore en cours) le long du filament de groupes venant du sud-est** et arrivant sur la zone d'impact.

**La matière noire contenue dans les amas**

- **Les mouvements rapides des Galaxies dans les amas** impliquent que de la masse doit les retenir dans ces amas, d'où l'existence de **matière noire**, matière massive mais qui n'émet pas de lumière,
- Le **gaz chaud émettant en rayons X** en équilibre dans l'amas permet un **calcul de la masse totale de l'amas**.

Et l'on trouve la distribution de masse suivante dans les amas :

- **Galaxies : 5%**
- **Gaz chaud émetteur X : 15%**
- **Matière noire : 80%.**

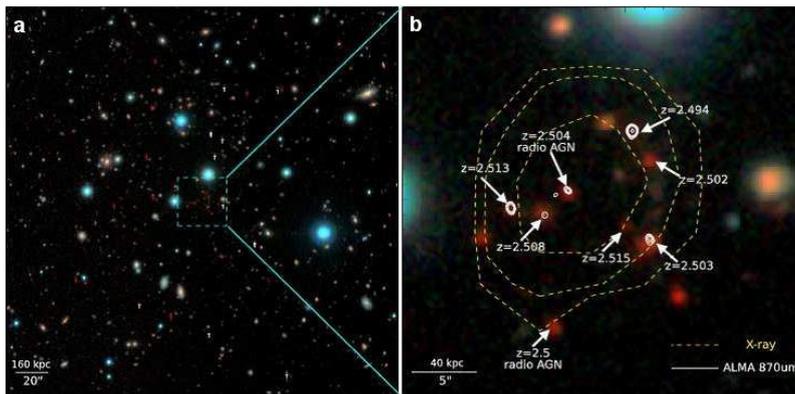
**Que nous apprennent les fusions d'amas ?**

Les distributions du gaz X et de la matière noire (calculée à partir de l'effet de lentille gravitationnelle) peuvent être différentes. Florence montre la **photo de l'amas du boulet (1E0657-56) (voir photo de droite ci-dessus)**. On y voit une image en rayons X et les contours de la distribution de masse totale calculée par effet de lentille faible. On y distingue très nettement les **deux amas en fusion**. L'image en couleur est celle en rayons X.

**En conclusions**

- Les **propriétés des Galaxies dépendent fortement de leur environnement**,
- **Les fusions d'amas ont des effets importants tant sur les Galaxies que sur le gaz chaud émetteur X**,
- **Le nombre d'amas lointains détectés augmente de jour en jour.**

Florence nous montre l'un des amas les plus lointains connus, découvert en 2016 pour  $z=2,506$  (photo ci-dessous)



### Perspectives

- La **découverte et l'analyse multi-longueur d'onde d'amas plus lointains** permettra de **mieux comprendre leur formation**,
- La découverte et l'étude de **très grands échantillons d'amas** permettra de progresser encore dans leur compréhension.

Pour cela, nous aurons bientôt le **James Webb Space Telescope (vers 2022 ?)**, télescope spatial de plus de 6 m nous permettant un nouveau bond technologique.

Le satellite **EUCLID (infrarouge)**, satellite de l'ESA dont le lancement est aussi prévu en **2022**. Ce satellite permettra de faire de la cosmologie (détection de l'univers à très grande échelle). Il permettra :

- Des **tests sur l'énergie noire** et la matière noire,
- **Des tests sur l'effet de lentille gravitationnelle**,
- Une **mesure des formes des Galaxies et de leur distance** sur 15000 degrés carrés,
- Une **détection possible d'environ 100.000 amas de Galaxies**.

### L'avenir en rayons X :

Le satellite européen **Athena** dont le lancement est prévu en **2028 ?**

**Question de Daniel Kunth :** on dit que **notre Galaxie, la Voie Lactée comporte 100 milliards d'étoiles**, parfois on entend **200 milliards d'étoiles**, qu'est-ce qui justifie cette forte dispersion ?

**Réponse de Florence DURRET :** **il n'est pas toujours facile de compter les étoiles, particulièrement celles de notre Galaxie car on est dedans** et l'on n'a pas une vision d'ensemble comme avec les autres Galaxies, des étoiles se masquent les unes des autres. Un facteur 2 de dispersion me paraît beaucoup. Travaillant sur les autres Galaxies, nous pouvons mieux compter les étoiles grâce à la quantité de lumière émise.

**Questions de Daniel Kunth :** Un **champ magnétique existe-t-il dans les amas ?** Les **déplacements de Galaxies dans les amas** sont-ils comparables aux déplacements de ces amas eux-mêmes ?

**Réponses de Florence DURRET :** **oui il existe des champs magnétiques dans les amas**. On a vu précédemment dans l'amas **A3376**, les contours jaunes sont des émissions radio, du rayonnement synchrotron dû à des électrons qui vont tourner en spirale dans un champ magnétique. Celui-ci cependant est **très faible** et permet précisément ce rayonnement radio.

Dans certains amas, il y a des **sources radio reliques** qui ne peuvent pas être attribuées à une Galaxie particulière mais qui confirment **l'existence d'un champ magnétique**.

Pour la seconde question, on peut mesurer **la dispersion de vitesse des Galaxies dans les amas**, elle est d'environ **1000 km/s (vitesse relative des Galaxies les unes par rapport aux autres)**, cette vitesse est **supérieure à celle des amas eux-mêmes**.

**Questions de Daniel Kunth issue d'un internaute participant :** Pourquoi, lors d'une collision entre amas, la matière noire continue-t-elle son chemin alors qu'elle interagit gravitationnellement avec le reste ?

**Réponses de Florence DURRET :** oui, elle interagit gravitationnellement mais il n'y a pas de forces de frottement. Il n'y a pas de collisions de cette matière, pas de viscosité et la matière noire continue son chemin sans frottements comme un patineur sur la glace.

**Questions de Daniel Kunth :** Que pensez-vous de la théorie MOND qui est une alternative à celle de la matière noire ?

**Réponses de Florence DURRET :** MOND est une théorie alternative développée essentiellement par Milgrom en Israël en 1983. Cette théorie stipule qu'aux très faibles accélérations, la loi de Newton  $F=m\gamma$  comporte un terme supplémentaire  $k<1$  et devient :  $F=k\gamma$ . La matière noire explique que les Galaxies soient retenues dans les amas. On parle aussi de cette matière noire quand on étudie la rotation des Galaxies spirales qui est trop grande. Et les étoiles sur les bords de ces Galaxies spirales sont retenues par un halo de matière noire. Mais on a besoin de l'existence de cette matière noire car, sinon, il manquerait de la masse. **Milgrom a développé MOND pour expliquer les courbes de rotation des Galaxies spirales** (la manière dont ces Galaxies tournent) sans avoir besoin de matière noire. Et **cette théorie fonctionne pour les Galaxies spirales**. De notre côté, **on a essayé d'appliquer MOND aux mouvements des amas de Galaxies : si on applique MOND il manquerait toujours de la masse**. On comble ce manque par de la matière noire.

Rédacteur : Jean-Pierre BULLIARD

IESF Franche-Comté

Vice - Président des Ingénieurs INSA de Franche-Comté

Pour le compte du Pavillon des Sciences

Prochain Bars des Sciences :

- **Mardi 2 juin 2020 à 18h30** en live sur Internet avec l'Institut d'Astrophysique de Paris.  
**« contreparties électromagnétiques des évènements gravitationnels »**

Voir détails sur :

Le Site Internet du Pavillon des Sciences : [www.pavillon-sciences.com](http://www.pavillon-sciences.com).

Parc Scientifique du Près-la-Rose – 25200 MONTBELIARD

Renseignements Bar des Sciences : Pascal REMOND – Tél 03 81 97 18 21 –

E-Mail : [pascal@pavillon-sciences.com](mailto:pascal@pavillon-sciences.com)