



HERVÉ DOLE, GUILAINE LAGACHE, JEAN-LOUP PUGET

Institut d'Astrophysique Spatiale (IAS)
Faculté des Sciences d'Orsay

Le fond infrarouge de galaxies livre ses secrets



© SPITZER/NASA/JPL-CALTECH/MAX-PLANCK INSTITUTE/ P. APPLETON (SSCCALTECH).

La formation et l'évolution des galaxies n'ont pas encore révélé tous leurs secrets. De nombreux relevés cosmologiques sont menés pour mieux en comprendre les processus physiques et ont permis la découverte du rayonnement fossile des galaxies : le fond extragalactique infrarouge.

Image : Choc dans un petit amas de galaxies, le quintette de Stephan.

La lumière, émise par tous les objets de l'univers (étoiles, galaxies, quasars...) depuis sa naissance, emplit l'espace intergalactique d'un « océan » de photons. Ces rayonnements constituent une trace fossile de l'activité lumineuse de l'univers (figure 1). Il existe en fait deux fonds diffus principaux, l'un dans le domaine radio, l'autre dans l'infrarouge. Le rayonnement radio, dont l'origine remonte au début de l'univers, est appelé rayonnement cosmologique fossile. L'autre, plus récemment découvert, est un rayonnement infrarouge provenant de la lumière émise par les galaxies, appelé quant à lui fond diffus extragalactique.

Baptisé rayonnement fossile, fond cosmologique ou CMB (pour Cosmic Microwave Background), le rayonnement radio est très intense et a été produit aux époques les plus anciennes de l'histoire de l'Univers. Découvert dans les années soixante, et largement étudié depuis pour ses infimes fluctuations de température – sa température actuelle est de 2,7 Kelvin, soit environ -270 degrés Celsius – et de polarisation, ce rayonnement se propage librement depuis une époque située à environ 400 000 ans après le big-bang. Il nous renseigne sur l'état de l'Univers primordial, sur son contenu, ainsi que sur certains processus physiques ayant eu lieu ultérieurement, comme la réionisation* ou la formation des amas de galaxie et des galaxies.

Le rayonnement infrarouge, ou fond diffus extragalactique, a, quant à lui, pour origine la lumière émise par les galaxies depuis leur formation, il y a environ 400 millions d'années après le Big Bang, et résume ainsi toute leur histoire. Il a été découvert en 1996 par une équipe de l'IAS, grâce aux données du satellite COBE (NASA). Il est globalement bien moins intense que le fond cosmologique. La détection de ce rayonnement a largement surpris les chercheurs car il provient de galaxies dont la plupart étaient invisibles aux télescopes. Le mesurer précisément, comprendre la nature des galaxies qui en sont à l'origine et leur évolution, constituent l'un des buts de la cosmologie observationnelle. Pour y parvenir, de grands relevés de galaxies doivent être menés, tant au sol que depuis l'espace. Nous discutons, dans cet article, des dernières découvertes concernant la formation des structures en cosmologie, au travers de l'observation de ce fond de rayonnement infrarouge.

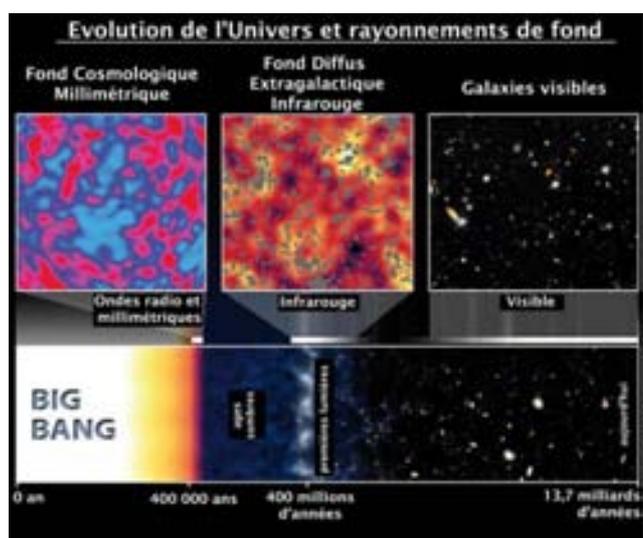
Le rayonnement de fond des galaxies

L'émission de rayonnement des galaxies, quand elle est analysée sur une large portion du spectre électromagnétique, permet de déterminer si la formation stellaire (c'est-à-dire la nucléosynthèse, formation des éléments chimiques au cœur des étoiles) et/ou l'accrétion (c'est-à-dire la gravitation) sont dominants, ainsi que de mesurer la masse stellaire et de poussière, le taux de formation d'étoile, et la masse

éventuelle d'un trou noir central. Il est cependant souvent très coûteux en temps et en technologie d'accéder à toute l'étendue du spectre des galaxies (du domaine radio aux rayons gamma), et, quand c'est possible, cela concerne un nombre restreint de galaxies, souvent proches ou très lumineuses. Il est alors difficile dans ces conditions de sonder la formation des structures de manière fiable. S'il est compliqué d'étudier les galaxies individuelles en détail, il est possible de les étudier en grand nombre dans un domaine spectral restreint, soit en menant une étude statistique sur les galaxies détectées, soit via le rayonnement de fond diffus extragalactique. Prédit en 1967, ce rayonnement est la somme de toutes les émissions des galaxies de toutes les générations : c'est une émission fossile de la formation des galaxies. Comme nous venons de l'indiquer précédemment ce n'est qu'en 1996 que ce rayonnement de fond des galaxies a été détecté par une équipe de l'IAS dans les données du satellite COBE datant de 1992,

FIGURE 1

Illustration de l'époque cosmique sondée avec les rayonnements de fond : le fond cosmologique (CMB) dans le domaine des ondes radio et millimétriques (époque : environ 400 000 ans) ; le fond infrarouge de galaxies (époque : environ de 400 millions d'années à aujourd'hui) ; les galaxies individuelles dans le domaine visible (époque : environ 1 milliard d'années à aujourd'hui). La différence entre le fond cosmologique et le fond extragalactique infrarouge lointain concerne donc l'époque de l'Univers concernée: jeune (environ 400 000 ans), diffus et très homogène dans le premier cas, plus vieux (d'environ 0,4 à 13 milliards d'années) et déjà composé de structures, comme des amas et galaxies non séparées par les moyens d'observation, dans le second cas. L'ensemble de ces fonds constitue le contenu électromagnétique de l'Univers aujourd'hui. Il est largement dominé par le CMB (environ 95% de l'énergie).



1 Les galaxies infrarouges

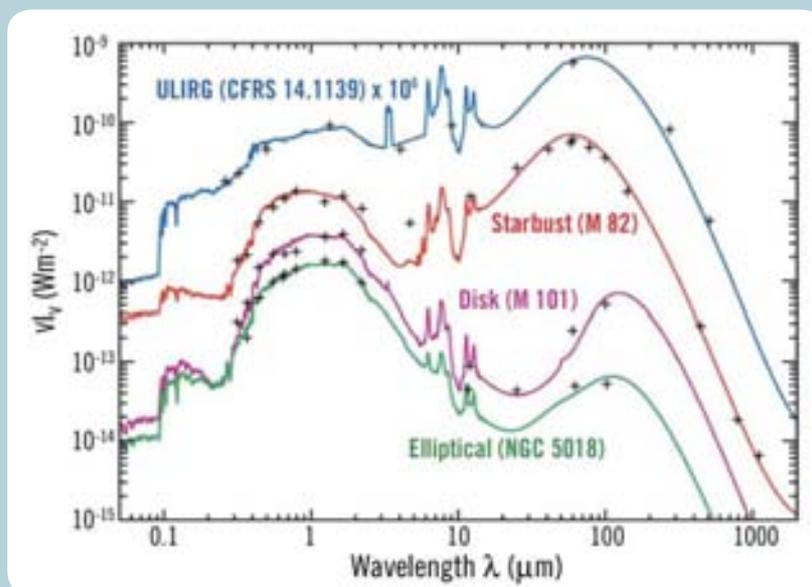
Notre Galaxie, la Voie Lactée, émet environ autant d'énergie dans le domaine visible que dans le domaine infrarouge (longueurs d'ondes supérieures à environ 5 microns). Ce n'est pas le cas de toutes les galaxies. Les

galaxies dites infrarouges émettent l'essentiel de leur énergie dans ce domaine spectral. Certaines y émettent 95% : ce sont les galaxies lumineuses dans l'infrarouge (LIRG) ou ultralumineuses (ULIRG). La **figure A**

montre la forme des spectres des galaxies de type ULIRG, infrarouge (flambée de formation d'étoile, dit starburst), puis de plus classiques galaxies spirales et elliptiques.

FIGURE A

Distributions spectrales d'énergie de quatre types de galaxies, en échelle logarithmique (de haut en bas) : galaxie ultra-lumineuse dans l'infrarouge (ULIRG) ; galaxie infrarouge à flambée de formation stellaire (starburst) ; galaxie spirale proche ; galaxie elliptique. Les galaxies proches de type spiral et elliptique émettent l'essentiel de leur énergie dans le domaine visible (longueurs d'ondes inférieures à 5 microns), contrairement aux ULIRG et starburst pour lesquelles c'est dans l'infrarouge. D'après F. Galliano (thèse, 2004) cité dans Lagache et al (2005). Reproduit, avec permission, de Annual Review of Astronomy and Astrophysics, Volume 43 ©2005 by Annual Reviews www.annualreviews.org.



Ces distributions spectrales d'énergie des galaxies, ajustées avec des modèles, permettent d'en identifier les principaux composants : populations stellaires et âge, présence et nature de la poussière. Par exemple, la série de pics présente entre 5 et 15 microns est caractéristique de molécules planes aromatiques (ou hydrocarbures polycy-

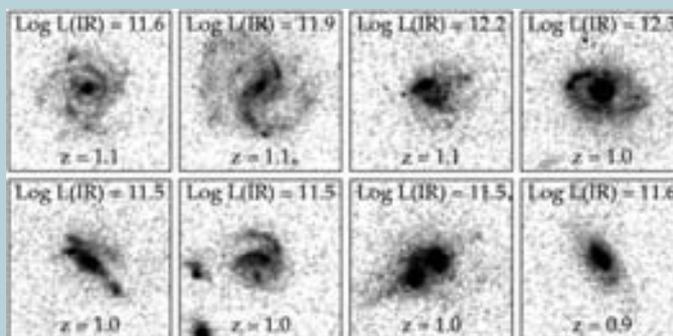
cliques aromatiques, ou PAH) présentes dans les zones proches des lieux de formation d'étoile. Le pic au delà de 60 microns est caractéristique des gros grains de poussière (taille de l'ordre de la centaine de nanomètres), qui absorbent les photons ultraviolets (issus de

la formation stellaire ou l'accrétion), s'échauffent et émettent dans l'infrarouge lointain.

Les galaxies infrarouges peuvent être de différents types morphologiques. Un petit échantillon est présenté en **figure B**.

FIGURE B

Exemple de 8 galaxies lumineuses dans l'infrarouge (LIRG) à un redshift de l'ordre de 1, détectées par le satellite Spitzer, et imagées par le télescope spatial Hubble en bande I à 850 nm. Chaque image a une taille de 5 secondes d'arc de côté. La luminosité infrarouge est indiquée en logarithme en haut, et le redshift en bas. On remarque des morphologies de galaxies perturbées et/ou en interaction, mais aussi de type spirale (en haut à gauche) ou de type elliptique (en bas à droite). Tiré de Papovich et al. (2004).



à des longueurs d'ondes comprises entre 200 microns et 1 millimètre (correspondant au domaine de l'infrarouge lointain et du submillimétrique, voir **figure 2**). Étonnamment, le maximum d'énergie a été mesuré vers 200 microns, contrairement aux galaxies locales rayonnant l'essentiel de leur énergie dans le domaine visible (**encadré 1**). La présence de ce rayonnement intense dans l'infrarouge, appelé fond extragalactique infrarouge, témoigne de l'évolution des galaxies : un accroissement d'émission infrarouge avec le redshift*.

Il restait à comprendre l'origine de cet excès d'émission, et à identifier les populations de galaxies responsables. Ce n'était pas possible avec COBE puisque sa résolution angulaire ne permettait pas de détecter de nombreuses galaxies. La tâche était d'autant plus complexe que de nombreux avant-plans contaminent le signal (émissions de notre Système Solaire et de notre Galaxie) et que ce domaine spectral n'est quasiment pas accessible depuis le sol à cause de l'absorption atmosphérique : seuls des ballons, fusées-sondes ou satellites y accèdent avec une sensibilité suffisante. Il fallait donc de nouvelles générations de satellites observant dans l'infrarouge et disposant d'une meilleure résolution angulaire capable de détecter les galaxies. Les satellites européen ISO (lancé en 1995) et américain Spitzer (lancé en 2003), ont ainsi mené des relevés profonds entre 3 et 200 microns de longueur d'onde qui ont révolutionné notre vision de l'évolution des galaxies, surtout grâce aux observations effectuées dans l'infrarouge moyen, entre 5 et 30 microns de longueur d'onde. La technologie disponible en infrarouge lointain, entre 60 et 200 microns, n'offre cependant pas les mêmes performances, et la taille limitée du télescope (de 60 à 80 cm) conduit à une résolution dégradée les images à grande longueur d'onde (**encadré 2**), rendant encore plus difficile la détection de galaxies. La qualité de résolution des images des galaxies individuelles n'était donc que de 20% en fond infrarouge vers 200 microns alors qu'elle était d'environ 80% en infrarouge moyen. Ces chiffres sont des ordres de grandeur, car la valeur absolue de l'intensité du fond n'est pas connue avec grande précision à ces longueurs d'ondes.

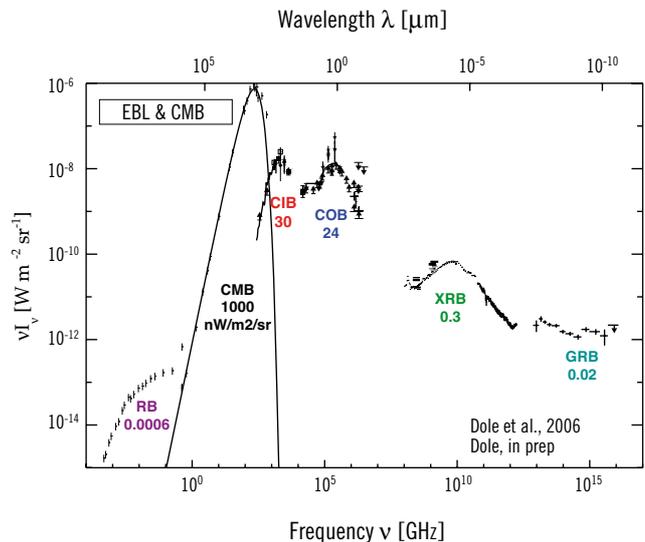
Tirant parti des derniers relevés profonds du satellite Spitzer, qui ont la particularité d'avoir été observés à 7 longueurs d'ondes (entre 3 et 160 microns), notre équipe a alors appliqué une technique originale pour sonder le faible signal du fond extragalactique infrarouge à 70 et 160 microns qui permet de gagner environ un ordre de grandeur en sensibilité. En empilant le signal à 70 et 160 microns de près de 20 000 galaxies préalablement détectées à 24 microns, nous arrivons à mesurer la contribution au fond infrarouge de ces galaxies : nous trouvons désormais des galaxies cachées responsables de 80% du fond infrarouge à 70 et 160 microns (**figure 3**)!

Cette technique remarquable nous permet de donner une valeur inférieure au fond extragalactique extrêmement contraignante pour les modèles, et de

confirmer que le maximum d'énergie de ce rayonnement se situe vers 160 microns. En outre, nous mesurons que ce rayonnement est plus important dans l'infrarouge que dans le visible : les processus

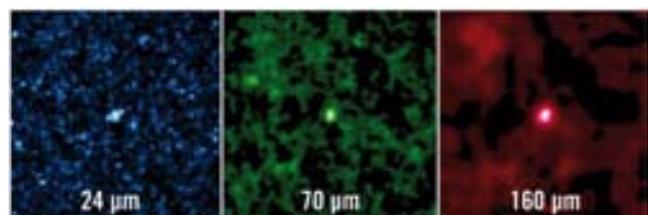
➤ **FIGURE 2**

Distribution spectrale d'énergie des rayonnements diffus dans l'Univers (hors de notre Galaxie), exprimée en puissance par unité de surface et d'angle solide, en fonction de la fréquence observée du rayonnement (en bas, en GHz) ou de sa longueur d'onde (en haut, en microns) sur plus de 20 ordres de grandeurs (échelle logarithmique). Les chiffres indiquent la brillance de chaque rayonnement, en unité de nW/m²/sr. Le rayonnement dominant est le fond cosmologique à 2.7K (noté CMB). Le reste du rayonnement est dû au fond extragalactique s'étendant du domaine radio aux rayons gamma ; son émission est maximum dans l'infrarouge lointain (noté CIB), puis dans le domaine visible (noté COB). Autres fonds : radio (RB), rayons X (XRB), rayons gamma (GRB). Figure : d'après Dole et al. (2006).



➤ **FIGURE 3**

L'empilement d'environ 20 000 galaxies à 24 (gauche), 70 (milieu) et 160 microns (droite) des données du satellite Spitzer, ayant permis la résolution du fond infrarouge lointain. Le signal attendu est la zone brillante au centre de chaque image. Tiré de Dole et al. (2006) ; cf. aussi Bavouzet et al. (2009, in prep).



2 confusion des galaxies et technique d'empilement

Les images provenant des télescopes en orbite observant dans l'infrarouge ont une résolution angulaire dépendant de la longueur d'onde, puisque le pouvoir séparateur est proportionnel à la longueur d'onde d'observation divisée par le diamètre du télescope (fixe). Une image à 160 microns aura ainsi une résolution environ 50 fois moindre qu'à 3 microns prise avec le même télescope. Les images prises vers 100 ou 200 microns de longueur d'onde subissent donc l'effet de confusion, effet qui noie les détails (**figure A**). Les galaxies sont ainsi plus difficilement détectables qu'à courte longueur d'onde.

FIGURE A

La même région du ciel (environ 40 minutes d'arc carrées) observée en infrarouge. De gauche à droite : ISO à 170 microns ; Spitzer à 160, 70 et 24 microns. Noter l'augmentation du nombre de sources détectées à courte longueur d'onde (vers la droite), en raison de la meilleure résolution angulaire et des propriétés des détecteurs. Image : H. Dole et Lagache et al (2005). Reproduit, avec permission, de Annual Review of Astronomy and Astrophysics, Volume 43 ©2005 by Annual Reviews www.annualreviews.org.

Pour mesurer le flux des galaxies à grande longueur d'onde alors que les données sont limitées par la confusion et qu'en apparence il n'y a pas de signal, nous avons utilisé la technique de l'empilement (**figure B**). Il suffit d'additionner le signal de milliers de galaxies non détectées à 160 microns (mais préalablement détectées à 24 microns) pour mesurer le flux total de la distribution. Cette méthode permet d'augmenter le rapport signal sur bruit d'un facteur racine de n , n étant le nombre de sources utilisées. En revanche, il n'est pas possible d'extraire le flux d'une galaxie individuelle : cette méthode permet la mesure de la somme d'un grand échantillon de galaxies. Quand on cherche à résoudre le fond infrarouge, on cherche à mesurer la somme des flux de toutes les populations, et cette méthode est très adaptée.

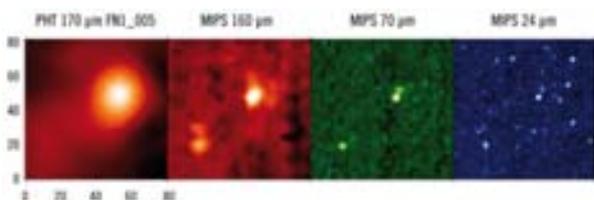


FIGURE B

Illustration de la technique d'empilement (stacking). Les galaxies sont identifiées à 24 microns (colonne de gauche), alors qu'aucune contrepartie n'est détectée à 70 (milieu) et 160 microns (à droite). Une image est extraite autour de chaque galaxie détectée aux trois longueurs d'ondes. Il suffit d'empiler les milliers d'images pour obtenir le signal total (ligne du bas).

Illustrons cette technique sur des cas réels : la **figure C** montre le résultat de l'empilement d'environ 20 000 galaxies ayant permis de résoudre l'essentiel du fond infrarouge lointain (à 70 et 160 microns). La figure 10 montre l'empilement d'environ 7000 galaxies dans les nouvelles données de la camera LABOCA du télescope APEX au Chili, observant à 870 microns. La technique d'empilement permet donc de s'affranchir statistiquement de la confusion. Plus d'informations, images et vidéo sont disponibles sur <http://www.ias.u-psud.fr/irgalaxies/>

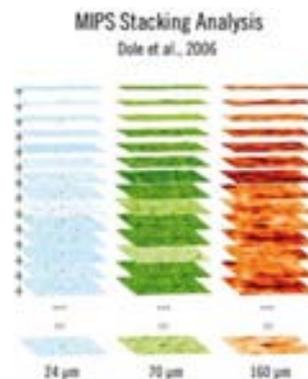
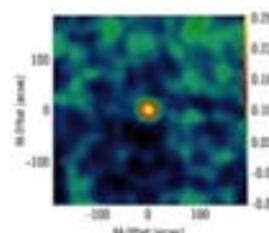


FIGURE C

L'empilement d'environ 7 000 galaxies à 870 microns, des données de la caméra bolométrique submillimétrique LABOCA installée au télescope APEX au Chili. Tiré de Beelen et al. (2009, en préparation).



de formation et d'évolution des galaxies auraient en moyenne émis 120 photons infrarouge lointain pour 1 photon visible. La source principale d'énergie des galaxies étant la formation stellaire (rayonnement UV et visible) et l'environnement des trous noirs (rayonnement UV, X, gamma), le rayonnement extragalactique aurait dû normalement présenter un maximum dans le visible ou à plus grande énergie. Nous avons confirmé que tel n'est pas le cas. Cela confère un rôle important à la poussière interstellaire dans les galaxies, qui absorbe le rayonnement des étoiles et de l'environnement des trous noirs pour le réémettre dans l'infrarouge. L'étape suivante consiste à mieux comprendre l'origine des galaxies contribuant au fond, tout en essayant de retracer l'histoire du fond infrarouge.

La surprenante histoire des galaxies

Dans l'Univers local, c'est-à-dire l'Univers dans les conditions que nous connaissons aujourd'hui, rares sont les galaxies qui émettent l'essentiel de leur énergie dans l'infrarouge. En effet, l'émission stellaire, prépondérante, présente son maximum dans le domaine visible-UV. Le niveau élevé du fond extragalactique dans l'infrarouge lointain suggère un accroissement relatif violent de l'émission infrarouge des galaxies dans le passé. L'étude fine du rayonnement de fond extragalactique infrarouge nécessite d'identifier les galaxies qui y contribuent avec des campagnes de relevés cosmologiques à plusieurs longueurs d'onde : typiquement visible et l'infrarouge proche, et parfois ultraviolet, rayons X, submillimétrique et radio, et spectroscopie. Avec ces données, il est possible de mesurer le décalage spectral des galaxies et leur luminosité, ainsi que leur masse en étoiles (estimation des populations stellaires), en poussières, et du trou noir central s'il y a lieu, taux de formation stellaire, température des poussières et estimation de leur taille.

Il est aussi possible de retracer une partie de l'histoire des galaxies, en particulier la densité de luminosité émise en fonction du décalage spectral, ou redshift (figure 4). Ce remarquable résultat peut être interprété comme l'évolution du taux de formation stellaire en fonction du redshift. La densité de formation stellaire était maximale vers un redshift de 1, et décroissait lentement avec le redshift. Le plus intéressant réside dans la cause de cette évolution. On remarque que les galaxies formant des étoiles sans trop d'obscurité par leurs poussières interstellaires et observées dans l'ultraviolet (courbe en pointillé mauve « UV lointain ») ont une contribution qui croît lentement avec le redshift. La population qui contribue le plus à la densité de formation stellaire est celle des galaxies lumineuses dans l'infrarouge (Luminous InfraRed Galaxies, ou « LIRG », correspondant à des luminosités intégrées

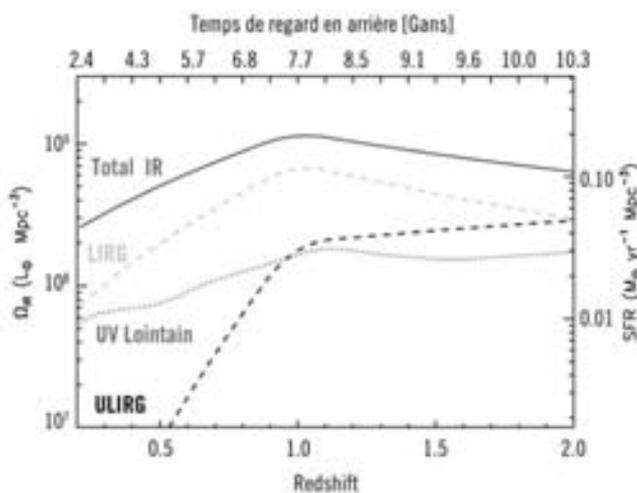
comprises entre 10^{11} et 10^{12} luminosités solaires, dont la contribution augmente d'un facteur 10 entre les redshifts 0 et 1, soit durant les 8 derniers milliards d'années. C'est cette population qui est responsable de l'essentiel du fond infrarouge.

Ainsi s'esquisse la surprenante évolution des galaxies et leurs contributions au fond extragalactique infrarouge. A un redshift supérieur à 0.7, l'Univers est dans une phase active infrarouge. Des galaxies lumineuses en infrarouge (LIRG) dominent la densité de formation stellaire dans l'Univers (vers un redshift valant 1). A plus grand redshift, les ULIRG, ultra-lumineuses dans l'infrarouge, dominent. Le paradoxe apparent du fond infrarouge (à savoir une intensité élevée dans l'infrarouge lointain, alors que peu de galaxies proches y émettent) est levé : si, dans l'Univers local, l'essentiel des galaxies rayonne dans le domaine visible, alors que le fond infrarouge est plus intense en infrarouge lointain, c'est à cause des nombreuses LIRG et ULIRG qui émettent fortement dans l'infrarouge : négligeables en nombre dans l'Univers local, mais qui deviennent prépondérantes à plus grand redshift.

Le fond infrarouge est donc principalement créé par les galaxies très lumineuses dans l'infrarouge. Quelle est la nature physique de ces galaxies ? Elle est en fait très variée, puisqu'une LIRG a pour seule

FIGURE 4

Densité d'énergie (en luminosité solaire par mégaparsec cube), en unités comobiles (qui corrigent des effets de l'expansion) émise par les galaxies en fonction de l'époque cosmique (redshift en bas, ou temps de regard en arrière en haut) et par type : en vert les galaxies très lumineuses en infrarouge (LIRG), en bleu les galaxies ultra-lumineuses en infrarouge (ULIRG), en violet les galaxies observées en UV, et en rouge le total. On remarque que les LIRG dominent jusqu'à un redshift d'environ 2, et qu'un très fort accroissement est observé pour les LIRG et les ULIRG jusqu'à un redshift d'environ 1. Synthèse des travaux de Le Floc'h et al (2005), Caputi et al. (2007), Tresse et al. (2007).



propriété d'être très lumineuse en infrarouge et d'y émettre quasiment toute son énergie, à cause de la poussière interstellaire chauffée. Par exemple, une LIRG locale n'a rien de commun avec une LIRG à un redshift de 1 : dans le premier cas, il s'agit souvent de galaxies en interaction forte ou fusion, avec contribution importante de noyau actif ; dans le second cas, il s'agit souvent d'une galaxie sous forme de disque ou faiblement perturbée. Dans tous les cas, les LIRG sont des galaxies beaucoup plus massives que la moyenne, avec de forts taux de formation stellaire. Pire : à grand redshift (supérieur à 2), les ULIRG sont très massives (10^{11} masses solaires ou plus) et situées au cœur de halos de matière noire massifs (10^{12} masses solaires ou plus), et leur formation rapide est difficilement en accord avec une vision simple du scénario hiérarchique* de formation des structures.

Bien qu'aujourd'hui les observations soient phénoménologiquement expliquées, beaucoup de chemin reste à parcourir pour dégager un modèle physique de la formation et l'évolution des galaxies au sein de leur halo de matière noire. Une approche originale, permettant de contribuer à notre compréhension de l'évolution des structures, est l'étude des anisotropies* corrélées dans les fluctuations du fond extragalactique infrarouge.

Les fluctuations du fond infrarouge : un nouvel outil pour dévoiler la structuration des galaxies

Malgré les succès de la technique d'empilement, la confusion constitue une limitation à l'analyse des données cosmologiques dans l'infrarouge. Cependant, cette confusion étant due aux nombreuses galaxies plus faibles et lointaines, il est pertinent de l'analyser pour en extraire une information statistique sur la distribution angulaire du signal (avec comme outil le spectre de puissance angulaire). Ainsi les fluctuations du fond infrarouge peuvent-elles nous révéler des informations cruciales sur la manière dont les galaxies s'agrègent entre elles. Nous avons combiné les données du satellite Spitzer à 160 microns (**figure 5**), à meilleure résolution angulaire et sensibilité, mais petite surface (4 degrés carrés), avec celles du satellite IRAS à 100 microns, à moins bonne résolution angulaire et sensibilité, mais grande surface d'observation (200 degrés carrés), pour détecter la corrélation des galaxies infrarouges à un redshift de l'ordre de 1. Le spectre de puissance angulaire obtenu montre plusieurs contributions, et la plus intéressante, entre 5 et 30 minutes d'arc

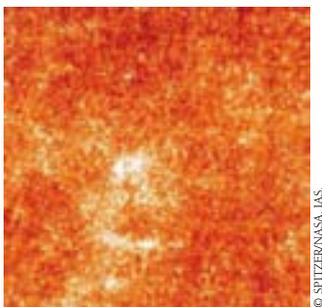


© NASA / JPL-CALTECH / E. CHURCHWELL (UNIVERSITY OF WISCONSIN)

Vue d'une région de formation d'étoiles prise par la caméra IRAC de Spitzer.

FIGURE 5

Image du ciel à 160 microns vus par le satellite Spitzer, sur environ 4 degrés carrés ; les sources brillantes ont été soustraites, et les fluctuations du fond infrarouge sont bien visibles, et distribuées non uniformément. Figure tirée de Lagache et al. (2007).



environ, correspond au signal tant recherché : un excès dû aux fluctuations des galaxies lointaines qui se regroupent selon des échelles privilégiées. Cet effet se remarque sur l'image, où l'on voit que les fluctuations ne sont pas distribuées uniformément dans l'image, mais bien par « paquets ».

En utilisant un modèle d'évolution des galaxies, nous pouvons mesurer le biais des galaxies, c'est-à-dire leur corrélation avec les halos de matière noire. Le biais mesuré s'avère environ trois fois plus élevé que pour les galaxies infrarouges dans l'univers proche. Une très forte évolution du biais est donc observée entre les redshifts 0 et 1. Cette évolution traduit une augmentation de l'activité de formation stellaire dans les environnements denses à grand décalage vers le rouge, avec une inversion de la relation densité/formation d'étoiles entre l'Univers local et à un redshift d'environ 1, évolution également observée par les études d'environnement dans les relevés ultra profonds. La découverte d'anisotropies corrélées avec un biais aussi fort nous laisse espérer pouvoir tracer l'évolution du biais linéaire et du regroupement des galaxies infrarouges jusqu'à redshift de l'ordre de 4 grâce aux données des satellites et Herschel. Pour cela, il faudra inverser les cartes d'anisotropies obtenues par longueur d'onde d'observation, en cartes de structures par redshift. De nouvelles techniques d'analyse du signal sont en cours de développement pour y parvenir : l'empilement et la séparation des composantes.

Après les précédentes générations de satellites observant dans l'infrarouge (IRAS, COBE, ISO, Spitzer) ayant abouti à la découverte des galaxies infrarouges, puis du fond extragalactique infrarouge, et l'identification des galaxies responsables du fond, et enfin de la corrélation des galaxies infrarouges dans les fluctuations du fond, les données des satellites Planck et Herschel s'avèreront cruciales pour comprendre la physique de la formation des galaxies. ■

Glossaire

Anisotropie :

L'anisotropie (contraire d'isotropie) est la propriété d'être dépendant de la direction. Quelque chose d'anisotrope pourra présenter différentes caractéristiques selon la direction. Les cosmologistes parlent d'anisotropie pour décrire les fluctuations du rayonnement fossile issu du big bang. La température détectée des micro-ondes cosmiques fossiles est différente selon la direction.

Modèle hiérarchique :

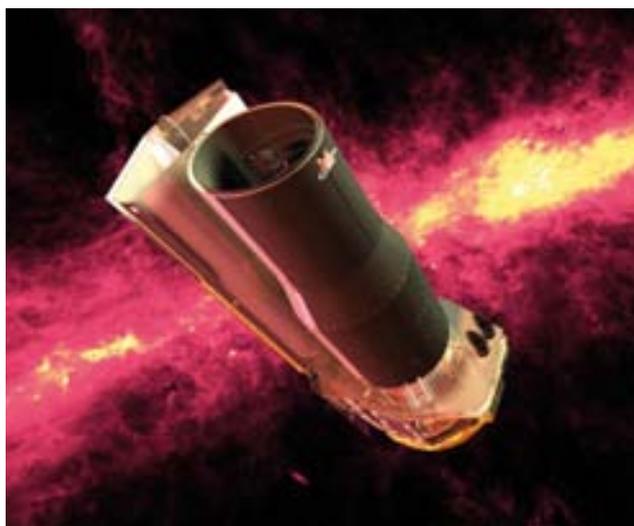
Le modèle le plus favorisé actuellement pour expliquer (au moins en partie) la formation des galaxies et des grandes structures. Il prédit que les halos de matière noire se forment par fusions successives pour former ultérieurement des halos très massifs. La matière baryonique se précipite au centre des halos par interaction gravitationnelle et, en se refroidissant, forme les galaxies.

Redshift :

Ce terme anglais est passé dans le langage courant pour désigner le décalage vers les grandes longueurs d'onde que subit le rayonnement de tous les objets de l'univers qui s'éloignent de nous sous l'effet de son expansion. Pour fixer les idées: redshift=0 correspond à aujourd'hui. Redshift=1 correspond environ à la moitié de l'âge de l'Univers, soit il y a 8 milliards d'années, et qui correspond à une distance d'environ 21 milliards d'années-lumière; Redshift=2 correspond à un quart de l'âge de l'Univers (soit il y a environ 10,3 milliards d'années), et une distance de 51 milliards d'années-lumière.

Réionisation :

En cosmologie, la réionisation représente l'époque où le milieu intergalactique, composé d'atomes existants dans l'Univers, a été ionisé par le rayonnement intense des premières générations d'étoiles et de galaxies illuminant l'Univers de leur rayonnement intense en ultra-violet.



Vue d'artiste du satellite Spitzer.