

# EN FILIGRANE SUR LE RAYONNEMENT FOSSILE

## LES AMAS DE GALAXIES

Un amas de galaxies est un regroupement de plus d'une centaine de galaxies liées par la gravitation. Les amas de galaxies baignent dans un gaz chaud de particules ionisées. Ce plasma atteint des températures supérieures à 10 millions de degrés et peut-être vu par observation aux rayons X.



L'amas de galaxies Abell 2744 photographié par le télescope spatial Hubble.

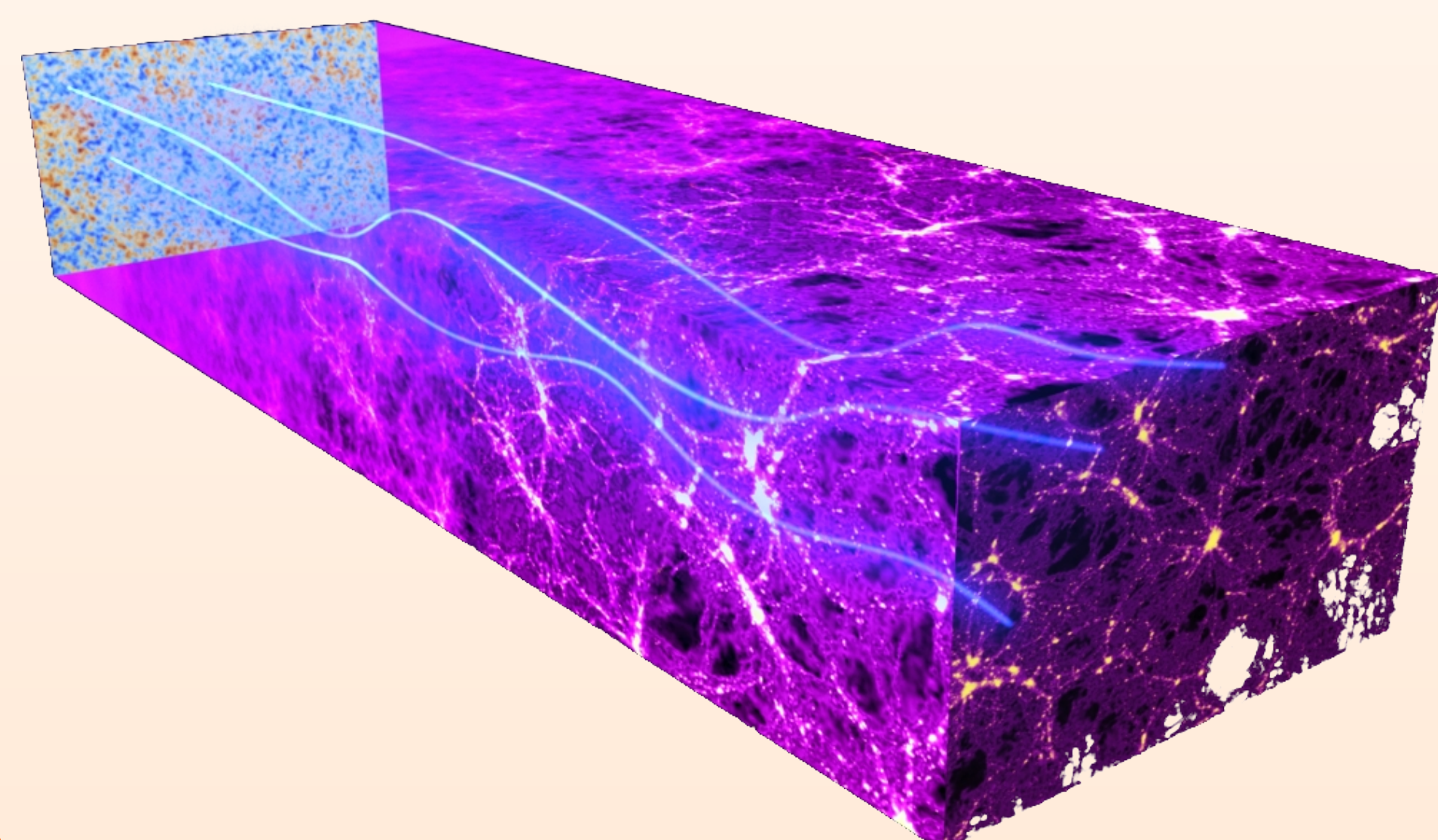
## L'EFFET SZ

Du nom de deux physiciens, R. Sunyaev et Y. Zel'dovich, ayant prédit son existence dès 1969, cet effet décrit les modifications d'intensité du rayonnement fossile dues à la présence d'un amas de galaxies sur la ligne de visée. Le gaz chaud présent dans les amas transfère par collision une certaine partie de sa chaleur au rayonnement fossile qui le traverse. L'effet net est une augmentation caractéristique de la température du rayonnement fossile dans la direction de l'amas de galaxies.

## MIRAGE GRAVITATIONNEL

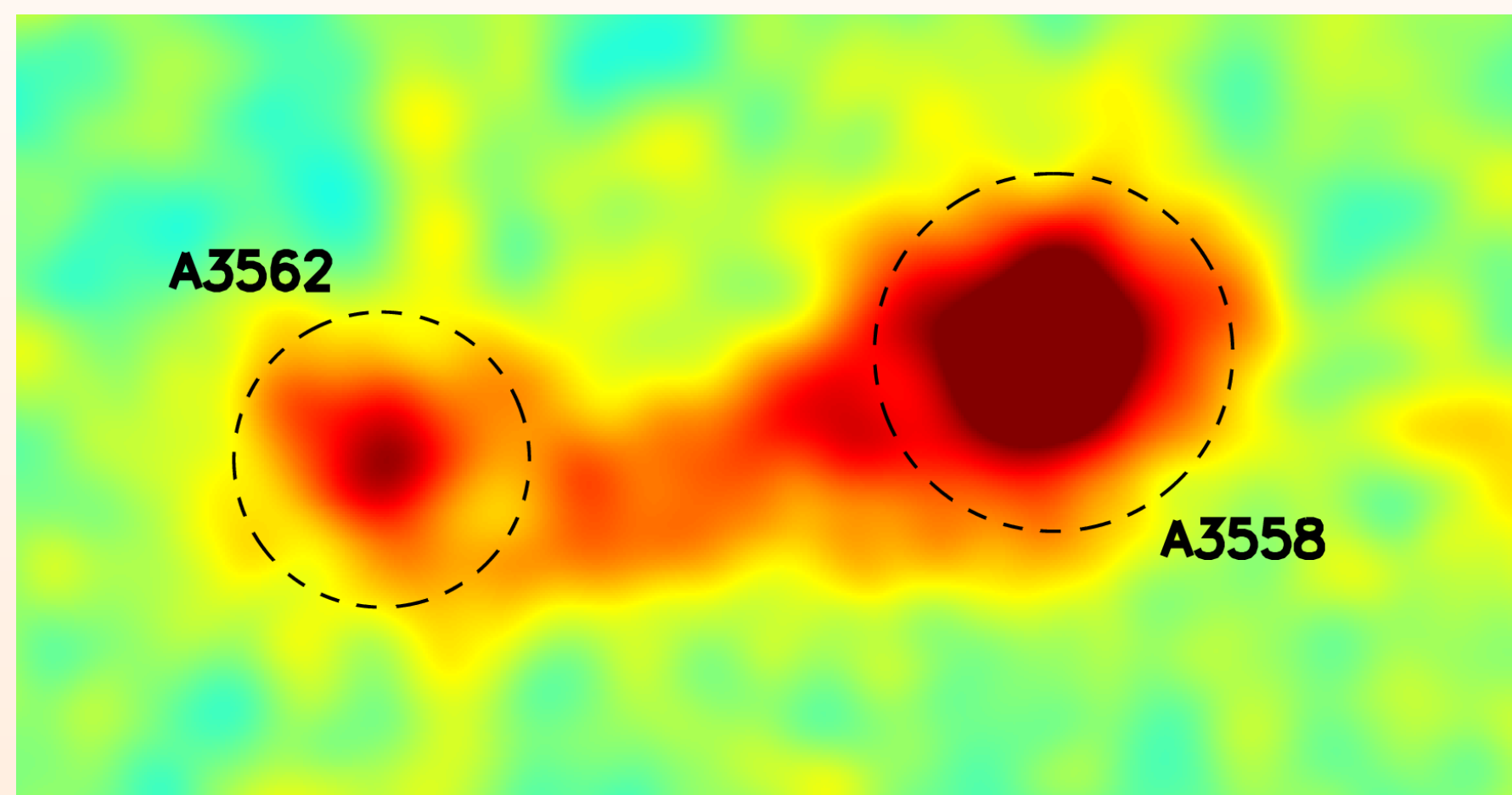
Par sa gravité, toute forme d'énergie modifie la trajectoire de la lumière et celle-ci ne se propage plus en ligne droite au voisinage d'objets massifs. Cet effet est responsable de la présence d'arcs lumineux sur la photo de l'amas Abell 2744 ci-dessus. Ces arcs sont des images étirées de galaxies situées derrière l'amas qui agit alors comme une loupe.

Le même phénomène s'applique sur le rayonnement fossile à ceci près qu'il traverse l'Univers tout entier. Les distorsions induites sont alors le résultat de tous les effets gravitationnels cumulés le long de la ligne de visée.

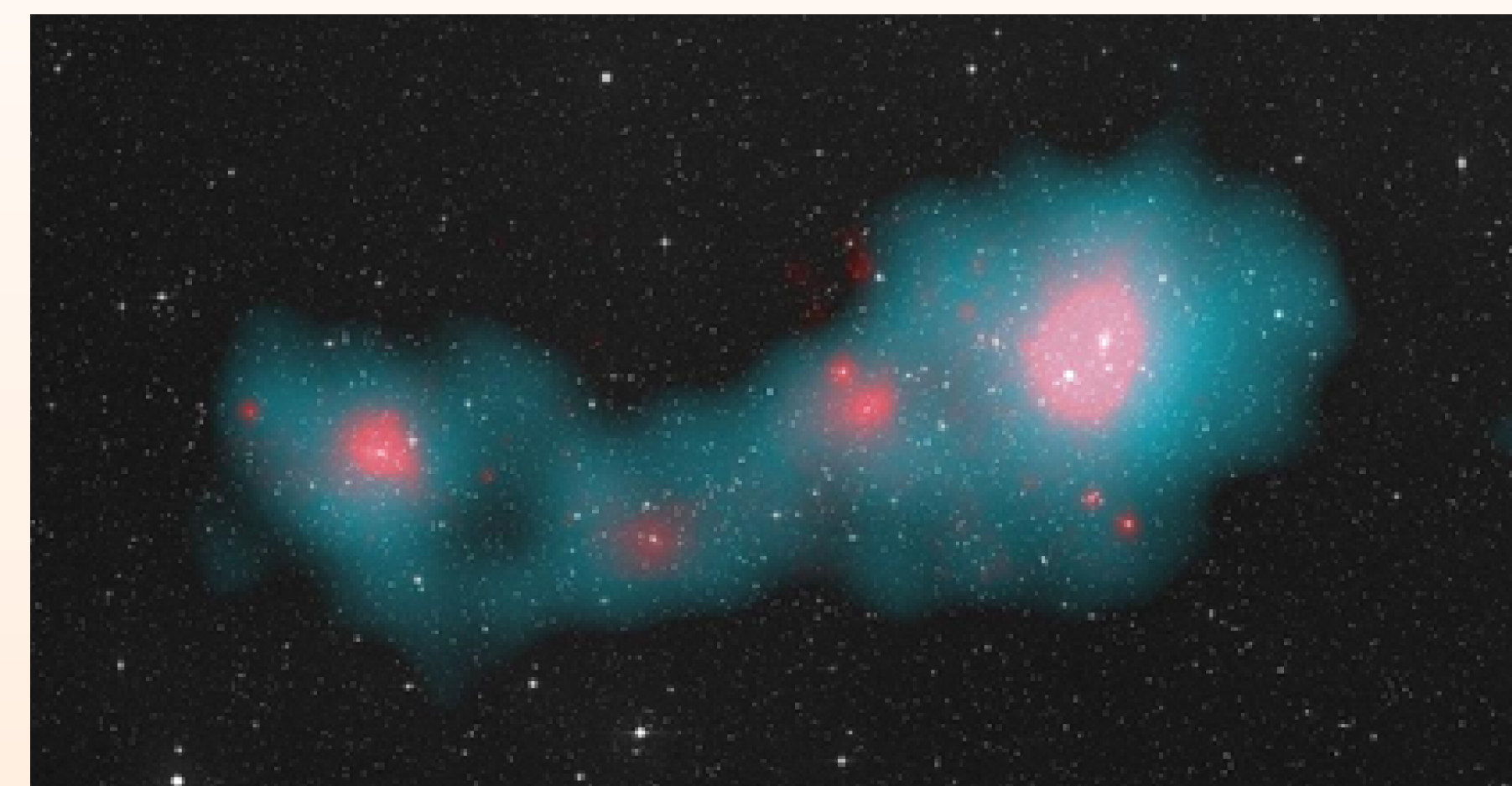


## LE RAYONNEMENT FOSSILE RÉCHAUFFÉ PAR LES AMAS

La cartographie du rayonnement fossile par le satellite *Planck* atteint un niveau de sensibilité tel que les amas de galaxies y sont visibles en filigrane. Lorsque ceux-ci se trouvent sur la ligne de visée, ils induisent un réchauffement caractéristique du rayonnement fossile par effet Sunyaev-Zel'dovich. Ces amas apparaissent sur les cartes de rayonnement fossile comme des tâches rouges anormales (voir figure ci-dessous).



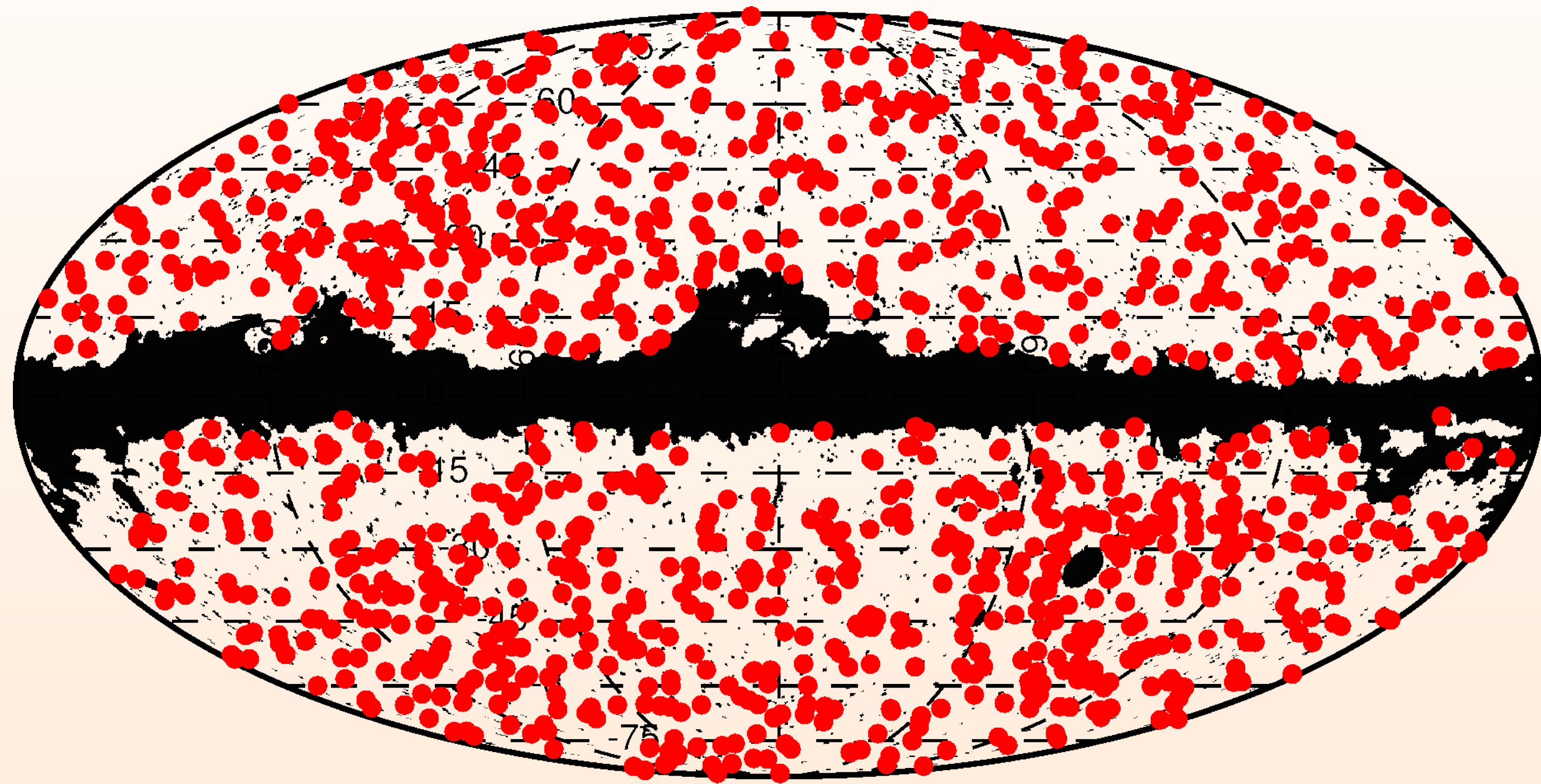
Zoom sur une signature d'amas galactique dans la carte du rayonnement fossile. Les régions entourées correspondent aux centres des deux amas.



Les deux mêmes amas de galaxies photographiés avec un télescope optique. Sur cette photo est superposée en rose une image obtenue par rayons X et en bleu l'effet SZ.

## DES MILLIERS D'AMAS DE GALAXIES DÉCOUVERTS

L'effet Sunyaev-Zel'dovich est d'un intérêt considérable car il est un nouveau moyen d'observation des objets cosmiques distants. En 2014, plus d'un millier d'amas et de super-amas de galaxies ont été détectés pour la première fois dans les cartes de rayonnement fossile produites par le satellite *Planck*.

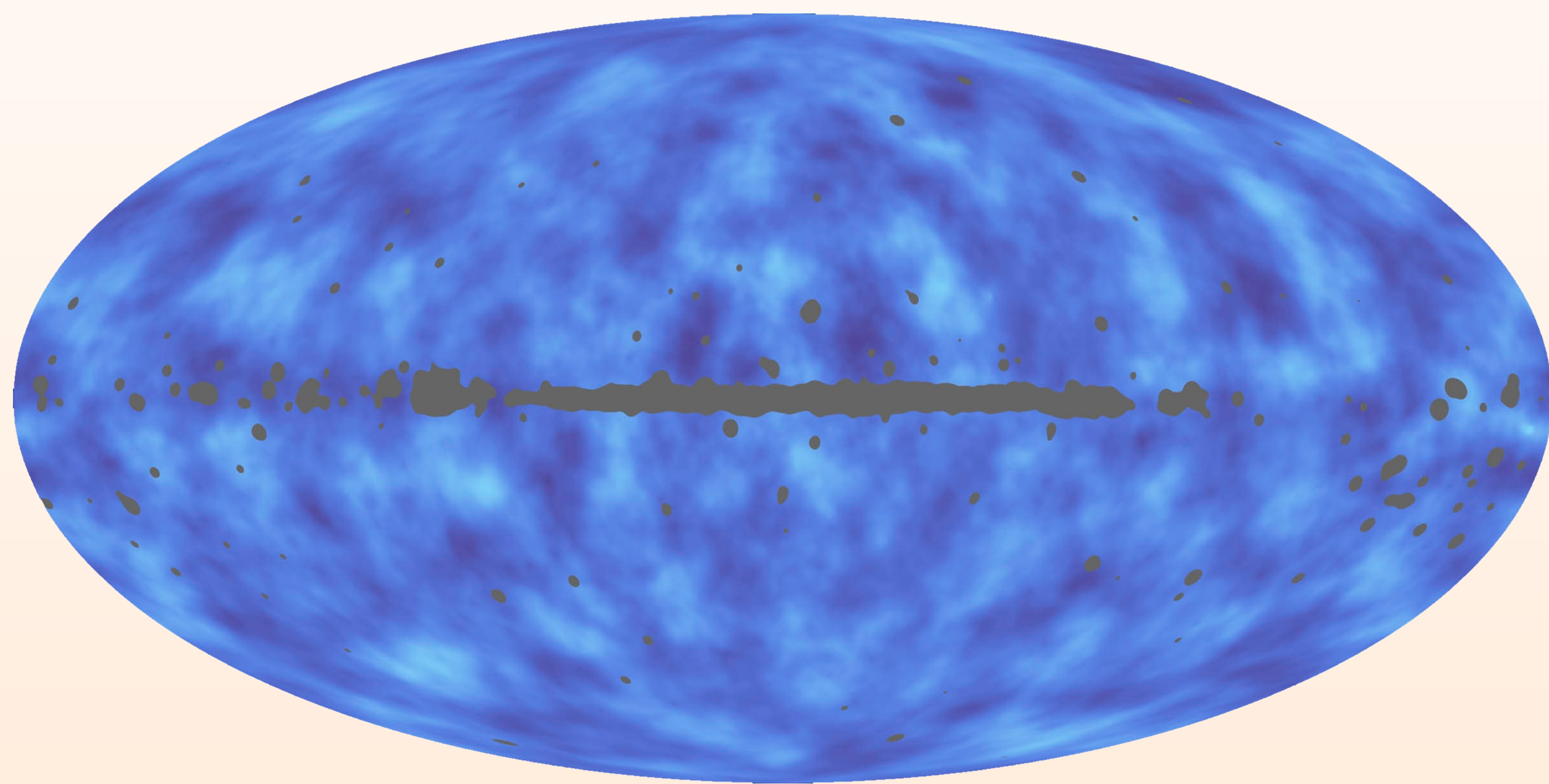


Carte du ciel avec la position de tous les nouveaux amas de galaxies détectés par effet SZ dans le rayonnement fossile. Les parties noires sont les régions du ciel invisibles car masquées par la Voie Lactée.

## LA MATIÈRE NOIRE CARTOGRAPHIÉE

Les mirages gravitationnels du rayonnement fossile sont minuscules mais leur forme est bien particulière de telle sorte qu'ils sont actuellement mesurés dans la carte des anisotropies du rayonnement fossile.

Il est alors possible d'utiliser ces distorsions pour localiser et peser toute forme de matière responsable du mirage. L'image suivante est une carte céleste où la couleur de chaque tâche dépend de la quantité de matière cumulée le long de chaque direction céleste. Ces tâches sont essentiellement dues à la présence de matière noire.



Carte du ciel montrant la répartition de matière noire le long de toutes les directions. Les parties grisées sont les régions du ciel invisibles car masquées par la Voie Lactée.