



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Séance solennelle de l'Académie des sciences / 17 juin 2008
Réception sous la coupole de l'Institut de France des Membres élus en 2007

Des rayons cosmiques aux flambées de formation des étoiles
Catherine Cesarsky

Dans la première partie de ma carrière scientifique, j'ai effectué des travaux théoriques sur l'accélération des rayons cosmiques et leur confinement dans la galaxie. Les rayons cosmiques sont des noyaux et des électrons qui ont été accélérés si fortement qu'ils ont atteint des vitesses proches de celle de la lumière. J'ai étudié les mécanismes d'accélération de ces particules, et en particulier ait montré que les explosions d'étoiles, les fameuses supernovae, n'étaient pas le seul phénomène capable d'amener des particules à des énergies individuelles élevées, mais que les forts vents émis par des étoiles de haute masse pourraient permettre d'aller encore au delà. Les étoiles massives ont des temps de vie relativement courts, qui se comptent en dizaines ou centaines de millions d'années. On les trouve donc dans des régions de formation d'étoiles. Ceci m'a amenée à m'intéresser à la formation des étoiles, dans notre galaxie, puis dans des galaxies extérieures à la nôtre. Les étoiles se forment au sein de nuages de gaz, auquel sont mêlés d'imperceptibles grains de poussière. Les étoiles massives sont très chaudes, 4 à 8 fois plus chaudes que le soleil, et émettent essentiellement des rayons ultraviolets. Or la poussière absorbe les rayons ultraviolets ; en conséquence, elle se réchauffe, mais comme sa température reste très faible, environs 100 fois plus faible que celle de la surface du soleil, elle réémet l'énergie absorbée dans une gamme beaucoup moins énergétique du spectre électromagnétique: sous forme de lumière infrarouge. C'est donc dans l'infrarouge, ou dans des ondes encore plus longues, dans le sub millimétrique, que l'on a le mieux accès à l'intérieur des nuages interstellaires et que l'on peut étudier la formation des étoiles.

Donc, dans l'étape suivante de ma carrière, je me suis tournée vers l'astronomie infrarouge. On met souvent en opposition l'astronomie des hautes énergies, qui s'attache à étudier les événements violents dans l'univers, les explosions d'étoiles, les effondrements vertigineux de matière attirée par un trou noir, et les astronomies douces, les rayons infrarouges émis par les régions les plus froides de l'univers, les nuages interstellaires. On aurait donc pu penser qu'en passant des rayons cosmiques à

l'astronomie infrarouge, j'allais complètement changer mes sujets d'étude, mais je vais vous montrer qu'il n'en est rien.

L'astronomie infrarouge est plus difficile à mettre en œuvre que ses voisines, le visible d'un côté et la radioastronomie de l'autre, et pour cette raison elle a pris un certain retard. L'atmosphère terrestre émet des rayons infra rouges, ainsi que les objets sur sa surface, vous, moi, les télescopes, les instruments. Les observations les plus sensibles sont donc réalisées à partir de satellites qui emportent des télescopes et des instruments refroidis à des températures proches du zéro absolu. Le premier de ces satellites, IRAS, lancé en 1983, fit un relevé complet du ciel dans quatre couleurs de l'infrarouge. Sa sensibilité ne lui permettait d'observer que les régions de l'univers qui sont proches de nous, et qui représentent l'état actuel de l'univers. Des instruments plus sensibles permettent de détecter des objets apparemment plus faibles, le plus souvent simplement parce qu'ils sont plus lointains. Comme la lumière venant des astres lointains met un temps long à nous parvenir, nous les voyons comme ils étaient dans le passé, et donc nous pouvons ainsi, en véritables paléontologues cosmiques, appréhender des étapes antérieures de l'histoire des galaxies et de l'univers.

IRAS donc, parmi ses nombreuses découvertes, a mis en évidence l'existence de galaxies beaucoup plus brillantes dans l'infrarouge que dans le visible. Certaines de ces galaxies ont, en plus, une luminosité totale très élevée, comparable seulement à celle des quasars ! Dans le proche univers, ces galaxies lumineuses et ultra lumineuses n'émettent, cependant, que 2% de l'énergie émise par l'ensemble des galaxies, et 6% du rayonnement infrarouge des galaxies. Ce sont donc des objets rares.

Le satellite infrarouge qui a suivi IRAS fut ISO, lancé en 1995. Compte tenu de ma volonté de mieux comprendre les bilans d'énergie liés à la formation des étoiles, je me suis impliquée dans la construction de ce satellite et j'ai été amenée à diriger les équipes responsables de la caméra d'ISO, Isocam. Avec Isocam, nous pouvions avoir dans l'infrarouge moyen, à une longueur d'onde autour de 15 microns, une sensibilité 100 à 1000 fois supérieure à celle d'IRAS. Ceci nous a permis d'observer l'univers lointain, et l'évolution des galaxies à partir du moment où l'univers avait 40% de son âge actuel. Nous fîmes des comptages de galaxies, c'est à dire que nous pointions le télescope dans une direction et nous comptions le nombre de sources détectées par unité de surface. Nous faisons des poses courtes sur des champs étendus, pour avoir la statistique des sources brillantes, et des poses longues sur des champs réduits, pour comptabiliser les sources faibles, bien plus nombreuses. Ce simple exercice nous permit de découvrir que les galaxies lumineuses dans l'infrarouge étaient beaucoup plus nombreuses dans le passé qu'actuellement. Ces fortes luminosités infrarouges traduisent, en général, la présence de régions où de nombreuses étoiles se forment en même temps : on parle de flambées de formation d'étoiles. Alors que dans le proche univers la plupart des galaxies se contentent d'investir, comme la Voie Lactée, environs une masse solaire par an dans de nouvelles étoiles, les galaxies infrarouges ont des taux de formation d'étoiles 10 à 1000 fois plus élevés. On voit donc que l'univers lointain était assez différent de l'univers actuel, et que la majorité des étoiles se formaient alors dans ces grandes flambées. Dans le même temps que nous faisons cette découverte, Jean-Loup Puget et ses collaborateurs mettaient en

évidence la présence d'un fond extragalactique de lumière infrarouge, englobant une énergie comparable ou supérieure à celle du fond de lumière optique. Nous pûmes montrer que nos galaxies étaient probablement les principales responsables de ce fond de lumière. Ces résultats furent confortés par ceux du satellite infrarouge suivant, encore plus performant, Spitzer. Spitzer a pu aller plus loin dans l'espace et dans le temps qu'ISO, et trouve une prééminence des galaxies ultralumineuses dans l'infrarouge lorsque l'univers avait le quart de son âge actuel. Il semble qu'à cette époque toutes les galaxies très massives étaient ultra lumineuses dans l'infrarouge. L'obtention de tous ces résultats nécessite une extrapolation de l'infrarouge moyen à l'infrarouge lointain, encore peu exploré. Ils ne pourront être définitivement admis (ou rejetés) qu'après l'avènement des premières observations à haute sensibilité dans l'infrarouge lointain, par le satellite Herschel qui doit être lancé bientôt.

Par ailleurs, en recoupant les résultats de Spitzer et ceux des satellites aux rayons X, on arrive à montrer qu'une partie de ces galaxies ont, en leur sein, non seulement une flambée de formation d'étoiles enfouie dans la poussière des régions centrales, mais aussi un trou noir ultra massif. Et ceci nous ramène aux processus énergétiques, et à la genèse de rayons cosmiques.