

## LES POTINS DE LA VOIE LACTEE : LA PREMIERE MESURE DU RAYONNEMENT THERMIQUE COSMOLOGIQUE

*Note de la Rédaction : Cet article est repris du numéro 165 (juillet 1991) de la revue **Pour La Science**, avec l'aimable autorisation de la Rédaction de cette revue.*

---

Les ouvrages d'histoire de la cosmologie rapportent qu'Arno Penzias et Robert Wilson ont découvert, en 1965, le rayonnement diffus cosmologique qui constitue l'une des preuves de la théorie cosmologique du Big Bang. Cependant, Albert Le Floch et Fabien Bretenaker, de l'Université Rennes I, affirment qu'Emile Le Roux qui travaillait dans le Laboratoire de radioastronomie de l'Ecole normale supérieure de Paris, a mesuré dès 1955, ce rayonnement avec une précision remarquable pour les moyens expérimentaux dont il disposait.

On sait aujourd'hui que ce rayonnement, libéré lorsque l'Univers était 1000 fois plus condensé, se propage librement parce qu'il n'interagit pratiquement plus avec la matière : l'Univers primitif, formé notamment de protons, d'électrons et d'ions, était en équilibre thermique avec le gaz chaud de photons qui baignait ces particules. Lorsque la matière devint neutre, l'équilibre thermique fut rompu, et le gaz de photons cessa d'interagir ; en raison de l'expansion de l'Univers, la température de ce rayonnement cosmologique, gaz de photons en équilibre thermique, a commencé à diminuer.

Le spectre de ce rayonnement thermique cosmologique est identique à celui d'un corps noir (un émetteur parfait) dont la température est évaluée à  $2,735 \pm 0,006$  kelvins, d'après les mesures actuelles les plus précises effectuées à bord des satellites ou des fusées. Ce rayonnement électromagnétique, émis peu après le Big Bang, est le signal le plus vieux et le plus lointain que l'on ait détecté.

Les deux radioastronomes auxquels on attribue la première mesure du rayonnement travaillaient dans un laboratoire de la Société Bell et cherchaient les sources de bruit susceptibles d'interférer avec les systèmes de communication par satellite. Ils utilisaient un récepteur radio détectant les longueurs d'onde égales à 7 centimètres ; comme ces émissions étaient très faibles - quelques  $10^{-30}$  watts - il était nécessaire d'amplifier tous les signaux enregistrés.

Cependant, si l'on amplifie les signaux reçus, on fait de même pour les signaux parasites, notamment le "bruit" du détecteur lui-même. A. Penzias et

R. Wilson refroidissaient leur récepteur avec de l'hélium liquide, à quatre kelvins, afin de limiter le bruit de fond et d'améliorer la précision des mesures.

Ils découvrirent par hasard une composante d'émission résiduelle, isotrope dans tout le ciel et correspondant à celle d'un corps noir dont la température semblait égale à  $3.5 \pm 1$  kelvins. Collaborant avec P. Peebles, P. Roll et Wilkinson, Robert Dicke comprit qu'il s'agissait du rayonnement fossile qui baigne tout le ciel. Dès 1948, George Gasmow avait prévu l'existence d'un tel rayonnement, conséquence des conditions régnant dans les premières phases de l'Univers. R. Dicke et ses collègues avaient affiné les prévisions théoriques.

Parce qu'ils sont, à l'Université de Rennes, des collègues d'E. Le Roux, et parce qu'ils sont en relation avec R. Dicke, de l'Université de Princeton, aux Etats-Unis. A. Le Floch et F. Bretenaker ont découvert, au fil de discussions informelles, que leur collègue avait été le premier à mesurer le rayonnement cosmologique dans le cadre de sa thèse.

Les radioastronomes construisaient à l'époque des antennes et observaient les premières sources de rayonnement radio. Ils connaissaient la loi de variation de l'intensité du rayonnement d'un corps noir en fonction de la longueur d'onde du rayonnement, et pouvaient ainsi étudier un tel rayonnement à n'importe quelle longueur d'onde.

E. Le Roux utilisa une antenne détectant les longueurs d'onde de 33 centimètres et un récepteur parabolique de 7,5 mètres de diamètre dont il connaissait précisément la distribution spatiale de la détectivité : un radiotélescope, dont le pouvoir de résolution est généralement médiocre, enregistre les ondes provenant de la direction de la source que l'on cherche à mesurer, mais aussi celles des sources contenues dans un cône ayant pour axe cette direction, et d'angle d'autant plus petit que la résolution du télescope est bonne. La fraction d'énergie correspondant à la direction incidente est fonction de l'angle d'observation et la relation entre cette fraction d'énergie et l'angle d'observation est connue sous le nom de distribution spatiale de la détectivité.

E. Le Roux avait choisi de détecter les longueurs d'onde égales à 33 centimètres, mais il ne disposait pas encore des moyens qui lui auraient permis de refroidir son détecteur. Son récepteur, non refroidi, avait une émission propre importante, équivalant à une température de 1450 kelvins se superposant à toute autre mesure. Ainsi, pour mesurer un signal de trois kelvins s'ajoutant aux 1450 kelvins du récepteur, il aurait fallu connaître cette température avec une précision supérieure à 0,1 pour cent, et le gain du récepteur qui aurait permis de transformer le signal observé en température aurait dû être connu avec cette précision, évidemment inaccessible.

Afin de mesurer ce qu'il appelait "la température du ciel", E. Le Roux imagina une méthode très ingénieuse, éliminant les difficultés engendrées par le bruit important du récepteur. Il eut l'idée originale d'enregistrer les signaux obtenus au cours d'un balayage vertical de l'antenne, depuis le zénith jusqu'à l'horizon. En effet, pour chaque position, la température mesurée résulte de la contribution de deux sources de rayonnement : celui émis par le sol, dont on connaît la température (285 K), et celui émis par le ciel, dont on veut déterminer la température.

Par un étalonnage préalable et connaissant la courbe de distribution de la détectivité de l'antenne qu'il utilisait. E. Le Roux déterminait pour chaque orientation de l'antenne, la proportion de rayonnement émis par le sol et celle qui correspondait au ciel ; comme il connaissait le rayonnement global de la Terre, il calculait la fraction du rayonnement terrestre correspondant à l'orientation de l'antenne étudiée, et, de ses mesures du rayonnement global, il déduisait le rayonnement du ciel, puis sa température. E. Le Roux effectua ainsi trois mesures qui lui fournirent trois valeurs : 2,7 K, 2,0 K et 3,9 K. Il en déduisit une valeur moyenne de  $3 \pm 2$  kelvins, valeur aussi proche de la valeur acceptée aujourd'hui, que celle obtenue 10 ans plus tard par A. Penzias et R. Wilson.

Dans son mémoire de thèse conservé dans les bibliothèques des Observatoires, E. Le Roux examine l'origine de ce rayonnement. Il ne mentionne pas les travaux de cosmologie que Gamow, Alpher et Herman firent en 1948 : il n'évoque à aucun moment l'hypothèse d'un rayonnement primitif. Il essaie de savoir si ce rayonnement, qu'il montre être isotrope, correspond au rayonnement émis par l'ensemble des galaxies, et s'il est de nature thermique.

En effet, certaines radiosources se comportent comme des corps noirs , et l'intensité du rayonnement émis est fonction de la longueur d'onde, mais d'autres radiosources, notamment les plus intenses, émettent aussi un rayonnement synchrotron qui suit une loi différente.

E. Le Roux ne parvint pas établir la nature thermique du rayonnement qu'il étudiait... parce qu'il fut obligé, pour construire la courbe de l'intensité du rayonnement étudié en fonction de la longueur d'onde, d'utiliser des mesures effectuées par d'autres astronomes et qui étaient inexactes. Il interpréta le rayonnement qu'il avait mesuré comme la résultante de l'émission homogène et isotrope de toutes les galaxies.

Le second sujet de thèse de E. Le Roux montre combien celui-ci se préoccupait du rayonnement émis par les galaxies, et qu'il pensait avoir observé; ce travail bibliographique exigé pour l'obtention d'une thèse d'Etat jusqu'à la fin des années 1960, portait sur le paradoxe d'Olbers : pourquoi le ciel

nocturne est-il noir, tandis que le rayonnement émis par l'ensemble des étoiles devrait le rendre uniformément brillant ?

L'astronome suisse Jean-Philippe Loys de Chéseaux dans son traité de la comète (1743), puis, en 1823, l'allemand Heinrich Olbers, qui sans doute ignorait l'oeuvre de Chéseaux ont été les premiers à expliciter ce paradoxe. La formulation d'Olbers reste attachée à cette interrogation : "Si l'espace est rempli à peu près uniformément d'étoiles, jusqu'à des distances aussi grandes que l'on voudra, le ciel doit être à peu près aussi brillant que la surface solaire." Toute ligne de visée devrait rencontrer nécessairement une étoile, et le ciel devrait avoir une brillance égale à la moyenne des brillances des étoiles. Or, entre les étoiles, le ciel est noir, et selon de Chéseaux et Olbers, une matière absorbante gazeuse aurait masqué le rayonnement des étoiles lointaines ; cette hypothèse a été rejetée depuis lors. E. Le Roux essaya de transposer le paradoxe d'Olbers aux galaxies : celles -ci émettent dans le domaine visible et dans le domaine radio ; ainsi le ciel devrait être uniformément brillant dans le domaine radio ; sauf si le paradoxe d'Olbers s'applique aussi à ce domaine de longueurs d'onde. Comme E. Le Roux avait observé le rayonnement isotrope, il pensait qu'il n'y avait pas de paradoxe dans le domaine radio.

On admet aujourd'hui, d'une part, que les étoiles s'occultant les unes les autres, l'horizon stellaire est limité, et que l'on ne "voit" pas le rayonnement émis par les étoiles les plus éloignées ; d'autre part, que l'Univers étant en expansion, la lumière des astres lointains est décalée vers le rouge jusqu'à ne plus participer à la brillance du ciel.

E. Le Roux n'a pas eu la même chance qu'A. Penzias et R. Wilson que le radioastronome Bernard Burke a mis en relation avec les théoriciens de la cosmologie : ceux-ci ont immédiatement compris la portée de leur découverte, rapidement publiée. Notons que cette démarche était peut-être plus aisée en 1965 qu'en 1955. Peu soucieux de célébrité personnelle, E. Le Roux ne s'est pas manifesté en 1965.

Deux de ses collègues ont eu à coeur, 25 ans plus tard, de récrire cette phase de l'histoire de la radioastronomie.

Lucienne Gouguenheim

## L'ŒUVRE ASTRONOMIQUE DE CLAIRAUT

---

---

Pourquoi, dans les Cahiers Clairaut, ne parlerait-on pas, de temps à autres, de Clairaut lui-même ? En effet, me dit un nouvel abonné, cela m'expliquerait la raison du choix de ce titre pour la revue trimestrielle du CLEA.

Nous l'avions dit, évidemment, dans notre premier numéro, mais c'est déjà vieux (printemps 1978) et nous pouvons y revenir sans nous renier. Je persiste à penser que l'idée était bonne. La justification tient en deux phrases :

- Clairaut fut un génial mathématicien précoce, tôt acquis aux idées de Newton, et dont les contributions au problème des trois corps furent certainement importantes ;

- Clairaut fut aussi un pédagogue et ses ouvrages, Elémens de Géométrie (1741) et Elémens d'Algèbre (1746) s'inspirent du souci de rendre ces initiations scientifiques accessibles aux débutants ; ou pour reprendre ses propres écrits "Ces premiers pas ne pouvaient être hors de la portée des Commençants puisque, historiquement, c'étaient des Commençants qui les avaient faits."

Deux bonnes raisons : un savant à la pointe des recherches de son temps et soucieux de l'initiation des débutants. Vous en connaissez beaucoup d'exemples dans l'histoire, ou même aujourd'hui ? Oui, bien sûr, il y en a, ils sont rares et ils sont nos amis. En fait, nous attachions peut-être plus d'importance à la deuxième phrase qu'à la première : le premier objectif du CLEA est de participer à une meilleure formation des maîtres, besoin primordial pour qui envisage sérieusement le développement de l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement public, de la Maternelle aux Universités. Quand nous considérons ce qu'a fait le CLEA depuis 1978 (on pourrait même dire depuis cette journée sur l'enseignement lors du congrès 1976 de l'Union Astronomique Internationale à Grenoble), d'école en université d'été, de fascicules pour la formation des maîtres en transparents animés pour rétroprojecteur ou séries de diapositives et jusqu'aux recueils Hors Série de fiches pour l'Ecole élémentaire ou le Collège (en attendant celles pour le Lycée), les équipes animées par le CLEA sont bien restées fidèles à la pensée de Clairaut. Par elles et grâce à leur travail, les premiers pas en astronomie ne sont plus hors de la portée des commençants...

Ce qui ne signifie pas enfermement dans les éléments et indifférence à l'égard des problèmes actuels de la science. Comment d'ailleurs ne pas enrichir l'enseignement, même élémentaire, des idées et des découvertes de l'astrophysique d'aujourd'hui ? C'est encore une façon d'être fidèles à l'exemple que nous donna Clairaut. En même temps que ses Elémens de Géométrie et d'Algèbre, il publiait Du système du monde dans les principes de la gravitation universelle (1745). Il lui fallait se battre pour faire reconnaître la mécanique de Newton rejetée a priori par des cartésiens attardés. Aujourd'hui, on ne peut ignorer les problèmes des quasars ou des super novae, non plus que les merveilles du système solaire révélées par les sondes interplanétaires. Relisez plutôt les articles de tête dans chaque numéro des Cahiers.

Soyons donc tout à fait fidèles à la leçon de Clairaut en revenant sur son oeuvre astronomique. Elle s'organise autour de deux grands thèmes, la figure de la Terre comme on disait alors et le problème des trois corps ; c'est à dire sur les applications de la grande idée de l'attraction universelle et sur les développements de la mécanique newtonienne. Car si Clairaut apporta sa pierre à l'histoire de l'astronomie, ce fut surtout au titre de géomètre, comme on disait alors, au titre de mathématicien.