

Fond infrarouge

Le satellite COBE a détecté le rayonnement émis lors de la formation des premières galaxies.

Comment se forment les galaxies ? Cette question est une énigme. Un pas vers la réponse vient d'être franchi : le rayonnement émis par les galaxies à leur formation a été identifié dans les observations du satellite COBE par une équipe de l'Institut d'astrophysique spatiale à Orsay. Le rayonnement détecté correspond à l'émission des premières générations d'étoiles lorsque l'Univers avait moins d'un milliard d'années.

La formation des galaxies résulte d'une importante concentration de matière en certains points de l'Univers. Lorsque la densité est suffisante, la matière s'effondre sous son propre poids formant ainsi les premières étoiles qui s'agglutinent en galaxies. À la fin de leur vie, l'explosion des étoiles massives dissémine les atomes fabriqués en leur sein qui serviront pour les générations ultérieures d'étoiles.

Ainsi, de génération en génération, la composition des étoiles reflète l'histoire des éléments produits en leur sein. Comme les étoiles moins massives que le Soleil ont une durée de vie supérieure à l'âge de l'Univers (15 milliards d'années), on en observe de toutes les générations. Leur étude montre que l'abondance des atomes lourds, comme le carbone, l'oxygène et le fer, atteint une valeur proche de l'abondance actuelle très tôt dans l'histoire de notre Galaxie : ces atomes ont été formés par les premières générations d'étoiles.

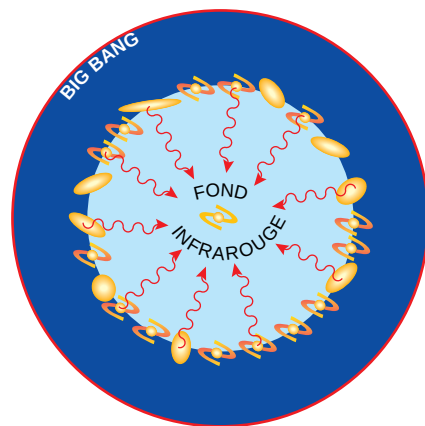
La formation de notre Galaxie a dû coïncider avec une gigantesque flambée d'étoiles, notamment d'étoiles massives qui rejettent après quelques millions d'an-

nées les éléments qu'elles ont synthétisés. Les astrophysiciens pensent donc que, lors de leur formation, les galaxies étaient des objets très lumineux. On prédit cette luminosité en estimant le nombre d'étoiles massives nécessaires pour former les atomes lourds présents dans les galaxies.

Comme les étoiles naissent dans des cocons de gaz et de poussières, le rayonnement visible et ultraviolet des étoiles est absorbé puis émis à une longueur d'onde inférieure, dans l'infrarouge. De plus, depuis l'époque de leur formation, les premières galaxies se sont éloignées de nous en raison de l'expansion de l'Univers. Plus les galaxies sont loin de nous, plus elles s'éloignent vite, ce qui décale la longueur d'onde de ce rayonnement vers le rouge par rapport à l'émission infrarouge des étoiles de notre Galaxie. On s'attend donc à une émission isotrope, dans l'infrarouge.

SOUSTRAIRE LA GALAXIE

Le satellite d'observation à vocation cosmologique COBE a réalisé une série de cartes du ciel, de l'infrarouge proche aux ondes radio (à des longueurs d'onde comprises entre un millionième de mètre et un centimètre). La détection du rayonnement qui résulte de la formation des premières galaxies, nommé fond extragalactique infrarouge, est difficile car il faut extraire l'émission extragalactique de toutes les autres contributions à l'émission infrarouge détectée par COBE. À ces longueurs d'onde, la brillance du ciel est



Sur cette représentation où notre Galaxie est au centre, des cercles concentriques de rayons croissants représentent des événements simultanés de plus en plus anciens. Un milliard d'années après le Big Bang, lors de la formation des premières galaxies, une intense flambée d'étoiles émet un rayonnement infrarouge.

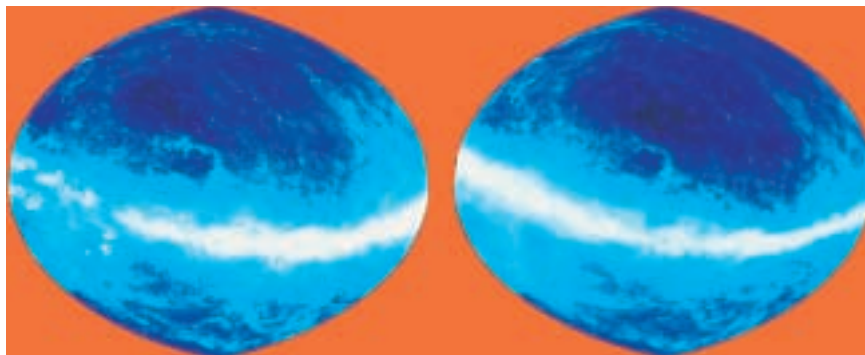
dominée par l'émission de petites poussières distribuées partout dans notre Galaxie et chauffées par les étoiles.

La corrélation entre la distribution de l'émission infrarouge et de l'émission de l'hydrogène permet d'utiliser l'hydrogène comme marqueur des poussières galactiques. À l'aide de l'émission de l'hydrogène qui provient uniquement de notre Galaxie, on estime le spectre de l'émission des poussières galactiques. La soustraction de ce spectre au spectre infrarouge de COBE révèle l'existence d'un résidu isotrope ayant un spectre décalé vers le rouge par rapport à celui de la composante galactique.

Comme le rayonnement est isotrope, ce résidu ne peut venir ni du disque de notre Galaxie, ni de l'intérieur du Système solaire, car toute la matière y est concentrée autour du plan de rotation des planètes. Si cette émission provenait d'un nuage de comète, tel le nuage de Oort, le Soleil serait nimbé d'un halo infrarouge visible de l'extérieur du Système solaire. Comme une telle source d'émission n'est pas détectée autour des étoiles proches (que l'on imagine, de ce point de vue, semblable au Soleil), cette origine est peu vraisemblable. On écarte de même une explication liée à un halo sphérique de grande taille autour de notre Galaxie, car on n'observe pas de tels halos autour des galaxies voisines : l'hypothèse extragalactique est la plus plausible.

De surcroît, l'intensité de l'émission mesurée correspond à celle calculée par les modèles théoriques réalisés avant la détection. La détection du fond extragalactique apporte une information globale sur la formation des galaxies. La détection des objets individuels qui contribuent à ce fond en précisera le scénario.

François BOULANGER, IAS, Orsay



La carte du ciel en infrarouge obtenue par le satellite COBE (à gauche) résulte de l'émission des poussières galactiques plus d'un éventuel fond infrarouge (plus les couleurs sont claires plus l'émission est intense). La ressemblance de cette carte avec celle de l'émission de l'hydrogène (à droite) montre que le gaz est un marqueur des poussières galactiques. Ainsi, on estime la composante infrarouge galactique. En ôtant cette composante à la carte infrarouge globale, on obtient une carte uniforme : le fond extragalactique infrarouge.

L'ecstasy

La drogue entraîne une élévation parfois mortelle de la température corporelle.

Cette substance est apparue sur le marché de la drogue, il y a une dizaine d'années, et le nombre de consommateurs augmente (25 000 personnes auraient déjà consommé cette drogue, en France, 500 000 en Grande-Bretagne). Elle est responsable d'intoxications aiguës et d'hyperthermie, c'est-à-dire d'une augmentation de la température qui dépasse, parfois, les limites compatibles avec la vie.

L'ecstasy est un dérivé de l'amphétamine qui entraîne un fort désir de se lier à autrui. La réduction des inhibitions sociales libèrent l'expression des sentiments et de l'émotivité. L'ecstasy a été qualifiée de «pilule de l'amour», bien qu'elle inhibe les capacités sexuelles. Comme tous les dérivés de l'amphétamine, l'ecstasy augmente la vigilance, améliore l'humeur et donne l'impression d'avoir une énergie musculaire décuplée : les consommateurs dansent pendant des heures.

Elle est généralement consommée lors des soirées rave (du verbe anglais délirer) : des centaines d'adolescents se rassemblent dans des bâtiments désaffectés pour danser toute la nuit au rythme des décibels. L'ecstasy est volontiers associée à d'autres produits tels que l'amphétamine, la cocaïne ou le LSD, mais jamais à l'alcool qui en inhibe les effets.

Outre les effets recherchés, l'ecstasy entraîne de nombreux effets indésirables : une hypertension, des troubles du sommeil, une perte de l'appétit, une agitation accompagnée de douleurs musculaires et de tremblements, une contraction des mâchoires, une sudation abondante...

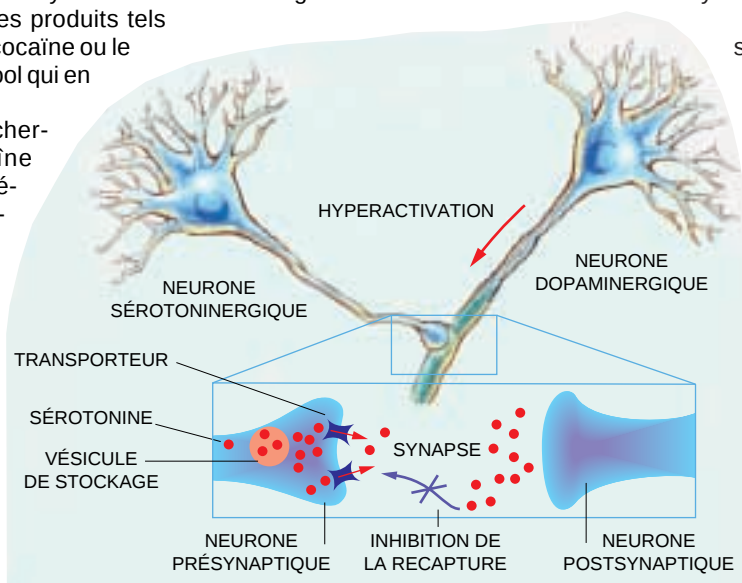
De surcroît, la consommation de la drogue déclenche une forte augmentation de la température corporelle. L'hyperthermie peut atteindre des valeurs extrêmes (au-delà de 42 °C). Les études chez l'animal

ont montré que cette augmentation est d'autant plus forte que la température extérieure est élevée, l'atmosphère confinée, l'environnement bruyant et l'animal déshydraté. Ainsi, l'hyperthermie serait favorisée par les conditions extrêmes qui règnent dans les soirées rave.

ECSTASY, SÉROTONINE ET DOPAMINE

Les études chez l'animal montrent que l'hyperthermie et les troubles comportementaux résultent de l'hyperactivité des neurones qui libèrent la sérotonine, les neurones sérotoninergiques. Ces neurones qui participent à divers mécanismes physiologiques, tels le sommeil, l'agressivité, l'anxiété, l'humeur, ou encore les comportements alimentaires et sexuels, commandent aussi la régulation de la température corporelle.

Les personnes qui succombent à une prise d'ecstasy ne meurent pas directement de l'hyperthermie, mais de ses conséquences, notamment de la coagulation du sang dans de nombreux vaisseaux, et d'une insuffisance rénale aiguë.



En présence d'ecstasy, les neurones sérotoninergiques libèrent tout leur stock de sérotonine ; les transporteurs déversent le neuromédiateur vers l'extérieur, au lieu d'en assurer la recapture, c'est-à-dire le stockage dans le neurone présynaptique. L'accumulation de sérotonine dans la fente synaptique est responsable de l'hyperactivation du système dopaminergique, le système du plaisir et de la récompense.

Comment l'ecstasy déclenche-t-elle ses effets euphorisants ? La plupart des drogues, telles que l'héroïne, la cocaïne, l'amphétamine, mais aussi la nicotine et sans doute l'alcool, agissent directement sur le système dopaminergique, le système de la récompense et du plaisir. Contrairement à ces drogues, l'ecstasy agit d'abord, nous l'avons souligné, sur les neurones sérotoninergiques, dont l'activation aboutit, *in fine*, à celle des neurones dopaminergiques.

Les neurones stimulés libèrent les neuromédiateurs dans la fente synaptique, l'espace qui sépare deux neurones. Les neuromédiateurs libérés activent les neurones postsynaptiques qui transmettent les signaux.

Normalement, les concentrations en neuromédiateurs sont contrôlées par divers mécanismes qui les maintiennent constantes. Les neuromédiateurs sont recaptés par les neurones présynaptiques et stockés dans des vésicules. Des «transporteurs», des molécules qui sont localisées sur la membrane neuronale, assurent cette recapture.

L'équilibre est perturbé par l'ecstasy qui, d'une part, entrave la recapture et, d'autre part, entraîne la libération massive des vésicules qui se vident de leur contenu. Les neuromédiateurs sont alors déversés dans la fente synaptique par les transporteurs qui inversent leur fonction : au lieu de conduire les neuromédiateurs de l'extérieur du neurone vers l'intérieur, ils les relarguent dans la fente synaptique.

Le déséquilibre du système sérotoninergique entraîne celui du système dopaminergique qui subit également une inhibition de la recapture et une inversion du transporteur. Les concentrations en sérotonine et en dopamine augmentent notablement dans le cerveau, ce qui explique l'hyperactivité du système dopaminergique.

À long terme, chez le singe, on constate une dégénérescence de certains neurones sérotoninergiques ; les autres subissent des réarrangements anormaux de leurs terminaisons. Les neuropathologistes recherchent si ces anomalies, observées chez le singe, surviennent également chez l'homme.

Sylvain PIROT, Association pour la neuro-psychopharmacologie, Paris

Poisson-éléphant

Il a un cerveau très gourmand en oxygène, peut-être en raison de son système, très élaboré, de réception et d'analyse des signaux électriques.

Le poisson-éléphant ou *Gnathonemus petersii* vit dans les eaux douces des rivières et des lacs d'Afrique tropicale, mais s'adapte aisément en aquarium. Ce petit poisson électrique est caractérisé par un prolongement mentonnier – une sorte de trompe – qu'il utilise pour chercher sa nourriture. Or, Göran Nilsson, à l'Université d'Uppsala, a découvert que le cerveau de ce poisson consomme proportionnellement plus d'oxygène que le cerveau humain.

La consommation d'oxygène du cerveau d'un vertébré est comprise entre deux et huit pour cent de l'oxygène absorbé ; elle atteint 11 à 13 pour cent chez certains primates ; l'homme détenait le record avec 20 pour cent, mais *Gnathonemus petersii* est inégalable : son cerveau consomme près de 60 pour cent de l'oxygène total absorbé !

Pourquoi cette «gourmandise» en oxygène ? G. Nilsson l'attribue à la taille exceptionnelle du cerveau qui représente environ 3,1 pour cent du poids total du poisson (celui de l'homme représente 2,3 pour cent et celui d'un poisson «standard» un pour cent au plus) – et à sa très grande vascularisation. Par ailleurs, le

cervelet, anormalement développé par rapport à celui des autres poissons électriques, pourrait aussi être responsable de la surconsommation d'oxygène. Enfin, ce poisson est doté d'un système de traitement des informations électriques très élaboré.

Gnathonemus petersii est pourvu d'un organe électrique, placé près de la queue et dont les cellules, les électrocytes, émettent de l'électricité. Sous le contrôle d'un centre «rythmeur», situé à l'arrière du cerveau, cet organe produit de brèves impulsions de fréquence variable, qui permettent aux poissons de communiquer entre eux ou de s'orienter.

Quelles sont les particularités de l'activité électrique du poisson-éléphant ? L'équipe de Kirsty Grant, à l'Institut Alfred Fessard, du CNRS à Gif-sur-Yvette, s'intéresse aux mécanismes de la perception et a étudié les circuits électro-sensoriels du cerveau de *Gnathonemus petersii*. Les poissons de la famille des mormyridés, à laquelle il appartient, ont trois types d'électrorécepteurs cutanés : les organes ampoulaire, sensibles aux ondes électriques de basse fréquence qu'engendre tout mouvement en milieu aquatique ; les knollenorganes,

qui servent à la communication ; les mormyromastes qui, à la façon des radars, sont utilisés pour la navigation.

SENS ÉLECTRIQUE

Lorsque le centre rythmeur émet des ordres de décharge le long de la moelle épinière jusqu'aux électromotoneurones, ces derniers excitent les électrocytes et provoquent la décharge de l'organe électrique. Le champ créé autour du poisson est déformé par les obstacles dont la conductivité diffère de celle de l'eau ; ces signaux électriques, modulés par l'environnement, sont captés par les récepteurs cutanés, lesquels donnent au cerveau une représentation de la forme du champ extérieur.

Quelles qu'elles soient, les informations sensorielles utiles doivent être distinguées du bruit de fond ambiant. Pour discerner ses propres signaux de ceux d'autrui, le poisson-éléphant se sert d'un «sens électrique», un système sensoriel qui filtre les messages perçus.

Simultanément au signal émis dans la moelle, le générateur cérébral en transmet une copie vers le cerveau : ce double de l'ordre moteur, nommé décharge corollaire, informe les centres sensoriels cérébraux du poisson de sa propre émission électrique et de l'arrivée imminente d'un signal en retour. En comparant le signal émis et le signal reçu, le poisson sélectionne les informations utiles.

Le sens électrique de *Gnathonemus petersii* fonctionne grâce à ces deux circuits indépendants. Le principe de l'analyse des signaux est similaire pour les trois types d'électrorécepteurs, mais la décharge corollaire est traitée différemment : lorsque le poisson «converse» avec ses congénères, la décharge corollaire masque les émissions du poisson, lequel est comme sourd à sa propre décharge, pendant de brefs instants ; lorsqu'il observe, immobile, les alentours, le système de traitement des informations de *Gnathonemus petersii* fait la soustraction de l'image réémise par l'environnement et de la décharge corollaire, détectant ainsi tout mouvement étranger ; enfin, lorsqu'il se déplace, le poisson-éléphant amplifie le signal en retour, afin de mieux percevoir toute perturbation de son propre champ.

Tout en mémorisant des images de référence, *Gnathonemus petersii* s'adapte instantanément à un environnement changeant. Les chercheurs de Gif-sur-Yvette étudient comment se font ces ajustements «dynamiques» des filtres neuronaux.

Marie-Thérèse LANDOUSY



Gnathonemus petersii, le poisson-éléphant, a un cerveau qui consomme beaucoup d'oxygène.