

Alimentation curative

Nos cousins primates choisissent leur alimentation en fonction de leurs besoins.

Pour les Grecs, les Barbares étaient ceux qui ne changeaient pas de régime alimentaire quand ils étaient malades. Au Laboratoire d'écologie générale du Muséum, à Brunoy, Claude Marcel Hladik et ses collègues démontrent que les singes seraient proches du monde civilisé : dans certaines circonstances, ils mangent des plantes contenant des alcaloïdes ou de la terre, afin de conserver un régime alimentaire équilibré, voire de traiter des troubles intestinaux.

Les réactions des primates aux solutions sucrées sont sans doute le plus frappant de leur adaptation : plus les animaux sont gros, mieux ils détectent les sucres. Apparemment les gros animaux, repérant mieux les aliments sucrés que les autres, peuvent se procurer davantage d'énergie. Une exception à cette règle qui prévaut tant pour les frugivores que pour les herbivores est le loris *Nycticebus coucang*, peu sensible au sucre ; est-ce parce qu'il doit simultanément tolérer le goût âcre des insectes et d'autres proies que d'autres singes ne tolèrent pas ?

L'homme, du point de vue de son seuil de perception des produits sucrés, est un primate normal : notre masse corporelle est notable, et nous sommes très sensibles au goût sucré. Néanmoins cette base biologique est modulée par l'environnement : les seuils de perception du glucose et du saccharose diffèrent chez les habitants des forêts tropicales et chez ceux des savanes, par exemple. Ainsi les pygmées, qui occupent des forêts où la concentration en sucre dans les fruits est élevée, ont une sensibilité aux goûts sucrés inférieure à celle des populations qui vivent dans les savanes, dont les plantes contiennent moins de sucre.

Les tests de sensibilité aux édulcorants éclairent ces études. Pour notre espèce, la monelline, une protéine présente dans les baies rouges de la liane africaine *Dioscoreophyllum cumminsii*, est 100 000 fois plus sucrée que le saccharose. Mais cette même monelline, dont les primates non humains d'Afrique identifient le goût, n'est pas perçue par les primates américains. La même différence existe pour la thaumatine, une protéine édulcorante

extraite du fruit d'une autre plante africaine *Thaumatococcus daniellii*. La retrouvera-t-on également pour la brazzéine, identifiée en 1994 dans la liane *Pentadiplandra brazzeana* ?

La différenciation des protéines réceptrices des papilles se produit probablement depuis 30 millions d'années, après la séparation des singes platyrrhiniens, dans le Nouveau Monde, et catarrhiniens, dans l'Ancien Monde. Dans leurs environnements respectifs, ces animaux ont trouvé des plantes différentes, avec lesquelles ils ont évolué, puisqu'ils en consommaient les fruits, tout en en dispersant les graines. En Amérique, où l'on n'a pas encore isolé d'édulcorant végétal, la coévolution devrait avoir fait apparaître des molécules originales, qui devraient être sans goût sucré pour les singes de l'Ancien Monde.

On savait depuis plusieurs décennies que les vertébrés pouvaient détecter le chlorure de sodium, et le rechercher en cas de carence : on connaît le cas des

chevaux, qui ne lèchent les pierres à sel qu'en cas de besoin, et les études de rats carencés ont confirmé ces observations. Dans le milieu naturel et, notamment, dans les forêts, les carences en sel sont rares, mais, en 1978, le biologiste américain John Oates a observé que les singes *Colobus guereza*, qui, timides, restent généralement dans les frondaisons, descendent au sol pour manger les feuilles d'*Hydrocotyle ranunculoides*, qui pousse dans les mares ; or cette plante contient plus de sel que les autres.

MÉDECINE NATURELLE

D'autres primates mangent de la terre sans souffrir de carence en sel : le sol mangé par *Colobus satanas* (un autre colobe qui vit dans la forêt du Gabon) contient moins de sel que les fruits de son alimentation, mais cette consommation a lieu pendant les deux périodes de l'année où l'animal doit compléter son alimentation avec des feuilles très développées (le reste du temps les singes utilisent des jeunes pousses et des jeunes feuilles, ainsi que des fleurs, des fruits et des graines) ; or les feuilles âgées contiennent des polyphénols, ou tannins, qui inhibent la digestion des protéines en formant des complexes avec ces dernières. Comme l'argile et d'autres composés du sol sont de bons absorbants des tannins, on explique la géophagie comme une compensation de l'absorption des tannins. De tes aliments tu feras ta médecine, disait Hippocrate. Nos ancêtres singes lui auraient-ils soufflé l'idée ?

Souvent l'aversion pour les saveurs amères permet d'éviter l'ingestion d'alcaloïdes dangereux, ainsi que de composés astringents tels que les tanins, les terpènes, les saponines et les acides forts. Toutefois tous les composés toxiques ne sont pas amers : la dioscine, alcaloïde létal de l'igname *Dioscorea dumetorum* est presque sans goût. Le règne animal est protégé par le phénomène de néophobie, c'est-à-dire la peur de manger ce qui est nouveau, et par un conditionnement des symptômes postingestifs provoquant l'apparition d'une aversion (observée chez le rat et chez les primates). Inversement on connaît des cas de chimpanzés qui se guérissent en mangeant la plante amère *Vernonia amygdalina*, généralement évitée par les animaux en bonne santé. Cette plante contient plusieurs glycosides stéroïdiens, qui sont efficaces dans le traitement des troubles gastro-intestinaux.

Hervé This



Cette femelle chimpanzé, dans une forêt du Gabon, pèle une tige d'une liane marantacée *Hypselodelphis violacea* pour en extraire un jus qui apporte des acides aminés indispensables.

Prochain rendez-vous **France Info et Pour la Science**, le 30 juillet 1996, avec la chronique **Info Sciences** de Marie-Odile Monchicourt.

Jupiter visitée

La composition de son atmosphère explique sa formation et son évolution.

Comment le Soleil et les planètes qui l'entourent se sont-ils formés ? Les grandes lignes du scénario sont connues : il y a 4,5 milliards d'années une nébuleuse primitive de gaz et de poussières s'est effondrée sur elle-même et a donné naissance au Soleil. Les résidus de ce nuage se sont condensés en petites planètes rocheuses (Mercure, Vénus, Terre et Mars) près du Soleil et en géantes gazeuses (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune) plus loin. Les mesures réalisées par la sonde *Galileo* dans l'atmosphère de Jupiter nous informent directement sur la composition d'une planète géante : elles confirment qu'elle s'est formée à partir d'un noyau rocheux.

Le 7 décembre 1995, la sonde *Galileo* a plongé dans l'atmosphère de Jupiter. Suspendue à un parachute, elle a transmis pendant près d'une heure, avant d'être détruite, des informations sur la composition de l'atmosphère jovienne jusqu'à plus de 200 kilomètres sous le sommet des nuages. Le vaisseau *Galileo*, en orbite 215 000 kilomètres plus haut, a ensuite retransmis ces données vers la Terre.

La composition globale de Jupiter est restée inchangée depuis sa formation. L'attraction de l'énorme masse de la planète (318 fois celle de la Terre) empêche en effet les éléments chimiques, même les plus légers, de s'échapper. La comparaison entre la composition de l'atmosphère de Jupiter et celle de la nébuleuse primitive éclaire donc les mécanismes de formation de la planète et son évolution. On déduit la composition de la nébuleuse primitive de celle du Soleil : l'effondrement gravitationnel qui a donné naissance à notre étoile était homogène et a emporté 99,9 pour cent de la masse de la nébuleuse.

On sait, grâce à la spectroscopie, que l'atmosphère de Jupiter est constituée à plus de 99 pour cent d'hydrogène et d'hélium, les deux éléments les plus abondants dans l'Univers. *Galileo* a mesuré une concentration en hélium de 14 pour cent. C'est nettement plus que les 10 pour cent estimés à partir des observations des

sondes *Voyager* en 1979. Même réévaluée, cette concentration ne correspond toutefois qu'aux quatre cinquièmes de l'hélium présent dans la nébuleuse primitive. Où est donc passé ce gaz ?

PLUIE D'HÉLIUM

La température et la pression sont si grandes dans les couches profondes de l'atmosphère de Jupiter que l'hydrogène forme une phase métallique. L'hélium, qui ne se mélange pas avec cette phase, se condense en gouttelettes qui tombent vers le cœur de la planète. Le néon, soluble dans les gout-

trois fois pour le carbone et 2,2 fois pour le soufre. *Galileo* a, en revanche, mesuré une concentration atmosphérique de vapeur d'eau cinq fois moins importante que celle de la nébuleuse primitive. Ces abondances sont expliquées par l'histoire de Jupiter.

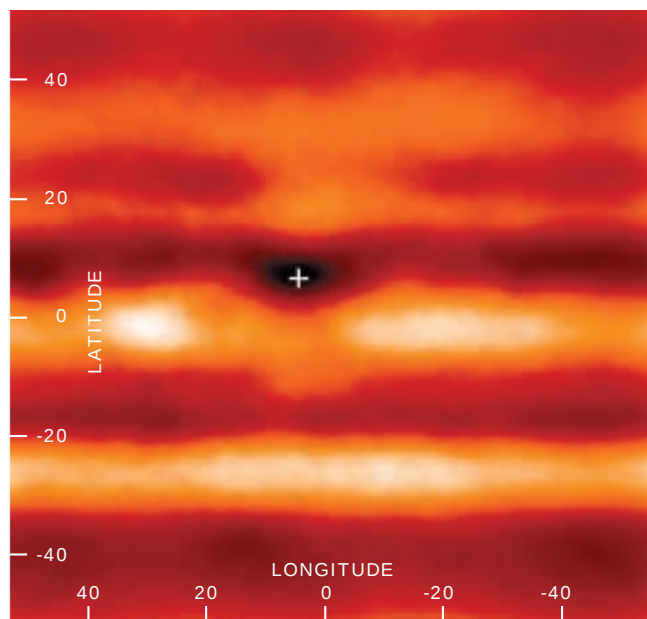
Un noyau s'est formé d'abord, par accréation de planétésimaux, petits corps rocheux ou glacés. L'attraction gravitationnelle de ce noyau a ensuite piégé les gaz de l'atmosphère. L'augmentation de la température des roches lors de l'accréation du noyau a vaporisé une partie des glaces : l'enveloppe gazeuse a été alors enrichie en éléments lourds, tels le carbone et le soufre. En revanche, l'eau, moins volatile, serait restée dans le cœur solide.

Les différences de composition entre Jupiter et la nébuleuse primitive permettent d'exclure un autre mécanisme de formation : un effondrement local de la nébuleuse, similaire à celui qui a donné naissance au Soleil. La sécheresse relative de l'atmosphère écarte aussi un scénario selon lequel l'excès d'éléments lourds proviendrait de la dissolution dans l'atmosphère de comètes ou de planétésimaux, capturés par le champ gravitationnel de la planète. Ces petits corps rocheux, qui contiennent beaucoup de glace, auraient toutefois enrichi l'atmosphère non seulement en méthane et en sulfure d'hydrogène, mais aussi en eau, ce qui est contraire aux observations.

N'oublions pas cependant que la sonde n'a pénétré l'atmosphère de Jupiter que sur 200 kilomètres d'épaisseur, en un point particulier. Selon les images prises de la Terre, elle a plongé dans une région extraordinairement claire et sèche, sans doute l'une des moins nuageuses de toute la planète. L'instrument de *Galileo* qui a mesuré la densité de particules n'a pas détecté le nuage massif de glace d'eau prédit par les modèles. Le nuage de cristaux d'ammoniac situé à des altitudes plus élevées et visible sur la plus grande partie de Jupiter était aussi absent. Dans cette région, un puissant courant descendant apporterait du gaz sec appauvri en éléments condensables, asséchant l'atmosphère jusque sous l'altitude attendue du nuage d'eau. Il y aurait alors un peu plus d'eau sur Jupiter que *Galileo* n'en a détectée.

Bruno BÉZARD

CNRS, Observatoire de Paris-Meudon



Le point de chute de la sonde *Galileo* sur Jupiter (croix blanche) était une région pauvre en nuages. Sur cette image prise de la Terre dans l'infrarouge proche, les zones les moins nuageuses sont les plus sombres.

telettes d'hélium, migre aussi vers l'intérieur de la planète : les mesures de *Galileo* confirment qu'il est moins abondant que prévu. Cette pluie d'hélium se produirait aussi dans l'atmosphère de Saturne, qui contient moins de cinq pour cent d'hélium : l'énergie gravitationnelle ainsi libérée expliquerait le flux thermique anormalement grand émis par la planète.

Le carbone (sous forme de méthane) et le soufre (sous forme de sulfure d'hydrogène) sont, contrairement à l'hélium, plus abondants dans l'atmosphère de Jupiter que dans la nébuleuse primitive :

La qualité de vie

Elle augmente depuis le début du siècle.

Ces deux cartes reflètent l'indice de qualité de vie mis au point par des chercheurs américains de l'Université Brown, pour mesurer les progrès des pays en développement. L'indice de qualité de vie d'un pays est fondé, sur l'espérance de vie à l'âge de un an, sur la mortalité infantile et sur la proportions d'illettrés. Les valeurs s'échelonnent de 6,3 pour la Gambie en 1960, à 94 pour le Japon en 1990. L'avantage de cette mesure sur d'autres évaluations de la qualité de vie est qu'elle utilise des résultats établis et non des estimations.

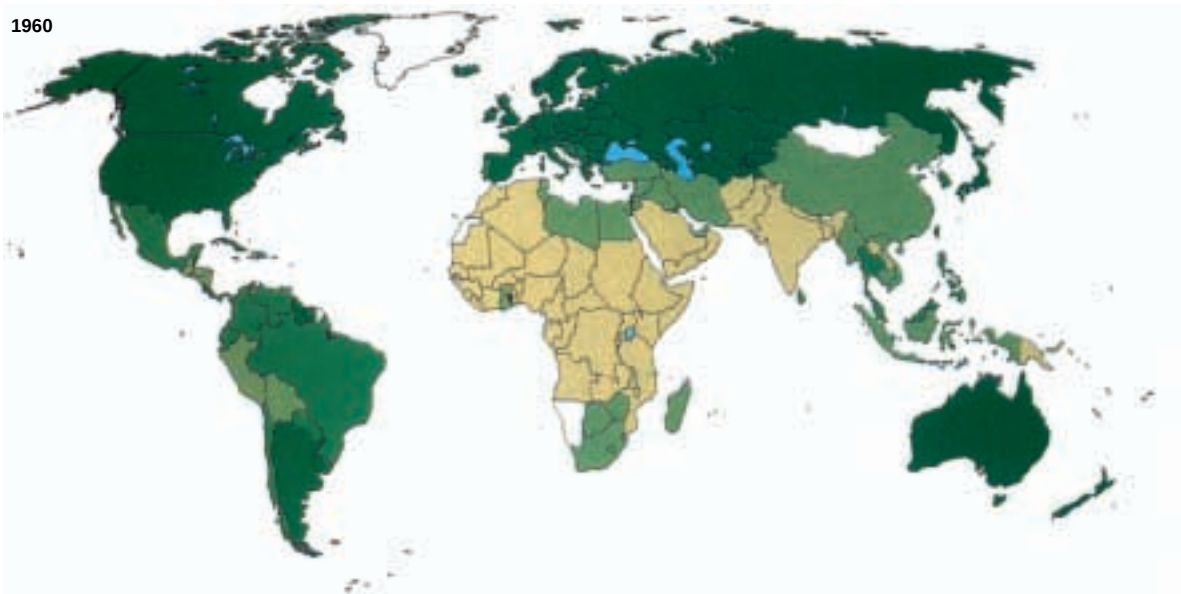
Alors qu'en Iran, par exemple, le produit national brut par habitant vaut moins d'un tiers de ce qu'il est en Arabie Saoudite, les indices de qualité de vie des deux pays sont égaux, ce qui indique que les richesses sont réparties plus équitablement en Iran.

L'examen de ces cartes fait ressortir que, malgré une importante augmentation de la population mondiale, la qualité de vie des pays en développement s'est améliorée, y compris dans ceux de la région sub-saharienne, la plus pauvre du Globe. Des données préliminaires pour

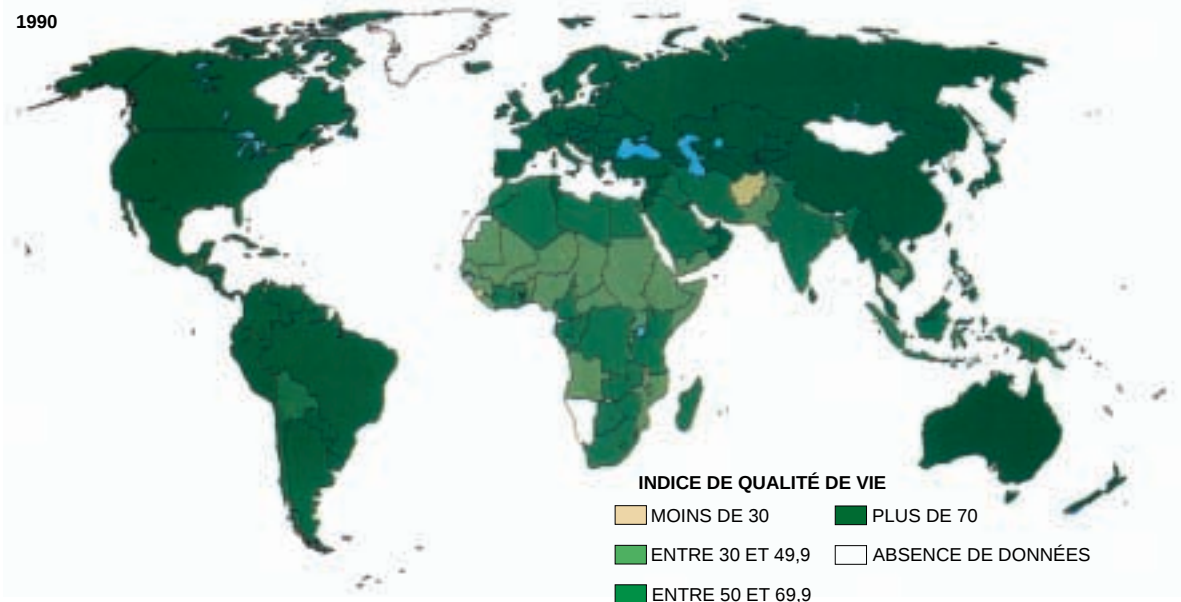
l'année 1993 montrent un progrès important dans la plupart des régions, excepté dans les 13 pays sub-sahariens dont la chute moyenne de l'indice est de 3, résultat d'une augmentation de la mortalité infantile et d'une diminution de l'espérance de vie. Cette chute d'indice est due, en partie, à l'extension de l'épidémie de SIDA qui a touché cette région du Globe plus durement qu'ailleurs.

L'avenir ne sera peut-être pas aussi sombre qu'il n'y paraît, car l'épidémie de SIDA pourrait être enrayée dès le début de la prochaine décennie. De surcroît, les données historiques indiquent une augmentation à peu près constante de l'indice de la qualité de vie : alors que le Sri Lanka avait un indice de 19 en 1921, en 1993, cet indice atteignait 85. N'oublions pas qu'il y a cent ans, la France avait un indice de qualité de vie équivalent à celui des pays sub-sahariens aujourd'hui. □

1960



1990



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.

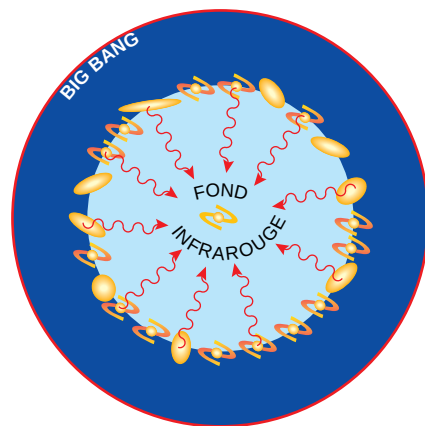
La formation de notre Galaxie a dû coïncider avec une gigantesque flambée d'étoiles, notamment d'étoiles massives qui rejettent après quelques millions d'an-

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.

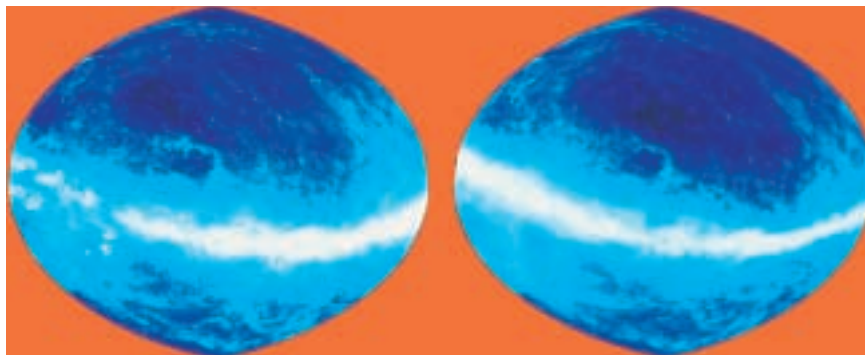
dominée par l'émission de petites poussières distribuées partout dans notre Galaxie et chauffées par les étoiles.

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...

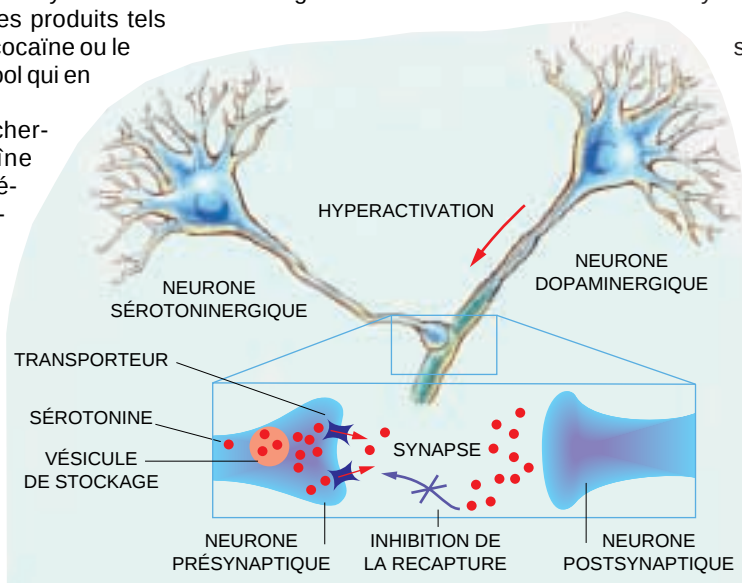
De surcroît, la consommation de la drogue déclenche une forte augmentation de la température corporelle. L'hyperthermie peut atteindre des valeurs extrêmes (au-delà de 42 °C). Les études chez l'animal

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