

Prairies sous dioxyde de carbone

Les prairies pourraient jouer le rôle de réserve de carbone, limitant ainsi l'effet de serre.

La concentration du gaz carbonique augmente. Elle est aujourd'hui supérieure d'un tiers à la valeur qu'elle avait avant l'ère industrielle, il y a quelque 100 ans, et d'après les prévisions, elle devrait doubler d'ici 50 ans, ce qui devrait se traduire par une hausse de la température moyenne de près de 3 °C. Jean-François Soussana et Pierre Loiseau du Centre de recherche de l'INRA de Clermont-Ferrand ont étudié les répercussions de ces changements climatiques sur la croissance de l'herbe dans les prairies. Ils en concluent que la production des prairies augmentera, de sorte que les éleveurs pourraient nourrir davantage d'animaux.

Les agronomes voulaient étudier les conséquences d'un doublement de la concentration en dioxyde de carbone et d'une augmentation de la température de 3 °C, les autres conditions climatiques restant inchangées. Pour ce faire, ils ont planté une espèce de graminée très commune dans les prairies françaises sur un sol limoneux initialement pauvre en matière organique. Ils ont protégé les plantations par trois «tunnels» de polyéthylène. Ils ont fait circuler dans deux des tunnels une concentration en dioxyde de carbone deux fois supérieure à la normale, et la température de l'un des tunnels était maintenue à 3 °C au-dessus de la température ambiante. Un des tunnels laissés dans les conditions ambiantes servait de référence.



Une parcelle de prairie a été exposée durant plusieurs mois à une concentration élevée en dioxyde de carbone ; le gaz était diffusé par des anneaux sur le couvert végétal. Le rendement a été amélioré, mais les caractéristiques biologiques des plantes ont été modifiées.

Afin d'évaluer comment les graminées absorbent l'azote sous concentration élevée en dioxyde de carbone, les agronomes ont stimulé la croissance de l'herbe à l'aide d'un engrais azoté. Puis, ils ont arrosé les prairies et imité la fauche et le pâturage en tondant à intervalles réguliers.

Que peut-on conclure de cette étude ? Pour les plantes, le dioxyde de carbone est une ressource puisqu'elles fabriquent leurs tissus grâce à la photosynthèse. Afin d'apprécier l'effet de l'accroissement de cette ressource, les agronomes ont étudié le cycle du carbone dans leurs prairies modèles. Pendant les deux ans et demi qu'a duré l'expérience, ils ont fait le bilan des échanges gazeux aériens et souterrains. Ils ont aussi suivi le trajet souterrain du dioxyde de carbone qui avait été marqué au carbone 13. Ces mesures montrent que la photosynthèse augmente et que les échanges entre le compartiment souterrain et l'atmosphère sont de plus en plus rapides et intenses. En réaction à l'augmentation du dioxyde de carbone atmosphérique, le sol stocke notablement plus de carbone. On en déduit que les prairies pourraient jouer un rôle de «puits de carbone».

Ces modifications du cycle du carbone s'accompagnent aussi d'un changement du cycle de l'azote dans le sol : la disponibilité de l'azote minéral pour les végétaux diminue et le développement de l'herbe et autres légumineuses est favorisé. Si le comportement des plantes évolue, leur valeur nutritive aussi. D'après diverses mesures, l'herbe qui pousse en présence d'une concentration supérieure en dioxyde de carbone contient plus de sucres solubles : elle a, par conséquent, une plus grande valeur énergétique, mais contient moins de protéines. Ces résultats ont été confirmés au cours d'une seconde expérience : des blocs de prairie semi-naturelle ont été exposés durant deux ans à une atmosphère contrôlée de dioxyde de carbone émis par des anneaux diffusant le gaz sur le couvert végétal (voir l'illustration).

Ainsi, l'effet de serre et le changement climatique qu'il provoque devraient augmenter le rendement d'une prairie du Massif central de quelque 20 pour cent, à condition que la pluviométrie ne change pas. Toutefois, ces résultats sont fondés sur des données expérimentales obtenues grâce à une augmentation brutale de la concentration en dioxyde de carbone. Or, loin d'être brusque, l'augmentation de cette concentration dans l'atmosphère s'étalera sur plusieurs dizaines d'années. Sur une telle période, les plantes évolueront, de même que les pratiques agricoles et celles des éleveurs. Quoi qu'il en soit, l'effet de serre aura sans doute des effets inattendus.

Le mystère du fond diffus

Les rayons X qui baignent le cosmos viendraient du cœur brillant des galaxies.

Dans les années 1960, dès les premières observations du rayonnement X interstellaire, avec des instruments embarqués dans des fusées, les astrophysiciens ont mis en évidence la présence d'un fond diffus : une émission continue de rayons X qui baigne tout le cosmos. Quelle en est l'origine ? Les rayons X sont libérés lors de phénomènes qui mettent en jeu des énergies énormes, où les températures sont comprises entre un million et 100 millions de degrés. Le rayonnement du fond diffus est-il émis par une multitude de sources ponctuelles que l'on n'a pas encore repérées ou est-il émis par le gaz chaud qui est présent entre les amas de galaxies ? Les données transmises par le satellite XMM-Newton et qui ont été étudiées par Philippe Ferrando et ses collègues, du Service d'astrophysique du Commissariat à l'énergie atomique de Saclay, confirment la première hypothèse et nous éclairent sur la nature des sources ponctuelles.

Depuis 30 ans, les astrophysiciens ont essayé de détecter des sources ponctuelles de rayons X dont la sommation des émissions reconstituerait le fond diffus. Toutefois, dans notre Galaxie, des nuages de gaz absorbent les rayons X de faible énergie (inférieures à un kiloélectronvolt). Les observations se sont donc portées sur une région du ciel, où le gaz interstellaire est moins dense : le «pointé de Lockman», dans la constellation de la Grande Ourse, qui, en absorbant peu de rayons X de faible énergie, autorise une analyse sur une large gamme d'énergie.

Les satellites qui ont précédé XMM-Newton ont détecté des sources ponctuelles responsables de 80 à 90 pour cent du fond diffus dans la gamme des faibles énergies (de 0,5 à 2 kiloélectronvolts) et de 30 pour cent, des énergies moyennes et hautes (entre 2 et 5 kiloélectronvolts pour les énergies moyennes et entre 5 et 10 pour les énergies élevées). Avant XMM-Newton, on ignorait l'origine des 10 pour cent de faibles énergies et des 70 pour cent des énergies moyennes et élevées restants.

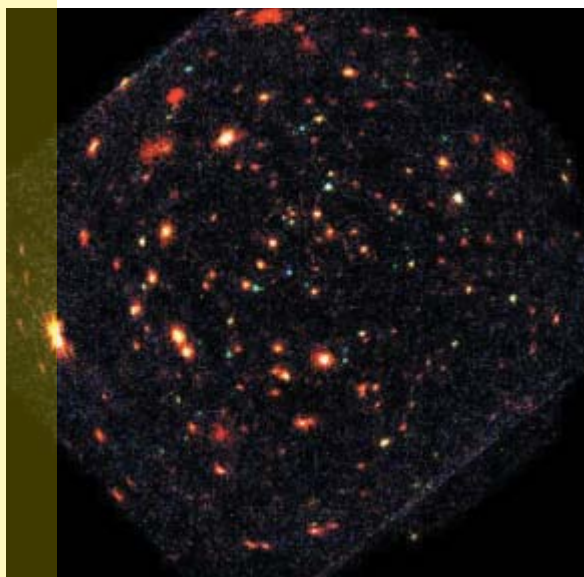
Les rayons X sont très pénétrants et traversent les miroirs de détection des télescopes, sauf pour des incidences

rasantes : plus les rayons X sont énergétiques, plus leur incidence doit être rasante sur les miroirs pour qu'ils soient réfléchis et détectés au lieu d'être absorbés. Pour les rayons X de haute énergie, la surface efficace des miroirs de détection des télescopes est petite, de sorte qu'on les détecte moins bien que les rayons X de faible énergie. Grâce à sa grande surface de détection – qui lui confère une sensibilité exceptionnelle – le satellite XMM-Newton est capable de détecter des sources ponctuelles d'intensité 20 fois plus faibles que ses prédécesseurs. On a ainsi dénombré et identifié plusieurs nouvelles sources ponctuelles de rayons X, de faible, mais aussi de haute énergie. Aujourd'hui, grâce aux données acquises par XMM-Newton, on a détecté les sources qui produisent 60 pour cent du fond diffus de haute énergie : à lui seul, ce satellite a repéré autant de sources de rayons X de hautes énergies que tous les satellites qui l'avaient précédé.

D'après l'analyse des données fournies par le satellite, ces sources

seraient des trous noirs situés au centre de certaines galaxies, dont la masse correspondrait à plusieurs centaines de millions de fois la masse du Soleil. Ces trous noirs attireraient de la matière, qui

s'échaufferait à mesure qu'elle serait attirée et émettrait des rayons X de haute énergie. De fait, ils apparaissent comme des cœurs « brillants » (dans le domaine X) au centre des galaxies.



Hasinger et al. Astronomy and Astrophysics

Le satellite XMM-Newton, qui détecte les rayons X (en rouge pour les basses énergies et en vert et bleu pour les hautes énergies) a révélé que 60 pour cent du fond diffus de haute énergie provient du cœur actif des galaxies.

Les astrophysiciens pensent que les sources de rayons X de haute énergie au centre des galaxies sont les mêmes que les sources de rayons X de basse énergie, mais observées sous des angles différents. La matière qui entoure les trous noirs est répartie sur un anneau et absorbe les rayons X de basse énergie : vus à travers cet anneau, les cœurs brillants seraient des sources de rayons X de haute énergie, mais observés « de dessus », ils constitueraient des sources de faible énergie.

L'origine d'une fraction du rayonnement diffus reste mystérieuse. Il provient sans doute de sources ponctuelles de faible intensité dont XMM-Newton révélera peut-être la présence, lorsqu'il fera des observations plus longues, dans la direction du pointé de Lockman.

Le puffin cendré

L'analyse de la disparition annoncée, mais évitée, d'une population d'oiseaux.

Pour respecter la tradition, une vingtaine d'habitants des îles Madère s'embarquent, chaque automne, pour les îles Salvages, situées à 300 kilomètres au Sud de Madère. Ils y prélèvent environ 25 000 poussins de puffins cendrés dont ils apprécient la chair, et dont ils utilisent les plumes pour fabriquer des fleurs artificielles et des édredons ; le contenu stomacal gras des oisillons est, en outre, réputé excellent pour le nettoyage des cuivres.

Jusque dans les années 1960, la population de puffins restait stable : elle était estimée à quelque 200 000 oiseaux. Puis, la population a commencé à s'effondrer. À partir de 1968, Christian Jouanin, Francis Roux et Jean-Louis Mougin, du Muséum national d'histoire naturelle, ont entrepris d'étudier la démographie et les mœurs de ces oiseaux (un mètre d'envergure pour un poids d'environ un kilogramme), afin d'expliquer le dépérissement de cette population. Simultanément, des mesures de protection étaient prises pour la sauvegarde des derniers individus.

Pendant plus de 20 ans, les trois ornithologistes ont bagué des milliers de poussins et d'adultes, et marqué environ 500 nids dont tous les occupants étaient identifiés. Grâce aux milliers de données recueillies, on connaît aujourd'hui la plupart des aspects de la biologie de ces oiseaux. Ils commencent à se reproduire vers neuf ans. Les adultes passent la quasi-totalité de leur vie au-dessus des flots et ne reviennent à terre que pour se reproduire : chaque année, ils retrouvent le même partenaire et le même nid.

En fin de croissance, les poussins s'envolent en quête de nourriture. Beaucoup ne survivent pas à ce brusque passage du confort à l'autonomie : moins de deux pour cent des œufs donneront un adulte reproducteur, bien que ces oiseaux n'aient guère de prédateurs.

Aujourd'hui que l'on connaît mieux la vie de ces puffins, peut-on expliquer la chute de population observée dans les années 1960 ? L'étude a révélé qu'elle avait été la conséquence d'un prélèvement abusif d'adultes qui s'était ajouté à la récolte habituelle des poussins. Le prélèvement de poussins, parce qu'il diminue la concurrence alimentaire, favorise la survie des pous-

sins épargnés par l'homme. Ainsi la tradition ne menaçait pas l'écosystème, jusqu'au jour où l'homme a commencé à chasser aussi les adultes. Les adultes se reproduisent peu, le début de la période de reproduction est tardif, peu de poussins survivent : l'élimination des adultes reproducteurs a failli faire disparaître l'espèce. Depuis 1975, les îles sont protégées et la population de puffins cendrés est remontée à 30 000 individus, mais, aujourd'hui, ils sont menacés par la pêche palangrière : ils se blessent sur les longues lignes munies de nombreux hameçons tirées par les bateaux de pêche.

