

cations après une infection parasitaire. L'expression de la PKA-AMPC parasitaire est maximale dans les stades tardifs (schizontes) du cycle érythrocytaire asexué. Il serait donc intéressant de savoir si les concentrations d'AMPC mesurées par T. Harrison *et al.* l'ont été dans des globules rouges à des stades précoces (anneaux) ou tardifs (schizontes) de l'infection, ce qui n'est pas explicité. En effet, ceci permettrait de déterminer si les agonistes des récepteurs stimulent l'activation de la PKA-AMPC de l'hôte, ou celle du parasite. Puisque l'effet des peptides est observé aux stades précoces de l'infection (donc au moment où la PKA-AMPC parasitaire est faiblement exprimée, ou même avant qu'elle n'apparaisse), il est probable (mais cela n'est pas formellement démontré) que le traitement par les agonistes stimule la PKA-AMPC de la cellule hôte, et que l'activation de cette kinase aboutisse à la réorganisation du cytosquelette érythrocytaire essentielle au processus d'invasion. Finalement, les auteurs montrent que les mêmes peptides bloquants qui sont actifs *in vitro* le sont aussi *in vivo* dans

des souris infectées par *Plasmodium berghei*. Ils en concluent que les récepteurs  $\beta$ 2-AR et les récepteurs de l'adénosine sont probablement activés lors d'infections *in vivo*, une production accrue de catécholamines par l'hôte, réponse habituelle à une infection par un *Plasmodium*, ou alors la production par le parasite lui-même de molécules apparentées à la catécholamine, pouvant être à l'origine de cette activation. Cette idée séduisante n'explique toutefois pas comment les premiers événements d'invasion sont possibles tout au début de l'infection de l'hôte vertébré, avant que les concentrations de catécholamine de l'hôte (ou celles de molécules parasitaires apparentées) n'aient pu augmenter en réponse à l'infection. Il serait passionnant de rechercher à la surface des mérozoïtes des ligands (pour l'instant hypothétiques) qui seraient capables d'activer directement la production d'AMPC et ainsi favoriser leur propre incorporation par l'érythrocyte auquel ils se sont liés lors de l'attachement spécifique qui constitue la première phase du processus d'invasion. ♦

**Plasmodium and red blood cells**

## REMERCIEMENTS

Je tiens tout particulièrement à remercier Christian Doerig - Inserm U.511 team, Wellcome Centre of Molecular Parasitology, The Anderson College, 56, Dumbarton Road, Glasgow G11 6NU, Scotland, UK - pour la relecture critique de ce texte.

## RÉFÉRENCES

1. Harrison T, Samuel BU, Akompong T, *et al.* Erythrocyte G protein-coupled receptor signaling in malarial infection. *Science* 2003; 301: 1734-6.
2. Lauer S, VanWye J, Harrison T, *et al.* Vacuolar uptake of host components, and a role for cholesterol and sphingomyelin in malarial infection. *EMBO J* 2000; 19: 3556-64.
3. Synin C, Parzy D, Traincard F, *et al.* The H89 cAMP-dependent protein kinase inhibitor blocks *Plasmodium falciparum* development in infected erythrocytes. *Eur J Biochem* 2001; 268: 4842-9.

## NOUVELLE

### L'air de Paris

Marc Javoy

Institut de Physique du Globe  
de Paris, Département  
Géochimie des Isotopes  
Stables, 4, place Jussieu,  
75005 Paris, France.  
[mja@ipgp.jussieu.fr](mailto:mja@ipgp.jussieu.fr)

> L'utilisation de la variation des compositions isotopiques des éléments légers (hydrogène, carbone, azote, oxygène) pour l'étude des phénomènes naturels date de l'après-guerre immédiat. Pour ces éléments l'isotope le plus léger ( $^1\text{H}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$ ,  $^{16}\text{O}$ ...) représente 98 à 99,99% du total mais un ou plusieurs isotopes lourds, stables et non radiogéniques ( $^2\text{H}$  (ou D),  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ,  $^{17}\text{O}$  et  $^{18}\text{O}$ ...) ont un comportement légèrement différent de celui de

l'isotope léger, dû à la différence de masse au cours des réactions chimiques et des phénomènes physicochimiques en général. C'est ce fractionnement qui crée des abondances isotopiques légèrement variables dans différents composés et différents réservoirs (par exemple les carbonates et la matière organique). Après l'obtention de son prix Nobel pour la découverte du deutérium, Harold Urey établit en 1947 la théorie générale de ces

fractionnements isotopiques. D'autres physicochimistes, éventuellement aussi prix Nobel, s'y intéressèrent, mais c'est le choix délibéré de H. Urey de s'impliquer totalement dans l'étude des phénomènes géologiques et cosmologiques, qui le passionnaient, qui conduisit au développement considérable de cette science, la géochimie des isotopes stables, presque uniquement dans le champ géologique. Cette situation évolue depuis les dix ou



quinze dernières années, au fur et à mesure que les chimistes et les biologistes découvrent l'étendue des possibilités de ces outils, utilisés maintenant même dans des domaines purement techniques, comme la répression des fraudes.

Les isotopes stables du carbone ( $^{13}\text{C}$  et  $^{12}\text{C}$ ) sont largement utilisés dans ce que les climatologues appellent le cycle global du carbone, limité à l'océan et à l'atmosphère, et nous les appliquons nous-mêmes depuis longtemps au cycle réellement global du carbone, celui qui inclut aussi l'injection de gaz carbonique volcanique dans le système océan-atmosphère, et la réinjection de carbone superficiel dans le manteau terrestre par les zones de subduction, c'est-à-dire les zones où la croûte terrestre s'enfonce profondément dans le manteau, par exemple sur tout le pourtour de l'océan Pacifique. Dans une période géologique normale, c'est-à-dire sans crise volcanique majeure et sans activité humaine (ce que désigne le terme « anthropique »), ces deux flux sont équilibrés (à

peu près 0,25 milliard de tonnes dans les deux sens) et conduisent à un état stationnaire à la surface de la Terre. Au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, la production anthropique a atteint cette valeur de 0,25 milliard de tonnes et la dépasse maintenant d'au moins vingt à trente fois, créant un déséquilibre qui s'exprime entre autres par l'augmentation de la concentration du  $\text{CO}_2$  atmosphérique.

Dans l'étude de ces phénomènes globaux, l'identification des sources principales (carbonates et matière organique) et de leurs proportions se fait de manière très simple car le rapport isotopique ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) y est fort différent (la matière organique contient approximativement 2,5% de moins de carbone  $^{13}\text{C}$  que les carbonates) par rapport à la précision des mesures ( $\sim 0,1\%$ ).

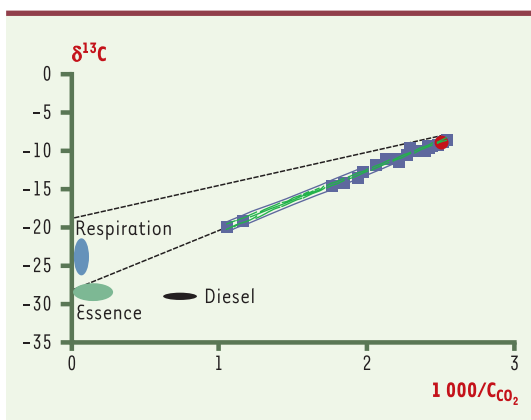
Ceci a été mis à profit depuis fort longtemps pour suivre l'apport croissant de  $\text{CO}_2$  anthropique dans l'atmosphère et son accélération, mais, curieusement, personne n'avait songé encore à l'utiliser à l'échelle d'une zone urbaine, ou, du moins à mettre cette idée en pratique. C'est ce que nous venons de faire pour Paris.

La situation est donc la suivante: nous pouvons identifier par la mesure des isotopes les différentes sources de gaz carbonique dans l'atmosphère de la capitale et en déduire les taux de mélange avec le gaz carbonique « naturel » en un point donné. De plus, ces mélanges se représentent d'une manière particulièrement simple dans un diagramme indiquant la composition isotopique (représentée en variation relative par rapport à un standard  $\delta^{13}\text{C}$ )\* versus l'inverse de la concentration en  $\text{CO}_2$ : la représentation est

une droite, dont l'ordonnée à l'origine représente la composition du polluant. Dans un tel diagramme, échantillons d'atmosphère et gaz polluants sont caractérisés par leur concentration en  $\text{CO}_2$  et leur  $\delta^{13}\text{C}$ . On constate dans la *Figure 1* que l'ensemble des échantillons de l'atmosphère parisienne se groupe sur une droite de régression bien individualisée, ce qui signifie que le polluant « moyen », mélange de diverses sources est assez bien défini. Néanmoins, si l'on trace les droites de régression correspondant aux principaux types d'environnement urbain ou péri-urbain, on constate qu'ils définissent des droites de régression différentes, qui correspondent donc à un polluant moyen différent, ce qui est normal. Enfin, pour chaque échantillon prélevé, on peut calculer les caractéristiques ( $\delta^{13}\text{C}$  et concentration) de son polluant particulier, ainsi que les proportions de ce polluant à l'endroit donné. La contribution d'un polluant donné est d'autant plus grande que la droite de corrélation correspondante passe près de la région qui définit ce polluant (*Figure 1*). Analysons la situation aux différents niveaux d'investigation définis ci-dessus.

**1.** Au niveau global, la droite de mélange passe légèrement au-dessus du domaine des véhicules à essence, et, plus précisément, de ceux qui utilisent le carburant « sans plomb », manifestant la prépondérance actuelle de ce type d'essence. En revanche, malgré leur nombre important, la contribution des véhicules diesel est faible et c'est également normal car leur rendement énergétique est élevé et, grâce à leur mode de combustion, ils rejettent un gaz pauvre en  $\text{CO}_2$ . Ceci n'est évidemment valable que pour le  $\text{CO}_2$ .

**2.** Au niveau local, on peut noter des différences sensibles. Ainsi les échantillons en milieu rural péri-urbain définissent un pôle nettement plus élevé en  $^{13}\text{C}$ , mélange d'air océanique, de respiration végétale et animale, et pauvre en polluants industriels. La droite correspondante coupe la droite des zones polluées en un point qui



**Figure 1. Diagramme d'analyse de la composition de l'air par la représentation des différentes sources de gaz carbonique.** On voit sur cette figure l'ensemble des mesures qui définit avec précision ( $R = 0,9897$ ) une droite de corrélation touchant le bord supérieur du domaine des véhicules à essence, et très éloignée de celui des véhicules diesel. Cette position indique une légère influence de sources plus riches en  $^{13}\text{C}$ , comme le  $\text{CO}_2$  respiré. La droite en pointillés située au-dessus représente le comportement de l'air rural périurbain. On peut considérer que le point d'intersection des deux droites (en rouge), représente la composition de l'air rural éloigné des centres urbains.

\*  $\delta^{13}\text{C} = 1000 (R \text{ échantillon} / R \text{ standard} - 1)$  ou  $R = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ . Le standard international correspond à la valeur moyenne des carbonates sédimentaires.

représente l'air «non pollué» de l'atmosphère rurale, légèrement moins pur néanmoins que l'air des grandes zones océaniques. Les grandes places parisiennes représentent évidemment, plus que les jardins, des lieux de fort taux de pollution automobile. Les parkings sont encore plus pollués. Une salle de cours après quatre heures d'enseignement est un volume très riche en CO<sub>2</sub> presque uniquement issu de la respiration tandis qu'un laboratoire bien ventilé présente une pollution en CO<sub>2</sub> faible et d'origine variable. Aucune de ces observations n'est une grande découverte, mais elles permettent de vérifier que l'indicateur est fiable. On trouve aussi parfois une contribution significative de la respiration humaine: ce «polluant» est l'un des plus concentrés en CO<sub>2</sub> et sa production à Paris n'est localement pas négligeable\*.

**3.** On peut finalement suivre la variation des sources en un lieu donné. On a ainsi, au cours de l'étude, détecté très nettement la période de démarrage du chauffage urbain dans des immeubles environnant le parc des Buttes-Chaumont. Le CO<sub>2</sub> émanant de

ce chauffage a remplacé le CO<sub>2</sub> d'origine respiratoire, alors que la pollution était, dans les deux cas, très faible.

Il existe néanmoins des cas plus surprenants: par exemple les mesures faites en bord de Seine près de Jussieu, et sur le campus Jussieu lui-même, sont identiques à celles qui sont enregistrées dans une campagne ouverte, ce qui témoigne d'une ventilation très efficace.

La méthode permet d'ailleurs de quantifier cette ventilation en calculant le temps de résidence du CO<sub>2</sub> en chaque point considéré. Dans cette étude préliminaire, il varie de 28 minutes dans notre laboratoire à 11 heures dans le parking du campus un jour de panne du système de ventilation. Il est très faible et non mesurable sur le parvis du campus.

Cette étude n'est évidemment qu'une première étape. Le but est d'utiliser le CO<sub>2</sub> et son δ<sup>13</sup>C comme un index de pollution qui permet de calculer des pollutions plus nocives: oxyde de carbone, poussières, oxydes d'azote. On peut pour cela mesurer leur rapport au CO<sub>2</sub> dans chaque polluant et en déduire les flux correspondants, par exemple le flux de poussières d'origine diesel. ♦

### A breath of fresh air in Paris

## RÉFÉRENCES

1. Widory D, Javoy M. The carbon isotope composition of atmospheric CO<sub>2</sub> in Paris. *Earth Planet Sci Lett* 2003; 215: 289-98.
2. Javoy M, Pineau F, Allègre CJ. The carbon geodynamic cycle. *Nature* 1982; 300: 171-3.
3. Keeling CD. The concentration and isotopic abundances of carbon dioxide in rural and marine air. *Geochimica Cosmochimica Acta* 1961; 24: 277-98.
4. Mook WG, Koopmans M, Carter AF, Keeling CD. Seasonal, latitudinal, and secular variations in the abundance and isotopic ratios of atmospheric carbon dioxide. *J Geophys Res* 1983; 88: 10915-33.

\* Une erreur s'est toutefois glissée à la ligne 38 de la page 294 de la référence [1]: il faut lire 0,3 et non 3 (million tons of CO<sub>2</sub>).

## NOUVELLE

### Nos ancêtres les cannibales

Simone Gilgenkrantz

9, rue Basse,  
54330 Clerey-sur-Brenon,  
France.  
[s.gilgenkrantz@chu-nancy.fr](mailto:s.gilgenkrantz@chu-nancy.fr)

lisme dans ses récits de voyages. Après la découverte du Nouveau-Monde, en 1492, Christophe Colomb nomme Canibal, altération d'un mot arawak, ces

#### La faute originelle

Depuis des siècles, l'idée même de consommer la chair de son semblable paraît inacceptable à l'homme. Dans la répulsion qu'elle suscite, cette transgression suprême éveille une peur venue du fond des âges comme si persistait, en chacun de nous, la trace d'une faute originelle. À tel point que, pour s'en affranchir, les populations «civilisées» ont souvent accusé d'anthropophagie les

groupes humains qu'elles souhaitaient stigmatiser, en particulier au cours de la période coloniale où le «sauvage» était présumé cannibale.

Certes, les pratiques cannibales sont exclues de notre civilisation. Mais qu'en est-il du passé et des autres régions du monde ?

Elles sont décrites dans l'Antiquité par Hérodote chez des Barbares. Au Moyen Âge, Marco Polo relate des scènes de canniba-

Indiens des Caraïbes qui avaient la réputation de manger des êtres humains.

Mais dans la plupart des cas, la difficulté d'en apporter la preuve finit par conduire W. Arens, professeur d'anthropologie à New York, à réfuter en bloc, dans un livre qui remporta un grand succès en 1979, l'existence du cannibalisme [1].

Pourtant, ces pratiques de manducation de la chair humaine ont bel et bien existé. L'histoire de la tribu Fore, excellentment