

porté sur l'organisation d'écoles thématiques, plus focalisées, que ce soit sur des thèmes précis ou sur des techniques d'études, et laissant plus de temps aux tables rondes et aux discussions informelles. Les débats ont montré un renouvellement d'intérêt pour les groupes de recherche (GDR) interdisciplinaires. Quant à l'organisation de conférences ultérieures, le format de style Gordon Conferences semble avoir fait l'unanimité, devant de loin l'organisation de conférences internationales de plus grande ampleur. En ce qui concerne le soutien susceptible d'être accordé à la thématique systèmes moléculaires organisés, l'attribution de bourses et de contrats spécifiques SMO a été (bien entendu)

plébiscitée, tandis que la mise en place de DEA et surtout de thèses transdisciplinaires codirigés ont suscité beaucoup d'intérêt. Par ailleurs, la volonté de maintenir le contact entre les différents acteurs de ce champ scientifique semble manifeste, qu'elle s'exprime au travers d'un bulletin ou au travers d'un courrier électronique.

Il s'agit maintenant d'attendre quelques mois pour voir si cette école d'été va déboucher sur la mise en place de collaborations fructueuses, porteuses d'innovations, dans un champ de recherche où la communauté française est particulièrement performante. Il est encourageant, de ce point de vue, de constater que la quasi-totalité des participants qui se sont pronon-

cés à ce sujet (31/32) se sont déclarés satisfaits des contacts interdisciplinaires établis.

Ludovic Julien  
ENS, Paris

### Note

1 - Cette école d'été a fait l'objet d'une évaluation à la demande du CNRS. Un questionnaire d'attente, précisant les aspirations des participants, avait été envoyé avant le début des cours et a été confronté à un nouveau questionnaire rempli par chaque participant à la fin de l'école d'été. Les résultats de l'enquête sont disponibles sur demande au service Communication du département des Sciences chimiques (Tél. : (1) 44.96.41.11. Fax : (1) 44.96.50.10).

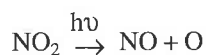
## Le Prix Nobel 1995 couronne la chimie vitale de la stratosphère

Contrairement à ce qui se produit d'ordinaire, au moins dans les domaines scientifiques, le comité Nobel a distingué cette année trois chimistes dont les travaux ont rapidement et fortement impressionné l'opinion mondiale, et ont en conséquence eu d'importantes répercussions techniques et économiques. Ces travaux ont, en effet, porté sur la formation et les altérations de la couche d'ozone.

Toutefois, c'est bien avant le Protocole de Montréal de 1987, que les trois prix Nobel de chimie 1995, Paul Crutzen, Franck Sherwood Rowland et Mario Molina furent amenés à s'intéresser aux réactions photocatalytiques susceptibles d'intervenir dans la haute atmosphère.

C'est en effet dans les années 1970 que Paul Crutzen, professeur d'origine néerlandaise à l'Institut Max Planck de Mayence (Allemagne), montra que les

oxydes d'azote peuvent, en présence d'oxygène, provoquer la formation d'ozone : ce dernier résulte de la dissociation photolytique du dioxyde d'azote sous l'action du rayonnement UV ( $\lambda > 290$  nm) qui parvient au niveau du sol :

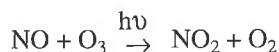


et de la recombinaison de l'oxygène atomique avec la molécule  $\text{O}_2$  :



sans doute en présence de molécules M agissant comme catalyseur.

Mais les oxydes d'azote produits au niveau du sol (micro-organismes de la terre, gaz d'échappement, décharges électriques) peuvent également provoquer la destruction des molécules d'ozone, suivant également une réaction photochimique :



Les réactions antagonistes conduisent finalement à un équilibre dynamique qui provoque la formation d'une

première couche d'ozone dans la troposphère : nous respirons cet ozone et il peut en résulter divers troubles. L'ozone troposphérique est donc plutôt nuisible.

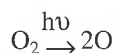
Mais P. Crutzen montra plus tard, en collaboration avec H. Johnston, et dans le cadre notamment des études engagées sur les risques associés aux vols supersoniques (tels que ceux de Concorde), générateurs d'oxydes d'azote en haute altitude, que ceux-ci peuvent provoquer une destruction de la deuxième couche d'ozone, très utile celle-là, la couche d'ozone stratosphérique.

En outre, P. Crutzen a contribué à l'étude théorique des effets possibles d'une guerre nucléaire sur notre atmosphère pouvant conduire au scénario de l'"hiver nucléaire".

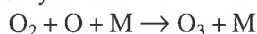
Les recherches poursuivies, également à partir des années 1970, par F.S. Rowland et M. Molina, ont porté sur un autre facteur de destruction de la couche d'ozone stratosphérique, les chlorofluorocarbones (CFC).

F. Sherwood Rowland a débuté ses recherches en radiochimie, sous la direction de W. Libby, qui obtint en 1960 le prix Nobel pour sa découverte de «la datation» des objets par  $^{14}\text{C}$ . Après avoir étudié la chimie du brome radioactif et celle du tritium, F.S. Rowland s'est engagé, à l'université de Californie (Irvin, États-Unis), dans des applications de ses recherches en chimie de l'atmosphère. C'est ainsi que, fortement intéressé par une publication de J. Lovelock sur le dosage des CFC dans l'atmosphère qui révélait leur très longue persistance (1972), il confia à M. Molina, jeune chercheur d'origine néerlandaise qui venait de le rejoindre pour effectuer une recherche postdoctorale, un travail visant à établir les conditions dans lesquelles les molécules de CFC se détruisent dans l'atmosphère. En 1974, ils publiaient dans *Nature* (1974, 249, p. 810), un article qui fait maintenant référence où ils suggéraient que les molécules de CFC sont détruites par le rayonnement UV dans la stratosphère, en libérant des radicaux chlorés responsables d'une destruction photocatalytique de l'ozone.

Suivant le mécanisme admis aujourd'hui, l'ozone stratosphérique résulterait de la dissociation du dioxygène, aux très basses températures, sous l'action des rayonnements UV de longueur d'ordre inférieure à 200 nm :

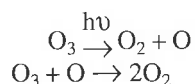


et de la recombinaison de l'oxygène atomique ainsi formé avec des molécules de dioxygène, en présence de molécules M non encore identifiées agissant comme catalyseurs



Mais l'ozone ainsi formé peut se décomposer à son tour, par photolyse,

sous l'action de rayonnements UV de longueurs d'onde comprises entre 210 et 290 nm, en donnant à nouveau naissance à du dioxygène



Les réactions antagonistes conduisent à un état d'équilibre dynamique qui se traduit par l'apparition de la couche d'ozone stratosphérique, couche localisée entre 15 et 60 km d'altitude, où la concentration d'ozone, très faible en moyenne, est maximale entre 20 et 30 km (on calcule que si la couche était constituée d'ozone pur, elle aurait une épaisseur de 3 mm). Mais elles sont, en outre, responsables de l'absorption de rayonnements UV durs, très nuisibles à la vie sur la Terre : la couche d'ozone stratosphérique nous est donc indispensable.

Les radicaux chlorés, formés par la photolyse des molécules de CFC s'opposent à la formation de la couche d'ozone, réduisent la concentration de celui-ci et apparaissent ainsi comme responsables des «trous d'ozone» découverts au dessus de l'Antarctique par J. Farman. Cette découverte, publiée en 1985 et l'apparent développement de ce «trou d'ozone» devaient susciter une émotion considérable dans l'opinion mondiale et chez les responsables politiques, et conduire à la publication, en 1987, du Protocole de Montréal, d'après lequel, notamment, la fabrication et l'utilisation des CFC devaient cesser avant 1996.

Il est intéressant de souligner l'évolution considérable des idées des scientifiques et des industriels entre 1974, date à laquelle la publication de Molina et Rowland semblait farfelue, et 1987.

En 1974, en effet, les CFC étaient

considérés comme des composés offrant des qualités de sécurité (non-toxicité) et d'inflammabilité exceptionnelles, qui les firent utiliser comme fluides réfrigérants, comme solvants pour les industries électroniques et mécaniques, comme gaz propulseurs pour les aérosols, comme agents gonflants dans les mousses rigides d'isolation, comme extincteurs. Ils apparaissaient à tous comme des produits très sûrs, destinés à résoudre des problèmes de toxicité et d'environnement, et appelés à se développer considérablement, notamment dans les pays en voie de développement [2]. On ne pouvait pas croire qu'ils pourraient mettre en danger la vie sur la Terre.

Les analyses de Lovelock, les recherches de Rowland et Molina, les nombreux travaux consacrés depuis à l'évolution de la couche d'ozone stratosphérique, devaient mettre fin à ce remarquable succès industriel, conduire le programme des Nations-Unis pour l'environnement à établir officiellement une relation entre la diffusion des CFC vers la haute atmosphère et la croissance du trou d'ozone, et induire, dans l'industrie chimique mondiale, une très importante recherche dont les résultats ont conduit progressivement, depuis quelques années, à l'apparition de substituts aux CFC dans toutes leurs précédentes utilisations.

Gérard Montel

### Références

- [1]Stevenson R., *Chemistry in Britain*, nov. 1995, p. 847.
- [2]Verhille M., *L'Actualité Chimique*, 1994, 5, p. 17.