



PONTIFICIA
ACADEMIA
SCIENTIARVM

COMMENTARII

Vol. II

N. 35

JEAN LECOMTE

L'INFRAROUGE ET LA METEOROLOGIE

EX AEDIBVS ACADEMICIS IN CIVITATE VATICANA

L'INFRAROUGE ET LA METEOROLOGIE

JEAN LECOMTE

Académicien Pontifical

SUMMARIVM — Usus spectrorum infra-rubrorum in rebus meteorologicis permultas easque magni momenti notitias comparare potest.

La météorologie constitue une science très difficile. Ses progrès sont lents, en raison de la complexité des phénomènes qu'elle étudie. Jusqu'à présent, il est impossible de séparer les variables et encore moins d'agir sur chacune d'elles. Cependant, de plus en plus d'organismes sont intéressés par la météorologie et aussi de plus en plus d'utilisateurs réclament la possibilité de se servir de ses prédictions.

Les calculatrices ont conduit à des progrès extraordinaires en permettant de traiter, avec une rapidité incroyable, les millions d'informations météorologiques, qui parviennent aux Centres de calcul, de les trier et de les retransmettre, dans les délais les plus brefs, aux utilisateurs.

Chaque année, de nouvelles méthodes sont introduites en météorologie. Les derniers mois ont vu le début d'une expé-

rience à l'échelle planétaire, sous le nom d'Eole, destinée à étudier les vents encore mal connus dans l'hémisphère sud.

Nous nous proposons d'indiquer quelques unes des applications du spectre infrarouge à la météorologie.

* * *

Il y a plus d'un demi-siècle, lorsque j'ai commencé à m'occuper du spectre infrarouge, il existait, de par le monde, au plus une demi-douzaine de laboratoires à effectifs restreints, s'occupant de ce vaste domaine spectral, entièrement invisible comme on le sait. Actuellement des centaines de spectrographes infrarouges sont utilisés par de très nombreux chercheurs et techniciens. Contrairement au passé, l'obtention d'un spectre infrarouge ne demande plus actuellement des prodiges d'ingéniosité et d'habileté, mais seulement des mains soigneuses, quoique non spécialisées.

La spectrométrie infrarouge permet une étude qualitative et quantitative de la composition de l'atmosphère, principalement en vapeur d'eau et en gaz carbonique, dont la connaissance, sous toutes les latitudes, sous toutes les longitudes et à toutes les altitudes, constitue un élément de base de toute étude météorologique.

Les radiations infrarouges, issues d'une source comme le soleil, sont filtrées d'une manière sélective par l'atmosphère terrestre. Si l'on dispose d'un spectrographe très dispersif, on décèle, dans la partie du spectre comprise entre le visible et les microondes, des raies atteignant un nombre respectable de centaines. Des travaux, qui durent depuis plusieurs dizaines d'années, ont permis d'identifier chacune des raies observées avec une molécule déterminée.

Comme le gaz carbonique possède une structure linéaire, l'interprétation des résultats se présente comme relativement simple, aussi bien dans les vibrations fondamentales de rotation-vibration que dans les bandes harmoniques ou de combi-

naison. Il s'étend seulement du visible à 15 micromètres environ.

Par contre, la molécule de vapeur d'eau, qui est angulaire et appartient au type de la toupie dissymétrique avec trois moments d'inertie différents, conduit, comme dans tous les cas analogues, à une complexité incroyable du spectre infrarouge de rotation-vibration et à une extension du spectre de rotation pure depuis le visible jusqu'aux microondes.

Les mesures de l'absorption atmosphérique dans l'infrarouge sont maintenant assez précises pour que l'on puisse déceler aussi les nombreuses molécules isotopiques. A côté de l'hydrogène, de l'oxygène 16 et du carbone 12, on établit aussi la présence de deutérium, du carbone 13, de l'oxygène 18 et 17 (malgré sa proportion extrêmement faible). La présence de ces molécules isotopiques a retardé, jusqu'à ces dernières années, l'interprétation complète des résultats expérimentaux d'une extrême complexité.

Partant de ces données, on sait doser quantitativement la teneur du gaz carbonique et de la vapeur d'eau contenus dans l'atmosphère, ainsi que celle de leurs molécules isotopiques. Mais les théoriciens ne sont pas encore parvenus, malgré le recours à de puissantes calculatrices, à prévoir l'absorption *totale* de l'atmosphère dans un intervalle spectral infrarouge déterminé, pour des conditions définies de température et de pression, entre deux points, soit situés sur une même verticale, soit séparés par une distance horizontale connue. Pour chacune des centaines de raies observées, il faut tenir compte des effets de pression et de température, qui provoquent un chevauchement variable de ces raies. On ne peut donc pas appliquer les données simples d'additivité qui concernent les coefficients d'absorption de chacun des composants de l'atmosphère en un point déterminé du spectre infrarouge, et l'on est obligé d'imaginer des modèles compliqués qui finalement ne fournissent qu'une approximation assez grossière de cette absorption totale cherchée et si utile en météorologie. Si l'on

veut maintenant tenir compte non seulement de l'absorption infrarouge d'une tranche d'atmosphère mais encore de son rayonnement calorifique propre et de sa réabsorption par les couches avoisinantes, le problème devient rapidement inextricable.

L'oxygène, l'azote, principaux constituants de l'atmosphère, ainsi que les gaz rares ne donnent aucune absorption dans l'infrarouge. Mais, grâce à leurs bandes caractéristiques, on a pu découvrir la présence de constituants mineurs, tels que le méthane, le protoxyde d'azote N_2O , l'ozone et aussi, au dessus des agglomérations, de l'oxyde de carbone. Notre méthode infrarouge se prête donc à l'étude de la pollution atmosphérique, sujet de grande actualité.

En plus de l'absorption sélective de l'atmosphère, il existe également une dissipation d'énergie non sélective de l'atmosphère, due, pour une faible part, aux molécules elles-mêmes des constituants et, d'une manière beaucoup plus importante, aux particules en suspension, comme les poussières, les gouttelettes d'eau etc... Elles limitent la visibilité. Tout le monde connaît les remarquables applications de la photographie infrarouge, qui permet la prise de vues aux grandes distances, la limitation provenant pratiquement uniquement de la courbure de la terre. Pour les météorologistes, les photographies infrarouges constituent aussi un moyen aisé de mettre en évidence les formations nuageuses les plus ténues: elles se détachent sur le ciel qui apparaît presque noir en raison de la faible diffusion des radiations de grande longueur d'onde.

On sait que la présence de la vapeur d'eau et du gaz carbonique de l'atmosphère joue un rôle capital pour limiter le rayonnement de la terre dans l'espace, qui s'effectue presque entièrement dans l'infrarouge moyen, avec un maximum de déperdition vers des longueurs d'onde de 10 micromètres. Il ne peut s'effectuer que dans une fenêtre bien délimitée des spectres de la vapeur d'eau et du gaz carbonique, où ils restent peu absorbants, dans une région située de part et

d'autre de 10 micromètres. Le bilan thermique de l'énergie rayonnée par la terre dans l'espace et celle qu'elle reçoit des corps célestes, détermine la température de notre globe et la possibilité de la vie. Un exemple classique concerne les gelées nocturnes. Dès que l'écran de nuages disparaît, le rayonnement de la terre dans l'espace augmente et la température au sol diminue plus ou moins considérablement.

Certaines théories attribuent à la variation dans la teneur en gaz carbonique les modifications de climat et même l'apparition des périodes glaciaires. Quoiqu'il en soit, nous vivons, ainsi que les animaux et les plantes, dans un bain d'infrarouge, qui joue un rôle déterminant et souvent ignoré. La quantité d'infrarouge qui parvient au sol dépend de la nature du climat, humide ou sec, et de la diffusion par l'atmosphère. A notre connaissance, il n'existe jusqu'à présent aucune étude d'ensemble sur cette importante question. De leur côté, les nuages, suivant leur température, émettent de l'infrarouge de longueurs d'onde différentes. Ainsi les alpinistes connaissent bien les effets fâcheux des nuages blancs qui couvrent le ciel et qui provoquent, sans soleil, des érythèmes douloureux. Le « coup de bambou », bien connu des coloniaux, peut aussi se réclamer d'une origine analogue. Pendant longtemps, on a attribué ces effets à l'ultraviolet, alors qu'ils semblent produits par l'infrarouge de longueur d'onde relativement grande. Une intensité assez faible peut alors produire sur la peau un effet intolérable.

Une des applications les plus remarquables de l'infrarouge se rencontre avec les satellites météorologiques, qui permettent, à toute heure du jour ou de la nuit, de connaître l'enneigement du sol. Point n'est besoin d'éclairage, puisque l'on compare, dans les diverses zones spectrales infrarouges, le rayonnement émis par la terre d'une part, et celui des nuages, d'autre part. On utilise à cet effet, la « fenêtre atmosphérique », déjà citée, centrée sur la : longueur d'onde de 10 micromètres : les satellites météorologiques donnent des renseignements pré-

cis sur cet ennuagement, au dessus de toutes les zones terrestres, même les moins accessibles, comme les régions polaires ou désertiques, et l'immense surface des océans. Sans l'utilisation de l'infrarouge, les observations ne pourraient pas se poursuivre continuellement 24 heures sur 24. Cette méthode présente un intérêt tout particulier, surtout dans le cas où il se produit de rapides modifications dans la situation météorologique, comme par exemple pour la prédiction des cyclones tropicaux.

Un problème, qui a intrigué pendant longtemps les météorologistes et les astronomes, concerne l'origine de l'émission du ciel nocturne. La difficulté de son étude vient de sa faiblesse extrême et de sa position au moins partielle dans l'infrarouge proche. L'accroissement considérable de sensibilité des récepteurs dans cette zone a conduit à décomposer les bandes d'émission observées en de très nombreuses composantes qui ont permis d'identifier avec précision, les éléments de l'atmosphère responsables de cette émission. Elle est produite par des transitions « interdites » entre certains niveaux énergétiques des atomes ou des molécules.

Il est incontestable que les mouvements et la température des océans, qui constituent les trois quarts de la surface du globe, jouent un rôle fort important en météorologie. Or, parmi les états de la matière, un des moins bien connus est l'état liquide. Dans mon laboratoire, nous avons repris, par infrarouge, l'étude de cette question. On peut espérer que les données ainsi acquises permettront de préciser les mouvements des molécules d'eau dans des conditions de pression, de température et de salinité extrêmement variées, qui se rencontrent dans les océans. La meilleure connaissance de l'état liquide, due à l'application de nouvelles techniques infrarouges, devrait ainsi aboutir à des conceptions nouvelles sur l'influence des océans dans la météorologie.

Je voudrais, pour terminer ce propos, citer deux applications essentiellement pratiques. Afin de dissiper le brouil-

lard pendant un temps court, de manière à permettre le décollage et l'atterrissage des avions, on recourt à une batterie de brûleurs à mazout situés le long des pistes, à des distances bien choisies: pendant le fonctionnement de ces brûleurs, il se produit un véritable trou dans la brume la plus opaque. Ce système efficace, mais coûteux, présente aussi l'inconvénient que le brouillard dissipé retombe souvent sous forme de verglas sur les routes avoisinantes.

Il y a bien longtemps que les sorciers africains allument des feux de brousse pour faire tomber la pluie et, sans s'en douter, recourent à l'infrarouge.

Depuis la célèbre ascension en ballon libre de l'illustre physicien GAY-LUSSAC, dont j'ai l'honneur d'occuper le fauteuil à l'Académie des Sciences de Paris, que de possibilités nouvelles sont à la disposition de la météorologie. Dans ce court propos, j'ai essayé de montrer que, parmi les techniques aussi nombreuses que variées, utilisables dans cette belle Science, l'infrarouge peut jouer un rôle non négligeable.