

Recherches sur l'ozone atmosphérique et la température de la stratosphère en Laponie Suédoise

Par A. VASSY et E. VASSY, Faculté des Sciences à Paris.

(Manuscrit reçu le 10 avril 1950)

Abstract

Measurements of atmospheric ozone have been made in Abisko (Swedish Lapland) during two different periods, one extending from December 1934 to March 1935, the other beginning with August 1949. Measurements of "mean temperature" have shown an annual temperature variation the amplitude of which is in excess of 100°C and which is due to the prolonged insolation of the stratosphere in high latitudes. It follows from the discussion of the results that it is necessary to determine the annual variations of the vertical distribution of ozone and of temperature in the stratosphere of those regions.

On sait depuis longtemps que les latitudes élevées présentent un intérêt particulier pour certaines études de géophysique, et avec le développement de la science météorologique cet intérêt s'est étendu à toutes les études sur l'atmosphère.

L'ozone atmosphérique est un problème qui touche par certains de ses aspects à la météorologie, à qui il peut fournir de précieux renseignements; et par d'autres à la géophysique et aux relations entre la Terre et le Soleil; aussi n'est-il pas surprenant que des chercheurs français soient venus travailler en Laponie Suédoise pour compléter notre connaissance de l'ozone à laquelle Ch. Fabry et ses élèves ont apporté une si large contribution. Nous parlerons ici des séjours effectués à Abisko pendant l'hiver 1934—35, par MM. Barbier, Chalonge, Dauvillier et Vassy, et par nous-mêmes pendant l'été 1949.

1. Position du problème; anciennes recherches

L'origine de ces recherches remonte à 1932. Faisant partie de l'organisation de l'Année

Polaire Internationale de 1932, une mission française s'était établie au Scoresby Sund (Groënland). Dauvillier, qui était dans ce groupe, avait accompli des mesures régulières de la teneur en ozone de l'air au voisinage du sol, mesures effectuées par voie chimique, et ses dosages révélèrent à partir du 1^{er} décembre une teneur de plus en plus forte qui dépassa 10 fois la valeur moyenne, pour revenir le 1^{er} mars à des teneurs normales (DAUVILLIER 1934). Ces fortes concentrations pendant la nuit polaire lui firent attribuer l'origine de l'ozone atmosphérique aux électrons auroraux, et c'est en partie en vue de vérifier cette hypothèse que fut entreprise la mission 1934—1935 à Abisko qui séjourna à la »Naturvetenskapliga Station» grâce à l'aimable intervention du Prof. Siegbahn.

Les mesures se partageaient en deux séries: mesure de la teneur en ozone des couches basses, et mesures de l'»épaisseur réduite» de l'ozone de toute l'atmosphère; les 2 séries de mesures étaient faites par voie spectrographique avec le même instrument, les premières sur une source terrestre à courte distance, un tube à hydrogène placé à la Touriststation (1 500

mètres environ), les secondes sur des étoiles, de préférence de type A ou B, dont le spectre ultraviolet est plus simple et avait été étudié auparavant par Barbier, Chalonge et E. Vassy. Disons que les mesures d'épaisseur réduite continuaient les importants travaux de Dobson sur les variations de l'ozone en fonction de la latitude et de la saison. Concurrément Dauvillier effectuait des dosages par voie chimique de l'ozone des couches basses.

Les mesures spectrographiques de la teneur en ozone de l'air au niveau du sol effectuées chaque jour du 29 décembre 1934 au 6 mars 1935 ont donné les résultats suivants (BARBIER, CHALONGE, VASSY, 1936): la valeur moyenne, exprimée suivant l'usage en microns par km (épaisseur d'ozone pur à la pression normale qui produirait la même absorption que l'ozone de l'air observé pour un trajet de 1 km), était de $19,7 \mu$ par km; les variations autour de cette moyenne étaient peu remarquables, parfaitement incohérentes, les valeurs extrêmes étant 30μ le 4 janvier, et 7μ le 24 février.

La valeur moyenne était du même ordre de grandeur que celle observée aux latitudes moyennes à Lauterbrunnen (Suisse), et inférieure à celles observées à plus haute altitude, Jungfraujoch et Arosa (CHALONGE, VASSY, 1934 a).

Quant aux valeurs individuelles, aucune corrélation n'a pu être trouvée, ni avec divers éléments météorologiques, ni avec l'épaisseur totale d'ozone, ni avec la nature des masses d'air. On n'avait pas observé de variation saisonnière ou d'influence de l'activité aurorale.

Les résultats de DAUVILLIER au Scoresby Sund ne se retrouvaient donc pas à Abisko, ainsi qu'il ressortait également de ses propres mesures chimiques (1935).

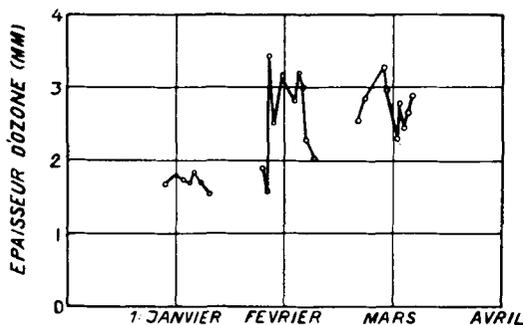


Fig. 1. Epaisseur réduite de l'ozone à Abisko (décembre 1934—mars 1935).

Les mesures d'épaisseur totale (BARBIER, CHALONGE, VASSY, 1935 a) sont représentées par le graphique de la fig. 1; les intervalles sans mesures sont dus à la présence de la Lune qui empêchait les observations, le spectrographe étant d'un modèle à prisme-objectif mis au point pour ces recherches (CHALONGE, VASSY, 1934 b) et dont l'absence de fente ne permet pas les mesures en présence de lumières parasites. Le graphique montre la croissance de l'ensemble à l'approche du printemps, en liaison avec la variation saisonnière. Quant aux variations d'un jour à l'autre, elles se sont révélées en liaison avec les grands mouvements du front polaire ainsi que les premiers travaux de DOBSON l'avaient déjà montré (1930). D'une façon générale, les variations journalières sont liées aux phénomènes météorologiques; elles se superposent aux grandes variations d'origine géophysique que l'on fait apparaître par la considération de moyennes, mensuelles par exemple.

2. Utilisation des données de l'observation

Les résultats obtenus en 1934—35 auraient donc été assez décevants si les recherches en étaient restées là. Mais en 1936, à la suite de mesures effectuées au laboratoire sur les coefficients d'absorption de l'ozone à différentes températures, l'un de nous (VASSY, 1936) a montré que, par suite de la variation linéaire des coefficients correspondants aux minima d'absorption, il était possible de définir une température moyenne de l'ozone atmosphérique (ozone de toute l'atmosphère), et il a donné également la méthode permettant de déterminer cette température moyenne à partir du spectre d'absorption (VASSY, 1937); alors que jusque là on avait dû se borner à montrer que l'ozone atmosphérique était à une température inférieure à 18°C (BARBIER, CHALONGE, VASSY, 1935 b), on pouvait maintenant donner la température moyenne de l'ozone sous nos latitudes, soit -30°C .

En possession de cette méthode, nous en avons fait l'application systématique au cours d'une mission au Maroc en 1937; et cela nous permet de montrer que cette donnée, s'ajoutant à l'épaisseur réduite de l'ozone, peut servir à déterminer la nature d'une masse d'air, et, dans certains cas, peut faciliter la prévision météorologique (A. et E. VASSY, 1938).

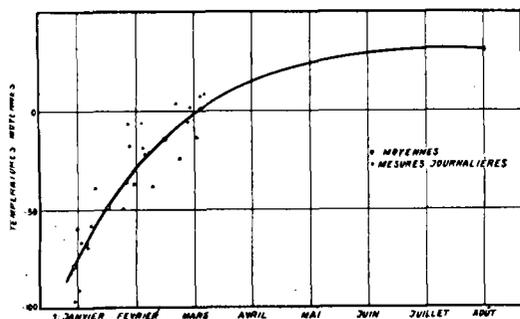


Fig. 2. Variation annuelle de la température moyenne de l'ozone à Abisko.

BARBIER et CHALONGE (1939) appliquèrent la méthode ensuite à un ensemble de mesures groupant diverses stations d'observations. Ayant extrait de leur travail les résultats concernant Abisko, que la fig. 2 représente, nous avons alors trouvé (A. et E. VASSY, 1939) une importante variation saisonnière de la température moyenne à la latitude d'Abisko. On constate en effet un relèvement systématique et important de la température moyenne en fonction du temps entre le 27 décembre 1934 et le 6 mars 1935. Or, pour le 27 décembre, à l'altitude de 25 km qui correspond à peu près au centre de gravité de la couche d'ozone, la durée du jour n'était que de 4 heures $1/2$, alors que le 6 mars elle atteignait 12 heures. Malgré les fluctuations dues à la circulation atmosphérique, cette variation montre donc une influence très nette du rayonnement solaire sur la température moyenne de l'ozone, et par suite sur la température de la stratosphère puisqu'en raison des pressions existant au-dessous de 50 km, l'ozone ne peut avoir une température différente des autres constituants de l'atmosphère.

Pour chiffrer ce relèvement de température, nous avons fait les moyennes mensuelles des températures moyennes de l'ozone atmosphérique; elles sont les suivantes:

fin décembre	- 79° C
janvier	- 49° C
février	- 14,5° C
début mars	+ 1° C

3. Recherches récentes

Ayant ainsi trouvé sur la température moyenne de l'ozone une importante influence du Soleil qui semble particulière aux régions arctiques, il nous a paru intéressant de voir ce

que devenait cette température moyenne durant les mois d'été où la stratosphère des hautes latitudes reçoit le rayonnement solaire pendant une durée prolongée et même sans interruption pendant plusieurs semaines à l'époque du solstice.

1. Résultats

Aussi avons-nous profité d'un séjour à l'Institutet för högspänningsforskning d'Uppsala, dirigé par le Prof. Norinder, séjour effectué sur les fonds du Conseil des Sciences Naturelles de l'Etat de Suède, pour déterminer par la même méthode la température moyenne de l'ozone en été. Des mesures ont été faites à Uppsala en août 1949, et nous avons séjourné 4 jours à Abisko où, sur l'initiative du Prof. Tiselius, nous avons reçu l'hospitalité la plus agréable à la Naturvetenskapliga Station, du 31 juillet au 4 août 1949.

Malheureusement, en raison du mauvais temps qui a régné à peu près constamment pendant notre séjour à Abisko et aussi à Uppsala, les spectres d'Abisko sont pris à travers une atmosphère chargée d'humidité, et nous avons déjà attiré l'attention sur les bandes d'absorption de la vapeur d'eau dans le proche ultraviolet qui pourraient fausser les mesures surtout si l'on opère à basse altitude.

Néanmoins nous avons pu obtenir les valeurs cherchées (A. et E. VASSY, 1950): à Uppsala, le 6 août l'épaisseur réduite était 2,72 mm et la température moyenne + 25° C; à Abisko l'épaisseur réduite était le 1er août 2,74 mm et la température + 30° C.

Cette valeur de + 30° C se place de façon très correcte sur la courbe de température obtenue en 1934 et extrapolée jusqu'en août (fig. 2) confirmant ainsi l'influence considérable du Soleil sur la température de la stratosphère et due sans doute à l'éclairement ininterrompu.

Il est évidemment dommage que nous disposions de si peu de valeurs pour ce mois d'août. Nous pouvons cependant accorder une certaine confiance à cette valeur de + 30° C car la situation météorologique était stable. C'est ce qui résulte de l'analyse de la situation aérologique que MM. Ångström et Björkdal, Directeur et Directeur-Adjoint de l'Institut météorologique suédois, ont bien voulu nous communiquer et nous les en remercions très vivement. Du 30 juillet au 2 août les masses

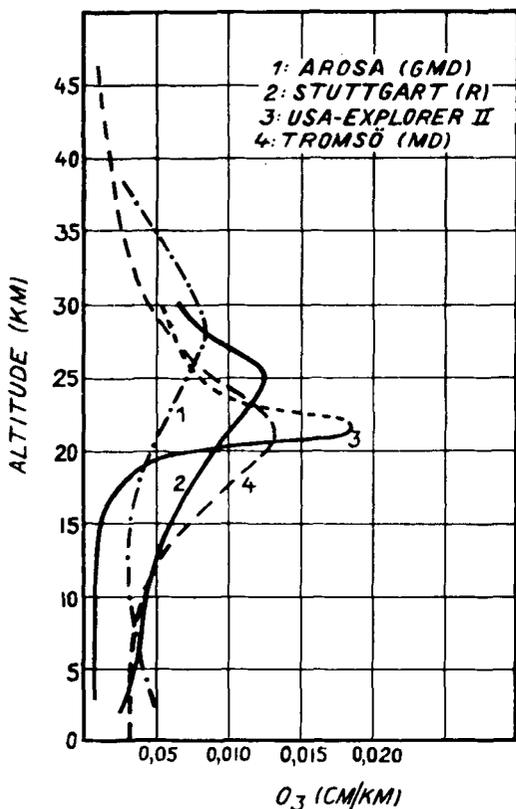


Fig. 3. Distribution verticale de l'ozone à Tromsø (Meetham et Dobson).

d'air étaient à peu près homogènes, aucun front ne traversant la région. Si l'origine des masses d'air ne peut être donnée avec certitude, il est probable qu'il s'agit d'air polaire maritime âgé. Pas de transformation par subsidence. La température donnée nous paraît donc correspondre assez bien à la saison.

Une variation annuelle de température aussi importante est très remarquable; elle ne doit pas être sans influencer sur les mouvements à grande échelle de l'atmosphère. Aussi serait-il bon de préciser à quelles altitudes elle se rapporte.

2. Interprétation

C'est pourquoi il est intéressant de comparer ces valeurs données par l'ozone avec celles obtenues par ROLF au moyen de sondages (1932). En effet, les températures directement accessibles par les sondages se limitent aux couches inférieures à l'altitude maximum atteinte par les ballons, qui varie entre 15 et 20 km. L'ozone

qui s'étend plus haut nous permet donc de nous renseigner sur les couches plus élevées, et même, dans la limite où nous avons sa répartition verticale, de déterminer la température de ces couches supérieures à 30 km. Mais cette comparaison avec les sondages devait nous réserver d'intéressantes surprises.

Si nous considérons la courbe moyenne des valeurs de ROLF pour décembre, la température de -79°C donnée pour l'ozone est en bon accord avec cette courbe supposée extrapolée au-dessus de 20 km; si cette extrapolation est correcte, on atteindrait -79°C à l'altitude de 30 km environ; nous avons trouvé de même qu'à la latitude de 45° , la température moyenne est celle que l'on obtient en extrapolant les sondages jusqu'à 30 km (A. et E. VASSY, 1941).

Mais pour les autres mois, le résultat est bien différent. En janvier, la courbe de température est continuellement décroissante; à la température -49°C correspond la seule altitude de 7,5 km; en février de même, la température $-14,5^{\circ}$ correspond à 2 km. Ces résultats sont évidemment absurdes, la plus grande partie de l'ozone se trouvant certainement, quelle que soit sa répartition, à des altitudes supérieures à 15 km. En mars, le gradient de température est très légèrement croissant entre 12 et 20 km; mais pour trouver en extrapolant, dans l'hypothèse d'un gradient uniforme, une température de $+1^{\circ}\text{C}$, il faudrait atteindre environ 100 km; en août il en serait à peu près de même. Ce résultat n'est donc pas acceptable non plus, les altitudes de 100 km ne pouvant contribuer, s'il y a de l'ozone, que pour une part négligeable à la température moyenne en raison de la très faible pression.

En conservant au-dessous de 18 km les températures données par les sondages, pour retrouver les températures élevées indiquées par l'ozone atmosphérique, il est indispensable de faire deux hypothèses simultanées:

- 1°) au-dessus de 18—20 km la température de l'atmosphère se relève rapidement;
- 2°) la plus grande partie de l'ozone se trouve au-dessus de 20 km.

Il semble donc que la répartition (voir fig. 3) donnée par MEETHAM et DOBSON (1935) ne convienne pas, du moins pour les journées où nous avons fait nos mesures d'ozone. Par contre, aux latitudes moyennes en utilisant la répartition donnée pour Arosa et en extrapolant les sondages de cette latitude, on peut calculer une

température moyenne qui est, à 5° près, la température moyenne de l'ozone atmosphérique, — 30° C (VASSY, 1936).

Les régions de haute latitude posent donc un double problème: celui de la variation de la température avec l'altitude; celui de la variation de la répartition verticale de l'ozone avec la latitude et peut-être aussi avec la situation météorologique.

Il se pose encore un autre problème; au cours de notre étude sur l'origine de l'ozone atmosphérique (A. et E. VASSY, 1941) où nous avions montré que le facteur température jouait un rôle important, nous avons noté le cas anormal des régions polaires pour les mois d'été. Nous avons alors supposé que l'ozone se trouvait plus bas, ainsi que le montrait la

répartition donnée par Meetham et Dobson, ce qui lui aurait donné une température moyenne inférieure et par suite faisait revenir les points figuratifs sur la droite. Or, nos dernières mesures nous montrent au contraire une température moyenne élevée. Il y a donc là encore un point à éclaircir.

Pour terminer, il nous est particulièrement agréable de remercier les organismes suédois qui, dans un large esprit de coopération scientifique internationale, nous ont rendu possible ces recherches, et les nombreuses personnes dont l'aide amicale et dévouée a grandement facilité notre travail.

Paris, le 11 mars 1950.

Physique de l'atmosphère, Sorbonne

BIBLIOGRAPHIE.

- BARBIER, D., CHALONGE, D., 1939: Recherches sur l'ozone atmosphérique. *Journ. Phys.*, **10**, p. 113.
- BARBIER, D., CHALONGE, D., VASSY, E., 1935 a: Mesure de l'épaisseur réduite de l'ozone atmosphérique pendant l'hiver polaire. *C. R. Ac. Sc.*, **201**, p. 787.
- 1935 b: Influence de la température de la stratosphère sur le spectre de l'ozone. *Rev. Opt.*, **14**, p. 425.
- 1936: Mesure de la teneur en ozone des couches basses de l'atmosphère pendant l'hiver, à Abisko (Laponie Suédoise). *C. R. Ac. Sc.*, **202**, p. 1525.
- CHALONGE, D., VASSY, E., 1934 a: Recherches sur la transparence de la basse atmosphère et sa teneur en ozone. *Journ. Phys.*, **5**, p. 309.
- 1934 b: Spectrographe astigmatique à prisme objectif. *Rev. Opt.*, **13**, p. 113.
- DAUVILLIER, A., 1934: Recherches sur l'ozone atmosphérique effectuées au Scoresby Sund pendant l'année polaire. *Journ. Phys.*, **5**, p. 455.
- 1935: Sur le desage de l'ozone atmosphérique. Comparaison de méthodes spectrographique et chimique. *C. R. Ac. Sc.*, **201**, p. 679.
- DOBSON, G. M. B., 1930: Observations of the amount of ozone in the Earth's atmosphere, and its relation to other geophysical conditions. *Proc. Roy. Soc.*, **129**, p. 411.
- MEETHAM, A. R., DOBSON, G. M. B., 1935: The vertical distribution of atmospheric ozone in high latitudes. *Proc. Roy. Soc.*, **148**, p. 598.
- ROLF, B., 1932: Lancers de ballons-sondes d'Abisko de 1922 à 1929. *Med. Statens Met. Hyd. Anstalt No 5*.
- VASSY, E., 1936: Variations des coefficients d'absorption de l'ozone et température de la haute atmosphère. *C. R. Ac. Sc.*, **203**, p. 1363.
- 1937: Sur quelques propriétés de l'ozone et leurs conséquences géophysiques. *Ann. Physique*, 11e série, **8**, p. 679.
- VASSY, A. et E., 1938: Variations journalières de la température moyenne de l'ozone atmosphérique. *C. R. Ac. Sc.*, **207**, p. 1232.
- 1939: Influence du rayonnement solaire sur la température moyenne de l'ozone atmosphérique. *C. R. Ac. Sc.*, **208**, p. 1518.
- 1941: Rôle de la température dans la distribution de l'ozone atmosphérique. *Journ. Phys.*, **2**, p. 81.
- 1950: Amplitude de la variation aérienne, de la température moyenne de l'ozone atmosphérique dans les régions polaires. *C. R. Ac. Sc.*, **230**, p. 672.