

L'ozone antarctique : les observations de la base roi Baudouin : 1965-1967

C. Muller

Institut d'Aéronomie spatiale de Belgique

H. Kelder

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Résumé

L'ozone a été mesuré au moyen d'un instrument Dobson à la base Antarctique Roi Baudouin (70°26' S, 24°19' E) de 1965 à 1967 à l'occasion de la dernière occupation de la station lors de l'expédition belgo-néerlandaise de 1964-1968. Les données brutes ont été extraites des archives du KNMI (Institut Royal Météorologique des Pays-Bas) et permettent de revenir sur la situation des variations saisonnières de l'ozone antarctique. Une relecture des données n'a montré aucune anomalie dans le traitement effectué à l'époque. Les données conduisent à conclure que ni 1965 ni 1966 n'ont été des années de «trou d'ozone», cependant en 1966, les valeurs de novembre montrent un

maximum net en novembre correspondant à la débâcle du vortex antarctique. Ces conditions dynamiques correspondent au «trou d'ozone» actuel et conjuguées avec les mesures en altitude confirment une cause chimique à l'actuel minimum d'octobre. Cet article remet ces données dans leur contexte historique et dans celui des mesures satellitaires actuelles.

Introduction

La détermination Dobson de l'ozone repose sur la mesure du rayonnement ultraviolet du soleil absorbé par l'atmosphère ou du rayonnement diffusé par le ciel à plusieurs longueurs d'onde où la section efficace d'absorption de l'ozone est différente,

l'instrument Dobson est un double monochromateur à prisme permettant de sélectionner deux longueurs d'onde simultanément, la plus longue série de mesures d'ozone par instrument Dobson est celle d'Arosa (Suisse) débutant en 1926 (Fig. 1). Les procédures de mesures ont été standardisées dès le début et ont fait l'objet d'une formalisation à partir de 1954 en vue de l'année géophysique 1957-1958. Les instruments Dobson (Fig. 2) ont été construits au nombre de 125 entre 1925 et 1980, 114 ont été utilisés pour des observations et environ une cinquantaine font l'objet de recalibrations et d'intercomparaisons régulières et constituent un réseau encore actif, depuis les années 1970, d'autres instruments ont atteint à la même qualité de mesure et des

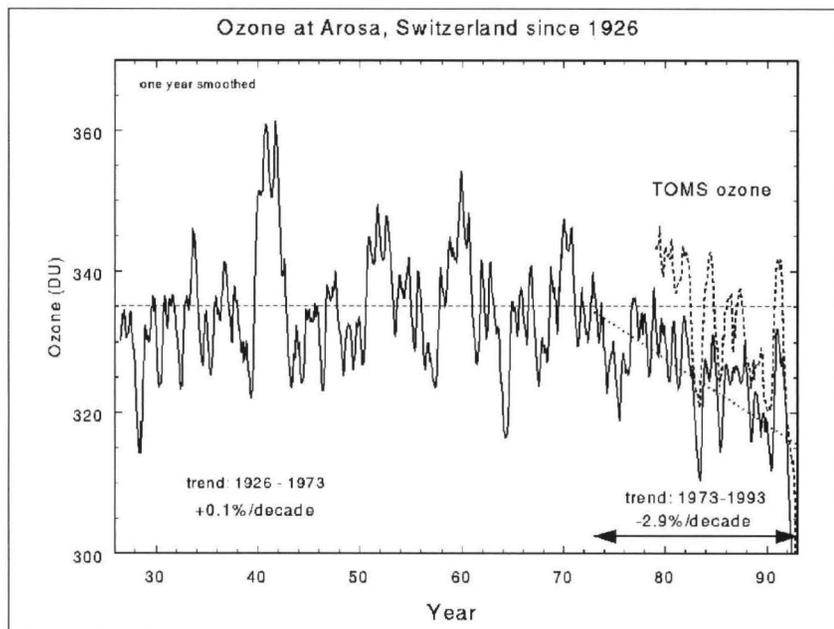
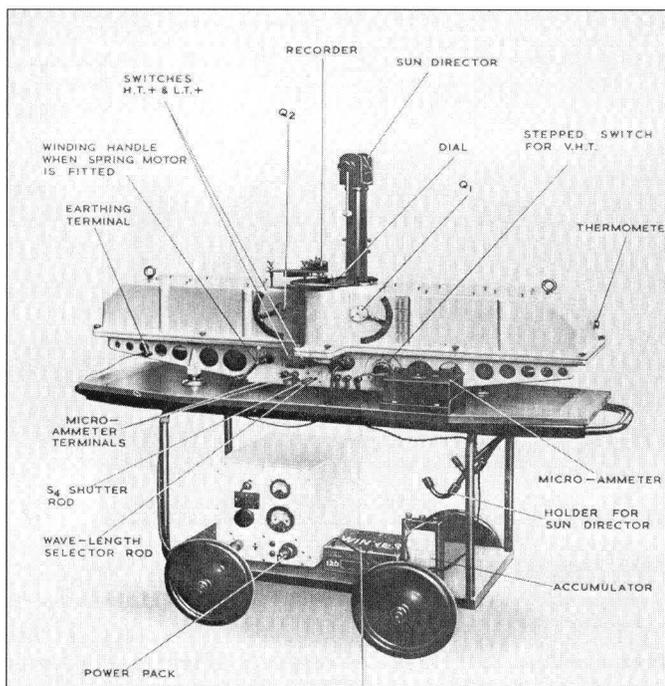


Figure 1. Série moyennée de mesures d'Arosa (Suisse) obtenue depuis 1926 au moyen de l'instrument Dobson, cent unités Dobson correspondent à une couche d'ozone d'un centimètre d'épaisseur (à la pression au sol) au-dessus de l'observateur. On voit que la moyenne est toujours supérieure à 250 unités Dobson.

Figure 2. Photographie de l'instrument Dobson tel qu'il était standardisé à l'époque de l'année géophysique internationale. (Dobson, 1958).



observations satellitaires ont permis d'étoffer la qualité de ce réseau. C'est dans ce contexte que sur l'initiative du professeur M. Nicolet, le secrétariat de l'année Géophysique Internationale décida l'installation d'instruments Dobson en Antarctique et à l'équateur où le réseau présentait des blancs. Le « British Antarctic Survey » répondit immédiatement en installant deux stations, l'une à Argentine Island sur la péninsule antarctique et l'autre à Halley Bay (Fig. 3), la station de Halley Bay devait très vite manifester des données surprenantes : la variation de la valeur d'octobre pour 1956 et 1957 n'était pas symétrique de celle des hautes latitudes Nord au printemps, et était en plus en moyenne inférieure de 100 unités Dobson à celle du Spitzberg. En 1968, Dobson devait écrire à ce sujet : « It was clear that the winter vortex over the South Pole was maintained late into the spring and that this kept the ozone values low » «il était clair que le vortex polaire antarctique était encore présent tard dans le printemps et que ceci maintenait de faibles valeurs d'ozone. »

Le vortex antarctique est une zone atmosphérique stable qui se développe l'hiver au-dessus du continent, celui-ci est constitué d'un haut plateau froid entouré par un océan circulaire, le réchauffement en est plus lent que sur la calotte polaire Nord en flottai-

son sur l'océan arctique, de plus les terres arctiques ne sont pas symétriques par rapport au pôle et donc la circulation atmosphérique est bien plus compliquée. De plus, l'hiver antarctique se produit lorsque la terre est la plus éloignée du soleil et est donc plus froid. Les records de froid à la surface terrestre ont été d'ailleurs obtenus en Antarctique à la base russe de Vostok (le pôle d'inaccessibilité) : -89,2°C le 21 juillet 1983. Cette température correspond au minimum à la tropopause et donc la zone de brassage atmosphérique que constitue la troposphère peut quasiment dispa-

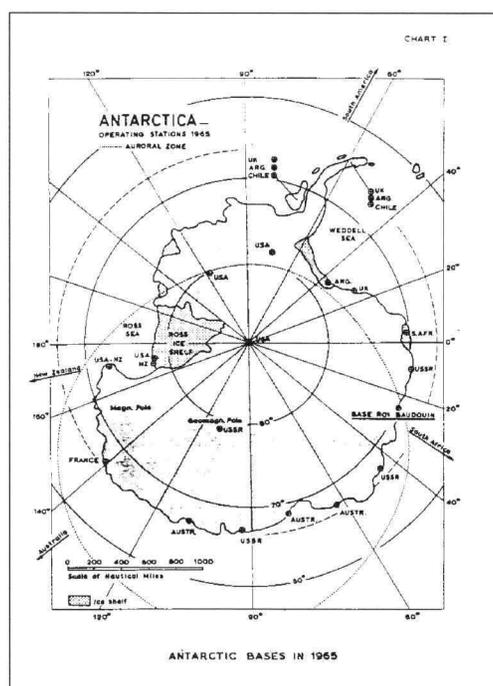


Figure 3. Carte de l'Antarctique montrant les stations actives en 1965, (Wisse, 1968), la station japonaise de Syowa située près de la côte à 40° de longitude n'y est pas indiquée, Amundsen-Scott est la station située exactement au pôle sud.

raître, les températures très basses favorisent aussi l'apparition de nuages de cristaux de glace s'étendant à une vaste gamme d'altitudes, des gaz atmosphériques s'y condensent et en particulier l'acide nitrique et une série de composés chlorés produits dans la stratosphère par la photodissociation des composés organochlorés. Lors du retour du soleil au printemps, ces particules agissent comme catalyseurs de destruction d'ozone et leur évaporation sélective favorise l'apparition d'atomes de chlore et de brome dans la stratosphère et donc une destruction supplémentaire d'ozone. Les mécanismes proposés sont complexes et ne peuvent se ramener aux cycles catalytiques simples agissant dans stratosphère aux latitudes moyennes. L'étude de ces particularités s'est évidemment accélérée après la publication par l'équipe japonaise de Syowa en 1984 (Chubachi et Kajawara, 1986, cette publication reprend les différentes communications antérieures de ce groupe japonais) et le British Antarctic survey en 1985 (Farman et al, 1985) d'une diminution annuelle de la moyenne d'ozone d'octobre à l'intérieur du vortex, laissant à penser qu'un changement atmosphérique global affectait l'ozone antarctique.

Les valeurs anormales de 1956 et 1957 conduisirent déjà à un suivi particulier des instruments Dobson situées en

Antarctique et en particulier de l'instrument n° 51 installé à la base d'Argentine Island. Cet instrument est la propriété de la Commission Internationale de l'Ozone et a été déployé d'octobre 1957 à décembre 1961 à cette base, il a montré une dégradation des prismes qui a nécessité leur remplacement en mai 1961 (Farman et Hamilton, 1974). L'instrument n° 51 fut ensuite complètement recalibré et confié à l'expédition belgo-néerlandaise de 1964-1967 pour un usage à la base Roi-Baudouin. Les données obtenues furent ensuite l'objet d'un rapport aux « ozone data of the world » gérées à Toronto par le Service d'Environnement Atmosphérique du Canada et d'une publication scientifique (Wisse et Meerburg, 1969). Les carnets des observateurs ainsi que les rouleaux d'enregistrement sur papier correspondant furent déposés au KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt, Pays-Bas), l'instrument et sa documentation furent envoyés en Suisse, à la station d'Arosa, après une calibration montrant une calibration normale et ne nécessitant donc pas de révision des données d'ozone obtenues entre 1961 et 1967 par cet instrument. Les archives du KNMI montrent une lettre prouvant cette opération mais malheureusement le rapport correspondant a été perdu avec une grande partie de la documentation de l'instrument lorsque celui-ci a été transformé en prototype automatique au début des années 1970. Un des observateurs de l'époque (Wisse, 1992) a pu néanmoins confirmer oralement l'absence de comportements anormaux de l'instrument pendant la période concernée.

Conservation des documents historiques

Les données ont été localisées en 1991 dans les archives du KNMI, dans des rayonnages correctement inventoriés et dans le cas de rouleaux, dans des boîtes appropriées et correctement marquées. La salle d'archivage était propre et étonnamment peu poussiéreuse. La station météorologique de la base Roi-Baudouin ne disposait pas de moyens d'enregistrement électroniques et donc aucun support magné-

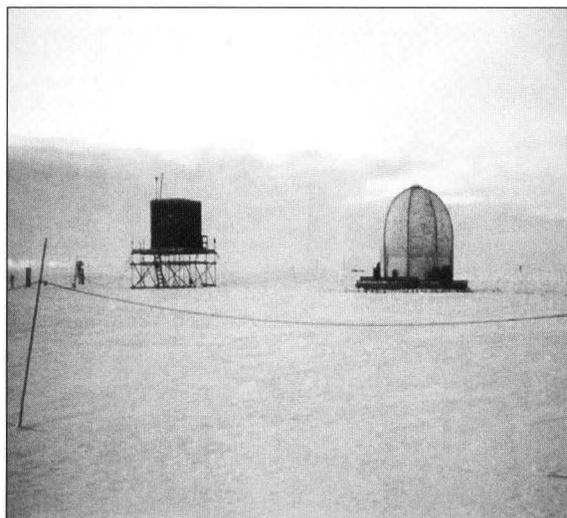


Figure 4. Abri de la station météorologique utilisé pour les mesures du Dobson, le temps couvert combiné au soleil très bas rend l'interprétation des données obtenues par mesure du rayonnement ultraviolet diffusé quasiment impossible.

tique ne se trouvait dans les boîtes. La seule absence notable concernait les rapports de calibration, ce qui était normal étant donné que ces rapports font partie de la documentation de l'instrument. Aussi, dans les années 1960, on ne soupçonnait pas l'existence de tendances à long terme de l'ozone total et le principal intérêt de l'ozone était son usage comme traceur de la circulation atmosphérique. Les observateurs étaient donc loin de penser que leur traitement, effectué en conformité avec les procédures de l'année géophysique internationale, devrait un jour être repris. La transformation de l'instrument et la perte de sa documentation ne permettent plus d'appliquer les procédures de réinterprétation en usage depuis 1993 et diminuent la valeur de ces données pour l'établissement de tendances absolues. Les notes permettent néanmoins de vérifier les procédures utilisées et d'effectuer des études d'erreur non requises par la procédure de 1958. Les documents retrouvés ont été photocopiés par le personnel du KNMI et ensuite réarchivés, les données ont été ensuite encodées et sont conservées maintenant sur des supports magnétiques standards (disquettes 3,5 pouces et CD-ROM). En général, la préservation des données géophysiques pose actuellement des problèmes graves et souvent ignorés, d'abord d'ordre technique : les cahiers et enregistrements papier ou photographiques n'ont pas été conçus pour durer, les supports magnétiques sont constamment modifiés et les procédures d'entretien des copies ne peuvent être

plus respectées en raison de la disparition des matériels concernés. Il est donc à craindre qu'une grande partie des données accumulées à grand frais au 20^{ème} siècle ne soit perdue pour les géophysiciens du futur.

Analyse des carnets originaux.

Les carnets des observateurs montrent que l'observation de l'ozone par l'instrument Dobson était répétée autant de fois que possible conduisant à un maximum de huit mesures par jour par temps exceptionnel, la procédure de l'année géophysique internationale (Dobson, 1967) étant suivie scrupuleusement chaque fois. Certaines observations, apparemment complètes, étaient parfois rejetées et barrées d'un trait de crayon. L'étude de ces valeurs ne montre pas qu'il s'agissait de valeurs anormalement faibles. Deux causes principales de rejet ont été identifiées : le changement de conditions entre le réglage de l'instrument et l'observation et les vibrations de l'instrument en relation avec les forts vents de surface venant du pôle. L'instrument était sous abri mais celui-ci s'est révélé trop léger par rapport à ce qu'aurait donné une construction définitive ancrée dans le sol. Les enregistrements de température à l'intérieur de l'instrument montrent que l'abri était effectivement protégé des températures extérieures (fig. 4). En conclusion, malgré les difficultés liées au soleil très bas, les observateurs ont atteint le maximum de mesures possibles. En l'absence d'une

Figure 5. Lancement de la sonde aérologique (boîte supérieure) et de la sonde d'ozone (boîte inférieure), comme sur toutes les photos obtenues par beau temps en Antarctique, on constate la longueur des ombres portées.



histoire de calibration de l'instrument, la règle de réinterprétation est la suivante : « Le traitement final des observations obtenues du 1^{er} juillet 1957 au 31 décembre 1987 utilisera les coefficients d'absorption de l'ozone de Vigroux (1953,1957). Les résultats finaux seront archivés au centre mondial des données de l'ozone Toronto, Canada où toutes les valeurs d'ozone seront converties aux coefficients d'absorption de Bass et Paur (1985) ». (NOAA, 1992, 1993). Comme aucun changement n'avait été noté par rapport à la première calibration, l'adaptation de la série de données est faite automatiquement à ce centre et ce sera ces résultats qui devront être utilisés pour l'établissement de séries globales à long terme.

Autres observations météorologiques

Les expéditions belgo-néerlandaises maintenaient aussi une station météorologique incluant des radiosondes aérologiques classiques (fig. 5). Les mesures atteignaient généralement le niveau de 50 mb (20 km) et en de rares occasions 10 mb (30 km), des sondes d'ozone Brewer-Mast accompagnaient parfois les radiosondes et l'ozone de surface était mesuré en permanence au moyen d'un enregistreur Brewer-Mast. Les résultats des 23 sondages d'ozone ont été communiqués au centre mondial de Toronto (fig. 6a.)

tandis que les valeurs de surface n'ont été communiquées que dans la publication de Wisse et Meerburg (1969). Des sondages verticaux d'ozone existent pour des dates d'octobre 1965 et 1966, dans aucun des cas, la déplétion d'ozone dans la basse stratosphère caractéristique des actuelles conditions de trou d'ozone (fig. 6b) n'apparaît dans aucun cas. Les valeurs de surface font l'objet de l'essentiel de la discussion de Wisse et Meerburg (1969), ils observent une augmentation d'ozone par vent polaire en hiver et au printemps et envisagent même la possibilité d'une source troposphérique d'ozone. Trente ans plus tard, le problème général des échanges entre la stratosphère et la troposphère n'est toujours pas résolu et il serait audacieux d'attribuer cette observation à une

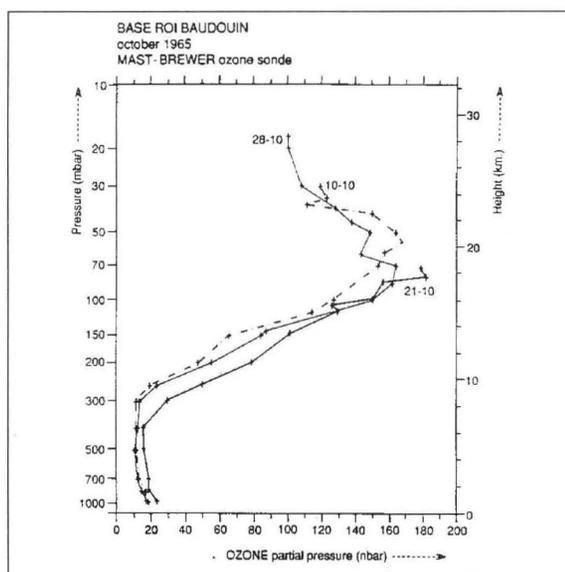


Figure 6a. Sondages d'ozone en altitude obtenus en octobre 1965 à la base Roi Baudouin, la couche d'ozone y est intacte.

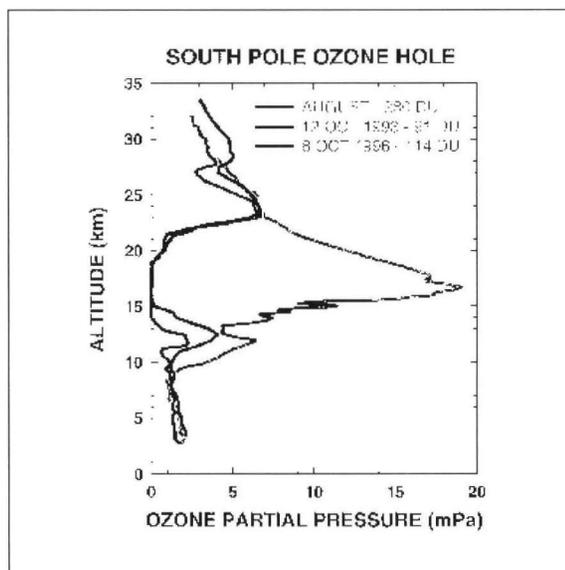


Figure 6b. Sondages d'ozone de la base américaine Amundsen-Scott obtenus en 1983 dans des conditions de trou d'ozone, la couche d'ozone y a disparu de la basse stratosphère indiquant un processus atmosphérique absent en 1965 et 1966.

intrusion d'air stratosphérique dans la troposphère à l'intérieur du vortex polaire.

Discussion des données stratosphériques et conclusions

Les données de l'ozone total ont été vérifiées pour quelques cas et les valeurs extrêmes ont été recherchées, la moyenne d'octobre 1965 est de 331 unités Dobson, celle d'octobre 1966 est de 343 unités Dobson, les moyennes journalières minimales en octobre ont été respectivement de 296 unités Dobson en 1965 et de 279 unités Dobson en 1966. Sachant que les valeurs minimales observées dans les conditions actuelles de trou d'ozone atteignent les 50 unités Dobson, on peut affirmer que le trou d'ozone n'est pas présent dans ces données. Une différence significative existe cependant entre 1965 et 1966 : un important maximum d'ozone en novembre 1966 (fig. 7) en corrélation avec un réchauffement stratosphérique en 1966, il s'agit là de l'indication de la disparition du vortex polaire et paraît impliquer que les conditions dynamiques de trou d'ozone étaient présentes en 1966.

Ces données ont été obtenues à une époque où les chlorofluorométhane n'étaient pas encore mesurables dans la stratosphère et où l'ozone stratosphérique ne subissait que des influen-

ces chimiques naturelles, la seule source significative de chlore actif étant le chlorure de méthyle naturel. Elles ne montrent pas les valeurs faibles indiquées par Dobson (1968) pour 1956 et 1957 ni les valeurs très faibles obtenues en Terre-Adélie pour 1958 par Rigaud et Leroy (1990). Elles sont aussi plus élevées que les 250 unités Dobson obtenues par Aiken (1992) pour octobre 1970. Elles correspondent néanmoins très bien avec la série de Syowa aux dates correspondantes (Fig. 8). Cette étude fait regretter que contrairement à Syowa, la base Roi Baudouin a été construite sur la banquise et non ancrée sur le sol et n'aurait jamais pu supporter la très longue durée, le programme actuel de recherches sur l'ozone antarctique continue à plusieurs stations dont Halley Bay et Syowa, il est en plus complété par le réseau NDSC (Network for the detection of stratospheric changes, les deux stations les mieux équipées étant Arrival Heights (satellite de McMurdo) et Dumont d'Urville. Dumont d'Urville manque d'un interféromètre à transformée de Fourier (exigence NDSC, essentiel pour la mesure de la chimie liée au trou d'ozone) et est de plus fréquemment en dehors du vortex. Arrival Height n'a pas de lidar et pourrait, en cas de vortex faible, se trouver en dehors du vortex. De plus ces stations antarctiques participent à une proposition

de validation ENVISAT, programme spatial commençant en 2000 où la Belgique est présente par une participation à l'instrument de mesure d'ozone SCIAMACHY et aux autres instruments de mesure de la chimie atmosphérique.

Arrival Heights représente probablement le maximum de l'effort logistique possible en Antarctique pour une station complète (possibilité d'accès par véhicules lourds à partir de McMurdo, piste pouvant recevoir les avions gros-porteurs C5a et C141 à McMurdo, hélicoptères, communications permanentes par internet, etc.). La base japonaise de Dome Fuji, à une dizaine de degrés vers le sud de Syowa est à peu près symétrique de McMurdo, mais ne dispose certainement pas encore des mêmes possibilités de communication. Vostok présente seulement l'avantage d'être en altitude et est par définition difficilement accessible (pôle d'inaccessibilité). La base américaine Amundsen-Scott (au pôle géographique) serait meilleure pour l'objectif d'étude du vortex mais ne pourra jamais être atteinte que par des C130 sur skis ou par de difficiles expéditions terrestres, en outre ses communications radio sont encore difficiles.

Remerciements

L'existence de cet instrument nous avait été signalée en 1986 par feu le Baron Nicolet, la recherche et l'encodage des données ont fait l'objet d'un financement de l'Union Européenne dans le cadre du programme STEP study 0054 NL. Les photos reproduites dans cet article nous ont été confiées par M. Jan Roest du KNMI. Finalement, nous tenons à remercier les observateurs dont les longues ombres apparaissent à la figure 9 pour leur courage et leur persévérance.

Références

- Aikin, A.C. 1992. Spring polar ozone behavior, *Planet. Sp. Sci.*, 40, 7-26..
- Bass, A.M. & Paur, R.J. 1985. The ultraviolet cross-sections of ozone, I. The measurements, in *Atmospheric Ozone*, edited by Zerefos and Ghazi, 606-610, Reidel.

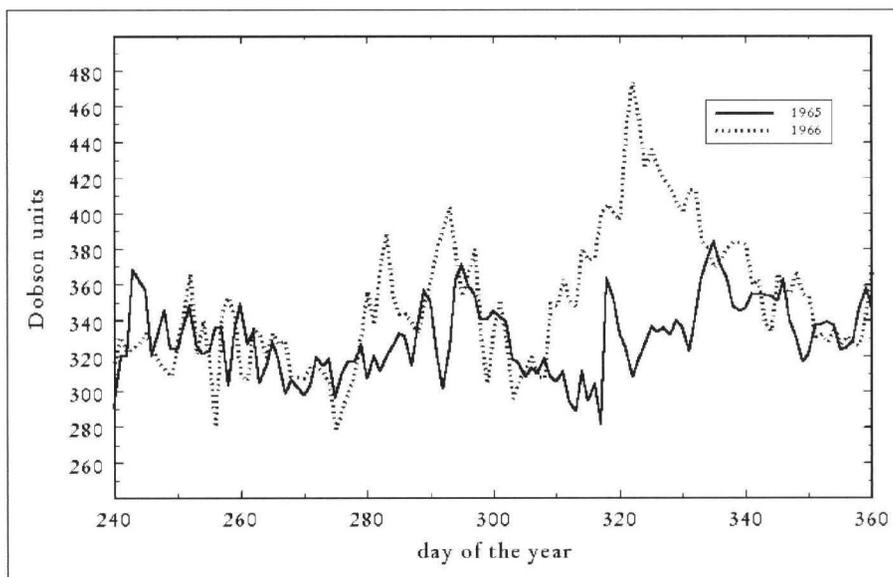
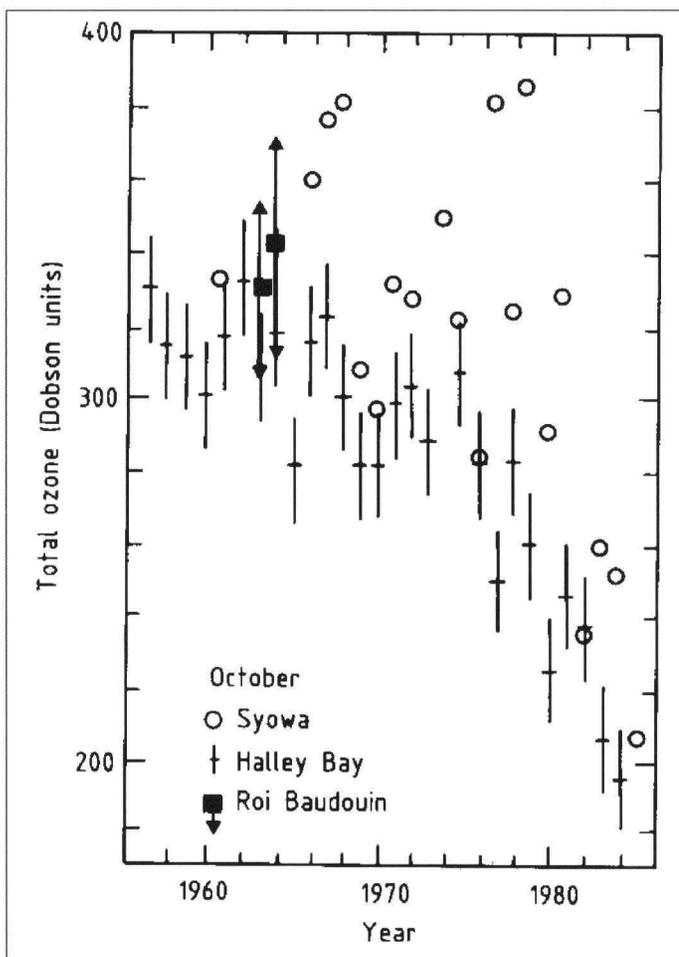


Figure 7. Moyennes journalières de 1965 et 1966 correspondant à la période de l'actuel trou d'ozone, les valeurs de 1966 montrent un important maximum en novembre correspondant à la dislocation du vortex antarctique.

Figure 8. Comparaison des valeurs mensuelles d'octobre de la base Roi Baudouin avec les valeurs de Syowa et de Halley Bay, la barre d'erreur des observations correspond à la déviation standard de l'ensemble des mesures, la dispersion supérieure des valeurs belgo-néerlandaises indiquerait que la station était parfois en dehors du vortex. Un calcul analogue n'a pu être effectué pour Syowa.



Chubachi, S. & Kajiwara, R. 1986. Total ozone variations at Syowa, Antarctica, Geoph. Res. Let, 13, 1197-1198.

Dobson, G.M.B. 1958. Observers' handbook for the ozone spectrophotometer, Ann. Int. Geophys. Yr., 5, part 1, 46-114.

Dobson, G.M.B. 1966. Annual variation of ozone in Antarctica, Quart. J. Met. Soc., 92, 549-552.

Dobson, G.M.B. 1968. Forty years research on atmospheric ozone at Oxford, a history, Appl. Optics, 7, 387-405.

Farman, J.C. & Hamilton, R.A. 1974. Measurements of atmospheric ozone at the Argentine Islands and Halley Bay, 1957-1972, British Antarctic Survey n° 90 scientific report, Cambridge.

Farman, J.C., Gardiner, B.G. & Shanklin, J.D. 1985. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/ NOx interaction, Nature, 315, 207-210.

NOAA, 1993. Dobson data reevaluation handbook, NOAA technical report, NESDIS 74.

Rigaud, P. & Leroy, B. 1990. Presumptive evidence for a low value of the total ozone content above Antarctica in September, 1958, Annales Geophysicae, 8, 791-794.

Vigroux, E. 1967. Détermination des coefficients moyens d'absorption de l'ozone en vue des observations concernant l'ozone atmosphérique à

l'aide du spectrophotomètre de Dobson, Ann. Phys., 2, 209-215.

Wisse, J.A. 1992. communication privée.

Wisse, J.A., 1968. Expédition Antarctique Belgo-Néerlandaise 1966, Meteorology, Exantar, Brussels, 1968.

Wisse, J.A. & Meerburg, A.C. 1969. Ozone observations at "Base King Baudouin" in 1965 and 1966, Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. A., 18, 41-54. ■



Figure 9. Salut au drapeau correspondant au départ de la station, les ombres, toujours très longues, sont celles des observateurs.