

RP 182

(53)

**CENTRE NATIONAL D'ETUDES
DES TELECOMMUNICATIONS**

**CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**CENTRE DE
RECHERCHES
EN PHYSIQUE DE
ENVIRONNEMENT
TERRESTRE
ET PLANETAIRE**

CRPE

**NOTE TECHNIQUE
C.R.P.E. / 124**

**BIBLIOGRAPHIE DU SONDEUR FRANCAIS
A DIFFUSION INCOHERENTE
(1962 - 1982)**

Par

J. BOUVET & M. LAFEUILLE

**RPE/EMI
38-40 rue du Général Leclerc
92131 ISSY LES MOULINEAUX, FRANCE**



30 MAI 1983

**CENTRE DE RECHERCHES EN PHYSIQUE DE
L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE ET PLANETAIRE**

NOTE TECHNIQUE CRPE/124

**BIBLIOGRAPHIE DU SONDEUR FRANCAIS
A DIFFUSION INCOHERENTE
(1962-1982)**

par

J. BOUVET et M. LAFEUILLE

RPE/EMI
38-40 rue du Général Leclerc
92131 ISSY-LES-MOULINEAUX, FRANCE



Le Directeur

I. REVAH

Le Directeur Adjoint

P. BAUER

Décembre 1982

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	3
I) ETUDES THEORIQUES PRELIMINAIRES (1962-1964)	5
- Définition du principe de l'étude par diffusion incohérente	
II) ARTICLES TECHNIQUES	17
III) RESULTATS DE 1965 A 1981	25
III a) Publications : articles originaux	27
III b) Publications : articles de synthèse	109
III c) Notes techniques	129
III d) Thèses d'Etat et de 3ème cycle	147
IV) COORDINATION	185
- Etude comparative de Saint-Santin et d'autres appareils	
V) PROLONGEMENTS	217
- Articles et thèses en cours de publication ou réalisation (1982-1983)	
ANNEXE : - Coordonnées géographiques des stations d'émission et de réception	237
- Index alphabétique d'auteurs	239

INTRODUCTION

Depuis les premières publications montrant les possibilités d'étude de l'ionosphère par diffusion "incohérente" et l'application de cette théorie au Sondeur Ionosphérique à Diffusion Incohérente (S.I.D.I.) réalisé en France par le CNET, un nombre important de travaux ont été publiés par les différentes équipes concernées. Au fil des années, grâce aux résultats obtenus l'orientation des thèmes de recherche a évolué, l'appareillage a également été modifié.

Il a paru intéressant de réunir l'ensemble des travaux publiés depuis 1962. Cette bibliographie a pour but, non seulement de retrouver les caractéristiques techniques de l'instrument mais aussi de suivre l'évolution des thèmes abordés ainsi que de permettre une identification et une utilisation aisées des résultats scientifiques obtenus.

A l'origine bistatique, cet instrument, destiné à l'étude de l'ionosphère à moyenne latitude, est devenu quadristatique en 1973 (voir coordonnées des stations en fin de volume). Depuis quelques mois il fonctionne en coordination avec EISCAT (European Incoherent SCATter), sondeur européen quadristatique destiné à l'étude des phénomènes ionosphériques et magnétosphériques à haute latitude. D'autre part, une étude de la mésosphère est également en cours de développement. Cette étude a nécessité la réalisation d'un nouveau système d'émission-réception par codage en phase.

Nous présentons les publications sous forme de photocopie de la première page qui comporte le titre de la revue, le résumé de l'article et le ou les noms des auteurs.

Chacune des rubriques respecte l'ordre chronologique de publication.

Malgré toutes les recherches entreprises, cette bibliographie n'est certainement pas exhaustive ; nous prions donc les lecteurs de bien vouloir nous signaler les oublis, bien entendu involontaires.

Nous tenons à remercier Mmes JABOIN et Le FLOCH pour l'aide efficace qu'elles ont apporté à la réalisation de ce travail.

J. BOUVET

M. LAFEUILLE

I

ETUDES THEORIQUES PRELIMINAIRES

1962 - 1964

MINISTERE DES POSTES ET TELECOMMUNICATIONS

CENTRE NATIONAL D'ETUDES DES TELECOMMUNICATIONS

Département "COMMUNICATIONS ET DETECTION SPATIALES"

NOTE TECHNIQUE PROJET C.D.S. 2

Edition N° 2

SONDEUR IONOSPHERIQUE A GRANDE PUISSANCE

par

H. CARRU & M. PETIT

Ingénieurs des Télécommunications

VU : L'Ingénieur des Télécommunications
chargé du Département C.D.S.



H. THUE

Manuscrit déposé
le 12 Juin 1961 (1ère édition)
le 18 Janvier 1962 (2ème édition)

ISSY-les-MOULINEAUX
le 22 Janvier 1962

CENTRE NATIONAL D'ETUDES DES TELECOMMUNICATIONS
3 Avenue de la République — Issy - Les - Moulineaux

RAPPORT TECHNIQUE
répertorié sous le
N° 1233 CDS

Département COMMUNICATIONS
& DETECTION SPATIALES
(C.D.S.)

MESURE DES CARACTERISTIQUES SPECTRALES D' UN SIGNAL
ALEATOIRE STATIONNAIRE NOYE DANS UN BRUIT GAUSSIEN.
APPLICATION A LA DIFFUSION QUASI INCOHERENTE.

par

M. PETIT, Ingénieur des Télécommunications au
département CDS

- Compte rendu sur
l'étude n° CDS - 3
du programme au
26 mars 1962

Vu, l'Ingénieur Général
des Télécommunications
adjoint au Directeur
signé : R. GIBLIN

Document de service, à n'utiliser que sur autorisation expresse de la Direction du Centre, distribué par le Service de Documentation Interministérielle du C - I - E - T, 38, rue du Général Leclerc, Issy - les - Moulineaux (Seine). LEC. 40-00 (postes 514 & 515)

On supposera, au cours de cette étude, que le signal et le bruit additionnel sont des processus aléatoires gaussiens stationnaires et ergodiques. On supposera en outre le bruit blanc. (La transposition des calculs ci-dessous au cas d'un bruit à spectre quelconque est d'ailleurs immédiate). On dispose d'un échantillon de durée T du signal accompagné du bruit parasite. On désignera l'ensemble signal + bruit sous le nom de lecture. On suppose connue l'expression mathématique du spectre de puissance du signal. Celle-ci dépend d'un certain nombre de paramètres qu'on désire mesurer. Il s'agit de trouver la meilleure manière de faire cette mesure et la précision de celle-ci.

PROJET FRANÇAIS DU SONDEUR IONOSPHERIQUE A DIFFUSION INCOHERENTE

par H. CARRU, F. DU CASTEL, M. PETIT

Centre National d'Etudes des Télécommunications

PROJET FRANÇAIS DE SONDEUR IONOSPHERIQUE A DIFFUSION INCOHERENTE

Après un exposé sommaire du phénomène de diffusion incohérente dans l'ionosphère on étudie l'influence des divers paramètres de l'ionosphère sur le spectre du signal diffusé. Cette étude souligne l'intérêt géophysique d'un sondeur à diffusion.

On décrit les principaux problèmes posés par la réalisation d'un tel sondeur et les caractéristiques adoptées pour le projet français.

THE FRENCH NON-COHERENT SCATTER-TYPE IONOSPHERE PROBE PROJECT

Having briefly summarized the phenomenon of non-coherent scatter in the ionosphere, the authors study the influence of the various ionosphere parameters on the spectrum of the scattered signal. This study underlines the utility of a scatter type probe from the geophysical standpoint.

The principal problems involved in producing such a probe and the technical features of the French project are described.

FRANZÖSISCHES PROJEKT EINER IONOSPHERISCHEN SONDE MIT INKOHÄRENTER DIFFUSION

Nach einer kurzen Darstellung der Erscheinung der inkohärenten Diffusion in der Ionosphäre wird der Einfluss der verschiedenen Parameter der Ionosphäre auf das Spektrum des verbreiteten Signals untersucht. Diese Arbeit unterstreicht das geophysikalische Interesse an einer Diffusionssonde.

Es werden die Hauptprobleme hereausgestellt, die sich bei der Schaffung einer solchen Sonde stellen und schliesslich werden die für das französische Projekt gewählten Kennwerte mitgeteilt.

Communication présentée au "Symposium Spatial Européen", Paris, juin 1962

PROJET D'ETUDE EXPERIMENTALE DU SPECTRE DE DIFFUSION INCOHERENTE

DANS L'IONOSPHERE

H. CARRU, F. du CASTEL, M. PETIT

C.N.E.T. - France

I AVANTAGES DES EXPERIENCES DU TYPE BISTATIQUEL.

Les expériences de diffusion incohérente déjà réalisées ont toutes utilisé une méthode radar pour localiser la région où se produit le phénomène qu'on se propose d'étudier. On émet alors pendant un temps très court, 100 μ s par exemple, et on reçoit successivement la réponse des différentes altitudes ou plus précisément la réponse d'une tranche d'ionosphère (d'épaisseur 15 km pour une impulsion de 100 μ s) qui s'éloigne de la terre avec une vitesse $c/2$, c étant la vitesse des ondes électromagnétiques dans le vide.

Malheureusement dans les expériences de ce type, le spectre observé est plus complexe que le spectre calculé théoriquement pour deux raisons : l'onde émise a un spectre étalé sur une plage de largeur $1/c$ et de plus il faut, à la réception, analyser un signal de durée limitée sous peine de perdre toute définition en hauteur.

L'étude précise du spectre diffusé est très délicate avec les méthodes de ce type et les spectres expérimentaux déjà publiés semblent très imprécis .

On élimine ces inconvénients en émettant de façon continue et en se servant de la directivité d'antennes distinctes à l'émission et à la réception pour définir le volume diffusant étudié.

(Ecole d'été des Plasmas - Orsay - sept.62)

La diffusion incohérente nouvelle méthode d'étude de l'ionosphère à partir du sol

par H. Carru, R. Benoit et M. Petit

L'ÉTUDE de l'environnement terrestre, en particulier de la très haute atmosphère et de sa région ionisée (ionosphère), est un chapitre important de la géophysique. Il est bien connu que c'est par réflexions successives sur l'ionosphère et sur le sol que les ondes de T.S.F. (sauf les ondes très courtes) peuvent faire le tour de la Terre, mais l'intérêt de cette région déborde largement le cadre de la technique des télécommunications. Outre que les résultats de son étude viennent s'intégrer dans les connaissances générales qui intéressent le géophysicien, le météorologue et l'astronome, le physicien et le physico-chimiste trouvent là un de ces « laboratoires naturels » où des phé-

nomènes se déroulent dans des conditions impossibles à réaliser dans leurs laboratoires terrestres. C'est pourquoi des moyens considérables sont mis en œuvre pour ces recherches.

Extrait des ANNALES DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

Tome 17, N° 11-12. — Novembre-Décembre 1962.

DÉPOUILLEMENT DE RÉSULTATS ENTACHÉS D'ERREURS ALÉATOIRES
DANS LE CAS OU LE SIGNAL LUI-MÊME EST ALÉATOIRE

Par Michel PETIT

Ingenieur des Télécommunications •

SOMMAIRE. — On propose une méthode de dépouillement d'un signal aléatoire noyé dans un bruit. On s'intéresse particulièrement au cas où le spectre de puissance du signal dépend, par des lois connues, de paramètres qu'on désire mesurer. On cherche la méthode optimale de mesure de ces paramètres et on évalue l'erreur commise, lorsqu'on a à sa disposition une durée T pour enregistrer le phénomène. On examine également l'influence du type de détecteur employé et de la forme de la courbe amplitude fréquence des filtres utilisés.

PLAN. — A. Quelques généralités. — I) Introduction ; II) Méthode générale ; III) Représentation de S_0 Rice d'un signal aléatoire gaussien de durée T . — B. Détermination expérimentale du spectre de puissance d'un signal aléatoire noyé dans un bruit. — I) Position du problème ; II) Cas où le spectre du signal ne dépend que d'un paramètre inconnu ; III) Cas où le spectre dépend de 2 paramètres φ et ζ ; IV) Extension à un plus grand nombre de paramètres ; V) Extension à un bruit de spectre quelconque ; VI) Conclusion. — Bibliographie (3 réf.).

APPLICATION DE LA DIFFUSION « QUASI-INCOHÉRENTE »
A LA MESURE DE LA TEMPÉRATURE, DE LA COMPOSITION IONIQUE
ET DE LA CONCENTRATION ÉLECTRONIQUE DE L'IONOSPHERE

par M. PETIT

Ingénieur des Télécommunications

(Département C. D. S., Centre National d'Études des Télécommunications)

RÉSUMÉ. — On étudie la détermination des paramètres de l'ionosphère à partir du spectre de puissance de l'onde diffusée par le plasma ionosphérique éclairé par une onde monochromatique de fréquence très supérieure à la fréquence de plasma.

La concentration électronique, la composition ionique et la température du milieu diffusant déterminent la forme du spectre. On s'attache à définir une méthode optimale pour le calcul de ces trois paramètres à partir de mesures effectuées sur le spectre. On évalue la précision qu'on peut attendre compte tenu des limitations expérimentales.

SUMMARY. — An investigation is made of how to determine ionospheric parameters from measurements of the spectrum of the radiation scattered by the ionospheric plasma, when illuminated by a monochromatic radio wave, the frequency of which is much greater than the plasma frequency. The shape of the spectrum is governed by the electron density, the ionic composition, and the temperature of the scattering medium. The optimum method is sought for calculating these parameters from measurements of the spectrum. Estimates are made of the expected accuracy, taking into account the practical limitations.

Резюме. — Изучается определение параметров ионосферы исходя из силового спектра волны рассеивающейся ионосферной плазмой освещенной монохроматической волной частоты намного большей частоты плазмы.

Электроническая концентрация, ионический состав и температура рассеивающей среды определяют форму спектра. Стремятся определить наилучший метод для подсчета этих трех параметров исходя из измерений совершенных на спектре. Выводится точность которую можно ожидать принимая во внимание экспериментальные ограничения.

MINISTERE DES POSTES ET TELECOMMUNICATIONS

CENTRE NATIONAL D'ETUDES DES TELECOMMUNICATIONS

Département "COMMUNICATIONS ET DETECTION SPATIALES"

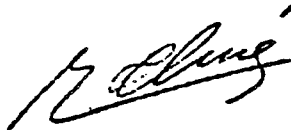
NOTE TECHNIQUE PROJET CDS 21

REALISATION DU SONDEUR IONOSPHERIQUE A DIFFUSION

par

H. CARRU - R. CHEZLEMAS - M. CLEMENT - M. PETIT
M. REYSSAT - J. RIBES

Vu : L'Ingénieur en Chef des Télécommunications
chargé du Département C.D.S.



M. THUE.

Manuscrit déposé
le 15 juillet 1963

Issy-les-Moulineaux
le 2 septembre 1963

Cette note a pour objet la description de l'état d'avancement des travaux concernant le sondeur à diffusion incohérente, réalisé par le Centre National d'Etudes des Télécommunications (Département Communications et Détection Spatiales sur Convention de Recherche du Centre National d'Etudes Spatiales). Certains points étant actuellement en cours d'étude, les caractéristiques données ci-dessous ne peuvent être considérées comme définitives.

THÉORIE CINÉTIQUE DES GAZ. — *Sur le terme de collision dans l'équation de Boltzmann d'un gaz. Application à la diffusion incohérente d'une onde électromagnétique par un plasma.* Note (*) de M. PHILIPPE WALDTEUFEL, transmise par M. Jean Coulomb.

On propose de traduire l'influence des collisions entre particules neutres et particules électrisées dans un plasma, par l'introduction dans l'équation d'évolution d'un gaz d'un terme phénoménologique, susceptible de rendre compte correctement du transfert de la quantité de mouvement. Le résultat obtenu est utilisé pour calculer le spectre de diffusion incohérente par un plasma dans lequel les collisions ne peuvent être négligées (basse ionosphère, plasmas de laboratoire).

NOTE TECHNIQUE C.D.S. N° 22

Les conséquences de l'inégalité des températures
électronique et ionique sur l'interprétation des spectres
de diffusion électronique d'une onde radioélectrique

par Michel PETIT
Ingénieur des Télécommunications au Département C.D.S.

RESUME.

Il semble maintenant extrêmement probable que la température des électrons est, de jour, différente de la température des particules lourdes dans une partie de l'ionosphère. Nous avons donc repris une étude antérieure (14) faite dans l'hypothèse de l'équilibre thermodynamique. Le problème posé est celui de l'interprétation des spectres de diffusion électronique. Ceux-ci dépendent de la concentration électronique, de la composition ionique et des températures électronique et ionique. Peut-on tirer ces paramètres physiques de spectres expérimentaux obtenus grâce à des récepteurs entachés d'un bruit propre non négligeable ? On donne les précisions auxquelles on peut prétendre et on examine l'intérêt de mesures complémentaires qui permettraient de supposer connues certaines des quantités dont dépend le spectre de diffusion.

MINISTERE DES POSTES ET TELECOMMUNICATIONS

CENTRE NATIONAL D'ETUDES DES TELECOMMUNICATIONS

Département "COMMUNICATIONS ET DETECTION SPATIALES"

Manuscrit déposé le
10 janvier 1964

Issy-les-Moulineaux
le 19 février 1964

II

ARTICLES TECHNIQUES

LA STATION DE RÉCEPTION DU SONDEUR IONOSPHERIQUE A DIFFUSION FRANÇAIS

L'ONDE ÉLECTRIQUE, t. XLVI , n°468, mars 1966

par

M. PETIT et M. REYSSAT

*Département Recherches spatiales radioélectriques
(ex C.D.S.) C.N.E.T.*

RÉALISATION DE L'ANTENNE D'ÉMISSION DU SONDEUR IONOSPHERIQUE A DIFFUSION DU C.N.E.T.

L'ONDE ELECTRIQUE, t.XLVI, n°468, mars 1966.

par

M. PARMANTIER

Compagnie Française d'Entreprises

L'ANTENNE D'ÉMISSION DU SONDEUR IONOSPHERIQUE *

L'ONDE ELECTRIQUE, t.XLVI, n°468, mars 1966.

par

Y. TOCQUEC

Centre de Recherches de la CGE, Marcoussis

* Texte préparé en vue de la réunion générale de la SFER du
24 novembre 1965.

L'ÉMETTEUR DU SONDEUR IONOSPHERIQUE A DIFFUSION *

L'ONDE ELECTRIQUE, t. XLVI, n°468, mars 1966.

par

P. SCHWAB

*Ingénieur au Groupe Electronique (Gennevilliers)
Compagnie Française THOMSON-HOUSTON*

* Conférence prononcée au cours de la réunion générale de la
SFER du 24 novembre 1965.

Radio Science, Volume 9, Number 2, pages 77-83, February 1974

The French quadristatic incoherent scatter facility

P. Bauer and P. Waldteufel

Centre National d'Etudes des Télécommunications, 92131 Issy-les-Moulineaux, France

C. Vialle

Institut National d'Astronomie et de Géophysique, Observatoire de Meudon, France

(Received October 31, 1973.)

The original Nançay-St. Santin incoherent scatter facility based on the radio astronomy antenna at Nançay and a CW transmitter located at St. Santin (300 km south) was improved in many ways between 1965 and 1970: doubling of the transmitted power to 140 kw, lowering of the receiver noise level down to 100 K, monitoring of the antenna and data acquisition through the use of a computer, rejection of the parasitic tropospheric echoes.

However, the most important improvement brought to the system is the addition of two new receiving stations 100 km east and west of the transmitter. Each of the new stations is equipped with a three-beam Cassegrain antenna (25-m parabola) aimed to simultaneously intersect the vertical transmitted beam at three different heights. Both new receivers have wide band (38 MHz at 3 db) gaseous helium cooled parametric amplifiers and on-line computers. While one of the two new stations is equipped with filter banks for the purpose of spectral analysis, a different choice has been made for the other station. For the latter the data acquisition will imply multibit correlators, for both the ionic spectrum and plasma line measurements.

Most of the improved electronic equipment designed for the new stations has also been implemented in the Nançay receiver. The frequency and time synchronization between the four sites is now accomplished by employing a single 5-MHz frequency standard in each station monitored by standard time and frequency signals from MSF and/ or HBG stations.

The observation procedure consists of tilting the different receiving antennas so as to gather the signal scattered from the ionospheric vertical column illuminated by the transmitter. For calibration purposes a standard ionosonde is operating at St. Santin.

The main objective of the quadristatic system is to determine completely the ion drift vector in order to study the electric fields and the neutral tidal winds. Other capabilities offered by the new system are a determination of the plasma line and a higher data acquisition rate.

The first observations with one of the new stations were performed in December 1972.

CENTRE DE RECHERCHES EN PHYSIQUE DE
L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE ET PLANETAIRE

DOCUMENT DE TRAVAIL C.R.P.E./1038

L'EXPLORATION DE LA MESOSPHERE ET DE LA STRATOSPHERE
A L'AIDE DU SONDEUR A DIFFUSION INCOHERENTE DU CNET :

Une étude de faisabilité

PAR

F. BERTIN, M. BLANC, D. VIDAL-MADJAR

C.R.P.E./E.T.E.

3, avenue de la République
92131 - ISSY-LES-MOULINEAUX

Décembre 1978

P/le Directeur
P. le Directeur Adjoint :

P. I. REVAH
P. Sain

III

RESULTATS DE 1965 A 1981

III a

PUBLICATIONS : ARTICLES ORIGINAUX

IONOSPHERE. — *Détermination expérimentale des températures de l'ionosphère au moyen de la diffusion électronique.* Note (*) de MM. **HENRI CARRU**, **MICHEL PETIT** et **PHILIPPE WALDTEUFEL**, présentée par M. Jean Coulomb.

Les premiers résultats expérimentaux obtenus grâce au sondeur ionosphérique à diffusion réalisé par le Centre National d'Études des Télécommunications sur convention de recherche du Centre National d'Études Spatiales, ont permis de vérifier que la méthode proposée par l'un des auteurs (1) pour l'interprétation des résultats expérimentaux était applicable à des données réelles. On a pu notamment déterminer la température des ions et celle des électrons trouvées égales et voisines de 750°K , à une altitude de 300 km, lors du premier essai effectué à 20 h 30 m T. U. le 30 septembre 1965.

SPACE RESEARCH VII - NORTH-HOLLAND PUBLISHING COMPANY, AMSTERDAM
1966

MISE EN EVIDENCE AU MOYEN DE LA DIFFUSION INCOHERENTE DES COLLISIONS ENTRE PARTICULES IONISEES ET PARTICULES NEUTRES

M. PETIT and P. WALDTEUFEL
C.N.E.T., France

Résumé. Un Sondeur à Diffusion fonctionne en France depuis la fin de 1965. Il a permis de mettre en évidence les collisions ion-neutre dans la couche E de l'ionosphère et de contrôler qualitativement les modèles théoriques tenant compte de ce phénomène.

Резюме: По соглашению с Национальным центром космических исследований (Франция) Национальный центр исследований в области телесвязи сконструировал ионосферный зонд некогерентной диффузии частиц. Своеобразие французского эксперимента заключается в основном в применении двух различных приемно-передающих антенн, разнесенных на 300 км. Таким образом, имеется возможность излучать чистую, незатухающую волну. При этом исследуемый объем однозначно определяется направленностью антенн. Можно также получить спектры, непосредственно сравнимые со спектрами, рассчитанными теоретически.

C.R. Acad. Sc. Paris, (1966, juin) t.262, 1586.

IONOSPHERE - Influence des collisions sur le spectre de diffusion
incohérente du plasma ionosphérique.

Note de MM. Henri CARRU, Michel PETIT et Philippe WALDTEUFEL,
présentée par M. Jean COULOMB.

--

IONOSPHERE. — *Mise en évidence de mouvements dans l'ionosphère au moyen de la diffusion incohérente.* Note (*) de MM. HENRI CARRU, MICHEL PETIT et PHILIPPE WALDTEUFEL, présentée par M. Jean Coulomb.

Les spectres de diffusion ionosphérique détectés par le sondeur du C. N. E. T. sont centrés sur une fréquence décalée par rapport à la fréquence émise. Cet écart peut être associé à un déplacement des ions positifs suivant la direction d'observation, qui est voisine de celle du champ magnétique terrestre. On peut ainsi obtenir des renseignements sur les vents dont l'atmosphère neutre est le siège, ainsi que sur la dynamique générale de l'ionosphère.

IONOSPHERE. — *Chauffage des électrons dans l'ionosphère diurne.*

Note (*) de M. MICHEL PETIT, présentée par M. Jean Coulomb.

Le sondeur ionosphérique à diffusion de Thomson du C. N. E. T. permet de mesurer, de façon systématique, les variations des températures électronique et ionique ainsi que de la densité électronique en fonction de l'altitude entre 110 et 500 km. On déduit de ces résultats expérimentaux la quantité de chaleur qu'il faut apporter aux électrons pour compenser les pertes d'énergie qui ont lieu lors des collisions électrons-ions et électrons-particules neutres. On tient compte également de la conductivité du gaz d'électrons. La comparaison avec les prévisions théoriques fait apparaître certains désaccords.

IONOSPHERE. — *Influence du chauffage non local des électrons de l'ionosphère diurne.* Note (*) de M. MICHEL PETIT, présentée par M. Jean Coulomb.

La prise en compte du déplacement des photoélectrons le long des lignes de force du champ magnétique terrestre modifie de façon appréciable la variation en fonction de l'altitude de la quantité d'énergie communiquée au gaz d'électrons. On arrive ainsi à un bien meilleur accord avec les mesures obtenues par le sondeur à diffusion de Thomson du C. N. E. T.

Résultats ionosphériques obtenus par diffusion de Thomson (*) (1966-1967)

par H. CARRU, M. PETIT, G. VASSEUR, P. WALDTEUFEL

C.N.E.T., R.S.R. — 92, ISSY-LES-MOULINEAUX.

RÉSUMÉ. — I. Toutes les observations faites en France au moyen de la diffusion de Thomson indiquent que les températures des ions et des électrons sont égales dans la couche E de l'ionosphère. Cette température commune, qui est alors également celle du gaz neutre, semble subir une variation diurne de grande amplitude, comportant un minimum au milieu de la journée. Les mesures de vent mettent en évidence le même type de variation.

II. A partir des mesures de température ionique par diffusion de Thomson, effectuées à l'aide du sondeur du C.N.E.T. (Saint-Santin-Nançay), il a été possible, en évaluant la différence entre la température des ions et celle des particules neutres, d'obtenir des valeurs de la température neutre. Ce calcul est assez simple dans la zone d'altitudes allant de 250 à 400 km. La comparaison des températures obtenues à diverses altitudes permet d'obtenir des indications sur la densité du gaz neutre. On présente quelques résultats sur les variations périodiques de la température neutre.

III. Les mesures de vent vertical obtenues depuis un an dans la région F de l'ionosphère à l'aide du sondeur à diffusion du C.N.E.T. (Saint-Santin-Nançay) sont analysées.

Pendant l'hiver et le printemps, les vents sont dirigés vers le bas pendant la journée avec une valeur moyenne de 30 m s^{-1} et vers le haut pendant la nuit. On met en évidence l'existence d'un système diurne de vents dont le maximum monte jusqu'à 400 km d'altitude à 24.00 T.U. et semble relié au maximum observé à basse altitude. Quelques mesures durant l'été permettent d'observer un net effet saisonnier. Les valeurs des vitesses observées pendant l'hiver coïncident de façon satisfaisante avec celles qui résulteraient théoriquement de l'entraînement par l'atmosphère en mouvement horizontal sous l'action d'un gradient de pression.

L'action des vents sur la densité ionique apparaît clairement, du moins pendant la nuit. Pendant la journée, la mesure expérimentale de ces vitesses permet une détermination nouvelle de la production solaire et de la recombinaison chimique des ions.

ABSTRACT. — I. Observations made in France by the Thomson scatter technique always show that the electron and ion temperatures are equal in the ionospheric E region. This common temperature, then equal to the temperature of the neutral gas, undergoes a systematic diurnal variation of large range, featuring a minimum in the middle of the day. Simultaneous wind measurements indicate the same kind of variation.

II. Starting from ion temperature measurements using the Thomson scatter method and the C.N.E.T. equipment (Saint-Santin-Nançay), an evaluation of the temperature difference between ions and neutral can be made; hence one can obtain values for the neutral temperature. This calculation is fairly simple in the altitude range between 250 and 400 km. The comparison of results for several altitudes gives information about the neutral density. Some results about the periodic variations of the neutral temperature are presented.

III. Results from one year of vertical drift measurements obtained with the C.N.E.T. scatter sonder (Saint-Santin-Nançay) are presented.

During winter and spring, winds are downwards during the day with a mean value of 30 m s^{-1} and upwards during the night. There is an evidence for the existence of a diurnal wind system where a maximum of wind velocity moves up to 400 km altitude at midnight. Some measurements during summer give a strong seasonal effect. Velocities observed during winter are in agreement with those deduced from the neutral atmosphere horizontal movements.

The action of winds upon ionic density appears clearly during the night. During the day an experimental measure of those velocities gives a new determination of solar production and chemical recombination of ions.

(*) Cet article groupe deux communications présentées à l'Assemblée du COSPAR (Londres, 1967). Les résultats exposés ne résultant pas de mesures directes, ou à tout le moins effectuées par l'intermédiaire d'engins, ces communications n'ont pas semblé adaptées à une publication dans le cadre du COSPAR. Il a paru cependant utile de présenter par ailleurs ces résultats, qui comportent nombre d'éléments nouveaux et dignes d'intérêt.

IONOSPHERE. — *Étude des vitesses ioniques mesurées de nuit dans la région F.*
Note (*) de M^{me} CLAUDE BOUSQUET et M. GUY VASSEUR, transmise par
M. Jean Coulomb.

La connaissance des mouvements de l'ionisation dans la couche F de nuit, grâce aux mesures effectuées par le sondeur à diffusion français, permet pour la première fois d'étudier l'effet de ces mouvements sur l'ionisation. Seul le gradient vertical de la vitesse, qui intervient dans l'équation de continuité, est difficile à mesurer. Dans certaines conditions, ce terme n'est pas prépondérant; il est alors possible de vérifier que l'ionisation est bien gouvernée par les vitesses mesurées et d'en déduire une valeur du coefficient de recombinaison des ions.

AÉRONOMIE. — *Mesure par diffusion de Thomson des variations de la densité atmosphérique à 100 km d'altitude.* Note (*) de M. **PHILIPPE WALDTEUFEL**, présentée par M. Jean Coulomb.

L'influence des collisions entre ions et particules neutres sur les spectres de diffusion permet une mesure de la densité de l'atmosphère au niveau de la basse ionosphère. Les premiers résultats indiquent, autour d'une valeur moyenne en accord avec les connaissances actuelles, l'existence d'une importante variation diurne, non observée jusqu'à ce jour.

Mesures de températures électroniques et ioniques par diffusion incohérente

H. CARRU, M. PETIT et P. WALDTEUFEL
C.N.E.T., Département R.S.R., France

(Received 5 November 1966)

Résumé—Grâce à l'emploi d'une méthode bistatique utilisant l'émission d'une onde entretenue, nous avons obtenu depuis le début de 1966 des spectres de diffusion incohérente entre 90 et 550 km. Nous avons pu ainsi observer de façon très nette le phénomène de chauffage des électrons lors du lever du soleil au point magnétiquement conjugué, quand celui-ci précède le lever local. Nous montrons également que le rapport T_e/T_i des températures électronique et ionique est compris entre 1 et 1,1 au cours de la nuit avant le début du phénomène mentionné ci-dessus. Enfin, en admettant la composition ionique proposée par JOHNSON (1966), nous obtenons durant le jour, des courbes de températures électronique et ionique d'allure très régulière. Dans la plupart des cas la température des électrons croît de façon monotone avec l'altitude, tandis que l'existence d'un maximum au voisinage de 250 km a pu être observée plusieurs fois, lorsque la densité électronique à 300 km était particulièrement élevée. En outre, nous avons toujours observé que l'équilibre thermodynamique existe au-dessous de 130 km, contrairement à certains résultats obtenus par fusée.

Abstract—Using a bistatic arrangement transmitting continuous waves, we have obtained, since the beginning of 1966, incoherent scatter spectra from regions between 90 and 550 km. We have been able to observe electronic heating phenomena, during sunrise at the magnetic conjugate point, at times before local sunrise. We also show that the ratio T_e/T_i of electronic to ionic temperatures lies between 1 and 1.1 during the part of the night preceeding the above mentioned phenomena. Moreover, if we accept the ionic composition proposed by JOHNSON (1966), we find during the day, smooth-looking curves for electron and ion temperatures. In most cases, the electron temperature increases monotonically with height, but a maximum around 250 km was observed several times, when the electron density at 300 km was exceptionally high. Lastly, we always observe thermodynamic equilibrium below 130 km, in contrast to some results obtained by rocket experiments.

Mesures de températures, de densité électronique et de composition ionique dans l'ionosphère par diffusion de Thomson

Étude du déséquilibre thermodynamique dans l'ionosphère diurne

par M. PETIT,

C.N.E.T. Département R.S.R.

RÉSUMÉ. — Grâce aux résultats fournis par l'expérience de diffusion de Thomson réalisée par le C.N.E.T., nous avons pu étudier le mécanisme par lequel la température des électrons excède largement celle des particules neutres dans une partie importante de l'ionosphère diurne.

Après avoir fait au chapitre I un bref rappel sur l'histoire et la théorie de la diffusion de Thomson, nous avons fait ressortir au chapitre II les mérites respectifs des deux grandes techniques expérimentales employées, à savoir la méthode monostatique et la méthode bistatique, dont les avantages propres expliquent l'originalité des résultats expérimentaux obtenus en France.

Le résultat brut des observations est le spectre de puissance d'une onde électromagnétique et le chapitre III est consacré à la méthode par laquelle nous avons déduit de ce spectre les paramètres physiques fondamentaux dont il dépend. Parmi ceux-ci, la densité électronique joue un rôle particulier, en ce sens qu'elle n'intervient pratiquement que comme un facteur de proportionnalité sans avoir d'influence sur la forme du spectre. Sa détermination est donc étroitement liée au problème du bilan de puissance qui fixe par ailleurs le rapport signal/bruit, c'est-à-dire la précision des résultats. Cette question fait l'objet du chapitre IV.

Nous présentons dans le chapitre V la méthode que nous avons employée pour résoudre la difficulté apparue au cours de l'étude au chapitre III, à savoir l'impossibilité d'interpréter, sans faire d'hypothèse complémentaire, les mesures obtenues dans la région de transition des ions moléculaires (O_2^+ et NO^+) aux ions atomiques (O^+).

Enfin le chapitre VI présente le résultat des mesures de températures électronique et ionique et de densité électronique obtenues dans les conditions précisées au cours des chapitres III, IV et V avec une bonne précision en altitude (voir chapitre III). Les caractéristiques essentielles du comportement de la température électronique diurne sont mises en évidence et sont comparées avec celles qu'on peut estimer à partir du rayonnement ultra-violet du soleil. C'est ainsi que nous calculons le flux de chaleur issu de la magnétosphère, ainsi que la quantité d'énergie qu'il faut fournir au gaz d'électrons pour compenser les pertes qu'il subit, du fait de sa température plus élevée, lors des collisions électrons-ions et électrons-particules neutres. Nous comparons ces quantités avec les évaluations théoriques qu'on peut en faire.

ABSTRACT. — Owing to the results provided by the Thomson scatter experiment carried out by C.N.E.T., we have been able to study the mechanism by which the electron temperature goes widely beyond that of neutral particles in a large part of the diurnal ionosphere.

After having briefly recalled in chap. I the historical account and the theory of the Thomson scatter, we have pointed out in chap. II the respective advantages of the two main experimental techniques used, namely the monostatic method and the bistatic method, whose own advantages explain the originality of the experimental results achieved in France.

The rough result of the observations is the power spectrum of an electromagnetic wave and chap. III is devoted to the method through which we deduced from this spectrum the fundamental physical parameters which it depends from. Among these, the electronic density plays a particular part, inasmuch as it practically only occurs as a factor of proportionality without influencing the spectrum shape. Its determination is therefore directly connected to the problem of the received power level which besides sets the relationship signal/noise, i.e. the accuracy of the results. This matter is studied in chap. IV.

In chap. V, we set out the method we have used to solve the difficulty raised during the study of chap. III namely, the impossibility to explain without making any further assumptions, the measurements achieved in the transition region of the molecular ions (O_2^+ et NO^+) to atomic ions (O^+).

Finally chap. VI presents the results of measurements of electron and ion temperatures and electron density achieved under the conditions given in chap. III, IV and V, with a good accuracy in altitude (cf. chap. III). The main characteristics of the diurnal electron temperature behaviour are pointed out and compared to those which can be evaluated from the ultra-violet radiation of the sun. In this way we calculate the heat flux issued from the magnetosphere as also the quantity of energy which must be provided to the electron gas to cancel the losses due to the electrons-ions and electrons-neutral particles collisions. We compare these quantities to the theoretical estimates which can be made from them.

C. R. Acad. Sc. Paris, (1968, mars), t.266, 890

IONO-PHEPE - *Caractéristiques des raies de plasma observées en France par sondage à diffusion de Thomson. Note de MM. HENRI CARRU et GERARD LEJEUNE, présentée par M. Jean DOLOMB.*

Une modification de l'équipement du sondeur à diffusion de Thomson du C.N.E.T. a permis de mettre en évidence certaines caractéristiques des raies de plasma dans la région F. Une application de la théorie de l'excitation de ces raies par les photoélectrons montre que dans certains cas l'influence des collisions électrons-ions n'est pas négligeable. Les valeurs théoriques et expérimentales sont en accord, compte tenu de la précision de leur détermination.

SHORT PAPER

Excitation of the oxygen lines and ionospheric heating by conjugate photoelectrons

M.-L. DUBOIN†, G. LEJEUNE*, M. PETIT* and G. WEILL†

(Received 28 June 1967)

Abstract—Optical observations of the ionosphere above St. Santin de Maurs, made concurrently with Thomson scattering soundings, confirm that the pre-dawn enhancement of the oxygen red lines in the night airglow occurs in synchronism with electronic heating in the *F*-region at times of sunrise in the magnetically conjugate area. A preliminary calculation indicates photoelectron impact is directly responsible for excitation of O (1D).

† Institut d'Astrophysique, 98 bis, Bld Arago, Paris XIV, France.

* Centre National d'Etude des Télécommunications, Départ. R.S.R. 3, Avenue de la République, Issy-les-Moulineaux, Hauts de Seine, France.

Etude par diffusion de Thomson de la production et de la recombinaison dans la région- F de l'ionosphère diurne

G. VASSEUR et P. WALDTEUFEL
Centre National d'Etudes des Télécommunications

(Received 11 November 1967)

Résumé—Le sondeur ionosphérique à diffusion du C.N.E.T.* (Saint-Santin-Nançay) mesure la densité électronique et une composante de la vitesse de l'ionisation. On expose une méthode de résolution de l'équation de continuité permettant d'obtenir à partir de ces données, les taux de production ionique q et de recombinaison ionique β dans la région- F . Un premier traitement supposant qu'il n'y a pas de champ électrique dans l'ionosphère conduit à une évaluation des moyennes diurnes de q et β ; ces quantités sont comparées aux valeurs estimées par d'autres méthodes. Une analyse plus fine des données met en évidence une variation diurne de grande amplitude de q et β ; ce résultat peut être expliqué par la présence d'un champ électrique induisant un déplacement de l'ionisation perpendiculairement au champ magnétique terrestre. Ce déplacement a été évalué et correspond de façon satisfaisante, tant pour l'amplitude que pour la phase, aux prévisions théoriques.

Abstract—The Thomson scatter C.N.E.T.* equipment (Saint-Santin-Nançay) measures the electron density and one component of the ionization drift. A method is developed in order to solve the continuity equation and to obtain from these data the ionic production rate q and the ionic recombination rate β in the F -region. A first treatment, assuming no ionospheric electric field, gives estimates of diurnal mean values for q and β ; these quantities are compared to values reached by different ways. A more detailed analysis of data shows a large diurnal variation of q and β ; this result can be explained in terms of an additional ionization drift, perpendicular to the terrestrial magnetic field, induced by an electric field. This drift has been evaluated and shows good agreement in amplitude and phase, with the relevant theoretical predictions.

Extrait des ANNALES DES TÉLÉCOMMUNICATIONS
Tome 24, Nos 7-8. — Juillet-août 1969.

TEMPÉRATURE ÉLECTRONIQUE DIURNE*

par

Gérard LEJEUNE,

Ancien élève de l'Ecole normale supérieure**

Michel PETIT,

Ingénieur des télécommunications**

SOMMAIRE. — *Les mesures de densité électronique, températures électronique et ionique, fournies par le sondeur à diffusion de Saint-Santin-Nançay, ont permis une comparaison détaillée entre l'énergie cédée par les électrons thermiques aux ions et aux particules neutres, l'énergie qu'ils reçoivent de la magnétosphère par conduction, et l'énergie que leur cèdent les photoélectrons créés par le rayonnement solaire. On montre qu'il est nécessaire de considérer un chauffage non local par les photoélectrons au-dessus de 200 km pour rendre compte des valeurs expérimentales, même si la nouvelle réaction de structure finie de l'oxygène atomique récemment signalée par Dalgarno est prise en compte pour les pertes d'énergie des électrons thermiques. Un facteur de calibration pour l'énergie apportée par le soleil est déduit des mesures : ce facteur varie dans le même sens que FoF2.*

Planet. Space Sci. 1969, Vol. 17, pp. 1763 to 1780. Pergamon Press. Printed in Northern Ireland

A STUDY OF THE DAYTIME ELECTRON TEMPERATURE

G. LEJEUNE and M. PETIT

Centre National d'Etudes des Télécommunications, 3, Avenue de la République,
93 Issy-les-Moulineaux, France

(Received 8 May 1969)

Abstract—The electron density and electron and ion temperatures given by the Saint-Santin-Nançay Thomson scatter experiment allow a detailed energy balance study for thermal electrons including their energy loss to ions and neutral particles, the energy received by conduction from the magnetosphere, and the energy they gain from photoelectrons. The collision process recently pointed out by Dalgarno and Degges (1968) (concerning electron-atomic oxygen collisions involving the fine structure of O) is taken into account, but it cannot explain the relatively low temperatures observed around 200 km. Nevertheless, by taking the non-local heating into account, the agreement between theory and experiment is significantly improved.

The same Thomson scatter observations were used by Vasseur and Waldteufel (1968) to solve approximately the continuity equation for electron density. This solution gives a value for the production of primary photoelectrons which is compared with our independent determination of the same quantity, obtained through the thermal electron energy balance.

Ann. Géophys., t. 25, fasc. 1, 1969, p. 381 à 383.

Influence sur les mesures ionosphériques par diffusion de Thomson d'une distribution électronique non maxwellienne

par P. WALDTEUFEL,

Centre national d'Études des Télécommunications (Département R.S.R.)
Issy-les-Moulineaux.

RÉSUMÉ. — *Dans le but d'éclaircir la comparaison entre les températures électroniques mesurées par expériences embarquées et par diffusion de Thomson, on a examiné l'effet sur ce dernier type de mesure d'une distribution électronique non maxwellienne.*

ABSTRACT. — *An investigation of the ionic Thomson scatter spectrum when a small percentage of suprathermal electrons is included in the electron velocity distribution shows that this spectrum is almost unaffected by hot electrons. It is suggested that this situation may occur in the ionospheric E region and explain the disagreement between Thomson scatter and probe measurements of the electron temperature.*

Étude par diffusion de Thomson des variations de la température exosphérique

par H. CARRU et P. WALDTEUFEL,
C.N.E.T. Département R.S.R.

RÉSUMÉ. — *Les températures ioniques mesurées à Saint-Santin (France) par diffusion de Thomson ont été utilisées pour étudier les variations de la température exosphérique T_{∞} , et les comparer à celles que l'on déduit des variations de densité dans la haute atmosphère. On met en évidence la corrélation de T_{∞} avec l'activité solaire et géomagnétique. La variation semi-annuelle de T_{∞} , ainsi qu'une importante variation saisonnière des quantités thermosphériques, sont également discutées.*

ABSTRACT. — *The Thomson Scatter measurements of the ion temperature carried out at Saint-Santin (France) have been used in order to study the variations of the exospheric temperature T_{∞} , compared to the temperature deduced from the air density variations in the upper atmosphere. The correlation of T_{∞} with the solar and geomagnetic activity is clearly apparent; the semi-annual variation, and a considerable seasonal effect upon thermospheric quantities are also discussed.*

Ann. Géophys., t. 25, fasc. 2, 1969, p. 517 à 524.

Vents dans la thermosphère ^x dédiuits des mesures par diffusion de Thomson

par G. VASSEUR,

Boursier de recherches du C.N.E.S. au C.N.E.T., département R.S.R.

RÉSUMÉ. — *Les mesures d'une composante de la vitesse ionique dans la région F, au cours de deux ans d'observation du sondeur à diffusion de Thomson de Saint-Santin-Nançay, permettent d'obtenir, moyennant certaines hypothèses, des informations sur la dynamique de la thermosphère.*

On met en évidence une variation diurne et saisonnière des vents méridionaux de l'atmosphère neutre. La comparaison avec les résultats théoriques montre, dans l'ensemble, un accord satisfaisant. Cependant, la phase des vents atmosphériques, particulièrement pendant l'été, ne paraît pas pouvoir être expliquée par l'action des gradients de pression horizontaux tels qu'ils sont déduits des modèles actuels d'atmosphère.

ABSTRACT. — *Measurements of the ionic velocity, as obtained in the F region by means of the french bistatic Thomson scatter equipment, are used in order to evaluate the atmospheric dynamics. The diurnal and seasonal variations of the deduced neutral winds are shown. A global agreement with theoretical computations of thermospheric winds is found. However the phase of the winds, particularly during summer, cannot be explained by the theory of horizontal pressure gradients as deduced from neutral atmospheric models.*

* Présenté au Colloque Européen sur l'Atmosphère Neutre [C.N.F.R.S., C.N.F.G.G.], Paris, 24, 25, 26 février 1969.

Ondes de gravité dans la thermosphère *

par J. TESTUD et G. VASSEUR,

C.N.E.T. - R.S.R.,

3, avenue de la République, 92 - Issy-les-Moulineaux

RÉSUMÉ. — Le 13 septembre 1967, la période d'observation du sondeur à diffusion de Thomson de Saint-Santin-Nançay a coïncidé avec le développement d'un orage magnétique à début brusque. Dans la région F, des phénomènes oscillatoires de périodes de 2 heures et de forte amplitude apparaissent sur tous les paramètres mesurés (densité, températures et vitesse de l'ionisation). Deux de ces paramètres sont étroitement liés à l'atmosphère neutre (température et vitesse ioniques). Les diverses caractéristiques des phénomènes observés sont successivement interprétées dans le cadre de la théorie des ondes de gravité :

- variation de la phase dans les directions horizontale et verticale;
- comparaison des phénomènes intéressant les divers paramètres ;
- variation de l'amplitude en fonction de l'altitude.

On conclut à un accord satisfaisant avec la théorie des ondes de gravité libres.

Les écarts à la théorie sont discutés, en fonction de la prise en compte de trois facteurs : l'amortissement par viscosité cinématique, l'amortissement par freinage ionique, et un éventuel guidage partiel.

On observe que la présence de telles oscillations est bien corrélée avec l'activité magnétique, et l'on indique le rôle que pourraient jouer de telles ondes dans le chauffage de la thermosphère en période d'orage.

ABSTRACT. — Some observations of the F region, using the Saint-Santin-Nançay Thomson scatter facility, were carried out on September 13th, 1967 during a strong magnetic storm. Large oscillations, featuring a two-hours period, were observed on electron density and temperature, and also ion temperature and velocity.

The various characteristics of the observed phenomena are interpreted according to the theory of internal gravity waves:

- phase variation in the horizontal and vertical directions;
- phase relations between various parameters;
- height variation of the wave amplitude.

The agreement with the theory of free internal gravity waves is found to be rather satisfactory.

However, we have discussed some discrepancies, taking into account viscous damping, ionic dissipation and partial ducting.

A good correlation can be shown between strong magnetic activity and the presence of such waves. This seems to confirm the important part of gravity waves in the thermospheric heating during magnetically disturbed periods.

* Présenté au Colloque Européen sur l'Atmosphère Neutre [C.N.F.R.S., C.N.F.G.G.], Paris, 24, 25, 26 février 1969.

Dynamics of the *F*-region observed with Thomson-scatter—I Atmospheric circulation and neutral winds

G. VASSEUR

C.N.E.T.—R.S.R., 3 av. de la République, 92 Issy les Moulineaux, France

(Received 30 July 1968; in revised form 18 September 1968)

Abstract—Since June 1966, results from the French Thomson-scatter bistatic sounder (Saint Santin-Nançay) have yielded a considerable amount of data for the study of ionization transports in the *F*-region of the ionosphere. The first section of this paper brings out the importance and scale of transports in the ionosphere, and describes the new method of measurement used at Nançay. In the second section, experimental results of about 20 diurnal variations as described by hourly values of velocities are presented. Section 3 interprets these velocities as the sum of two effects: horizontal circulation of the neutral air, and ambipolar diffusion of ionization under gravity and under its own partial pressure. The two effects can be separated, giving an evaluation of neutral atmosphere velocities.

SHORT PAPER

Thomson scatter observations of a gravity wave in the ionospheric *F*-region

G. VASSEUR and P. WALDTEUFEL
Centre National d'Etudes des Télécommunications

(Received 24 January 1969)

Abstract—Thomson scatter observations of the ionospheric *F* have revealed important oscillations of the ionization density, velocity and temperatures. These oscillations are interpreted using the theory of internal gravity waves originating in the auroral zone and their presence appears to be correlated with strong magnetic activity.

Planet. Space Sci. 1969, Vol. 17, pp. 725 to 730. Pergamon Press. Printed in Northern Ireland

VALEUR ET VARIATION DIURNE DE LA DENSITÉ ATMOSPHÉRIQUE À 100 km D'ALTITUDE*

P. WALDTEUFEL
C.N.E.T., Issy-les-Moulineaux-92, France

(Received 31 October 1968)

Résumé—Pour des altitudes voisines de 100 km, les sondages ionosphériques par diffusion ont permis de déterminer la densité atmosphérique pendant la journée, et de mettre en évidence la variabilité diurne de cette densité.

Abstract—For heights near 100 km, Thomson scatter observations allow the determination of the atmospheric density and provide evidence for the diurnal variability of this density.

* Presented at COSPAR Meeting held in Tokyo, May 1968.

IONOSPHERE. — *Ondes de gravité engendrées par chauffage dans les régions aurorales.* Note (*) de M. JACQUES TESTUD, présentée par M. Jean-François Denisse.

Le calcul présenté montre comment un chauffage dans les régions aurorales peut engendrer des ondes de gravité se propageant vers les basses latitudes. Les premiers résultats sont en bon accord avec l'expérience et apportent une confirmation à l'idée suivant laquelle ces ondes contribuent au chauffage de la thermosphère.

Diurnal Variations of the Atomic Oxygen Density and Temperature Determined from Incoherent Scatter Measurements in the Ionospheric *F* Region

P. BAUER AND P. WALDTEUFEL¹

Centre National d'Études des Télécommunications, R.S.R., Issy-les-Moulineaux, France

D. ALCAYDE

*C.E.S.R., Equipe de Recherche Associée au Centre National de la Recherche Scientifique
Toulouse, France*

Recent studies have shown that exospheric temperatures can be obtained from incoherent scatter experiments. A method proposed by Carru et al. (1967) is extended to yield the atomic oxygen density and a temperature shape parameter. The method involves the determination, by means of a nonlinear regression analysis, of the values of neutral temperature and oxygen density that best reproduce the measured ion temperature profile, given measured profiles of electron density and electron temperature. By this method, it is possible to obtain a continuous daytime variation of the neutral parameters with a relative accuracy of 15-20%. The first results exhibit a definite day-to-night variation of the atomic oxygen density, which is compared to the variation given by the Jacchia and Cira models.

Ann. Géophys., t. 26, fasc. 1, 1970, p. 223 à 227.

Mise en évidence de lois empiriques reliant localement la température et la densité électroniques dans la région F de l'ionosphère

par G. LEJEUNE et P. WALDTEUFEL,

Centre national d'Études des Télécommunications,
Département R.S.R., 92 - Issy-les-Moulineaux (France).

RÉSUMÉ. — On met en évidence l'existence de lois empiriques reliant les températures électronique et ionique et la densité électronique dans la région F en période de maximum solaire, à partir des résultats du sondeur à diffusion incohérente de Saint-Santin-Nançay. On discute l'intérêt de telles lois et la possibilité d'étendre leur champ d'application.

ABSTRACT. — It is shown that empirical laws can be found between electron and ion temperatures and electron density in the F region during sunspot maximum, using data of the incoherent scatter experiment of Saint-Santin-Nançay. The interest of such laws and their possible extension are discussed.

Ann. Géophys., t. 26, fasc. 4, 1970, p. 863 à 879.

Résolution des équations intégrales reliant une série de mesures obliques à une répartition verticale: application à la géophysique externe

par F. BERTIN et J. PAPET-LÉPINE,

Laboratoire de Physique de l'Atmosphère
de la Faculté des Sciences de Paris.

RÉSUMÉ. — On aborde le problème de l'inversion des équations intégrales rencontrées en géophysique, et particulièrement dans l'ionosphère. Les différentes méthodes utilisables sont analysées et discutées en détail. Les profils ionosphériques calculés à partir de mesures intégrées (contenu total d'électrons ou rotation Faraday) sont comparés à ceux mesurés par le sondeur à diffusion incohérente du C.N.E.T. On analyse les différents types de contraintes utilisables et l'influence des gradients ionosphériques sur la validité des résultats.

ABSTRACT. — We consider the problem of the inversion of the integral equations met in geophysics, and particularly in the ionosphere. The different methods that may be used are analysed and discussed in detail. The ionospheric profile calculated from the integrated measurements (total electron content or Faraday rotation) are compared with those measured by the C.N.E.T. incoherent scatter sounder. The different types of constraints usable are analysed, and so is the influence of the ionospheric gradients on the validity of the results.

Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 1970, Vol. 32, pp. 775-787. Pergamon Press. Printed in Northern Ireland

Dynamics of the *F*-region observed with Thomson scatter—II

Influence of neutral air winds on the ionospheric *F*-region

G. VASSEUR

C.N.E.T./R.S.R., 3 Avenue de la Republique, 92, Issy-les-Moulineaux, France

(Received 20 September 1969)

Abstract—In a previous paper the author described diurnal variations of the meridional component of neutral air winds which were derived from Thomson scatter measurements of ion drifts in the *F*-region. In this paper solutions of the *F*-layer continuity equation are presented which take account of the effects of these wind-induced vertical drifts. Various *F*-region phenomena including the evening enhancement of n_m and the diurnal variation of the height of the *F*2-layer peak are shown to be associated with neutral air winds. There are some discrepancies between the calculated and observed behaviour of the *F*-region which suggest that there is a night-time ion production source in Winter and a seasonal variation of the neutral atmosphere composition.

Gravity waves generated during magnetic substorms

J. TESTUD

Centre National d'Etudes des Télécommunications, 3, Avenue de la
République, 92-Issy-les-Moulineaux, France

(Received 24 March 1970)

Abstract—During magnetically disturbed days, wind and temperature data obtained in the *F*-region from incoherent scatter, show strong oscillations of the ion temperature and velocity with period of some 2 hr. These oscillations can be interpreted as due to atmospheric gravity waves travelling Southwards.

In this paper, the data are compared to auroral magnetograms. Temperature and velocity oscillations appear to follow magnetic events such as substorms, with a time delay of about one hour. Theoretical computations show that the intense heat deposited in the auroral *E*-region during a magnetic substorm, can generate atmospheric waves which propagate towards midlatitudes. The characteristics of the computed waves are in close agreement with the observed ones.

Finally, the calorific energy deposited at midlatitude by dissipation of such waves is evaluated. The resulting thermospheric temperature increase is comparable to that predicted by Jacchia's model.

Planet. Space Sci. 1970, Vol. 18, pp. 741 to 748. Pergamon Press. Printed in Northern Ireland

A STUDY OF SEASONAL CHANGES IN THE LOWER THERMOSPHERE AND THEIR IMPLICATIONS

P. WALDTEUFEL

C.N.E.T.—R.S.R., 2 Avenue de la République, 92-Issy-les-Moulineaux, France

(Received 17 November 1969)

Abstract—Incoherent scatter observations of the atmospheric density and temperature in the lower thermosphere are reported. A seasonal variation appears, both in the density at 100 km height and in the temperature profile between 100 and 120 km. The main implication of these variations is a seasonal change in neutral composition, with a maximum of the $(O)/(N_2)$ ratio in Winter. This phenomenon, together with *F*-region observations, strongly supports the explanation of the ionospheric Winter anomaly in terms of seasonal changes in neutral atmosphere composition.

THERMAL COUPLING BETWEEN THE UPPER F2-REGION AND THE MAGNETOSPHERE: HEAT FLUXES AND ENERGY PRODUCTION

P. BAUER, G. LEJEUNE and M. PETIT

Centre National d'Etude des Télécommunications, 3, Avenue de la République, 92-Issy-les-Moulineaux, France

(Received 6 April 1970)

Abstract—Measurements of electron and ion temperatures and electron density in the F-region over Saint-Santin during the winter predawn period allow a determination of the energy given to the ambient electron gas by the photoelectron flux streaming into the magnetosphere. The energy input per thermal electron is 0.75 eV s^{-1} during the predawn period and 2.25 eV s^{-1} during daytime. The corresponding photoelectron flux is always larger than $10^9 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ if angular scattering is ignored in the magnetosphere. The magnetospheric electron temperature ranges from 3000 to 5500°K and the difference between the ion temperature and the electron temperature is of the order of 100°K.

RESUME

Les mesures de températures électronique et ionique et de la densité électronique dans la région F effectuées à Saint-Santin pendant la période du lever du soleil au point conjugué en hiver permettent de déterminer l'énergie cédée au gaz d'électrons par le flux de photoélectrons traversant la magnétosphère. L'apport d'énergie par électron thermique est $0,75 \text{ eV s}^{-1}$ pendant le lever conjugué et $2,25 \text{ eV s}^{-1}$ pendant le jour. Le flux de photoélectrons correspondant est toujours supérieur à 10^9 cm^{-2} si on néglige la diffusion angulaire dans la magnétosphère. La température électronique dans la magnétosphère varie de 3000°K à 5500°K et la différence entre la température ionique et la température électronique est de l'ordre de 100°K.

Diurnal Variation of the Atmospheric Density at 400 Kilometers

D. ALCATDE,¹ P. BAUER,² C. JAECK,³ AND J. FALIN⁴

¹ Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements,
Laboratoire Associé au C.N.R.S., Toulouse, France.

² Centre National d'Etudes des Télécommuni-
cations, R.S.R., Issy-les-Moulineaux, France.

³ Observatoire de Meudon, Meudon, France.

⁴ Observatoire de Besançon, Besançon, France.

In this letter, we report evidence that the detailed behavior of the neutral oxygen density throughout the day exhibits steeper changes with time than would be predicted by the model, especially in the late afternoon.

Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 1971, Vol. 33, pp. 765-774. Pergamon Press. Printed in Northern Ireland

Importance of diffusion processes in the interaction between neutral waves and ionization

J. TESTUD and P. FRANCOIS

Département Recherches Spatiales Radioélectriques, Centre National d'Etudes
des Télécommunications, France

(Received 21 July 1970; in revised form 28 September 1970)

Abstract—The aim of this paper is to study how a gravity wave can perturb the ionization in the $F2$ -layer. In particular, the perturbed state of the ion velocity and electron density are calculated, when the diffusion processes are taken into account. The importance of these processes is pointed out.

The results are compared with experimental data provided by the French incoherent scatter facility.

Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 1971, Vol. 33, pp. 909-918. Pergamon Press. Printed in Northern Ireland

Simultaneous measurements of electronic density using topside soundings and incoherent scatter soundings

L. FLEURY and C. TAIEB

CNET-GRI, 3 Avenue de la République, 92 Issy-les-Moulineaux, France

(Received 28 November 1970; in revised form 8 January 1971)

Abstract -- Electron density measurements obtained from ISIS satellite topside soundings are compared with incoherent scatter measurements at St. Santin. The data are critically analysed. Most of the topside profiles agree with incoherent scatter profiles. Some of them which disagree are discussed and it is concluded to be due to oblique propagation.

Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 1971, Vol. 33, pp. 1345-1352. Pergamon Press. Printed in Northern Ireland

**Semi-diurnal wind and temperature oscillations in the *E*-region observed
by the Nançay incoherent scatter experiment**

R. BERNARD and A. SPIZZICHINO

CNET-GRI, 3 avenue de la République, 92, Issy-les-Moulineaux, France

(Received 11 March 1971)

Abstract—A correlation method applied to the wind and temperature data obtained between 95 km and 140 km from incoherent scatter experiment shows a prevailing semi-diurnal oscillation whose phase propagates downwards. It can be interpreted as semi-diurnal tide, but with quite different wavelength from that at lower altitudes.

AN EMPIRICAL RELATIONSHIP BETWEEN IONOSPHERIC EQUIVALENT SLAB THICKNESS AND MEAN GRADIENT OF THE ELECTRON TEMPERATURE IN THE *F*-REGION

P. AMAYENC, F. BERTIN and J. PAPET-LEPINE

Laboratoire de Physique de l'Atmosphère, Faculté des Sciences de Paris, Paris 5e, France

(Received in final form 20 May 1971)

Abstract—It is shown that it is possible to define an empirical law between ionospheric slab thickness and mean gradient of the electron temperature in the *F*-region. This law is obtained by using data of the incoherent scatter of Saint-Santin (France) and can be used under certain conditions in connexion with ionograms to find the electronic temperature and density profiles above the ionization maximum level.

Latitudinal Diurnal Variation of Some Atmospheric Parameters Determined by a Simultaneous Analysis of Incoherent-Scatter and Satellite-Drift Data

D. ALCAYDÉ,¹ P. BAUER,² C. JAECK,³ AND J. L. FALIN⁴

Oxygen concentrations obtained from satellite-drift and incoherent-scatter observations over the period of February 6-10, 1969, are presented for comparison. A good agreement is shown to exist between both types of data, which are also compatible with the Jacchia (1970) model. This model is found to be in closer agreement with the incoherent-scatter data than the Jacchia (1965) model, for the oxygen concentrations as well as for the exospheric temperatures. However, indications of a somewhat different diurnal variation of the observed densities with respect to the model are present. These features can be interpreted as being due to combined changes of the exospheric temperature, the shape of the temperature profile, and the boundary conditions at low altitude. In particular, they suggest that the oxygen concentration in the lower thermosphere undergoes both diurnal and semidiurnal oscillations.

¹ Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements,
Laboratoire Associé au C.N.R.S., Toulouse, France.

² Centre National d'Etudes des Télécommuni-
cations, R.S.R., Issey-les-Moulineaux, France.

³ Observatoire de Meudon, Meudon, France.

⁴ Observatoire de Besançon, Besançon, France.

Copyright © 1972 by the American Geophysical Union.

Ann. Géophys., t. 28, fasc. 1, 1972, p. 15 à 20.

The coupling between electron density and electron temperature in the daytime F-region

by G. LEJEUNE,*

Harvard College Observatory,
Cambridge, Massachusetts.

RÉSUMÉ. — Les résultats expérimentaux font apparaître une anticorrélation entre la densité électronique et la température électronique dans la région F diurne ; on détermine ici le profil d'apport d'énergie aux électrons et le flux de conduction thermique dans la région F supérieure en ajustant les solutions des équations d'énergie pour les ions et les électrons à ces résultats expérimentaux. Un bon accord avec les données du sondeur à diffusion de Saint-Santin-Nançay est obtenu si l'apport d'énergie par électron thermique est indépendant de la densité électronique à altitude fixe et varie exponentiellement en fonction de l'altitude au-dessus de 250 km avec une échelle de hauteur égale à l'échelle de hauteur de l'oxygène atomique, et si le flux thermique dans la région F supérieure est indépendant de la densité électronique. La variation saisonnière observée sur les résultats expérimentaux peut s'expliquer par un flux de conduction thermique plus élevé en été qu'en hiver.

ABSTRACT. — Experimental results show an inverse relationship between electron density and electron temperature in the daytime F-region ; an energy input profile and a value of the thermal conduction flux in the upper F-region are determined by fitting to those experimental results the solutions of the energy equations for the ions and the electrons. A good agreement with the incoherent scatter data of Saint-Santin-Nançay is found when the energy input per thermal electron is independent of the electron density at each altitude and varies exponentially versus altitude above 250 km, with a scale height equal to the atomic oxygen scale height, and when the thermal flux in the upper F-region is assumed independent of the electron density. The seasonal behaviour apparent in the experimental results requires a thermal flux in the upper F-region larger in summer than in winter.

* Permanent address: Centre national. Etudes des Télécommunications, 3, avenue de la République, 92 - Issy-les-Moulineaux, France

Neutral winds deduced from incoherent scatter observations and their theoretical interpretation

P. AMAYENC and G. VASSEUR
C.N.E.T./R.S.R. 3, Avenue de la République
92-Issy-les-Moulineaux, France

(Received 7 October 1971)

Abstract—Ionization drifts observed with the St-Santin-Nançay incoherent scatter facility are used to determine the meridional component of the horizontal neutral winds. In a previous paper this has been done at the maximum electron density level. Here the results are presented for various *F*-region altitudes after evaluating the effect of the ambipolar plasma diffusion from the incoherent scatter measurements of ion density and electron and ion temperatures.

The 'experimental' neutral winds obtained in this way are compared to 'theoretical' winds deduced from a model of thermospheric circulation obtained by solving the partial derivative momentum transfer equation for neutrals. Three cases for summer, winter and equinox periods are considered for these comparisons. It is shown that motions induced by electric fields must be introduced during summer and equinox, but not during winter, in order to obtain a good agreement between 'theoretical' and 'experimental' diurnal variations of the neutral winds. These conclusions are drawn for the whole *F*-region altitude range.

Résumé—Les mesures de vitesse ionique obtenues à l'aide du sondeur à diffusion incohérente de St-Santin-Nançay permettent de déterminer la composante méridionale du vent neutre horizontal.

Dans un précédent article les résultats ont été obtenus à l'altitude du maximum d'ionisation. En utilisant les mesures de densité ionique et de températures ionique et électronique pour évaluer l'effet de la diffusion ambipolaire, on a pu ici étendre ces résultats à différentes altitudes de la région *F*.

Les vents 'expérimentaux' ainsi déterminés sont comparés aux vents 'théoriques' que l'on peut déduire d'un modèle de circulation thermosphérique, obtenu en résolvant l'équation du mouvement de l'atmosphère neutre. Les comparaisons sont effectuées pour trois jours particuliers d'observation. On montre que les mouvements induits par d'éventuels champs électriques doivent être introduits en été et à l'équinoxe mais non en hiver, pour obtenir un accord satisfaisant entre les variations diurnes des vents neutres 'expérimentaux' et 'théoriques'. Les conclusions dégagées s'appliquent à toute la gamme d'altitude de la région *F*.

Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 1972, Vol. 34, pp. 1037-1052. Pergamon Press. Printed in Northern Ireland

L'orage magnétique du 11 février 1969: Étude par diffusion incohérente

D. ALCAYDE

C.E.S.R.-L.A.-C.N.R.S.-B.P. 4057, 31 Toulouse, France

and

J. TESTUD, G. VASSEUR and P. WALDTEUFEL

C.N.E.T.-R.S.R., 92-Issy-les-Moulineaux, France

(Received 19 October 1971; in revised form 13 December 1971)

Résumé—On analyse les données de température ionique, vitesse ionique et densité des gaz neutres et ionisés recueillies par diffusion incohérente, relatives à une période magnétiquement orageuse. Les observations font apparaître distinctement des effets qui peuvent être classés en variations moyennes, de longue période (> 5 heures) et de courte période ($\simeq 2$ heures). Ces effets sont étudiés successivement, et il est établi que les deux derniers traduisent la propagation d'ondes de gravité dans l'atmosphère neutre.

Abstract—Incoherent scatter observations of ion temperatures and velocities, electron and neutral densities during a magnetic storm are analysed. The data show distinctly the existency of average storm effects, as well as long period (> 5 h) and short period ($\simeq 2$ h) variations. These effects are investigated in turn, and the interpretation of the two latter in terms of neutral gravity waves is established.

Planet. Space Sci. 1972, Vol. 20, pp. 1269 to 1279. Pergamon Press. Printed in Northern Ireland

HEIGHT STRUCTURE OF TIDAL WINDS AS INFERRED FROM INCOHERENT SCATTER OBSERVATIONS

P. AMAYENC

C.N.E.T./RSR, 3 Avenue de la République, 92 Issy-les-Moulineaux, France

and

C. A. REDDY

Space Physics Division, Space Science and Technology Centre, Trivandrum 22, India

(Received 26 January 1972)

Abstract—Incoherent scatter observations of ion drifts at Saint-Santin-Nançay have been analyzed to yield the height structure of the meridional tidal winds in the ionosphere. Preliminary results for a few typical days illustrate the behaviour of the diurnal and semidiurnal tidal components for various heights and seasons.

The significance of the observed height structure is discussed in the light of relevant theoretical work.

Résumé—On analyse les observations de vitesse ionique déduites des mesures par diffusion incohérente à Saint-Santin-Nançay pour obtenir la structure verticale des composantes de marée du vent neutre horizontal meridional dans l'ionosphère.

Les résultats préliminaires de quelques journées typiques mettent en évidence les comportements des composantes diurne et semi-diurne en fonction de l'altitude et de la saison et sont comparés aux prévisions théoriques correspondantes.

Space Research XII - Akademie-Verlag, Berlin 1972

INTERACTION BETWEEN GRAVITY WAVES AND IONIZATION IN THE IONOSPHERIC F REGION

J. TESTUD

C.N.E.T. - R.S.R., Issy les Moulineaux, France

During several magnetic storms, large amplitude oscillations of the electronic temperature and density, and of the ionic temperature and velocity, have been observed with the incoherent scatter sounder of Saint-Santin-Nançay. These oscillations have been interpreted as due to gravity waves.

In order to understand more completely these experimental results, this paper presents a theoretical model of the interaction between gravity wave and ionization, in which the diffusion processes and the plasma temperature perturbation are taken into account. A comparison of theoretical results with observations shows that this model permits a coherent interpretation of all the phenomena.

Space Research XII — Akademie-Verlag, Berlin 1972

OBSERVATION AND INTERPRETATION OF IONIZATION DRIFT MEASUREMENTS IN THE F REGION AT ST-SANTIN-NANÇAY

P. AMAYENC and G. VASSEUR

C. N. E. T. — R. S. R., Issy-les-Moulineaux, France

Ionization drifts observed at St-Santin-Nançay are presented. Altitude variation, diurnal and seasonal behaviour are obtained, and it is shown that neutral air winds may be obtained from the observations. These neutral air winds are compared with a theoretical model of thermospheric circulation due to horizontal pressure gradients. A general agreement is found; however, electric field induced motions, not observed with the existing equipment, have to be introduced during various circumstances.

INCOHERENT SCATTER OBSERVATIONS OF MERIDIONAL WINDS IN THE 150-225 KM REGION

C. A. REDDY* and G. VASSEUR

C. N. E. T. - R. S. R., Issy-les-Moulineaux, France

The incoherent scatter facility at Saint-Santin-Nançay is capable of measuring the ionization drifts in a direction nearly parallel to the geomagnetic field. The measured drifts in the 150-225 km region can be interpreted mainly in terms of the meridional neutral winds, since the diffusion velocities in this region are very small compared with the observed velocities (which are a few tens of metres per second). The analysis of the daytime drifts reveals the following features: (i) the semidiurnal wind component, which is the predominant one below ~ 135 km, becomes less important above 150 km compared with the diurnal and other components; (ii) there is a significant seasonal variation in the magnitude of the observed velocities; (iii) quasi-periodic variations of 2-3 hours period are persistently present on days of moderate or high magnetic activity; (iv) apart from the quasi-periodic fluctuations, the average daytime velocities are appreciably altered on magnetically disturbed days compared with those on quiet days.

* On leave of absence from Space Physics Division, S. S. T. C., Trivandrum, India.

Abondance relative des ions O^+ entre 500 et 2000 km d'altitude à moyenne latitude

L. FLEURY

CNET-RSR, 92 131 Issy-les-Moulineaux

C. TAIEB

CNET-GRI, 92 131 Issy-les-Moulineaux

RESUME. — *A l'aide de mesures simultanées des températures électroniques et ioniques effectuées par le sondeur à diffusion de Saint-Santin et de densité électronique effectuées par les sondages en contre-haut (satellites), on a étudié la composition ionique de la haute ionosphère. La méthode de calcul permettant de déduire la masse moyenne des ions en fonction de l'altitude et l'abondance relative des ions O^+ suppose que l'équilibre diffusif est établi. Elle a été appliquée à de nombreux cas de passages de satellites ce qui a permis d'étudier la variation diurne de la région de transition $H^+ - O^+$ et l'influence de l'activité solaire sur l'altitude de la région de transition.*

ABSTRACT. — *Ionic composition at high altitude in the ionosphere is studied in using simultaneous measurements of electronic and ionic temperatures obtained from Saint-Santin Incoherent Scatter Sounder and of electron density obtained from topside satellites. The mean ionic mass and the relative abundance of O^+ are deduced when supposing that the diffusive equilibrium is reached. From many satellite passes diurnal variation of the $O^+ - H^+$ transition level is studied together with the influence of the solar activity on this level.*

Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 1973, Vol. 35, pp. 1499-1505. Pergamon Press. Printed in Northern Ireland

Simultaneous neutral wind and temperature oscillations near tidal periods in the *F*-region over St-Santin

P. AMAYENC

C.N.E.T./R.S.R. 92131 Issy-les-Moulineaux, France

J. FONTANARI and D. ALCAYDE

C.E.S.R.-LA-C.N.R.S. 31029 Toulouse Cedex, France

(Received 13 December 1972)

Abstract—Long period *F*-region incoherent scatter observations of temperature and neutral wind at St-Santin are analyzed in order to investigate the importance of oscillations near tidal periods. The results of this analysis are presented and discussed in a preliminary way.

Résumé—Le sondeur ionosphérique à diffusion incohérente de St-Santin Nançay permet d'obtenir simultanément la température et une composante du vent neutre. On analyse deux longues séries de mesure dans le but de mettre en évidence les oscillations de ces deux paramètres autour des périodes de marée dans la région *F*. Ce sont les résultats préliminaires de cette étude qui sont présentés ici.

Space Research XIII — Akademie-Verlag, Berlin 1973

WAVES AND TIDES AND THEIR OBSERVATION FROM GROUND AND SPACE

J. TESTUD

Centre National d'Etudes des Télécommunications, Issy-les-Moulineaux, France

Planetary waves are probably generated by meteorological phenomena and seem to be correlated with the occurrence of stratospheric warmings. Both planetary waves and tidal waves may be investigated by meteor radar or incoherent scatter radar. Large scale gravity waves show correlation with magnetic activity and may be caused by auroral events. Medium scale gravity waves show no correlation with magnetic activity; they may originate in the lower atmosphere.

INCOHERENT SCATTER AND VERTICAL INCIDENCE OBSERVATIONS

P. WALDTEUFEL

Centre National D'Études Des Telecommunications, Issy-les-Moulineaux, 1e, Paris, France

Abstract. This paper summarizes the principles and implementation of the incoherent scatter and ionospheric sounding techniques and discusses some achievements of these techniques with respect to the physics and chemistry of the upper atmosphere.

*B. M. McCormac (ed.), Physics and Chemistry of Upper Atmospheres, 291-297. All Rights Reserved.
Copyright © 1973 by D. Reidel Publishing Company, Dordrecht-Holland.*

Long-Term Variations of Thermospheric Temperature and Composition

D. ALCAYDÉ

*Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements
Laboratoire Associé au Centre National de la Recherche Scientifique, Toulouse Cedex, France*

P. BAUER

*Centre National d'Etudes de Télécommunications, Recherche Spatiale Radioélectrique
Issy les Moulineaux, France*

J. FONTANARI

*Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements
Laboratoire Associé au Centre National de la Recherche Scientifique, Toulouse Cedex, France*

Long-term variations of the thermospheric structure in the altitude range 100 to 400 km have been deduced from incoherent scatter observations performed above St Santin (France, 45°N) in 1969–1970. This technique provides the following relevant information: the thermal structure from 100 to 400 km; a parameter proportional to the molecular nitrogen concentration around 100 km; a determination of the atomic oxygen concentration between 200 and 400 km; and the ratio of the atomic oxygen concentration to a weighted sum of the molecular (N_2 , O_2) species around 200 km. The last three parameters are determined during daytime. Combining these data, we find that (1) a seasonal change in the composition at 200 km results from a seasonal change in the thermal structure between 100 and 200 km and from a superimposed lower boundary equivalent to seasonal changes in the atomic oxygen concentration (winter to summer ratio of 1.5) and in the molecular oxygen concentration (summer to winter ratio of about 4); (2) these later variations are linked to the F_2 winter anomaly and support theoretical predictions and previous experimental work; (3) annual and semi-annual variations of the thermal structure, combined with annual changes in the neutral composition, result in a semiannual variation of the air density that is already well known from satellite drag data.

Radio Science, Volume 9, Number 2, pages 239-245, February 1974

Diurnal and long-term behavior of the exospheric temperature
as observed by incoherent scatter sounding in the F_2 region

D. Alcayde

*Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements, Laboratoire associé au Centre National de la
Recherche Scientifique, 31029 Toulouse Cedex, France*

(Received October 23, 1973.)

A spectral analysis has been performed on the exospheric temperature derived from incoherent scatter data gathered at St. Santin for two unusually long observation campaigns. It is found that the main components of the oscillations are diurnal and semidiurnal, with amplitudes of respectively 10 and 2.5% of the steady component. Based on this evidence the bulk of the data, corresponding to 84 shorter experiments of only about 40 hr, has been Fourier-analyzed in terms of the abovementioned components. The long-term variations of the characteristics of each steady state and of the oscillation components are then analyzed and their implications for the temperature structure are discussed.

Neutral composition in the lower thermosphere

G. Scialom

*Recherches Spatiales Radioélectrique, Centre National D'Etudes des Telecommunications,
92131 Issy-les-Moulineaux, France*

(Received October 23, 1973.)

A photochemical model of the F_1 region was set up from rocket-borne mass spectrometric measurements of the ionic and neutral composition, and from reaction rates determined in laboratory experiments. This model was applied to determine the seasonal variations of the neutral composition in the lower thermosphere from incoherent scatter ionic composition data. We find an atomic oxygen winter maximum, in agreement with satellite drag and energy balance studies. Moreover, we put in evidence a molecular oxygen winter minimum, which confirms results obtained from Lyman- α absorption measurements on O_2 , and from twilight 6300 Å airglow studies.

Observation of neutral temperature tidal-type oscillations in the F_1 region

J. Fontanari and D. Alcayde

*Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements, Centre National de la Recherche Scientifique,
31029-Toulouse Cedex, France*

(Received October 23, 1973.)

Incoherent scatter data gathered at St. Santin yield a determination of the ionic (neutral) temperature in the F_1 region. Although large uncertainties are present in these data, a study of their short-term variations is possible provided they have been statistically combined in typical periods. It is shown that waves of tidal type are present in the lower thermosphere, with dominant periods of 24 and 12 hr. Seasonal variations are found in good agreement with exospheric temperature observations. Comparisons of experimental results with relevant theoretical works show a rather good general agreement. As concerns the semidiurnal component, Lindzen and Hong's work shows the possible presence of two modes in the thermosphere: a trapped mode generated in situ, and a propagating one generated below 100 km; however, experimental results suggest a rapid damping of the propagating mode above 180 km, while the in-situ excited mode dominates.

Radio Science, Volume 9, Number 2, pages 281-293, February 1974

Tidal oscillations of the meridional neutral wind at midlatitudes

P. Amayenc

Centre National d'Etudes des Télécommunications, 92131 Issy-les-Moulineaux, France

(Received October 23, 1973.)

The meridional neutral wind values estimated over St. Santin ($44^{\circ}65'N$, $2^{\circ}19'E$, geographic) from incoherent scatter observations, during the years 1971 and 1972, have been analyzed in terms of Fourier components in the whole thermospheric altitude range. Seasonal averages of the height structure of amplitude and phase for each harmonic term are presented and compared with relevant theoretical predictions. The high thermosphere results exhibit clear annual and semiannual effects and the steady meridional wind is found to depend on magnetic activity and solar flux. The discussion of the experimental results, in connection with predictions of the tidal theory, suggests future work in this field which is outlined in the conclusion.

Tides in the E-region observed by incoherent scatter over Saint Santin

R. BERNARD

Centre National d'Etudes des Telecommunications, Groupe de Recherches
Ionosphériques, 3, avenue de la République, 92131 - Issy les Moulineaux,
France

(Received 25 October 1973)

Abstract—A statistical analysis of the results of Incoherent Scatter measurements over 3 years leads to characterize a dominant semi-diurnal oscillation. This oscillation has been studied, for its average behaviour as well as for day-to-day variability. A comparison with a theory of tides in a dissipative atmosphere permits to identify a dominant tidal mode, S_2^4 . This mode can be excited at lower heights, but it becomes dominant only if the other modes, particularly S_2^2 , are filtered out under 100 km.

SHORT PAPER

Evidence of a meridional circulation cell in the lower thermosphere during a magnetic storm

C. A. REDDY

Space Physics Division, Vikram Sarabhai Space Centre, Trivandrum 695022,
India

(Received 25 September 1973)

Abstract—The incoherent scatter radar observations on ionization drifts at St. Santin (France) have been analyzed to yield the meridional neutral winds in the lower thermosphere during a magnetically disturbed period. The results suggest that a meridional circulation cell is established in the lower thermosphere following the onset of a magnetic disturbance. For the event studied, the excess meridional wind generated during the disturbed period is found to be poleward at 100 km and equatorward above 120 km altitude.

Solar Extreme Ultraviolet Heating and Dynamical Processes in the Mid-Latitude Thermosphere

P. AMAYENC

CNET/RSR, Issy-les-Moulineaux, France

D. ALCAYDE

CESR, Toulouse, France

G. KOCKARTS

Institut d'Aéronomie Spatiale, Brussels, Belgium

By using a global pressure gradient model deduced from satellite drag data the momentum and the mass conservation equations are solved to obtain the neutral wind vector at mid-latitude. In this computation the ion drag term is calculated from incoherent scatter measurements at Saint-Santin (France). Then the most important terms of the energy conservation equation are calculated, and the relative importance of dynamical heating processes is deduced and compared with direct EUV heat input. The model used in the computation is roughly consistent with solar EUV heating if vertical and horizontal transport effects are included in the energy balance equation.

Exospheric hydrogen above St-Santin (France)

par

A. DERIEUX, P. BAUER(*) and G. LEJEUNE

CNET/CRPE Issy les Moulineaux 92131 France

RESUME. – *A partir des résultats du sondeur à diffusion de Saint-Santin (44.65°N, 2.19°E) obtenus de 1969 à 1972, il a été possible de déterminer la température exosphérique et la concentration en hydrogène.*

Cependant, alors que les températures exosphériques sont déduites avec une bonne précision (de l'ordre de 10K), les concentrations d'hydrogène obtenues à partir des mesures de composition ionique sont entachées d'une importante erreur d'origine statistique.

Une analyse statistique a permis, en premier lieu, de déterminer la concentration de l'hydrogène en fonction de la température exosphérique ; ce paramètre joue en effet un rôle majeur dans les variations de l'hydrogène. L'allure générale de cette variation confirme les résultats théoriques obtenus par Kockarts et Nicolet (1962, 1963) mais les valeurs absolues sont beaucoup plus importantes (environ 5 fois) que celles obtenues par le modèle théorique.

En second lieu, une étude de la variation diurne de la concentration de l'hydrogène a été conduite pour des journées sélectionnées correspondant à des données expérimentales de très bonne qualité. Le rapport de la concentration maximum à la concentration minimum ainsi obtenu, est au moins de 3.5 ; ceci semble indiquer que les vents neutres et les processus d'échange de charge jouent, en plus des flux balistiques, un rôle important dans l'évolution diurne de la concentration d'hydrogène.

ABSTRACT. – *Incoherent scatter soundings performed above St-Santin (44.65°N – 2.19°E) from 1969 to 1972 have been used to determine exospheric temperatures and hydrogen concentrations.*

However, while exospheric temperatures are deduced with a good accuracy (typically 10 K), the hydrogen concentrations which result from ion composition measurements, are imbedded in large errors of statistical origin.

The attempt which is made here, is therefore in first place a statistical analysis of the hydrogen concentration as a function of the exospheric temperature which is known to be the major source of its variations. The general trend confirms the theoretical variation obtained by Kockarts and Nicolet (1962, 1963) but the absolute values are much larger (typically 5 times) than the ones of the theoretical model. In a second step the diurnal variation of the hydrogen concentration is investigated from a few selected days of observations of good quality. A maximum to minimum concentration ratio of at least 3.5 is determined which requires processes like neutral winds or charge exchange in addition to ballistic fluxes.

(*) NASA/NRC Resident Research Associate at NASA/Goddard Space Flight Center Laboratory for Planetary Atmospheres, Greenbelt, Md. 20771.

Mesures de la raie de plasma par diffusion incohérente à Nançay, et premiers résultats morphologiques

par

D. VIDAL-MADJAR

CNET-RSR, 2, avenue de la République, 92 - Issy-les-Moulineaux

et

W. KOFMAN et G. LEJEUNE

CEPHAG, BP 15, 38040, Grenoble

ABSTRACT. — *This article presents the first results from measurements of the incoherent scatter plasma line spectrum made using the St Santin Nançay bistatic sound. After a brief theoretical review, we show how the measurement techniques make it possible to determine the following parameters accurately every 35 seconds, for a given altitude :*

- *the line frequency (f_0) which measures the electron density,*
- *the line width (L) which measures the electron density gradient in most cases,*
- *the line power (P) which is a function of the photoelectron flux.*

Knowing these three parameters together makes it possible to measure the rapid fluctuations in electron density and to calculate the shape of the photoelectron spectrum for energies below 5 eV.

RESUME. — *L'article présente les premiers résultats de mesures de la raie de plasma du spectre de diffusion incohérente faites à l'aide du sondeur bistatique de St Santin-Nançay. Après un rappel théorique, on montre que la méthode de mesure employée permet d'atteindre avec une bonne précision, pour une altitude donnée, et ce toutes les 35 secondes, les paramètres suivants :*

- *la fréquence de la raie (f_0) qui mesure la densité électronique*
- *la largeur de la raie (L) qui mesure, dans la plupart des cas, le gradient de densité électronique*
- *la puissance de la raie (P) qui est fonction du flux de photoélectrons.*

La connaissance simultanée de ces trois paramètres permet la mesure des fluctuations rapides de densité électronique et le calcul de la forme du spectre de photoélectrons d'énergies inférieures à 5 eV.

Nocturnal Thermal Disequilibrium of the F_2 Region Ionosphere at Middle Latitudes

C. MAZAUDIER

Centre National d'Etudes de Télécommunications, Issy les Moulineaux, France

PIERRE BAUER¹

NASA/Goddard Space Flight Center Laboratory for Planetary Atmospheres, Greenbelt, Maryland 20771

Incoherent scatter measurements performed above St. Santin (44°3'N, 2°E) in the F_2 region over the period 1971–1972 have revealed the existence of a small systematic temperature difference (10–20 K) between the electrons and the ions at night, the former being the colder. However small, this effect cannot be accounted for by statistical or systematical errors. This temperature difference reflects the tendency of the electron gas to cool faster than the ion and neutral gases and the absence of any F_2 region electron heat source (such as the downward flow of energy from the protonosphere) at night.

¹NAS/NRC Senior Resident Research Associate on leave from CNET, Issy les Moulineaux, France.

De la mesure du contenu électronique intégré appliquée à l'observation des ondes de gravité de moyenne échelle

L. BERTEL

Laboratoire de Radioélectricité U.E.R. Sciences B.P. 25A—35031 Rennes, France

F. BERTIN et J. TESTUD

RSR—CNET 92130 Issy-les-Moulineaux, France

(Received 23 December 1974; in revised form 18 August 1975)

THE MEASUREMENT OF THE TOTAL ELECTRON CONTENT APPLIED TO THE OBSERVATION OF MEDIUM SCALE GRAVITY WAVE

Abstract—The interpretation of the measurements of the integrated electron content in terms of gravity wave suppose that one has at one's disposal

- (1) a gravity wave model at thermospheric altitudes
- (2) a gravity wave-ionization interaction model in the *F*-region of the ionosphere
- (3) a computing program for the resulting perturbation on the integrated electron content between the satellite and the earth station used.

The gravity wave model considered in this paper takes into account, on the one hand, the dissipative effects (viscosity, thermal conduction) which become very important above 250 km altitude and on the other hand, the effect of the base wind which is capable of affecting deeply the propagation of the waves of medium scale. Starting with this model, one demarcates the domains of frequencies and the wavelength of atmospheric waves which may exist in the upper atmosphere.

Moreover, the interaction of such waves and the ionization is examined. Our theoretical results give us informations particularly on the selectivity of the ionospheric response to the wave passage. The deduced selectivity of our models appears to be smaller than that given by other authors who used simplified gravity wave models.

The method for computing the perturbation of the integrated electron content introduced by the wave passage is given for a geostationary satellite. Computational results are presented for application to the case of medium scale gravity waves.

In order to demarcate this study from that of DAVIS (1973), we have to mention that we neglect the diffusion processes in the interaction between gravity waves and ionization which is justified in the case of medium scale gravity waves; conversely we take account of the stratifications of steady neutral wind.

MARÉES ET ONDES PLANÉTAIRES DANS LA BASSE THERMOSPHÈRE ET LA HAUTE MÉSOSPHERE

R. BERNARD

CNET-CRPE ISSY LES MOULINEAUX FRANCE

RÉSUMÉ : Les caractéristiques moyennes des marées et des ondes planétaires, et leur évolution saisonnière sont présentées, telles qu'elles sont observées par le radar météorique de Garchy et le sondeur à diffusion incohérente de St Santin. Les résultats obtenus par d'autres radars météoriques, ou d'autres sondeurs sont pris en compte pour étudier la variation en latitude des marées observées. Les principales caractéristiques des marées, diurne, semi-diurne et ter-diurnes sont étudiées en rapport avec les prévisions des théories classiques des marées. On montre que la variabilité des marées paraît liée aux variations de la circulation générale de l'atmosphère, et qu'il faut tenir compte de cette circulation pour expliquer théoriquement cette variabilité.

*J. J. Burger et al. (eds.), Atmospheric Physics from Spacelab, 43-60. All Rights Reserved.
Copyright © 1976 by D. Reidel Publishing Company, Dordrecht-Holland.*

Electric Field Induced Drifts From the French Incoherent Scatter Facility

M. BLANC, P. AMAYENC, P. BAUER, AND C. TAIEB

Centre de Recherche en Physique de l'Environnement, Etudes par Teledection de l'Environnement, Issy les Moulineaux, France

The Saint-Santin facility has been operating in its quadristatic configuration since October 1973. A set of 8 days and 7 nights (winter and equinox) of *F* region drift measurements perpendicular to the magnetic field is presented and provides information on the ionospheric electric fields. For quiet magnetic conditions the day-to-day variability is found to be weak, and the corresponding daily variations show the dominance of a 50 m/s diurnal oscillation in east-west drifts and of a 15–20 m/s terdiurnal oscillation in north-south drifts. None of the presently available models of quiet time electric fields have been found to reproduce this data over 24 hours. Comparison with other mid- and low-latitude electric field results shows a rather good agreement with incoherent scatter results south of Saint-Santin but a strong contrast with Millstone Hill results despite comparable geographic latitudes. For disturbed magnetic conditions, perpendicular drift velocities appear displaced from their quiet day values with a tendency to westward deviations. On some occasions those displacements reach large values of 100 m/s (4 mV/m electric field) and more over 1 or 2 hours. An interpretation in terms of penetration of the plasmasphere by electric fields associated with magnetospheric substorms is suggested.

Bilan thermodynamique de la thermosphère à moyenne latitude

Par

D. ALCAYDÉ (1), J. FONTANARI (1), P. AMAYENC (2)

RESUME. — On résout localement (latitude 45° N) l'équation de conservation de l'énergie entre 120 et 500 km d'altitude en tenant compte de l'effet des mouvements horizontaux et verticaux de grande échelle du gaz neutre. Ces derniers sont déterminés au préalable par résolution de l'équation de quantité de mouvement et intégration de l'équation de continuité. Les distributions théoriques de température neutre obtenues sont comparées aux valeurs du modèle expérimental établi à St Santin à partir des observations par diffusion incohérente et on met en évidence les effets de redistribution d'énergie par les mouvements neutres sur les variations à long et court termes ainsi que sur les gradients verticaux de température. On montre en particulier que l'inclusion des termes de transports dans la résolution de l'équation de l'énergie permet de rapprocher les distributions théorique et expérimentale de la température et on tente d'expliquer les différences résiduelles en présentant des modifications réalistes du champ de vents associé au modèle d'atmosphère de Jacchia (1971), utilisé dans les calculs.

ABSTRACT. — The energy conservation equation including large scale horizontal and vertical neutral gas motions is solved locally (45° N latitude) between 120 and 500 km altitude. Neutral gas motions are obtained in a first step by solving momentum conservation equation and integrating continuity equation. The theoretical neutral temperatures thus obtained are compared with experimental model values derived from St Santin incoherent scatter observations. The effects of energy transfert by transport mechanisms on long and short terms variations as well as on temperature gradients are emphasized. In particular, the inclusion of transport terms in the energy equation allows to reduce differences between theoretical and experimental temperatures. The residuals are tentatively explained by realistic changes of the assumed wind field derived from Jacchia's (1971) atmosphere model.

(1) C.E.S.R., 11 Av. du Colonel Roche,
310 29 Toulouse-Cedex

(2) CNET/CRPE, 3 Av. de la République,
92131 Issy Les Moulineaux-Cedex.

MIDLATITUDE CONVECTION ELECTRIC FIELDS AND THEIR RELATION TO RING CURRENT DEVELOPMENT

Michel Blanc

CNET/CRPE, 38-40, rue du Général Leclerc, 92131 Issy-les-Moulineaux, France

Abstract. The extension of magnetospheric convection toward low latitudes is investigated with the help of incoherent scatter measurements of ExB plasma drift velocities in the midlatitude F region above Saint-Santin (France). The observed relations of these drifts with auroral magnetic activity, the north-south component B_z of the interplanetary magnetic field, and the time derivative of Dst suggest that this low-latitude extension is not systematically associated with all polar magnetic substorms, but occurs in conjunction with large (5 gammas or more) southward B_z and is closely related in intensity with the negative excursions of $d(\text{Dst})/dt$. We propose that plasma injection and the resulting development of an asymmetric ring current are closely linked with the low-latitude extension of magnetospheric convection.

Paper number 7L1159.

0094-8276/78/037L-1159\$02.00

CENTRE DE RECHERCHE EN PHYSIQUE DE
L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE ET PLANETAIRE

NOTE TECHNIQUE CRPE/58

DIFFUSION INCOHERENTE D'UNE ONDE
ELECTROMAGNETIQUE DANS LA MESOSPHERE :
UNE ETUDE THEORIQUE

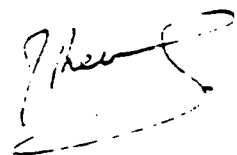
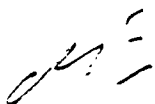
par

K. FUKUYAMA

Pour le Directeur
Le Directeur Adjoint

L'Ingénieur en Chef chargé
du département ETE

JUIN 1978



Résumé . L'objet de ce rapport est l'étude théorique du spectre de puissance de la diffusion incohérente des ondes électromagnétiques dans la mésosphère. En développant la théorie hydrodynamique de Tanenbaum (1968), on établit la formule du spectre de la diffusion incohérente en présence d'ions négatifs. Des calculs de spectres sont effectués pour un modèle de mésosphère. On constate que les ions négatifs augmentent de manière importante la puissance de la diffusion incohérente et changent la forme du spectre. Finalement, on propose une méthode, basée sur la formulation théorique, pour déterminer des paramètres mésosphériques à partir des spectres mesurés.

Theoretical study of propagation of short periodic gravity waves within the thermosphere. Application to the plasma line measurement and to a Faraday rotation experiment

DANIEL VIDAL-MAIJAR

CNET-CRPE/ETE, 38-40, rue du Général Leclerc, 92131-Issy-les-Moulineaux, France

(Received 10 November 1976; in revised form 12 May 1977)

Abstract—The harmonic analysis of the plasma frequency fluctuations obtained with the plasma line experiment at St. Santin shows the existence of a noise of fluctuations for periods below 20 min. The main feature of this noise is to present a cut off low period which is essentially variable. A theoretical study of the propagation of short periodic gravity waves within a realistic thermosphere shows that the main parameter governing the position of the cut off frequency is the wind profile. The same theoretical study shows that the gravity waves of period between [16, 20] min can propagate essentially during the day, and the waves of period between [10, 13] min propagate during the night. This conclusion is in agreement with the results of a Faraday rotation experiment.

Gravity wave detection in the lower thermosphere with the French incoherent scatter facility

DANIEL VIDAL-MADJAR

CNET-CRPE/ETE, 38-40 Rue du Général Leclerc, 92131 Issy les Moulineaux, France

(Received 31 October 1977)

Abstract—Very few gravity-wave measurements are available in the 100 to 120 km altitude range of the atmosphere. This paper illustrates the capability of the French multistatic incoherent scatter facility to fill this altitude gap in medium scale gravity-wave studies. We have been able to detect a particular gravity-wave and to compute its horizontal characteristics: horizontal wave-length: 51 km, azimuth: 294°, period: 15 min. Its associated vertical energy flux at 105 km was equal to $0.4 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. This flux shows the importance of medium scale gravity-waves in the lower thermosphere equilibrium.

Incoherent scatter results for co-ordinated special intervals at St. Santin (France)

R. BERNARD

CRPE/CNET, 3, Avenue de la Republique, 92131 Issy les Moulineaux, France

(Received 22 November 1977)

Abstract—The development of the French Quadrastatic Incoherent Scatter Facility is briefly discussed, and measurements of winds and temperatures over Nançay (47°N, 2°E) in August 1974, and Mende (44°N, 3°E) during October 1975 and January 1976 are presented.

A DYNAMICAL EFFECT IN THE IONOSPHERIC F_1 LAYER

C. TAIEB and G. SCIALOM

CRPE, 38 rue du Général Leclerc, F-92131 Issy-les-Moulineaux, France

and

G. KOCKARTS

IAS, 3 avenue Circulaire, B-1180 Bruxelles, Belgium

(Received in final form 21 March 1978)

Abstract—Incoherent scatter observations of the ionospheric F_1 layer above Saint-Santin (44.6°N) are analyzed after correction of a systematic error at 165 and 180 km altitude. The daytime valley observed around 200 km during summer for low solar activity conditions is explained in terms of a downward ionization drift which reaches -30 m s^{-1} around 180 km. Experimental determinations of the ion drift confirm the theoretical characteristics required for the summer daytime valley as well as for the winter behaviour without a valley. The computations require an effective dissociative recombination rate of $2.3 \times 10^{-7} (300/T_e)^{0.7} (\text{cm}^3 \text{s}^{-1})$ and ionizing fluxes compatible with solar activity conditions at the time when the valley is observed.

Annales de Géophysique

tome 35, numéro 2

avril-mai-juin 1979

Ann. Géophys., t. 35, fasc. 2, 1979, p. 41-51

Temperature, molecular nitrogen concentration and turbulence in the lower thermosphere inferred from incoherent scatter data

by

D. ALCAYDE and J. FONTANARI,

Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements
Boîte Postale 4346 F - 31029 Toulouse Cedex, France.

G. KOCKARTS,

Institut d'Aéronomie Spatiale 3,
Avenue Circulaire B - 1180 Bruxelles, Belgique.

P. BAUER and R. BERNARD

Centre de Recherche en Physique de l'Environnement terrestre et planétaire
38-40, rue du Général Leclerc F - 92131 Issy-les-Moulineaux, France.

ABSTRACT. — *Incoherent scatter data gathered over almost one solar cycle (1967-1975) in the height range 95-150 km at 45° North, provide an opportunity to study and to modelize long term variations of the daytime neutral temperature and the N_2 concentration. The main features identified in this study are the absence of solar cycle effects in the temperature variations around 100 km, a minimum in the daily mean temperature profile around 100 km moving upwards from summer to winter with consequently a reversal in the seasonal trend above and below 100 km, an increase in the daily mean N_2 density around 100 km for solar maximum conditions, and a gradual change from a pure semi-annual variation at 95 km to a dominant seasonal variation above 100 km in the daily averaged N_2 concentration. The temperature data are used to compute the vertical eddy diffusion coefficient between 95 and 120 km for equinox and solstice conditions. Large seasonal variations are apparent in the daily averaged eddy diffusion coefficients.*

RESUME. — *Les données de diffusion incohérente obtenues entre 95 et 150 km à 45° Nord sur une période de l'ordre d'un cycle d'activité solaire (1967-1975) offrent une possibilité d'étudier et de modéliser les variations à long terme de la température diurne moyenne et de la concentration en azote moléculaire. Cette étude met en évidence l'absence d'effet du cycle solaire sur la température aux environs de 100 km. De plus le profil vertical de la moyenne diurne de la température passe par un minimum aux environs de 100 km. Ce minimum se déplace vers le haut entre l'été et l'hiver, ce qui entraîne un renversement de la variation saisonnière au-dessus et au-dessous de 100 km. On observe également un accroissement de la moyenne diurne de la concentration en N_2 lors du maximum d'activité solaire. Cette moyenne diurne est caractérisée par une variation semi-annuelle à 95 km, qui devient une variation annuelle au-dessus de 100 km. Finalement, les données de température sont utilisées pour calculer une distribution verticale du coefficient de diffusion turbulente entre 95 et 120 km pour des conditions d'équinoxe et de solstice. De grandes variations saisonnières apparaissent dans la moyenne diurne des coefficients de diffusion turbulente.*

Seasonal Variations of the Ionospheric $E \times B$ Drifts Above Saint-Santin on Quiet Days

MICHEL BLANC AND PAUL AMAYENC

Centre de Recherche en Physique de l'Environnement, Etudes par Télédétection de l'Environnement, Issy-les-Moulineaux, France

A seasonal model of the F region electric-field-induced plasma drifts prevailing during magnetically quiet periods, and of their day-to-day variability, has been established on the basis of 3 years of measurements (1973–1975) above Saint-Santin ($44^{\circ}39'N$, $2^{\circ}12'E$) with the French quadristatic incoherent scatter facility. It is expressed analytically with the help of a steady component and of the first four diurnal harmonic oscillations and can be used both as a base line for magnetospheric disturbance studies and in itself as a source of information on the morphology of ionospheric wind dynamo electric fields. For all seasons these drifts appear to be dominated by a semidiurnal oscillation in the north-south direction and by a diurnal one in the east-west direction. During the daytime the flow is northwestward in the morning and then southeastward in the afternoon. Seasonal effects are dominated by a marked contrast between summer and the two other seasons. Summer is characterized by a disappearance of the morning northward drifts and a more complex harmonic content of the east-west drifts, with a larger contribution of the secondary semidiurnal and terdiurnal components. Comparison with recent dynamo calculations shows an improved agreement on the north-south component of the drifts, even though it still leaves a significant gap between theory and experiment. Several elements in our results provide evidence that the attempt to realize a good theory/experiment coincidence meets several difficulties of a fundamental nature: one is the lack of a simple summer/winter symmetry in the observed drifts, which reveals the importance of longitude effects introduced by the real earth's magnetic field; another is the large day-to-day variability within each season, which is comparable to the diurnal amplitude itself. Both show the need of worldwide coordinated efforts for the acquisition of simultaneous incoherent scatter data as well as for their interpretation.

THE IONOSPHERIC DISTURBANCE DYNAMO

M. Blanc

Centre National d'Etudes de Télécommunications, Centre de Recherche en Physique de l'Environnement
92131 Issy-les-Moulineaux, France

A. D. Richmond

NOAA Environmental Research Laboratories, Space Environment Laboratory
Boulder, Colorado 80303

Abstract. A numerical simulation study of the thermospheric winds produced by auroral heating during magnetic storms, and of their global dynamo effects, establishes the main features of the ionospheric disturbance dynamo. Driven by auroral heating, a Hadley cell is created with equatorward winds blowing above about 120 km at mid-latitudes. The transport of angular momentum by these winds produces a subrotation of the mid-latitude thermosphere, or westward motion with respect to the earth. The westward winds in turn drive equatorward Pedersen currents which accumulate charge toward the equator, resulting in the generation of a poleward electric field, a westward $E \times B$ drift, and an eastward current. When realistic local time conductivity variations are simulated, the eastward mid-latitude current is found to close partly via lower latitudes, resulting in an 'anti-Sq' type of current vortex. Both electric field and current at low latitudes thus vary in opposition to their normal quiet-day behavior. This total pattern of disturbance winds, electric fields, and currents is superimposed upon the background quiet-day pattern. When the neutral winds are artificially confined on the nightside, the basic pattern of predominantly westward $E \times B$ plasma drifts still prevails on the nightside but no longer extends into the dayside. Considerable observational evidence exists, suggesting that the ionospheric disturbance dynamo has an appreciable influence on storm-time ionospheric electric fields at middle and low latitudes.

AÉRONOMIE. — *Le rôle de l'oxyde d'azote dans la distribution de densité électronique de la région E en fonction de l'angle zénithal solaire.* Note (*) de Catherine Senior, Pierre Bauer, Charley Taieb et Michel Petit correspondant de l'Académie.

Une étude des conductivités ionosphériques intégrées des moyennes latitudes a permis de mettre en évidence, quelle que soit la saison, une diminution systématique de celles-ci entre le matin et le soir à angle zénithal solaire constant. Les conductivités étant essentiellement dépendantes des concentrations électroniques aux environs de 110 km d'altitude, la mesure directe des concentrations électroniques à cette altitude montre que ces diminutions proviennent de variations des concentrations électroniques. Les modèles photochimiques usuels ne permettant pas de prévoir de telles variations, nous avons recherché la cause de celles-ci dans des variations des concentrations des constituants atmosphériques. Parmi ceux-ci, l'oxyde d'azote subit un cycle diurne caractérisé par une augmentation d'origine photochimique au cours de la journée et une disparition progressive de nuit. Nous avons modélisé l'évolution diurne de l'oxyde d'azote par une augmentation observée de 100 % entre la période précédant le midi solaire et l'après-midi; cette augmentation permet de reproduire la diminution d'environ 10 % observée sur les concentrations électroniques.

The study of the integrated ionospheric conductivities in the E region over Saint-Santin (45°N) shows for all seasons, systematic decreases in the afternoon, in comparison with their morning values for the same solar zenith angles χ . Measurements of the electronic concentration at 110 km indicate that the decreases in integrated conductivities arise from electron density variations. As common photochemical models cannot provide for such reduction, variations of neutral atmospheric concentrations are considered. Among them the nitric oxide concentration is known to increase by 100% from the morning to the afternoon. It is shown that such an increase induces a reduction of about 10% of the electronic concentration.

Electron Temperature Measurements by the Plasma Line Technique at the French Incoherent Scatter Radar Facilities

W. KOFMAN AND G. LEJEUNE

CEPHAG Domaine Universitaire BP 46-St. Martin d'Heres-38402, France

T. HAGFORS

Max-Planck-Institut für Aeronomie, D-3411 Katlenburg-Lindau 3, Federal Republic of Germany

P. BAUER

CRPE-CNET-92131 Issy-les-Moulineaux, France

The results of experiments aimed at the determination of the electron temperature by a plasma line technique are presented. Using the multistatic capabilities of the French incoherent scatter radar, the plasma line frequencies were simultaneously measured at two receiving stations (Mende and Nançay) at the altitude corresponding to the maximum of the F layer. Different plasma line frequencies are measured because of different effective \mathbf{k} vectors that appear in the thermal term of the plasma dispersion relation. We derive and apply two data analysis procedures that enable us to determine this frequency difference. Comparison of this measured frequency difference to that calculated using the ion component electron temperature demonstrates that the plasma lines could indeed be used to determine the electron temperature. A strong dependence of the power in the plasma line as a function of the angle between \mathbf{k} vector and magnetic field is observed in agreement with the theory. The future developments of this technique with the EISCAT radar facilities are discussed.

Energy spectra of incident electrons from auroral ionisation profiles

E. BAROUCH

CRPE, CNET, 92131 Issy-les-Moulineaux, France

(Received in final form 7 April 1981)

Abstract— The production of ionospheric ionisation at night by auroral electrons and its height dependence are discussed. It is found that the altitude dependence of the effective recombination coefficient α_e of the ions involved is of great importance in determining the ionisation profile produced by a given incident electron spectrum. Electron density profiles obtained in the auroral zone at night are examined for several nights during conditions of diffuse aurora. The incident electron spectra are computed from these measurements.

Field Line Equipotentiality and Ion Neutral Collision Frequencies in the Dynamo Region Deduced From Saint-Santin Ion Drift Measurements

CHARLEY TAIEB AND MICHEL BLANC

*CNET/Centre de Recherches en Physique de l'Environnement Terrestre et Planétaire,
92131 Issy-Les-Moulineaux, France*

We analyze three-dimensional ion drift data from the Saint-Santin incoherent scatter facility to test experimentally the theoretical description of ion transport in the ionospheric dynamo layer, and to deduce electric fields and ion neutral collision frequencies from the observed drifts. Using a geometrical representation of the ion momentum equation, we show that at middle latitudes, because horizontal neutral wind influences ion motions both parallel and orthogonal to the field lines in the ionospheric dynamo layer, the information contained in a three-dimensional ion drift measurement is redundant, thus permitting to check the standard theoretical description of ionospheric electrodynamics in two ways. First, assuming a model ion-neutral collision frequency profile, one can deduce the north-south perpendicular component of the electric field function of height in the *E* region from Saint-Santin drift data. We find that its altitude variations remain within the experimental uncertainty of the method, in agreement with the theoretical assumption of equipotential field lines. Second, assuming that the electric field is constant in altitude, one can determine the ion collision ratio, or ratio of the ion collision frequency to the ion gyrofrequency, from a comparison of *E* and *F* region drift measurements. Daily median values of the ion collision frequencies, thus obtained for each of the three seasons, are found to compare reasonably well with ion collision frequencies derived from the Jacchia neutral atmosphere model for the case of the equinox sample, but determinations for the other seasons are contaminated by a high level of measurement noise.

Electric Currents Above Saint-Santin

1. Data

CHRISTINE MAZAUDIER

CNETICRPE, 38, Rue du Général Leclerc 92131 Issy-Les-Moulineaux France

This paper provides a presentation of the method used at Saint-Santin for calculating ionospheric currents. We have compared the horizontal integrated currents with ground magnetic data, and we observe the same abnormal circulation as found by Mayaud (1965-1979). This result raises the problem of the global S_q system pattern, which cannot be identified with our Saint-Santin data alone.

Electric Currents Above Saint-Santin 2. Model

CHRISTINE MAZAUDIER AND MICHEL BLANC

CNET/CRPE, 38 rue du Général Leclerc, 92131 Issy Les Moulineaux, France

We use Ohm's law and a combination of various local models of the electrodynamic parameters of the ionosphere derived from previous incoherent scatter studies (electric fields, neutral winds, ion composition, and ion neutral collision frequencies) to generate an empirical model of the local time and seasonal variations of the horizontal electric current flow above Saint-Santin (geographic latitude 44.1°N , geographic longitude 2.3°E). The various contributions to the total current (Hall and Pedersen contributions, neutral wind driven contributions, and electric field driven contributions) are explicitly obtained in this model. The local time variations of the two components of the total height-integrated horizontal current are compared with the S_y magnetic variation at our location. For all seasons the zonal component is weak, mainly as the result of equal and opposite contributions of the electric field and neutral winds. This result, which is consistent with the weak observed S_y variation of H , is expected for a station such as ours close to the latitude of the S_q focus where the current flow is essentially meridional. In contrast to the usual picture of the S_q system, which suggests a southward current in the morning and a northward current in the afternoon, our model meridional current is found to be always northward during the daytime. This surprising feature of the model is supported by the direct calculation of the current from the ion drifts on a series of individual days. Examination of the S_K variation of the D component of ground magnetic variations shows that a north-south current asymmetry, though of smaller intensity, is also present in the magnetic variations. Both the net northward flow of charges revealed by the ionospheric data, and the observed discrepancy between calculated ionospheric currents and magnetic data, suggest that field-aligned currents must be flowing from the northern to the southern hemisphere in our longitude sector during a least part of the day. This situation seems to be quite different from the American sector, where no similar asymmetry has been detected in the average current flow over Millstone Hill. Explanations of these features will have to involve the possible effects of the inclination of the magnetic dipole of the earth with respect to its rotation axis, as well as of antisymmetric tidal modes, which are likely to produce interhemispheric asymmetries and longitude variations.

III b

PUBLICATIONS : ARTICLES DE SYNTHÈSE

F2 REGION MEASUREMENTS AT ST. SANTIN
INCLUDING WINDS

H. Carru
Centre National d'Etudes des
Telecommunications
Issy les Moulineaux (Seine) France

CONFERENCE ON THOMSON SCATTER STUDIES
OF THE IONOSPHERE

CONFERENCE DIGEST-PROGRAM

Aeronomy Laboratory
Electrical Engineering Department
University of Illinois

April 10, 11, 12, 1967

Allerton House
University of Illinois
Urbana, Illinois

Note: Papers in this Digest are not to be
cited without the permission of the respec-
tive authors. The citations will then be
"private communications".

THE DESIGN OF THE CNET BISTATIC
THOMSON SCATTER SOUNDER 'SAINT
SANTIN-NANCAY'

F. du Castel
CNET
Issy les Moulineaux (Seine) France

CONFERENCE ON THOMSON SCATTER STUDIES
OF THE IONOSPHERE

CONFERENCE DIGEST-PROGRAM

Aeronomy Laboratory
Electrical Engineering Department
University of Illinois

April 10, 11, 12, 1967

Allerton House
University of Illinois
Urbana, Illinois

Note: Papers in this Digest are not to be cited without the permission of the respective authors. The citations will then be "private communications".

E AND F1 REGION MEASUREMENTS AT
SAINT-SANTIN

P. Waldteufel
CNET
Issy les Moulineaux (Seine) France

CONFERENCE ON THOMSON SCATTER STUDIES
OF THE IONOSPHERE

CONFERENCE DIGEST-PROGRAM

Aeronomy Laboratory
Electrical Engineering Department
University of Illinois

April 10, 11, 12, 1967

Allerton House
University of Illinois
Urbana, Illinois

Note: Papers in this Digest are not to be cited without the permission of the respective authors. The citations will then be "private communications".

EFFECTS OF NEUTRAL COLLISIONS AND DRIFTS
ON THE SPECTRA OF THOMSON SCATTERED
SIGNALS

P. Waldteufel
CNET
Issy les Moulineaux (Seine) France

CONFERENCE ON THOMSON SCATTER STUDIES
OF THE IONOSPHERE

CONFERENCE DIGEST-PROGRAM

Aeronomy Laboratory
Electrical Engineering Department
University of Illinois

April 10, 11, 12, 1967

Allerton House
University of Illinois
Urbana, Illinois

Note: Papers in this Digest are not to be cited without the permission of the respective authors. The citations will then be "private communications".

THOMSON SCATTER MEASUREMENTS CONCERNING
THE NEUTRAL ATMOSPHERE

P. Waldteufel
CNET
Issy les Moulineaux (Seine) France

CONFERENCE ON THOMSON SCATTER STUDIES
OF THE IONOSPHERE

CONFERENCE DIGEST-PROGRAM

Aeronomy Laboratory
Electrical Engineering Department
University of Illinois

April 10, 11, 12, 1967

Allerton House
University of Illinois
Urbana, Illinois

Note: Papers in this Digest are not to be cited without the permission of the respective authors. The citations will then be "private communications".

THERMODYNAMICS OF THE IONOSPHERE

Michel Petit

Centre National d'Etudes des Télécommunications, Issy-les-Molineaux,
France

ABSTRACT: This course deals with some problems posed by the thermodynamic study of charged particles in the ionosphere. We shall begin by studying the different exchanges of energy, caused either by collisions or by thermal conductivity. The study of collisions between charged particles offers some interesting problems: the interaction force decreases slowly with the distance (r^{-2} law) and the phenomena of binary collision are limited by collective effects. The first section of this paper deals with the phenomenon of binary elastic collision. It largely draws its inspiration from the chapter about elastic collisions in the book by Delcroix (1963). Section 2 is devoted to the problems posed by the double aspect, both collective and individual, of the collisions between charged particles. It is essentially based on a paper by Pines and Bohm (1952). Some considerations developed in this chapter are useful for presenting the theory of the incoherent scatter in the following paper. Section 3 deals with energy exchanges between different populations of particles. It is inspired by two articles by Desloge (1960 and 1962). The results thus obtained enable us to understand why we may speak of an electron temperature, as well as one of ions and neutral particles, without necessarily having thermal equilibrium between the different types of particles. These temperatures are not constant with the height: therefore, we must take into account the energy exchanges by thermal conductivity between areas of different altitude. However, the thermal conductivity problem is very difficult: in section 4 we shall limit ourselves to giving some indications about the methods used to solve it and about the results that can be reached. "Physics of the Upper Atmosphere" - Ed. F. Verniani, 60-99, Editrice Compositori, 1971

Le sondeur à diffusion (1962-1972)

P.WALDTEUFEL

P.BAUER

L'ECHO DES RECHERCHES, Vol.10, octobre 1972

Space Research XII - Akademie-Verlag, Berlin 1972

OBSERVATIONS OF WAVES AND TRAVELLING DISTURBANCES

G. VASSEUR^a, C. A. REDDY^{a, b} and J. TESTUD^a

^a C.N.E.T.-R.S.R., Issy-les-Moulineaux, France

^b S.S.T.C., Trivandrum, India

Travelling ionospheric disturbances have been studied extensively during the past 25 years using various ground-based techniques. Earlier techniques, which are able to detect perturbations in the electron density at various heights in the ionosphere, are reviewed and the results obtained are discussed. More recently, new techniques such as incoherent scatter and *in situ* measurements by rockets and satellites have made possible the extension of the study of perturbations to several other parameters of the medium. These new results are reviewed in detail and it is shown that a far better understanding of the nature and origin of these disturbances can be achieved on the basis of these observations. The large scale, medium scale and very short period oscillations are discussed separately with regard to their characteristics and origin. The large scale disturbances seem to be gravity waves originating in the auroral region while the medium scale disturbances appear to be caused by gravity waves the origin of which is yet to be clearly identified. One category of very short period oscillations is associated with tropospheric weather disturbances but the origin of other categories of waves with infrasonic periods is not yet established.

Space Research XII - Akademie-Verlag, Berlin 1972

STRUCTURE OF THE THERMOSPHERE AS INFERRED FROM INCOHERENT SCATTER MEASUREMENTS

P. WALDTEUFEL^a, P. BAUER^a and J. P. McCLURE^b

^a Centre National d'Etudes des Telecommunications, R.S.R., Issy-les-Moulineaux, France

^b The University of Texas at Dallas, Dallas, Texas, USA

In this review we summarize incoherent scatter (i.s.) results on the temperature, composition and density of the thermosphere. Many ionospheric results can be interpreted in terms of thermospheric parameters, and the excellent time and altitude resolution of i. s. has allowed a significant improvement in our understanding of short-term as well as long-term thermospheric variations. Near 100 km altitude the "collision dominated" i. s. spectrum yields the neutral temperature and density. Near 200 km altitude neutral composition variations can be inferred from i. s. measurements. The exospheric temperature and the atomic oxygen concentration near 400 km have also been obtained from i. s. These and other results are discussed and interpreted in the light of information obtained from satellite orbital analysis and from other sources. This leads to a unified picture of the thermosphere: although some i. s. results appeared at first to contradict earlier findings, many of the apparent discrepancies have tended to disappear when various types of valid results were properly combined.

INCOHERENT SCATTER RADAR RESULTS

M. PETIT

*Centre National d'Études des Télécommunications Département RSR, 3 Avenue de la République
92131 Issy-les-Moulineaux, France*

1. Incoherent Scatter Sounding

1.1. PRINCIPLES OF THE METHOD

Incoherent scattering is the Thomson scattering of electromagnetic waves of very high frequency (e.g., several hundred MHz) by the free electrons in the ionosphere. In any scattering experiment, the received signal is proportional to a spatial Fourier component of the scatterers density (here the electron density); the relevant wave vector \mathbf{k} is mainly determined by the frequency and, through a trigonometric factor, by the geometry of the experiment. Incoherent scattering occurs even when the medium is macroscopically homogeneous; this phenomenon is due to the randomness of the position of each electron, which results from the thermal motion. In the absence of Coulomb interactions, between electrons, each particle would be independent from the others and the total received power would be the sum of the power scattered by each particle and the power spectrum would be Gaussian in shape, reflecting the electron velocity distribution. This truly incoherent scattering actually occurs when the wave used has a wavelength λ much smaller than the Debye length λ_D of the plasma. This condition does not apply to the present experiments and one should speak rather of quasi-incoherent scattering.

When the opposite condition applies ($\lambda \gg \lambda_D$), the electrons cannot be displaced without carrying along the ions and the power spectrum is narrowed to the characteristics of the ion gas even though the electrons are the only really effective elements in the scattering phenomenon. In particular, the size of the central part of the spectrum roughly corresponds to a Doppler effect tied in with the thermal velocity of the ions rather than the electrons. In other words, the scattered energy is concentrated in a much narrower band of frequency and the energy density per Hertz is therefore greater, which facilitates experimental study by improving the signal-to-noise ratio. This is one of the reasons why all ionospheric studies have been carried out with $\lambda \gg \lambda_D$. In addition, the Debye length in the ionosphere is less than 1 cm at altitudes less than 1000 km, while very high power radars have been built in longer wavelengths.

The power spectrum of the scattered wave, in addition to the ionic spectrum which occupies the immediate neighborhood of the incident frequency, also includes two lines called electronic, situated on either side of the incident frequency at a separation equal to the plasma frequency. These lines are greatly enhanced by the presence of a small amount of suprathermal photoelectrons.

B.M. McCormac (ed). *Atmospheres of Earth and the Planets*, 159-175. All Rights Reserved. Copyright © 1975 by D. Reidel Company. Dordrecht-Holland.

Phil. Trans. R. Soc. Lond. A. 280, 167-191 (1975) [167]

Printed in Great Britain

Theory of waves incoherently scattered

BY P. BAUER†

*NASA/Goddard Space Flight Center, Laboratory for Planetary Atmospheres,
Greenbelt, Maryland 20771, U.S.A.*

Electromagnetic waves impinging upon a plasma at frequencies larger than the plasma frequency, suffer weak scattering. The scattering arises from the existence of electron density fluctuations. The so-called incoherent scattering theory basically deals with fluctuations of random thermal origin; however, for practical purposes, it must also take account of these fluctuations caused by streaming photo-electrons. As is well known, in any scattering experiment, the received signal corresponds to a particular spatial Fourier component of the fluctuations, the wavevector of which is a function of the wavelength of the radiowave. Wavelengths short with respect to the Debye length of the medium relate to fluctuations due to non-interacting Maxwellian electrons, while larger wavelengths relate to fluctuations due to collective Coulomb interactions. In the latter case, the scattered signal exhibits a spectral distribution which is characteristic of the main properties of the electron and ion gases and, therefore, provides a powerful diagnosis of the state of the plasma, in our case, the ionosphere.

† N.A.S./N.R.C. Senior Research Associate, On leave from the Centre National d'Etudes des Telecommunications, Department RSR (France).

Middle and low latitude effects of auroral disturbances from incoherent-scatter

J. TESTUD, P. AMAYENC and M. BLANC
CNET, Issy-les Moulineaux, France

Abstract—This paper presents a review of the main phenomena observed by incoherent-scatter observatories, and related to auroral disturbances, or more generally to magnetic substorms. These phenomena fall in two categories that can be defined as follows.

The first one is constituted by direct effects of perturbations in the magnetosphere projected downwards in the ionosphere along magnetic field lines. The equatorward displacement of the midlatitude trough associated with the erosion of the plasmasphere occurring during substorms, falls in this category. Likewise strong disturbances in electric field observed at midlatitude during magnetically disturbed periods are certainly the manifestation of the electric field system which is established in the magnetosphere during substorms, in association with the three-dimensional current system flowing in the $L = 6$ magnetic shell (this current system involves the asymmetric ring current, the auroral electrojet, and parallel currents along $L = 6$ magnetic lines). At low latitude, this electric field system is possibly responsible for perturbations of the equatorial electrojet observed during magnetically disturbed periods.

The second category consists in perturbations of the neutral atmosphere at low and midlatitude, due to direct energy input into the auroral neutral atmosphere. Two types of perturbations can be distinguished in this category: 'The short time perturbations' which are the manifestation of large-scale gravity waves traveling equatorwards. Their dissipation in the upper thermosphere contributes certainly to the thermospheric heating observed during magnetically disturbed periods. 'The long time perturbations' consist of a modification of the general circulation with possibly important consequences on the composition, dynamo electric field, etc. After a general look at the contribution of the incoherent-scatter equipments in the investigation of the above phenomena, we propose that special efforts are to be done in the future for setting up coordinated experiments, triggered on alert, for observing ionospheric effects of magnetic storms.

CONTRIBUTION OF INCOHERENT SCATTER RADARS
TO THE STUDY OF MIDDLE AND LOW LATITUDE
IONOSPHERIC ELECTRIC FIELDS

Michel Blanc and Paul Amayenc

C.R.P.E. / C.N.E.T.

38-40, rue du Général Leclerc

92131 Issy-les-Moulineaux, France

*J. J. Burger et al. (eds.), Atmospheric Physics from Spacelab, 61-90. All Rights Reserved.
Copyright © 1976 by D. Reidel Publishing Company, Dordrecht-Holland.*

INCOHERENT SCATTER DATA RELATED TO THERMOSPHERIC MODELLING

D. Alcaydé

C.E.S.R., 9, avenue du Colonel Roche, 31029 Toulouse, France

Abstract

Ionospheric Incoherent Scatter (I.S.) data have been extensively used for the study of the neutral atmosphere, the ionospheric behaviour serving as a tracer of the thermospheric neutral gas properties through the coupling between the two species. The first attempt to model thermospheric parameters observed by the I.S. technique has dealt with the exospheric temperature which is quasi-directly determined by this method. The good accuracy and the time coverage of the observations (for diurnal, seasonal and long term scales) largely justify the use of the exospheric temperatures provided by the various I.S. observatories as an important input parameter for thermospheric modelling. In addition, it became clear in the past few years that several other parameters deduced from I.S. data may be studied to describe the thermospheric structure and, moreover, to reconcile empirical models showing some apparently important discrepancies. Indeed, I.S. observations provide the concentrations of the major constituents (N_2 and O in the E and F_2 region respectively), and bring information on the temperature profiles in the F_1 transition region which essentially govern the vertical distributions of the constituents.

Thermospheric modelling does not only deal with static models : both theoretical and empirical studies of thermospheric dynamics have given some ideas on global circulation on the one hand, and on dynamical energy transfer by tidal propagation on the other hand. I.S. data have given valuable information on the F region ion drag term (electron concentration and perpendicular drift velocities induced by electric fields) and on the modes of tidal propagation in the E region (temperature, wind and concentration oscillation measurements).

211

Reprinted from

(COSPAR) SPACE RESEARCH

Volume XIX

Edited by

M. J. RYCROFT

PERGAMON PRESS OXFORD and NEW YORK 1979

Electrodynamics of the Ionosphere from Incoherent Scatter: A Review*

Michel BLANC

CRPE, 38-40, rue du Général Leclerc, 92131 Issy-les-Moulineaux, France

(Accepted June 10, 1978)

The incoherent scatter technique has played an important role since 1970 in the study of the electrodynamics of the ionosphere, thanks to its ability to measure the altitude profile of the ionospheric currents and to give access simultaneously to all electrodynamic parameters of the ionosphere: electric fields, neutral winds, conductivities, and electric current densities. The various calculation schemes involved in the derivation of this set of parameters are presented. The main results obtained up to now in three different latitude regions, from the auroral electrojets to the equatorial electrojet, are reviewed. The most promising developments of these studies in the near future are tentatively indicated. They appear to be of prime importance for progress toward a satisfactory description of electric current flows in the ionosphere-thermosphere system.

* Invited paper presented at Symposium JS-A, Joint IAGA/IAMAP Assembly, Seattle, Washington, U.S.A., August 1977.

Annales de Géophysique

tome 36, numéro 1

janvier-février-mars 1980

Ann. Géophys., t. 36, fasc. 1, 1980, p. 1-30

Convection du plasma dans l'ionosphère et la magnétosphère : un circuit électrique et son schéma de résolution

par

Michel BLANC

CRPE/ETE

38-40, rue du Général Leclerc, 92131 Issy-les-Moulineaux

RESUME. — On se propose d'esquisser une description homogène de l'ensemble des phénomènes électrodynamiques, circulation de courants et établissements de champs électriques, dont la haute atmosphère est le siège.

Après un rappel des approximations qui constituent le domaine de l'électrodynamique lente, on illustre la complexité de la détermination du formalisme de transport des particules pertinent en fonction de l'importance relative des collisions et des forces électromagnétiques. On trace pour cela, dans l'espace des phases, la séparation entre les domaines relevant soit d'une description hydrodynamique, soit d'une description cinétique.

On étudie ensuite les relations électrodynamiques locales existant, en chaque point, entre les champs et courants électriques et les paramètres d'ensemble du plasma, et on examine à leur lumière la validité de l'hypothèse d'équipotentialité des lignes de force magnétiques.

Se fondant sur cette hypothèse, on propose un schéma de résolution du circuit, qui conduit à décomposer la solution en trois solutions partielles "canoniques", champs de convection, de corotation, champ dynamo. Les éléments arbitraires dont dépend cette décomposition mettent en évidence l'interdépendance de ces trois solutions, et aboutissent à des formulations des champs dynamo et de corotation sensiblement différentes de celles généralement utilisées.

Enfin, une présentation simplifiée de la convection magnétosphérique et de l'"effet d'écran" qui lui est associé permet d'examiner la pertinence des hypothèses sur lesquelles reposent ses descriptions théoriques actuelles, d'en indiquer les limitations, en particulier en ce qui concerne la description de phénomènes explosifs tels que les sous-orages magnétiques, et de proposer des directions possibles de dépassement de ces limitations.

ABSTRACT. — We propose to draw a framework for the description of upper atmosphere electrodynamic phenomena such as electric current circulation and electric field generation.

We first recall the fundamental simplifying assumptions of ionospheric electrodynamics, and illustrate the difficulties involved in determining the adequate set of particle transport equations as a function of the relative importance of collisional and electromagnetic forces. This is done by determining the boundary in phase space between the regions where either a hydrodynamic description, or a kinetic one, are dominant.

We then study the local electrodynamic equations which relate, at each point of space, electric fields and electric current densities to the bulk parameters of the neutral gas and the plasma, and examine on their basis the validity of the assumption of equipotential magnetic field lines.

Based on this assumption, a resolution scheme is proposed which leads us to express the solution as a superposition of three "ideal" solutions corresponding to the convection, corotation, and dynamo electric fields. They are found to be mutually dependant, and therefore their present formulation differs significantly from the ones generally used.

Lastly we give a simplified description of magnetospheric convection and its associated "shielding effect", and examine the validity of the various assumptions made in its theoretical descriptions up to now, in order to indicate their limitations, particularly for the description of phenomena such as magnetospheric substorms, and to propose some directions for future progress.

Modelling of the lower thermosphere: contributions of incoherent scatter observations

D. ALCAYDÉ

C.E.S.R.-C.N.R.S. 9 Avenue du Colonel Roche, 31029 Toulouse Cedex, France
and

R. BERNARD*

C.R.P.E.-C.N.R.S. 38 40 Rue du Général Leclerc, 92131 Issy les Moulineaux, France

(Received in final form 6 October 1981)

Abstract—The various topics described in this review show the important contribution of Incoherent Scatter soundings to the description, understanding and modelling of the lower thermosphere structure and variations. Indeed the large amount of data gathered since 1965 at the various Incoherent Scatter observatories has permitted major progress in the description and then the modelling of the characteristics of propagating and *in situ* generated tides in the lower thermosphere; estimates of the amount of energy dissipated by gravity waves have been given from observations of their propagation in the *E*- and *F*-region. The vertical distribution and the long-term variations of temperature and concentration of molecular nitrogen have been observed and modelled; an indication has been given that molecular oxygen may be in diffusive equilibrium between 120 and 200 km under lower solar activity conditions but this does not appear to be the case during active sun periods. Finally, theoretical computations of the eddy diffusion coefficient from the modelled temperature and density profiles in the lower thermosphere have revealed a large seasonal variation of this parameter around a mean value of a few $10^6 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$.

* Also at Department of Land, Air and Water Resources,
University of California, Davis, CA 95616, U.S.A.

III c

NOTES TECHNIQUES

CENTRE NATIONAL D'ETUDES DES TELECOMMUNICATIONS

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE

GROUPE DE RECHERCHES IONOSPHERIQUES

NOTE TECHNIQUE GRI/NTP/8

DIFFUSION D'UNE ONDE ELECTROMAGNETIQUE

PAR LES ELECTRONS D'UN PLASMA

par

H. CARRU M. PETIT

P. WALDTEUFEL

C.N.E.T.

Vu : Le Chef du Groupe de
Recherches Ionosphériques

Issy-les-Moulineaux, le
10 septembre 1965

CENTRE NATIONAL D'ETUDES DES TELECOMMUNICATIONS
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
INSTITUT DE PHYSIQUE DU GLOBE

GROUPE DE RECHERCHES IONOSPHERIQUES

NOTE TECHNIQUE GRI/NT/74

ETUDE PAR DIFFUSION DE THOMSON
DE LA DYNAMIQUE DE LA REGION F

par

G. VASSEUR

Vu : le Chef du Groupe de
Recherches Ionosphériques

J. HIEBLOT

Issy-les-Moulineaux,
le 15 juillet 1968

AVANT PROPOS

Depuis juin 1966, le sondeur français à diffusion de Thomson (Saint-Santin-Nançay) a permis de rassembler un nombre considérable de données pour l'étude des phénomènes de transport dans la région F de l'ionosphère.

La première partie de cet article met en évidence l'importance des phénomènes de transport dans l'ionosphère et décrit la méthode de mesure utilisée à Nançay.

Dans la seconde partie, on présente les résultats expérimentaux dans la forme d'une vingtaine de variations diurnes des vitesses de l'ionisation .

La troisième partie est consacrée à l'interprétation de ces vitesses. On sépare deux effets : celui de la circulation horizontale de l'atmosphère neutre et celui de la diffusion ambipolaire sous l'action de la gravité et de la pression partielle du gaz ionisé. Ce dernier effet est évalué et on en déduit la vitesse méridionale de l'atmosphère neutre.

Dans la quatrième partie on étudie l'influence des vents de l'atmosphère neutre sur le maximum de densité de la couche F2. Les vents neutres déduits dans la troisième partie permettent d'expliquer certains phénomènes relatifs au comportement de l'ionosphère.

NT/EST/RSR/54

CONCERNING THE INFLUENCE OF DISCRETE
ENERGY LOSSES ON A PHOTOELECTRON FLUX

LEJEUNE G.

CENTRE NATIONAL D'ETUDES DES TELECOMMUNICATIONS

3 avenue de la République

92. - ISSY-les-MOULINEAUX

FRANCE

(Submitted to Journal of Geophysical Research)

mai 1970

S U M M A R Y

A comparison is made between the energy losses of a photoelectron flux in the ionospheric plasma obtained with the usually made approximation of continuous energy losses on the neutral particles on one hand, and with a more realistic model of discrete energy losses on the neutral particles on the other hand. It is shown that the continuous approximation leads to overestimating the ratio of the energy given to the electron thermal gas over the total energy of the photoelectron flux by a factor of about 1.5.

A similar comparison is done with the results of a "non local" calculation. It is shown that the use of the discrete method allows a better interpretation of the experimental results obtained with the Saint-Santin - Nançay incoherent scatter facility at lower altitudes.

ÉVALUATION DES PERFORMANCES D'UN SONDEUR IONOSPHERIQUE A DIFFUSION INCOHERENTE

par

François du CASTEL

et

Guy VASSEUR

Ingénieur en chef des télécommunications *

chargé de recherche au CNRS **

RÉSUMÉ. — *Les auteurs présentent une expression analytique des précisions réalisables dans la mesure des caractéristiques de l'ionosphère par diffusion incohérente. Les paramètres principaux considérés sont la densité électronique, les températures électronique et ionique, et le vecteur représentant le mouvement du plasma. Le programme de calcul correspondant peut être utilisé à l'optimisation des caractéristiques d'un projet de sondeur à diffusion incohérente.*

PLAN. — *Introduction. ● 1 : Caractéristiques du système. ● 2 : Sensibilité du système. 2a. Sensibilité en mode bistatique; 2b. Sensibilité en mode monostatique, impulsions simples; 2c. Sensibilité en mode monostatique, impulsions doubles; 2d. Restitution des composantes du vecteur vent; 2e. Emploi d'impulsions codées. Conclusion. Bibliographie (11 réf.).*

ANNALES DES TELECOMMUNICATIONS

T.27, n^{os} 7-8, 1972

CENTRE NATIONAL D'ETUDES
DES TELECOMMUNICATIONS

ISSY-les-MOULINEAUX

GROUPEMENT
ETUDES SPATIALES ET TRANSMISSION

DEPARTEMENT
RECHERCHES SPATIALES RADIOELECTRIQUES

NOTE TECHNIQUE EST/RSR/86

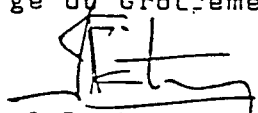
EXOSPHERIC TEMPERATURES AND OXYGEN CONCENTRATIONS
DETERMINED BY INCOHERENT SCATTER SOUNDING
ABOVE SAINT-SANTIN (45°N, 2°E)

from 1969 to 1972

MM. D. ALCAYDE[‡]
P. BAUER
P. WALDEUFEL

[‡] Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements, Toulouse.

L'Ingénieur en Chef
des Télécommunications
chargé du Groupement E.S.T.


J.P. POITEVIN

L'Ingénieur en Chef
des Télécommunications
chargé du département R.S.R.


M. PETIT

mars 1974

CENTRE DE RECHERCHES EN PHYSIQUE DE
L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE ET PLANETAIRE

DOCUMENT DE TRAVAIL CRPE/1066

COUPLAGE IONOSPHERE - ATMOSPHERE NEUTRE
DEPOTS D'ENERGIE EN ZONE AURORALE

par

D. ALCAYDE

C.E.S.R.

B.P. 4346
11 av. Colonel Roche
31029 TOULOUSE Cedex

et

J.J. PONTHEU

RPE/HMA

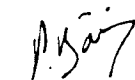
Echelon Issy
3 avenue de la République
92131 ISSY-les-MOULINEAUX

Le Directeur Adjoint



I. REVAH

Le Responsable de l'Echelon
CRPE/Issy


P. BAUER

CENTRE NATIONAL D'ETUDES
DES TELECOMMUNICATIONS
Centre PARIS B

CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Secteur TOAE

CENTRE DE RECHERCHES EN PHYSIQUE DE
L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE ET PLANETAIRE

NOTE TECHNIQUE CRPE/100

ETUDE EXPERIMENTALE DES PERTURBATIONS DE COURANTS
IONOSPHERIQUES A SAINT-SANTIN (TRAITEMENT DES DONNEES)

par

Christine MAZAUDIER

RPE/HMA
Echelon Issy
3 Avenue de la République
92131 Issy-les-Moulineaux

Le Directeur Adjoint



L. REVAH

Le Responsable de l'Echelon
CRPE/Issy



P. BAUER

Mars 1981

RESUME

Ce document présente une organisation des données faite à Saint-Santin pour l'étude des perturbations de courants associées aux orages magnétosphériques dans le cadre de l'étude du couplage électrique entre l'ionosphère et la magnétosphère. Des mesures simultanées de courants électriques en zone aurorale (Esicat) et aux moyennes latitudes (Saint-Santin) permettront de définir certains traits importants de ce couplage.

CENTRE NATIONAL D'ETUDES
DES TELECOMMUNICATIONS
Centre PARIS B

CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Secteur TOAE

CENTRE DE RECHERCHES EN PHYSIQUE DE
L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE ET PLANETAIRE

DOCUMENT DE TRAVAIL CRPE/1081

DOCUMENTATION DES PROGRAMMES PERMETTANT D'EDITER
LES DONNEES DE SAINT-SANTIN

par

C. MAZAUDIER et M. BLANC

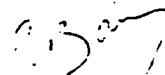
RPE/HMA
Echelon Issy
3 Avenue de la République
92131 Issy-les-Moulineaux

Le Directeur Adjoint



I. REVAH

Le Responsable de l'Echelon
CRPE/Issy



P. BAUER

Septembre 1981

R E S U M E

Ce document présente un ensemble de programmes permettant d'éditer l'ensemble des données de Saint-Santin.

Certains modèles locaux de paramètres électrodynamiques ont été intégrés dans ces programmes :

- Modèle de vent neutre, Bernard (1978)
- Modèle de champ électrique, Blanc et Amayenc (1979)
- Modèle de courant électrique, Mazaudier et Blanc (1981)

Ceci permet une analyse en terme de perturbation de ces paramètres, qui est indispensable pour comprendre les effets grande échelle de la convection magnétosphérique.

CENTRE NATIONAL D'ETUDES
DES TELECOMMUNICATIONS
Centre PARIS B

CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Secteur TOAE

CENTRE DE RECHERCHES EN PHYSIQUE DE
L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE ET PLANETAIRE

NOTE TECHNIQUE CRPE/107

PROGRAMME D'ELECTRODYNAMIQUE
ACTUALISATION : Juillet 1981

par

D. ALCAYDE,* M. BLANC, M.L. DUBOIN, C. MAZAUDIER,
J.J. PONTHEU, C. SENIOR

*C.E.S.R.

BP 4346

11, Av. du Colonel Roche
31029 TOULOUSE CEDEX

RPE/HMA

Echelon Issy

38-40 rue du Général Leclerc
92131 Issy-les-Moulineaux

Le Directeur Adjoint



L. REVAH

Le Responsable de l'Echelon
CRPE/Issy

P. BAUER

Août 1981

RESUME

Ce document présente le programme d'électrodynamique :
Actualisation Juillet 1981. Le calcul des Vents neutres
ionosphériques en région F, qui n'existait pas précédemment,
a été ajouté. (voir page 16).

Ci-joint le résumé de la précédente note (CRPE, '90)

Ce document présente un programme permettant de calculer
les paramètres électrodynamiques de l'ionosphère (champ électrique,
conductivité, courant, vent neutre, chauffage joule et particulaire)
à partir des mesures du Sondeur à diffusion incohérente. Toutes les
hypothèses scientifiques de calcul sont détaillées dans ce document.
Ce programme a déjà permis d'analyser les données provenant de
différents sondeurs à diffusion incohérente (Chatanika (USA), Utah
(USA), Saint-Santin (FRANCE), il permettra aussi d'analyser les
données d'Eiscat. Toute personne qui le désire pourra avoir accès
aux paramètres électrodynamiques qui l'intéressent.

III d

THESES D'ETAT

THESES DE 3ème CYCLE

T H E S E S

p r é s e n t é e s

A LA FACULTE DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITE DE PARIS

Pour obtenir le grade de
DOCTEUR ES SCIENCES PHYSIQUES

par

MICHEL PETIT

1ère THESE : Mesures de températures, de densité électronique
et de composition ionique dans l'ionosphère par
diffusion de Thomson.

Etude du déséquilibre thermodynamique dans
l'ionosphère diurne.

2ème THESE : Propositions données par la Faculté :
Ondes de choc dans les milieux sans collisions.

Soutenues le 30 novembre 1967 devant la commission d'examen

MM. COULOMB	Président.
DENISSE	{ Examineurs
DELLOUE	

A V A N T P R O P O S

Grâce aux résultats fournis par l'expérience de diffusion de Thomson réalisée par le C.N.E.T., nous avons pu étudier le mécanisme par lequel la température des électrons excède largement celles des particules neutres dans une partie importante de l'ionosphère diurne.

Après avoir fait au chapitre I un bref rappel sur l'histoire et la théorie de la diffusion de Thomson, nous avons fait ressortir au chapitre II les mérites respectifs des deux grandes techniques expérimentales employées, à savoir la méthode du radar et la méthode bistatique, dont les avantages propres expliquent l'originalité des résultats expérimentaux obtenus en France.

Le résultat brut des observations est le spectre de puissance d'une onde électromagnétique et le chapitre III est consacré à la méthode par laquelle nous avons déduit de ce spectre les paramètres physiques fondamentaux dont il dépend. Parmi ceux-ci, la densité électronique joue un rôle particulier, en ce sens qu'elle n'intervient pratiquement que comme un facteur de proportionnalité sans avoir d'influence sur la forme du spectre. Sa détermination est donc étroitement liée au problème du bilan de puissance qui fixe par ailleurs le rapport signal/bruit, c'est-à-dire la précision des résultats. Cette question fait l'objet du chapitre IV.

Nous présentons dans le chapitre V la méthode que nous avons employée pour résoudre la difficulté apparue au cours de l'étude du chapitre III, à savoir l'impossibilité d'interpréter, sans faire d'hypothèse complémentaire, les mesures obtenues dans la région de transition des ions moléculaires (O_2^+ et NO^+) aux ions atomiques (O^+).

Enfin le chapitre VI présente le résultat des mesures de températures électronique et ionique et de densité électronique obtenues dans les conditions précisées au cours des chapitres III, IV et V avec une bonne précision en altitude (voir chapitre III). Les caractéristiques essentielles du comportement de la température électronique diurne sont mises en évidence et sont comparées avec celles qu'on peut estimer à partir du rayonnement ultra-violet du soleil. C'est ainsi que nous calculons le flux de chaleur issu de la magnétosphère, ainsi que la quantité d'énergie qu'il faut fournir au gaz d'électrons pour compenser les pertes qu'il subit, du fait de sa température plus élevée, lors des collisions électrons-ions et électrons-particules neutres. Nous comparons ces quantités avec les évaluations théoriques qu'on peut en faire.

THESE DE DOCTORAT D'ETAT
ES SCIENCES PHYSIQUES

présentée

à la FACULTE DES SCIENCES DE PARIS

par

Monsieur P. WALDTEUFEL
pour obtenir le grade
de Docteur ès Sciences

UNE ETUDE PAR DIFFUSION INCOHERENTE
DE LA HAUTE ATMOSPHERE NEUTRE

soutenue le 7 avril 1970 devant la Commission d'examen

M.M. COULOMB Président
DELLOUE Examineur
QUEMADA Examineur
STOREY Examineur

THESE DE DOCTORAT D'ETAT
ES SCIENCES PHYSIQUES

présentée

à la FACULTE DES SCIENCES DE PARIS

par

Monsieur G. VASSEUR
pour obtenir le grade
de Docteur ès Sciences

LA DYNAMIQUE DE L'ATMOSPHERE NEUTRE
ET IONISEE AU-DESSUS DE 200 KM.
ETUDE PAR DIFFUSION INCOHERENTE

soutenue le 13 janvier 1971 devant la Commission d'examen

M.M. DELLOUE	Président
STOREY	Examineur
PETIT	Examineur
RISHBETH	Examineur

THESE DE DOCTORAT D'ETAT ES SCIENCES PHYSIQUES

présentée

à l'UNIVERSITE DE PARIS VI

par

Gérard LEJEUNE

pour obtenir le grade

de Docteur ès Sciences

PHOTOELECTRONS

ET BILAN ENERGETIQUE DES ELECTRONS

DANS L'IONOSPHERE DIURNE

soutenue le 26 Mars 1973 devant la Commission d'examen

MM. J. DELLOUE	Président
J.L. DELCROIX	Examineur
W.E. GORDON	Examineur
P. WALDTEUFEL	Examineur

R E S U M E

Une comparaison est faite entre les pertes d'énergie d'un flux de photoelectrons dans le plasma ionosphérique obtenues en faisant l'approximation couramment utilisée de pertes continues sur les particules neutres d'une part, et en prenant un modèle réaliste donc discret des pertes d'énergie sur les particules neutres d'autre part. On montre que l'approximation continue revient à surestimer la proportion de l'énergie totale des photoelectrons qui est cédée au gaz d'électrons d'un facteur à peu près 1,5.

Une comparaison semblable est faite sur les résultats d'un calcul "non local". On montre que l'emploi de la méthode discrète permet de rendre mieux compte des résultats expérimentaux obtenus par le sondeur à diffusion de Saint-Santin - Nançay aux basses altitudes.

THESE DE DOCTORAT D'ETAT ES SCIENCES PHYSIQUES

présentée
à l'UNIVERSITE DE PARIS VI

par
Jacques TESTUD

pour obtenir le grade
de Docteur ès Sciences

ONDES ATMOSPHERIQUES
DE GRANDE ECHELLE
ET SOUS-ORAGES MAGNETIQUES

soutenue le 8 Février 1973 devant la Commission d'examen

MM. J. DELLOUE	Président
P. WALDTEUFEL	Examineur
W.E. GORDON	Examineur
A. SPIZZICHINO	Examineur
M. AUBRY	Examineur

IV. PLAN DE L'ETUDE

Au cours des orages magnétiques, tous les paramètres ionosphériques mesurés par l'équipement de St-Santin - Nançay sont systématiquement perturbés. Dans le chapitre II nous faisons l'analyse détaillée de six cas d'observation particulièrement nets ; nous y démontrons le caractère ondulatoire des perturbations observées, et les interprétons en termes d'onde d'atmosphère neutre. D'autre part, les données du réseau européen d'ionosondes obtenues simultanément, permettent de mettre en évidence la propagation horizontale des phénomènes, trouvée dans tous les cas du Nord vers le Sud.

Ces observations expérimentales nous ont incité à travailler dans deux directions :

- premièrement, mettre sur pied un modèle théorique de l'interaction entre une onde atmosphérique et l'ionisation de la région F de l'ionosphère. Ceci est l'objet du chapitre III.

- deuxièmement, démontrer que l'énergie déposée dans la zone aurorale au cours d'un orage magnétique est effectivement responsable de la génération des ondes observées. Dans le chapitre IV, nous développons un modèle théorique sur la génération d'ondes atmosphériques par l'activité aurorale ; les traits essentiels des résultats de ces calculs – caractéristiques des ondes émises, et délai d'apparition de ces ondes après le déclenchement d'une activité aurorale – sont vérifiés expérimentalement en confrontant les données ionosphériques avec des données magnétiques de haute latitude.

La conclusion, qui fait l'objet du chapitre V, nous donnera l'occasion de discuter du rôle des ondes atmosphériques dans le mécanisme de chauffage général de la thermosphère régulièrement observé en période d'activité magnétique.

THÈSE

de

DOCTORAT D'ETAT ES-SCIENCES PHYSIQUES

présentée à

L'UNIVERSITÉ DE PARIS VI

par

Madame Marie-Louise DUBOIN-MON.

pour obtenir

le grade de Docteur Es-Sciences

Sujet de la thèse

LA RAIE INTERDITE λ 6300 Å DE L'OXYGÈNE ATOMIQUE
AU COURS DU RENFORCEMENT PRÉCRÉPUSCULAIRE.

Soutenue le 14 Janvier 1974 devant la Commission d'Examen :

MM. J. DELLOUE

Président

P. WALDTEUFEL

G. WEILL

H.C. CARLSON

} Examinateurs

Invité

**THESE DE DOCTORAT D'ETAT
ES SCIENCES PHYSIQUES**

présentée par

Paul AMAYENC

pour obtenir le grade
de Docteur ès Sciences

**MOUVEMENTS THERMOSPHERIQUES
DE GRANDE ECHELLE**

**ETUDE PAR DIFFUSION INCOHERENTE
A MOYENNE LATITUDE**

Soutenue le 25 novembre 1975
devant la Commission d'examen composée de

J. DELLOUE	Président
J. BARAT	Examineur
G. KOCKARTS	Examineur
R.G. SOULAGE	Examineur
G. VASSEUR	Examineur
H. VOLLAND	Examineur
P. WALDTEUFEL	Examineur

THESE

PRESENTEE

A L'UNIVERSITE PAUL SABATIER DE TOULOUSE (SCIENCES)

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ES-SCIENCES PHYSIQUES

PAR

Denis ALCAYDÉ

STRUCTURE ET THERMODYNAMIQUE DE LA THERMOSPHERE A MOYENNE LATITUDE

UNE ETUDE PAR DIFFUSION INCOHERENTE



Soutenue le 28 Novembre 1975 devant la Commission d'Examen

MM. F. CAMBOU

Président

F. BARLIER

P. BAUER

J. DELLOUE

G. KOCKARTS

P. MOREL

G. VEDRENNE

P. WALDTEUFEL

} Examineurs

THÈSE

DE DOCTORAT D'ÉTAT

présentée par

Daniel VIDAL-MADJAR

pour l'obtention du grade de
DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

LES ONDES DE GRAVITÉ DE MOYENNE ÉCHELLE DANS LA THERMOSPHÈRE : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE ET THÉORIE DE LEUR PROPAGATION ET DE LEUR PRODUCTION PAR LE JET STREAM DE LA TROPOPAUSE

Soutenue le 5 octobre 1978 devant la Commission d'Examen

JURY

MM. J. DELLOUE	<i>Président</i>
J. BARAT	<i>Examineur</i>
P. BROCHE	<i>Examineur</i>
G. KOCKARTS	<i>Examineur</i>
J. TESTUD	<i>Examineur</i>

T H E S E de DOCTORAT D'ETAT

ès Sciences Physiques

présentée

**à l'Université Pierre et Marie Curie
Paris 6**

par René BERNARD

pour obtenir le grade de DOCTEUR ès SCIENCES

Sujet de la thèse : Etude de la variabilité des marées atmosphériques

Mesures par radar météorique et sondeur à diffusion incohérente.

Soutenue le 16 NOVEMBRE 1978

devant le jury composé de :

J. DELLOUE	Président,
P. MOREL	Examineur,
P. BAUER	Examineur,
M. GLASS	Examineur,
H. TEITELBAUM	Examineur.

THESE de DOCTORAT D' ETAT

ès Sciences Physiques

Présentée
pour l'obtention
du

Grade de Docteur ès SCIENCES

à

l'Université PIERRE & MARIE CURIE
Paris 6

Par

Michel BLANC

LE CHAMP ELECTRIQUE IONOSPHERIQUE DE MOYENNE LATITUDE
ET LES DYNAMOS DE LA HAUTE ATMOSPHERE: ETUDE EXPERIMENTALE
PAR DIFFUSION INCOHERENTE,
ET CONTRIBUTION A UNE INTERPRETATION THEORIQUE

Soutenue le 4 Novembre 1980 devant le Jury composé de :

M. J.DELLOUE	Président
M. P.BAUER	Examineur
M. J.C. CERISIER	Examineur
Mlle Y.CORCUFF	Examineur
M. M.CROCHET	Examineur
M. J.HEYVAERTS	Examineur
M. R.PELLAT	Examineur
M. A.D.RICHMOND	Examineur

M E M O I R E

présenté à

LA FACULTE DES SCIENCES DE
L'UNIVERSITE DE PARIS

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES
DE SCIENCES PHYSIQUES

par

Bernard SAUGIER

ETUDE DU RAYONNEMENT D'UNE ANTENNE A GRAND GAIN
EN ONDES DECIMETRIQUES

(ANTENNE D'EMISSION POUR SONDEUR A DIFFUSION IONOSPHERIQUE)

(1965?)

THÈSE

présentée à

LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE PARIS

pour l'obtention

du DOCTORAT 3ème CYCLE

SPÉCIALITÉ : ELECTRONIQUE

par

Pierre BOUCHET

Sujet de la thèse : Etude de la propagation d'une onde à la résonance plasma
électronique dans la région F.
Application aux radiocommunications à grande distance.

Soutenue le 16 Juillet 1969 devant la Commission composée de :

MM. J. UEBERSFELD

Président

D. QUEMADA

L.R.O. STOREY

} Examineurs

THÈSE

Présentée

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

pour l'obtention du

DOCTORAT 3^e Cycle

Spécialité : **PHYSIQUE**

Mention : **GÉOPHYSIQUE**

par

MADAME DIANE PERRET

Sujet de la thèse : Recherches sur l'utilisation simultanée
des mesures de température et des
mesures de densité

Soutenue le : **2 AVRIL 1971**

devant la commission composée de

Président : J. DELLOUE

Examineurs : F. BARLIER

M. PETIT

INTRODUCTION

L'analyse de la trajectoire d'un satellite artificiel permet de calculer la densité au périgée. Des modèles d'atmosphère ont été construits à partir de ces densités. Ils reposent sur des hypothèses simplificatrices :

- 1) les paramètres ont une valeur constante à 120 km
- 2) les constituants se répartissent selon leur propre équilibre de diffusion au dessus de 120 km.
- 3) les profils de température ont des formes empiriques .

La température exosphérique déduite des modèles n'a pas la signification physique d'une température, ce n'est qu'une image de la densité.

A l'heure actuelle les sondages par diffusion incohérente permettent de mesurer les températures exosphériques.

Connaissant à la fois les densités observées et les températures mesurées, il est possible d'améliorer certaines hypothèses des modèles.

C'est uniquement l'étude des conditions à 120 km qui retiendra notre attention dans ce travail; notre idée est de les modifier de façon à représenter correctement les densités observées connaissant la température exosphérique .

Ce travail comporte tout d'abord un chapitre de rappel des méthodes de mesure utilisées; ensuite, étant donné que les densités sont obtenues à différentes altitudes, il y aura essentiellement deux parties :

- 1) une étude simultanée des densités observées et des températures mesurées au dessus de 250 km, zone où l'oxygène atomique est le composant majoritaire. On en déduira une variation saisonnière

de l'oxygène atomique à 120 km, dont il n'est pas tenu compte dans les modèles.

2) une analyse des densités observées au dessous de 250 km, zone où l'azote moléculaire est le composant majoritaire.

Cette étude confirmera l'existence d'une variation annuelle de la densité et d'une variation très probable de l'azote moléculaire à 120 km en cas d'orage magnétique.

Présentée

A la Faculté des Sciences de Paris
pour l'obtention du DOCTORAT 3^e Cycle de PHYSIQUE
Mention : GEOPHYSIQUE

par

Gérard SABELETE

Sujet : Etude du couplage thermodynamique entre
l'ionosphère et la magnétosphère

Soutenue le : 21 mai 1971

Devant la Commission composée de :

Président : J. DELLOUE

Examineurs : L.R.O. STOREY

M. PETIT

P. BAUER

Après une première partie consacrée à des brefs rappels sur l'ionosphère et sur l'expérience du sondeur à diffusion incohérente de ST-Santin-Nançay, la 2^e partie étudie le chauffage direct de l'ionosphère par les photoélectrons créés lors de l'ionisation des particules neutres, et fait ressortir l'existence et l'importance d'un chauffage indirect par des photoélectrons provenant de l'ionosphère conjuguée.

L'étude ce flux de conduction protonosphérique permet, en outre, de calculer la variation diurne de l'énergie interne emmagasinée par les électrons protonosphériques dans le tube de force aboutissant à St-Santin.

T H E S E

présentée à

LA FACULTE DES SCIENCES DE PARIS

pour l'obtention

du Doctorat 3e Cycle

Spécialité : PHYSIQUE

Mention : GEOPHYSIQUE

par

Lionel FLEURY

**Sujet de la Thèse : Etude théorique de la haute ionosphère à partir de
données simultanées des satellites Isis et du sondeur
à diffusion**

Soutenue . en juin 1971

devant la Commission

Composée de : M. DELLOUE

Président

MM. WALDTEUFEL

Examineurs

TAIEB

THÈSE

présentée

A L'UNIVERSITÉ Paul SABATIER - U.E.R. de PHYSIQUE SPATIALE

pour obtenir

le GRADE de DOCTEUR de SPÉCIALITÉ

(Géophysique : Option Physique Spatiale)

par

Jean FONTANARI

Licence et Sciences

ANALYSE DE LA TEMPÉRATURE NEUTRE OBSERVÉE PAR DIFFUSION INCOHÉRENTE DANS LA BASSE THERMOSPHERE

Soutenue le 21 Juin 1973 devant la Commission d'Examen

M.M. F. CAMBOU

J. BARAT

F. BARLIER

G. VEDRENNE

P. WALDTEUFEL

Président

} *Examineurs*

Dans une première partie, on se propose de situer la région thermosphérique étudiée, et d'en résumer les caractères essentiels à notre étude ; l'originalité des données utilisées est mise en évidence par l'énumération des informations apportées par les principales techniques de mesure utilisables dans cette région.

Dans une deuxième partie sont présentées les données exploitées, la manière dont elles ont été obtenues à partir des spectres de diffusion incohérente, ainsi que la méthode de mise en forme des échantillons utilisée avant le traitement, et sa justification. On y présente aussi les résultats de la recherche des périodes d'oscillation de la température effectuée sur des échantillons de longue durée.

La troisième partie est d'abord consacrée à la méthode d'analyse utilisée pour dégager les caractéristiques des oscillations de la température, et aux résultats de simulations et de tests qui fourniront un critère de discussion; on y présente enfin les résultats obtenus sur les données expérimentales, résultats qui sont comparés à des modèles théoriques des marées, et discutés.

THESE

présentée
à l'UNIVERSITE PARIS VI

par
Anne DERIEUX

pour l'obtention
du DOCTORAT 3e Cycle

Spécialité : PHYSIQUE
Mention : GÉOPHYSIQUE

Sujet de thèse : ETUDE DE LA CONCENTRATION DE L'HYDROGENE ATMOSPHERIQUE
A PARTIR DE LA DIFFUSION INCOHERENTE

Soutenue le 27 juin 1973 devant la commission d'examen.

Jury : M. DELLOUE	Président
M. KOCKARTS	Examineur
M. BAUER	Examineur
M. WALDTEUFEL	Examineur

La technique de la diffusion incohérente permet d'avoir accès indirectement à la concentration de l'hydrogène, et l'objet du présent travail est de mener une telle étude à partir des données du sondeur à diffusion incohérente de Saint-Santin. Nous allons tout d'abord rappeler les diverses causes de variations de l'hydrogène dans l'atmosphère terrestre (Chapitre I) en tenant compte des différents processus pouvant modifier sa concentration, depuis le niveau du sol jusque dans l'exosphère, et en insistant sur la région de transition appelée l'exobase (niveau fictif de séparation entre la thermosphère et l'exosphère) dont l'introduction clarifie grandement la question de la redistribution des atomes d'hydrogène par les flux balistiques. Au chapitre II sont abordées les différentes méthodes de détermination de la concentration de l'hydrogène, modèles théoriques d'une part et résultats des mesures d'autre part. Le IIIème chapitre est consacré à la méthode de la diffusion incohérente, et à la discussion des problèmes soulevés par l'évaluation de la concentration de l'hydrogène à partir de la mesure du spectre de diffusion. Un des avantages essentiels de cette méthode est qu'elle fournit la détermination simultanée de la température exosphérique. Au chapitre IV sont présentés les résultats relatifs à l'année 1969 et ceux de l'année 1971. L'évolution de la concentration de l'hydrogène atomique est étudiée en fonction du temps local et de la température exosphérique. Les résultats de cette étude sont ensuite comparés à ceux obtenus soit théoriquement, soit expérimentalement par ailleurs.

THESE PRESENTEE
POUR L'OBTENTION
DU
DIPLOME DE DOCTEUR DE 3e CYCLE
A

L'UNIVERSITE DE PARIS VI

Spécialité : Physique

Mention : Géophysique

par Mme MAZAUDIER Christine

sujet de la thèse : Contribution à l'étude du déséquilibre
thermique nocturne dans l'ionosphère

soutenue le : 9 Décembre 1974 devant la Commission composée de :

M. DELLOUE	Jean	Président
M. BAUER	Pierre	examineur
M. KOCKARTS	Gaston	examineur
M. LEJEUNE	Gérard	examineur

Le Sondeur Ionosphérique à Diffusion Incohérente (S.I.D.I.) de Saint Santin-Nançay permet de connaître directement les températures ionique (T_i) et électronique (T_e) dans l'ionosphère. Les mesures effectuées de nuit dans la région F de l'ionosphère semblent conduire à une température ionique systématiquement supérieure à la température électronique. Notre but est d'évaluer et d'expliquer ce déséquilibre thermique. La différence entre les températures ionique et électronique ($T_i - T_e$) est faible (de l'ordre d'une vingtaine de degrés), il est donc nécessaire de vérifier que cette différence ne provient pas des erreurs de mesures ; ceci sera établi dans le Chapitre I. Dans le Chapitre II, nous essayerons principalement, en étudiant l'équation de conservation de l'énergie des ions de situer la température des neutres par rapport à celle des ions. Nous pourrions ensuite aborder le bilan énergétique des électrons et introduire diverses hypothèses en vue d'expliquer le déséquilibre thermique nocturne ions-électrons, les différentes sources et puits d'énergie pour les électrons seront calculées à partir des données des années 1971 et 1972 et analysées dans le Chapitre IV.

Ce dernier chapitre nous permettra de vérifier si les hypothèses faites sont raisonnables et si cette différence entre les température ionique et électronique correspond à un phénomène géophysique.

THESE

présentée
par
Jean-Paul CORNEC

pour l'obtention
du Doctorat 3^e cycle

Spécialité : Physique

Mention : Géophysique

LES CHAMPS ELECTRIQUES IONOSPHERIQUES EN MOYENNES LATITUDES

Soutenue le 14 janvier 1975 devant la Commission d'Examen
composée de

M. QUEMADA	Président
M. TESTUD	Examineur
M. RISHBETH	Examineur

Nous nous proposons donc dans un premier chapitre de rassembler et d'étudier les connaissances actuelles, tant théoriques qu'expérimentales sur les champs électrostatiques dans l'environnement terrestre.

Le second chapitre, traitera du mouvement qu'acquièrent les ions dans l'ionosphère sous l'action conjuguée des différentes forces présentes. Nous verrons alors que les champs électriques ne peuvent être déduits directement des mesures du sondeur que dans la région F2, entre 160 et 500 Km, où il est très improbable qu'ils se soient formés. Nous serons donc amenés à étudier la transmission de ces champs électriques depuis la région où ils ont été engendrés (basse ionosphère ou magnétosphère) jusqu'à la région F2. Cela fera l'objet du troisième chapitre où nous ferons une étude critique des travaux antérieurs.

THESE

Présentée
pour l'obtention
du

DIPLOME DE DOCTEUR DE 3^e CYCLE

à

L'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE
Paris 6

Spécialité : Physique
Mention : Géophysique externe

Par

Catherine SENIOR

LES CONDUCTIVITES IONOSPHERIQUES ET LEUR RÔLE DANS LA CONVECTION MAGNETOSPHERIQUE : UNE ETUDE EXPERIMENTALE ET THEORIQUE

Soutenue le 13 octobre 1980 devant la Commission composée de :

MM. J. DELLOUE

P. BAUER

J.J. BERTHELIER

M. BLANC

R. GENDRIN

Président

Examineur

Examineur

Examineur

Examineur

...

Le but de ce travail est d'étudier les conductivités de la couche conductrice de l'ionosphère (régions E et F₁ entre 90 et 170 km environ) et leur rôle dans ce circuit électrique.

...

Un des objectifs de ce travail était donc d'améliorer la description expérimentale des conductivités ionosphériques en élaborant un modèle saisonnier en moyenne latitude, à Saint-Santin, en fonction de l'angle zénithal solaire, et en mettant en évidence, sur des études de cas à Chatanika, leurs variations latitudinales et temporelles dues aux précipitations d'électrons de la magnétosphère. Cette étude expérimentale sera l'objet du chapitre 1.

...

Notre approche théorique du couplage ionosphère-magnétosphère se situe entre ces deux extrêmes : nous avons élaboré, dans le chapitre 2, un modèle analytique de la convection dépendant du temps qui tient compte des caractéristiques principales des conductivités : leur accroissement en zone aurorale dû aux précipitations d'électrons de la magnétosphère vers l'ionosphère des hautes latitudes, et leur dissymétrie jour/nuit due au rayonnement solaire. Ce modèle analytique nous a permis de mettre en évidence les effets propres de ces deux caractéristiques des conductivités sur le circuit électrique ionosphère-magnétosphère.

THESE

Présentée par

Dominique FONTAINE

Pour l'obtention du Diplôme de Docteur de 3e cycle

Spécialité : PHYSIQUE

Mention : PHYSIQUE DES GAZ ET PLASMAS

ETUDE THEORIQUE DE LA MORPHOLOGIE ET DE LA DYNAMIQUE DES ZONES AURORALES DIFFUSES

Soutenue le 27 Avril 1981 devant la Commission composée de :

Monsieur J. DELLOUE	Président
Monsieur M. BLANC	Examinateur
Monsieur R. GENDRIN	Examinateur
Monsieur R. PELLAT	Examinateur
Madame A.M. POINTU	Examinateur
Monsieur J.A. SAUVAUD	Examinateur

Le vent solaire impose à la magnétosphère un champ électrique de convection dirigé globalement de l'aube vers le crépuscule qui joue le rôle de générateur dans le circuit électrique constitué par les courants circulant dans la magnétosphère, l'ionosphère et le long des lignes de force du champ magnétique.

En particulier, ce champ électrique de convection est responsable du mouvement du plasma chaud magnétosphérique de la queue géomagnétique vers la terre. Des interactions ondes-particules, qui se développent au cours de ce transport vers la terre, provoquent la collision de particules chaudes magnétosphériques avec la haute atmosphère terrestre : c'est le phénomène de précipitation qui est à l'origine de spectaculaires émissions lumineuses connues sous le nom d'aurores.

La modification des propriétés électriques de l'ionosphère aurorale, qui résulte de ces précipitations, induit une variation du champ électrique de convection et par suite de la circulation générale des courants. La description auto-cohérente du phénomène de convection nécessite donc une modélisation de la morphologie et de la dynamique des précipitations aurorales.

Les observations mettent en évidence un "ovale auroral", ceinture d'aurores à tous les temps locaux et située statistiquement entre 60° et 75° de latitude au niveau ionosphérique. La bordure nord de l'ovale est souvent marquée par une série d'arcs étroits et d'intensité lumineuse très variable qu'on appelle aurores discrètes. Une large bande uniformément lumineuse, caractéristique d'une aurore diffuse, couvre la majeure partie de l'ovale auroral et détermine son bord équatorial. Les électrons de 100 eV à 10 keV sont les principaux responsables des aurores diffuses.

Ce travail propose une modélisation de la morphologie et de la dynamique des zones aurorales de précipitation électronique diffuse et compare les résultats théoriques avec les observations.

On distinguera trois parties. Dans la partie A, nous présentons quelques observations d'aurores et nous décrivons les mécanismes de précipitation et les instabilités de plasma susceptibles d'engendrer des interactions ondes-particules. La partie B développe un traitement simplifié des équations de transport des électrons de

100 eV à 10 keV, rendant compte du couplage des phénomènes de convection et de précipitation, et permettant de simuler le transport et les précipitations électroniques. Ce modèle permet l'analyse théorique :

- de la morphologie des précipitations électroniques diffuses au sommet de l'ionosphère,
- du déplacement de la zone aurorale diffuse en fonction des variations du potentiel magnétosphérique et de l'activité magnétique.

Nous comparons ces résultats théoriques avec les caractéristiques observées de la zone aurorale diffuse. Enfin dans la partie C, nous présentons, à titre d'exemple, une expérience réalisée à l'aide du Sondeur à Diffusion Incohérente de Chatanika (Alaska).

IV
COORDINATION

Preliminary comparisons of middle and low latitude Thomson Scatter Data

by P. WALDTEUFEL,

C. N. E. T., R. S. R., 92 - Issy-les-Moulineaux.

and J. P. McCLURE,

Aeronomy Laboratory ESSA Research Laboratories,
Boulder, Colorado U.S.A. 80302.

RÉSUMÉ. — Des observations simultanées par diffusion de Thomson ont été effectuées à 45° N (Saint-Santin-Nançay, France) et à 12° S (Jicamarca, Pérou), pendant 4 périodes situées entre juillet et octobre 1967. Dans des conditions géomagnétiques calmes, les densités et les températures électroniques (N_e et T_e) mesurées de jour sont en bon accord, pour des altitudes allant de 200 à 275 km. Cependant, pour un jour magnétiquement agité, on a pu observer de fortes oscillations sur les données de Saint-Santin, tandis que les valeurs de N_e et T_e obtenues à Jicamarca se situaient aux environs de la moyenne des valeurs obtenues en France.

En ce qui concerne les températures exosphériques (T_n), qui ont été estimées à partir des mesures de températures ioniques, on constate un bon accord d'ensemble. Cependant l'allure des variations diurnes de T_n aux deux stations est différente, ce qui est confirmé par d'autres observations non simultanées. L'effet saisonnier et celui de l'activité magnétique sont plus faibles au voisinage de l'équateur qu'aux latitudes moyennes. On a tenté de présenter des cartes mondiales de la température exosphérique pour les solstices et les équinoxes ; il apparaît que le rapport du maximum et du minimum diurnes est sensiblement plus élevé, surtout aux solstices, que ne le prévoient les modèles.

ABSTRACT. — Simultaneous Thomson scatter measurements were made at 45° North (Saint-Santin-Nançay, France) and at 12° South (Jicamarca, Peru) on 4 days between July and October, 1967. Daytime electron density and temperature (N_e and T_e) values agree at altitudes of 250-275 km, under quiet conditions. However, on one magnetically disturbed day, the Saint-Santin N_e and T_e values exhibited strong, oppositely phased, oscillations, while the Jicamarca values were near the mean of the French values.

Exospheric temperature (T_n) values, estimated from the measured ion temperatures, agreed on all the days examined. However, the detailed shapes of the diurnal variations of T_n were different, consistent with other non-simultaneous data. Seasonal and magnetic activity effects on the diurnal variation of T_n are in general smaller in Peru than in France. Tentative quiet-day global temperature contours for solstice and equinox conditions are presented. The global solstice diurnal temperature ratio is larger than the equinox ratio, and both are larger than model atmosphere values.

WALDTEUFEL P. - On the analysis of high altitude incoherent
scatter data - AO 30 - Note Tech. ext. 31p + annexes . Arecibo Obs.,
Arecibo, Puerto Rico . May 1971 .

Measurements of the Neutral Temperature at Arecibo

P. WALDTEUFEL AND L. COGGER

Arecibo Observatory, Arecibo, Puerto Rico 00612

Ionospheric observations made at Arecibo from 1965 to 1970 are examined to derive the experimental behavior of the neutral temperature. The systematic variations of this parameter, as well as the results of comparisons with simultaneous middle latitude measurements, help to strengthen and better define the existing description of the neutral atmosphere from incoherent scatter observations. Implications of the new results concerning the lower thermosphere are discussed.

Exospheric Temperatures from Rockets and Incoherent-Scatter Measurements

P. WALDTEUFEL¹

Arecibo Observatory, Arecibo, Puerto Rico

¹Present address: Centre National d'Etudes
Télécommunications, 92, Issy les Moulineaux,
France.

Ann. Géophys., t. 27, fasc. 2, 1971, p. 167 à 173.

Semi-empirical Relationships between Electron temperature and density in the ionospheric F-Region

by P. WALDTEUFEL,

Arecibo Observatory,

Arecibo, Puerto Rico.*

RÉSUMÉ. — *Une étude antérieure des relations numériques qui existent dans l'ionosphère entre la température et la densité électroniques est appliquée à un grand nombre de nouvelles observations. L'interprétation physique de telles relations est discutée en détail.*

ABSTRACT. — *A previous study of numerical relationships between the electron density and temperature in the ionosphere is extended to a large quantity of new data. The physical interpretation of such laws is discussed in some detail.*

* Now at CNET, 92 Issy-les-Moulineaux, France

Effects of conjugate point sunrise in the topside ionosphere deduced from Alouette 1 records

A. WHARTON, * C. TAIEB and P. BAUER

CNET, 3, Avenue de la République, 92-Issy-Les-Moulineaux, France

(Received 19 January, 1971)

Abstract—Using electron density scale heights deduced from Alouette 1 data for the three winters 1962–1964, an attempt has been made to detect a conjugate point heating effect in the height range 500–900 km. Although the dominant feature of the data is the variation of the scale height with latitude, it is possible to observe increases due to conjugate photoelectrons heating. The observed increases are smaller and shorter than those expected on the basis of the temperature increases reported by other workers, as the curve for the variation of scale height with solar zenith angle at the conjugate point (χ_c) tends towards a maximum around $\chi_c = 98^\circ$. Theoretical calculations and practical results from the incoherent scatter facility at St Santin-Nancay indicate that vertical temperature gradients are responsible for these effects.

* Now back at Kingston University, Jamaica, West Indies.

SIMULTANEOUS *F*-REGION CONJUGATE POINT DAWN EFFECTS AT TWO MID-LATITUDE STATIONS

G. LEJEUNE

Centre National d'Études des Télécommunications, 3 Avenue de la République,
92 Issy-les-Moulineaux, France

and

G. N. TAYLOR

Royal Radar Establishment, Malvern, Worcs WR14 1LL, England

(Received 21 January 1972)

Abstract—Observations of *F*-region electron temperature (T_e) and concentration (N_e) made simultaneously by incoherent scatter radars at St. Santin (44.6°N, 2.2°E) and Malvern (52.1°N, 2.3°W) during a period covering conjugate point and local dawns on 29 January 1969 are presented. The rate of rise and the maximum value of T_e are greater at Malvern than at St. Santin, and a series of changes in N_e and $h_m F2$, the same for both stations, is clearly initiated by the onset of conjugate point heating. It is shown that the initial effects are due to a heat flux from the exosphere, approximately the same at both stations. A simple model is developed, following the arguments of a previous paper (Bauer *et al.*, 1970), that shows that the temperature differences are due to differences in local N_e . A discussion of the changes in N_e and $h_m F2$ shows that an enhanced diffusion rate and a plasma flux from the exosphere are both dominant at times, but that enhancement of the electron loss rate is probably not important.

Planet. Space Sci. 1972, Vol. 20, pp. 1287 to 1297. Pergamon Press. Printed in Northern Ireland

MOLECULAR IONS IN THE F2 LAYER

H. RISHBETH

Radio and Space Research Station, Slough SL3 9JX, U.K.

P. BAUER

Centre National d'Etudes des Telecommunications,
92 Issy-les-Moulineaux, France

and

W. B. HANSON

University of Texas at Dallas, Box 30365, Dallas, Texas 75230, U.S.A.

(Received 13 March 1972)

Abstract—Data on ion concentrations at heights of 400–500 km, obtained by the OGO VI satellite, suggest that the O^+ and molecular ion concentrations are sometimes anticorrelated. To assist in explaining this phenomenon, a table of the chemical reactions most likely to control the molecular ion concentrations is drawn up, and its validity tested with the aid of data from rocket-borne mass spectrometers at heights of 220–400 km. The anticorrelation of O^+ and NO^+ ions by day is thought to be due to the importance of a reaction between N_2^+ ions and O atoms; the main source of N_2^+ above 300 km is probably charge-exchange between N_2 and $O^+(^1D)$, the latter being produced by photoionization. However, at night another source of NO^+ ions is required, which may be N^+ ions that are either stored in the magnetosphere or are produced from He^+ and N_2 . The scale heights of the molecular ion distributions are briefly discussed, and it is shown that a change in apparent scale height can occur at a level where two competing production or loss mechanisms are of comparable importance.

Comparison of T_e and T_i from Ogo 6 and from Various Incoherent Scatter Radars

J. P. McCLURE,¹ W. B. HANSON,¹ A. F. NAGY,² R. J. CICERONE,²
 L. H. BRACE,³ M. BARON,⁴ P. BAUER,⁵ H. C. CARLSON,⁶
 J. V. EVANS,⁷ G. N. TAYLOR,⁸ AND R. F. WOODMAN⁹

Langmuir probe and retarding potential analyzer (RPA) data on the electron and ion temperatures T_e and T_i obtained from Ogo 6 are compared with T_e and T_i values obtained from the incoherent scatter network. The satellite to radar temperature ratio $T_{e,s}/T_{e,r}$ is 1.15 on the average for these comparisons. This discrepancy is larger than the uncertainties usually placed on the probe and radar T_e values. It is, however, a smaller discrepancy than that found in many previous comparisons of this type. Our data do not appear to give any insight into the cause of the discrepancy. The ion temperature ratio $T_{i,s}/T_{i,r}$ is approximately 1.0, independent of the particular radar examined. The internal accuracy of the RPA T_i data set was $\pm 5\%$ or better. Thus this comparison serves as an intercalibration of the incoherent scatter network. Since no significant systematic errors (i.e., errors larger than the statistical errors) exist between the RPA and radar T_i data, it appears very unlikely that any significant systematic errors exist in either data set. It should be noted, however, that the comparison data were limited to mainly nighttime hours and thus to relatively low temperatures and were heavily weighted to altitudes between 400 and 600 km, where suspected sources of systematic error are minimum.

¹University of Texas at Dallas, Dallas, Texas 75230.

²University of Michigan, Ann Arbor, Michigan 48105.

³Aeronomy Branch, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771.

⁴Stanford Research Institute, Menlo Park, California 94025.

⁵CNET/RSR, Issy-les-Moulineaux, Seine, France.

⁶Arecibo Observatory, Arecibo, Puerto Rico 00613.

⁷Lincoln Laboratory, Lexington, Massachusetts 02173.

⁸RRE, Malvern, Worcestershire, England.

⁹Jicamarca Radar Observatory, Lima, Peru.

A comparison between meteoric radar and incoherent scatter measurements in the lower thermosphere

R. Bernard

Centre National d'Etudes des Telecommunications, 92131 Issy-les-Moulineaux, France

(Received October 23, 1973.)

The main characteristics of the atmospheric tides observed at St. Santin and Garchy are examined and compared. It is found that the semidiurnal tide is very variable in the meteoric range (80 to 100 km) and more regular above. Some direct comparisons, corresponding to simultaneous measurements, show the same features and exhibit a good agreement in the region where the two types of measurements overlap.

I N S T I T U T D ' A E R O N O M I E S P A T I A L E D E B E L G I Q U E

3 - Avenue Circulaire

B - 1180 BRUXELLES

AERONOMICA ACTA

A - N° 138 - 1974

North-south asymmetries in the thermosphere during
the last maximum of the solar cycle

by

F. BARLIER, P. BAUER, C. JAECK, G. THUILLIER
and G. KOCKARTS

B E L G I S C H I N S T I T U U T V O O R R U I M T E - A E R O N O M I E

3 - Ringlaan

B - 1180 BRUSSEL

Comparison of Atomic Oxygen Measurements by Incoherent Scatter and Satellite-Borne Mass Spectrometer Techniques

A. E. HEDIN

Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771

D. ALCAYDE

*Centre d'Étude Spatiale des Rayonnements
Laboratoire Associé au Centre Nationale de la Recherche Scientifique, Toulouse, France*

Atomic oxygen densities determined by the incoherent scatter technique are compared to densities deduced from satellite-borne mass spectrometer measurements and are found to agree within experimental error. The diurnal variations inferred from the incoherent scatter measurements do show, however, some departure from diurnal variations found by modeling the mass spectrometer results. Some implications of these departures are briefly discussed.

MEDIUM SCALE GRAVITY WAVES IN THE IONOSPHERIC *F*-REGION AND THEIR POSSIBLE ORIGIN IN WEATHER DISTURBANCES

F. BERTIN and J. TESTUD

Centre National D'Etudes des Telecommunications, 38-40 Rue du General Leclerc,
92 Issy-les-Moulineaux, France

and

L. KERSLEY

Department of Physics, University College of Wales, Aberystwyth, Wales

(Received in final form 1 July 1974)

Abstract—This study results from a coordinated experiment involving ionospheric observations of Faraday rotation between a geostationary satellite and three ground based receivers at Aberystwyth and Bournemouth in the U.K. and Lannion, France, together with incoherent scatter observations at St. Santin-Nancay, France.

Quasi-periodic variations of electron content observed simultaneously at the three stations are interpreted in terms of medium scale gravity waves travelling in the ionospheric *F*-region. Characteristics of these waves are derived by means of a cross-correlation technique.

A reverse ray tracing computation, using data on the neutral atmosphere and neutral wind stratification from the incoherent scatter observations, has been used in an attempt to locate the sources of these waves.

The results show that some of the waves are almost certainly generated above 100 km altitude, probably by auroral phenomena, while the others could be produced near ground level by meteorological sources. The reverse ray tracing indicates that the latter sources are in general located in a geographic area in the vicinity of a weather disturbance. A production mechanism for these waves is proposed involving ageostrophic perturbations of the neutral wind in a jet stream.

Behaviour of Atomic Oxygen at 200 km deduced from Satellite Drag Data and OGO 6 Temperatures: Comparison with Values derived from Incoherent Scatter Data at 45°N

C. BERGER*, D. ALCAYDÉ* and F. BARLIER*

**Centre d'Etudes et de Recherches Géodynamiques et Astronomiques, Grasse, France*

**Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements, Toulouse, France*

Abstract. By assuming diffusive equilibrium, the concentration of neutral atomic oxygen at low altitude (200 km) can be computed from the total density at 480 km and the exospheric temperature. In the present study, the exospheric temperature is deduced from 6300 Å interferometer measurements made on board OGO 6 and from incoherent scatter data. Several characteristics of the behaviour of atomic oxygen at 200 km can be deduced between 45°N and 45°S, especially diurnal, seasonal and annual variations. Recent results from incoherent scatter data at 45°N are also given. A comparison is made between the two kinds of results, and a satisfactory agreement can be shown in general.

COSPAR . Space Research . vol.XVII . 1976.

Comparison of exospheric temperatures at Millstone Hill and St-Santin*

J.E. SALAH, J.V. EVANS

Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology
Lexington, Massachusetts 02173

D. ALCAYDÉ

Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements
31029 Toulouse Cedex
FRANCE

P. BAUER

Centre National d'Etude des Telecommunications
Issy les Moulineaux
Seine, FRANCE

RESUME. — L'ensemble des températures exosphériques déduites des observations ionosphériques par diffusion incohérente a été assemblé aux observations de concentration d'azote moléculaire par spectromètre de masse embarqué sur satellite pour construire un modèle de thermosphère. Ceci a fourni l'occasion d'entreprendre une comparaison détaillée des résultats obtenus par les deux sondeurs à moyenne latitude, St Santin (44.6°N) et Millstone Hill (42.6°N). Les observations simultanées révèlent un bon accord général et une forte corrélation est trouvée entre les deux jeux de données. Cependant de nombreux désaccords existent dans les deux modèles, établis séparément, qui représentent les observations. En particulier l'amplitude de la variation annuelle de la température exosphérique à Millstone ($\sim \pm 11\%$) est deux fois plus importante qu'à St Santin ($\sim \pm 5\%$). Une nouvelle analyse des données utilisant un modèle analytique commun conduit à des amplitudes de $\pm 9.5\%$ (Millstone) et $\pm 7.3\%$ (St Santin). On montre que les écarts résiduels peuvent être expliqués par les différences dans les méthodes de réduction des données ionosphériques pour obtenir T_m aux deux stations et par les jours d'observation sélectionnés. Un modèle révisé combinant les données des deux stations est présenté. Une étude du comportement diurne a montré que les amplitudes des composants diurnes et semidiurnes présentent une dépendance avec le cycle solaire. Sur la gamme du flux décimétrique $100 \leq F_{10.7} \leq 200$ l'amplitude diurne représente approximativement $\pm 10\%$ de la température exosphérique moyenne, tandis que l'amplitude de la composante semi-diurne est de l'ordre de $\pm 3\%$.

ABSTRACT. — All available exospheric temperatures derived from incoherent scatter radar measurements have been collected for the development of a model of the thermosphere in combination with satellite mass spectrometer measurements of N_2 density. This provided an opportunity to perform a detailed comparison of the results obtained by the two radars at midlatitude: St. Santin (44.6°N) and Millstone Hill (42.6°N). Results of simultaneous observations reveal good agreement in general, and a high degree of correlation is found between these two sets of data. However, several discrepancies exist in the models developed earlier to represent the measurements. In particular a value for the amplitude of the annual variation of the mean exospheric temperature at Millstone has been reported ($\sim \pm 11\%$) that is twice that at St. Santin ($\sim \pm 5\%$). A reanalysis of the two data sets employing a common analytical model has yielded values of $\pm 9.5\%$ (Millstone) and $\pm 7.3\%$ (St. Santin). It is shown that the remaining difference can be accounted for by the differences in the data reduction methods employed to obtain T_m at the two stations, and in the actual days sampled in the data sets. A revised model combining both sets of data is presented. A study of the diurnal behaviour has shown that the amplitudes of the diurnal and semidiurnal components exhibit a solar cycle dependence. Over the range $100 \leq F_{10.7} \leq 200$ the diurnal amplitude is found to remain close to $\pm 10\%$ of the near exospheric temperature while the semidiurnal component remains of the order of $\pm 3\%$.

(*) This work was sponsored by the National Science Foundation under grant GA-42230.

FIELD ALIGNED CURRENTS MEASURED BY INCOHERENT SCATTER ON BOARD
THE SPACELAB

M. BLANC and P. BAUER
CNET/CRPE, 3 avenue de la République
92131 Issy-les-Moulineaux, France.

and

G. LEJEUNE
CEPHAG, Campus Universitaire de Saint Martin d'Hères
38040 Grenoble, France

The incoherent scatter technique has in recent years played an important role in the study of the ionosphere and the thermosphere. Used as a remote sensing experiment, this technique has made possible over the whole range of ionospheric heights, and at several very different latitudes from the equator to the auroral zone, the study of daily and seasonal variations of the bulk parameters of the neutral and ionized atmospheres. Used on board the Spacelab, with the corresponding energy and size limitations, an incoherent scatter radar cannot cover similar ranges in space and times. Our purpose is to show that, used in a different way, aiming at a quasi-in-situ measurement (only one or two kilometers away from the spacecraft), it could permit with a very satisfactory accuracy the mapping of a parameter which has not been studied in ground-based experiments : the bulk velocity of thermal electrons. Associated with a simultaneous measurement of bulk ion velocities, this gives access to the study of field-aligned charge transports, which is of strong geophysical interest at all latitudes.

Planet. Space Sci., Vol. 24, pp. 479 to 485. Pergamon Press, 1976. Printed in Northern Ireland

FIELD-ALIGNED ELECTRIC CURRENTS AND THEIR MEASUREMENT BY THE INCOHERENT BACKSCATTER TECHNIQUE

P. BAUER* and E. D. COLE†

NASA/Goddard Space Flight Center Laboratory for Planetary Atmospheres, Greenbelt, MD 20771, U.S.A.

and

G. LEJEUNE

Cephag/Domaine Universitaire, 38400 Saint Martin D'Heres, France

(Received in final form 20 November 1975)

Abstract—Field-aligned electric currents flow in the magnetosphere in many situations of fundamental geophysical interest. It is shown here that the incoherent backscatter technique can be used to measure these currents when the plasma line can be observed. To our knowledge this has not been proposed before. The technique provides a ground-based means of measuring these currents which complements the rocket and satellite ones.

* NAS/NRC Senior Resident Research Associate on leave from CNET/CRPE, 92131 Issy les Moulineaux, France.

† NAS/NRC Senior Resident Research Associate on leave from La Trobe University, Bundoora, Victoria, Australia 3083.

Electron and Ion Temperatures—A Comparison of Ground-Based Incoherent Scatter and AE-C Satellite Measurements

R. F. BENSON,¹ P. BAUER,² L. H. BRACE,¹ H. C. CARLSON,³ J. HAGEN,⁴ W. B. HANSON,⁵
W. R. HOEGY,¹ M. R. TORR,⁶ R. H. WAND,⁶ AND V. B. WICKWAR⁷

The Atmosphere Explorer-C satellite (AE-C) is uniquely suited for correlative studies with ground-based stations because its on-board propulsion system enables a desired ground station overflight condition to be maintained for a period of several weeks. It also provides the first low-altitude (below 260 km) comparison of satellite and incoherent scatter electron and ion temperatures. More than 40 comparisons of remote and in situ measurements were made by using data from AE-C and four incoherent scatter stations (Arecibo, Chatanika, Millstone Hill, and St. Santin). The results indicate very good agreement between satellite and ground measurements of the ion temperature, the average satellite retarding potential analyzer temperatures differing from the average incoherent scatter temperatures by -2% at St. Santin, $+3\%$ at Millstone Hill, and $+2\%$ at Arecibo. The electron temperatures also agree well, the average satellite temperatures exceeding the average incoherent scatter temperatures by 3% at St. Santin, 2% at Arecibo, and 11% at Millstone Hill. Several temperature comparisons were made between AE-C and Chatanika. In spite of the highly variable ionosphere often encountered at this high-latitude location, good agreement was obtained between the in situ and remote measurements of electron and ion temperatures. Longitudinal variations are found to be very important in the comparisons of electron temperature in some locations. The agreement between the electron temperatures is considerably better than that found in some earlier comparisons involving satellites at higher altitudes.

¹ Laboratory for Planetary Atmospheres, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771.

² National Academy of Sciences National Research Council.

³ University of Texas at Dallas, Richardson, Texas 75080.

⁴ Arecibo Observatory, National Astronomy and Ionosphere Center, Arecibo, Puerto Rico 00612.

⁵ Space Physics Research Laboratory, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan 48105; National Institute for Telecommunications Research of CSIR, Johannesburg, South Africa; National Astronomy and Ionosphere Center, Cornell University, Ithaca, New York 14853.

⁶ Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Lexington, Massachusetts 02173.

⁷ Stanford Research Institute, Menlo Park, California 94025.

A Global Thermospheric Model Based on Mass Spectrometer and Incoherent Scatter Data

MSIS 1. N_2 Density and Temperature

A. E. HEDIN,¹ J. E. SALAH,² J. V. EVANS,³ C. A. REBER,¹ G. P. NEWTON,¹ N. W. SPENCER,¹
D. C. KAYSER,³ D. ALCAYDÉ,⁴ P. BAUER,⁵ L. COGGER,⁶ AND J. P. MCCLURE⁷

Measurements of neutral N_2 density from mass spectrometers on five satellites (AE-B, Ogo 6, San Marco 3, Aeos A, and AE-C) and neutral temperatures inferred from incoherent scatter measurements at four ground stations (Arecibo, Jicamarca, Millstone Hill, and St. Santin) have been combined to produce a model of thermospheric neutral temperatures and N_2 densities similar to the Ogo 6 empirical model. The satellite- and ground-based measurements provide unique and complementary information on the structure of the thermosphere. Incoherent scatter data have good local time coverage at the station locations and provide data for studies of long-term trends. Measurements from satellites provide information at different altitudes, latitudes, longitudes, solar activities, and seasons. The overall data set covers the time period from the end of 1965 to mid-1975. The global average temperature from the new model for an $F_{10.7}$ of 150 is 1041°K or 56°K lower than that from the Ogo 6 model. The annual temperature variation is about two-thirds that of the Ogo 6 model, but variations in lower bound density (inferred from low-altitude AE-C data) and lower bound temperature (from incoherent scatter data) result in annual density variations at high altitude very similar to those in the Ogo 6 model. Diurnal and semidiurnal variations in lower bound density and temperature gradient parameters are also introduced. Model diurnal exospheric temperature variations reflect the observed changes with season seen in incoherent scatter measurements. Data used in the model cover a wide range of solar activities (mean $F_{10.7}$ of 75–180), and the annual and diurnal temperature amplitudes are found to increase with solar activity at twice the rate of the mean temperature. The model fits moderate magnetic activity better than the Ogo 6 model but does not include observed longitude variations. The overall good agreement of the individual data sets with the model confirms the basic consistency of the various measurements taken in different time periods.

¹ Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771.

² Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Lexington, Massachusetts 02173.

³ School of Physics and Astronomy, University of Minnesota, Minneapolis, Minnesota 55455.

⁴ Centre d'Etudes Spatiales des Rayonnements, 31029 Toulouse Cedex, France.

⁵ Centre de Recherches en Physique de l'Environnement, 92131 Issy-les-Moulineaux, France.

⁶ University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.

⁷ University of Texas at Dallas, Richardson, Texas 75080.

Copyright © 1977 by the American Geophysical Union.

Paper number 6A0972.

Observations of Neutral Composition and Related Ionospheric Variations During a Magnetic Storm in February 1974

A. E. HEDIN,¹ P. BAUER,² H. G. MAYR,¹ G. R. CARIGNAN,³ L. H. BRACE,¹
H. C. BRINTON,¹ A. D. PARKS,⁴ AND D. T. PELZ¹

The neutral atmosphere composition experiment on Atmosphere Explorer C measured N₂, O, Ar, and He densities during a magnetic storm in February 1974 at altitudes down to about 160 km. At latitudes above 45°N, N₂ and Ar densities generally increase during the storm, while He and O densities decrease. Below 45°N all densities tend to increase during the storm. The density increases at perigee indicate that density or temperature profile changes are taking place below 160 km. The return to prestorm conditions is very slow, demonstrating the integrating effect of the atmospheric response. A recent theoretical model incorporating thermospheric circulation and diffusion effects reproduces the longitudinally averaged data including latitude trends and the asymmetry about the storm maximum. Comparison with the mass spectrometer and incoherent scatter empirical model shows qualitative agreement with latitude trends but not with storm asymmetry, while the earlier J71 model based on total mass density is not in agreement with observed latitudinal trends. No significant correlation is found with the short-term variations of the *ap* index. At any fixed altitude and for latitudes above 45°N (perigee) the density variations are closely correlated with invariant (or magnetic) latitude, although invariant latitude alone is not adequate to order the data completely. A close correlation is found between in situ O/N₂ measurements and in situ and ground-based ionosonde measurements of electron density.

¹NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771.

²Centre de Recherches en Physique de l'Environnement, 92131 Issy-les-Moulineaux, France.

³Space Physics Research Laboratory, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan 48105.

⁴Computer Sciences Corporation, Silver Spring, Maryland 20910. (Now at General Electric Company, Lorton, Virginia 22079.)

Comparison of simultaneous tidal observations by incoherent scatter radars *

J.E. SALAH, R.H. WAND (**)

Massachusetts Institute of Technology, Lincoln Laboratory
Lexington, Massachusetts, U.S.A.

R. BERNARD

Centre National d'Etudes des Télécommunications
Issy-les-Moulineaux, France

RESUME. – On observe un bon accord sur les paramètres moyens de la marée semi-diurne observée sur la température par les sondeurs à diffusion incohérente de St-Santin, France (44.6°N) et de Millstone Hill, Massachusetts (42.6°N). A Arecibo, Porto-Rico (18°N) on observe des amplitudes et des vitesses de phases verticales analogues, mais, en moyenne, l'heure du maximum est déphasée de 3 h par rapport aux moyennes latitudes. Une grande variabilité de l'amplitude et de la phase est observée au cours des différentes périodes d'observations dans chaque station. Les résultats de plusieurs séries de mesures coordonnées depuis 1972 sont présentés.

Une bonne corrélation est trouvée entre les deux stations de moyenne latitude, sauf en hiver. Les observations à Arecibo sont par contre peu corrélées avec celles des moyennes latitudes. Ceci montre l'importance d'effets locaux sur la structure des marées dans la basse thermosphère.

ABSTRACT. – Incoherent scatter radar observations of semi-diurnal tidal effects in the temperature of the mid-latitude lower thermosphere at St. Santin, France (44.6°N) and Millstone Hill, Massachusetts (42.6°N) have been found to be in excellent agreement, on the average. At Arecibo, Puerto Rico (18°N), similar amplitudes and phase velocities are observed, but on the average, the times of maximum are about three hours out of phase with the mid-latitude results. At each station, a significant variability in amplitude and phase is found from one observing period to another. Results from several series of simultaneous observations gathered using the three radars since 1972 are presented.

Good correlation is found between the two mid-latitude stations in summer but not in winter. Simultaneous observations at Arecibo indicate little correlation with those at mid-latitude. The results demonstrate the influence of local effects on the tidal structure of the lower thermosphere.

(**) This work was sponsored by the National Science Foundation under Grant GA-42230.

Contributed Paper presented at the Interdisciplinary Symposium on "Tidal interactions, including Earth tide", held during the XVI IUGG General Assembly, Grenoble August 25, September 6 1975.

F-region temperatures at Malvern and S. Santin

P. H. McPHERSON

SRC, Appleton Laboratory, Ditton Park, Slough, SL3 9JX, U.K.

and

W. L. OLIVER*

CNET/CRPE/ETE, 92131 Issy-les-Moulineaux, France

(Received 8 November 1976)

Abstract—The incoherent scatter technique has been used to measure ionospheric temperatures above S. Santin, France since 1966 and above Malvern, U.K. between 1968 and 1975. Whereas the French data have all been obtained with a C.W. radar system, observations at Malvern were made with a monostatic pulsed radar until 1972 and mainly with a multistatic C.W. radar from 1971.

In this paper we compare simultaneous C.W. data from Malvern and S. Santin on a diurnal and seasonal basis, finding overall similarity but considerable difference in detail. The seasonal variation of the daytime mean electron temperature is compared with measurements at Millstone Hill and found to exhibit similar features. Nighttime mean temperatures at Malvern and S. Santin show a distinct semi-annual variation with maximum temperatures near each equinox. This is quite different from the nighttime variation at Millstone Hill and is explained in terms of magnetic conjugate point geometry. The mean difference between daytime temperatures at Malvern and S. Santin is not related to magnetic disturbance, but a strong correlation exists between ion temperature at each station and the solar 10.7 cm flux.

* Present address: Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Lexington, Ma. 02173, U.S.A.

Compatibility of Seasonal Variations in Mid-Latitude Thermospheric Models at Solar Maximum and Low Geomagnetic Activity

D. ALCAYDÉ,¹ P. BAUER,² A. HEDIN,³ AND J. E. SALAH⁴

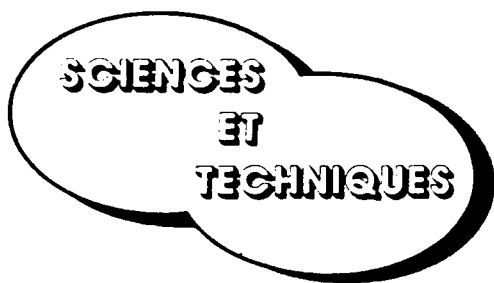
Satellite drag data, in situ mass spectrometer data, Fabry Perot interferometer data, and incoherent scatter data gathered above Saint-Santin (44.6°N, 2.2°E) have been used to produce models of the concentration of atomic oxygen and molecular nitrogen in the thermosphere and of the exospheric temperature. A model of exospheric temperature has also been obtained from incoherent scatter observations conducted above Millstone Hill (42.6°N, 71.5°W). These various models are compared for the location of the ground stations ($\approx 45^\circ\text{N}$). Good agreement is obtained for the annual variations of the atomic oxygen concentration at 400 km from the three techniques involved. The mean annual temperatures are within 20°K of each other for five of the six models involved. The remaining model, Ogo 6, gives a mean temperature which is 50°K larger. Four of the models are in good agreement concerning the annual temperature variation. However, the satellite drag model exhibits a smaller variation, and the Ogo 6 model exhibits a larger one. There is fair agreement between incoherent scatter models and mass spectrometer models for the N_2 concentrations at 400 km, but there is disagreement between these models and the satellite drag model. It is shown that most disagreements can be resolved by changing both the vertical temperature profile and the lower-thermosphere oxygen concentration in the direction indicated by previous incoherent scatter measurements.

¹ Centre d'Etudes Spatiales des Rayonnements, 31029 Toulouse Cedex, France.

² Centre de Recherches en Physique de l'Environnement, 92131 Issy-les-Moulineaux, France.

³ NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771.

⁴ Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Lexington, Massachusetts 02173.



JET-STREAM ET ONDES DE GRAVITÉ : UNE ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

F. Bertin
C.R.P.E.

J. Testud
C.N.E.T.

RESUME

La détection et l'analyse systématique des ondes de gravité observées dans la thermosphère (à 250 km d'altitude) a été faite pendant une campagne coordonnée de mesure qui eut lieu en Juillet 1974, pendant six jours consécutifs. La localisation de la source de chaque onde détectée a permis d'établir une corrélation entre leur position et l'activité météorologique. Le jet-stream apparaît être la source majeure des ondes observées. Un mécanisme de génération est proposé dans cet article.

The meteorological jet stream as a source of medium scale gravity waves in the thermosphere: an experimental study

F. BERTIN, J. TESTUD

CNET/CRPE, Issy Les Moulineaux, France

and

L. KERSLEY and P. R. REES*

University College of Wales, Aberystwyth, U.K.

(Received 18 July 1977; in revised form 10 October 1977)

Abstract—Results are reported of a co-ordinated experimental study of medium scale gravity waves involving use of a multistatic incoherent scatter system together with two networks of polarimeters monitoring transmissions from a geostationary satellite during a six-day period in July 1974. The latter observations give access to the horizontal propagation parameters of the waves while the former technique yields information on the vertical structure of both waves and the ambient atmosphere. A reverse ray tracing analysis, through the atmosphere, for each gravity wave is described and its validity and accuracy discussed in detail. For the majority of the waves the reverse group path can be followed down to tropopause level and comparison with meteorological data has shown that many of the possible source regions of the observed waves appear to lie in proximity to the jet stream, with some evidence to suggest a preference for the polar side of the jet. Other wave sources are found to be close to regions of convectively unstable cold polar air. Wave energetics are discussed together with possible generation mechanisms, the latter in the form of non-linear interaction of shear flow instabilities in the jet stream and penetrative convection.

An Empirical Model of Quiet-Day Ionospheric Electric Fields at Middle and Low Latitudes

A. D. RICHMOND¹, M. BLANC², B. A. EMERY³, R. H. WAND⁴, B. G. FEJER⁵,
R. F. WOODMAN⁶, S. GANGULY⁶, P. AMAYENC², R. A. BEHNKE⁶,
C. CALDERON⁷, AND J. V. EVANS⁴

Seasonally averaged quiet-day *F* region ionospheric $E \times B$ drift observations from the Millstone Hill, St. Santin, Arecibo, and Jicamarca incoherent scatter radars are used to produce a model of the middle- and low-latitude electric field for solar minimum conditions. A function similar to an electrostatic potential is fitted to the data to provide model values continuous in latitude, longitude, time of day, and day of the year. This model is intended to serve as a reference standard for applications requiring global knowledge of the mean electric field or requiring information at some location removed from the observing radars.

¹ NOAA Environmental Research Laboratories, Space Environment Laboratory, Boulder, Colorado 80303.

² Centre de Recherches en Physique de l'Environnement, Études par Télédétection de l'Environnement, 92131 Issy-les-Moulineaux, France.

³ National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado 80307.

⁴ Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Lexington, Massachusetts 02173.

⁵ School of Electrical Engineering, Cornell University, Ithaca, New York 14853.

⁶ Arecibo Observatory, Arecibo, Puerto Rico 00612.

⁷ Jicamarca Radar Observatory, Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.

Short paper

**On the latitude variation of magnetospheric electric fields
at mid-latitudes**

M. BLANC

C.R.P.E., Issy les Moulineaux, Paris, France

and

D. P. THOMAS and P. J. S. WILLIAMS

University College of Wales, Aberystwyth, Wales (Colege Prifysgol Cymru)

(Received 29 October 1979)

Abstract—Simultaneous measurements of the electric field observed in the ionosphere above Malvern and St. Santin confirm that on disturbed days magnetospheric electric fields penetrate equatorwards as far as $L = 1.8$. The observed attenuation of the field between $L = 2.6$ and $L = 1.8$ is steeper than expected for a simple uniform field in the equatorial plane and suggests that a shielding mechanism is still operating at these latitudes.

Electron Temperature Models for the F-Region & Topside Ionosphere

V K PANDEY & K K MAHAJAN

Radio Science Division, National Physical Laboratory, New Delhi 110012

Received 3 March 1981

All the available modelling techniques for the ionospheric electron temperatures are reviewed. Empirical models of electron temperature for heights between 200 and 1000 km for low and medium solar activity conditions are presented. The models are valid for low and midlatitudes and are based upon incoherent-scatter radar measurements of electron temperature (T_e) and electron concentration (N_e) at Arecibo and Millstone Hill. The models make use of the observed relationship between electron concentration and electron temperature in the F-region and between electron concentration and heat flux in the topside. Comparison of the model T_e values with actual measurement shows reasonable agreement. The IRI model, however, shows vast departures from actual measurements. This is expected to be so since IRI gives an average height and latitudinal behaviour of electron temperature and does not include effects of solar activity, season and day-to-day fluctuations.

Global Ionospheric Electric Field Measurements in April 1978

ROBERT HOLZWORTH,¹ JOHN WYGANT,² FORREST MOZER,² CESAR GONZALES,³ RAY GREENWALD,⁴
MICHEL BLANC,⁵ JIM VICKREY,⁶ AND ARLENE KISHI¹

This paper presents an introduction to a global campaign of simultaneous quasistatic electric field measurements from radars, balloons, and satellites at various places within the earth's environment for April 8-14, 1978. The 7-day time period encompassed both extended magnetically quiet times as well as two magnetic storms. These storms were related to SSC's that followed solar flares, one of which included a day-long solar proton event. The wide variety of instrumentation and associated operating modes involved in this campaign is described. Sample conjunctions between satellites and ionospheric measurements are shown that demonstrate that field line mapping is valid under certain circumstances. Some of the largest ionospheric electric fields ever reported with >100-km scale size occurred on April 11, and these events are discussed in detail.

¹ The Aerospace Corporation, El Segundo, California 90009.

² Space Sciences Laboratory and Physics Department, University of California, Berkeley, California 94720.

³ Arecibo Observatory, Arecibo, Puerto Rico 00612.

⁴ Applied Physics Laboratory, Johns Hopkins University, Laurel, Maryland 20810.

⁵ CNET/CRPE, Issy Les Moulineaux, France.

⁶ SRI International, Menlo Park, California 94025.

V

PROLONGEMENTS

Radio Science, Volume 9, Number 2, pages 113-119, February 1974

Some aspects of the design concept of a European incoherent scatter facility in the auroral zone (EISCAT project)

F. du Castel and J. Testud

Centre National d'Etudes des Télécommunications, 92131 Issy-les-Moulineaux, France

(Received September 18, 1973.)

EISCAT is a project presented by scientists from Finland, France, Germany, Norway, Sweden, and the United Kingdom for establishing a new incoherent scatter facility in the northern part of Scandinavia. The initial constraints and choices introduced by the scientific purpose of high latitude ionospheric studies are recalled and the general characteristics of the facility are described. The facility involves a multistatic system in the UHF range and a monostatic system in the VHF range. Tromsø, Norway, at a geomagnetic latitude corresponding to $L = 6.3$ at the ground, is the main axis of the measurements. Remote stations are located at Kiruna, Sweden, and Sodankyla, Finland. Some design concepts related to the capabilities of pulse-coded modulation of a powerful UHF transmitter and others related to new types of receiving antennas are described. The expected performance of the facility is evaluated and compared with desirable performance criteria and with those of other existing or proposed facilities.

Un sondeur ionosphérique européen en zone aurorale dans quatre ans ?

Alain GIRAUD
Ingénieur au CNET
Responsable du
projet EISCAT pour l'INAG

Avec le satellite GEOS de l'ESRO, qui doit être sur orbite dans trois ans, le projet EISCAT d'installation d'un sondeur à diffusion incohérente en zone aurorale vise à permettre aux géophysiciens européens d'effectuer une percée à un moment décisif des recherches sur l'environnement lointain de la Terre.

L'histoire de ce projet illustre bien la capacité, mais aussi les difficultés de l'Europe à relever le défi américain dans un domaine en évolution rapide où la compétition internationale devient le moteur de la coopération multilatérale.

Le Courrier du C.N.R.S., n° 13, 40-44, juillet 1974

UN «CHAT»
BIEN ADAPTE
AU
GRAND NORD

*Michel Blanc,
Michel Petit.*

LA RECHERCHE N° 90 JUIN 1978

LE PROJET EISCAT

- Le projet EISCAT, P. BAUER
- Principaux objectifs atteints grâce au sondeur de Chatanika (Alaska, $L = 5.5$), D. ALCAYDE
- Convection du plasma dans l'ionosphère et la Magnétosphère : circuit électrique et son schéma de résolution, M. BLANC
- Expériences spatiales et au sol associées à EISCAT, J.C. CERISIER
- Le Spectre de Diffusion Incohérente prospective pour Eiscat, G. LEJEUNE

SEMINAIRE DE PREPARATION
TOULOUSE 1976

Doc.de travail CRPE/1018 :

ETUDE DE L'IONOSPHERE PAR DIFFUSION INCOHERENTE DANS LA PERSPECTIVE DU PROJET EISCAT

Bauer, P.

Centre de Recherche en Physique de l'Environnement Terrestre et planétaire, Issy-les-Moulineaux, France.

Résumé — La diffusion incohérente des ondes électromagnétiques par les électrons libres de l'ionosphère permet de déterminer les principaux paramètres du plasma ionosphérique. Ce moyen d'étude, utilisé depuis 1965 pour sonder l'ionosphère à la verticale de Saint-Santin (Cantal), fait l'objet d'un ambitieux projet Européen (EISCAT) destiné à l'observation des phénomènes auroraux au-dessus de la Scandinavie.

Abstract — The Incoherent scattering of electromagnetic waves by the free electrons of the ionosphere allows to determine the main parameters of the ionospheric plasma. This type of investigations, in use since 1965 to study the ionosphere above Saint-Santin (Cantal), is being developed in an ambitious european project (EISCAT) aiming at the observation of auroral phenomena above Scandinavia.

CENTRE NATIONAL D'ETUDES
DES TELECOMMUNICATIONS
Centre PARIS 8

CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Secteur TOAE

CENTRE DE RECHERCHES EN PHYSIQUE DE
L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE ET PLANETAIRE

DOCUMENT DE TRAVAIL CRPE/1065

COURANTS ET CONDUCTIVITES EN ZONE AURORALE

par

Annick BERTHELIER

L.G.E.

4 avenue de Neptune
94100 St-Maur-des-Fossés

Christine MAZAUDIER

RPE/HMA

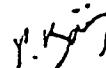
Echelon Issy
3 avenue de la République
92131 Issy-les-Moulineaux

Le Directeur Adjoint



I. REVAH

Le Responsable de l'Echelon
CRPE/Issy



P. BAUER

Octobre 1980

CENTRE NATIONAL D'ETUDES
DES TELECOMMUNICATIONS
Centre PARIS B

CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Secteur TOAE

**CENTRE DE RECHERCHES EN PHYSIQUE DE
L'ENVIRONNEMENT TERRESTRE ET PLANETAIRE**

NOTE TECHNIQUE CRPE/92

**DESCRIPTIONS AUTOCOHERENTES DE LA CONVECTION DU PLASMA
DANS LA MAGNETOSPHERE INTERNE ET L'IONOSPHERE**

par

M. BLANC & E. JAMIN

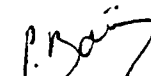
RPE/HMA
Echelon Issy
3 Avenue de la République
92131 Issy-les-Moulineaux

Le Directeur Adjoint



I. REVAH

Le Responsable de l'Echelon
CRPE/Issy


P. BAUER

Janvier 1981

STRUCTURE DES ARCS AURORAUX

M. BLANC et L. GIRARD

RESUME :

La formation des arcs auroraux résulte du couplage électrodynamique entre l'ionosphère et la magnétosphère. On présente une approche hydrodynamique qui en permet une description autocohérente ; la structure d'arcs apparaît par les non linéarités du système. Certaines hypothèses inhérentes au traitement fluide sont précisées lorsqu'elles semblent violées dans les arcs. En particulier, l'échelle de variation du phénomène, de l'ordre du gyrorayon ionique, nécessite de décrire les effets de rayon de Larmor fini sur les ions chauds ; de même, les mécanismes de transport parallèlement aux lignes de champ magnétique ne peuvent être pris en compte qu'à travers une description cinétique. On rappelle les différents mécanismes d'accélération des électrons auroraux : chocs électrostatiques où le contact entre des populations chaudes et froides se traduit par une discontinuité (écart à la neutralité), et l'effet de géométrie miroir du champ magnétique terrestre (quasi neutralité).

Actes du Séminaire d'Authon du Perche (EISCAT) publiés en sept. 1981

26-27 Novembre 1980

THESE

Présentée par

Jean Jacques PONTHEU

Pour l'obtention du Diplôme de Docteur de 3^e cycle

Spécialité : Physique

Mention : Géophysique Externe

LES SOURCES D'ENERGIE DE LA THERMOSPHERE EN REGION AURORALE: UNE ETUDE PAR DIFFUSION INCOHERENTE

Soutenue le 23 Octobre 1981 devant la Commission composée de :

M. J.DELLOUE	Président
M. D.ALCAYDE	Examineur
M. P.BAUER	Examineur
M. M.BLANC	Examineur
M. ^{me} M.L.DUBOIN	Examineur

MAGNETOSPHERIC CONVECTION EFFECTS AT MIDLATITUDES

I - Saint-Santin observations

by

Michel Blanc

**CNET/Centre de Recherches en Physique de l'Environnement
Terrestre et Planétaire, 38-40 rue du Général Leclerc,
92131 ISSY-LES-MOULINEAUX, FRANCE**

Accepted by JGR, April 1982

ABSTRACT

We use $E \times B$ data from the Saint-Santin incoherent scatter facility to study the behavior of midlatitude ionospheric electric fields during magnetic storms and substorms. To this end, we analyse the relation between departures of the Saint-Santin field from its quiet-day values and the simultaneous variations of parameters characterizing the state of magnetospheric convection: the I.M.F. B_z component, the auroral electrojet index, and the ring current inflation rate as deduced from time variations of the Dst index.

Midlatitude $E \times B$ drift disturbances, when they occur during substorms, are generally associated with a large southward value of B_z and with large values of the ring current inflation rate. They are also associated in several instances with an activation of the eastward electrojet in the afternoon and evening sectors. Large values of the drift disturbances are also observed during magnetic storms, but their relationship to the large-scale convection parameters monitored does not seem to be reducible to the simple real-time relationships found for the substorm cases. This suggests that an additional mechanism characterized by a longer time constant may be at work.

We calculate the average disturbance drifts for $K_p \geq 3$, and express them as a diurnal harmonic function of local time. There is no clear effect in the north-south drifts (east-west electric fields) but the east-west drifts (north-south electric fields) display large average disturbances. They are westward at all local times, maximize at 22.00 L.T. with a 75 m/s amplitude, but are very small in the 06.12 L.T. quadrant. A 34 m/s westward steady component, and a 26 m/s diurnal oscillation, are the two dominant terms of its harmonic content. This pattern is interpreted in the third companion paper.

MAGNETOSPHERIC CONVECTION EFFECTS AT MIDLATITUDES

II - A coordinated Chatanika/Saint-Santin study
of the April 10th to 14th, 1978, magnetic storm

by

Michel Blanc

CNET/Centre de Recherches en Physique de l'Environnement
Terrestre et Planétaire, 38-40 rue du Général Leclerc,
92131 ISSY-LES-MOULINEAUX, FRANCE

Denis Alcaydé

Centre d'Etudes Spatiales des Rayonnements,
9, avenue du Colonel Roche,
31029 TOULOUSE Cedex, FRANCE

and

John D. Kelly

Radio Physics Laboratory
SRI International
333 Ravenswood Ave
Menlo Park, CAL 94025, USA

Accepted by JGR, April 1982

ABSTRACT

We analyse simultaneous measurements by the incoherent scatter radars at Saint-Santin (45 degrees latitude) and Chatanika (65 degrees latitude) during a major magnetic storm in April 1978 to examine several disturbance mechanisms operating on the midlatitude ionosphere during periods of strong magnetospheric and auroral activity.

The first type of mechanism, the extension of magnetospheric convection electric fields to midlatitudes, is illustrated by two large localized departures of the $E \times B$ plasma drifts over Saint-Santin which appeared in coincidence with the two storm negative phases. In both cases they were associated with large electric fields in the afternoon sector, within the eastward electrojet region, over Chatanika. The first event can be very clearly interpreted as a global short term enhancement of magnetospheric convection electric fields, since simultaneous plasma flux intensifications were identified over the polar cap, in the afternoon eastward electrojet, and at 45 degrees latitude. The I.M.F. and ring current signatures of these two events confirm our previous findings : large southward values of B_z , and large values of the rate of energy injection into the ring current system, are associated with the extension of magnetospheric convection electric fields to midlatitudes. In addition, a marked equatorward shift of the auroral oval was observed during both events.

During the night of the first event, the midlatitude drift perturbation magnitudes remained moderate (~ 100 m/s) and did not seem to induce any significant ionospheric perturbation. The joint increase in ion and electron temperatures by 100 to 200 K above the quiet day reference level, which preserved the thermal equilibrium of the plasma, can be simply interpreted in terms of the storm-induced global heating of the thermospheric gas.

Conversely, on the night of the second event, when drift magnitudes reached several hundreds of m/s, large-amplitude fluctuations in the F layer height and density, and very large increases (by more than 500 K) in the ion and electron temperatures were observed. Whereas collisional heating can account for a large part of the ion temperature increase, an additional energy source, heating preferentially the electron gas, is needed to explain the maintenance of the electron temperature 200 K above the ion temperature observed from the onset of the Dst decrease onwards during that night. The identification of this source suffers from the lack of additional data, in particular photometric ones, in the Saint-Santin sector. However the unusually

large fields observed at Saint-Santin, and the equatorward shift of the auroral zone observed at Chatanika in the early afternoon, suggest that the plasmapause may have moved close to Saint-Santin, and that the enhanced electron temperatures observed there might have been produced by a SAR arc.

MAGNETOSPHERIC CONVECTION EFFECTS AT MIDLATITUDES

III - Theoretical derivation of the disturbance
convection pattern in the plasmasphere

by

Michel Blanc

CNET/Centre de Recherches en Physique de l'Environnement
Terrestre et Planétaire, 38-40 rue du Général Leclerc,
92131 ISSY-LES-MOULINEAUX, FRANCE

Accepted by JGR, April 1982

A B S T R A C T

A theoretical investigation of the generating mechanisms of the disturbance ExB drifts observed at midlatitudes is performed, with the purpose of understanding the local time dependence of the average disturbance drifts observed above Saint-Santin ($L = 1.8$, 47 degrees geomagnetic latitude), and of extending it to other latitudes.

To this end, the middle and low latitude effects of the two possible generators of electric field disturbances, the solar-wind/magnetosphere dynamo and the ionospheric wind disturbance dynamo, computed by means of a numerical dynamo model of the ionosphere, are systematically compared with the Saint-Santin disturbance drift pattern. The solar-wind/magnetosphere dynamo is simulated as an electrostatic potential generator at 75 degrees latitude, and its local time dependence determined by least-squares fitting the drifts calculated at 45 degrees latitude to the observed drift pattern.

When the solar-wind/magnetosphere dynamo only is considered, the best fit is found for a diurnal sinusoidal shape of the 75 degrees latitude potential corresponding to a 40 kV total potential drop across the polar cap rotated by 2 hours eastwards from the dawn-dusk direction. But this source reproduces only one half of the 34 m/s westward steady component observed in Saint-Santin average disturbance drifts. The remaining gap can be filled by inclusion of Blanc and Richmond's (1980) disturbance dynamo electric field model into the fitting procedure.

This fitting procedure provides a global theoretical pattern of disturbance electric fields and ExB drifts within the plasmasphere which can be compared to observations. Three latitude zones can be distinguished in the resulting picture.

In the external regions of the plasmasphere, one finds an extension of the usual picture of high-latitude plasma drifts, eastward in the morning and westward in the afternoon. The calculated drifts compare fairly well with the drift disturbance models produced from whistler data at $L = 4$, and from the Millstone Hill radar. At midlatitudes, between 55 and 20 degrees invariant latitude, we predict that the superposition of the two dynamos produces westward drifts at all local times : this is consistent with the St Santin and Arecibo radar drift data.

COORDONNEES GEOGRAPHIQUES

SIDI

Emission :	Saint-Santin	44°38'N	2°13'E
Réception :	Nançay	47°22'N	2°13'E
	Monpazier	44°40'N	0°50'E
	Mende	44°31'N	3°27'E

EISCAT

Emission - réception :	Tromsö	69°34'N	19°12'E
réception :	Kiruna	67°51'N	20°26'E
réception :	Sodankyla	67°22'N	26°39'E

INDEX ALPHABETIQUE D'AUTEURS

ALCAYDE D.	52,59,64,67,73,76,77,79,83,90,99,124,127,138,139,145,159,198,200,201,205,209,222,231
AMAYENC P.	63,66,68,70,73,80,83,89,90,100,122,123,158,212
BARLIER F.	197,200
BARON M.	195
BAROUCH E.	104
BAUER P.	23,52,58,59,64,76,84,86,89,99,102,103,117,119,121,138,192,194,195,197,201,202,203,204,205,206,209,222,223
BEHNKE R.A.	212
BENOIT R.	11
BENSON R.F.	204
BERGER C.	200
BERNARD R.	62,81,88,97,99,127,161,196,207
BERTEL L.	87
BERTHELIER A.	224
BERTIN F.	24,54,63,87,199,210,211
BLANC M.	24,89,91,100,101,105,107,122,123,125,126,143,145,162,202,212,213,215,221,222,225,226,229,231,235
BOUCHET P.	164
BOUSQUET C.	36
BRACE L.H.	195,204,206
BRINTON H.C.	206
CALDERON C.	212
CARIGNAN G.R.	206
CARLSON H.C.	195,204
CARRU H.	7,9,10,11,14,29,31,32,35,38,40,45,111,131
CASTEL (du) F.	9,10,112,137,219
CERISIER J.C.	222
CHEZLEMAS R.	14
CICERONE R.J.	195
CLEMENT M.	14
COGGER L.	189,205
COLE K.D.	203
CORNEC J.P.	177
DERIEUX A.	84,173
DUBOIN M.L.	41,145,157
EMERY B.A.	212
EVANS J.V.	195,201,205,212
FALIN J.	59,64
FEJER B.G.	212
FLEURY L.	61,72,169
FONTAINE D.	181
FONTANARI J.	73,76,79,90,99,171
FRANCOIS P.	60
FUKUYAMA K.	93
GANGULY S.	212
GIRARD L.	226
GIRAUD A.	220
GONZALES C.	215
GREENWALD R.	215
HAGEN J.	204
HAGFORS T.	103
HANSON W.B.	194,195,204
HEDIN A.E.	198,205,206,209
HOEGY W.R.	204
HOLZWORTH R.	215
JAECK C.	59,64,197
JAMIN E.	225
KAYSER D.C.	205
KELLY J.D.	231
KERSLEY L.	199,211
KISHI A.	215
KOCKARTS G.	83,98,99,197
KOFMAN W.	85,103
LEJEUNE G.	40,41,43,53,58,65,84,85,103,135,153,193,202,203,222

McCLURE J.P.	119,187,195,205
McPHERSON P.H.	208
MAHAJAN K.K.	214
MAYR H.G.	206
MAZAUDIER C.	86,106,107,141,143,145,175,224
MOZER F.	215
NAGY A.F.	195
NEWTON G.P.	205
OLIVER W.L.	208
PANDEY V.K.	214
PAPET LEPINE J.	54,63
PARKS A.D.	206
PARMANTIER M.	20
PELZ D.T.	206
PERRET D.	165
PETIT M.	7,8,9,10,11,12,13,14,16,19,29,30,31,32,33,34,35,38,39,41,43,58,102,116,120,131,149,221
PONTHIEU J.J.	139,145,227
REBER C.A.	205
REDDY C.A.	68,71,82,118
REES P.R.	211
REYSSAT M.	14,19
RIBES J.	14
RICHMOND A.D.	101,212
RISHBETH H.	194
SABELETE G.	168
SALAH J.E.	201,205,207,209
SAUGIER B.	163
SCHWAB P.	22
SCIALOM G.	78,98
SENIOR C.	102,145,179
SPENCER N.W.	205
SPIZZICHINO A.	62
TAIEB C.	61,72,89,98,102,105,192
TAYLOR G.N.	193,195
TESTUD J.	47,51,56,60,67,69,74,87,118,122,155,199,210,211,219
THOMAS D.P.	213
THUILLIER G.	197
TOCQUEC Y.	21
TORR M.R.	204
VASSEUR G.	35,36,42,46,47,48,49,55,66,67,70,71,118,133,137,152
VIALLE C.	23
VICKREY J.	215
VIDAL MADJAR D.	24,85,95,96,160
WALDTEUFEL P.	15,23,29,30,31,32,35,37,38,42,44,45,49,50,52,53,57,67,75,113,114,115,117,119,131,138,151,187,188,189,190,191
WAND R.H.	204,207,212
WEILL G.	41
WHARTON A.	192
WICKWAR V.B.	204
WILLIAMS P.J.S.	213
WOODMAN R.F.	195,212
WYGANT J.	215

