LEJEUNE LUZ

SEEMINGIGUE EXTERNE

# MANUEL URSI POUR LE DEPOUILLEMENT ET L'INTERPRETATION DES IONOGRAMMES

(seconde édition - novembre 1972)

Version Française par G. Pillet et C. Davoust Groupe de Recherches Ionosphériques Groupement Etudes Spatiales et Transmissions

# REPORT UAG - 23 du WORLD DATA CENTER A for Solar - Terrestrial Physics

URSI Handbook of ionogram interpretation and reduction

par W.R. Piggot

Radio and Space Research Station, Slough, U.K.

et

K. Rawer

Arbeitsgruppe für Physikalische Weltraumforschung Freiburg, R.F.A.

Adopté par la Commission III de l'URSI, Varsovie, Pologne, 1972

TOME I - Chapitres 1 à 8

# MANUEL URSI POUR LE DEPOUILLEMENT ET L'INTERPRETATION DES IONOGRAMMES

(seconde édition - novembre 1972)

Version Française par G. Pillet et C. Davoust Groupe de Recherches Ionosphériques Groupement Etudes Spatiales et Transmissions

# REPORT UAG - 23 du WORLD DATA CENTER A for Solar - Terrestrial Physics

URSI Handbook of ionogram interpretation and reduction

par W.R. Piggot

Radio and Space Research Station, Slough, U.K.

et

K. Rawer

Arbeitsgruppe für Physikalische Weltraumforschung Freiburg, R.F.A.

Adopté par la Commission III de l'URSI, Varsovie, Pologne, 1972

TOME I - Chapitres 1 à 8

# TABLE DES MATIERES

		Page
AVANT-P	ROPOS DE LA PREMIERE EDITION	I
AVANT P	ROPOS DE LA SECONDE EDITION	II
		242
0.0	ODUCTION	0-1
0.1		0-1
0.2	Principes généraux sur lesquels sont basées les règles et les conventions	0-1
	d'exploitation	0-2
0.3	Conventions d'ecriture	0-4
0.4	Remerciements	0-5
1 CONC		
1.0	IDERATIONS ET DEFINITIONS FONDAMENTALES	1-1
1.1		1-1
	caractéristiques	1-1
1.2	caractéristiques	1-1
1.3	Conventions pour l'identification et le dépouillement des hauteurs	1 1
	virtuelles	1-1
1.4	Conventions pour la détermination d'autres caractéristiques de hauteur	1-1
1.5	Conventions pour la détermination des facteurs de MIF	1-1
1.6 1.7		1-1
1.8		1-1
1.9		1-19
1.3	Solver a Gramateur	1-20
2 - DETE	RMINATION DES VALEURS NUMERIQUES HORAIRES	2-1
2.0	Conventions générales	2-1
2.1	Considérations sur la précision	2-2
2.2	Règles de précision pour les mesures individuelles	2-3
2.3	Lettres qualificatives et descriptives	2-8
2.4	Extrapolation	2-9
2.5	Interpolation	2-12
2.7	Changements de gain	2-12
		2-13
3 - LETTE	RES QUALIFICATIVES ET DESCRIPTIVES	3-1
3.0	Utilisation des lettres qualificatives et descriptives	3-1
3.1	Lettres qualificatives	3-1
3.2	Lettres descriptives	3-3
3.3.	Règles pour le dépouillement de fxI	3-33
4 - CARA	CTERISTICHES D'Es	4 1
4.0	CTERISTIQUES D'Es	4-1 4-1
4.1	Laracteristiques d'Es à depoulitien	4-1
4.2	Conventions pour le dépouillement d'Es	4-2
4.3	lechniques permettant de distinguer les composantes magnéto-ioniques dans	
	les traces Es	4-3
4.4	Dépouillement de foEs	4-14
4.5	Dépouillement de fxEs	4-15
4.0	Dépouillement de fbEs	4-17
4.8	Dépouillement de h'Es	4-20
4.9	Classification des "Types d'Es"	4-20
		4-30
5 - SONDA	AGES EN CONTRE - HAUT	5-1
5.0	Introduction	5-1
5.1	races provenant de réflexions	5-2
5.2	Fleches de resonance	5-4
5.3	Battements	5-5
5.4 5.5	Profils de densité électronique en fonction de la hauteur réelle	5-6
5.6	Le problème du recouvrement	5-7
5.7	Nomenclature recommandée pour les sondages en contre-haut	5-7 5-11
5.8	Références	2-11
0.0	canadiennes	5-13
5.9	Conventions et symboles utilisés pour les données synoptiques de la NASA	0 10
	et de AMFS	5-15

# TABLE DES MATIERES

			Page
6 -	GRAPH	IQUES DE FREQUENCES (« f · PLOT »)	6-1
-	6.0		6-1
	6.1	Format de f-plots	6-1
	6.2	Caractéristiques à transcrire	6-5
	6.3	Symboles pour le f-plot	6-5
	6.4	Symboles pour le f-plot	6-13
	6.5	Conventions pour transcrire f-min	6-13
	6.6	Conventions pour transcrire f-min	6-14
	6.7	Traces manquantes	6-19
	6.8	Autres conventions	6-19
	6.9	Transcription des données à partir du f-plot	6-21
7.	TARLE	AUX JOURNALIERS DES VALEURS HORAIRES	7-1
•	7.0	Généralités	7-1
	7.1	Feuille de dépouillement journalière	7-1
	7 2	Conventions pour la transcription des données sur la feuille de	
	,	dépouillement journalière	7-3
	7.3	Emploi des cartes perforées pour les données ionosphériques	7-4
Ω.	TARLE	AUX MENSUELS DE DONNEES, MEDIANES ET QUARTILES	8-1
0	8.1		8-1
		Identification	8-1
	8.3	Valeurs médianes et quartiles	8-4
	8.4	Valeurs quartiles et quartiles	8-7
		Valeurs quartiles	8.8
	0.0	Tableau indiquant l'emplacement des médianes	8.9
	0.0	labieau inuiquant i ellipiacellent des lieutanes	0.9

#### AVANT-PROPOS DE LA PREMIERE EDITION

Ce Manuel d'instructions a été préparé par le Comité mondial des sondages ionosphériques (World Wide Sounding Committee) à l'intention des stations ionosphériques qui constituent le réseau mondial et il est basé sur les trois premiers rapports de ce Comité.

Les chapitres 1 à 7 du présent document s'inspirent dans une grande mesure du manuel destiné aux opérateurs des stations associées au réseau américain (CRPL Memorandum n° 40-B, 1959).

Le paragraphe 0.2 de l'Introduction "Considérations et principes généraux" indique la ligne à suivre s'il n'est pas possible d'appliquer intégralement les règles et conventions normales.

Il faut souligner que, pour les études régionales ou mondiales, la valeur des données dépend de l'uniformité des méthodes de dépouillement et de tabulation dans toutes les stations. Toute proposition de modification ou de clarification de ces règles est à soumettre au Comíté mondial des sondages ionosphériques (WWSC). Il faut veiller particulièrement à ce que les "règles locales" ne soient pas en contradiction avec ces principes.

La plupart des chapitres de cet ouvrage ont été rédigés sous forme d'instructions détaillées destinées aux opérateurs des stations ionosphériques. Toutefois l'Introduction et les paragraphes référencés "O" au début de chaque chapitre exposent les principes généraux, ainsi que des notes historiques destinées à faciliter aux opérateurs ou au personnel administratif la compréhension des règles détaillées.

Dans le texte, les références "A...." renvoient aux pages de l'*IGY Instruction Manual for the Ionosphere, Annals of the IGY*, Volume III, Partie I, texte anglais, où l'on peut trouver des informations correspondantes ou complémentaires. La référence indique s'il s'agit d'un ionogramme [A(page)I, Fig...], d'une figure [A(page)F, Fig...] ou d'une description [A(page)D]. Lorsque le présent texte est en désaccord avec celui donné en référence A, ou avec le texte d'un rapport antérieur du WWSC, c'est la nouvelle version qu'il convient d'utiliser.

De nombreuses figures ont été extraites de la note soviétique *The interpretation and reduction of ionograms (Vertical soundings)* par N.V. Mednikova (1958), du Manuel français SPIM (1955); d'autres sont des figures préparées pour certains réseaux ionosphériques particuliers, par les conseillers ou les membres du WWSC. Aucune référence n'est précisée dans ce cas.

Les demandes d'explication et les suggestions tendant à l'amélioration du Manuel sont à envoyer au Président ou aux membres du Comité mondial des Sondages ionosphériques (WWSC). Si nécessaire, des mises au point seront communiquées aux stations par le Bulletin d'Information de l'URSI.

#### MEMBRES

Y. Aono
N.V. Mednikova
W.R. Piggott
K. Rawer
A.H. Shapley (Président)
J. Turner
R.W. Knecht (Secrétaire)

#### CONSEILLERS

W.G. Baker	R.W. Knecht	R. Rivault
J.W. Beagley	A.J. Lyon	O. Sandoz
W. Becker	J.H. Meek	J.O. Thomas
A. Haubert	A.P. Mitra	J.W. Wright
P. Herrinck	Y. Nakata	R.W. Wright

()

#### AVANT-PROPOS DE LA SECONDE EDITION

Le grand succès de l'Année géophysique internationale (AGI), de Années de coopération internationale (ACI), et des Années internationales du soleil calme (AISC) est dû en grande partie à l'étude approfondie et systématique de l'ionosphère par de nombreux groupes de chercheurs qui ont utilisé des méthodes communes et normalisées pour la description et l'analyse des phénomènes. L'importance de bonnes observations synoptiques s'est trouvée accrue par l'avènement des fusées, satellites et autres nouvelles techniques élaborées. En effet les anciennes techniques et les nouvelles se complètent généralement : par exemple, un satellite peut mettre en évidence des variations détaillées dans l'espace à un instant donné mais ne peut pas mesurer de façon simple des variations dans le temps. C'est une limitation importante pour l'étude d'une atmosphère dynamique et la question de savoir si les phénomènes varient réellement dans le temps ou dans l'espace est souvent cruciale pour une bonne compréhension des données obtenues par les satellites. De même, les fusées peuvent fournir des descriptions détaillées de la distribution en altitude de nombreux paramètres physiques, mais la signification des résultats reste incertaine, à moins que l'on ne sache, grâce à des mesures de type synoptique, moins onéreuses, si les conditions étaient normales ou anormales et comment elles évoluaient dans le temps.

La coopération internationale est en grande partie stimulée par la Commission inter-Unions de physique solaire-terrestre (IUCSTP ou, pour abréger, STP). Par l'intermédiaire de ses Groupes de travail, cette Commission encourage des études intensives de phénomènes ou d'événements particuliers. Pour que celles-ci soient fructueuses, des mesures synoptiques systématiques sont essentielles et, dans le cas de phénomènes qui se produisent rarement, elles constituent souvent la seule source de données. On peut souvent, par exemple, identifier les aurores de basse latitude par l'apparition d'échos E sporadique du type de ceux observés aux latitudes élevées (en particulier traces Es de types a ou r, ou E nocturne) sur les ionogrammes de stations où de tels phénomènes ne se produisent que rarement au cours d'un cycle solaire. Il est très important que de tels événements puissent être identifiés et signalés de façon précise.

Avant et pendant l'AGI, les principaux utilisateurs de données ionosphériques étaient pour une grande part les groupes qui les produisaient. Actuellement, par contre, les chercheurs qui utilisent les données mais n'exploitent pas d'ionosondes sont beaucoup plus nombreux que ceux qui en exploitent. Ces chercheurs n'ont pas de contact direct avec le réseau des stations et il est essentiel pour eux de pouvoir comparer les données provenant de stations différentes. A moins d'avis contraire ils supposent toujours que les valeurs publiées des caractéristiques ont été obtenues selon les règles internationales.

L'étude détaillée d'événements particuliers plus encore que celle du comportement moyen de l'ionosphère, exige des valeurs numériques aussi complètes que possible, dont la précision élimine la possibilité d'erreurs d'interprétation. Deux propositions ont été adoptées pour le moment :

(a) l'introduction d'une nouvelle caractéristique, fxI, également nécessaire pour les problèmes pratiques de radiocommunications.

(b) un léger relâchement des règles de précision dans les stations et pendant les périodes où l'ionosphère ne permet pas d'obtenir des valeurs numériques en appliquant les règles normales, mais où une évaluation valable peut être faite avec une précision moindre. Quelques modifications mineures ont été apportées au texte pour répondre à ces nouveaux besoins.

Pendant l'AGI et jusqu'à la dissolution du WWSC en 1961, les membres du WWSC, dont les noms sont mentionnés dans le Manuel ont joué le rôle de conseillers spécialisés pour des problèmes particuliers. Mais l'expérience montre que le domaine d'activité d'un individu change beaucoup au cours de quelques années et que dès lors, il importe surtout de pouvoir adresser ses questions ou demandes de renseignements à une personne bien déterminée par laquelle s'établit le contact avec les spécialistes qualifiés. Lors de la réunion de l'Union radio-scientifique internationale (URSI) à Ottawa, le Comité permanent pour la physique solaire-terrestre (Comité URSI/STP) a créé un Groupe-Conseil du Réseau ionosphérique (INAG : Ionospheric Network Advisory Group) ayant pour mission de contribuer au maintien de la qualité du réseau ionosphérique et de fournir des conseils appropriés. Les noms et adresses des membres actuels de ce Groupe sont donnés en Annexe à cet Avant-Propos ; chacun d'entre eux est prêt à apporter sa collaboration. Ce Groupe diffuse, à toutes les stations connues et aux personnes intéressées, un Bulletin qui contient les dernières recommandations internationales concernant le réseau ainsi que des articles sur des points particuliers soulevés par les opérateurs des stations. Toute modification au présent volume sera annoncée par la voie de ce Bulletin.

Le chapitre 10 de cette édition, consacré à la détermination de la densité électronique, est destiné aux groupes qui ne font que rarement des calculs de densité électronique et il est influencé par les méthodes les plus largement utilisées actuellement. Il est souvent plus efficace maintenant d'avoir recours à des ordinateurs. Un article qui sera prochainement soumis à Radio Science exposera en détail les règles à utiliser avec le système d'ordinateur de la NOAA. Ces règles dépendent, bien entendu, du type de programme adopté.

Un colloque tenu à Léningrad en mai 1970 a permis de constater que les ionogrammes de hautes latitudes posaient encore des problèmes particuliers ; des propositions ont été faites pour les résoudre (Bulletin INAG, n° 4, août 1970). Après examen approfondi de ces propositions il est envisagé de publier un supplément "Hautes Latitudes" à ce Manuel qui contiendra des règles et des exemples plus détaillés. En attendant cette publication, des modifications mineures ont été apportées au texte principal pour les cas cas où les règles normales pourraient se révéler insuffisantes.

L'inclusion au présent volume d'ionogrammes-types a été souvent demandée. Ceci s'est avéré très difficile à réaliser, d'une part à cause du grand volume de correspondance et de rédaction que cela aurait entraîné, d'autre part à cause du coût élevé de la reproduction des ionogrammes sous une forme utilisable. L'INAG et les rédacteurs ont donc décidé de compléter les références aux ionogrammes publiés dans les Annals of the IGY, Volume III, Partie I, par des références à des ionogrammes publiés dans le nouvel Atlas d'ionogrammes, préparé par A.H. Shapley, World Data Center A, Upper Atmosphere Geophysics Report UAG-10, mai 1970. Ces références sont notées "B(page)I Fig...".

#### Membres de l'INAG

W.R. Piggott British Antarctic Survey c/o SRC Appleton Laboratory Ditton Park, SLOUGH, SL39JX

Miss J.V. Lincoln (Secrétaire) World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics Upper Atmosphere Geophysics NOAA BOULDER, Colorado 80302 U.S.A.

Dr I. Kasuya Radio Research Laboratories 2-1 Nukui-Kitamachi 4-chome Koganei-shi TOKYO 184 Japon

\*G.A.M. King Geophysical Observatory P.O. Box 2111 CHRISTCHURCH Nouvelle-Zélande

Dr N.V. Mednikova IZMIRAN P/O Akademogorodok MOSCOW Region U.S.S.R. Mile G. Pillet Groupe de Recherches ionosphériques 3, avenue de la République 92131 - ISSY-les-MOULINEAUX, France

Mr A.H. Shapley (ex-officio, Président du groupe MONSEE du SCOSTEP) NOAA BOULDER, Colorado 80302 U.S.A.

\* Professor G.M. Stanley Geophysical Institute University of Alaska COLLEGE, Alaska 99701 U.S.A.

Dr J. Turner Ionospheric Prediction Service P.O. Box 702 162 Goulburn Street DARLINGHURST, N.S.W. 2010 Australie

Dr A.S. Besprozvannaya Arctic and Antarctic Research Institute 34 Fontanka 192104 LENINGRAD U.S.S.R.

\*Le Dr G.A.M. King et le Professeur G.M. Stanley étaient membres de l'INAG lors de la préparation de cette édition mais ils ont démissionné depuis. Les nouveaux membres de l'INAG sont :

Professor V.H. Padula Pintos Comité Radio-Cientifico Argentino Av. Libertador 327 VICENTE LOPEZ (Bs. As) Argentine Mr L.E. Petrie 22 Barron Street Box 4A Rural Route 3 OTTAWA Ontario, Canada

#### INTRODUCTION

#### 0.0. HISTORIQUE

Les premières stations ionosphériques "de routine" étaient presque toutes situées à des latitudes moyennes, où les traces des échos sur les ionogrammes pouvaient généralement être classées d'après des configurations faciles à reconnaître et interprétables en fonction de modèles simples de la structure de l'ionosphère. On a naturellement donné des noms aux principales caractéristiques de ces ionogrammes, on les a mesurées régulièrement, et on a essayé d'interpréter les configurations anormales en fonction du modèle simple qui s'en rapprochait le plus. Les interprétations étaient difficiles pendant les périodes d'orages ionosphériques, et la station d'Huancayo installée à l'équateur magnétique a permis de se rendre compte que des différences importantes par rapport aux configurations conventionnelles pouvaient se produire même pendant les périodes calmes. De plus, aux stations de hautes latitudes les ionogrammes non seulement présentaient de nombreuses traces anormales, mais pouvaient aussi changer fondamentalement en quelques minutes. Dans ces circonstances le nombre des interprétations possibles était tellement grand que les observations aux latitudes élevées ne pouvaient être comparées à celles effectuées aux latitudes moyennes.

Le premier effort international pour essayer de résoudre ce problème a été fait par le Comité spécial de l'URSI pour les hautes latitudes, dans un Rapport publié dans le Bulletin d'Information de l'URSI, 1955, n° 96, p. 44. Les travaux de ce Comité ont montré qu'en fait peu de phénomènes ionosphériques étaient strictement limités aux latitudes élevées, bien que la complexité ou la difficulté d'interprétation des ionogrammes varie considérablement avec la latitude. C'est ainsi que les procédures initialement mises au point pour interprêter les phénomènes aux latitudes élevées ont pu servir de base pour améliorer les observations dans le monde entier. On s'est aperçu également que les ionogrammes obtenus aux basses latitudes s'écartaient souvent aussi des modèles simples habituels aux latitudes moyennes. Le dépouillement de ces ionogrammes était grandement influencé par l'expérience du personnel des différentes stations, de sorte que les valeurs numériques étaient plutôt inhomogènes et sujettes à caution. Il était évidemment souhaitable d'essayer de minimiser ces difficultés avant le début du programme d'observations intensives de l'Année géophysique internationale.

Le Comité mondial des sondages ionosphériques (WWSC), constitué en septembre 1955 par le Comité URSI/AGI, était chargé de réviser les procédures de production, de dépouillement et de présentation des ionogrammes et des caractéristiques ionosphériques. Ce Comité a toujours tenté de garder le contact le plus étroit possible avec les stations et les réseaux de stations par l'intermédiaire de ses membres et de ses conseillers.

Le premier rapport (Bruxelles) de ce Comité a été publié dans le Bulletin d'information de l'URSI, n° 99, pp. 48-90. Deux annexes à ce rapport ont paru dans le Bulletin d'information de l'URSI, n° 100, pp. 82-89. A ce premier rapport, qui constitue la base du Manuel, le second rapport (Tokyo-Lindau) a apporté des explications, des compléments et de légères modifications. Il a été largement diffusé en mai 1957 sous forme du "livre vert" bien connu. La troisième réunion du Comité, à laquelle participaient presque tous les principaux conseillers et un certain nombre d'invités, s'est tenue à Bruxelles en août-septembre 1959. Elle a permis de confronter les points de vue de presque tous les réseaux de stations de sondage et des stations isolées, et mis en évidence le besoin de poursuivre la collaboration pour mener à bien l'étude des problèmes mondiaux et régionaux posés par la morphologie des couches ionosphériques. En particulier, le Comité a estimé nessaire de rassembler et de publier les données sur les techniques qui s'étaient avérées utiles pendant l'AGI sous forme d'un Manuel de dépouillement et d'interprétation des ionogrammes destiné aux stations du réseau mondial.

La première édition du présent volume représentait le résultat des travaux effectués par le Comité et ses conseillers à Bruxelles, et lors d'autres réunions ; la seconde édition a été révisée à la lumière des commentaires faits par les utilisateurs.

#### 0.1. EVOLUTION DES SONDAGES SYSTEMATIQUES SOUS INCIDENCE VERTICALE

Les premières stations de sondage ionosphérique de routine avaient été installées principalement dans des buts scientifiques, pour étudier les causes et les caractéristiques des couches réfléchissantes et absorbantes de l'ionosphère, tandis que la grande expansion du réseau pendant la seconde Guerre mondiale a été entraînée par le besoin d'établir des prévisions de propagation des ondes radioélectriques pour la terre entière. Les données obtenues étaient utilisées à des fins presque exclusivement pratiques, et extrêmement peu d'études ont été entreprises pour découvrir leur signification. Il est probable qu'un très petit pourcentage seulement des ionogrammes étaients examinés par des chercheurs qualifiés et les travaux de recherches étaient concentrés dans les quelques stations où se trouvait du personnel compétent. Ces recherches ont néanmoins montré que les données étaient à peine assez sûres et comparables pour convenir même aux études les plus simples. Cette situation a radicalement changé grâce aux méthodes mises au point pendant ou à la suite de l'AGI. Pour la première fois des stations du monde entier ont utilisé les mêmes conventions et les mêmes méthodes, ce qui a considérablement amélioré l'uniformité des données obtenues. La quantité accrue des données et l'amélioration de leur qualité ont ouvert la voie à de nouvelles orientations dans l'étude de l'ionosphère et suscité des recherches similaires pour d'autres époques du cycle solaire. L'AGI a ainsi amorcé une nouvelle phase de la recherche ionosphérique, caractérisée par une collaboration internationale beaucoup plus étroite que dans le passé.

Les résultats publiés des études ionosphériques montrent l'importance d'une large distribution géographique des stations pour l'étude de la morphologie de l'ionosphère, l'analyse et la compréhension des grands événements géophysiques, dont certains sont très rares, et la production de cartes ionosphériques pour les études géophysiques et les prévisions de propagation des ondes radioélectriques. En général, les techniques spatiales fournissent de façon détaillée les variations de l'ionosphère dans l'espace à un instant donné mais ne permettent pas d'obtenir les variations dans le temps ni de séparer les variations spatiales des variations temporelles. Il est difficile d'utiliser les données ainsi obtenues sans les contrôler par des mesures effectuées au sol. Ces dernières, dans le cas des fusées, permettent de savoir si les conditions pendant le tir étaient normales ou anormales. Dans le cas des satellites, les observations effectuées au sol permettent d'étudier le comportement dynamique, mettant ainsi en évidence le type de forces responsables des variations spatiales observées. Les observations au sol sont essentielles aussi pour séparer les variations dans le temps de celles dans l'espace ; en effet une perturbation mondiale de courte durée peut sembler localisée lorsqu'observée par satellite, car elle n'est détectée que sur les parties de l'orbite parcourues pendant qu'elle se déroule. Les données obtenues tant par fusées que par satellites sont considérablement valorisées par la connaissance quotidienne des conditions géophysiques, ce qui est possible grâce aux données synoptiques obtenues au sol.

#### 0.2. PRINCIPES GENERAUX SUR LESQUELS SONT BASEES LES REGLES ET LES CONVENTIONS D'EXPLOITATION

- 0.21. La maintenance d'un réseau adéquat de stations et la diffusion de données satisfaisantes pour des buts scientifiques et pratiques dépendent de la coopération bénévole d'organisations qui peuvent être classées en quatre catégories :
  - (a) Celles qui s'intéressent principalement à l'étude de l'environnement terrestre.
- (b) Celles qui s'intéressent à l'état de l'ionosphère à un moment donné, par exemple pour interpréter des données obtenues par fusées ou par satellites ou pour étudier les variations temporelles lors d'événements.
- (c) Celles qui s'intéressent principalement aux problèmes de propagation des ondes radioélectriques, tant à la surface de la Terre que dans l'espace.
- (d) Celles qui poursuivent des études géophysiques mettant en jeu l'ionosphère ou pour lesquelles les sondages ionosphériques fournissent des moyens de contrôle appropriés.

L'expérience montre que la plupart des problèmes ionosphériques ne peuvent être étudiés à fond que si l'on dispose de données de groupes de stations, ce qui implique la collaboration de nombreuses organisations et individus. Il arrive souvent que des données produites par une station ou un groupe de stations soient principalement utilisées par un autre groupe tout à fait indépendant n'ayant aucune relation avec les enregistrements originaux. Cette situation est, évidemment, tout à fait normale dans le domaine des recherches géophysiques. Des données comparables fournies par un groupe de stations ont une valeur beaucoup plus grande que des données fournies par une station prise individuellement. Par conséquent, quel que soit le but principal d'une station, l'intérêt qu'elle présente sera maximal si ses observations peuvent être utilisées dans les quatre domaines suivants, qui d'ailleurs se recouvrent :

- (a) Surveillance de l'ionosphère au zénith de la station,
- (b) Obtention de données médianes significatives pour l'évaluation des variations à long terme.
- (c) Etude de phénomènes particuliers à une région,
- (d) Etude de la morphologie globale de l'ionosphère.

Bien qu'il y ait avantage à utiliser les mêmes techniques et les mêmes conventions dans les quatre cas lorsque c'est possible, les catégories (a) et (c) peuvent recourir à des procédures locales en plus de celles nécessaires aux catégories (b) et (d). Cependant, même dans ce cas, l'échange des données et la comparaison des théories sont grandement simplifiés si les mêmes conventions sont utilisées partout.

Pour les études qui mettent en oeuvre des techniques nouvelles, par exemple fusées, satellites, diffusion incohérente, il est souvent nécessaire :

- (i) de connaître le comportement moyen de l'ionosphère,
- (ii) de savoir si certains jours particuliers pour lesquels ont été effectuées des mesures spéciales, sont ou non des jours moyens types,
- (iii) de connaître les relations entre les conditions géophysiques de jours particuliers et des jours moyens,
  - (iv) de connaître les variations détaillées en fonction du temps des événements particuliers.
- On a donc besoin d'un ensemble de techniques et de conventions normalisées applicables à la majorité des problèmes étudiés dans les différentes parties du monde.

- 0.22. Le dépouillement des ionogrammes peut en principe être codifié selon quatre optiques différentes, dont chacune suggère un ensemble particulier de caractéristiques à mesurer et échanger. Ce sont :
  - (a) description phénomènologique de l'ionogramme,
  - (b) description paramètrée simplifiée de l'ionosphère au zénith de la station,
- (c) détermination du profil de distribution de la densité électronique en fonction de l'altitude au-dessus de la station,
- (d) identification et mesure des caractéristiques qui déterminent ou décrivent les caractères physiques de l'ionosphère.

La plupart des premiers travaux sur les ionogrammes correspondaient principalement au point (a). Dans certaines stations des recherches sont orientées vers (c) et (d). Pour le réseau mondial considéré comme un tout, c'est la seconde possibilité (b) qui convient le mieux et le choix des caractéristiques à mesurer et des règles à appliquer correspond par conséquent à cette idée. On trouvera au Chapitre 10 de ce volume une discussion sur le troisième point (c).

0.23. Lors du choix des données à tabuler, il ne faut pas oublier que les tableaux seront utilisés surtout par des personnes qui n'auront pas vu les enregistrements mêmes, et pour des problèmes dont l'étude ne peut s'effectuer qu'au moyen de données tabulées.

Le choix des caractéristiques significatives est toujours une opération quelque peu arbitraire, déterminée finalement par le but à atteindre. En pratique, il est aussi influencé par la facilité relative des mesures : par exemple, une caractéristique très significative mais difficile à mesurer peut être remplacée par une caractéristique moins significative mais dont la mesure est plus facile.

Quelques difficultés surgissent lorsque ces principes sont appliqués aux recherches effectuées à une échelle mondiale car :

- il faut donner la priorité à certains phénomènes par rapport à d'autres,
- des phénomènes très importants dans certaines régions du monde peuvent être presque ou complètement absents ailleurs,
- des caractéristiques significatives et faciles à mesurer dans certaines régions sont très difficiles à mesurer dans d'autres.

Ceci suggère une triple sélection :

- (a) caractéristiques nécessaires pour le monde entier,
- (b) caractéristiques nécessaires pour des études régionales.
- (e) caractéristiques nécessaires pour des études locales à la station même.

Les principales caractéristiques internationales appartiennent surtout à la catégorie (a), bien que certaines ne soient pas mesurables partout dans le monde. Elles comprennent certaines caractéristiques qui sont utiles pour étudier l'occurence de phénomènes particuliers, par exemple les types de Es. En général, les caractéristiques locales, de la catégorie (a) sont rarement utiles sur une base mondiale, principalement parce que les phénomènes varient avec la position géographique, et les définitions et les règles qui donnent une précision utile en une station sont fort sujettes à caution une fois appliquées ailleurs.

0.24. Le dépouillement de routine de chaque station doit décrire les traits essentiels de l'ionosphère au zénith de la station et fournir en premier lieu des données représentatives à des intervalles de temps pas trop rapprochés (horaires par exemple). Il est important que ces données soient aussi complètes que possible et une interpolation contrôlée est par conséquent conseillée (voir Chapitre 2).

Les résultats tabulés ne doivent pas décrire l'enregistrement de façon exhaustive, mais représenter les traits essentiels de la première réflexion à la verticale plutôt que les caractéristiques des échos multiples, obliques et des phénomènes transitoires. Les échos multiples ainsi que les traces "x" et "z" doivent être utilisés pour ai**d**er à l'interprétation de la trace ordinaire d'ordre un (voir § 1.03). Pour l'établissement des "f-plots" et pour la tabulation des valeurs horaires on ne doit pas tenir compte des traces obliques identifiées à moins qu'elles n'aident à interpréter la trace principale.

Alors qu'aux latitudes basses et tempérées on se borne à étudier les traces obtenues à incidence verticale pour décrire l'ionosphère au zénith de la station, la situation est parfois plus compliquée aux latitudes élevées, pour lesquelles il est souvent utile d'étudier les propriétés des "crêtes" d'ionisation observables grâce aux réflexions obliques. Il en est de même lorsque fxI est supérieur à fxF2. Il est prévu de traiter ces points dans le futur "Supplément hautes latitudes".

Il faut noter que plusieurs caractéristiques ionosphériques, par exemple h'F, M(3000)F2, extrêmement utiles pour les études géophysiques et les prévisions ne représentent pas une mesure directe de phénomènes physiques et peuvent parfois, à défaut d'une bonne compréhension de leur signification conduire

à de fausses interprétations. L'utilisateur doit se familiariser avec ce sujet afin de bien saisir ces points, tandis que l'opérateur doit être capable de dépouiller correctement un ionogramme difficile conformément aux règles établies.

- 0.25. Les données horaires tabulées devraient seules suffire à représenter les conditions ionosphériques pour la période centrée sur l'heure et, autant que possible, ne pas induire en erreur ceux qui utilisent ces seules données. En particulier, l'utilisation des dénominations internationales normalisées, foF2, foE1, foE, foEs, h'F, fmin, h'F2, etc.., implique que les données sont conformes aux règles de dépouillement.
  - 0.26. Les points suivants ne retiennent souvent pas toute l'attention voulue :
- (a) lorsque les données ne sont pas publiées, il faut tenir à jour des catalogues des données ou des ionogrammes non publiés et diffuser ces catalogues par l'intermédiaire des Centres mondiaux de Données (WDC),
- (b) les techniques qui épargnent du travail dans une station au prix d'une gêne considérable pour l'utilisateur ne sont pas réellement économiques,
- (c) il est plus rentable de préparer les données dès le premier stade sous une forme adaptée au traitement par ordinateur. C'est actuellement sous cette forme, la plus appropriée aux échanges internationaux que la plupart des données sont mises tôt ou tard,
- (d) les "f-plots" (graphiques journaliers des caractéristiques de fréquence) constituent un outil précieux pour identifier les variations dans l'ionosphère et pour interprêter les enregistrements complexes aux latitudes élevées.
- 0.27. Les priorités relatives données aux mesures des différentes caractéristiques varieront avec l'évolution de la science et en fonction des études particulières, régionales ou mondiales. On trouvera des directives sur ce point dans les Bulletins d'information de l'URSI et de l'INAG.

Il est toutefois particulièrement important d'obtenir, aussi souvent que possible, des valeurs numériques représentatives pour les caractéristiques fondamentales des couches les plus variables : foF2, M(3000)F2, foEs. Il est important aussi de mesurer fmin. seul indice d'absorption fourni par les ionogrammes et utile également pour contrôler le fonctionnement de l'ionosonde.

Les recherches basées sur les données semblent se développer dans deux directions très différentes :

- (a) Etudes de la structure détaillée de l'ionosphère qui exigent des mesures précises et détaillées des valeurs instantanées des caractéristiques ionosphériques importantes,
- (b) Etudes de la structure générale de l'ionosphère et de ses variations en liaison avec d'autres phénomènes qui exigent des séquences de données aussi complètes que possible et statistiquement représentatives.

La combinaison des facteurs ionosphériques et des facteurs attachés aux appareils et à leur exploitation permet d'obtenir soit des données extrêmement précises en nombre relativement petit, soit des séries très complètes de données de qualité moindre. La solution dépendra de l'équipement et du personnel dont on dispose, de la position de la station dans le réseau mondial et du type d'activité considéré comme le plus important. A condition que les règles internationales soient observées, on peut faire un travail utile même si toute la précision désirable ne peut être obtenue ou si toutes les données ne peuvent être publiées. Il est cependant essentiel que les stations, relativement peu nombreuses, capables de produire des ionogrammes de très haute qualité s'efforcent de maintenir un niveau de grande précision.

Le calcul des profils de densité électronique pose un problème identique car des profils précis exigent des ionogrammes de première qualité, des méthodes de calcul très élaborées et la plus grande précision possible pour la mesure des fréquences et des hauteurs virtuelles. Ceci coûte généralement très cher et, lorsque seules des données statistiques sont désirées, il est préférable d'utiliser les techniques relativement simples exposées au Chapitre 10. Par contre les méthodes très élaborées de calcul des profils par ordinateur ne sont pas traitées dans le présent ouvrage.

#### 0.3. CONVENTIONS D'ECRITURE

Selon une convention internationale, tous les symboles représentant des caractéristiques qui peuvent faire l'objet d'échanges internationaux s'inscrivent sur la même ligne par exemple foF2, M(3000)F2.

Les fréquences, f, les hauteurs, h, les modes ordinaire extraordinaire et z (o, x et z) et les types d'Es (voir § 4.8) sont toujours représentés par des lettres minuscules sauf lorsqu'ils sont produits par des appareils qui n'en ont pas (ordinateurs, Télex ou télégrammes).

Dans cette édition, nous avons remplacé H par B pour le symbole qui représente le champ magnétique. La gyrofréquence des électrons s'écrit donc maintenant fB au lieu de fH, forme traditionnelle mais incorrecte. Cette pratique est maintenant largement utilisée, mais pas encore universelle. Le terme de correction correspondant est donc fB/2 au lieu de fH/2.

Etant donné que les facteurs numériques qui figurent dans des équations où entrent des paramètres physiques dépendent du système d'unités utilisé, nous avons adopté la convention suivante : les unités utilisées sont inscrites entre parenthèses après le paramètre. Par exemple, si la densité électronique N est mesurée par mètre cube et la fréquence de plasma fN en megahertz, la relation entre N et fN : N = 1,24.10 $^{10}$  (fN) $^2$  (équation 1.1 du § 1.04) s'écrit N (m-3) = 1,24.10 $^{10}$  [fN(MHz)] $^2$  et se lit N par mètre cube = 1,24.10 $^{10}$  fN carré, fN étant exprimé en megahertz.

#### 0.4. REMERCIEMENTS

Ce n'est que moyennant la collaboration active de nombreux spécialistes de différents pays qu'un Manuel de ce genre peut être compilé, mais c'est aux rédacteurs qu'il revient de décider de sa forme finale, des matières à y inclure, à en supprimer ou à modifier. C'est pourquoi les noms des spécialistes ne sont cités que là où il est estimé que les utilisateurs pourraient désirer s'adresser directement à eux, particulièrement lorsqu'il s'agit de techniques nouvelles. La proposition de réviser ce Manuel a été faite par Mr A.H. Shapley.

Les rédacteurs remercient de leur aide les membres de l'INAG, les spécialistes des sondages en contre-haut, des profils d'ionisation et des phénomènes de haute latitude. La plupart des modifications au texte de la première édition sont le résultat de commentaires ou de demandes d'explication de nombreux opérateurs. Les réunions organisées sous les auspices du Comité URSI-STP, de l'INAG et de groupes nationaux concernés par l'exploitation de stations ionosphériques ont également été très utiles.

Un grand nombre de figures de la présente édition sont nouvelles ou ont été redessinées, et les rédacteurs expriment leur reconnaissance aux Directeurs et au personnel de la Radio and Space Research Station du Science Research Council, Slough, Angleterre et du World Data Center A, Boulder. L'aide apportée à Mr Piggott par M. Richard Smith et Madame E. Hurst mérite une mention spéciale.

Les figures 1.9, 1.10, 11.11 et 11.12 sont tirées du Vol. 49/2 de l'Encyclopedia of Physics (contribution de K. Rawer et K. Suchy, "Radio Observations of the Ionosphere, pp. 1-546, 1967) et reproduites avec l'autorisation de Springer-Verlag Heidelberg.

Les rédacteurs remercient Madame Lucile Hayden et Monsieur T.N. Gautier du WDC-A et Mr R. Smith du R.S.R.S. des commentaires et critiques qu'ils ont soumis au nom des opérateurs des stations. Madame Lucile Hayden a assumé l'énorme tâche de vérifier le manuscrit et de corriger toutes les épreuves ; elle a aussi fait de nombreuses suggestions sur des questions de détail.

Cette publication n'aurait pas été possible sans les efforts constants de J. Virginia Lincoln, World Data Center A, qui était responsable de la publication. W.R. Piggott désire exprimer ses remerciements aux Directeurs de la Radio and Space Research Station qui lui ont facilité ce travail.

#### CHAPITRE 1

# CONSIDERATIONS ET DEFINITIONS FONDAMENTALES

#### 1.0. GENERALITES

- 1.01 L'ionosphère est la partie de l'atmosphère où la densité des électrons libres est suffisante pour influencer de façon appréciable la propagation des ondes radioélectriques. Il est commode de diviser l'ionosphère en trois régions, appelées D, E et F.
- ${\sf D}$  région située approximativement entre 75 et 95 km d'altitude, dans laquelle l'ionisation est en grande partie responsable de l'absorption des ondes radioélectriques décamétriques qui sont réfléchies par des couches plus hautes.
- E région située approximativement entre 95 et 150 km d'altitude, dans laquelle se trouve la couche E normale diurne. On attribue aussi la lettre E aux autres couches de cette région, par exemple à la couche épaisse E2 ou aux couches minces très variables Es.
- F région située au-dessus de 150 km environ, dans laquelle se trouve la couche réfléchissante la plus importante, F2. On attribue aussi la lettre F à d'autres stratifications de cette région, par exemple F1, stratification régulière des latitudes tempérées, et F1,5 stratification semi-régulière des basses latitudes.
- 1.02. L'ionosonde classique [A 70 D] (voir Avant-Propos, p. i) fournit des enregistrements photographiques nommés ionographies, qui représentent les variations de la hauteur virtuelle de réflexion en fonction de la fréquence, h'(f) [A 25 D, A 31 D]. La bande de fréquences généralement utilisée s'étend approximativement de 1 MHz à 20 MHz bien que certaines ionosondes puissent fonctionner à partir de 0,20 MHz environ lorsque les brouillages le permettent. On trouvera la description succinte de la plupart des ionosondes ainsi que des copies d'ionogrammes obtenus par celles-ci dans l'Atlas d'ionogrammes, Part. B, p. I.1 I.11. Les ionogrammes représentent en fait la durée de propagation de l'impulsion entre l'émetteur et le tube cathodique du récepteur, la réflexion dans l'ionosphère se produisant généralement à incidence verticale. Etant donné que le signal se propage toujours plus lentement dans l'ionosphère et dans le récepteur qu'en espace libre, les hauteurs (virtuelles) observées sont toujours supérieures aux hauteurs réelles de la réflexion. Si la fréquence d'un signal réfléchi par une seule couche épaisse augmente, la hauteur virtuelle augmente plus rapidement que la hauteur réelle. Lorsque le niveau de densité électronique maximale de la couche est atteint, la hauteur virtuelle devient en fait infinie (Fig. 1.1). La fréquence à laquelle ceci se produit est appelée fréquence critique de la couche. Si la couche réfléchissante est très mince, on ne peut pas observer l'accroissement de la hauteur virtuelle en fonction de la fréquence mais l'amplitude du signal semble décroître rapidement au-dessus d'une certaine

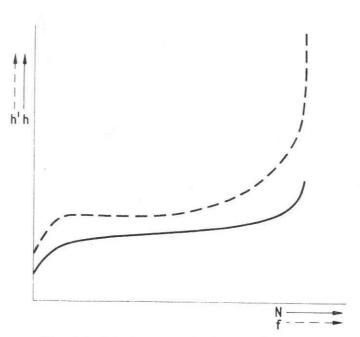


Fig. 1.1 Relations entre la hauteur virtuelle et la hauteur réelle (en l'absence de Champ magnétique) répartition de l'ionisation, ---- courbe h'(f)

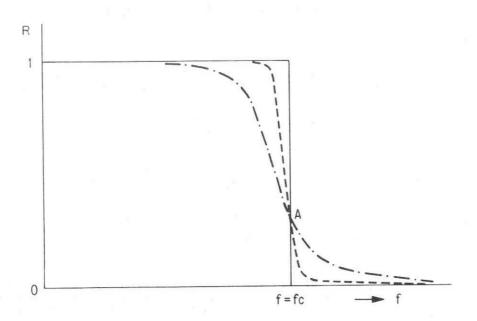
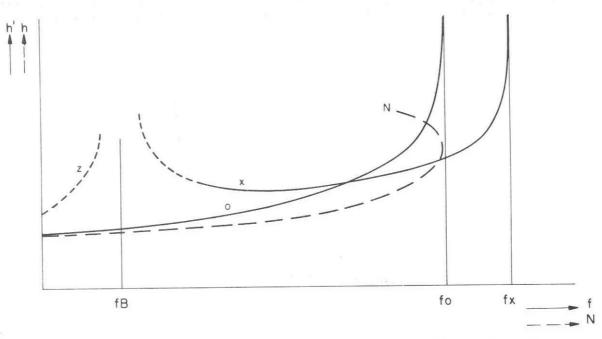
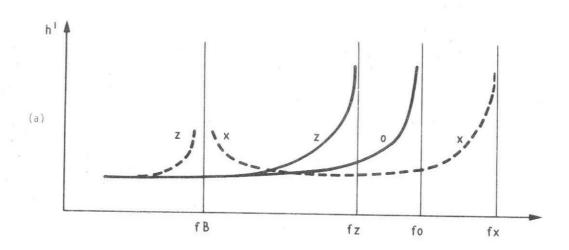


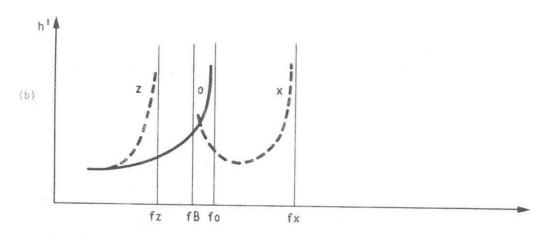
Fig. 1.2 Coefficient de réflexion R d'une couche mince et d'une couche épaisse en fonction de la fréquence

Couche épaisse

Couche mince
Couche très mince
La valeur de R au point A dépend de la forme de la couche.







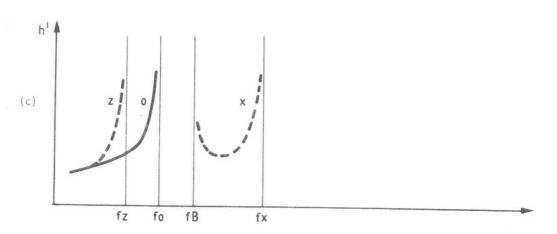


Fig. 1.4 Schéma des traces des modes o, x, et z pour : (a) fo  $\gg$  fB (b) fo = fB (c) fo < fB

fréquence [A 40 D] [B, Part. III]. La fréquence la plus élevée pour laquelle on obtient une trace nette et presque continue est appelée la fréquence extrême (top frequency) de la trace [A 40 I, Fig. 31, 33, 34].

#### 1.03. Modes caractéristiques de propagation - Traces caractéristiques

Le champ magnétique terrestre rend biréfringent le plasma ionosphérique. Aussi, dès qu'elle pénètre dans l'ionosphère, une onde électromagnétique se divise généralement en deux ondes de polarisations différentes qui se réfléchissent indépendamment dans l'ionosphère [A 26 Dl. Ces ondes, qui constituent les modes caractéristiques de propagation pour la fréquence considérée, sont appelées composantes magnéto-ioniques, ou de préférence magnétoélectriques. Elles sont dues à l'interaction du plasma avec le champ magnétique. Par analogie avec la biréfringence en optique, les deux modes caractéristiques sont appelés l'un mode ordinaire, l'autre mode extraordinaire.

La théorie moderne des plasmas montre que la présence des ions peut provoquer des modes et des ondes supplémentaires qui peuvent être observés expérimentalement et sont appelés ondes magnétoioniques.

Puisque les conditions de réflexion sont différentes pour les deux composantes, chacune produit sa propre courbe h'(f). Ces deux courbes sont similaires mais déplacées en fréquence ; au-dessus de la gyrofréquence fB, c'est le rayon extraordinaire qui a la fréquence critique la plus élevée (Fig. 1.3).

D'après la théorie magnétoionique, les niveaux de réflexion des deux modes (o et x) dépendent de la position de la fréquence de propagation f par rapport à la gyrofréquence électronique fB, et sont données ci-dessous en utilisant les notations classiques :

$$X = fN^2/f^2$$
  $Y = fB/f$ 

Si f < fB Mode ordinaire : X = 1 Mode extraordinaire : X = 1 + Y

Si f > fB Mode ordinaire : X = 1 Mode extraordinaire : X = 1 - Y

En toutes circonstances, il ne peut y avoir que deux modes caractéristiques mais, par suite de couplage, il peut y avoir plus de deux traces caractéristiques.

Pour faciliter le dépouillement des ionogrammes, on a pris l'habitude de désigner, par convention, les traces en fonction de leur niveau de réflexion.

Réflexion à X = 1 trace o à X = 1 - Y trace X = 1 + Y trac

Lorsque les sondages ne s'effectuaient qu'à des fréquences supérieures à la gyrofréquence, cela ne conduisait à aucune ambiguité car la trace z ne peut être produite que par couplage, comme expliqué au paragraphe 1.05. Au contraire, pour des sondages commençant à des fréquences inférieures à la gyrofréquence, la trace produite par le mode extraordinaire est appelée trace x au-dessus de fB et trace z au-dessous de fB. Il faut noter, dans ce cas, que le retard présenté par la trace au voisinage de fB (Fig. 1.4(a) et Fig. 1.5) ne correspond pas à une fréquence critique. Ce retard n'est observé que lorsque l'absorption est faible car le mode x est beaucoup plus absorbé que le mode o. Les configurations auxquelles on peut s'attendre lorsque la fréquence critique de l'onde ordinaire varie de fo $\gg$ fB à fo = fB puis fo < fB sont schématisées sur la figure 1.4.

# 1.04. Relations entre les caractéristiques magnéto-électroniques fondamentales

Les trois quantités fondamentales qui influent sur un sondage radioélectrique dans un milieu magnéto-électronique sont la densité électronique N, l'induction magnétique totale B et l'angle  $\theta$  entre la direction du champ magnétique terrestre et la direction de propagation. N et B sont directement liés à la fréquence électronique de plasma fN et à la gyrofréquence électronique fB respectivement :

$$N(m^{-3}) = 1,24 \cdot 10^{10} [fN(MHz)]^2$$
 (1.1)

ou 
$$fN(MHz) = 8.98 \cdot 10^{-6} [N(cm^{-3})]^{1/2}$$
 (1.2)

et 
$$B(G) = 0.35723 \, fB(MHz)$$
 (1.3)

ou 
$$fB(MHz) = 2,7993 B(G) = 2,8 B(G)$$
 (1.4)

Dans ces équations l'unité d'induction magnétique est le gauss (G). L'unité correspondante dans le système SI est le tesla (T). 1 T =  $10^4$  G.

Remarquons que, lorsque l'altitude h croît au-dessus de la surface de la terre, B et fB décroissent approximativement en  $(1 + h/R_E)^{-3}$ , où  $R_E$  est le rayon terrestre.

La gyrofréquence fB est la fréquence de résonance naturelle des électrons dans un champ magnétique B.

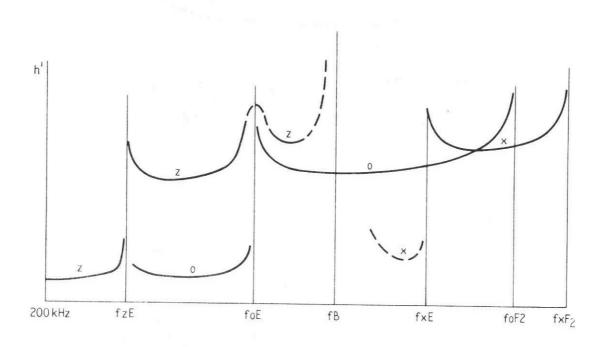
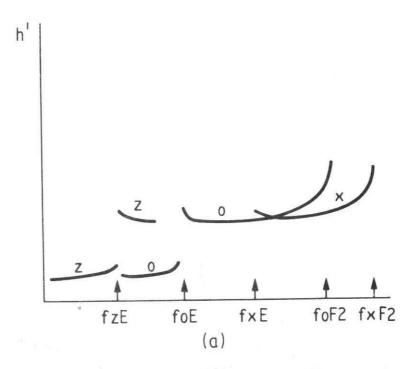
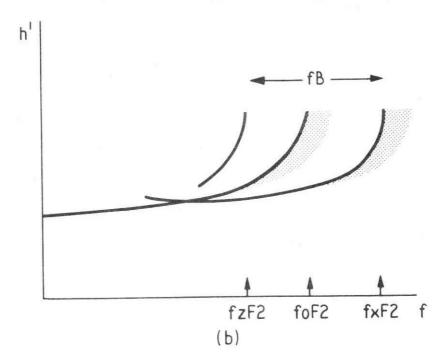


Fig. 1.5 Traces de la couche E normale et de la couche F la nuit sur un ionogramme basse fréquence, en absence d'Es. Les parties qui ne sont généralement pas visibles sont représentées en tiretés.





Les relations entre les fréquences critiques fo, fx, fz des modes ordinaire, extraordinaire et z sont :

$$fx^2 - fxfB = fo^2$$
 (1.5)

d'où la relation connue

$$fx - fo = fB/2$$
 (1.6)

valable a condition que fo≫fB

et 
$$fz^2 + fzfB = fo^2$$
 (1.7)

ou 
$$fx - fz = fB$$
 (1.8)

Les expressions de fx - fo et fo - fz données par la théorie magnéto-électronique sont les suivantes :

$$fx - fo = fxfB/(fx + fo)$$

$$fo - fz = fzfB/(fz + fo)$$

Elles peuvent être nettement différentes des approximations habituelles

$$fx - fo = fB/2$$
 et  $fo - fz = fB/2$ 

lorsque fo n'est pas grand par rapport à fB. Dans ce cas, fx - fo est plus grand que fB/2 et fo - fz plus petit que fB/2, de sorte que fx - fz = fB. En pratique la différence fx - fo n'augmente pas aussi rapidement que la théorie le prévoit lorsque fo décroît en dessous de fB. Cependant on devra utiliser l'expression complète ci-dessus lors du dépouillement des fréquences critiques basses. Il est commode d'établir un tableau ou un graphique des valeurs de fo correspondant à des valeurs données de fx et fz, en utilisant la valeur locale de fB.

On peut calculer la valeur de fB à partir de la valeur locale de fB au sol en appliquant la loi de variation en fonction de l'inverse du cube de la hauteur

$$B(h) = B_0 \left(\frac{r_0 + h}{r_0}\right)^{-3} : B_0 \left(1 - \frac{3h}{r_0}\right)$$

où ro est le rayon local de la Terre.

Si on ne dispose pas de cette valeur, on peut appliquer l'approximation du dipôle (§ 14.32 (e)). Par convention, on utilise h = 100 km pour la couche E et h = 300 km pour la couche F, et h = 200 km lorsque l'on utilise la même valeur pour les deux couches.

#### 1.05. Le mode z

Les traces z sont produites par des ondes qui se sont propagées jusqu'à ce qu'elles atteignent le niveau de réflexion du mode z :  $fz^2 + fzfB = fo^2$ . Ceci est possible, en dessous de la gyrofréquence, pour une onde se propageant selon le mode ordinaire jusqu'au niveau de réflexion X = 1, puis passant alors, par couplage, sur le mode extraordinaire et continuant à se propager jusqu'au niveau de réflexion de la trace z, X = 1 + Y. La théorie montre que le couplage est possible si la direction de propagation est parallèle au champ magnétique terrestre ; toutefois la prise en considération des collisions étend le couplage à un cône autour de cette direction.

Au voisinage des pôles magnétiques où le champ magnétique est quasi vertical, l'onde revient au sol par le chemin inverse (Fig. 1.5 et Fig. 1.6(a)).

Aux autres latitudes, la condition de couplage à la descente ne peut être remplie que si l'onde a été renvoyée dans sa direction d'arrivée. Ceci peut être dû à de la diffusion sur des irrégularités (Fig. 1.6(b)) ou à une reflexion sur des couches "inclinées" (non stratifiées horizontalement) de manière à devenir perpendiculaires aux lignes de force du champ magnétique. Les deux types d'ionogrammes sont très différents (Fig. 1.6).

Aux latitudes élevées, ou lorsque la fréquence critique est voisine de la gyrofréquence fB, les traces o et z sont relativement plus intenses que la trace x et il faudra faire attention à ne pas confondre les traces z et o avec les traces o et x. La trace x peut manquer lorsque l'absorption est importante [A 33 I, Fig. 23, 24; A 34 F, Fig. 25]. [B.II A-1 (sept.), II B-3 (Juin), II B-15 (sept.), III-30 (la)].

1.06. La plupart des ionogrammes contiennent une quantité considérable d'informations sur l'état de l'ionosphère mais sous une forme totalement inutilisable pour de nombreuses recherches. Il est donc nécessaire de selectionner certaines caractéristiques de l'ionogramme qui sont particulièrement signifi-

catives pour les études scientifiques et l'exploitation, et de mettre au point des techniques pour évaluer ces caractéristiques. Cette opération est appelée "dépouillement des ionogrammes". Il y a deux étapes principales dans le dépouillement : le choix des caractéristiques significatives et l'établissement de règles pour l'identification et la mesure de ces caractéristiques.

règles pour l'identification et la mesure de ces caractéristiques.

Il suffit en général de supposer que l'ionosphère est concentrique à la terre et un dépouillement simple est basé sur cette hypothèse. Les ionogrammes montrent souvent que cette hypothèse est fausse et un dépouillement plus élaboré permet de mesurer les caractéristiques importantes dans ces cas là. Ceci

est expliqué plus complètement aux paragraghes 2.70 - 2.73.

1.07. Le choix de certaines caractéristiques considérées comme significatives est déterminé par leur valeur pour des études futures. Les principales caractéristiques ont été définies d'après la configuration d'ionogrammes relativement simples obtenus à des latitudes tempérées, ce qui a conduit à un certain nombre de concepts simples et imagés : fréquence critique, hauteur virtuelle minimale, fréquence extrême d'une trace Es\*, schématisés sur les figures 1.7 et 1.8 et observables sur l'ionogramme de la figure 1.9.

Les définitions, règles de sélection et conventions pour les mesures exposées ci-après peuvent s'appliquer à n'importe quelle composante magnéto-ionique :

- a) Fréquence extrême (top frequency) d'une couche : fréquence la plus élevée à laquelle est obtenu un écho zénithal sur une couche (on ne tient pas compte des traces faibles et discontinues).
- b) Fréquence d'occultation d'une couche : fréquence la plus basse à partir de laquelle une couche devient transparente. Elle est souvent identifiée par l'apparition d'échos provenant d'une couche plus haute.
- c) Fréquence critique d'une couche : fréquence la plus élevée à laquelle une couche réfléchit et transmet également. Cette définition montre que la fréquence critique d'une couche est toujours comprise entre la fréquence extrême (top frequency) et la fréquence d'occultation de cette couche.

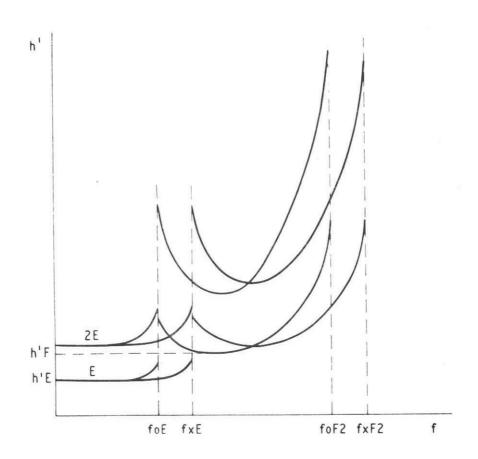


Fig. 1.7 Ionogramme schématisé dans le cas de 2 couches

<sup>\*</sup>Ceci a été généralisé par Rawer et al. J. Atmos. Terr. Phys. 1955, 6, p. 69-87.

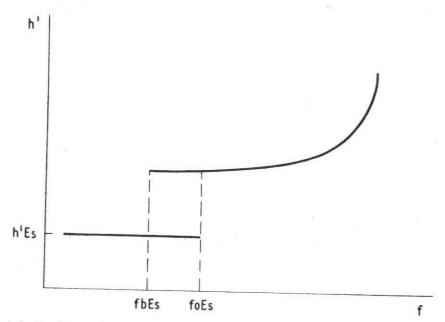


Fig. 1.8 Représentation schématique du rayon ordinaire en présence d'une couche mince. Noter que la valeur correspondant à la fréquence critique d'une couche épaisse est toujours comprise entre foEs et fbEs.

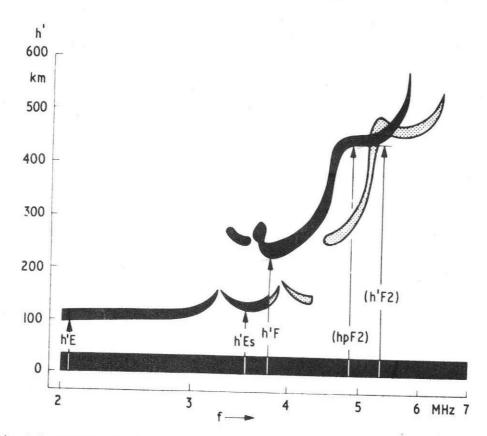


Fig. 1.9 Ionogramme typique de jour avec les hauteurs virtuelles minimales h'E, h'Es, h'F, h'F2 et "la hauteur parabolique" hpF2. Elles sont toutes mesurées sur la trace o (en noir).

Dans le cas le plus général d'une couche épaisse stratifiée horizontalement, ces trois fréquences caractéristiques sont identiques et sont nettement identifiables par le retard à la fréquence critique. Dans le cas d'une couche mince, la fréquence d'occultation et la fréquence extrême peuvent être différentes. La fréquence critique peut en principe être déterminée à partir des amplitudes des différents échos. Comme ceci est impraticable dans la plupart des stations, on relève, dans le cas d'une couche mince, la fréquence extrême et la fréquence d'occultation. Ce concept détermine les règles de dépouillement pour les traces Es.

- d) La hauteur virtuelle minimale est la hauteur pour laquelle la trace présente une tangente horizontale. Pour une couche épaisse, cela ne se produit que s'il existe une couche épaisse inférieure qui produit un retard de groupe qui compense la variation de hauteur virtuelle en fonction de la fréquence due à la couche réfléchissante. Dans ce cas, la hauteur virtuelle minimale est toujours supérieure à la hauteur réelle. Par convention, si le changement de hauteur virtuelle en fonction de la fréquence n'est pas décelable aux fréquences de réflexion les plus basses, cette hauteur sera considérée comme exacte (Fig. 1.4, 1.6, 1.7).
- e) Fréquence minimale utilisable (MUF) : c'est un concept de propagation qui est défini comme la fréquence la plus élevée permettant, pour un système d'exploitation donné, une transmission ionosphérique sur un trajet oblique. Pour éviter toute confusion le  $\mathrm{CCIR}^*$  a adopté les définitions suivantes :
- (i) La MUF d'exploitation est la fréquence la plus élevée, qui permet, à un moment donné, d'assurer un service de qualité acceptable entre deux points donnés, dans des conditions d'exploitation déterminées.
- (ii) La MUF classique est la fréquence la plus élevée à laquelle les ondes peuvent se propager selon un mode spécifique, entre des points donnés, par réfraction ionosphérique exclusivement. Elle peut être définie expérimentalement comme étant la fréquence à laquelle les rayons émis sous de grands ou de petits angles se confondent.
- (iii) La MUF normalisée correspond à une valeur approchée de la MUF classique, que l'on obtient par application de la courbe de transmission conventionnelle (§ 1.5) aux ionogrammes à incidence verticale et par utilisation d'un facteur de distance.

Remarque : La MUF classique et la MUF normalisée ne s'appliquent qu'à la propagation par réflexion sur les couches normales.

La MUF d'exploitation peut excéder la MUF classique en présence de diffusion ionosphérique ou de diffusion par le sol ; elle peut donc varier avec la puissance d'émission et la sensibilité du récepteur tandis que les MUF classique et normalisée sont déterminées par la géométrie du mode de propagation. Toutes les valeurs de MUF se réfèrent à une distance donnée, qui doit toujours être indiquée. Ces défifitions s'appliquent aux mesures individuelles de la MUF. Lorsqu'il s'agit de la MUF médiane ou moyenne, on doit utiliser les adjectifs "médiane" ou "moyenne".

# 1.08. MUF (3000) normalisée, caractéristique ionosphérique à incidence verticale

Il devrait être possible, en principe, de calculer la MUF normalisée correspondant à une trace ionosphérique donnée mais la valeur numérique dépend un peu de la méthode exacte utilisée pour ce calcul. En 1953, le WWSC a adopté la courbe de transmission normalisée de N. Smith, en faisant remarquer que d'autres méthodes d'usage courant donnaient essentiellement les mêmes résultats. Le procédé décrit au paragraphe 1.5 consiste, en fait, en une analyse graphique qui donne la hauteur apparente de la densité électronique maximale de la couche. Cette hauteur excède la hauteur réelle d'une quantité qui dépend du retard provoqué par les couches inférieures. La MUF déterminée par ce procédé dépend de la forme du profil de densité électronique et elle est principalement déterminée par la hauteur réelle de la densité électronique maximale et par la fréquence critique de la couche. La distance pour la MUF normalisée a été fixée par convention à 3000 km. On remarquera que le facteur de MUF peut avoir des applications tant géophysiques que pratiques grâce à sa relation étroite avec la hauteur de la densité électronique maximale.

Alors que dans le passé le facteur de MUF était important surtout pour ses applications à la propagation, il est devenu une caractéristique intéressante pour l'étude des phénomènes géophysiques du fait de la facilité de sa mesure et de son étroite relation, en n'importe quelle station, avec la hauteur du maximum d'ionisation des couches réfléchissantes. Il faut savoir que, lorsque le retard est grand dans les basses couches de l'ionosphère, la hauteur apparente du maximum de densité déduite du facteur de MUF peut être beaucoup plus grande que la hauteur réelle. Les relations semi-empiriques suivantes ont été établies entre le facteur de MUF normalisé M(3000)F2 et la hauteur apparente du maximum d'ionisation de la couche F2, représentée par exemple par le paramètre hpF2 (§ 1.4 ci-dessous)

<sup>\*</sup> New Dehli, 1970 C.C.I.R., Rec. 373-2, Vol II, Part. 2, p. 45-46, publié par l'U.I.T., Genève 1971.

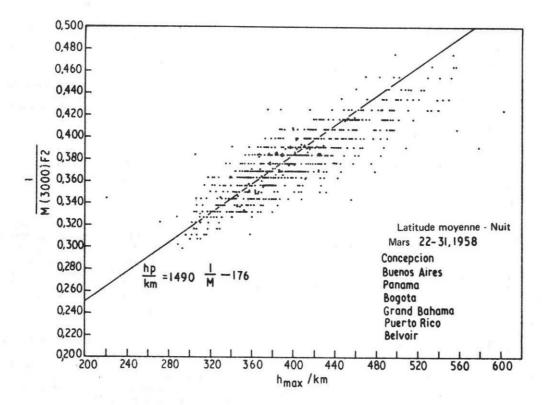


Fig. 1.10 Corrélation entre 1/M(3000)F2 et hM pour des heures de nuit, à des latitudes moyennes

C C I R \* hpF2 = - 176 + 1490/M(3000) (1.9)  

$$40^{\circ}N - 40^{\circ}S^{**}$$
 hpF2 = - 225 + 1650/M(3000) (1.10)

La relation du CCIR est largement utilisée. Malheureusement, elle donne souvent une valeur trop forte de la hauteur du maximum d'ionisation de la couche F2 spécialement pour les mois d'été. Ceci est dû surtout aux effets du retard causé par l'ionisation au-dessous de la couche F2. Cette formule ne devra pas être utilisée aux latitudes élevées.

La figure 10 montre la relation entre hpF2 déduit de M(3000)F2 au moyen de l'équation (1.9) et des valeurs de hM obtenues par analyse complète de la densité électronique  $^{*\star\star}$ .

1.09. En ce qui concerne les ionogrammes à incidence oblique, l'URSI recommande le terme de fréquence de jonation (JF) pour la MUF classique et celui de fréquence de jonation estimée (EJF) pour la MUF normalisée dont le sens est toutefois élargi pour inclure d'autres méthodes d'estimation. Ces distinctions ne sont pas importantes dans l'analyse à incidence verticale où toutes les mesures se réfèrent à la MUF normalisée définie par le CCIR.

La fréquence maximale observée (MOF) est la fréquence la plus élevée observable sur un ionogramme à incidence oblique.

# 1.1. CONVENTIONS POUR L'IDENTIFICATION DES FREQUENCES CRITIQUES ET CARACTERISTIQUES

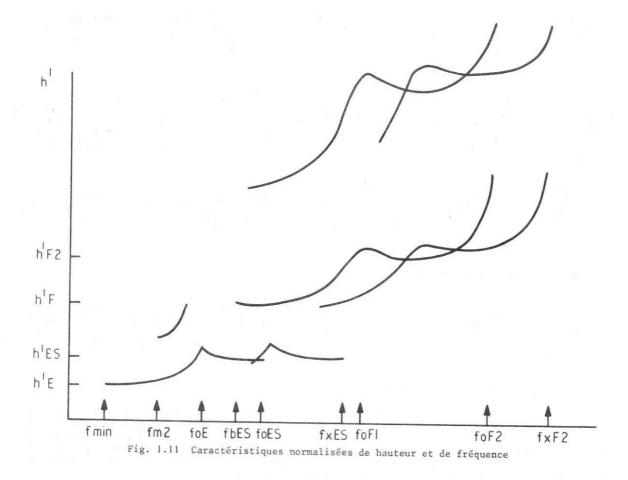
1.10. L'altitude des principales couches réfléchissantes varie en fonction de l'heure ; en particulier au lever et au coucher du soleil lorsque l'angle zénithal solaire est voisin de 90°, on

Shimazaki, T.J., J. Radio Res. Lab., Japan, 2, 85-97, 1955
 Lyon, A.J. et Thomas, L., J. Atmos. Terr. Phys. 25, 373-386, 1963
 Wright, J.W. et Mc Duffie, R.E., J. Radio Res. Lab., Japan 7, 409-420, 1960

peut trouver des traces de la couche E normale à des altitudes très hautes. En dehors de ces heures, on observe généralement les traces de la couche F au-dessus de 200 km tandis que les traces de la couche E se trouvent en dessous de 180 km, le plus souvent aux alentours de 100 à 130 km.

- A l'exception de fxI (§ 1.22), les caractéristiques internationales de fréquence sont définies à partir de la composante ordinaire (Fig. 1.11). Pour chaque caractéristique, il existe une fréquence correspondant à l'onde extraordinaire, définie de la même façon et pour laquelle il suffit de remplacer "onde ordinaire" par "onde extraordinaire" dans les définitions suivantes :
- 1.11. foF2 : fréquence critique de l'onde ordinaire de la stratification la plus élevée dans la région F. Cette convention s'applique lorsqu'il y a ambiguité due à la présence de F1.5 ou à d'autres stratifications, mais pas dans le cas où foF2 est inférieure à foF1. Dans les stations de haute latitude foF2 peut rester inférieure à foF1.
- 1.12. foF1.5 : fréquence critique de l'onde ordinaire de la stratification intermédiaire entre F1 et F2, que l'on observe souvent en certaines stations de latitude basse ou moyenne (utilisée pour des études locales ou régionales).
- 1.13. foF1: la fréquence critique de l'onde ordinaire de F1 aux latitudes basses et élevées doit être identifiée par continuité avec F1 aux latitudes tempérées. La couche F1 est plus généralement présente aux latitudes moyennes pendant les mois d'été bien que son apparition varie avec le cycle solaire. Aux basses latitudes la structure générale de la couche F est plus compliquée et il est souvent impossible d'identifier une couche régulière et continue avec la couche F1 des latitudes tempérées. Dans ce cas on n'essaiera pas de tabuler foF1. Le rapport foF1/foE pour une station donnée est en général remarquablement constant bien que variant légèrement avec le lieu, et ceci peut faciliter l'interprétation dans les cas difficiles.
- 1.14. foE : fréquence critique de l'onde ordinaire correspondant à la couche épaisse la plus basse dans la région E, qui se manifeste par une discontinuité de la hauteur de la trace E. En l'absence d'Es occultant du type "bas" (low), la trace donnant foE doit être continue sur toute son étendue sinon il s'agit de E2. Quand l'identification de la discontinuité appropriée est douteuse, on adopte comme fréquence critique de la couche E normale la fréquence critique qui présente la meilleure continuité avec celle déterminée à partir d'une séquence d'ionogrammes, ou à la même heure les autres jours. Il faut faire particulièrement attention lorsqu'une trace E2 peut être présente alors que la trace E peut être invisible par suite d'occultation (A)\*, d'absorption (B) ou parce que la valeur de foE est inférieure à la première fréquence d'exploration du sondeur (E). En présence d'Es occultant du type "cusp" (à rebroussement) (§4.83), on peut être amené à extrapoler la trace E (§ 4.24) pour obtenir la fréquence critique. Par convention, on n'inscrit rien dans le tableau de foE aux heures pour lesquelles foE est normalement inférieure à la première fréquence d'exploration du sondeur.
- 1.15. E nocturne : sur les ionogrammes la configuration correspondant à E nocturne ressemble beaucoup à celle de la couche E normale mais la fréquence critique est nettement plus élevée que celle à laquelle on s'attend pour la couche E normale à l'heure considérée, et elle varie rapidement dans le temps. E nocturne produit toujours un retard de groupe sur les traces des couches plus élevées et un tel retard au voisinage de foE suffit pour identifier la fréquence critique foE de E nocturne. La couche E nocturne précède ou suit souvent un Es du type "à retard" ou "auroral" et est produite par une précipitation de particules qui augmente considérablement l'ionisation dans la région E. Ainsi, la nuit, alors que la fréquence critique foE de la couche E normale est comprise entre 300 et 500 kHz, la fréquence critique de E nocturne atteint souvent des valeurs comprises entre 1 et 5 MHz. Lorsque le retard de groupe sur la trace E ou sur les traces des couches plus élevées indique la présence de E nocturne, on relèvera la fréquence critique de cette couche dans la colonne réservée à foE (voir § 4.24).
- 1.16. foE2 : fréquence critique d'une couche épaisse occultante qui apparaît parfois entre les couches E normale et F1. Lorsqu'on observe une discontinuité (par exemple un véritable rebroussement) avec la trace F, on la relève comme foE2. Quand la trace présente un maximum mais pas de rebroussement, on considère qu'il s'agit de foF0.5 (Fig. 1.12). Etant donné que cette dernière trace est toujours transitoire, la valeur de h'F (§ 1.32) n'est pas représentative et on la considère comme douteuse. Les caractéristiques foF0.5 et foE2 ne sont dépouillées que pour des études locales ou régionales et il est permis d'utiliser des conventions plus restrictives pour ces travaux si nécessaire.
- 1.17. foEs : fréquence extrême (top frequency) de la trace ordinaire correspondant à la fréquence la plus élevée pour laquelle on observe une trace Es presque continue. Il découle de cette définition que foEs dépend dans une certaine mesure des performances de l'ionosonde (voir les instructions détaillées au chapitre 4).

<sup>\*</sup> Pour l'explication des lettres symboles, voir le chapitre 3.



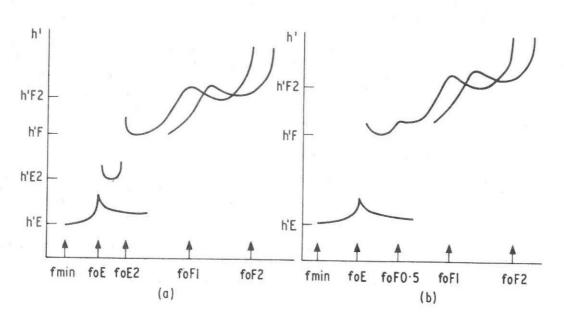


Fig. 1.12 Distinction entre E2 et F0.5. Dans le cas (b) h'F sera inscrit : (h'F) UH

1.18. fb Es : fréquence d'occultation d'une couche Es, c'est-à-dire fréquence la plus basse de l'onde ordinaire à laquelle la couche Es commence à devenir transparente. Elle correspond généralement à la fréquence la plus basse à partir de laquelle on observe des réflexions de l'onde ordinaire du premier ordre sur une couche plus élevée (voir les instructions détaillées au chapitre 4).

1.19. fmin : fréquence la plus basse pour laquelle on observe une trace sur l'ionogramme. Logiquement fmin devrait toujours correspondre à la trace du mode ordinaire. La distinction précise entre les modes o et z est souvent difficile en pratique, mais apporte peu d'information car, dans ce cas, fmin pour le mode o n'est généralement pas influencée par l'absorption. Lorsqu'il est certain que la fmin correspond à une trace z on la qualifiera par la lettre Z\*. Par convention on ne tient pas compte des traces obliques ou d'ordre multiple, ni des réflexions très faibles sur la région D (voir les instructions détaillées au chapitre 2).

Avec certains types d'ionosondes à très grande sensibilité, la fmin ne permet pas d'observer les variations de l'absorption sauf lors d'événements très intenses. Dans ce cas, on ne relève pas la fmin mais on remplace les tableaux de fmin par ceux de fm2, fréquence minimale de la trace ordinaire du second ordre (voir paragraphe 1.24). On doit toujours inscrire les valeurs réelles de fmin dans les autres tableaux où figurent des valeurs qualifiées EB (voir aussi le chapitre 13).

#### 1.2. NOUVELLES CARACTERISTIQUES

1.20. Le Comité URSI/STP, lors de sa réunion à Ottawa en septembre 1969, a approuvé et recommandé l'emploi de certaines caractéristiques nouvelles. Les définitions en sont données ici et les règles détaillées permettant de les évaluer et de les tabuler figurent au chapitre 3. On a fait également figurer dans ce paragraphe les définitions de certaines caractéristiques utilisées surtout pour des études locales ou régionales.

#### 1.21. Indice de F-diffus (spread F), f x l

Le Comité URSI/STP\*\* ayant noté qu'une mesure de la fréquence extrême (top frequency) pour laquelle on observait de la diffusion était instamment demandée par le Comité Consultatif International des Radiocommunications (CCIR) et qu'elle présentait par ailleurs un intérêt scientifique, recommande qu'une nouvelle caractéristique ionosphérique, appelée fxI (avec le code 51 pour les ordinateurs), et définie ci-après, soit adoptée internationalement pour analyse, tabulation et échange normal par l'intermédiaire des Centres mondiaux de Données (WDC) et autres formes de publication.

Il est recommandé à toutes les stations de haute latitude et à celles où se manifeste de la diffusion équatoriale de relever et publier cette caractéristique. Les stations des autres latitudes sont invitées à le faire à titre d'essai. Des tests sont particulièrement importants aux stations où l'étalement en fréquence de F-diffus dépasse fréquemment fB/2 à certaines heures. Il est très important de mesurer fxI dans les stations où la médiane de foF2 est basée sur un petit nombre de valeurs à certaines heures par suite de la diffusion.

La caractéristique fxI est définie comme la fréquence la plus élevée pour laquelle sont enregistrées des réflexions sur la région F, qu'elles soient zénithales ou obliques. Par conséquent, fxI est la fréquence extrême des traces de F-diffus y compris les "éperons" (spurs) polaires ou équatoriaux mais en excluant les traces de rétrodiffusion par le sol. Cette caractéristique devra toujours être mesurée sur l'ionogramme à gain normal car elle est sensible au gain. Il faudra faire attention lorsque foI (foI : fxI - fB/2) est voisin de fB ou inférieur à fB car l'absorption peut alors empêcher de déterminer fxI. Des règles détaillées sont données au paragraphe 3.3.

# 1.22. Diffusion suivant l'axe des fréquences (frequency spread) : df\$

Certaines stations ont mesuré l'étalement en fréquence de la diffusion et cette caractéristique est reconnue comme caractéristique internationale pour l'échange facultatif de données. On lui a attribué le symbole dfS. Il n'y a pas de convention internationale pour ce paramètre (voir paragraphe 7.34) qui semble n'être pas utilisé et peut être ignoré.

df\$ : la caractéristique df\$ est provisoirement définie comme étant la largeur totale de l'intervalle de fréquences dans lequel on observe des échos F-diffus. La limite inférieure est définie par le mode z ou o, la limite supérieure par le mode x. Etant donné que df\$ est utile surtout pour des études régionales, les organismes intéressés devraient donner leur avis. Si des conventions internationales sont définies, elles seront publiées dans les Bulletins d'information de l'URSI et de l'INAG.

<sup>\*</sup> Pour l'explication des lettres symboles voir le chapitre 3. \*\* Bulletin de l'URSI N° 169, Décembre 1968, p. 56.

1.23. fml : fréquence la plus basse à laquelle on observe des échos diffus dans la région F. Elle est souvent égale à foF2.

#### 1.24 Surveillance de l'absorption au moyen des ionosondes

Les variations de l'absorption dans le temps et dans l'espace s'avèrent trop compliquées pour pouvoir être convenablement étudiées au moyen des stations existantes de mesure de l'absorption. Le Comité URSI/STP a donc adopté une nouvelle caractéristique supplémentaire, fm2.

Définition : est la fréquence la plus basse de la trace du second ordre. Puisque l'affaiblissement exprimé en décibels est deux fois plus grand pour la trace du second ordre que pour celle du premier ordre fm2 est plus sensible aux variations de l'absorption et moins sensible à l'appareillage que fmin. fm2 ne peut être utilisée que lorsque deux traces sont généralement présentes et n'a pas de signification lorsque fm2 = foE.

Les règles suivantes amélioreraient les mesures de l'absorption pour des travaux synoptiques et pourraient être éventuellement adoptées :

a) dans les stations où fmin est surtout déterminée par l'absorption, au moins lorsqu'elle est appréciable, on devrait exploiter l'ionosonde de façon à obtenir des valeurs de fmin cohérentes. En particulier, on ne devrait effectuer les changements de gain qu'à heures fixes, chaque mois, et maintenir ce gain aussi constant que possible. Les heures et les changements de gain exprimés en dB devraient être notés et publiés avec les données de fmin.

Dans les stations où fm2, c'est-à-dire la fmin de la trace du second ordre, est déterminée principalement par l'absorption, les mesures de fm2 fournissent généralement des variations de l'absorption de façon plus précise que la fmin et sont moins sensibles aux brouillages et aux caractéristiques techniques de l'équipement,

b) Dans les stations où l'équipement est très sensible et où la fmin ne représente généralement pas une mesure de l'absorption, fm2 devrait être relevée et publiée au lieu ou en plus de fmin. Notons que, dans ce cas, la valeur réelle de fmin devrait toujours figurer dans les tableaux des autres caractéristiques quand celles-ci sont inférieures à fmin, par exemple dans les cas ... EB ... ES (chapitre 3).

Dans les stations du groupe (a) on choisira de remplacer fmin par fm2 lorsque l'expérience locale aura montré que cela permet de mieux décrire les variations de l'absorption.

1.25. fm3 : la caractéristique fm3 est la fréquence la plus basse de la trace du troisième ordre (elle n'est utilisée que pour des études locales ou régionales). La mesure de l'absorption est décrite plus en détail au chapitre 12.

1.26. foi foI : est la caractéristique du mode ordinaire correspondant à la caractéristique fxI du mode extraordinaire (elle n'est pas utilisée actuellement sauf dans les explications).

# 1.3. CONVENTIONS POUR L'IDENTIFICATION ET LE DEPOUILLEMENT DES HAUTEURS VIRTUELLES

- 1.30. la hauteur virtuelle minimale de réflexion ne peut être déterminée qu'en un point où la trace est essentiellement horizontale. En général les hauteurs virtuelles minimales ne devraient être dépouillées que si cette condition est remplie dans la limite des règles de précision (paragraphe 2.2). Voir l'emploi de E au chapitre 3.
- 1.31. Dans certains cas on peut obtenir une information utile même si la trace n'est pas horizontale, par exemple lorsqu'elle est occultée par une couche inférieure ou lorsqu'elle est encore oblique à la plus basse fréquence de l'ionogramme. Dans ce cas, la hauteur minimale observée devra être qualifiée par E et sera interprétée comme "hauteur virtuelle minimale inférieure à ...".

Notons que h'F2 peut être déterminée lorsque la trace présente un point d'inflexion à tangente horizontale ; si la tangente au point d'inflexion n'est pas horizontale aucune mesure n'est possible et on utilise le symbole L seul. Les stratifications transitoires ne sont pas prises en considération dans le dépouillement de routine mais leur présence est indiquée par les lettres descriptives H ou V.

1.32. h'F : hauteur virtuelle minimale de la trace de l'onde ordinaire de la région F considérée comme un tout.

1.33. h'F2: hauteur virtuelle minimale de la trace de l'onde ordinaire de la stratification stable la plus haute de la région F.

- 1.34. h'E : hauteur virtuelle minimale de la couche E normale considérée comme un tout.
- 1.35. h'Es : hauteur virtuelle minimale de la trace utilisée pour dépouiller foEs.
- 1.36. h'E2 : hauteur virtuelle minimale de la trace de l'onde ordinaire de la couche E2 (utilisée seulement pour des études locales ou régionales).
  - 1.37. h'l : hauteur virtuelle minimale des traces qui déterminent fxI (son emploi est facultatif).
- 1.38. h'F1.5 : hauteur virtuelle minimale de la trace de l'onde ordinaire présente entre foF1 et foF1.5 (utilisée seulement pour des études locales ou régionales).
- 1.39. h'0x: hauteur virtuelle de la trace x à la fréquence foF2 (utilisée seulement pour des études locales ou régionales).

#### 1.4. CONVENTIONS POUR LA DETERMINATION D'AUTRES CARACTERISTIQUES DE HAUTEUR

- 1.40. Certaines mesures indirectes de la hauteur de la densité maximale de la couche F sont couramment effectuées et leurs définitions sont données ci-dessous. Notons qu'elles ne sont pas exactes car les valeurs obtenues dépendent des techniques utilisées ; on ne tabulera une caractéristique avec le symbole international que si on a appliqué les règles internationales.
- 1.41. hpF2 : hauteur virtuelle de l'onde ordinaire à la fréquence correspondant à 0,834 foF2. Pour une couche parabolique unique sans ionisation sous-jacente, hpF2 est égale à la hauteur vraie du maximum d'ionisation de la couche. En pratique hpF2 est généralement supérieure à la hauteur réelle de ce maximum. Dans les stations où l'inclinaison magnétique est faible, ou quand foF2 est inférieure à environ 1,3 foF1, hpF2 est très erronée et son emploi systématique n'est donc pas recommandé pour cette raison. (Wright, J. W. et Mc Duffie, R. E. J. Radio Res. Lab., Japon, 7, 409-420, 1960).
- 1.42. hc : hauteur du maximum de densité électronique obtenue en faisant coıncider une courbe h'F théorique (correspondant à la parabole qui s'en rapproche le plus) avec la trace de l'onde ordinaire au voisinage de foF2 et en appliquant une correction pour tenir compte de l'ionisation sous-jacente (voir chapitre 10, paragraphe 10.33, 10.4).
- 1.43. hm F2: hauteur du maximum de densité électronique obtenue en faisant coıncider une courbe h'F théorique (correspondant à la parabole qui s'en rapproche le plus) avec la trace de l'onde ordinaire au voisinage de foF2 mais sans appliquer de correction pour tenir compte de l'ionisation sous-jacente. Notons que, pour hc et hmF2 la coıncidence des courbes se fait pour des fréquences supérieures à 0,9 foF2.
- 1.44. On appelle généralement hmaxF2 ou h(Nm) les valeurs du maximum de densité électronique obtenues par des méthodes complètes de calcul par ordinateur qui tiennent compte des deux composantes o et x.

#### 1.5. CONVENTIONS POUR LA DETERMINATION DES FACTEURS DE MUF

1.50. A l'origine les facteurs de MUF ont été introduits comme facteurs de conversion pour des calculs de propagation oblique. On peut obtenir une estimation de la fréquence maximale utilisable correspondant à une certaine distance en multipliant la fréquence critique de la couche considérée par le facteur de MUF correspondant. Cette définition correspond à un modèle de propagation quelque peu simplifié et on sait maintenant que cette MUF normalisée n'est pas nécessairement identique à la MUF d'exploitation d'un circuit radioélectrique. Néanmoins, les facteurs de MUF constituent une caractéristique fondamentale pour les prévisions.

La courbe classique de transmission donne le rapport des fréquences équivalentes, sous incidence verticale et sous incidence oblique à 3000 km, d'ondes réfléchies à une hauteur virtuelle donnée, dans l'hypothèse d'un modèle de propagation classique simplifié. Lorsqu'on adopte 3000 km comme distance conventionnelle, le procédé fournit une solution graphique simple du calcul de la MUF(3000) normalisée et du facteur de MUF correspondant qui est défini par M(3000) = MUF(3000)/fo,

La forme de la courbe de transmission est définie par les rapports donnés dans le tableau ci-dessous pour différentes hauteurs virtuelles

hauteur virtuelle (km)	200	250	300	350	400	500	600	700	800
rapport	0,220	0,247	0,274	0,300	0,325	0,372	0,417	0,455	0,490
facteur de MUF	4,55	4,05	3,65	3,33	3,08	2,69	2,40	2,20	2,04

- Si l'échelle de fréquence des ionogrammes est logarithmique, on construit la courbe de transmission classique sous forme d'un abaque transparent (Fig. 1.13). L'échelle des abscisses de l'abaque correspond aux facteurs de MUF donnés ci-dessus, représentés à la même échelle que celle des fréquences de l'ionogramme mais en sens inverse. On fait glisser cette courbe le long de l'axe des fréquences jusqu'à ce qu'elle tangente la trace ordinaire (au point de tangence la hauteur lue sur l'ionogramme doit être la même que celle lue sur l'abaque); le facteur M(3000) pour cette couche correspond à la valeur de l'abscisse lue sur l'abaque à la fréquence critique de la couche (Fig. 1.14).
- Si l'échelle de fréquence des ionogrammes n'est pas logarithmique, on prépare un réseau de courbes de MUF normalisée à partir de la courbe de transmission classique, chaque courbe correspondant à une certaine valeur de la MUF (Fig. 1.15). La courbe qui tangente la trace donne la MUF et on obtient le facteur M(3000) en divisant cette valeur de MUF par la fréquence critique de la couche correspondante.

#### 1.6. CARACTERISTIQUES A DEPOUILLER

1.61 La surveillance de l'ionosphère implique que toutes les stations fournissent foF2, M(3000)F2, et une valeur raisonnablement significative de foEs, ou d'autres caractéristiques qui puissent se ramener à celles-ci. Ce sont aussi les plus importantes pour les recherches scientifiques. Les caractéristiques fmin et fm2 (lorsque fmin n'est pas significative) fournissent aussi des renseignements intéressants sur le fonctionnement de l'ionosonde et les variations importantes de l'absorption (voir chapitre 12).

Les quatre caractéristiques foF2, M(3000)F2, foEs et fmin sont donc les plus importantes et devraient faire l'objet d'un échange entre toutes les stations sous forme de tableaux mensuels des valeurs horaires présentés sous une forme adaptée au traitement manuel ou par ordinateur.

- 1.62. Il est généralement admis que les caractéristiques importantes à dépouiller et à échanger sur le plan mondial sont actuellement :
  - a) Fréquences : fxI, foF2, foF1, foE, foEs, fbEs, fmin ou fm2
  - b) Hauteurs virtuelles minimales : h'F2, h'F, h'E, h'Es
  - a) Facteurs de MUF : M(3000)F2, M(3000)F1 ou les MUF(3000)F2 et MUF(3000)F1 équivalentes.
  - d) Types d'Es : (voir chapitre 4).
- 1.63. Dans de nombreuses stations, certaines caractéristiques qui ne sont pas incluses dans la liste des caractéristiques mondiales sont importantes pour des recherches locales ou régionales. Quelques caractéristiques de ce genre sont données au chapitre 12. Il est intéressant de dépouiller ces caractéristiques d'une façon uniforme dans une région donnée et des "règles-maison" peuvent être appliquées sur le plan régional.
- 1.64. Le graphique de fréquence (f-plot) (chapitre 6) constitue non seulement un moyen efficace de présentation des données obtenues à partir des ionogrammes individuels, mais aussi un outil essentiel pour les études mondiales et régionales qui traitent de la comparaison des variations réelles d'un jour à l'autre d'un phénomène ionosphérique. Les graphiques de fréquence peuvent être remplacés par des enregistrements continus de certaines caractéristiques (paragraphe 11.3).

#### 1.7. PROGRAMME DES SONDAGES

Le programme minimal des sondages de routine et de leur dépouillement nécessaire pour les recherches scientifiques et pour les prévisions ionosphériques est continuellement sujet à révision car il change avec l'évolution des sujets étudiés (voir paragraphe 9.1 pour les détails). Les recommandations futures seront publiées dans les Bulletins d'information de l'INAG diffusés à toutes les stations connues.

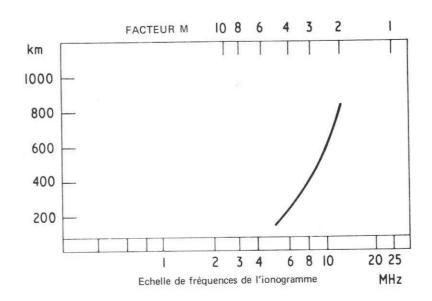


Fig. 1.13 Abaque coulissant pour le facteur de MUF

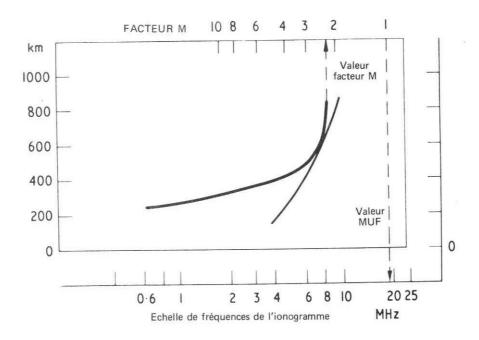


Fig. 1.14 Emploi de l'abaque du facteur de MUF



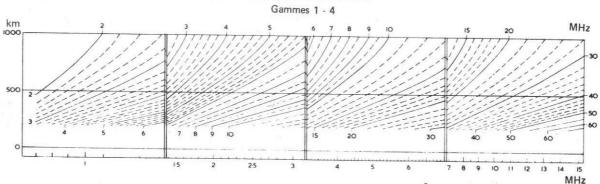


Fig. 1.15 Exemple d'abaque transparent pour la détermination des MUF et des facteurs de MUF pour des ionogrammes dont les échelles de fréquences ne sont pas logarithmiques.

Pour les sondages de routine, le programme minimal utile correspond à un sondage toutes les heures, effectué de telle sorte que la fréquence 3 MHz soit balayée à l'heure ronde du méridien de 15° le plus proche, c'est-à-dire aux heures ± x heures, x étant un nombre entier. Le méridien adopté sera toujours indiqué. Les données peuvent être publiées en T.U. à condition de l'indiquer. Un programme de sondages quadri-horaires est préférable, et c'est le minimum indispensable aux latitudes élevées ou lorsque se manifestent souvent des couches non stratifiées horizontalement (inclinées).

L'échange utile minimal des données concerne les quatre caractéristiques principales indiquées au paragraphe 1.61 ci-dessus, ou leur équivalent s'il est notifié sur le plan international (par exemple fm2 au lieu de fmin, fbEs au lieu de foEs). Presque toutes les stations échangent les caractéristiques classiques définies au paragraphe 1.62.

Un calendrier international des Jours Mondiaux est publié chaque année par l'I.U.W.D.S. et reproduit dans le Bulletin d'informations de l'URSI, de l'INAG, les Notes STP et ailleurs. Il donne les dates pour lesquelles des efforts spéciaux doivent être faits pour obtenir une meilleure surveillance de l'ionosphère, par exemple en remplaçant un programme horaire par un programme quadri-horaire, un programme quadri-horaire par des sondages plus fréquents. Les événements qui se sont produits aux dates indiquées par le calendrier font, de préférence, l'objet d'études mondiales détaillées. Il existe également un réseau international qui diffuse des alertes pour des événements spéciaux ; ce réseau est maintenu par le Service international des Ursigrammes et des Jours Mondiaux, par l'intermédiaire de ses Centres d'Alerte Régionaux. Les stations sont encouragées à effectuer des mesures spéciales lors de certains de ces événements.

#### 1.8. FONCTIONNEMENT DES STATIONS

Les instructions relatives à la maintenance de routine varient selon le type d'ionosonde utilisé et devront être obtenues des fabricants ou des organismes qui ont fourni l'ionosonde. Il est utile de tenir un registre de maintenance sur lequel on indiquera les tensions et les formes d'onde fournies par les appareils de contrôle utilisés dans la station. Il est essentiel d'y noter toute modification apportée aux circuits. En pratique, les relèves de personnel s'effectuent souvent rapidement et ne permettent pas de bien mettre au courant les arrivants des particularités de l'ionosonde. Les ionogrammes constituent la meilleure preuve de son fonctionnement correct et une série d'ionogrammes servant de référence devra être faite pour une journée et une nuit typiques d'été et d'hiver. Il est précieux également de disposer d'une série d'ionogrammes montrant les effets des changements de gain et des fautes particulières d'exploitation. Il est facile de "maquiller" un défaut en modifiant un circuit qui fonctionne correctement de sorte que cela compense l'effet d'un circuit défectueux (mais pas diagnostiqué). Quand ceci a été fait, plusieurs pannes peuvent se produire simultanément et il est diffile de les déceler.

Une vérification complète du fonctionnement sera effectuée à intervalles réguliers et après tout réglage important ; les résultats en seront notés de façon que les conditions normales de fonctionnement puissent être rétablies après tout incident. Les changements de gain devront être effectués le premier jour de chaque mois et notés. Il est recommandé d'examiner les données de l'année précédente pour effectuer au mieux ces changements de gain. Ceci est particulièrement important au voisinage des équinoxes lorsque les conditions changent rapidement alors que pendant plusieurs mois, seuls des petits changements de gain avaient été nécessaires. Il est bon d'examiner les données de chaque mois et de noter si le gain utilisé était satisfaisant, trop fort, trop faible, de façon à éviter la même erreur l'année suivante.

Si les ionogrammes ne sont pas dépouillés sur place, il est spécialement recommandé, à chaque changement de film, d'enregistrer quelques ionogrammes supplémentaires qui seront coupés et développés sur place pour contrôler leur qualité.

Il est important de maintenir constant le format des ionogrammes, sinon les abaques ne pourront pas être utilisés. Il est essentiel de pouvoir vérifier commodément ce format, par exemple à l'aide de marques à l'encre de chine sur le tube cathodique de contrôle pour repérer les bases de temps. Des repères indiquant les positions habituelles des réglages du gain sont plus faciles à utiliser qu'une table de valeurs.

Toujours conserver les notes complètes sur les causes de toutes les pannes.

Le fonctionnement de l'ionosonde sera contrôlé aussi souvent que possible car la plupart des pannes surviennent sans prévenir. Les difficultés de dépouillement dues au fonctionnement de l'ionosonde devront être surmontées dès que possible - il n'est généralement pas possible de dépouiller des ionogrammes compliqués si leur qualité n'est pas bonne. On laisse souvent la qualité se dégrader graduellement pendant trop longtemps et cela rend le dépouillement imprécis et inexact.

#### 1.9. SORTIE D'ORDINATEUR

Les caractéristiques reproduites à la sortie d'ordinateur sont généralement identifiées par les codes normalisés qui figurent au paragraphe 7.3 du Manuel. Elles peuvent être complétées ou remplacées par les caractéristiques correspondantes sous la forme imprimée par les ordinateurs, par exemple FOF2 pour foF2, FMIN pour fmin, etc... Tous les symboles en lettres minuscules sont remplacés par des majuscules dans le cas de reproduction par ordinateur et sont considérés comme équivalents de ceux des conventions internationales.

L'emploi de lettres majuscules au lieu de lettres minuscules pour les types d'Es est en cours de discussion lors de la rédaction du présent texte, parce que les lettres majuscules sont utilisées par les ordinateurs et que les lettres minuscules sont souvent difficiles à lire. La décision sera annoncée dans le Bulletin INAG. A l'origine, on a représenté les types d'Es par des lettres minuscules pour éviter toute confusion avec les lettres symboles qui ont une signification complètement différente. Ceci est important lors de la formation du personnel mais pas pour les opérateurs bien entraînés qui les interprètent facilement d'après le contexte.

#### CHAPITRE 2

#### DETERMINATION DES VALEURS NUMERIQUES HORAIRES

#### 2.0. CONVENTIONS GENERALES

Les valeurs numériques qui sont déterminées systématiquement à partir des ionogrammes enregistrés toutes les heures T.U. permettent de décrire et de mesurer les caractéristiques représentatives de l'ionosphère au zénith. Ces valeurs sont tabulées en Temps Local standard, qui correspond au méridien multiple de 15° le plus proche et qui, pour la plupart des stations, est identique au Temps Civil Local. Pour éviter toute ambiguité, le temps utilisé sera toujours indiqué sur les feuilles de dépouillement.

Les règles suivantes ont été adoptées pour que les données susceptibles d'être échangées soient homogènes :

(a) Toutes les données numériques, à l'exclusion de fxI, concernent la trace ordinaire. Lorsque la trace ordinaire n'est pas utilisable ou lorsqu'elle est douteuse, on mesure la caractéristique de fréquence sur la trace de l'onde extraordinaire ou sur la composante z, on calcule la valeur correspondante de la caractéristique de l'onde ordinaire et on l'inscrit avec la lettre qualitative (J ou Z) et la lettre descriptive appropriée.

On mesure fxI sur la trace ordinaire lorsque la trace extraordinaire manque (en général à cause de l'absorption, B), on calcule la valeur numérique correspondante et on l'inscrit avec la lettre qualitative 0 et la lettre descriptive appropriée (voit § 3.2).

- (b) Les échos multiples devront toujours être examinés et mesurés si nécessaire, pour confirmer ou aider à l'interprétation de la trace principale, mais ne figurent ni sur les tableaux ni sur les f-plots [A 99 I, Fig. 102] (à l'exception de fm2 pour ceux qui l'utilisent). Les traces multiples sont particulièrement utiles pour s'assurer que l'ionosphère est effectivement stratifiée horizontalement, hypothèse implicite lors du dépouillement des ionogrammes dans la plupart des stations. Aux latitudes basses et élevées, cette hypothèse n'est souvent pas vérifiée ; il est alors essentiel d'étudier toutes les réflexions multiples pour s'assurer de la validité de cette hypothèse. Les règles de dépouillement en présence d'une ionosphère non stratifiée horizontalement diffèrent notablement de celles que l'on applique normalement (voir § 2.7).
- (c) On ne tient pas compte des traces dues à des réflexions très faibles, que l'on observe sur de nombreux ionogrammes en plus de celles produites par réflexion sur des couches normales. Ces traces correspondent rarement à des phénomènes susceptibles d'être étudiés efficacement à l'échelle mondiale à l'aide des ionosondes classiques. Même dans les stations où on les observe régulièrement, elles correspondent rarement à des réflexions normales sur l'ionosphère et doivent faire l'objet d'études spéciales.

Les traces normales atténuées par des phénomènes d'absorption ou par suite de défauts de l'équipement sont toujours considérées comme significatives. Les caractéristiques que l'on en déduit peuvent être décrites par B, R ou C selon le cas. Ainsi, lorsque la fmin est élevée, une trace normale peut paraître très faible mais elle devra être traitée comme une trace intense.

Remarque: Une faible réflexion partielle causée par un fort gradient dans la région D [B III-10], habituellement à une hauteur virtuelle inférieure à 95 km, est le signe d'une forte absorption et cette trace est classée comme Es de type d (voir § 4.83), mais on n'en tiendra pas compte lorsque l'on détermine fmin ou foEs. Si aucune autre trace n'est présente, toutes les caractéristiques sont remplacées par B sauf le type d'Es pour lequel on inscrira d.

(d) On ne tient pas compte des traces dues à des réflexions obliques et à d'autres phénomènes transitoires à l'exception de celles dont la liste est donnée ci-après. Elles sont facilement identifiables par comparaison avec des ionogrammes habituels. L'examen détaillé de séquences d'enregistrements rapprochés dans le temps [A 96 I, Fig. 91] [B III, pp. 18-26] et d'autres expériences spéciales sont utiles aussi. Il est recommandé à toutes les stations de se constituer sa propre collection d'ionogrammes difficiles avec leur interprétation et de tirer profit de l'expérience d'autres groupes.

La règle (d) ci-dessus ne s'applique pas :

- (i) aux f-plots sur lesquels sont toujours notées les réflexions obliques dans la région F,
- (ii) aux Es "inclinés" (Es slant) qui sont dépouillés comme types d'Es mais ne sont pas utilisés pour déterminer foEs et fbEs,
  - (iii) à fxI qui est, en général, dû à des réflexions obliques (§ 3.3).

#### 2.1. CONSIDERATIONS SUR LA PRECISION

La précision avec laquelle les hauteurs et les fréquences critiques ionosphériques peuvent être mesurées dépend de la précision inhérente à l'équipement, de la précision de la méthode d'étalonnage et de la précision de lecture lors du dépouillement des ionogrammes. Etant donné que tout dépouillement implique une certaine simplification et que la précision est souvent limitée par les propriétés physiques des couches réfléchissantes, une valeur de la précision de lecture a été déterminée sur le plan international. Certaines techniques de recherches, par exemple la détermination de profils de densité électronique par les méthodes les plus élaborées, exigent une précision plus grande. Réciproquement la variabilité de l'ionosphère peut conduire à accepter une précision moindre dans certaines régions pour permettre d'obtenir un échantillonnage raisonnable de données numériques. En général, les ionosondes devraient pouvoir fournir des ionogrammes avec la précision requise.

Pour certaines applications géophysiques, c'est la variation relative qui présente de l'intérêt; c'est pourquoi il vaut la peine de maintenir sur le plan mondial une bonne précision relative, même si la précision absolue est moins bonne. La convention adoptée est que la précision des valeurs numériques est déterminée par la précision de lecture et non par la précision absolue des mesures. La précision absolue des mesures de hauteurs virtuelles est généralement bien moindre que leur précision relative car une erreur systématique importante, liée à la technique utilisée, s'introduit souvent dans les mesures de hauteur. Ceci peut être important pour la comparaison avec des résultats d'expériences en fusée ou par diffusion incohérente.

#### 2.11. Précision de l'étalonnage des ionogrammes

La précision des marques de fréquences et de la fréquence de répétition des repères peut être facilement vérifiée à l'aide d'une fréquence étalon. Il est recommandé de maintenir la précision de ces échelles à + 0.1%.

Il est plus difficile de déterminer le zéro correct des repères de hauteur que de maintenir leurs écarts avec precision. Une erreur systématique pouvant atteindre 10 km peut se produire, même lorsqu'on utilise une synchronisation automatique de l'impulsion émise et des repères de hauteurs. On peut la corriger lors du dépouillement, par exemple en utilisant les réflexions multiples. De plus, la position du bord inférieur de la trace dépend généralement de l'amplitude du signal reçu. On ne peut pas négliger ce phénomène lorsque l'on cherche à obtenir des mesures précises de hauteurs (par exemple à  $\pm$  2 km près); un étalonnage adapté est alors nécessaire.

## 2.12. Techniques pour l'étalonnage de la hauteur des traces

La technique qui convient le mieux dépend de la conception de l'ionosonde et de la mesure dans laquelle la hauteur virtuelle enregistrée dépend de l'amplitude du signal réfléchi. Les deux cas principaux sont :

- (a) les ionosondes dans lesquelles les repères de hauteur sont rigoureusement liés au top d'émission,
- $\it (b)$  les ionosondes dans lesquelles on peut faire glisser les repères de hauteurs par rapport au top d'émission.

Dans le cas (a) il est essentiel d'évaluer l'erreur moyenne, qui est principalement due au retard subi par l'écho dans le récepteur mais qui peut aussi se produire dans les circuits générateurs d'impulsions. Cette erreur peut conduire à une erreur sur la hauteur pouvant atteindre  $10\,\mathrm{km}$ . Il faut donc la déterminer (voir ci-dessous) et soit la soustraire de toutes les valeurs avant leur publication, soit l'indiquer dans une note jointe à toutes les données de hauteurs. Dans le cas (b) on doit régler les repères de hauteur de sorte que la hauteur de la trace principale soit compatible avec la différence de hauteur des traces du premier et du second ordre (ou d'ordre plus élevé). On peut réaliser ceci au mieux en utilisant les traces multiples de Es plat totalement réfléchissant. Il faut soigneusement s'assurer que le réglage est correct et ne dérive pas dans le temps. Ce phénomène a été traité en détails par A.J. Lyon et Moorat,  $[J.\ Atmos.\ Terr.\ Phys.,\ 8,\ 309-313,\ 1956]$ 

Un procédé applicable lorsque la largeur de la trace est sensible aux variations de l'amplitude a été indiqué par W.R. Piggott, [J. Atmos. Terr. Phys., 14, 175-180, 1959].

Il est possible aussi d'utiliser l'ionosonde avec une très grande différenciation, c'est-à-dire avec une très faible constante de temps. L'appareil est alors sensible à des niveaux très faibles du signal et peut fournir des hauteurs plus précises quand la trace est due à un seul rayon et quand il n'y a pas de brouillage. Ce procédé peut cependant être source d'erreur et conduire à des difficultés d'interprétation en présence d'échos multiples ou de réflexions diffuses.

Certaines stations, qui ne peuvent effectuer un véritable étalonnage, devront déterminer la correction moyenne en comparant les hauteurs virtuelles des traces de différents ordres et indiquer la valeur de cette correction sur tous les tableaux de hauteurs. Il faut remarquer que les erreurs sur la hauteur entraînent automatiquement des erreurs sur les facteurs M(3000).

L'idéal est de mesurer les hauteurs virtuelles à un kilomètre près. On y est parvenu dès 1935 mais la plupart des ionosondes courantes ne peuvent fournir des valeurs qu'à 5 km près.

#### 2.13. Précision de lecture

Les mesures devront être faites avec au moins la précision de lecture spécifiée dans le tableau suivant :

Caracteristique	Précision de lecture						
	Région E				Régi	Région F	
	Couch	ne E	Cou	che Es			
Hauteur	2	km	2	km	5	km	
Fréquence	0,05	MHz	0,1	MHz	0,1	MHz	
M(3000)					0,05	MHz	

Remarque: En cas de changement de gain, on doit relever les hauteurs sur l'ionogramme qui présente la trace la plus nette. Lorsqu'on dispose d'ionogrammes à échelle dilatée en hauteur, on s'efforcera de lire les caractéristiques de hauteur de façon aussi précise que possible ; on peut obtenir une précision de lecture de 1 km dans ces conditions. Lorsque le pouvoir de résolution de l'équipement est supérieur à  $\pm$  2 km, on relèvera les hauteurs de la région E au moins au kilomètre impair le plus proche. Lorsque le pouvoir de résolution est supérieur à  $\pm$  5 km, on arrondira les hauteurs de la région E au 5 km le plus proche. Lorsque le pouvoir de résolution est inférieur à  $\pm$  5 km, on ne relèvera pas h'E, mais on relèvera toujours h'Es, car sa valeur reste utile pour la classification des Es. Lorsque les caractéristiques de l'ionosonde ne permettent de mesurer les hauteurs qu'à 10 km près, on n'essaiera pas de relever les valeurs avec une précision de 5 km (de telles ionosondes sont maintenant périmées):

Lorsque la précision de lecture n'est que de  $\pm$  5 km, les valeurs des hauteurs de la couche E ne présentent que peu d'intérêt scientifique, mais elles peuvent cependant être utiles pour l'évaluation des profils de densité électronique de la couche F et on applique alors à toutes les hauteurs les règles de précision de lecture pour la région F. Quand on ne peut lire les hauteurs à mieux que  $\pm$  10 km, les profils n'ont pas grande signification et on n'effectuera des mesures que pour répondre à des besoins spécifiques.

Si les fréquences et les hauteurs ne peuvent être mesurées avec, au moins, la précision indiquée sur le tableau, il est inutile d'utiliser des programmes de calcul très élaborés pour les calculs de profils, comprenant des corrections pour les vallées et l'ionisation sous-jacente, car ces termes de correction varient rapidement avec la différence d'altitude entre les points correspondants des traces o et x, qui doivent par conséquent être déterminés avec précision. De plus, des erreurs de 1 % sur la fréquence au voisinage des fréquences critiques peuvent conduire à des erreurs importantes sur les profils.

#### 2.14. L'heure

Par définition l'heure d'un sondage lent est l'heure à laquelle le sondeur enregistre la fréquence de 3 MHz. L'heure nominale d'une série de sondages à plusieurs gains est celle de l'ionogramme à gain moyen. L'heure nominale et l'heure inscrite sur les enregistrements ne doivent pas différer de plus de 0,5 minute.

Si, pour une raison quelconque, on ne dispose pas des données exactement à l'heure ronde, on peut utiliser, pour le dépouillement des caractéristiques horaires, un enregistrement effectué à moins de 5 minutes de l'heure ronde à la condition que la séquence d'ionogrammes montre que les variations sont lentes (voir le chapitre 7 pour les règles concernant l'établissement des tableaux).

## 2.2. REGLES DE PRECISION POUR LES MESURES INDIVIDUELLES

## 2.21. Généralités

Les règles générales de précision indiquent la précision souhaitable lorsque la structure de l'ionosphère et les caractéristiques de l'ionosonde le permettent. Elles indiquent aussi la tolérance permise pour les valeurs douteuses ou extrapolées et permettent d'identifier ces valeurs. Il découle de ces règles que la fiabilité des données est déterminée par le pourcentage d'erreur permis sauf quand ce pourcentage est inférieur à la précision de lecture  $\Delta$ . La figure 2.1 illustre ces règles en montrant, sous forme graphique, les règles applicables à toutes les fréquences critiques avec des précisions de lecture  $\Delta$  = 0,1 MHz et  $\Delta$  = 0,05 MHz.

On doit se rappeler que les règles de précision s'appliquent en cas de doute raisonnable et non en cas de certitude absolue. Ainsi, si une trace F présente quelques échos diffus au-delà de l'intervalle limite mais s'il est peu probable que foF2 soit réellement au-delà de cet intervalle, on traitera cette trace comme s'il n'y avait pas d'échos diffus.

## 2.22. Conventions pour fixer le niveau de précision

L'unité de précision de lecture  $\Delta$  a été définie dans le tableau ci-dessus (§ 2.13). Les valeurs numériques que certains phénomènes rendent incertaines sont qualifiées par des symboles (§ 2.3) dont l'emploi est soumis aux règles suivantes :

- (a) si l'incertitude estimée d'une valeur est inférieure à  $\pm$  2% (ou à  $\pm$   $\Delta$ , si  $\Delta$  est supérieur à 2%), la valeur numérique n'est pas qualifiée.
- (b) si l'incertitude d'une valeur est supérieure à  $\pm$  2% (ou à  $\pm$   $\Delta$ , si  $\Delta$  est supérieur à 2%) mais est inférieure à  $\pm$  5% (ou à  $\pm$  2  $\Delta$ , si 2  $\Delta$  est supérieur à 5%), la valeur est considérée comme douteuse et on inscrit, avec la valeur numérique, la lettre qualificative U, et la lettre descriptive qui indique le mieux la raison de l'incertitude.
- (c) si une limite est sûre et si l'autre limite possible reste à l'intérieur d'un intervalle correspondant à  $\pm$  10% (ou à  $\pm$  3  $\Delta$ , si 3  $\Delta$  est supérieur à 10%), la valeur la plus probable est prise à mi-chemin entre les limites observées et on inscrit avec cette valeur numérique la lettre qualificative U et la lettre descriptive appropriée.
- (d) lorsque l'erreur est supérieure à celle indiquée en (b) mais qu'on estime que la valeur vraie diffère de moins d'environ 20% (ou 5  $\Delta$ , si 5  $\Delta$  est supérieur à 20%) d'une limite observée des positions possibles de la trace principale, on relève alors la valeur numérique de cette limite observée avec la lettre qualificative D ou E, selon le cas, et avec la lettre descriptive appropriée.
- (e) quand la limite extrême de l'écho principal semble différer de la valeur vraie du paramètre de plus de 20% environ (ou 5  $\triangle$ , si 5  $\triangle$  est supérieur à 20%) on n'inscrit qu'une lettre descriptive, sans valeur numérique.

Les règles concernant les fréquences sont résumées dans la figure 2.1.

## 2.23. Règles de précision en fonction de l'intervalle total d'incertitude

Les opérateurs qui préfèrent se référer à l'intervalle total d'incertitude peuvent appliquer les règles suivantes qui sont équivalentes à celles exposées ci-dessus.

- (a) si l'intervalle total d'incertitude est inférieur à 4% (ou à 2  $\vartriangle$ , si 2  $\vartriangle$  est supérieur à 4%), la valeur numérique n'est pas qualifiée.
- (b) si l'intervalle total d'incertitude est supérieur à 4% (ou à 2  $\triangle$ , si 2  $\triangle$  est supérieur à 4%), mais inférieur à 10% (ou à 4  $\triangle$ , si 4  $\triangle$  est supérieur à 10%), la valeur est considérée comme douteuse et on inscrit, avec la valeur numérique la plus probable la lettre qualificative U et la lettre descriptive qui indique le mieux la raison de l'incertitude.
- (c) si une limite est sûre et si l'autre limite possible reste à l'intérieur d'un intervalle correspondant à 10% (ou à 3  $\triangle$ , si 3  $\triangle$  est supérieur à 10%), la valeur la plus probable est prise à mi-chemin entre les limites observées et on inscrit, avec cette valeur numérique, la lettre qualificative U et la lettre descriptive appropriée.
- (d) lorsque l'intervalle total d'incertitude est supérieur à celui indiqué en (b) mais inférieur à 20% (ou à 5  $\triangle$ , si 5  $\triangle$  est supérieur à 20%) d'une limite observée des positions possibles de la trace principale, on relève la valeur numérique de cette limite observée avec la lettre qualificative D ou E, selon le cas, et avec la lettre descriptive appropriée.
- (e) quand l'intervalle total d'incertitude est supérieur à 20% (ou à 5  $\Delta$ , si 5  $\Delta$  est supérieur à 20%), on n'inscrit qu'une lettre descriptive, sans valeur numérique.

L'application de ces règles aux caractéristiques de fréquence de la région F ( $\Delta$  = 0,1 MHz) et à celles de la région E ( $\Delta$  = 0,05 MHz) est illustrée graphiquement par les figures 2.1 (a) et 2.1 (b) respectivement.

Remarque : Jusqu'en 1970, les limites d'emploi de D et E étaient fixées à 10% (ou 3  $\triangle$ ) et on utilisait des lettres descriptives seules quand les limites extrêmes dépassaient ces valeurs. La modification a été entraînée par le besoin de valeurs numériques pour l'étude d'évènements particuliers et pour accroître la signification des médianes où les limites figuraient souvent.

Une valeur numérique obtenue par extrapolation (§ 2.4) et non qualifiée par D ou E ne devra jamais différer de la limite extrême de l'écho principal effectivement observé de plus de 5% (ou de  $2 \triangle$ , si  $2 \triangle$  est supérieur à 5%).

Dans de nombreux cas l'examen des traces du second ordre peut fournir une information sur la confiance que l'on peut accorder aux mesures. En particulier, on peut reconnaître la présence de couches non stratifiées horizontalement en comparant les hauteurs virtuelles et les fréquences critiques déduites des traces du premier et second ordre. La précision des opérations indiquées par les lettres qualificatives J, O et Z n'est pas mesurable par définition et peut être petite ou grande par rapport aux limites imposées par les règles de précision. Les règles de précision ne s'appliquent pas lorsque ces lettres sont utilisées.

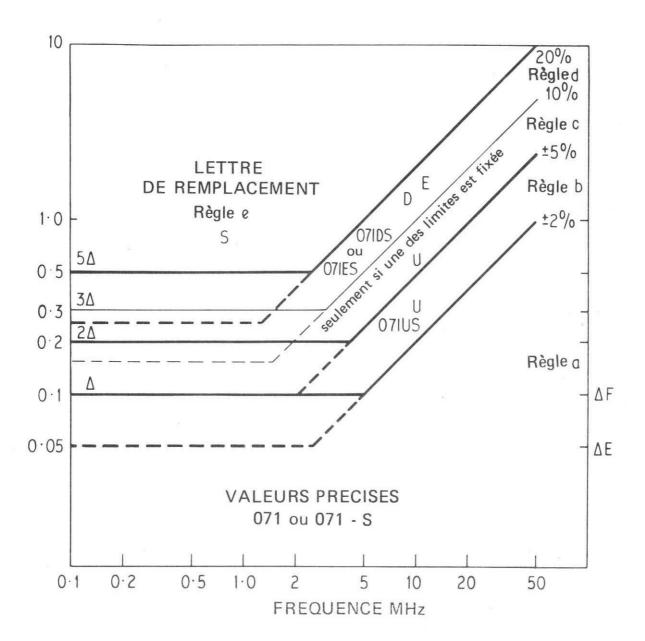


Fig. 2.1 Règles de précision pour les fréquences

----- Λ = O,1 MHz

- - -  $\Delta$  = 0,05 MHz (2  $\Delta$  est identique à  $\Delta$  pour 0,1 MHz)

Lorsque la valeur de l'erreur probable est comprise entre deux limites utiliser la conyention indiquée,

Remarque : Quand une limite n'est pas fixée, on utilise D ou E pour les 2 zones C et D

Exemple arbitraire : foF2 = 7,1 MHz, avec présence de brouillage S

Si une limite est fixée, on inscrira 071US dans la partie c, sinon 071DS ou 071ES dans la partie d.

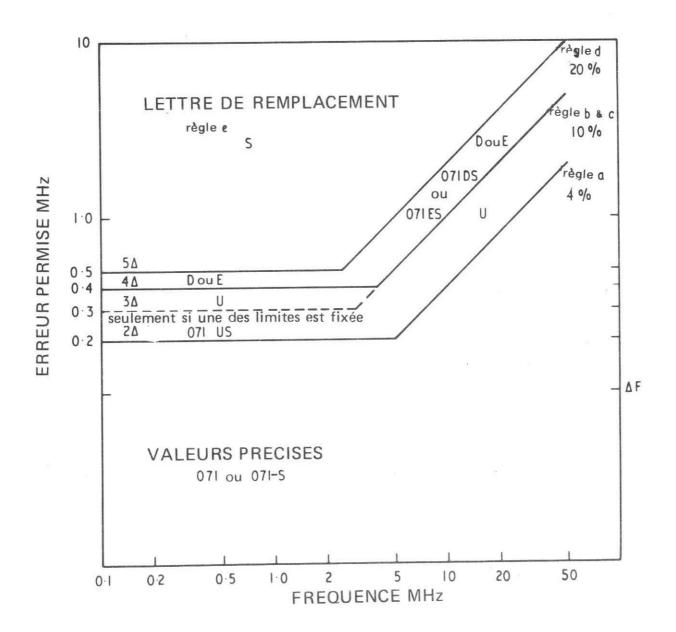


Fig. 2.1a Règles de précisions pour les caractéristiques de fréquence critique de la Région F.  $\Delta = 0.1 \; \text{MHz en fonction de l'intervalle total de l'erreur.}$ 

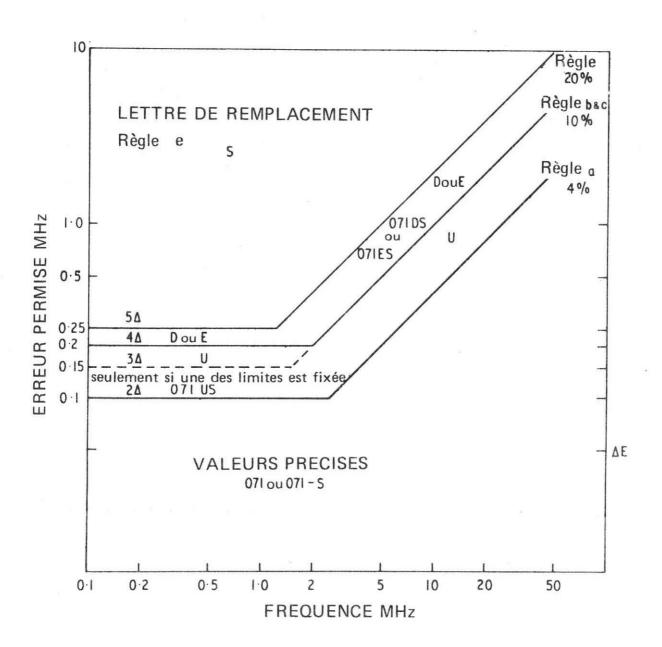


Fig. 2.1b Règles de précision pour les caractéristiques de fréquence critique de la région E.  $\Delta = 0.05 \text{ MHz en fonction de l'intervalle total de l'erreur.}$ 

Il est particulièrement important d'appliquer correctement les règles de précision en présence d'échos F-diffus car de nombreux chercheurs utilisent les indications données par les lettres symboles en ce qui concerne l'occurence des échos diffus.

Remarque : Quand le pouvoir de résolution normal de l'ionosonde ne permet pas d'utiliser les intervalles recommandés, on peut modifier proportionnellement les pourcentages  $\pm$  2%,  $\pm$  5%,  $\pm$  10% et  $\pm$  20%, de telle sorte que les valeurs des ionogrammes normaux ne soient pas qualifiées. Les données devront alors être accompagnées d'une note à ce sujet, mais on s'efforcera de l'éviter en essayant d'améliorer l'équipement car la valeur des données dépend en grande partie de la bonne observation des règles de précision.

#### 2.3. LETTRES QUALIFICATIVES ET DESCRIPTIVES

On peut observer sur les ionogrammes des effets dûs à des phénomènes ionosphériques ou instrumentaux, ou à des brouillages qui peuvent rendre difficile ou impossible la détermination des valeurs numériques avec la précision indiquée dans le tableau ci-dessus. On utilise alors les lettres qualificatives et descriptives dont la liste suit pour accompagner ou remplacer les valeurs numériques (toutes les lettres sont descriptives sauf spécification contraire). Les lettres qualificatives indiquent la nature de l'incertitude et sont toujours accompagnées par une lettre descriptive qui indique la raison de l'incertitude. Les lettres descriptives, non accompagnées de lettres qualificatives, indiquent la présence d'un phénomène susceptible d'affecter la précision de la mesure.

- A Lettre qualificative : plus petit que ... Utilisée seulement pour fbEs (voir § 3.1). Lettre descriptive : mesure influencée ou rendue impossible, par la présence d'une couche mince inférieure, par exemple Es.
- B Mesure influencée, ou rendue impossible par l'absorption au voisinage de f-min.
- C Mesure influencée ou rendue impossible par une raison non ionosphérique quelconque.
- D Lettre qualificative : plus grand que ... Lettre descriptive : mesure influencée ou rendue impossible par la limite supérieure de la gamme de fréquences utilisée.
- E Lettre qualificative : plus petit que ... Lettre descriptive : mesure influencée ou rendue impossible par la limite inférieure de la gamme de fréquences utilisée.
- F Mesure influencée ou rendue impossible par la présence d'échos diffus.
- G Mesure influencée ou rendue impossible par le fait que la densité électronique de la couche est insuffisante pour permettre cette mesure avec précision.
- H Mesure influencée ou rendue impossible par la présence d'une stratification.
- I Lettre qualificative seulement : une valeur manquante a été remplacée par une valeur interpolée.
- J Lettre qualificative seulement : caractéristique de la composante ordinaire déduite de la composante extraordinaire.
- K Présence d'une couche E nocturne.
- L Mesure influencée ou rendue impossible du fait que la trace ne présente pas de rebroussement suffisamment net entre les couches.
- M Interprétation douteuse d'une mesure parce qu'il n'est pas possible de distinguer les composantes ordinaire et extraordinaire.

Lettre qualificative : utilisée avec une lettre descriptive qui indique pourquoi on ne peut identifier les composantes.

Lettre descriptive : utilisée lorsque l'interprétation est douteuse et lorsqu'une lettre qualificative est nécessaire pour d'autres raisons (par exemple : U, D, E).

- N Les conditions sont telles que la mesure ne peut être interprétée.
- 0 Lettre qualificative : caractéristique de la composante extraordinaire déduite de la composante ordinaire (à utiliser pour les caractéristiques x seulement).
   Lettre descriptive : mesure qui se réfère à la composante ordinaire.
- Q Présence de "diffusion en hauteur" (range spread).
- R Mesure influencée ou rendue impossible par l'affaiblissement au voisinage d'une fréquence critique.

- S Mesure influencée ou rendue impossible du fait du brouillage ou des atmosphériques.
- T Lettre qualificative et descriptive : valeur déterminée à partir d'une séquence d'observations, la mesure concernée étant incompatible avec les autres ou douteuses (voir § 6.9).
- U Lettre qualificative seulement : valeur numérique imprécise ou douteuse.
- V Trace fourchue susceptible d'influencer la mesure.
- W Mesure influencée ou rendue impossible par le fait que l'écho se trouve en dehors de l'échelle des hauteurs de l'ionogramme.
- X Mesure qui se réfère à la composante extraordinaire.
- Y Présence de lacune ou de couche fortement inclinée.
- Z Lettre qualificative : mesure déduite de la troisième composante magnéto-ionique. Lettre descriptive : présence de la troisième composante magnéto-ionique.

L'emploi de chaque lettre est exposé en détail au chapitre 3.

#### 2.4. EXTRAPOLATION

Une trace peut être extrapolée en hauteur ou en fréquence lorsqu'une caractéristique n'est pas clairement visible sur l'ionogramme pour des raisons instrumentales ou opérationnelles, et lorsque la signification de la valeur apparente d'une caractéristique est modifiée par suite de la complexité des phénomènes ionosphériques. Dans ces cas, on obtient la valeur la plus probable de la caractéristique par extrapolation. L'extrapolation sans lettre qualificative n'est permise que si la valeur déduite diffère de moins de 5% (ou 2  $\triangle$ , si 2  $\triangle$  est supérieur à 5%) de la limite de la trace réellement observée.

L'extrapolation la plus courante est le prolongement vertical d'une trace au voisinage de la fréquence critique. On doit contrôler cette extrapolation par l'examen d'ionogrammes dont la trace est plus complète et dont les parties communes significatives ont une forme semblable. Ceci s'applique aussi lorsque la trace E est incomplète au voisinage du retard de groupe à foE par suite de la rpésence de E sporadique (Fig. 2.2). L'extrapolation en hauteur est également permise (Fig. 2.3 et 2.4).

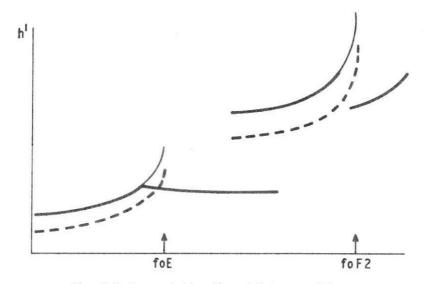


Fig. 2.2 Extrapolation d'une fréquence critique

On trace la forme de la trace normale (---) pour des conditions similaires et on la déplace pour la juxtaposer à la trace observée (en trait fin plein sur la figure). On peut ainsi extrapoler la trace (en trait plein épais) de l'ionogramme pour obtenir la fréquence critique.

Appliquer les règles de précision pour décider si une lettre qualificative est nécessaire :

foE est (foE) - A ou (foE) UA foF2 est (foF2) - R ou (foF2) UR

L'extrapolation n'est généralement pas justifiée sur une large gamme de fréquences. On utilisera alors une valeur limite et D ou une lettre de remplacement A ou R. On appliquera des règles analogues aux extrapolations dans les cas C, S, etc...

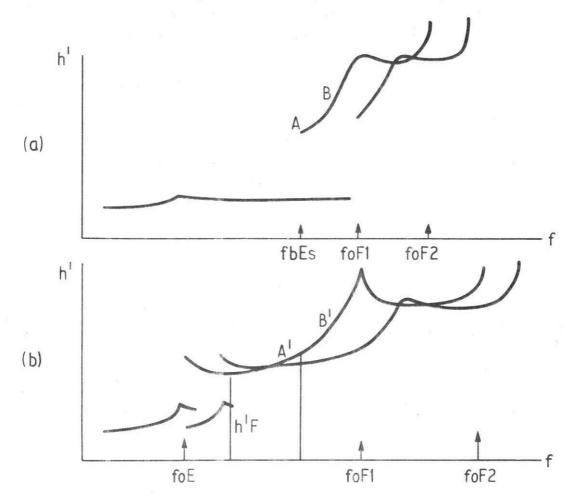


Fig. 2.3 Extrapolation d'une hauteur

Estimation de l'erreur pour l'emploi de E.

- (a) h'F occulté par Es
- (b) ionogramme enregistré à la même heure de la journée de sorte que foF1 et foE sont approximativement les mêmes.

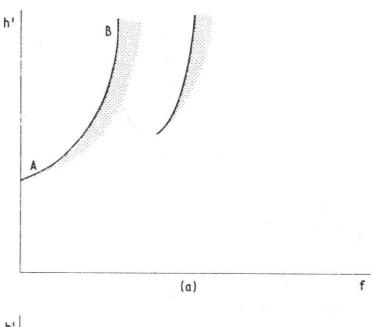
On essaie de faire coı̈ncider AB avec A'B' de façon à pouvoir estimer la différence entre h'F à fbEs en (a) et la valeur correcte de h'F en (b)

Remarque : On peut déterminer de la même façon l'erreur pour foE.

On applique ceci quand une valeur limite est susceptible d'être utile (voir § 3.2, lettre G).

L'extrapolation a été autorisée pour éviter une erreur systématique, par exemple en présence de déformations transitoires, d'occultation ou d'absorption avec déviation, mais elle est "réglementée". L'intervalle dans lequel une extrapolation est permise est toujours déterminé par les règles générales de précision données ci-dessus (§ 2.1 et 2.2). Compte tenu de ces limites il est important d'obtenir des valeurs numériques chaque fois que c'est possible car l'utilité des données tabulées dépend du nombre de valeurs numériques.

L'extrapolation est particulièrement importante lorsqu'on désire calculer par ordinateurs des profils de densité électronique. Des règles détaillées sont données au paragraphe 10.22. Ces procédés peuvent s'appliquer pour améliorer la précision des caractéristiques classiques, par exemple h'F la nuit, en utilisant des modèles de référence (Fig. 2.4 a, b). Les valeurs déduites par ce procédé seront toujours qualifiées par U et la lettre descriptive irdiquera pourquoi l'extrapolation était nécessaire. Ceci implique un travail important et c'est pourquoi de tels procédés ne sont utilisés que pour la formation du personnel ou lorqu'il est nécessaire, sur le plan local, d'obtenir une précision plus grande.



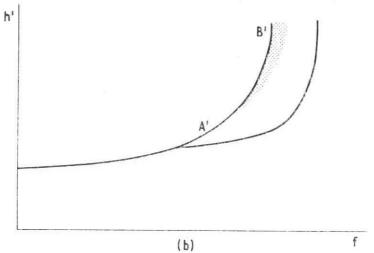


Fig. 2.4 (a) (b) Estimation de l'erreur sur la hauteur virtuelle minimale, la nuit.

- (a) h'F devrait être lue en-dessous de la fréquence la plus basse de l'ionogramme
- (b) Ionogramme enregistré lorsque foF2 est beaucoup plus grand que dans le cas (a) mais pour lequel la courbure de la trace A'B' est semblable à celle de AB.

Estimer la différence entre la valeur vraie de h'F en (b) et la valeur en A. (Ceci peut être fait avec un abaque transparent calqué sur l'échelle de fréquence lorsque celle-ci est logarithmique). Sinon comparer les hauteurs pour deux fréquences ayant le même rapport à la fréquence critique.

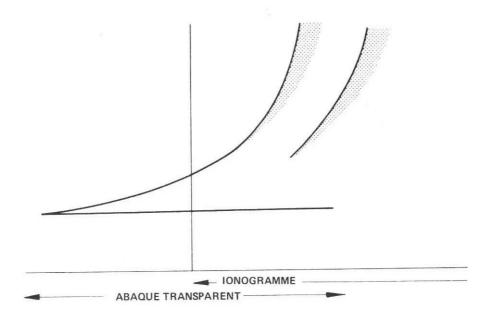


Fig. 2.4 (c) Estimation de l'erreur sur la hauteur virtuelle minimale, la nuit, en utilisant un abaque établi d'après le tableau 10.2

On peut aussi utiliser le tableau 10.2 pour calculer la forme probable de la trace (voir  $\S$  10.22 pour les détails).

Pour des échelles de fréquences logarithmiques, on prépare des abaques transparents pour différentes épaisseurs de couche et on les fait coı̈ncider avec la trace ordinaire. La ligne verticale montre le bord de l'ionogramme et la ligne horizontale la valeur extrapolée de h'F.

#### 2.5. INTERPOLATION

L'interpolation dans le temps est permise pour rendre les tableaux des valeurs horaires aussi complets et représentatifs que possible. Il est très important que ce procédé soit strictement réglementé. Les valeurs horaires manquantes isolées peuvent généralement être remplacées par une valeur interpolée en appliquant les règles données en détail au paragraphe 3.1 (lettre I).

#### 2.6. CHANGEMENTS DE GAIN

Le réglage du gain du récepteur qui convient le mieux pour dépouiller une caractéristique n'est souvent pas le meilleur pour une autre. C'est pourquoi un changement de gain (une séquence de 3 enregistrements à gain faible, moyen et élevé) effectué toutes les heures fournit des informations plus précises [(A 100 I, Fig. 105, 106)]. Les valeurs du gain seront toujours maintenues identiques et, dans la mesure du possible, les différences de gain seront mesurées et notées dans le livre de bord de la station. Des changements de gain d'environ  $\pm$  15 dB semblent adéquats pour de nombreuses stations mais la meilleur valeur doit être trouvée expérimentalement.

Dans les régions de bruit intense, des variations plus faibles (par exemple + 5 dB, - 10 dB) peuvent convenir tandis que dans des zones très calmes, par exemple l'Arctique et l'Antarctique, des variations plus grandes conviennent mieux.

Chaque caractéristique sera relevée sur l'ionogramme sur lequel elle est le mieux visible  $\tilde{a}$  l'exception des cas suivants :

(a) les caractéristiques sensibles au gain : fxI, foEs, fbEs et fm2 ou fmin doivent être relevées sur l'enregistrement à gain moyen.

(b) en présence de phénomènes transitoires, on relève la valeur la plus probable. Les variations de gains sont particulièrement intéressantes pour interpréter les ionogrammes en présence d'échos diffus.

## 2.7. DEPOUILLEMENT EN PRESENCE D'ECHOS OBLIQUES OU DIFFUS

#### 2.70. Principes généraux

L'interprétation des ionogrammes présente de grandes difficultés lorsque l'ionosphère n'est pas stratifiée horizontalement, ce qui peut être dû à des phénomènes soit locaux, soit à grande échelle. L'ionosphère peut être incurvée de sorte que des réflexions venant de plusieurs directions sont possibles au même instant et produisent plusieurs traces. Les irrégularités alignées le long des lignes de force du champ magnétique peuvent aussi donner lieu à des réflexions intenses qui rendent l'ionogramme encore plus complexe. Ces phénomènes se manifestent particulièrement aux latitudes magnétiques basses et élevées. L'emploi de fxI, qui concerne toujours des traces obliques, est exposé au paragraphe 3.3.

Les anomalies dues à une ionosphère non stratifiée horizontalement ("inclinée") sont souvent utilisées pour étudier les perturbations itinérantes qui perturbent de façon transitoire les valeurs des caractéristiques normales. Pour les études synoptiques, on doit chercher à obtenir la valeur la plus probable de la caractéristique non perturbée.

Aux latitudes tempérées, la plupart du temps sauf peut-être au lever et au coucher du soleil, et à certaines heures aux autres latitudes, ces "inclinaisons" à grande échelle sont rares, de sorte qu'il est justifié de supposer que les principales structures réfléchissantes sont stratifiées presque horizontalement, les inclinaisons étant inférieures à 5° environ. Quand cela n'est pas vrai, des règles complètement différentes sont nécessaires pour identifier la trace la plus voisine du zénith. Ainsi, le premier problème posé par l'analyse des ionogrammes complexes est de savoir s'il y a ou non de fortes inclinaisons. Dans ce contexte nous utilisons "inclinaison" pour décrire la forme des surfaces de densité d'ionisation constante (Fig. 2.5) sur lesquelles ont été réfléchis les signaux qui produisent les traces observées.

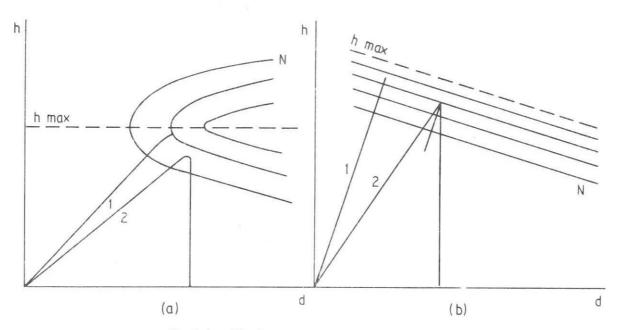


Fig 2.5 Réflexion sur des couches inclinées

- (a) La densité électronique augmente en fonction de la distance
- (b) La hauteur de la couche inclinée varie, la densité électronique restant constante.

<sup>----</sup> surfaces de densité constante, N.

<sup>1.</sup> Réflexion du premier ordre

<sup>1.</sup> Réflexion du second ordre.

Ces surfaces peuvent être inclinées soit par suite d'une variation longitudinale de la densité électronique (la hauteur et l'épaisseur de la couche restant constantes), soit par suite de changements de la hauteur et de l'épaisseur de la couche (la densité électronique maximale restant constante) ou par suite d'une combinaison de ces deux effets. En présence de deux couches variant de façon différente avec la distance, les surfaces peuvent même être inclinées dans des directions différentes à différentes altitudes et donnent lieu à des ionogrammes extrêmement complexes. Dans la plupart des cas, il convient de supposer qu'une onde de fréquence donnée est réfléchie par une même densité électronique, que la couche soit horizontale ou non. Cette hypothèse est quelque peu incorrecte pour les réflexions du second ordre pour lesquelles la fréquence effective, f cos i (i étant l'angle d'incidence), est légèrement inférieure à la fréquence de travail f. (Pour une couche inclinée à 45°, cos i = 0,92). Aux latitudes élevées, une inclinaison, dans le méridien magnétique, approximativement complémentaire à l'angle d'inclinaison magnétique peut conduire à la transformation du mode o en mode z.

En présence de traces multiples on vérifiera si les hauteurs des traces d'ordre différent (Fig. 2.6) sont compatibles entre elles. La famille de traces pour lesquelles les hauteurs sont les plus cohérentes est celle qui est la plus proche du zénith. Si les valeurs des hauteurs sont compatibles (compte tenu des effets d'amplitude, § 2.1), l'interprétation peut être considérée comme correcte.

Les effets des irrégularités qui donnent naissance à des échos F-diffus dépendent aussi de la présence ou de l'absence de grandes inclinaisons et les règles de dépouillement varient en conséquence. Historiquement, la prédominance de stratifications presque horizontales a donné lieu à un ensemble de règles "normales" applicables dans ce cas. Dans cette édition nous essayons de rendre la distinction plus claire.

Il convient de distinguer deux types principaux d'échos F-diffus, bien que, dans certains cas, les deux puissent être présents simultanément et que l'un des types puisse se transformer en l'autre. Ceux-ci sont :

- (a) diffusion suivant l'axe des fréquences ou, pour abréger, "diffusion en fréquence" (frequency spread)
- (b) diffusion suivant l'axe des hauteurs ou, pour abréger, "diffusion en hauteur" (range spread)

Le premier type correspond à la diffusion au voisinage de la fréquence critique, présentant souvent une structure en fréquence comme si un certain nombre de traces normales étaient déplacées en fréquence et présentes simultanément (voir Fig. 2.11). [B. II A-4 (Sept.); II B-4 (tous); II A-18 (Juin); II A-19 (Juin); II A-22 (Déc.); II A-34 (Sept.); II A-35 (Sept.); II A-40 (Sept.); II A-53 (Juin); II B-6 (tous); II B-14 (Déc.); le premier et les trois derniers ionogrammes de III-20].

Le second type présente peu ou pas de variation de hauteur en fonction de la fréquence, mais souvent une structure horizontale en hauteur ; dans les cas extrêmes il peut se manisfester comme une bande horizontale à travers l'ionogramme (voir Fig. 2.14 pour les détails). [B III-19 (séquence) ; II A-41 (Syowa, Sept.) ; II B-41 (Syowa, Juin) ; II A-10 (Sept.) ; II A-17 (Déc.) ; II A-59 (Juin) ; II A-72 (Dec.) ; II A-74 (Déc.) ; II A-82 (Sept.) ; II A-83 (Juin) ; II A-85 (Dec.)]. Quelques exemples d'une combinaison de ces deux types figurent dans l'Atlas. [B II A-3 (Sept.) ; II A-4 (Déc.) ; II A-7 (Juin et Sept.) ; II A-8 (Juin) ; II B-3 (Déc.)].

Une classification des types de F-diffus est proposée au paragraphe 12.3.

## 2.71. Identification des inclinaisons à grande échelle

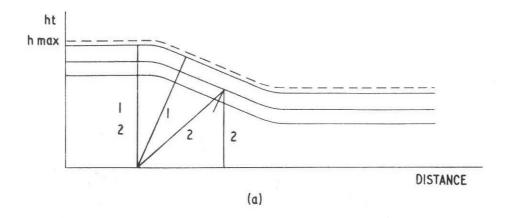
Généralement les inclinaisons à grande échelle demandent au moins une heure pour s'établir en une station donnée, de sorte que le meilleur moyen pour identifier leur présence est l'examen d'une séquence d'ionogrammes au moins quadrihoraires. Les inclinaisons à grande échelle produisent souvent des changements significatifs sur les ionogrammes avant et après le passage au zénith de la station de la section inclinée. Lorsqu'on les constate, on interprétera les ionogrammes compte tenu de la présence probable de grandes inclinaisons.

Les premiers signes nets de l'approche d'une structure inclinée sont les suivants :

- (a) Les différences de hauteur entre les traces d'ordre élevé ne correspondent pas à la différence entre le top d'émission et la trace du premier ordre, et les traces de différents ordres peuvent avoir des aspects différents (Fig. 2.7)
- (b) L'apparition soudaine de traces "satellites". Si celles-ci sont d'abord visibles sur une trace d'ordre élevé et ensuite sur la trace du premier ordre, des inclinaisons importantes sont probables.
  - (c) L'apparition soudaine de traces de "diffusion en hauteur" (range spread)

Remarque : Il se peut qu'une structure inclinée soit présente au voisinage de la station sans qu'elle se déplace au zénith. Dans ce cas l'aspect de l'ionogramme montre qu'il y a une inclinaison mais il ne varie pas beaucoup dans le temps.

(d) Une rapide variation de h'F dans le temps, lorsqu'elle est accompagnée de traces additionnelles ou d'échos F-diffus, constitue une bonne indication de la présence d'inclinaisons importantes.



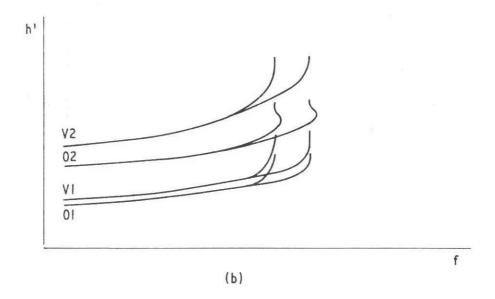


Fig 2.6 Réflexions simultanées sous incidence verticale et oblique

- (a) Cas où hm varie, Nmax restant constant. La figure montre les modes possibles
- (b) Ionogramme correspondant

 $h'(V2) = 2 h'(V1) ; h'(O2) \neq 2 h'(O1)$ 

- Remarque : (i) Les positions relatives des traces V1, V2 (traces verticales du premier et second ordre) et des traces O1, O2 correspondant aux traces obliques, dépendent de l'inclinaison.
  - (ii) Si Nmax varie aussi, les fréquences critique des traces V diffèreront de celles des traces O.
  - (iii) On observe une bosse sur la trace 02. La présence de ce type de configuration (ou celui inversé en fréquence) indique toujours la présence de couches inclinées.

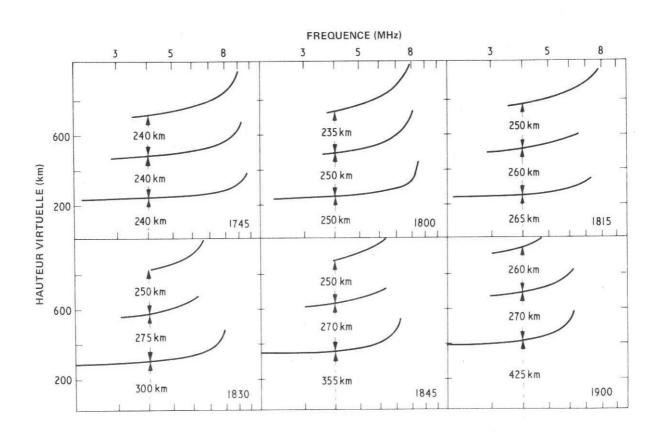


Fig. 2.7 Changements de configuration lorsqu'une perturbation importante approche de la station

Dans ce cas hmF2 augmente.

- 1745 Normal
- 1800 La trace 3F est réfléchie sous incidence oblique noter le changement de forme au voisinage de foF2
- 1815 Toutes les traces sont obliques. Remarquer la diminution caractéristique de courbure (au voisinage de foF2) et la défocalisation au voisinage de foF2 (utiliser la lettre Y de préférence à la lettre R)
- 1830 1900

  Toutes les traces sont obliques mais celle du premier ordre est réfléchie sur une couche plane inclinée analogue à celle de la Fig. 2.5 (b) comme le montre la forme de la trace qui devient presque normale.

Remarque : Seules les traces du mode o ont été reproduites sur cette figure.

Le meilleur critère pour détecter les inclinaisons au zénith de la station est la comparaison des hauteurs virtuelles h1, h2, h3 ... des traces multiples. Les différences de hauteurs (h3 - 3h1) , (h2 - 2h1) etc. présentent des différences mesurables dès que l'inclinaison excède  $10^\circ$  environ.

Si la différence de hauteur virtuelle entre le top d'émission et la trace du premier ordre diffère de celle entre les traces du premier et second ordre d'une quantité supérieure à celle observée sur des ionogrammes normaux (voir § 2.11), la réflexion n'est pas zénithale. Les couples de traces pour lesquelles l'écart est le plus faible identifient le mode le plus proche de la verticale et ce sont les caractéristiques de ces traces qui seront relevées (voir par exemple, Fig. 2.6 (b) ). Cette interprétation est basée sur l'hypothèse de la présence de grandes inclinaisons. Si ce n'est pas vérifié, on applique les règles normales pour de petites inclinaisons.

On devra toujours examiner les réflexions multiples, qu'elles soient zénithales ou obliques, pour déterminer si une trace est oblique ou non. Il peut arriver qu'une des traces qui ne présentent pas de multiple soit la trace verticale et il est alors indispensable de reconnaître les traces qui sont obliques dans la séquence. Dans le cas où un creux et une crête d'ionisation passent au-dessus de la station, les réflexions sur les pentes du creux sont souvent prédominantes jusqu'à ce que la crête soit au zénith ; les traces multiples réfléchies sur la crête montrent alors soudainement qu'il y a réflexion zénithale, (h2 - 2h1 = 0).

La séquence des configurations observées sur les ionogrammes dans une station donnée lors d'une "inclinaison" importante tend souvent à se reproduire d'un jour à l'autre, bien que pas nécessairement à la même vitesse ou à la même heure. On ne parvient souvent à interpréter des ionogrammes complexes qu'avec l'aide de plusieurs séquences.

Lorsque la valeur de la fréquence critique mesurée sur la trace du second ordre diffère nettement (de plus de l'erreur permise pour l'emploi de  $\,U\,$ ) de celle donnée par la trace principale, une inclinaison à grande échelle est présente (la réciproque de cette règle n'est pas toujours vraie).

Il faut toujours vérifier que l'évolution de la fréquence critique et les variations de la hauteur virtuelle en fonction du temps sont compatibles avec l'interprétation adoptée. Ainsi, une variation anormalement grande et rapide de la hauteur serait incompatible avec une absence d'inclinaison, même si les critères ci-dessus n'étaient pas remplis.

Les inclinaisons de la basse ionosphère se manifestent souvent par des traces de type oblique dans les couches supérieures (Fig. 2.8). Une réflexion sur des irrégularités alignées le long des lignes de force du champ magnétique terrestre peut donner lieu au même type de configuration quand les rayons sont deviés dans une couche normale de façon à devenir perpendiculaires à ces irrégularités (Fig. 2.9).

## 2.72. Interprétation normale - Faibles inclinaisons

Les règles normales du dépouillement s'appliquent lorsque des perturbations itinérantes de moyenne importance, des variations diurnes, ou des phénomènes analogues ne produisent que des effets de faibles inclinaisons ; elles s'appliquent aussi aux échos F-diffus observés lorsque l'inclinaison de la couche principale est probablement faible.

Les inclinaisons et les irrégularités peuvent modifier l'interprétation des traces de n'importe quelle couche, mais celles qui modifient les caractéristiques de la couche F sont plus fréquentes et plus importantes. Les règles qui sont données pour la détermination de foF2, M(3000)F2 et h'F s'appliquent aux caractéristiques des autres couches épaisses de façon analogue. (Pour l'utilisation des lettres symboles, voir le Chapitre 3 et pour les f-plots, voir le Chapitre 6). Les inclinaisons ou les irrégularités qui modifient les caractéristiques d'Es sont traitées au Chapitre 4. Elles jouent un rôle important car elles produisent les types d'Es a, r et s.

Lorsque les inclinaisons sont faibles, les réflexions obliques produisent des traces à des hauteurs virtuelles apparentes supérieures à celle de la réflexion presque zénithale. Des nuages d'ionisation plus denses qui ne sont pas au zénith de la station peuvent aussi donner lieu à des réflexions à des fréquences supérieures à la fréquence critique, et les traces dues à de telles réflexions ont une forme différente de celles dues à des réflexions normales (Fig. 2.10).

Tout faible gradient d'ionisation tel que la densité moyenne d'ionisation est plus grande sous incidence oblique aura tendance à produire des traces semblables à la trace normale mais déplacées vers les fréquences plus élevées. Dans ces conditions :

- (a) la trace dont la hauteur virtuelle est la plus basse est celle qui est le plus probablement zénithale,
  - (b) la trace la plus intense est celle qui est le plus probablement zénithale,
- (c) la meilleur valeur de foF2 et de M(3000)F2 en présence d'échos diffus correspond très probablement au bord interne des échos F-diffus (Fig. 2.11),
- (d) les traces les plus intenses des réflexions multiples sont très probablement celles qui sont zénithales (vérifier les différences de hauteur).

En présence de "diffusion en hauteur" (range spread) on considérera le cas (α) avant le cas (b), à moins que la trace la plus basse ne soit faible ou diffuse.

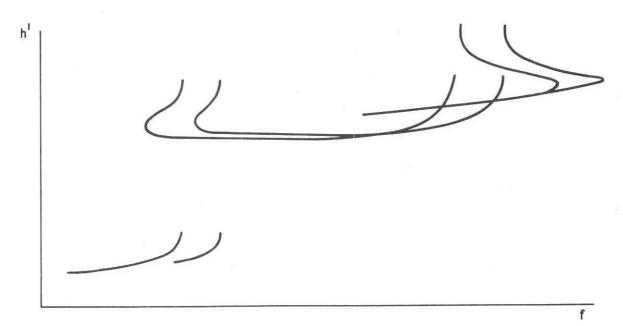


Fig. 2.8 Traces caractéristiques en présence de fortes inclinaisons

Les configurations de ce type indiquent qu'il y a de fortes inclinaisons dans les régions basses de l'ionosphère. Elles peuvent apparaître sur n'importe quelle trace normale ou sur les éperons polaires.

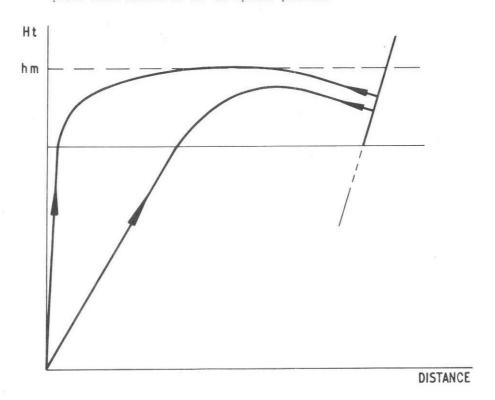


Fig. 2.9 Tracé de rayons réfléchis sur une irrégularité alignée le long d'une ligne de force du champ magnétique sous des angles de départ grands ou petits.

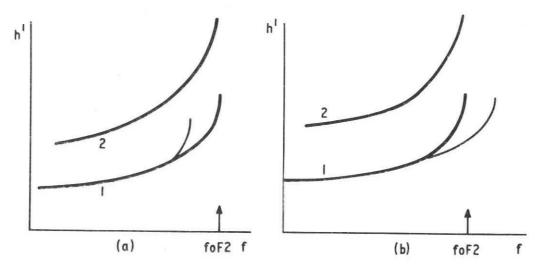


Fig. 2.10 Réflexion sur un nuage d'ionisation (mode o seulement)

- (a) La densité N du nuage est inférieure à celle de la couche
- (b) La densité N du nuage est supérieure à celle de la couche

1 - Trace du premier ordre, 2 - Trace du second ordre Seul le mode o est représenté sur cette figure. La trace x aide souvent à distinguer la trace principale en utilisant la relation fxF2 - foF2 = fB/2 L'épaisseur relative des traces peut aussi faciliter l'interprétation.

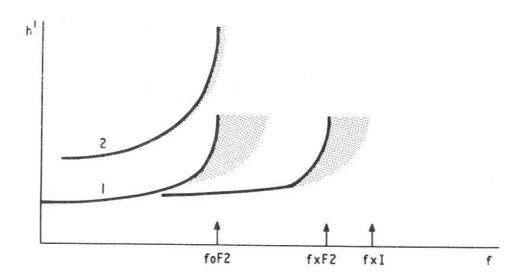


Fig. 2.11 "Diffusion en fréquence" (frequency spread)

- Remarque : (i) La trace du second ordre est à une hauteur double de celle du premier ordre
  - (ii) La trace principale est plus nette sur l'écho du second ordre
  - (iii) Le bord interne est intense et net  $fxF2 \ \ \ foF2 \ = \ fB/2$   $foF2 \ est \ donné \ par \ le bord interne de la trace.$

(e) la fréquence critique peut être déduite de la trace du second ordre.

Dans la mesure du possible, on utilisera ces critères pour les confirmer réciproquement. Il faut noter que les caractéristiques déduites en appliquant (c) (le bord interne de la diffusion) devront toujours être considérées comme douteuses (lettre qualificative U). Cependant, lorsque plus de deux multiples sont présents dans le cas d'êchos F-diffus et qu'ils donnent des valeurs de foF2 cohérentes dans la limite des règles de précision, la valeur peut être considérée comme certaine, bien que non mesurable sur la trace principale.

De petites inclinaisons sont habituellement produites par des perturbations itinérantes. On observe alors sur les séquences d'ionogrammes un ou plusieurs des phénomènes suivants :

- (a) une perturbation de foF2 et fxF2
- (b) une trace fourchue (V)
- (c) une perturbation de h'F2
- (d) une perturbation de foF1
- (e) la formation d'une couche transitoire F 0,5 avec une perturbation de h'F
- (f) un Es de type h ou une couche E2
- (g) souvent une augmentation de foEs et une diminution de h'Es. Le type d'Es qui était h devient c ou, dans certains cas extrêmes, 1.

(a) et (b) sont souvent accompagnés de mouvements latéraux importants qui font paraître la couche plus épaisse. M(3000) et la hauteur du maximum d'ionisation sont altérés et ne sont donc pas sûrs (employer alors UV ou UH).

Lorsque l'inclinaison est principalement Est-Ouest, les traces du mode o et du mode x changent de forme de la même façon alors que, lorsque l'inclinaison est principalement Nord-Sud, les traces ont des formes différentes ou sont déplacées en fréquence par rapport à leur écart normal. La figure 2.12 montre quelques exemples typiques mais il faut se souvenir que des cas mixtes et intermédiaires peuvent aussi se présenter. L'écart des fréquences critiques fxF2 - foF2, fxF1 - foF1 ou fxE - foE est un indice très sensible des variations de la fréquence critique le long du méridien magnétique. Des inclinaisons dans la région voisine de hmE peuvent donner lieu à des configurations que l'on peut confondre avec les effets d'une stratification dans la même région. Les différences caractéristiques sont mises en évidence sur les figures 2.13 (a) (b) (c) (d) pour les effets d'inclinaison et (e) pour les effets d'une stratification.

A n'importe quelle fréquence, des réflexions obliques peuvent apparaître soit au-dessus, soit audessous de la trace zénithale. Le premier cas est plus fréquent car la hauteur virtuelle apparente pour une hauteur réelle de réflexion constante augmente avec la sécante de l'angle d'incidence.

## 2.73. Interprétation en présence de fortes inclinaisons

Aux latitudes basses et élevées, de fortes inclinaisons, excédant parfois 45°, peuvent se manifester très fréquemment à certaines heures de la journée. Dans ces conditions les règles normales (§ 2.72) peuvent conduire à des erreurs importantes. Par exemple, de rapides variations de hmF2 dans l'espace peuvent donner lieu à des hauteurs virtuelles inférieures à celle de la trace zénithale et ces traces peuvent être plus intenses que la trace quasi-zénithale par suite de la courbure des surfaces réfléchissantes. De telles conditions correspondent souvent à des irrégularités alignées le long des lignes de santes. De telles conditions correspondent souvent à des irrégularités alignées le long des lignes de santes. De telles conditions correspondent souvent à des irrégularités alignées le long des lignes de la "diffusion en fréquence" ou à de la "diffusion en hauteur" (frequency et range spread) qui n'obéissent pas non plus aux règles normales. Le principal problème est donc d'identifier la trace quasi-zénithale en présence d'autres traces souvent plus intenses et plus basses, avec ou sans l'aide des réflexions multiples. De nombreux exemples ont été donnés par G.G. Bowman et G.A.M. King (Planet. Space Sci., 1969, 71, 777-796; Aust. J. of Physics, 1968, 21, 695-714). On espère rassembler ces exemples et d'autres dans un Supplément "Hautes Latitudes" au présent Manuel, qui sera publié ultérieurement.

L'examen de la séquence d'ionogrammes constitue généralement le moyen le plus efficace pour déterminer quelle est la trace quasi-zénithale, car celle-ci est telle que :

- (a) sa hauteur varie régulièrement dans le temps sur des périodes de l'ordre de une heure,
- (b) sa fréquence critique varie régulièrement dans le temps.

Remarque : Les variations de la hauteur ou de la fréquence critique de la trace quasi-zénithale permettent souvent de prévoir la position la plus probable de cette trace sur un ionogramme alors que les traces obliques tendent à apparaître et à disparaître plus irrégulièrement.

Cependant les règles (a) et (b) peuvent ne pas s'appliquer au lever du Soleil car une nouvelle couche F peut se former à une hauteur différente de celle de la couche nocturne résiduelle et les couches E et F1 se forment d'abord à de grandes hauteurs et descendent rapidement jusqu'à leur position normale.

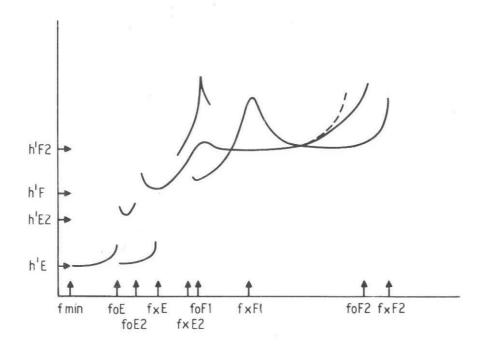


Fig. 2.12 Inclinaisons Nord-Sud qui déforment les traces

Des effets typiques aux différents niveaux ont été combinés. On en n'observe qu'un ou deux seulement sur un ionogramme donné. La trace E est normale.

fxE2 - foE2 = fB/2

- F! Les traces o et x ne se ressemblent pas et on observe une trace Fl supplémentaire
- F2 Les traces o et x ne se ressemblent pas et la trace o présente une distorsion importante due à l'inclinaison (la trace normale est représentée en tiretés)

Interprétation : (voir chapitre 3, les caractéristiques entre parenthèses représentent la valeur apparente de la caractéristique)

fmin, foE normales

Pour foFl, mesurer (foFl), (fxFl - fB/2) et la fréquence correspondant à la trace supplémentaire et inscrire sur la feuille journalière : (valeur moyenne) UH

Pour foF2, inscrire (fxF2 - fB/2) JH car la trace x ne semble pas très distordue. Si la trace x est distordue, inscrire (foF2) EY

h'E normale

h'E2 sera inscrite (h'E2) UH, s'il en est besoin pour des études régionales ou locales

h'F sera inscrite (h'F) UH

h'F2. Vérifier avec l'écho du second ordre. Si cela concorde, inscrire (h'F2). Sinon, ou s'il y a une trace supplémentaire et pas de trace du second ordre, inscrire (h'F2) UH.

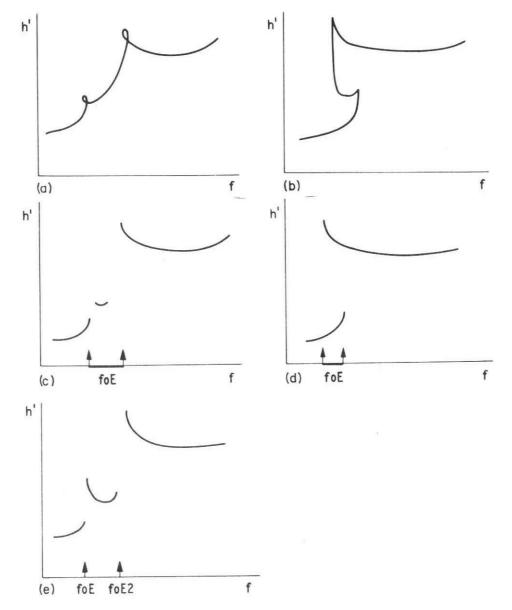


Fig. 2.13 Distinction entre les effets d'une couche inclinée et d'une couche épaisse E intermédiaire

- (a) (b) Formes des traces des modes o et x en présence d'inclinaisons au voisinage de hmE
- (c) (d) Traces obtenues après avoir tenu compte des phénomènes de focalisation
- (e) Couche épaisse E2

Remarquer la trace intense due à une focalisation positive à des fréquences juste supérieures à foE dans le cas (e), et la trace faible due à une focalisation négative dans les cas (c) (d).

L'interprétation de foE dans les cas (c), (d) dépend de l'incertitude représentée par la barre entre les limites données par les règles de précision. Lorsque cette incertitude augmente, nous avons :

- (i) (valeur moyenne de foE)
- (ii) (valeur moyenne de foE) UH
- (iii) cas (c) (la plus basse valeur de foE) DH
- (iv) cas (d) (la plus grande valeur de foE) EH
- (v) remplacement par la lettre H

La trace intermédiaire dans le cas (c) peut être absente.

On trouvera dans l'Atlas d'Inogrammes [B III-23] une séquence relative à la couche F pendant la période de lever du Soleil. Le meilleur moyen pour apprendre à interpréter des ionogrammes au lever du Soleil est de faire quelques séquences à titre d'exemple avec des ionogrammes fréquents, de préférence toutes les 5 minutes. Le phénomène varie avec la saison et aussi avec la latitude et la longitude de la station. Des f-plots peuvent aussi être très utiles pour décider de la meilleure interprétation.

Lorsque hmF2 ne varie pas beaucoup dans l'espace, les fréquences critiques des traces d'ordre élevé sont en général systématiquement décalées par rapport à celle de la trace du premier ordre. Ceci s'accompagne souvent d'une augmentation de la "diffusion en hauteur" (range spread) liée à ces traces (la "diffusion en hauteur" pour une trace d'ordre n est n fois ou moins la diffusion de la trace du premier ordre) [B III-23 (les 6 premières figures); B III-24].

#### 2.74. « Diffusion en hauteur » (range spread)

Ces traces (Fig. 2.14) sont généralement associées à la présence de structures alignées le long des lignes de force du champ magnétique terrestre. En présence de ces structures, les surfaces d'ionisation constante sont ondulées approximativement le long des lignes de force ou perpendiculairement à celles-ci (Fig. 2.15). Le type de configuration produit dépend de la différence entre la densité électronique dans les structures alignées le long des lignes de force et la densité électronique ambiante. Si cette différence est grande, les structures agissent comme des réflecteurs, souvent à des fréquences supérieures à la fréquence critique locale. La figure 2.16 présente quelques traces typiques (calculées d'après Bowman, Aust. J. of Physics, 21, 695-714, 1968).

Lorsque les perturbations dues à une structure alignée le long d'une ligne de force sont petites, comme celle illustrée par la figure 2.15, la couche se comporte comme deux couches inclinées présentes simultanément. Dans ce cas, la densité électronique varie en général avec la distance dans le méridien magnétique et on se trouve en présence de deux familles de traces :

Groupe 1 : Les traces réfléchies dans une direction parallèle aux lignes de force du champ magnétique forment une famille de traces semblables à la trace normale mais dont la fréquence critique diminue lorsque la densité électronique décroît en direction du pôle magnétique et augmente lorsque la densité croît dans cette direction.

Groupe 2 : Les traces réfléchies dans une direction perpendiculaire aux lignes de force du champ magnétique (souvent par des irrégularités alignées le long des lignes de force du champ, denses par rapport à la densité ambiante).

Les traces du premier groupe présentent à la fois de la "diffusion en fréquence" et de la "diffusion en hauteur", la trace quasi-zénithale donnant souvent la fréquence critique la plus élevée (le contraire de ce qui se produit normalement dans le cas d'inclinaison faible) (Fig. 2.17). Les traces du deuxième groupe présentent de la "diffusion en hauteur", le plus souvent avec un retard faible ou absent aux fréquences les plus elevées. On notera que, dans ces cas, les traces o et x ont des intensités relatives souvent anormales et que l'une ou l'autre peut être absente.

Les couches produites par des particules, aux latitudes élevées, ont souvent des fréquences critiques très différentes de la normale et commencent généralement à se manifester sous forme de "diffusion en hauteur" (range spread) qui se superpose à l'ionogramme normal. Pour faciliter l'étude de ces phénomènes, on indiquera leur présence par la lettre descriptive Q.

#### 2.75. Phénomène de lacune

Dans certains cas, des traces réfléchies à une certaine altitude disparaissent bien que les traces qui subsistent montrent que l'absorption est soit normale, soit seulement légèrement accrue. Il a été proposé d'appeler "Lacune" ce phénomène. L'explication de la lacune fait encore l'objet de discussions bien qu'il soit généralement admis que le signal réfléchi est fortement affaibli par des processus de diffusion ou de défocalisation qui se produisent dans une tranche limitée d'altitudes de réflexion. Lorsque la sensibilité de l'appareil est grande ou lorsque le phénomène est faible, on peut voir de faibles traces diffuses étalées en hauteur et en fréquence dans la partie de l'ionogramme où les traces normales ont disparu.

Les lacunes semblent étroitement liées à l'activité le long de l'ovale auroral et se produisent aussi aux pôles magnétiques. Elles peuvent donc s'avérer utiles pour l'étude de l'activité dans ces régions. Les lacunes sont également étroitement associées aux "E slant" observés aux latitudes élevées et ce sujet a été discuté sous le titre "Slant E conditions" (par exemple, par J.K. Olesen (AGARD CP 97, 1972, pp. 27.1 - 27.19, NATO, Paris).

Les lacunes sont caractérisées par le fait que l'amplitude des signaux réfléchis dans une certaine gamme de hauteurs est anormalément faible alors que les affaiblissements dûs à l'absorption sont plus grands aux fréquences basses et affectent plus le mode x que le mode o. De même, lorsque la lacune affecte une trace au voisinage d'une fréquence critique, le signal disparaît ou réapparaît subitement, sans modification appréciable de son intensité alors qu'une absorption anormale provoquerait une variation progressive en fonction de la fréquence. On observe fréquemment Es slant lors des lacunes lorsque l'absorption est faible. Lorsque se produit une lacune, la trace F disparaît subitement, puis réapparaît subitement sans que l'on constate une modification appréciable de la forme de la trace.

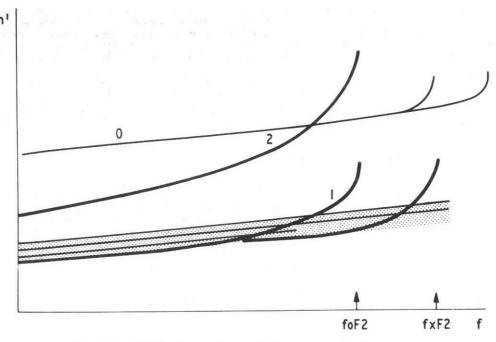


Fig. 2.14 "Diffusion en hauteur" (range spreading)

- Remarque : (i) La hauteur de la trace du second ordre est double de celle de la trace du premier ordre, sauf peut-être au voisinage de foF2,
  - (ii) Quand une trace telle que 0 est présente, une forte inclinaison est susceptible de se développer (0 peut être au-dessus ou au-dessous de la trace 2F).

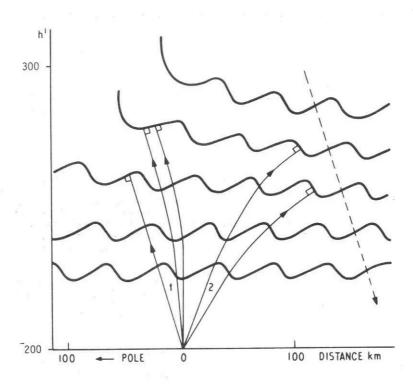


Fig. 2.15 Réflexions sur une ionosphère irrégulière Remarque : La densité électronique décroît en direction du pôle.

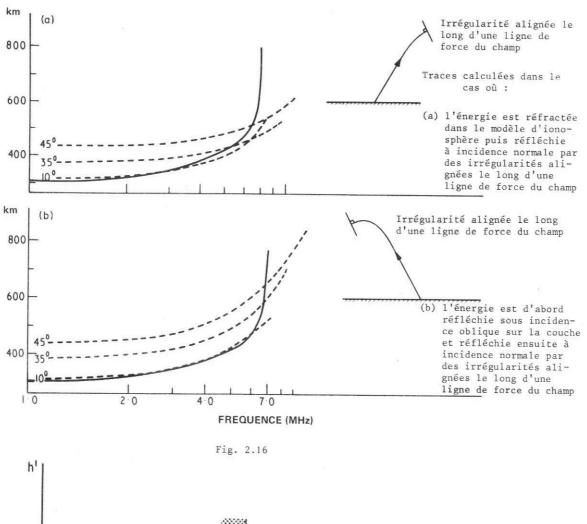


Fig. 2.17 Traces réfléchies dans le mode 1 (parallèle au champ) et le mode 2 (perpendiculaire au champ) de la Fig. 2.15

En pratique, on observe le plus souvent la lacune sur la trace F1, la trace manque alors entre foE et foF1 (Fig. 2.18) (le retard de la trace E manque aussi parfois et la trace est à une hauteur normale mais ressemble à une trace Es). Ce phénomène est appelé une lacune F1. Le phénomène peut aussi affecter toutes les traces F, c'est alors une lacune totale. Lorsque la sensibilité de l'appareillage est grande, on peut observer de faibles traces diffuses sur une partie ou sur la totalité de la gamme de hauteurs perturbée.

La présence d'un phénomène de lacune est indiquée par la lettre Y. On doit faire attention de ne pas confondre les lacunes avec les effets d'une augmentation de l'absorption et d'occultation par Es (voir Fig. 1).

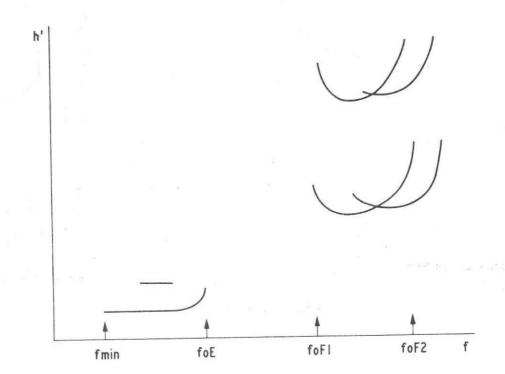


Fig. 2.18 Lacune Fl

- Remarques : (a) fmin et les traces multiples sont normales. La lacune n'est donc pas due à une absorption anormale
  - (b) Apparition soudaine de la trace F2. La lacune n'est donc pas due à l'absorption au voisinage de la fréquence critique
  - (c) Le retard de groupe de la trace E est souvent absent mais la trace E est à la hauteur habituelle de la couche E. Ce n'est donc pas Es
  - (d) Une trace faible et diffuse du mode o peut aussi être visible dans la partie manquante de la trace FI, lorsque la sensibilité est grande ou la lacune faible. Elle est généralement plus intense au voisinage de foFI.
  - (e) Dans certaines stations, on observe la trace du second ordre pendant les lacunes.

#### CHAPITRE 3

## LETTRES QUALIFICATIVES ET DESCRIPTIVES

## 3.0. UTILISATION DES LETTRES QUALIFICATIVES ET DESCRIPTIVES

Les lettres s'écrivent exclusivement en majuscules. Elles sont groupées en deux catégories : lettres qualificatives et lettres descriptives, qu'il ne faut pas confondre.

L'ancienne convention WWSC, avec la lettre qualificative avant le nombre et la lettre descriptive après, a été abandonnée car elle cause des difficultés lorsque les données sont perforées en vue de leur traitement par ordinateur. Cette convention convient pour le travail manuel et on peut l'appliquer lorsque les données existent aussi sous forme de sortie d'ordinateur. Lorsque les lettres symboles sont imprimées au-dessus du nombre, la lettre qualificative, s'il y en a une, est placée au-dessus du premier chiffre du nombre et la lettre descriptive au-dessus du troisième chiffre.

Les lettres A, D, E, M, O, T, Z, sont à la fois qualificatives et descriptives et leur signification est rendue claire par leur position conventionnelle sur les feuilles de dépouillement. Chaque fois qu'il y a doute, on consultera les définitions internationales données aux paragraphes 3.1, 3.2 ou 3.3.

Lorsque les données sont traitées par ordinateur, il est possible de faire calculer une caractéristique correspondant à un certain mode à partir d'une valeur mesurée pour un autre mode ; les conventions internationales concernant les lettre descriptives 0 et X ont été modifiées dans ce sens. Ainsi, une valeur tabulée (fxEs)-X peut être lue par l'ordinateur qui la transformera en (fxEs-fB/2)JX. De même pour fxI en absence d'échos diffus, une valeur inscrite (foF2)-0 peut être lue pour donner (foF2+fB/2)OX (qui signifie qu'il n'y a pas d'échos diffus mais que la valeur de fxI est déduite de la trace 0). Il est tout à fait déconseillé d'employer ces conventions lorsque la tabulation est faite manuellement.

#### 3.1. LETTRES QUALIFICATIVES

Les lettres qualificatives donnent une indication sur la confiance que l'on peut accorder à une valeur tabulée. Ces lettres ne doivent pas être utilisées pour remplacer une valeur numérique mais doivent toujours être accompagnées d'une valeur numérique et d'une lettre descriptive.

Les lettres qualificatives sont utilisées à deux fins : soit comme symboles algébriques, soit pour indiquer que la valeur tabulée n'a pas été déduite directement de la trace normalement concernée.

Quand aucune lettre qualificative n'est employée, il est sous-entendu que la mesure n'a pas présenté de difficulté sérieuse due au brouillage, au bruit ou à des défauts de l'appareil, que l'interprétation de l'ionogramme est claire et sans ambiguité et que la valeur relevée est dans les limites de la précision requise pour la caractéristique.

Si aucune lettre qualificative n'est utilisée, on inscrit un tiret (-) dans l'espace prévu sur la feuille de dépouillement ou on le laisse vide selon la présentation du tableau.

Les lettres qualificatives sont : A, D, E, I, J, M, O, T, U, Z. Elles ont les significations suivantes :

- A Plus petit que. Utilisée uniquement quand fbEs est déduit de foEs dans le cas d'occultation totale des couches supérieures. On l'ignore pour le calcul de la médiane et xxxAA est traité comme xxx, c'est-à-dire fbEs = foEs (voir § 4.6).

  La lettre E implique une valeur limite inférieure à la valeur numérique. Ces valeurs doivent être déplacées au bas de la distribution lorsqu'on calcule la seconde médiane.

  La lettre A implique aussi une valeur inférieure à une valeur limite mais cette valeur est anormalement élevée et ne doit donc pas être déplacée au bas de la distribution lorsqu'on calcule la seconde médiane. On ne tient pas compte de la notation "inférieur à" dans ce cas.
- D Plus grand que.
- E Plus petit que.

D et E ne sont utilisées comme lettre qualificatives que lorsqu'on observe des valeurs limites. Les règles de précision applicables à l'emploi de D et E sont données aux paragraphes 2.2 et 2.7.

Lorsque D et E sont utilisées par suite des limites du sondeur (lettre descriptives D, E, W) ou des limites dues à fmin, foE, foF1 (lettres descriptives B, G), il est essentiel que les limites numériques soient facilement identifiables. Les données sont souvent traitées par ordinateur et les notes figurant sur les carnets de bord des stations peuvent être égarées ; il est donc recommander d'écrire intégralement les valeurs limites, par exemple xxxEE, à moins d'être certain que les valeurs manquantes sont faciles à connaître.

Puisque les tableaux de médianes sont souvent séparés des autres données, toutes les valeurs médianes devront être écrites intégralement chaque fois qu'une valeur numérique doit y figurer.

#### I - Valeur interpolée remplacant une valeur manquante :

Les interpolations peuvent être faites sur une période inférieure à 2 heures à condition que la séquence des enregistrements indique que les conditions varient lentement. Les interpolations devront être faites sur un f-plot ou une courbe journalière car la caractéristique concernée peut ne pas varier linéairement dans le temps. Si les enregistrements manquent pendant plus de 2 heures, ou si on ne pense pas que la caractéristique varie lentement et régulièrement, aucune interpolation n'est permise. Par exemple, les interpolations pour h'F et h'F2 ne devront pas être faites sur un intervalle de hauteur supérieur à 50 km.

- Il n'est pas permis d'interpoler pour obtenir une valeur numérique :  $1^{\circ}$ ) quand la valeur observée est remplacée par D, E, F, G, L, N, W,  $2^{\circ}$ ) pour les caractéristiques d'Es ou pour fmin.

On interpolera pour obtenir une valeur numérique, si c'est possible, quand la valeur observée est remplacée par C, R ou S. Ceci s'applique également pour B dans le cas d'une P.I.D.B. mais non dans le cas d'une absorption dans les calottes polaires (polar black-out).

#### J - Caractéristique de la composante ordinaire déduite de la composante extraordinaire :

Cette lettre s'applique seulement aux mesures des fréquences critiques en supposant fo = fx - fB/2 [A 112 I, Fig. 138, A 114 D], ou, lorsque fo est voisin ou inférieur à fB, en calculant la différence exacte fx - fo, comme indiqué au paragraphe 1.04. Chaque fois que l'on utilise la lettre J on devra indiquer par la lettre descriptive appropriée la raison pour laquelle la valeur de la caractéristique n'a pas été relevée sur la trace ordinaire.

On peut obtenir M(3000) même quand la fréquence critique ordinaire est déduite de l'extraordinaire pourvu que l'on puisse rep∈rer le point de tangence de la courbe de transmission avec la trace ordinaire. M(3000) est déterminé à l'aide de la fréquence ordinaire déduite de l'extraordinaire mais ne sera pas qualifié par J car l'erreur possible en déduisant fo est normalement très faible.

#### M – Interprétation incertaine du mode :

Cette lettre est utilisée quand l'ionogramme ou la séquence d'ionogrammes ne montrent pas assez clairement s'il s'agit du mode ordinaire ou du mode extraordinaire. Elle est surtout (mais rarement) utilisée avec les caractéristiques fxI, foF2, foEs ou fxEs. La raison de la difficulté d'interprétation est donnée par la lettre descriptive qui convient le mieux. La valeur relevée est traitée comme si l'interprétation était correcte mais M'indique une erreur possible de fB/2 pour les caractéristiques de fréquence et une erreur mal définie pour les hauteurs et les facteurs M(3000).

#### O - Caractéristique de la composante extraordinaire déduite de la composante ordinaire

Cette lettre s'applique chaque fois qu'il est nécessaire de déduire une caractéristique extraordinaire de la trace de l'onde ordinaire. Elle ne peut être utilisée qu'avec les caractéristiques de fréquences définies pour la trace x, en particulier fxI et fxEs. On déduit fx en supposant fx = fo + fB/2, ou, lorsque fo est voisin ou inférieur à fB, en calculant la différence exacte fx - fo comme indiqué au paragraphe 1.04.

Lorsqu'on utilise la lettre qualificative O, la raison en est donnée par :

- (a) la lettre descriptive qui explique le mieux pourquoi la caractéristique extraordinaire n'a pu être
- (b) la lettre descriptive M lorque l'on ne sait pas si la mesure concerne la caractéristique ordinaire ou extraordinaire. On traite la trace comme s'il s'agissait de l'ordinaire.
- (c) la lettre descriptive 0 lorsque l'on est sûr que c'est la caractéristique de l'onde ordinaire qui a été mesurée mais lorsque la raison de l'absence de la caractéristique extraordinaire est complexe, douteuse, ou bien parce que la mesure est faite au voisinage de fB ou bien encore lorsque le mode x a pu être identifié mais n'a pas été utilisé (voir § 3.2, lettre descriptive 0).

#### T - Valeur déterminée d'après une séquence d'observations car la valeur concernée est douteuse ou incompatible avec les valeurs qui l'entourent

La lettre T ne s'applique qu'aux valeurs numériques obtenues par "lissage" sur le f-plot et elle indique toujours que les conditions réelles de l'ionosphère diffèrent de la valeur représentative inscrite dans le tableau. Son emploi est surtout restreint aux stations de haute latitude pour lesquelles la valeur réelle peut être trouvée sur le f-plot. T n'est jamais utiliséepour remplacer une valeur manquante, cas dans lequel on doit interpoler, si c'est possible (voir § 6.9).

## U - Valeur numérique imprécise ou douteuse :

Une valeur tabulée peut être imprécise parce que la trace est masquée par du brouillage, du bruit, des défauts de l'appareil, des échos diffus, de l'absorption avec déviation, etc... qui rendent difficile l'interprétation de l'ionogramme (voir § 2.2 pour les critères d'utilisation de la lettre U).

## Z – Mesure déduite de la troisième composante magnéto-ionique :

La lettre Z, utilisée comme lettre qualificative, est analogue à la lettre J. Elle s'applique seulement aux fréquences critiques. Chaque fois qu'on utilise la lettre Z on doit indiquer par une lettre descriptive la raison pour laquelle la trace ordinaire n'a pu être dépouillée.

On peut obtenir M(3000) même lorsque la fréquence critique ordinaire est déduite de la troisième composante magnéto-ionique pourvu que l'on puisse repérer le point de tangence de la courbe de transmission avec la trace ordinaire : M(3000) est alors déterminé en utilisant la fréquence critique ordinaire déduite de la composante z et est qualifié par Z. Cette qualification est nécessaire parce que la trace z est le plus souvent oblique et que la fréquence critique ordinaire qu'on en a déduite est donc incertaine.

Pour les sondages en contre-haut, on emploie des lettres qualificatives supplémentaires (voir  $\S$  5.65).

#### 3.2. LETTRES DESCRIPTIVES :

Les lettres descriptives donnent la raison principale de l'imprécision ou de l'absence d'une valeur numérique, ou indiquent la présence de certains phénomènes. Bien qu'on puisse utiliser deux lettres descriptives lorsque l'espace pour trois lettres symboles existe sur les tableaux, les méthodes mécanographiques d'analyse ne peuvent traiter qu'une seule lettre descriptive. C'est pourquoi seule la première dettre descriptive peut être considérée comme une caractéristique internationale et il est très important qu'elle soit conforme aux règles.

Les lettres descriptives sont : A, B, C, D, E, F, G, H, K, L, M, N, O, Q, R, S, T, V, W, X, Y, Z. Quand deux lettres paraissent  $\tilde{e}$ galement applicables, le choix sera fait selon les  $r\tilde{e}$ gles suivantes :

- (a) Toujours utiliser la lettre qui rend le mieux compte de la raison de la difficulté.
- (b) Toujours utiliser une lettre ayant un sens restrictif de préférence à une lettre ayant un sens plus général. (Ceci s'applique plus particulièrement lorsqu'on hésite entre C et S, ou entre E et G).

Les lettres descriptives ont les significations suivantes :

# A - Mesure influencée ou rendue impossible par la présence d'une couche mince inférieure, par exemple Es.

Cette lettre est utilisée quand une couche plus haute (telle que la couche F) est occultée par une couche mince (telle qu'Es). Il y a occultation quand une couche Es empêche l'observation d'échos provenant d'une couche supérieure (Fig. 3.1, 3.2, 3.3).

Lorsqu'une trace Es est telle qu'on ne peut distinguer foEs et qu'on doit déduire foEs de fxEs, on utilisera la lettre A : foEs = (fxEs - fB/2)JA.

Autrefois on utilisait dans ce cas les lettres JX mais cela induit en erreur et est périmé. La lettre A n'est pas employée lorsque foEs ne peut pas être évaluée directement par suite du brouillage (utiliser JS) ou de défaillance de l'appareillage (utiliser JC).

Es peut aussi occulter la trace E normale ; dans ce cas on remplace foE et h'E par A (Fig. 3.2).

Lorsqu'il a occultation totale (c'est-à-dire aucune réflexion sur des couches supérieures) il n'est pas possible d'évaluer fbEs avec certitude. Cependant les statistiques de fbEs sont dévalorisées si ces valeurs élevées ne sont pas numériques. Dans ce cas la solution consiste à relever fbEs = (foEs)AA, mais cela peut être erroné si foEs a été relevé sur une trace faible.

Lorsque Es reste stable par rapport à la station, la fréquence extrême des traces d'ordre multiple décroît lentement avec l'ordre, et la fréquence extrême de la trace du second ordre correspond approximativement à la fréquence à laquelle on aurait pu voir la trace F. Souvent la trace E du premier ordre est aussi plus épaisse en-dessous qu'au-dessus de cette fréquence.

Lorsque la position de Es varie par rapport à la station, on peut voir la trace du second ordre (plus rarement les traces d'ordre plus élevé) à des fréquences supérieures à la fréquence extrême de la trace du premier ordre. En pratique, en présence d'occultation totale, la différence entre foEs déduite de la trace ininterrompue et fbEs est négligeable comparée à la variabilité de fbEs dans l'espace et dans le temps. La règle (a) ci-dessous est généralement applicable.

- (a) Si la trace est ininterrompue jusqu'à foEs, relever fbEs = foEs AA (Fig. 3.1).
- (b) Si la trace n'est pas ininterrompue jusqu'à foEs, ou si deux ou plusieurs traces multiples sont présentes avec la fréquence extrême de la trace du second ordre nettement inférieure à foEs (Fig. 3.2), on relèvera pour fbEs la fréquence extrême de la trace du second ordre avec AA. (Remarque : si ces valeurs ont été déduites de la trace x, on utilisera AA de préférence à JA dans les cas (a) et (b) ). Les valeurs de fbEs obtenues en appliquant la règle (a) sont généralement en accord avec la valeur obtenue en appliquant la règle (b) dans les limites des règles de précision.

Les traces Es peuvent être occultantes dans la partie inférieure de leur intervalle de fréquences et non dans la partie la plus haute (Fig. 3.3.) [A 88 I, Fig. 77; A 96 I, Fig. 87], [B II B-54](Johannesbourg, midi),[II B-55](Déc.),[II B-57](Juin),[II B-66](Juin) .

L'occultation par Es diffère de l'occultation d'une couche normale (par exemple F1) par une couche épaisse inférieure (par exemple E) en ce que les traces de la couche supérieure ne présentent pas de retard de groupe au voisinage de la fréquence d'occultation [A 88 I, Fig. 76, 77, 78; A 96 I, Fig. 90]. Comparez les Fig. 3.3 et 3.4.

Normalement une trace Es occultante est intense mais, quand l'absorption sans déviation est forte (fmin élevée) la trace peut paraître faible. La comparaison de la trace Es avec celle d'une couche supérieure indique nettement s'il y a occultation (Fig. 3.5).

Lorsque la fréquence minimale réfléchie sur des couches supérieures est plus grande que foEs, on caractérisera fbEs par la lettre descriptive C, R, S ou Y qui convient. L'emploi de A devra être limité aux cas où l'occultation est évidente. Y est très souvent la lettre qui convient le mieux (Fig. 3.6) (voir aussi § 2.75, Fig. 2.18).

Un cas difficile à traiter est celui où la seule trace observée sur l'ionogramme est une trace Es faible sur un intervalle de fréquence relativement petit avec une valeur de fmin relativement élevée (Fig. 3.5). Dans de tels cas on examinera la série des ionogrammes précédents et suivants pour déterminer quelles sont les fréquences critiques les plus probables de la couche F, et pour décider si on doit attribuer l'absence de caractéristiques de la région F à une occultation (A) ou à de l'absorption (B). Dans cette situation, il est utile aussi de connaître l'intervalle probable des fréquences des échos de la région F fourni par le dépouillement des jours précédents ou par les valeurs médianes mensuelles. Si la trace Es apparaît d'abord dans un intervalle de fréquences bien supérieur à celui probable pour les échos de la région F, on utilisera la lettre B. Si la hauteur virtuelle est inférieure à 95 km, la trace faible est probablement un Es de type d, l'absorption est forte et on utilisera la lettre B pour toutes les caractéristiques sauf pour le type d'Es.

Souvent dans les régions équatoriales et parfois aux latitudes élevées, on observe des échos Es dans le même intervalle de hauteur que ceux de la région E normale, ces derniers étant "cachés" par les traces Es. C'est un cas fréquent avec le type q d'Es. Bien qu'il ne s'agisse probablement pas d'occultation, il est permis d'utiliser la lettre A pour décrire cette situation [A 96 I, Fig. 98].

On utilise aussi la lettre A lorsqu'une trace Es d'ordre multiple empêche la lecture précise de h'F.

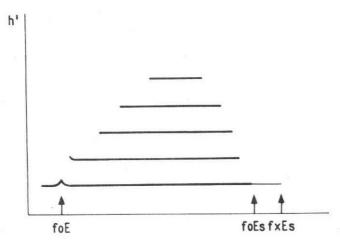


Fig. 3.1 Occultation totale

- (i) Toutes les caractéristiques de la couche F sont remplacées par A.
- (ii) Si la trace x est distincte comme sur la figure, on peut lire foEs directement et fbEs = (foEs)AA.
- (iii) Si on ne distingue pas la trace x, foEs = (fxEs fB/2)JA. Déduire fbEs de l'écho du second ordre comme dans le cas de la figure 3.2
- (iv) Si possible, on extrapole : (foE)-A; sinon on inscrit la fréquence correspondant au point de rebroussement avec UA: (foE)UA (voir § 2.4, Fig. 2.2).

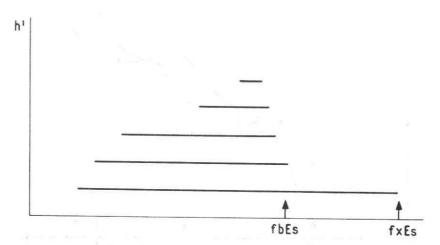


Fig. 3.2 Occultation totale avec des traces multiples compatibles entre elles

(i) Toutes les caractéristiques de la couche F et de la couche E normale sont remplacées par A.

(ii) Déduire foEs de fxEs : foEs = (fxEs - fB/2)JA.

(iii) Déduire fbEs des multiples, fbEs = xxxAA

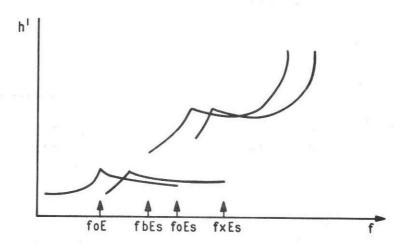


Fig. 3.3 Occultation partielle

h'F est remplacée par A. Noter que si la trace F est presque horizontale (voir extrapolation), on inscrira la valeur la plus basse de h'F avec EA, (h'F)EA. h'E = xxx, h'Es = yyy

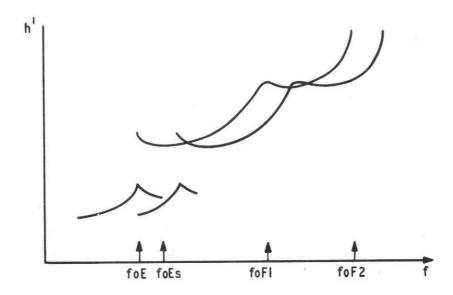


Fig. 3.4 Occultation de F par une couche E épaisse

fbEs = (foE)EG

Remarque : Dans ce cas h'E est inscrit : (h'E)EB h'Es est inscrit : (h'Es)EG.

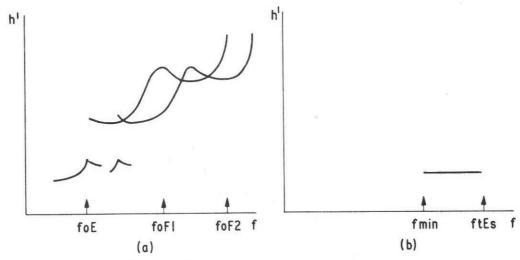


Fig. 3.5 Distinction entre A et B

- (a) absorption normale à une heure de la journée correspondant à (b)
- (b) forte absorption

  - (i) Si dans (b) fmin > foE dans (a), h'E et foE sont remplacées par B

    < foE dans (a), h'E et foE sont remplacées par A

    (ii) Si dans (b) fmin > foFl dans (a), h'F et foFl sont remplacées par B

    < foFl dans (a), h'F et foFl sont remplacées par A

    (iii) Si dans (b) fmin > foF2 dans (a), h'F2 et foF2 sont remplacées par B

    < foF2 dans (a), h'F2 et foF2 sont remplacées par A
  - S'il est très probable que ftEs est foEs, c'est-à-dire si le mode x est absorbé, foEs = (ftEs)-B. S'il y a doute, par exemple si la différence ftEs - fmin est grande, foEs = (ftEs)MB

Voir le paragraphe 4.3 pour les détails Dans les deux cas, fbEs = (ftEs)AA.

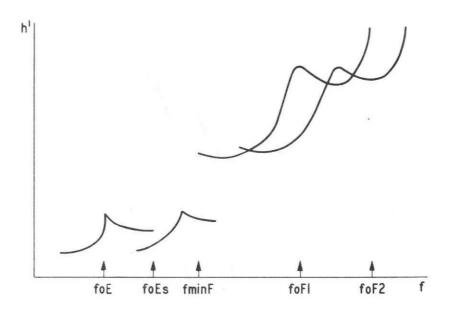


Fig. 3.6 Cas de la lacune

fminF > foEs
fbEs = (foEs)EY

Remarque : la même convention s'applique si la trace x est absente ou si la trace F ne présente pas de retard dans sa partie basse fréquence.

### B - Mesure influencée ou rendue impossible par l'absorption au voisinage de fmin

Cette lettre s'applique seulement aux effets de l'absorption sans déviation. L'absorption de ce type est mesurée grossièrement par fmin (Fig. 3.5, 3.7, 3.8, 3.9). [A 101 I, Fig. 111; A 112 I, Fig. 128, 129, 144].

Si la trace est nette aux fréquences les plus basses et absente aux fréquences les plus élevées, on ne doit pas utiliser la lettre B mais la lettre R peut éventuellement convenir (Fig. 3.9) [A 112 I, Fig. 137 ; A 88 I, Fig. 81].

Lorsqu'on n'observe aucun écho Es ni E, alors que fmin est supérieure à la limite inférieure de l'ionosonde et qu'il s'agit bien d'absorption, foEs et fbEs sont relevées comme inférieures à la valeur numérique de fmin avec la lettre descriptive B [A 88 I, Fig. 67]. h'Es est remplacée par B (Fig. 3.7).

Pendant une absorption totale (polar black out) ou une P.I.D.B., on utilisera B pour toutes les caractéristiques y compris fmin. C'est le seul cas où la lettre B.s'applique à fmin.

Dans les stations qui enregistrent des ionogrammes à plusieurs gains il peut arriver qu'aucune trace ne soit visible sur l'ionogramme obtenu avec le gain moyen par suite de l'absorption, de sorte que fmin doit être remplacée par B. Si on observe des traces sur l'enregistrement à gain élevé, on y relèvera toutes les caractéristiques sauf foEs et fbEs, en dépit de l'inscription B dans le tableau de fmin.

Lorsque fmin est à l'intérieur d'un intervalle d'environ plus ou moins 10% d'une fréquence critique, la valeur numérique est rendue douteuse par l'absorption (avec déviation) relativement grande au voisinage de la fréquence critique. Dans ce cas on pourra indiquer que fmin ne représente plus une valeur très valable de l'absorption sans déviation en utilisant la convention (fmin)UR. (On utilisera cette règle locale dans les stations où fmin est considérée comme une mesure de l'absorption sans déviation).

Il faut prendre soin de distinguer une forte absorption la nuit (B) d'avec une absence de trace due au fait que foF2 est inférieure à la plus basse fréquence explorée par le sondeur (E). Dans le premier cas le brouillage et le niveau de bruit sur l'ionogramme sont généralement nettement plus faibles qu'à l'ordinaire, mais ils sont inchangés dans le second cas. En général, la variation de foF2 dans le temps montre bien, aussi, si une condition E est susceptible de se produire (Fig. 3.10)

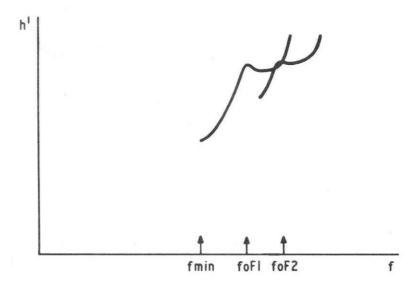


Fig. 3.7 Forte absorption de jour

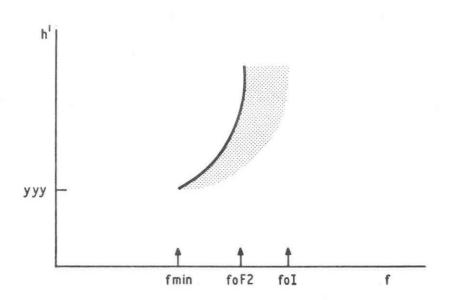


Fig. 3.8 Forte absorption de nuit

Emploi de B, foEs, fbEs sont inscrites: (fmin)EB
h'Es est remplacée par B
h'F est inscrite (yyy)EB
fxI est inscrite: (foI + fB/2)OB

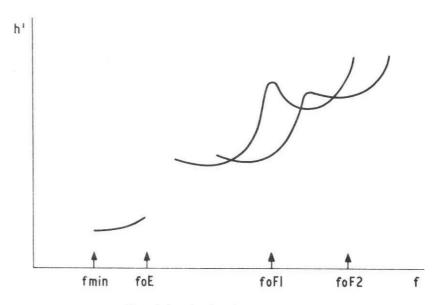


Fig. 3.9 Distinction entre B et R

foE sera inscrite(foE)-R ou (foE)UR selon la largeur de la partie manquante de la trace (voir les règles de précision)

Remarque : fmin est déterminée sur la trace E et non sur la trace F

## C – Mesure influencée ou rendue impossible par une raison non ionosphérique quelconque :

La lettre C remplace les valeurs manquantes par suite d'une panne de l'appareil ou du manque de puissance, du brouillage provoqué par d'autres appareils locaux (par exemple des émetteurs) ou quand il devient nécessaire d'arrêter le sondeur pour éviter de brouiller d'autres installations. On peut employer la lettre C pour qualifier une mesure douteuse par suite d'une incertitude sur les échelles de fréquence ou de hauteur (dilatation ou compression inhabituelle de l'enregistrement, mauvaise identification des reperres de fréquences, etc...) telle que l'imprécision de la mesure dépasse les limites admises pour le dépouillement.

La lettre C est utilisée pour qualifier une mesure douteuse lorsqu'il y a incertitude sur l'heure de l'observation (mauvaise visibilité ou absence du marquage horaire, erreur de l'horloge) à condition que cette incertitude soit inférieure à 5 minutes. On peut utiliser C pour expliquer une mesure douteuse par suite d'une mauvaise réponse de l'appareil dans une partie de la gamme de fréquence. Enfin on utilise C pour expliquer les valeurs douteuses ou manquantes par suite d'une panne ou d'un oubli de la part de l'opérateur (film voilé ou rayé, manque de film).

Quand une partie de l'ionogramme est inutilisable par suite d'une panne, les règles pour l'extrapolation ou l'interpolation sont les mêmes pour la lettre C que pour la lettre S.

## D — Mesure influencée ou rendue impossible par la limite supérieure de la gamme de fréquences utilisée :

On devra faire attention à ne pas confondre, dans les tableaux journaliers et mensuels, la lettre descriptive D et la lettre qualificative D. Lorsque la limite supérieure de la gamme de fréquences est réglable on inscrira xxxDD (xxx étant la fréquence limite supérieure réelle) lorsque celle-ci est inférieure à la limite supérieure de la gamme normale de fréquences.

## E - Mesure influencée ou rendue impossible par la limite inférieure de la gamme de fréquences utilisée :

Si foF2 est présumée inférieure à la limite inférieure de la gamme de fréquences du sondeur, les valeurs de foF2 et h'F sont remplacées par la lettre descriptive E. Les figures 3.10 (a) et (b) présentent un exemple où on n'observe aucune trace principale F alors que le f-plot suggère que foF2 est en dessous de la limite inférieure de l'ionosonde. L'absence de la trace F n'est pas en elle-même une justification suffisante pour utiliser la lettre descriptive E.

Il faut toujours juger d'après une séquence d'enregistrements et d'après le bruit et le brouillage présents sur l'ionogramme ; la lettre A, B ou S convient souvent mieux [A 112 I, Fig. 135].

Si foF2 est si proche de la limite inférieure de la gamme de fréquences du sondeur que la trace ne devient pas horizontale, on relève pour h'F la hauteur de l'écho à la limite inférieure de la gamme de fréquences avec la lettre qualificative E (plus petit que) et la lettre descriptive E (Fig. 3.11) [A 112 I, Fig. 143].

Pendant les heures de nuit, quand il n'y a pas d'échos Es sur l'ionogramme et quand fmin est inférieure à la limite inférieure de l'ionogramme, la lettre descriptive E remplace foEs, fbEs, h'Es et fxEs s'il y a lieu (Fig. 3.10 (b) et 3.11). On n'emploie pas la lettre descriptive E de cette façon si on observe sur l'ionogramme la trace d'une couche E épaisse (par exemple durant les heures de jour) (voir la lettre G). On ne peut pas employer la lettre descriptive E si fmin est plus grande que la limite inférieure de l'ionospade.

Quand la fréquence inférieure de balayage du sondeur est modifiée à certaines heures de la journée (comme c'est généralement le cas pour les ionosondes à bandes commutées), il est important de relever la fréquence la plus basse effectivement utilisée, au moins dans les tableaux de fmin, chaque fois qu'y figure une valeur limite (fmin)EE, et il serait préférable de le faire pour toutes les caractéristiques qualifiées EE.

Lorsque la fréquence critique est inférieure à la fréquence la plus basse de l'ionosonde, le symbole qui convient est E et non G.

On devra faire attention, dans les tableaux journaliers et mensuels, à ne pas confondre la lettre descriptive E et la lettre qualificative E.

Lorsque la caractéristique ordinaire est inférieure à la fréquence la plus basse de l'ionosonde mais qu'on observe la caractéristique extraordinaire correspondante, on mesurera cette dernière et on en déduira la caractéristique ordinaire qui sera qualifiée par J et décrite par E.

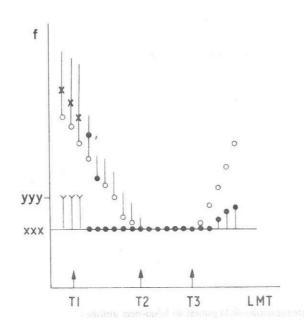


Fig. 3.10 (a) Portion de f-plot montrant

La limite inférieure des fréquences de l'ionogramme est xxx Près de Tl, fmin est yyyES foEs est yyyES fbEs est yyyES

Entre T2 et T3 toutes les caractéristiques sont remplacées par E (plus précisément par xxxEE).

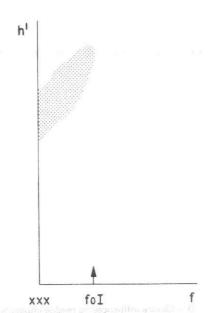


Fig. 3.10 (b) Ionogramme au temps T2 de la figure 3.10 (a)

fxI = (foI + fB/2)0E
Toutes les autres caractéristiques
sont remplacées par E (plus précisément par xxxEE).

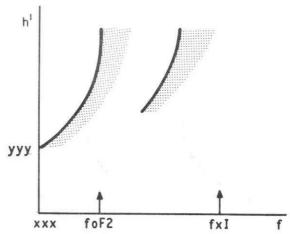


Fig. 3.11 Emploi de EE

La plus basse fréquence de l'ionogramme est xxx fmin : (xxx)EE ou, avec moins de précision, E h'F : (yyy)EE foEs, fbEs, fxEs et h'Es sont remplacées par E.

## F - Mesure influencée ou rendue impossible par la présence d'échos diffus :

La présence d'échos diffus à certaines altitudes modifie souvent la fréquence critique ou la hauteur virtuelle d'une couche, même lorsque la précision de lecture de la caractéristique n'est pas affectée; on doit utiliser dans ce cas la lettre descriptive F. Dans la mesure du possible, il faut relever une valeur numérique de la fréquence critique, mais il faut faire attention à ne pas dépouiller des traces obliques (voir § 2.7). La lettre F peut aussi être utilisée pour décrire ou remplacer des valeurs de la hauteur virtuelle en présence d'échos diffus intenses.

La marche à suivre a été exposée en détail au paragraphe 2.7 et ne sera que résumée ici :

Le premier stade est de décider si les traces principales sont dues à une couche stratifiée horizontalement ou non ( $\S$  2.7, Fig. 2.6, 2.7, 2.8, 2.10). Dans le premier cas, le plus fréquent sauf aux latitudes élevées ou durant les orages, les possibilités sont les suivantes :

(a) on peut reconnaître quelle est la trace principale (Fig. 3.12 (a) et 2.10) [A 98 I, Fig. 101 ; A 100 I, Fig. 105 ; A 104 I, Fig. 122 ; A 112 I, Fig. 136] .

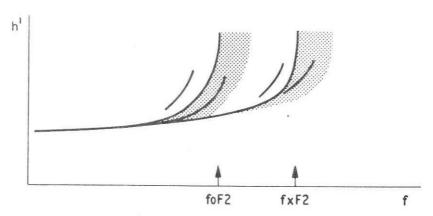


Fig. 3.12 (a) Trace principale

(i) La trace principale est généralement plus intense que les autres traces
 (ii) Pour la trace principale, fxF2 - foF2 = fB/2. Ceci n'est pas toujours vrai pour les traces additionnelles.

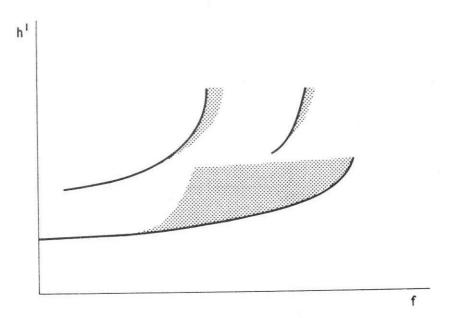


Fig. 3.12 (b) Emploi des traces d'ordre multiple

Une trace principale est fréquemment visible sur le second ordre ou un ordre supérieur quand elle n'est pas visible sur le premier ordre. Elle est généralement assez continue et fxF2 - foF2 est très voisin de fB/2. Cette relation, si elle est vérifiée, confirme l'interprétation, mais n'est pas essentielle.

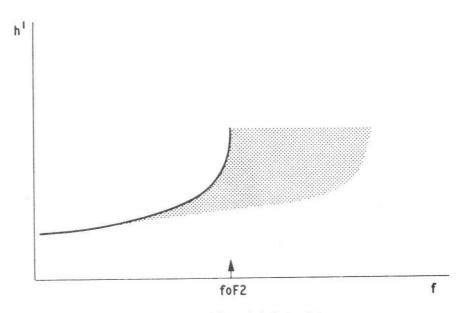


Fig. 3.12 (c) Emploi du bord interne

Quand la trace principale est due à une couche stratifiée horizontalement, foF2 correspond à la fréquence la plus basse du bord interne de la diffusion. Ce bord est très souvent marqué par une trace plus nette que les autres (voir aussi Figs. 2.4, 2.11).

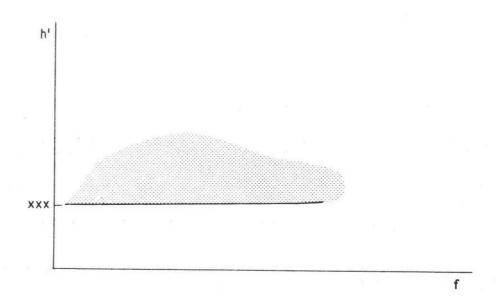


Fig. 3.13 Absence de trace principale

Emploi de F foF2 est remplacée par F h'F : xxx-F ou xxxUF selon qu'il y a ou non un bord interne net.

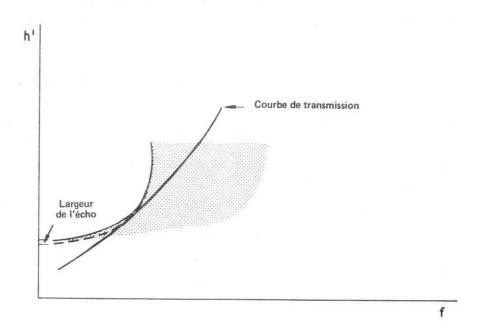


Fig. 3.14 Dépouillement de M(3000)

sur un ionogramme présentant un bord interne de diffusion bien défini

----- bord interne observé

- (b) les échos multiples permettent de déterminer la trace principale (Fig. 3.12 (b) et 2.11) [A 104 I, Fig. 123 et 124].
- (c) la diffusion présente un "bord interne" bien défini (Fig. 3.12 (c)) [A 40 I, Fig. 29 ; A 88 I, Fig. 68-70] .
  - (d) on peut relever une valeur limite avec les lettres qualificatives D ou E (voir § 2.22 (c)).
- et 125]. On utilise la lettre descriptive F sans aucune valeur numérique (Fig. 3.13) [A 104 I, Fig. 124 et 125]. Dans le cas de couches inclinées (tilt) on se refèrera au paragraphe 2.7.

La marche à suivre pour le dépouillement de M(3000) en présence d'échos diffus est la suivante :

- (a) le premier écho multiple peut être utilisé comme guide pour déterminer la position de l'écho principal.
- (b) si la trace diffuse présnte un "bord interne" bien défini, procéder comme suit : construire une courbe dont chaque point est décalé de la largeur d'un écho par rapport au bord interne de la trace et en dessous de celui-ci, et relever le facteur M à partir de cette trace reconstituée, (Fig. 3.14).
- (c) si (a) et (b) sont inapplicables, on inscrira dans le tableau la lettre descriptive F sans aucune valeur numérique.
- La lettre symbole F ne doit jamais être utilisée avec les caractéristiques fxI, h'I et dfS car elles sont très importantes en présence de F diffus.

# G — Mesure influencée ou rendue impossible par le fait que la densité d'ionisation de la couche réfléchissante est insuffisante pour permettre cette mesure avec précision

Cette lettre traduit généralement l'absence sur l'ionogramme de la trace d'une couche.

(a) absence de la trace F2

Lorsque l'ionisation de la couche F2 est faible il arrive que sa densité électronique soit inférieure à celle de la couche F1 ou à celle de la couche E nocturne. On utilise la lettre G quand foF2 est égale ou inférieure à foF1. Dans ce cas on relève pour foF2 la valeur numérique de foF1 avec la lettre qualificative E (plus petit que) et la lettre descriptive G, foF2 = (foF1)EG [A 88 I, Fig. 84; A 100 I, Fig. 108]. M(3000)F2 et h'F2 sont alors remplacées par la lettre G (sans valeur numérique) Fig. 3.15).

La même convention s'applique quand foE est égale ou supérieure à foF2 (généralement dans le cas de E nocturne) et on inscrit foF2 = (foE)EG.

(b) absence de trace Es

On utilise la lettre G pour les caractéristiques d'Es dans tous les cas où l'on observe une trace Es alors que les traces de la couche E normale sont présentes. On doit constater sur l'ionogramme la présence de la couche E normale ou le retard décroissant au début de la trace ordinaire de la région F (Fig. 3.16) [A 112 I, Fig. 132; A 88 I, Fig. 72].

S'il n'est pas possible, par suite de brouillage, d'obtenir une valeur numérique pour foE alors que l'on constate la présence de la trace E, il convient de remplacer par G les caractéristiques manquantes de Es (Fig. 3.17).

On utilise G pour indiquer une valeur limite ou douteuse de h'Es lorsque la trace Es ne présente pas de tangente horizontale (Fig. 3.18) [A 112 I, Fig. 134]. Ceci s'applique donc dans des cas d'Es de type h ou c.

Pour Es de type  $\ell$ , lorsque foEs est inférieure à foE, on décrit par la lettre G les valeurs numériques de foEs et de fbEs (Fig. 3.19 et 3.20). Ceci est nécessaire pour la détermination des médianes.

En présence de E nocturne on doit toujours relever pour foEs et fbEs une valeur limite numérique accompagnée de EG. Cette valeur est utile aux utilisateurs lorsque foE varie beaucoup au cours d'un mois. Cependant la variabilité de foEs est en général tellement plus grande que celle de foE que la valeur médiane de foE convient pour cette valeur limite numérique.

Toutes les valeurs médianes et quartiles de foEs et fbEs doivent être numériques et, dans le cas où elles devraient être G, on les remplace par la valeur médiane de foE.

Remarque: On rencontre habituellement des difficultés en ce qui concerne l'emploi correct de G ou B, et de G ou E. Pour utiliser G on doit être certain de la présence d'une couche épaisse inférieure, c'est-à-dire constater sur l'ionogramme un retard de groupe dû à sa fréquence critique. Si la trace manque par suite d'absorption, la lettre qui convient est B. Si la fréquence critique est inférieure à la fréquence limite inférieure de l'ionosonde, on remplace par E les caractéristiques concernées. Les stations qui effectuent des sondages avec des gains variables utiliseront le sondage à gain élevé pour déterminer si la lettre G s'applique.

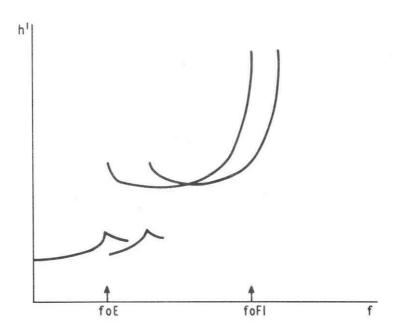


Fig. 3.15 Condition G - Aucune trace F2 n'est visible

foF2 est inscrite (foF1)EG (ou moins précisément remplacée par G) h'F2 est remplacée par G M(3000)F2 est remplacée par G

Remarque : foFl/foE sera approximativement donné par le rapport habituel obtenu quand la trace F2 permet de relever foF2

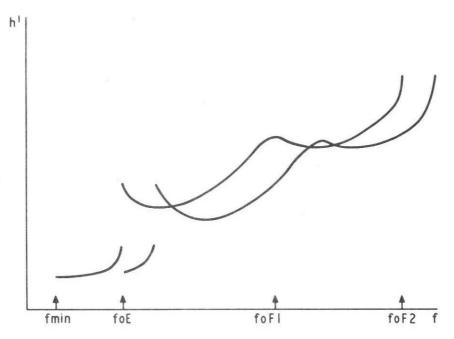


Fig. 3.16 Condition G - Aucune trace Es n'est visible

foEs est inscrite : (foE)EG fbEs est inscrite : (foE)EG h'Es est remplacée par G.

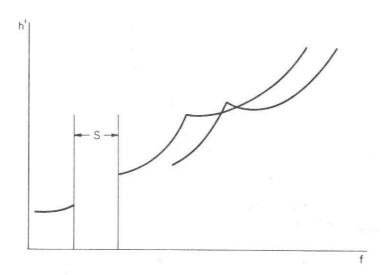


Fig. 3.17 Emploi de G, S en présence de brouillage

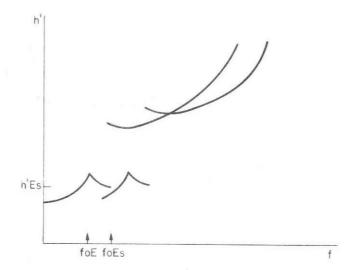


Fig. 3.18 Emploi de G avec h'Es h'Es = (h'Es)EG

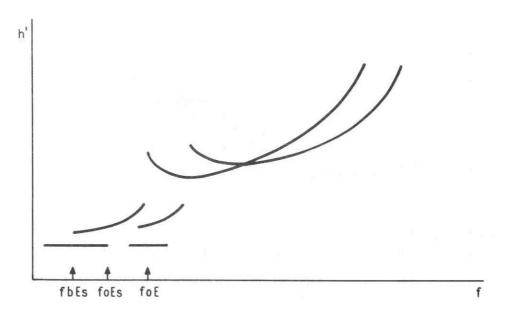


Fig. 3.19 Emploi de G pour indiquer que foEs est inférieure à foE

foEs est inscrite : (foEs)-G
fbEs est inscrite : (fbEs)-G

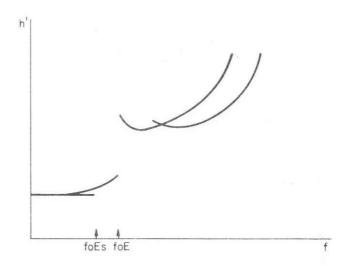


Fig. 3.20 Emploi de G pour indiquer que fbEs est inférieure à foE

foEs est inscrire : (foEs)-G Sur cette figure fbEs est inférieure à la plus basse fréquence du sondeur xxx, fbEs s'inscrit : (xxx)EG, ou G (plus approximativement).

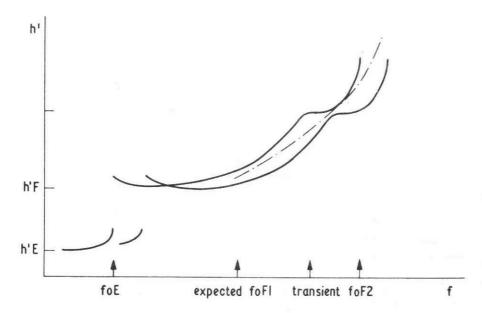


Fig. 3.21 Stratification H influençant foF2 et M(3000)F2

-.-. Courbe de transmission qui tangente la trace anormale foF2 est inscrite : (foF2)-H M(3000)F2 est inscrite : (M(3000)F2)UH h'F2 est transitoire et non dépouillée

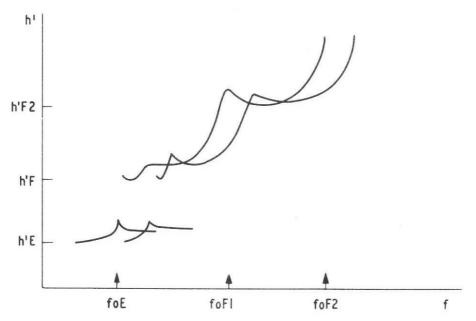


Fig. 3.22 Stratification influençant h'F

h'F est inscrite : (h'F)UH (Quand la trace transitoire est nette, U est nécessaire).

#### H - Mesure influencée ou rendue impossible par la présence de stratifications :

Cette lettre peut s'appliquer aux traces de n'importe quelle couche normale. On l'utilise lorsque la trace présente un point de rebroussement ou un point d'inflexion dû à un retard de groupe, qui n'est pas habituellement dépouillé dans la station (Fig. 3.21). Dans la plupart des cas, les phénomènes sont transitoires [A 88 I, Fig. 81, 83; A 98 I, Fig. 91; A 128 I, Fig. 148]. Sur la figure 3.21 la valeur habituelle de foF1 correspond à une fréquence bien plus basse que celle de la stratification.

La présence d'une stratification anormale modifie en général la fréquence critique ou la hauteur virtuelle de la couche, comme on peut le constater sur les f-plots ou les h'-plots. La lettre descriptive H est donc nécessaire dans ce cas, même lorsque la précision de lecture de la caractéristique n'est pas affectée (Fig. 3.22).

On doit utiliser la lettre qualificative U lorsque la comparaison des différentes composantes, les réflexions multiples ou une séquence d'ionogrammes montrent que l'incertitude de l'interprétation excède la limite permise. On se réfèrera aux définitions des caractéristiques normales pour identifier la valeur qui convient dans les cas douteux. Ainsi, pour la trace F2, on relèvera la fréquence critique la plus haute et la hauteur virtuelle la plus basse.

M(3000) devra toujours être déterminé en utilisant la trace de la couche normale considérée comme un tout (par exemple F2, F1 ou F1,5 lorsque cette dernière est dépouillée systématiquement) (sur la figure 3.21 la courbe de transmission est représentée en traits mixtes).

#### K - Présence d'une couche E nocturne

Cette lettre est utilisée pour distinguer les cas où foE est déterminée par une couche "E nocturne", couche épaisse produite dans la région E par des précipitations de particules et dont la fréquence critique est nettement plus élevée que celle de la couche E normale contrôlée par le Soleil. Cette lettre a été introduite primitivement pour attirer l'attention sur des couches E épaisses produites par des particules à des heures où la couche E normale est présente aussi ; ce que l'on peut constater par exemple sur des ionogrammes basse fréquence et en des stations de haute latitude en été. L'indication primordiale de la présence de E nocturne est le retard de groupe à l'extrémité basse fréquence de la trace de la couche située au-dessus (Fig. 4.2). Dans ce cas on inscrit aussi la lettre minuscule k dans le tableau des types d'Es.

Lorsque la trace E est totalement occultante, il est difficile de faire la distinction entre une couche épaisse (E nocturne) et une couche mince avec un retard de groupe apparent à la fréquence extrême (Es de type r). Dans les cas où le doute ne peut être levé, on considérera la trace comme Es de type r. On se basera sur les critères suivants :

- (a) Lorsque l'absorption est faible, on observe généralement les deux modes o et x de E nocturne et un ou plusieurs multiples allant presque jusqu'à foE alors que, dans le cas d'Es de type r, ou bien il n'y a pas de traces multiples, ou bien ces multiples s'arrêtent à une fréquence nettement inférieure à foEs. Lorsqu'une des traces multiples est à l'intérieur des limites des règles de précision pour l'emploi de U pour foEs, la distinction entre Es de type r ou E nocturne n'est pas significative, on dépouillera alors la trace comme E nocturne : foEs = foE et on inscrira (foE)-K.
- (b) Lorsque l'absorption est forte, une trace intense ininterrompue est plus probablement due à E nocturne qu'à Es de type r, et une trace peu intense ou diffuse est plus probablement due à Es de type r qu'à E nocturne.

## L — Mesure influencée ou rendue impossible du fait que la trace ne présente pas de rebroussement suffisamment net entre les couches

La lettre L s'applique aux caractéristiques de la région F (Fig. 3.24). Le critère pour décider de l'emploi de L est la pente relative des traces F1 et F2 (voir aussi le paragraphe 6.4 pour les règles détaillées).

Les conventions données ci-dessous sont destinées à donner un guide quantitatif pour l'emploi de L en comparant la pente de la trace Fl avec la pente de la courbe de transmission. Si cette dernière coupe toujours la trace Fl, on doit utiliser L. Si on parvient à trouver un point de tangence (pente de la trace Fl égale ou supérieure à celle de la courbe de transmission), il est possible de déterminer une valeur numérique.

- (a) Les conventions de l'emploi de L pour le dépouillement de foF1 sont les suivantes :
  - (i) Lorsque la forme de la trace F indique l'absence de stratification F1 (les traces F ne présentant aucune concavité vers le bas) on n'inscrit rien dans le tableau (Fig. 3.23)
  - (ii) Lorsque la transition de la trace F1 à la trace F2 est douce et mal définie, l'erreur probable dans l'estimation de la valeur vraie de foF1 sera supérieure à 20% et on remplacera la valeur numérique par la lettre L (Fig. 3.24). Dans ce cas on ne pourra pas trouver de point de tangence entre la trace F1 et la courbe de transmission qui coupera la trace F1 sous un certain angle [A 100 I, Fig. 110] (Fig. 3.24).

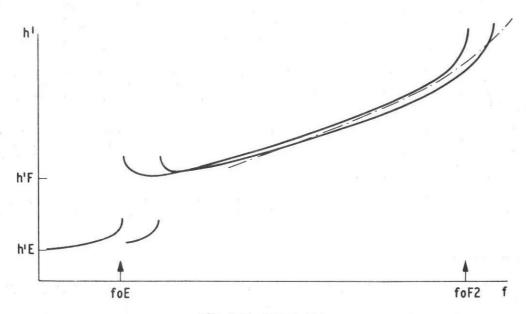


Fig. 3.23 Emploi de L

-.-. Courbe de transmission qui tangente la trace o en un seul point. foFl, h'F2 ne sont pas inscrites dans les tableaux. foFl n'est pas pointée sur le f-plot.

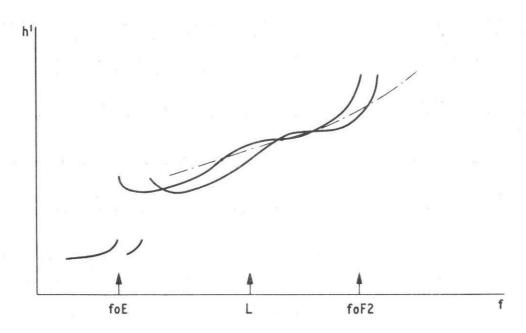


Fig. 3.24 Emploi de L

Trace F2 non horizontale foF1, M(3000)F1, h'F2 sont remplacées par L L est placé sur le f $\sim$ plot à la fréquence îndiquée par une flèche sur la figure.

- (iii) Lorsque la courbe de transmission M(3000) présente un point de tangence avec la trace F1 sans que la trace F2 devienne horizontale, on relèvera foF1 avec la lettre qualificative D et la lettre descriptive L [A 100 I, Fig. 109] (Fig. 3.25 (a)).
- (iv) Lorsque la courbe de transmission M(3000) présente un point de tangence avec la trace F1 et que la trace présente un maximum mal défini ou un maximum qui est net seulement sur une réflexion multiple, on relèvera foF1 avec la lettre qualificative U et la lettre descriptive L (Fig. 3.25 (b)).
- (v) Lorsque le point de rebroussement est suffisamment bien défini pour que la mesure de foF1 remplisse les conditions de précision, on n'utilisera pas L.

(b) Les conventions de détermination de M(3000)F1 sont basées sur le fait que la source principale d'erreur est généralement la détermination de foF1. Pour cette raison, dans les cinq cas énumérés ci-dessus, on aura :

- (i) Pas d'inscription pour M(3000)F1
- (ii) M(3000)F1 remplacé par L
- (iii) M(3000)F1 déduit à la valeur numérique de foF1 et qualifié EL
- (iv) M(3000)F1 déduit de la valeur numérique de foF1 et qualifié UL
- (v) M(3000)F1 sans qualification. Ne pas utiliser L.

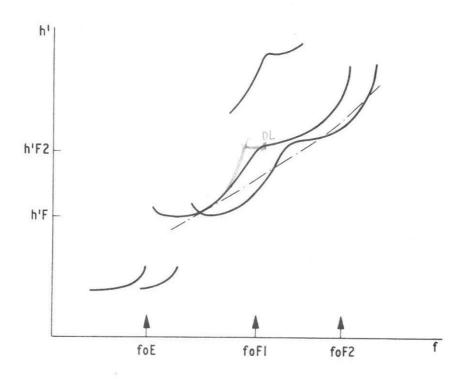


Fig. 3.25 (a) Emploi de DL

La trace F2 n'est pas horizontale foFl est inscrite : (foFl)DL, mesurée à la fréquence à laquelle la pente de la trace F1 décroît le plus rapidement (voir § 6.4 pour la représentation sur le f-plot).

h'F2 est inscrite : (h'F2)EL, (h'F2)UL ou remplacée par L en fonction de la pente minimale de la trace F2  $\,$ 

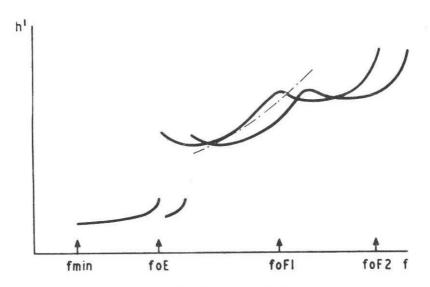


Fig. 3.25 (b) Emploi de UL

Dans le cas où le point de rebroussement foFl est égal ou inférieur à celui indiqué et où la courbe de transmission peut tangenter la trace Fl, on inscrit pour foFl: (foFl)UL. Il faut remarquer que (foFl)UH serait préférable si les traces des modes o et x se ressemblent moins que celles de la figure.

- (c) Les conventions de l'emploi de L pour le dépouillement de h'F2 sont :
  - (i) Lorsque la forme de la trace F montre qu'aucune stratification F1 n'est présente, on n'inscrit rien (Fig. 3.23).
  - (ii) Lorsque la trace F2 ne présente pas une partie presque horizontale, on remplace la valeur numérique par la lettre descriptive L (Fig. 3.24) [A 96 I, Fig. 88 ; A 100 I, Fig. 1091.
  - (iii) Lorsque la trace F2 est presque horizontale, on peut relever h'F2 avec la lettre qualificative U et la lettre descriptive L [A 96 I, Fig. 86].
  - (iv) On n'utilise pas L lorsque la trace F2 présente une tangente horizontale [A 96 I, Fig. 87] .

On peut appliquer des conditions similaires au dépouillement de caractéristiques supplémentaires pour des études locales, par exemple la couche intermédiaire F1,5 (voir chapitre 12).

Il faut remarquer que, dans certains cas, les lettres symboles peuvent être différentes pour les trois caractéristiques de F1, par exemple h'F en deçã de fmin (h'F = B), point de tangence de la courbe de transmission occultée par Es (M(3000) = A), point de rebroussement net à foF1 (inscrire la valeur de foF1 sans qualification, h'F2 cachée par le brouillage (h'F2 = S). Les lettres symboles appropriées ont priorité sur L chaque fois qu'elles représentent la raison la plus importante de l'imprécision ou de l'absence de valeur.

Dans la plupart des cas, L s'applique de la même façon à M(3000)F1 et à foF1. Dans des cas limites, h'F2 sera souvent plus exacte que foF1 ou M(3000)F1 et c'est pourquoi les conventions sont données séparément.

 $\mathsf{M}-\mathsf{Interpr\acute{e}tation}$  douteuse d'une mesure parce qu'il n'est pas possible de distinguer les composantes ordinaire et extraordinaire

On emploie la lettre descriptive M pour indiquer qu'il était impossible d'identifier la composante observée. On l'utilise surtout lorsque l'on a estimé que la caractéristique requise n'était pas visible et que la valeur numérique a été déduite. Il est préférable d'utiliser M comme lettre qualificative ce qui donne la possibilité d'utiliser une autre lettre descriptive indiquant pourquoi l'interprétation n'était pas possible.

Cette lettre a d'abord été utilisée pour les caractéristiques foEs et fbEs. Son emploi dans ces cas là est exposé aux paragraphes 4.4 et 4.5 (caractéristiques de Es).

La lettre M peut aussi s'appliquer à foF2 et à fxI quand on ne sait vraiment pas si on observe le mode o ou le mode x. On ne devra pas utiliser M si on peut lever le doute en utilisant une séquence d'ionogrammes ou par comparaison avec d'autres ionogrammes. Ce cas se rencontre habituellement lorsque foF2 varie de façon irrégulière dans le temps et est voisine ou inférieure à la plus basse fréquence de l'ionogramme.

On utilisera M comme lettre descriptive dans le cas où une lettre qualificative telle que D, E, U est nécessaire et où l'interprétation est douteuse. On peut aussi utiliser M quand il n'y a pas de raison particulière pour le doute ; par exemple ( )MM ou ( )-M signifient que plusieurs raisons de doute sont aussi probables les unes que les autres.

La lettre M implique toujours une incertitude de fB/2 pour les caractéristiques de fréquence et une incertitude incontrôlée pour les caractéristiques de hauteur. On ne déterminera pas les facteurs M(3000) pour les donnée décrites ou qualifiées par M.

M devra être utilisé aussi rarement que possible.

## N — Les conditions sont telles que les mesures ne peuvent être interprétées

Utiliser cette lettre aussi rarement que possible et s'assurer qu'aucune autre lettre ne convient pour décrire la difficulté car un examen approfondi d'une séquence d'enregistrements fournit en général une interprétation logique [A 88 I, Fig. 66, 67; A 96 I, Fig. 91, 92; A 104 I, Fig. 115]. Cette lettre est habituellement employée quand des échos obliques empêchent une interprétation correcte de l'ionogramme.

On utilise N lorsque des traces d'ordre différent sont tellement superposées qu'une interprétation correcte des traces est impossible. En général, la raison pour laquelle N a été utilisé devra être indiquée dans la colonne réservée aux remarques.

## O - La mesure se réfère à la composante ordinaire

(se référer au paragraphe 4.5 pour son emploi lors du dépouillement de fxEs)

La lettre descriptive O indique qu'on a inscrit une caractéristique de la trace ordinaire sans correction dans un tableau concernant des mesures faites sur le mode x.

Le calcul de foX + fB/2 = fxX peut être fait par ordinateur avec plus de précision qu'à la main. On ne devra utiliser 0 que si on sait qu'il sera tenu compte de la correction dans le tableau final. Ceci s'applique habituellement quand fxI = fxF2 et que seule foF2 est relevée, on inscrit alors (foF2)-0. Dans ce cas 0 est toujours prioritaire par rapport à toute autre lettre descriptive et ce procédé convient donc moins bien que la mesure directe de fxI ou son calcul à partir de foI. Ceci ne s'applique pas non plus quand foI n'est pas égale à foF2, c'est-à-dire en présence d'échos diffus ; il est alors nécessaire de calculer fxI à la main en utilisant la lettre qualificative 0 et la lettre descriptive appropriée. Par exemple, avec foI au voisinage de la gyrofréquence fB, on calculera fxI = (foI + fB/2) et on inscrira (foI + fB/2)0B.

Des règles semblables s'appliquent pour la lettre descriptive X. La lettre qualificative correspondant à X a toujours été J. On trouvera au paragraphe 1.04 des règles plus détaillées à utiliser si nécessaire.

#### Q - Présence de « diffusion en hauteur » (range spread)

On utilise Q pour indiquer la présence d'une trace présentant de la "diffusion en hauteur" (range spread) (voir § 2.74, Fig. 2.14 et 2.17). La valeur de h'F est décrite par Q de préférence à F lorsque la structure de diffusion en hauteur est nette. Par contre, la lettre F décrit mieux un élargissement global de la trace (voir paragraphe 12.34, Types mixtes de F-diffus). Cette lettre Q sert principalement à identifier les cas où l'on observe une structure de diffusion en hauteur à incidence oblique et les cas où on n'observe ni trace principale ni diffusion en fréquence (frequency spread). Q est employé principalement aux basses et hautes latitudes mais peut être importante partout lors de grands orages ionosphériques.

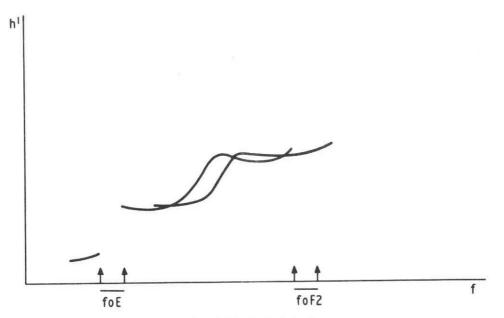


Fig. 3.26 Emploi de R

Les traces présentent un début de retard de groupe près des fréquences critiques puis disparaissent. Si on n'observe aucun retard, Y est certainement la lettre la plus adéquate (voir lettre Y)

Les règles de précision déterminent s'il faut inscrire: (foE)--, (foE)-R, (foE)UR, (foE)DR, (foE)ER ou R, et (foF2)--, (foF2)-R, (foF2)UR, (foF2)DR ou R

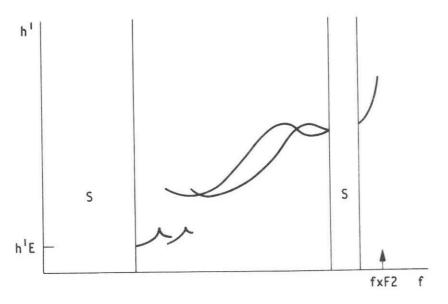


Fig. 3.27 (a) Emploi de S

foF2 est inscrite : (fxF2 - fB/2)JS h'E est inscrite : (h'E\$)ES

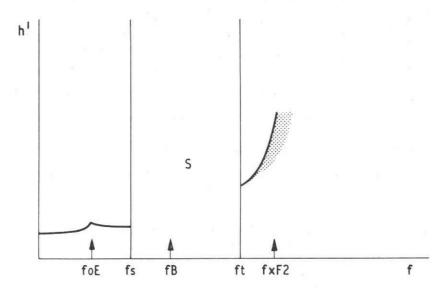


Fig. 3.27 (b) Emploi de S dans le cas des ionogrammes basse fréquence

foF2 est inscrite (fxF2-fB/2)JS
foEs et fbEs sont inscrites : (fs)DS h'F est inscrite : (h'F)ES

Remarque : on n'appliquera pas ceci si foEs est habituellement plus élevée à cette heure de la journée. (ftEs)ES est alors plus utile. Ce cas se rencontre occasionnellement pendant les mois d'été. Si une trace F est visible en dessous de fs et s'il n'y a aucune trace au-dessus de ft, le mieux est d'inscrire pour foF2 : (ft)ES.

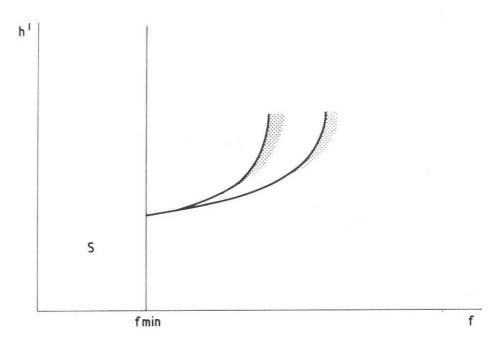


Fig. 3.28 Emploi de S la nuit

h'F est inscrite : (h'F)ES foEs, fbEs et fmin sont inscrites : (fmin)ES h'Es est remplacée par S.

# R — Mesure influencée ou rendue impossible par l'affaiblissement au voisinage d'une fréquence critique [A 88 I, Fig. 81; A 112 I, Fig. 129]

La lettre R peut être utilisée pour remplacer ou décrire la valeur numérique de n'importe quelle caractéristique (voir par exemple Fig. 3.26). L'affaiblissement doit être associé au retard de groupe, la trace commence à monter vers la fréquence critique, puis disparaît. De grands "trous" dans la trace à des fréquences pour lesquelles le retard est habituellement petit sont dûs soit à des couches inclinées (lettre Y), soit à des défauts de l'appareil (lettre C) ou encore à du brouillage (lettre S). R est applicable lorsque la trace s'affaiblit graduellement, Y est applicable lorsque la trace est intense et s'arrête brusquement (voir Y).

On ne peut utiliser R que lorsqu'il est évident qu'il s'agit d'une trace principale. La fréquence extrême d'une couche diffuse ne peut pas être une véritable fréquence critique même quand la trace s'élève au voisinage de la fréquence extrême ; la lettre qu'il convient d'utiliser dans ce cas est F.

## S - Mesure influencée ou rendue impossible du fait du brouillage ou des atmosphériques

On n'utilisera cette lettre que lorsque l'une ou l'autre de ces causes affecte considérablement la lecture des caractéristiques en question, c'est-à-dire seulement pour expliquer une valeur manquante, douteuse, interpolée ou déduite (J) (Fig. 3.17 et 3.27) [A 88 I, Fig. 81; A 112 I, Fig. 138; A 113 I, Fig. 145].

Lorsque les parties basses fréquences des traces sont masquées par une bande d'interférence de radiodiffusion, on inscrira la fmin en la qualifiant par la lettre E (plus petit que) et en la décrivant par la lettre S (Fig. 3.28). Les règles de précision ne s'appliquent pas dans ce cas.

On rencontre une difficulté particulière avec les ionogrammes basses fréquences sur lesquels une large bande de radiodiffusion est présente pendant de nombreuses heures. Comme les limites de cette bande sont généralement constantes et aisément reconnaissables, les règles de précision peuvent être assouplies sans danger de confusion. Lorsqu'une trace E ou Es disparaît à l'intérieur du brouillage et ne réapparaît pas à la limite supérieure de ce brouillage, il est permis d'utiliser : (valeur limite)DS sans tenir compte des règles de précision. Dans le cas de la couche F, on relèvera la valeur correspondant à la limite supérieure de la partie manquante en la qualifiant par ES. Ces valeurs sont habituellement anormalement faibles comparativement à la médiane de foF2 et élevées en ce qui concerne Es, si bien qu'elles rentrent dans le calcul de la médiane sans augmenter beaucoup la différence entre la première et la seconde médiane (Chapitre 8).

Pendant les heures de nuit, quand fmin est inscrite avec la lettre qualificative E et la lettre descriptive S en absence d'Es, foEs et fbEs sont inscrites de la même façon que fmin, et h'Es est remplacée par S (Fig. 3.28).

En général, les brouillages imputables à des causes locales, par exemple à des groupes électrogènes, des moteurs ou des lampes, à des statiques dûs à la neige ou à la pluie, devront être considérés comme un défaut de l'appareil (lettre C plutôt que S).

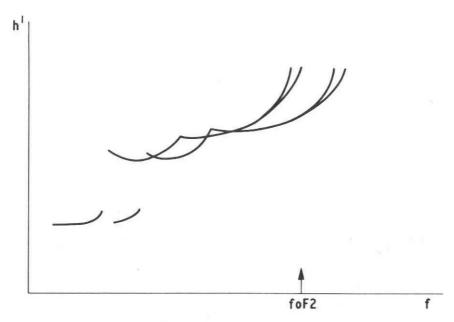


Fig. 3.29 Trace fourchue

## T - Valeur déterminée par une séquence d'observations, la mesure concernée étant incompatible avec les autres ou douteuse

La lettre descriptive T ne devra être utilisée que dans les cas rares où une valeur numérique isolée est si différente des autres qu'on la remplace par une valeur interpolée sur le f-plot. De telles valeurs sont aussi qualifiées par la lettre T. Ceci ne s'applique pas à fmin ni aux caractéristiques d'Es.

### V - Trace fourchue susceptible d'influencer la mesure

On dépouillera la branche de la composante ordinaire correspondant à la plus haute fréquence (Fig (Fig. 3.29) [A 128 I, Fig. 149] . Ne pas confondre des échos qui sont manifestement obliques, des échos diffus ou des stratifications avec une trace fourchue [A 88 I, Fig. 66, 67, 70, 71, A 96 I, Fig. 91 (b); A 100 I, Fig. 105; A 104 I, Fig. 115, 122, 124].

## W - Mesure influencée ou rendue impossible par le fait que l'écho se trouve en dehors de l'échelle des hauteurs de l'ionogramme

[A 128 I, Fig. 150].

Avec une échelle deshauteurs normale (environ 1000 km) les cas où la lettre W s'applique à une carac-téristique ionosphérique quelconque sont extrêmement rares. Il faudra prendre soin de ne pas utiliser W pour les caractéristiques de F2 lorsque G convient mieux. L'examen d'une séquence d'ionogrammes ou du f-plot facilite ce choix. En général, c'est G qui convient si foF2 est voisin de foF1 tandis que c'est W si la trace F2 se déplace dans son ensemble sans grand changement de forme.

Lorsqu'on utilise W on inscrit la valeur numérique avec la lettre qualificative D et la lettre descriptive W (Fig. 3.30).

#### X - La mesure se réfère à la composante extraordinaire

La lettre X indique que la mesure a été faite sur une trace x. Elle est surtout utilisée pour indiquer que l'on a inscrit une caractéristique du mode x dans un tableau concernant la composante ordinaire ; elle a le même rôle que la lettre descriptive O dans un tableau de caractéristiques du mode x. JX est équivalent à O. La lettre qualificative O correspond à J et non à X pour des raisons historiques (voir ci-dessus lettre descriptive 0). On utilise surtout X pour des données traitées par ordinateur. L'inscription ( )JX indique que la caractéristique du mode o a été déduite de la mesure du mode x en soustrayant fB/2 et implique que la caractéristique du mode o aurait pu être mesurée. (Sinon une autre lettre conviendrait mieux) Pour l'emploi de X avec les caractéristiques d'Es, se référer au chapitre 4.

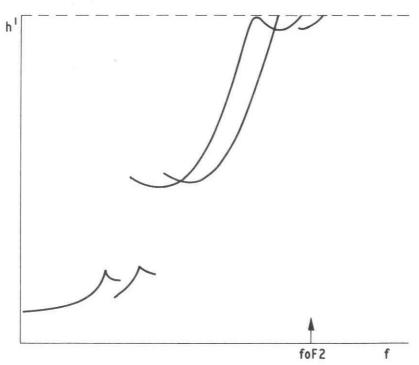


Fig. 3.30 Emploi de W

Si on peut relever h'F2 sans qu'on puisse extrapoler foF2, foF2 est remplacée par W. Si l'extrapolation est possible, inscrire : (foF2)UW ou (foF2)DW en tenant compte des règles de précision.

Si la trace h'F2 n'est pas visible et si la trace F1 sort des limites de l'échelle des hauteurs la qualification W peut être nécessaire pour foFl. foF2 et h'F2 sont remplacées par W.

#### Y - Phénomènes de lacune ou présence d'une couche fortement inclinée

On utilise la lettre Y pour indiquer que des parties importantes de la trace manquent par suite du phénomène de lacune (voir § 2.75). Lorsqu'une caractéristique n'est pas mesurable, on la remplace par la lettre Y. Des exemples de l'utilisation de Y en présence de lacune sont donnés par les figures 3.31 et 3.32 qui représentent respectivement une lacune F totale et une lacune f partielle (ou lacune f). Il faut distinguer l'utilisation correcte de la lettre Y d'avec celle des lettres A, B, F et H.

Les règles provisoires sont les suivantes :

- A Toujours utiliser A en présence de Es occultant.
- B La distinction entre une forte absorption (B) et une lacune (Y) est basée sur le fait que l'absorption produit un affaiblissement plus grand aux fréquences basses qu'aux fréquences élevées et affecte plus la trace x que la trace o, tandis que la lacune se manifeste par un affaiblissement anormal des traces seulement dans une certaine gamme de hauteurs.
  - (a) Si la fmin est relevée sur une trace E et que les traces aux fréquences élevées manquent partiellement ou totalement, il y a lacune et on utilise la lettre Y (voir H ci-dessous).
  - (b) Si la fmin est à peu près égale à foF1 et qu'une des conditions suivantes est remplie, il y a lacune :
    - (i) trace x visible,

(ii) trace du second ordre du mode o (écho double) visible,

(iii) fm2, valeur de fmin pour la trace F du second ordre, identique à fmin dans la limite des règles de précision pour une lecture ne nécessitant pas de lettre qualificative (bonne confirmation).

#### Dans ce cas :

- toutes les caractéristiques de la région E sont remplacées par B
- h'F1 et M(3000)F1 sont remplacées par Y.
- fmin est inscrite : (fmin)EY
- foF1 est inscrite : (foF1)UY
- (c) Si on ne voit aucune trace, on utilise la lettre B même si la séquence d'ionogrammes suggère qu'on pourrait utiliser Y.
- F Lorsqu'on observe de faibles traces F diffuses mais qu'il est évident qu'il y a lacune, on utilise Y de préférence à F.
  - (a) Si l'extrêmité supérieure de la trace E s'arrête brusquement au-dessous de la valeur normale de foE et si les traces F deviennent simultanément faibles et diffuses on utilise Y et non F.
  - (b) Si la trace F2 est normale mais la trace F1 faible et diffuse, utiliser Y et non F. Une partie de la trace E sera très probablement absente mais il se peut que cette trace soit presque complète.
  - (c) Si une partie de la trace F1 manque, fmin étant donnée par une trace E, et si les traces restantes sont faibles et diffuses, utiliser Y et non F.
  - (d) La présence d'Es incliné ("Es slant") avec l'une des configurations décrites ci-dessus confirme qu'il faut utiliser Y.
- H Utiliser H et non Y lorsqu'il y a un "trou" entre la trace E normale et la trace F, et que la partie inférieure de la trace F présente un retard (Fig. 2.13 (c)). (Ceci restreint l'emploi de Y aux cas où sont présentes de fortes inclinaisons ; ce point pourra éventuellement être revu ultérieurement par l'INAG).

Présence de couches fortement inclinées

Deux cas importants peuvent se présenter :

- (a) Grandes inclinaisons affectant la valeur apparente de fbEs. Si fbEs est supérieure à foE (Fig. 4.22), on inscrira fbEs = (foEs)UY.
- (b) Configuration anormale au voisinage de foF2: lorsque la couche F2 est très inclinée, la trace s'élève normalement jusqu'à une fréquence voisine de la valeur de foF2 (prévisible d'après la séquence d'ionogrammes), puis s'aplatit jusqu'à devenir horizontale (Fig. 3.34) Elle s'arrête brusquement lorsque le rapport signal/bruit est bon. Dans ce cas, l'onde a été réfléchie à incidence oblique et la valeur de foF2 au zénith est certainement inférieure à la fréquence extrême observée. Ceci est probablement vrai dans tous les cas où la trace présente une concavité vers le bas; le doute qui subsiste est moins important que le fait d'obtenir une valeur numérique. On relèvera la fréquence extrême observée avec la lettre qualificative E et la lettre descriptive Y. Ces conditions peuvent durer plusieurs heures mais sont généralement de courte durée. Cette procédure ne peut être utilisée que si l'on sait par ailleurs qu'il y a inclinaison (voir § 2.7). Lorsqu'il n'y a pas d'inclinaison, des traces convexes ou linéaires sont plus vraisemblablement des traces normales qui sont absorbées (UR, DR ou R).

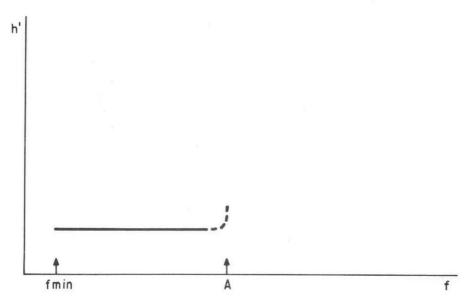


Fig. 3.31 Lacune F totale

Les traces F1 et F2 sont absentes fmin est normale et relevée sur la trace E foE devrait être en A h'Es = G, foEs = G, fbEs = G (ou de préférence foEs = fbEs = (foE)EG) Tous les paramètres de F sont remplacés par Y. foE est remplacée par Y. Notez qu'une configuration similaire peut se présenter avec un retard de groupe pour la trace E comme indiqué par les pointillés ; dans ce cas foE est inscrite : (foE)UY.

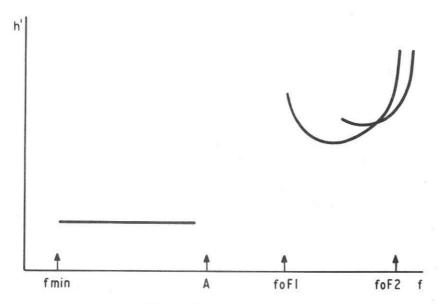


Fig. 3.32 Lacune F1 (ou lacune partielle)

La trace Fl est absente fmin est normale et relevée sur la trace E foE devrait être en A (si on observe foE, inscrire : (foE)UY) foE est remplacée par Y (sauf si elle est observée) h'F est remplacée par Y foFl est inscrite : (foFl)UY M(3000)Fl est remplacée par Y Remarque : la trace F2 apparaît soudainement vers foFl.

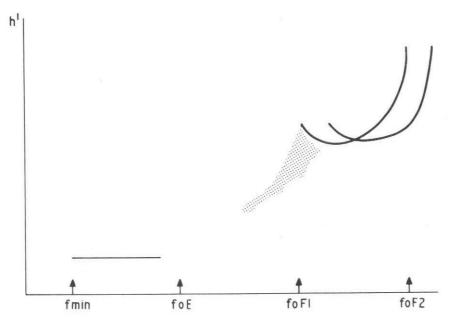


Fig. 3.33 Faible lacune Fl

La trace Fl devient faible et diffuse mais est encore visible fmin est relevée sur la trace E
Si le rebroussement foE n'est pas visible, foE est remplacée par Y
Si le rebroussement foE est visible, foE est inscrite: (foE)UY
h'F est remplacée par Y
foFl est inscrite: (foFl)UY
M(3000)Fl est remplacée par Y
Remarque: dans ces conditions la trace Fl présente souvent des
"éperons" (spurs).

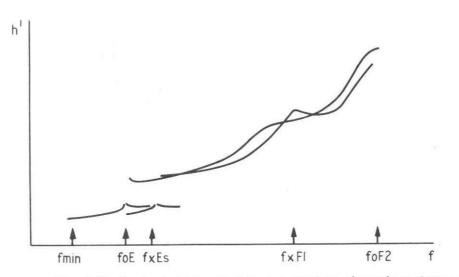


Fig. 3.34 Couche inclinée, la fréquence critique s'accroît rapidement avec la distance. Emploi de Y.

foF2 est inscrite : (foF2)EY fxF2 est inscrite : (foF2 + fB/2)EY foF1 est inscrite : (fxF1 - fB/2)JL

h'F2 est remplacée par L fbEs = (foE)EG

Remarque : La trace du mode x peut être semblable à celle du mode o ou non selon que la couche est inclinée E-W ou N-S.

Un effet similaire peut être dû à l'ionosonde ou à des antennes mal adaptées (utiliser alors la lettre C) et on doit penser à cette éventualité si le phénomène est observé régulièrement. Il faut noter que l'emploi de Y pour identifier une forte inclinaison est restreint aux inclinaisons de la couche F2, pour des raisons physiques. Des inclinaisons de F1 sont mieux décrites par la lettre H. Seules les inclinaisons donnant lieu au type d'ionogramme illustré par la figure 3.34 seront identifiées par Y. H convient mieux dans les autres cas.

## Z - Présence de la troisième composante magnéto-ionique

La présence de la troisième composante magnéto-ionique est indiquée en affectant la lettre descriptive Z à la fréquence critique ou à la hauteur, ou en inscrivant une note dans la colonne des remarques sur la feuille journalière de dépouillement (Chapitre 7), (Fig. 3.35, 3.36). La lettre descriptive Z est préférable à F lorsque les deux conviennent, car on n'observe généralement la trace z que lorsqu'il y a des échos diffus.

Quand une trace du mode z s'étend jusqu'à fmin, la valeur de fmin sera décrite par Z. Ceci s'applique  $\tilde{a}$  tous les cas de couplage (§ 1.05).

On utilise également la lettre Z comme lettre qualificative (§ 3.1) quand la caractéristique du mode o est déduite de la trace z, par exemple foF2 = (fzF2 + fB/2)ZF. Ceci est valable quand il n'y a ni trace principale ni une série de traces principales (Fig. 3.35) ou lorsque la trace z est plus continue ou moins diffuse que la trace o. Remarquons que h'z < h'o < h'x, de sorte qu'il n'est pas possible d'utiliser la lettre qualificative Z pour les caractéristiques de hauteur. Lorsque fz est voisine de fB ou inférieure à fB, il faut utiliser la valeur correcte de fo - fz (voir § 1.04).

M(3000)F2 peut être déduit si, avec l'aide de la trace du mode z, on parvient à identifier une trace du mode o au point de tangence avec la courbe de transmission.

La différence entre les fréquences critiques z et x est très voisine de la gyrofréquence et la fréquence critique o est approximativement au milieu entre les deux (Fig. 3.35). La trace z est généralement moins diffuse que les autres composantes (Fig. 3.35) [A 38 I, Fig. 23, 24 ; A 104 I, Fig. 118 a, b, cl. On l'observe habituellement dans les stations de haute latitude et elle peut apparaître dans toutes les couches présentant un dédoublement magnéto-ionique, F2, F1, E (Fig. 3.36) et certains types d'Es.

La lettre Z devra être inscrite comme lettre descriptive avec la caractéristique de fréquence de la couche considérée. Aux latitudes élevées, la fréquence critique fzF2 devra être représentée sur le f-plot chaque fois qu'elle est observée.

La partie inférieure de la trace z de la région F est souvent prise à tort pour une stratification de F1, ce qui entraîne un dépouillement erroné de h'F (Fig. 3.37) [A 104 I, Fig. 118 a, b] . On la confond souvent aussi avec des multiples des couches E ou Es.

Puisque la trace z correspond à une réflexion oblique sauf au pôle magnétique, on ne sait jamais si les conditions ionosphériques ont changé ou non par rapport à la station ; les valeurs déduites de cette composante sont donc considérées comme douteuses et par conséquent qualifiées par la lettre qualificative Z ( $\S$  3.1).

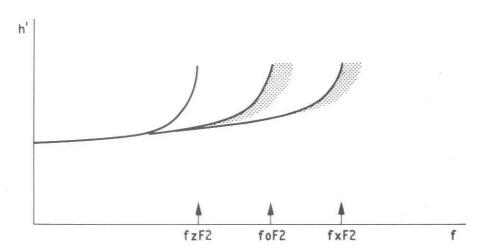


Fig. 3.35 Mode z dans la région F

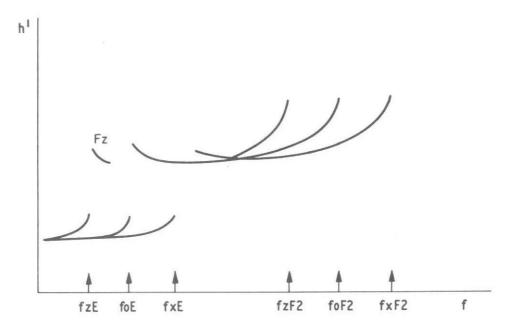


Fig. 3.36 Modes z, o et x dans les régions E et F

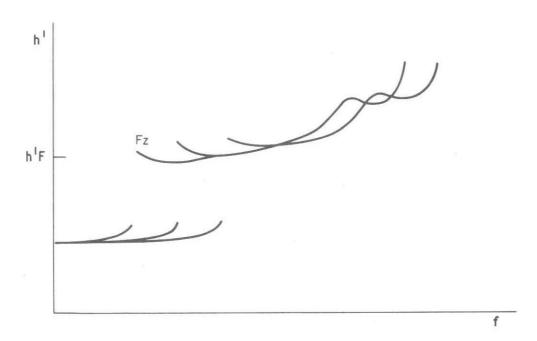


Fig. 3.37 Mode z au début de la trace F

## 3.3. REGLES POUR LE DEPOUILLEMENT DE fxl

#### 3.30. Définition

Le paramètre fxI est défini comme étant la fréquence la plus élevée pour laquelle on enregistre des réflexions sur la région F, que ce soit sous incidence verticale ou sous incidence oblique. Par conséquent, fxI est la fréquence extrême des traces F diffuses y compris les éperons ("spurs") polaires ou équatoriaux, mais en excluant les traces de rétrodiffusion par le sol.

En pratique fxI correspond à la fréquence la plus haute à laquelle on observe des traces F sur l'ionogramme, sauf dans les deux cas suivants :

- (a) On ignore les traces dues à la rétrodiffusion par le sol ou par Es (Fig. 3.38)
- (b) Lorsque la fréquence extrême est vraisemblablement due à une réflexion du mode o.

La figure 3.39 présente des exemples types de mesure de fxI. Les configurations peuvent changer rapidement et considérablement : par exemple, dans certains cas, il n'y a pas de retard apparent à fxI ou au voisinage de foF2, et h'I peut être soit plus grand soit plus petit que h'F2.

fxI doit être relevé sur l'ionogramme à gain moyen sauf lorsque celui-ci montre une absorption totale (black-out) (fmin remplacée par B).

## 3.31. Règles de précision

On n'applique des règles de précision à fxI que pour distinguer entre les cas où il faut utiliser D ou E au lieu des lettres de remplacement C ou S. Si l'erreur possible est inférieure à 20 % (ou à 5 $\Delta$  , si  $5\Delta$  est supérieur à 20%), on relèvera la valeur numérique avec la lettre qualificative D ou E selon le cas (voir D, E) et avec la lettre descriptive qui convient. Si l'erreur possible est supérieure à celà, on remplacera la valeur numérique par la lettre descriptive qui convient.

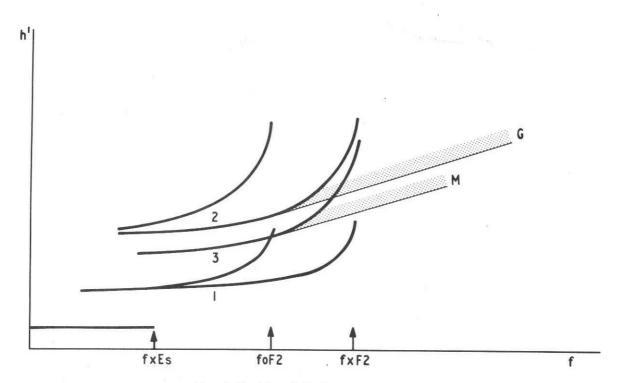


Fig. 3.38 Rétrodiffusion par le sol

La trace G rétrodiffusée par le sol est tangentielle à la trace x du second ordre (2). La rétrodiffusion par Es est tangentielle à la trace M(2FE) (3). Dans ce cas fxI est inscrite : (fxF2)-X.

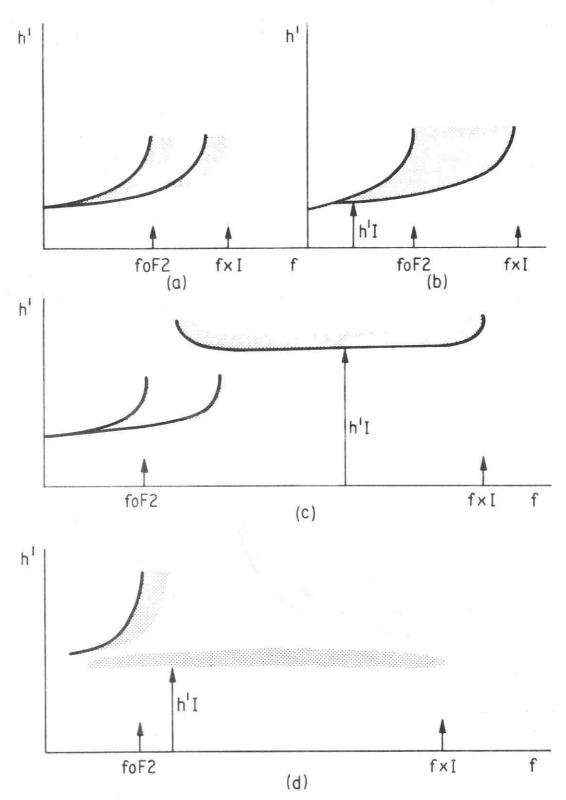


Fig. 3.39 Exemples typiques de fxI

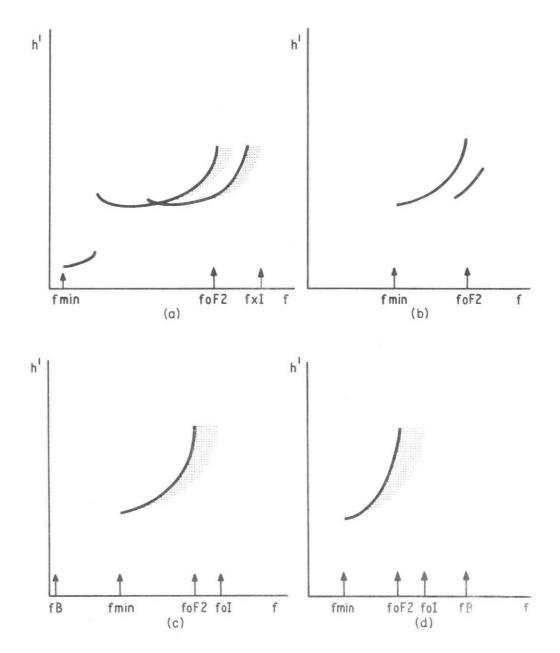


Fig. 3.40 Conventions pour fxI en cas de forte absorption

- (a) fxI normal = (fxI)
   (b) fmin ĕlevée, les traces principales seules sont vísibles fxI = (foF2 + fB/2)DB
   (c) fmin élevée, les traces x sont absentes, fxI = (foI + fB/2)OB
   (d) foF2 voisine ou en dessous de fB, fxI = (foI + fB/2)OB

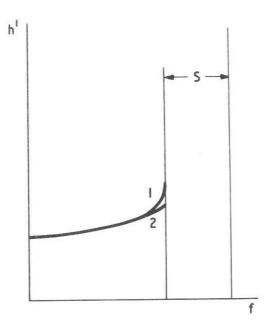


Fig. 3.41 Emploi de C et S avec fxI

Lorsque foF2 est plus précise que 10% et la partie manquante plus petite que 20% ou  $5\Delta$  :

inscrire pour fxI : (foF2 + fB/2)DS

Lorsque foF2 est plus précise que 10% et la partie manquante plus grande que 20% ou  $5\Delta$  :

remplacer fxI par S

Lorsque foF2 est plus précise que 20%,

inscrire pour fxI : (foF2)DS ; et pour une partie manquante plus petite que 20% ou  $5\Delta$ , inscrire pour fxI (fréquence extrême de la partie manquante)ES Dans tous les cas moins précis : remplacer fxI par S.

Les règles pour les parties manquantes dues à C sont identiques en remplaçant

Remarque : si la largeur de la partie manquante est inférieure à 10% ou 3Δ, la caractéristique est donnée par la valeur moyenne de la bande brouillée avec US (voir les règles de précision).

### 3.32. Règles de dépouillement

- (a) Mesurer la plus haute fréquence des traces réfléchies directement par la couche F, y compris les échos diffus ou les éperons polaires observés sur l'ionogramme à gain moyen. Si des ionogrammes très peu espacés dans le temps indiquent la présence d'une structure diffuse relativement stable quel que soit le gain, on relèvera de préférence la fréquence extrême de cette structure sur l'ionogramme qui la montre clairement.
- $\it (b)$  Utiliser les lettres descriptives habituelles pour indiquer les raisons pour lesquelles fxI ne peut être relevée.
- (c) Les tableaux mensuels peuvent être laissés en blanc aux heures où les traces diffuses sont rarement ou jamais visibles, comme on le fait pour les caractéristiques de E et de F1. En fait, la plupart des groupes trouvent plus facile de relever fxI toutes les heures.
- (d) En absence de diffusion, on inscrit la valeur numérique fxF2 avec la lettre descriptive X ; (fxF2)-X.

## 3.33. Emploi des lettres descriptives

A l'exception de la règle de précision modifiée indiquée au paragraphe 3.31 ci-dessus, l'emploi des lettres descriptives suivantes est le même que pour les autres caractéristiques : C, D, E, G, S, Y.

Pour les lettres A et B on appliquera les règles spéciales suivantes :

- A On remplace la valeur de fxI par la lettre A lorsque des couches minces inférieures, telles que Es, empêchent l'observation de toutes les traces de la région F.
- B La lettre descriptive B convient dans les cas suivants :
  - (a) Si toutes les traces disparaissent par suite de l'absorption, utiliser la lettre de remplacement B. Si des traces sont visibles seulement sur l'ionogramme à gain élevé, appliquer la règle (b) ou (c) selon le cas.
  - (b) Si les traces diffuses disparaissent par suite de l'absorption alors que les traces normales sont encore visibles, inscrire (fxF2)DB. La valeur numérique (fxF2) peut être déduite de foF2 (Fig. 3.40 (b)).
  - (c) Si les traces diffuses du mode x sont absentes par suite de l'absorption, relever la fréquence extrême de la trace diffuse du mode o, foI, et y ajouter fB/2, avec la lettre qualificative 0 et la lettre descriptive B : (foI + fB/2)OB (Fig. 3.40 (c)).
  - (d) Si fmin est élevée, ce qui indique une forte absorption, sans que l'on puisse déterminer la valeur de fminx, utiliser la lettre qualificative M (interprétation douteuse car la lecture peut être fol au lieu de fxI) et la lettre descriptive B.

Remarque : Quand le rapport signal/bruit est faible, fxI est sensible à la puissance ; s'il est grand, fxI est généralement indépendant de la puissance pour autant qu'on le sache actuellement.

(a) Si fmin est normale et foI voisine ou en dessous de fB, fminx sera supérieure à fB et fxI sera donnée par (foI + fB/2)0B, (Fig. 3.40 (b)). La valeur probable de fminx dans ce cas peut être déduite d'ionogrammes ayant la même valeur de fmin mais des valeurs plus grandes de foF2.

## 3.34. Utilisation de la trace du mode z

La nuit, pendant les années de minimum d'activité solaire, foF2 peut se trouver dans la bande de radiodiffusion en ondes décamétriques et de ce fait impossible à mesurer. Dans ce cas, on peut déduire la valeur manquante de fxI de la trace du mode z grâce à la relation :

$$fxI = fzI + fB$$

La valeur de fxI sera alors : (fzI + fB)ZS.

Si, dans ce cas, la trace z n'est pas diffuse, c'est vraisemblablement à cause de l'absorption et on écrira (fzI + fB)DB.

Cette règle n'est utile que lorsqu'on dispose d'ionogrammes à basses fréquences (par exemple jusqu'à 0,2 MHz). Dans le cas contraire, on ne tiendra pas compte de ce paragraphe.

#### CHAPITRE 4

#### CARACTERISTIQUES D'Es

#### 4.0. CONSIDERATIONS GENERALES

Les conventions pour le dépouillement des caractéristiques d'Es à échanger sur une base mondiale sont fondées sur un compromis car on appele E sporadique de nombreux phénomènes très différents dont l'étude n'est pas encore assez développée pour que l'on puisse les individualiser tous. [A 40 I, Fig. 31, 33, 34; A 88 I, Fig. 64, 77, 79; A 96 I, Fig. 87-91, 93-99; A 112 I, Fig. 130, 131, 141, 142]. Les figures 1.2, 1.8, 1.9, 1.11, 3.1, 3.2, 3.4, 3.5, 3.6 présentent des représentations schématiques de Es. La distinction entre les types d'Es facilite l'étude de ce problème (§ 4.8), bien qu'un type donné de trace puisse provenir de différentes causes en particulier si on l'observe en des régions très éloignées les unes des autres. Il est toujours tentant de généraliser une interprétation locale et de simplifier les règles en conséquence, ce qui peut faciliter des études locales mais peut rendre sérieusement incompatiblesdes données obtenues dans des régions ou à des époques différentes.

La règle fondamentale est que l'on traite comme traces E sporadiques toutes les traces de la région E qu'on ne peut pas interpréter comme dues à une couche épaisse occultante.

La distinction entre traces occultantes ou transparentes est très importante tant pour les recherches scientifiques que pour la propagation, et les tableaux de la fréquence d'occultation fbEs peuvent s'avérer au moins aussi utiles que ceux de foEs. Il faut noter que fbEs est déterminée à un endroit bien défini, là où le rayon du premier écho F traverse la couche Es. Par contre, foEs correspond à la fréquence la plus élevée de l'onde ordinaire réfléchie sur Es dans le cône de rayonnement de l'antenne (dont l'ouverture est généralement d'environ 10°) par un processus de réflexion ou de diffusion. Dans la plupart des cas, aux latitudes élevées, les traces Es que l'on observe dans des conditions perturbées sont occultantes lorsqu'elles sont zénithales et transparentes lorsqu'elles proviennent d'une réflexion à incidence oblique. Ces deux caractéristiques varient beaucoup en fonction du temps de sorte qu'il est particulièrement important que le nombre des valeurs sur lesquelles sont basées les médianes soit aussi grand que possible.

Les caractéristiques d'Es à dépouiller (Fig. 4.1) se subdivisent en deux groupes : (1) les mesures numériques, par exemple, foEs, fbEs, h'Es, qui doivent être assez homogènes pour permettre des études géophysiques et la prévision des phénomènes de propagation des ondes décamétriques et (2) les lettres représentant les types qui permettent d'obtenir l'occurrence des différents types de traces Es en fonction du temps et de la position géographique.

Lors de l'utilisation des données, foEs présente plus d'intérêt que fxEs, et un tableau homogène de l'uneou l'autre de ces caractéristiques est plus valable qu'un tableau contenant un mélange des deux, même s'il est clairement indiqué que les valeurs individuelles ont été obtenues à partir des composantes o ou x. Les caractéristiques internationales normalisées sont donc fondées sur la composante de l'onde ordinaire bien qu'il soit permis de s'écarter de cette convention en cas de nécessité. Les règles pour l'identification de la composante de l'onde ordinaire peuvent d'ailleurs s'appliquer pour l'identification de la composante extraordinaire. Il est toujours sous-entendu que les valeurs tabulées comme foEs ont été obtenues en appliquant les règles données ci-après. On trouvera aussi (au § 4.5) des règles pour relever fxEs si on le désire.

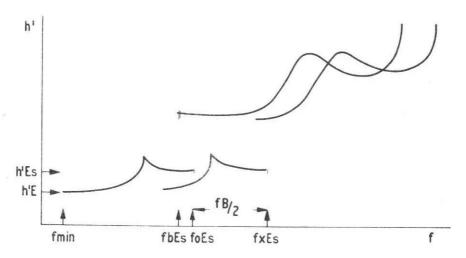


Fig. 4.1 Nomenclature applicable à Es

Les stations pour lesquelles dépouiller fxEs plutôt que foEs présente un avantage peuvent remplacer les tableaux de foEs par ceux de fxEs. Pour des raisons pratiques, la fréquence d'occultation fbEs et la hauteur virtuelle h'Es doivent toujours se référer à la composante ordinaire. Les règles qui suivent supposent que les caractéristiques relevées sont foEs, fbEs et h'Es. Elles s'appliquent avec les changements voulus (indiqués au § 4.5) lorsque les caractéristiques relevées sont fxEs, fbEs et h'Es. Les règles permettant de distinguer foEs de fxEs sont résumées dans un tableau du paragraphe 4.32.

Lorsque les données sont traitées par ordinateur, il n'est pas essentiel que les caractéristiques relevées sur les ionogrammes soient homogènes pourvu que les différentes composantes soient clairement identifiées par l'une ou l'autre des lettres descriptives 0 et X ou, dans les cas vraiment douteux, par M. L'addition ou la soustraction de fB/2 peut être faite par l'ordinateur afin que les tableaux susceptibles d'être échangés soient homogènes. Cet assouplissement des règles n'est autorisé que si l'opérateur sait que les corrections seront faites par l'ordinateur et s'il prend soin d'utiliser correctement les symboles 0. X ou M.

Une difficulté particulière se présente dans les stations de haute latitude pendant les périodes d'activité particulaire car il arrive souvent que, au cours d'une perturbation, des Es de type "d'orages" (Es de type a et r ( $\S$  4.8)) se transforment en une couche épaisse E nocturne et réciproquement ; foEs, fbEs deviennent alors des valeurs foE. Cette évolution a une influence sur le dépouillement des caractéristiques de E et de Es la nuit, et les règles à appliquer sont exposées au paragraphe 4.2.

#### 4.1. CARACTERISTIQUES D'Es A DEPOUILLER

#### 4.11. Pour Es on relève normalement les caractéristiques suivantes :

foEs : fréquence extrême de l'onde ordinaire correspondant à la fréquence la plus élevée à laquelle on observe une trace Es presque continue.

h'Es : hauteur virtuelle la plus basse de la trace utilisée pour relever foEs.

fbEs : fréquence d'occultation d'une couche Es, c'est-à-dire fréquence la plus basse de l'onde ordinaire à partir de laquelle la couche Es devient transparente. Elle est généralement déterminée par la fréquence la plus basse au-dessus de laquelle on observe des réflexions de l'onde ordinaire du premier ordre sur une couche plus haute.

Les valeurs de foEs, fbEs et h'Es doivent toutes être relevées sur la même trace Es.

Sur la feuille de dépouillement journalière, on doit inscrire, toutes les heures, une valeur numérique pour foEs, fbEs et h'Es (avec des lettre qualificatives et descriptives s'il y a lieu) ou une lettre descriptive de remplacement.

#### 4.12. Types d'Es

Les traces d'Es sont classées en onze catégories bien définies ( $\S$  4.8). En une station donnée, il y en a généralement moins.

#### 4.13. Unités

foEs et fbEs : 0,1 MHz

h'Es :

- (a) 1 km pour des ionogrammes ayant une échelle de hauteur dilatée,
- (b) lorsque la précision de lecture est supérieure à  $\pm$  2 km, on mesure au kilomètre impair le plus proche,
- (c) lorsque la précision de lecture est supérieure à  $\pm$  5 km, on mesure aux 5 kilomètres les plus proches.

## 4.2. CONVENTIONS POUR LE DEPOUILLEMENT D'Es

- 4.21. Etant donné que les valeurs observées de foEs et fbEs peuvent varier avec la sensibilité du sondeur, ces caractéristiques doivent être mesurées sur l'ionogramme obtenu avec le gain moyen (normal).
- 4.22. h'Es doit être mesurée sur l'ionogramme donnant la meilleure précision.
- 4.23. Les traces dues à des couches épaisses occultantes telles que E2 ou autres "couches intermédiaires" dans la journée ne devront pas figurer dans les tableaux d'Es (ceci ne s'applique pas à E nocturne) (voir ci-dessous).

## 4.24. Règles en présence d'une couche E nocturne

Lorsque, la nuit, foE est supérieure à la valeur habituelle de E normale (condition K, § 3.2), il s'agit de la couche E nocturne. Celle-ci est habituellement précédée d'un Es de type r ou a. La fréquence critique de E nocturne est généralement beaucoup plus grande que pour E normale à l'heure considérée. La figure 2 présente les étapes typiques de la transformation d'un Es de type r en E nocturne. Parfois un Es de type a se transforme de la même façon en E nocturne, avec des changements similaires dans les traces F.

- Cas (i) Pas de retard de groupe au début des traces F (Fig. 4.2 (a) ), Es de type r ; h'Es, foEs et fbEs sont relevées sur l'ionogramme.

  Si foE est inférieure à fmin, on inscrit pour foE : (fmin)EB, et pour h'E : B\*.

  Si foE est supérieure à fmin, on inscrit foE : (fbEs)EA, et h'E est donnée par la trace E (très rare sauf sur les ionogrammes basses fréquences).
- Cas (ii) Retard de groupe décroissant au début des traces F (fig. 4.2 (b) ), Es de type r ; foEs est relevée sur l'ionogramme.

  Pour fbEs, on inscrit : (foE)UK; pour h'Es : xxx-K

  Pour foE, on inscrit : (foE)UK; pour h'E : A

  (Il y a toujours un certain doute lorsque seule la moitié du rebroussement est visible; U est donc préférable).
- Cas (iii) E nocturne (fig. 4.2 (c) )
  Es de type k (E nocturne)

Pour foEs, on inscrit : (foE)-K, pour h'Es : (h'E)-K

Pour fbEs, on inscrit : (foE)-K

Pour foE, on inscrit : (foE)-K, pour h'E : xxx-K

Remarque : A moins que fmin ne soit élevée, les deux traces o et x sont normalement visibles lorsque E nocturne est présente.

Toutes les fois que fbEs est donnée par une trace E nocturne, fbEs = (foE)-K. On doit inscrire (foE)-K  $\tilde{a}$  la fois dans le tableau de foE et dans celui des caractéristiques foEs et fbEs.

## 4.25. Lorsqu'aucun écho Es n'est observé , on applique les conventions suivantes :

Si l'on observe une trace correspondant à une couche épaisse dans la région E, par exemple E normale, ou un retard de groupe au début de la trace ordinaire de la région F, on doit utiliser la lettre descriptive G; on trouvera les règles appropriées au paragraphe 3.2 (G) (Fig. 4.3).

Si fmin est supérieure à la limite inférieure du sondeur et s'il s'agit bien d'absorption, les caractéristiques numériques d'Es seront remplacées par la lettre descriptive B sauf si la lettre G s'applique (Fig. 3.7, 3.8, 3.16, 3.17).

Dans tous les autres cas, la lettre descriptive utilisée pour fmin devra aussi être utilisée pour indiquer l'absence de trace Es (par exemple C, E, S).

## 4.3. TECHNIQUES PERMETTANT DE DISTINGUER LES COMPOSANTES MAGNETO-IONIQUES DANS LES TRACES ES

4.30. - Pour évaluer foEs, il faut savoir si la fréquence extrême ftEs observée correspond à la réflexion de l'onde ordinaire (foEs) ou à celle de l'onde extraordinaire (fxEs). De nombreux cas sont possibles et sont discutés en détail au paragraphe 4.31 (a) à (g) et résumés au paragraphe 4.32. Ceci permet de traiter tout cas difficile. La plupart des ionogrammes présentent peu de difficultés car il existe de nombreux critères permettant de reconnaître si ftEs correspond à fxEs ou à foEs (par exemple § 4.31 (a) (b) ). En pratique, il s'agit de fxEs dans la plupart des cas. Le critère le plus simple est de voir si les traces x de la région F sont présentes à ftEs ou au-dessous ; si oui, il s'agit de fxEs, si non de foEs. Quand il n'y a pas d'absorption, par exemple la nuit à la plupart des latitudes, ftEs est égale à fxEs si ftEs est supérieure à fB + 250 kHz (c'est-à-dire supérieure à environ 1,4 MHz) et à foEs traces o et x séparées et facilement identifiables. Pendant les heures de jour, on observera la relation entre la fréquence minimale des traces x, le nombre de traces multiples présentes et leurs fréquences minimales. Généralement les conditions en présence d'absorption se ressemblent d'un jour à l'autre et observées, il s'agira de fxEs.

\*Si h'E n'est pas relevée habituellement à ces heures, l'inscription peut ne pas être faite (laisser en blanc) mais h'E et h'Es seront toujours relevées chaque fois qu'une valeur numérique de foE est mesurée h'E et h'Es peuvent être numériques ou remplacées par G.

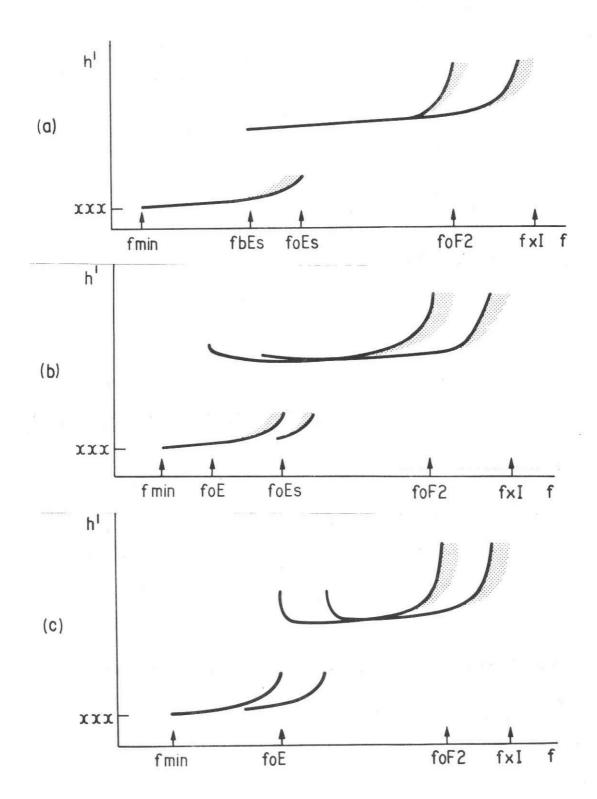


Fig. 4.2 Conventions pour Es de type r et E nocturne

- (a) (b) Es de type r
- (c) E nocturne
- En (b) foE de nuit peut être déterminée grâce au retard de la trace F ; (foE)UK mais h'E est A
- En (c) foEs et fbEs = (foE)-K, h'Es = (h'E)-K

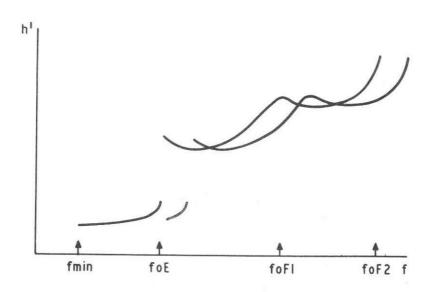


Fig. 4.3 Absence d'Es. Emploi de G.

foEs : (foE)EG

fbEs : (foE)EG

h'Es est remplacée par G.

Dans les cas douteux, on essaiera toujours d'utiliser plusieurs tests, et on se réfèrera au paragraphe ci-dessous pour s'assurer que l'interprétation est correcte. Puisque fmin augmente avec l'absorption, la partie basse fréquence de la trace x disparaît et il devient fort probable que ftEs est égale à foEs. On vérifiera toujours que la trace x de la couche F n'est pas visible à ftEs ou en dessous de ftEs.

Si le sondeur fonctionne mal, un raisonnement logique peut échouer. On parvient généralement à déterminer si ftEs correspond à fxEs ou à foEs en comparant directement le cas difficile avec des ionogrammes dont les traces Es sont identifiables ou inexistantes bien que l'absorption soit équivalente.

## 4.31. Règles détaillées permettant de reconnaître foEs :

(a) Pour des couches réfléchissantes épaisses, la différence de hauteur virtuelle de réflexion des 2 composantes magnéto-électroniques permet généralement d'identifier les 2 traces. Le jour, on peut souvent identifier les traces Es de type "c" et "h" grâce aux différences de hauteur dues au retard provoqué par la couche E normale (Fig. 4.1). Cependant, pour la plupart des types d'Es, les traces des deux composantes sont superposées à la même hauteur et d'autres critères sont donc nécessaires.

(b) En présence d'absorption, il est souvent facile de distinguer les deux composantes car, pour une même fréquence, la composante x est normalement plus absorbée que la composante o. La composante x est aussi très affaiblie aux fréquences voisines de la gyrofréquence, même si l'absorption normale est très faible.

(c) La nuit, lorsque l'absorption est habituellement négligeable, la comparaison de la fréquence extrême des traces Es, ftEs, et de la gyrofréquence fB, conduit aux règles suivantes :

Si ftEs < fB, ftEs = foEs (Fig. 4.4)

Si ftEs > fB, ftEs = fxEs (Fig. 4.5 et 4.6)

(d) Un examen systématique de l'ionogramme permet très souvent de déterminer laquelle des deux composantes est présente à la fréquence extrême, même dans les cas où les deux traces sont superposées et ne présentent pas de particularité permettant de les distinguer. La première méthode repose essentiellement sur la comparaison entre ftEs et la fréquence minimale de la trace x de la première couche épaisse supérieure à Es, fminx qui est nécessairement supérieure à la gyrofréquence. Si des traces Es apparaissent à des fréquences supérieures à fminx, la composante extraordinaire doit être présente, par conséquent la fréquence extrême ftEs doit correspondre à la composante extraordinaire. Si la trace Es s'arrête à une fréquence inférieure à fminx, la composante extraordinaire ne peut pas être présente. Donc :

Si ftEs  $\geqslant$  fminx, ftEs = fxEs

Si ftEs < fminx, ftEs = foEs

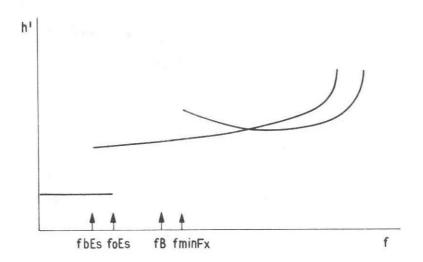


Fig. 4.4 ftEs inférieure à fB la nuit, ftEs correspond à foEs

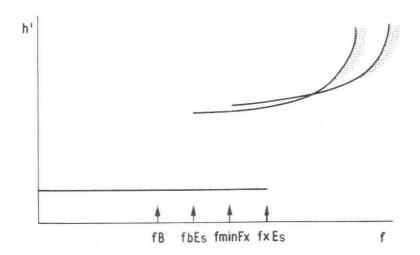


Fig. 4.5 ftEs supérieure à fB la nuit ftEs est supérieure à fminFx, de sorte que ftEs correspond à fxEs Remarquer que fmin est basse, donc que l'absorption est faible.

Cette règle ne peut être en défaut que si la sensibilité du sondeur en fonction de la fréquence varie brusquement. Ceci ne devrait pas se produire avec un équipement moderne dont la maintenance est effectuée correctement, mais il est facile de le reconnaître quand cela se présente. Il n'est évidemment pas nécessaire de mesurer fminx, il suffit de savoir si fminx est supérieure ou inférieure à ftEs.

- (e) On examinera d'abord la partie de l'enregistrement correspondant aux fréquences élevées. Dans la plupart des cas, il n'y a aucune difficulté à reconnaître les deux composantes dans les traces F et à déterminer la fminx de la couche F qui est appelée fminFx et fournit un critère très utile. En pratique, trois cas peuvent se présenter :
  - (i) ftEs > fminFx (Fig. 4.7) La trace Es doit contenir une composante x et donc ftEs = fxEs
  - (ii) If the semantary (Fig. 4.8) Lorsque la différence  $\delta$  entre ftes et fminfx est inférieure à fB/2, la fréquence extrême ne peut pas être foes sans qu'une trace x apparaisse à des fréquences plus hautes et par conséquent ftes = fxes. Ceci peut être démontré par l'argument indirect suivant : supposons que la trace Es visible jusqu'à fminfx  $\delta$  soit une trace ordinaire ( $\delta \leq fB/2$ ), la trace x correspondante devrait s'arrêter à (fminfx- $\delta$ +fB/2), ce qui est supérieur à fminfx. Or cette trace ne peut pas être absorbée et devrait donc être visible sur l'ionogramme. Comme ceci n'est pas réalisé dans le cas que nous considérons, l'hypothèse qu'il s'agit d'une trace ordinaire doit être fausse et ftes = fxes.
  - (iii) ftEs < fminFx
     Deux cas sont possibles :
     (1) Aucune trace de la région E (ni E, ni Es) n'apparaît entre fminFx fB/2 et
     fminFx (Fig. 4.9). Ceci implique que, si on considère l'ensemble de l'ionogramme,
     la trace x s'arrête à fminFx de sorte que fminFx = fminx. Par conséquent la trace
     Es observée ne peut être une trace x et ftEs = foEs.</pre>
    - (2) On observe une trace x d'une couche épaisse de la région E (E ou E2). Dans ce cas les arguments ci-dessus s'appliquent à fminEx au lieu de fminFx, ce qui donne les trois cas illustrés par les figures 4.10, 4.11, 4.12.

Ces règles ne sont plus valables si l'équipement est en cause comme mentionné ci-dessus en (d).

(f) Restent les cas où on ne peut pas déterminer fminFx. Si c'est à cause d'une occultation totale (Fig. 4.13), dans des conditions où on s'attendrait normalement à voir les traces F, on supposera que la trace x de la couche F, qui manque, a été remplacée par une trace x d'une couche Es et par conséquent, ftEs = fxEs.

Quelquefois, mais rarement, certains ionogrammes ne correspondent apparemment pas aux cas discutés ci-dessus. Ces différences sont généralement dues à des couches inclinées qui provoquent des réflexions obliques. A titre d'exemple, voir la discussion à propos de fbEs (Fig. 4.22).

Le seul cas difficile est celui où on ne peut pas déterminer fminFx bien qu'une trace Fx soit présente, et il se présente lorsque les deux composantes sont superposées (Fig. 4.14) ou lorsqu'il y a des échos diffus (Fig. 4.15) ; ce cas est discuté ci-dessous en (g).

- (g) Il ne faut essayer d'identifier les traces Es directement que lorsqu'on ne peut appliquer les règles de fréquence. Quand il n'y a pas d'absorption, la règle (c) s'applique toujours. En présence d'absorption, l'expérience du comportement habituel de l'ionosphère, dans la plupart des stations, peut fournir une base de raisonnement pour trouver une interprétation probable.
- Si ftEs est comparable à foE, il est probable que la composante x de la trace Es est absorbée et ftEs = foEs (Fig. 4.16). Ce cas est extrêmement rare car la plupart des cas peuvent être résolus par les règles normales.
- Si ftEs est beaucoup plus grande que foE, on supposera que la trace x est présente et ftEs = fxEs (Fig. 4.17).
- S'il y a de l'absorption la nuit sans que E nocturne soit visible, on peut utiliser la valeur de fmin pour estimer si ftEs = foEs ou si ftEs = fxEs, des valeurs fortes de fmin suggérant que ftEs = foEs. En particulier si ftEs est voisine de fmin, ftEs = foEs (Fig. 4.18).

Pour résumer ces considérations, on peut dire que, dans presque tous les cas réellement douteux, il est permis de supposer que ftEs=fxEs.

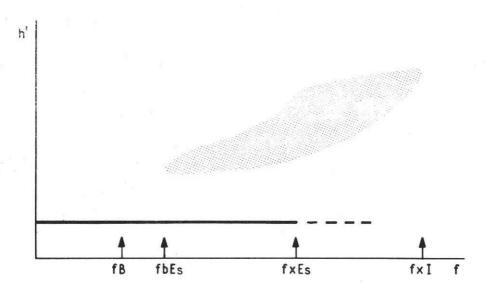
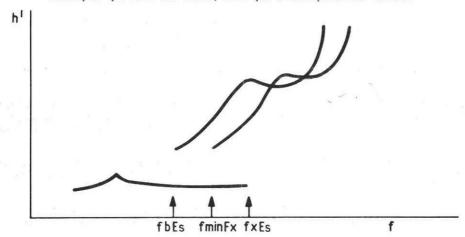
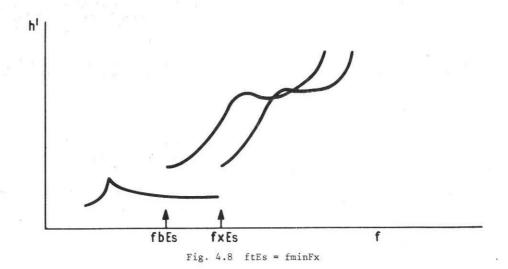


Fig. 4.6 foEs la nuit
Remarquer que fmin est basse, donc que l'absorption est faible.





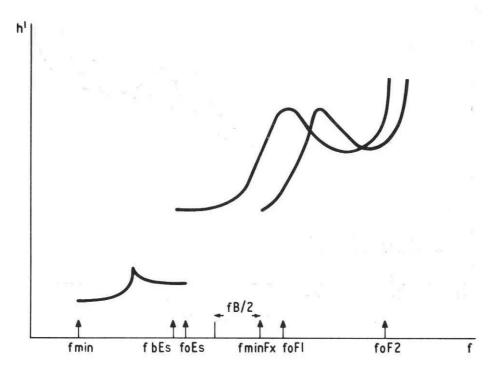


Fig. 4.9 fminx donnée par fminFx - Cas diurne

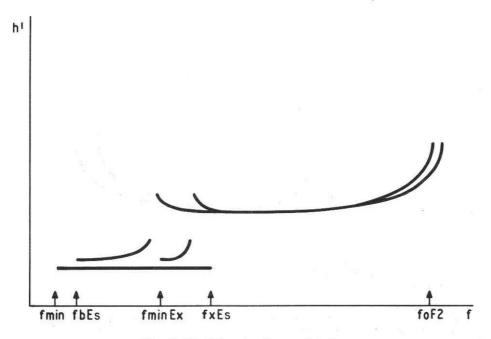


Fig. 4.10 fminx donnée par fminEx

foEs = (fxEs - fB/2)JA si foEs > foE

foEs = (fxEs - fB/2)-G si foEs < foE

fbEs = (fbEs)-G

Es de type l

Si la trace E n'est pas horizontale, h'E = (h'E)EA

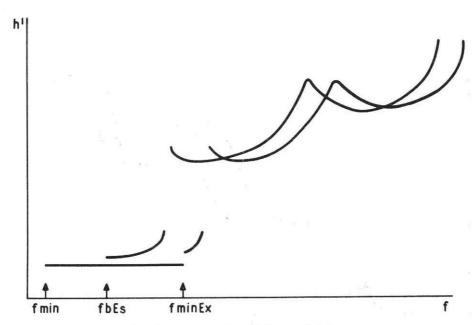


Fig. 4.11 ftEs déterminée par fminEx ftEs correspond à fxEs

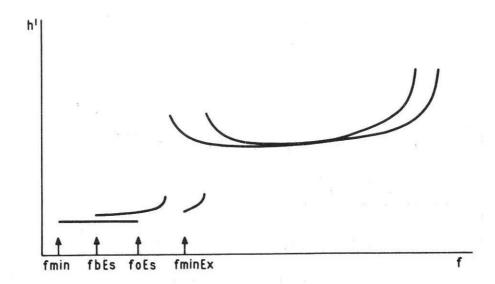


Fig. 4.12 ftEs déterminée par fminEx ftEs correspond à foEs

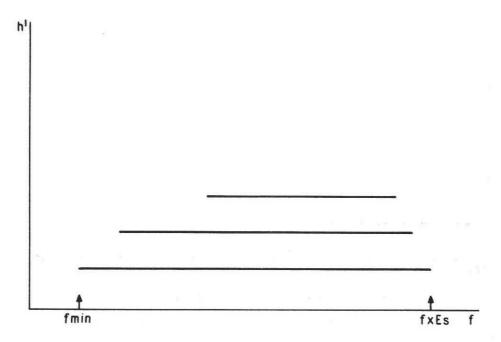


Fig. 4.13 Occultation totale - Absorption normale ftEs correspond très probablement à fxEs

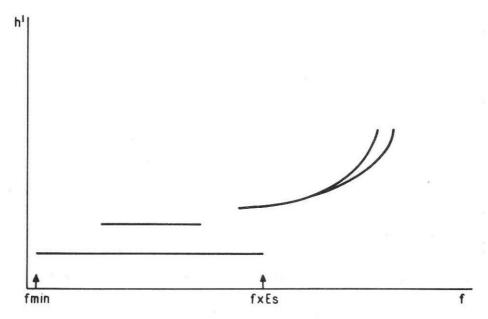


Fig. 4.14 Composantes superposées ftEs correspond très probablement à fxEs dans ce cas car l'absorption est faible

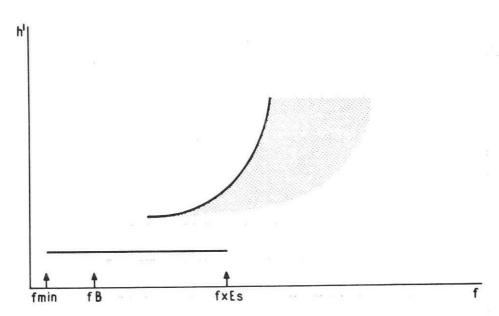


Fig. 4.15 Présence de diffusion
Si fmin est normale, ftEs correspond très probablement à fxEs

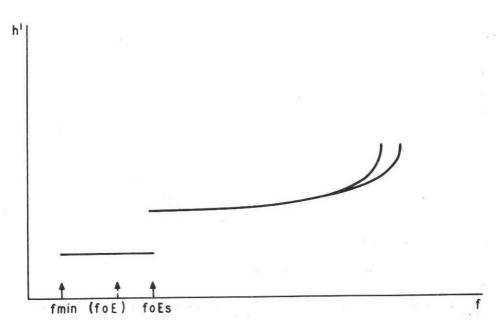


Fig. 4.16 foEs voisine de foE ftEs correspond très probablement à foEs (cas très rare)

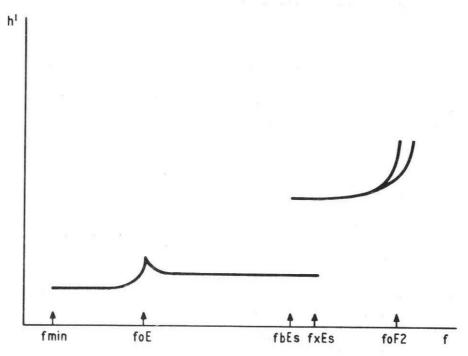


Fig. 4.17 fminFx invisible, absorption normale
 fmin normale
 ftEs apparaît à une fréquence où l'on s'attend à une trace x
 foEs = (fxEs - fB/2)JA

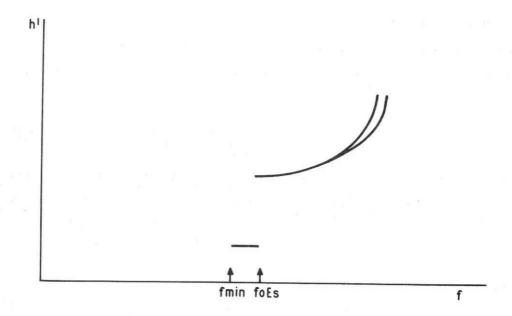


Fig. 4.18 fminFx invisible, absorption forte fmin est supérieure à la normale, il n'y a pas de réflexions multiples ftEs correspond probablement à foEs car la trace x est généralement plus absorbée que la trace o.



# 4.32. Instructions pour reconnaître les composantes d'Es

TABLEAU 4.1

	Paragr.	Conclusion ftEs = fxEs	Conclusion ftEs = foEs	Figures
Règles générales	a,b	Distinction d'après l'absorption Pas d'absorption	ou d'après le retard de groupe	4.1 4.5, 4.6
jener a res		ftEs > fB		4.4
	С		Pas d'absorption ftEs < fB	4.4
	d	ftEs ≥ fminx	ftEs < fminx	
fminFx	e	ftEs > fminFx		4.7
	e	ftEs = fminFx		4.8
est connu	е	Total Structure	<pre>ftEs &lt; fminFx (pas de trace E entre (fminFx - fB/2) et fminFx)</pre>	4.9
		ftEs > fminEx	21101 C (11111111111111111111111111111111	4.10
	e e	ftEs = fminEx		4.11
	e	Titls - Tillinex	ftEs < fminEx	4.12
fminFx est	(i)	Estimation en absence d'absorpti	cn	
inconnu	f	Occultation totale		4.13
Medina	f	Traces o et x superposées		4.14
	f	Couche F diffuse		4.15
	(ii)		ion	
		230 macron on process	ftEs ∿ foE	4.16
	g	ftEs >> foE		4.17
	g g		ftEs ∿ fmin	4.18
	g	La nuit : ftEs >> fmin >> fB		

## 4.4. DEPOUILLEMENT DE foEs

# 4.41. Les règles de sélection pour identifier la trace Es à dépouiller, sont les suivantes :

- (a) Ignorer toutes les traces qui sont certainement dues  $\tilde{a}$  des réflexions obliques sur l'ionogramme ou d'après la séquence d'ionogrammes.
  - (b) Ignorer toutes les traces très faibles et intermittentes.
- (c) Ignorer tous les phénomènes transitoires ou variant rapidement. Lors d'enregistrements rapides, les traces météoriques qui ressemblent à une trace Es peuvent souvent être identifiées par l'occurrence d'échos espacés presque régulièrement. On ne tiendra pas compte de ces traces.
- (d) Parmi les traces restantes, choisir celle qui est presque continue jusqu'à la fréquence la plus haute. C'est sur cette trace qu'on relèvera foEs et h'Es. La fréquence la plus élevée jusqu'à laquelle la trace est presque continue est appelée fréquence extrême (top frequency). L'expression "presque continue" signifie qu'on ne tient pas compte d'une coupure de la trace qui peut être attribuée à un fading occasionnel ou à un changement de sensibilité du sondeur, si la trace continue régulièrement au-delà de la coupure.

Les règles (a) et (c) ne s'appliquent pas aux Es de type "a".

# 4.42. Les règles pour mesurer et inscrire foEs dans les tableaux sont :

- (a) Lorsque les traces Es ordinaire et extraordinaire sont séparées en hauteur virtuelle ou en fréquence (voir  $\S$  4.3), ou quand la composante ordinaire seule est présente et identifiable, la valeur à relever pour foEs est la fréquence extrême de la trace ordinaire.
- (b) Lorsque les traces ordinaire et extraordinaire ne sont pas séparées mais qu'il est évident d'après les règles ( $\S$  4.31 ; d à g ; spécialement e, iii) que ftEs = foEs, on relèvera cette valeur comme foEs.
- (c) Lorsque les règles pour reconnaître les composantes montrent que ftEs = fxEs, la méthode préférable consiste à soustraire fB/2 de la valeur observée pour ftEs et d'inscrire la valeur ainsi déterminée avec la lettre qualificative J et la lettre descriptive A.

- (d) Lorsqu'on ne peut distinguer les composantes mais qu'il est probable que ftEs = fxEs, la méthode préférable consiste à soustraire fB/2 de la valeur observée pour ftEs et d'inscrire la valeur ainsi déterminée avec les lettres qualificative J et descriptive M.
- (e) Lorsqu'on ne peut distinguer les composantes mais qu'il est très probable que ftEs = foEs (cas extrêmement rare en pratique), inscrire la valeur de ftEs avec la lettre descriptive M.
- (f) Lorsqu'on n'observe aucune trace Es sur l'ionogramme, on applique les règles détaillées du paragraphe 3.2 pour l'emploi des lettres descriptives B, C, E, G, et S. Les points principaux peuvent se résumer comme suit :
  - B fmin élevée ; foEs est égale à la valeur numérique de fmin qualifiée par E et décrite par B
  - C panne de l'appareil ; remplacer foEs par la lettre descriptive C.
  - E fmin égale à la plus basse fréquence du sondeur ; remplacer foEs par la lettre descriptive E (pour les médianes toujours indiquer cette fréquence avec EE)
  - G présence de la couche E normale. Remplacer foEs par la lettre descriptive G.
  - S conditions nocturnes ; inscrire fmin avec la lettre qualificative E et la lettre descriptive S, et inscrire foEs de la même façon que fmin.
- (g) Les stations enregistrant des ionogrammes basse fréquence qui présentent une large bande de brouillage se rapporteront au paragraphe 3.2 (lettre S) pour l'emploi des lettres DS avec foEs.

#### 4.43

Dans les stations où la plupart des valeurs de foEs doivent être déduites de fxEs, il est permis de ne pas utiliser JX comme l'indique la règle (c) ci-dessus. Es est trop variable pour que l'erreur additionnelle probable soit significative à moins que la majorité des valeurs ne soient des observations directes de foEs. Dans ce cas, on appliquera les règles (d) et (e).

#### 4.44

Les règles internationales permettent deux simplifications des règles (c), (d), (e) (§ 4.42) pour les stations où les conditions ne justifient pas le travail entraîné par le calcul de foEs. Lorsque les règles pour reconnaître les composantes montrent que ftEs = fxEs, relever ftEs avec la lettre descriptive X. Dans le cas contraire, relever ftEs avec la lettre descriptive M. On doit clairement indiquer sur les tableaux de foEs susceptibles d'être échangés qu'on a appliqué ces simplifications.

## 4.5. DEPOUILLEMENT DE fxEs

Les tableaux des valeurs de fxEs, établis au lieu des tableaux de foEs, doivent toujours être clairement titrés comme suit :

fxEs (∿foEs + valeur moyenne appropriée du terme de correction fB/2).

Les règles de sélection et les instructions permettant de distinguer les deux composantes sont identiques  $\tilde{a}$  celle de foEs.

- (a) Lorsque les traces Es ordinaire et extraordinaire sont séparées en hauteur virtuelle ou en fréquence (voir § 4.42~(a), (b)), on relève pour fxEs la fréquence extrême de la trace Es extraordinaire.
- (b) Lorsque les traces Es ordinaire et extraordinaire ne sont pas séparées mais si les règles d'identification montrent que ftEs = fxEs, la valeur de fxEs correspond à la fréquence extrême de la trace Es extraordinaire.
- (c) Lorsque la fréquence extrême de la trace Es correspond à foEs, lui ajouter fB/2 et inscrire la valeur ainsi déterminée avec la lettre qualificative 0 et la lettre descriptive indíquant pourquoi fxEs n'a pu être lu directement, généralement B, R ou S.
- (d) Lorsque la distinction entre les composantes est impossible mais s'il est très probable que ftEs = fxEs, inscrire la valeur observée de ftEs avec la lettre descriptive M.
- (e) Lorsque la distinction entre les composantes est impossible mais s'il est très probable que ftEs = foEs (cas extrêmement rare en pratique), ajouter fB/2 et inscrire la valeur ainsi déterminée avec la lettre qualificative 0 et la lettre descriptive M.
- (f) Lorsqu'on n'observe aucune trace Es sur l'ionogramme, on applique les règles détaillées du paragraphe 3.2 pour l'emploi des lettres descriptives B, C, E, G et S (voir aussi § 4.42).
- (g) Les stations enregistrant des ionogrammes basses fréquences qui présentent une large bande de brouillage, se rapporteront au paragraphe 3.2 (lettre S) pour l'emploi des lettres DS avec fbFs.

# 4.51. L'emploi de J, O, M et X pour foEs ou fxEs est résumé dans le tableau suivant :

TABLEAU 4.2

	foEs		fxEs
	préférable	simplifiée	
ordinaire			xxx0B
extraordinaire	oooJA	(ftEc) - X	
inconnu, estimé 0	М	(ftEs) - M	xxx OM
inconnu, estimé X	000 JM	(ftEs) - M	M
	fo	DEs	fxEs
	fo	DES	TXES
	préférable	simplifiée	
ordinaire	préférable	simplifiée	045 OB
ordinaire extraordinaire			045 0B
	039	039	

Les valeurs en italiques indiquent que la valeur numérique a été directement obtenue sur l'ionogramme

# 4.6. DEPOUILLEMENT DE fbEs

fbEs est toujours déterminée sur la trace de l'onde ordinaire de la première couche visible à travers Es.

Si plusieurs traces Es occultantes sont présentes sur le même ionogramme, la valeur de fbEs à relever est celle qui correspond à la trace Es qui donne foEs (Fig. 4.19 (a) et (b)). Toutes les valeurs de fbEs observées seront pointées sur le fplot.

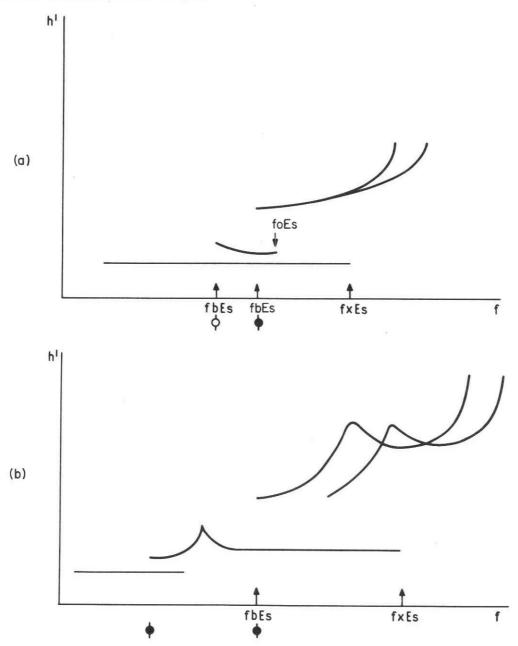


Fig. 4.19 Dépouillement de fbEs

Les symboles à indiquer sur le f-plot (chapitre 6) figurent aussi sur le graphique.

Remarques :

- la valeur à relever pour fbEs est toujours donnée par la trace qui présente la valeur de foEs la plus élevée
- (ii) toutes les valeurs de fbEs sont indiquées sur le f-plot.

Lorsque la trace Es sur laquelle on relève foEs est partiellement réfléchissante à toutes les fréquences et quand une couche épaisse est présente, fbEs est donnée par la fréquence critique de la couche épaisse de la région E dont la trace est associée avec celle de l'Es, avec la lettre qualificative E et la lettre descriptive G (Fig. 4.20).

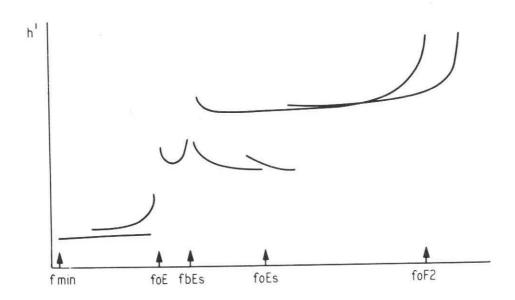


Fig. 4.20 Es non occultant

Cette figure présente deux types d'Es, h et l

On relèvera foEs comme indiqué sur la figure,
fbEs est inscrite : (fbEs)EG, fbEs étant égal à foE2, fréquence
critique de la couche intermédiaire.

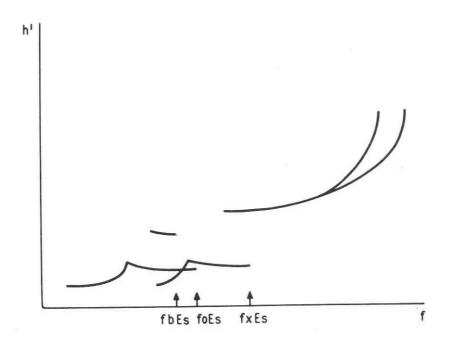
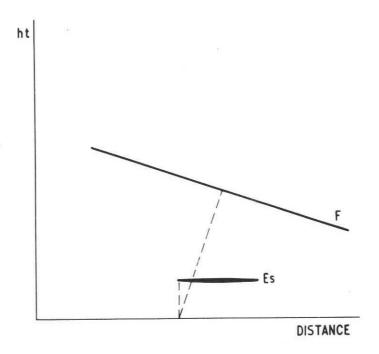


Fig. 4.21 Occultation indiquée par une trace Es du second ordre intense fbEs donnée par la trace du second ordre : (fbEs)UY, voir Fig. 4.22



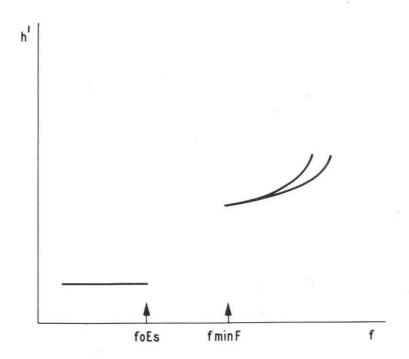


Fig. 4.22 Lacune due à une couche F inclinée fbEs = (foEs)UY

Remarque : La présence de l'inclinaison sera généralement détectée par des différences de hauteur entre les traces F du premier et second ordre, (voir § 2.7).

La valeur de fbEs ne peut pas être supérieure à foEs dans la limite des règles de précision habituelles. Quand la fréquence minimale réfléchie sur des couches plus élevées est plus grande que foEs, on ne peut relever fbEs que si l'ionogramme (Fig. 4.21) ou une séquence d'ionogrammes indique qu'il y a occultation. Les règles habituelles de précision s'appliquent. Un retard à fminF indique la présence d'une absorption avec déviation. Si les hauteurs des traces multiples de F sont compatibles entre elles, on utilisera R de préférence à Y. Un "trou en fréquence" entre les traces Es et F est très souvent produit par une inclinaison de la couche F qui réfléchit alors sous incidence oblique (Fig. 4.22 (a) et (b) ). La fréquence la plus basse observée de la trace F, fminF, ne correspond pas à des conditions zénithales. On inscrira alors pour fbEs la valeur numérique de foEs avec les lettres qualificative U et descriptive Y. On peut souvent identifier ce cas en comparant les traces F du premier et du second ordre. On utilise une lettre descriptive seule (par ex., S, C, R, Y) dans les cas où l'occultation n'est pas évidente.

En l'absence d'Es, fbEs est remplacée par la même lettre qui a été utilisée pour foEs (voir § 4.42).

Dans le cas d'occultation totale (c'est-à-dire absence de trace provenant d'une réflexion sur des couches plus hautes), il n'est pas possible d'évaluer fbEs avec certitude. Cependant, les statistiques de fbEs perdent beaucoup de leur valeur si ces fortes valeurs ne sont pas numériques. C'est pourquoi une nouvelle convention a été adoptée comme indiqué au paragraphe 3.2, lettre A : on inscrit fbEs = (foEs)AA à moins que cela ne prête à confusion.

- (a) si la trace est continue jusqu'à foEs, inscrire (foEs)AA (Fig. 3.1).
- (b) si la trace n'est pas continue jusqu'à foEs, ou s'il y a plus de deux traces multiples et si la valeur de la fréquence extrême de la trace du second ordre est beaucoup plus petite que foEs (Fig. 3.2), inscrire la valeur de foEs déduite de la fréquence extrême de la trace du second ordre avec la qualification AA. (Remarque : si ces valeurs doivent être déduites d'une trace du mode x, on préfèrera AA à JA dans les cas (a) et (b)). La valeur de fbEs déduite de la partie continue de la trace selon la règle (a), et la valeur déduite selon (b) devront généralement être en accord dans la limite des règles de précision pour les valeurs limites.

#### 4.7. DEPOUILLEMENT DE h'Es

h'Es est la hauteur virtuelle la plus basse de la trace utilisée pour relever foEs. Si l'ionosonde est à gain variable, la hauteur devra être relevée sur l'ionogramme qui permet la mesure la plus précise.

Lorsque la partie basse fréquence de la trace Es est affectée par un retard de groupe dû à une couche E régulière et que la trace Es ne devient pas horizontale, on relèvera la valeur de la hauteur virtuelle la plus basse. La valeur ainsi déterminée sera qualifiée par la lettre U ou E selon les règles de précision, et décrite par la lettre G.

En absence d'Es, on remplacera h'Es par la lettre utilisée pour remplacer la valeur numérique de fo $\mathsf{E}\mathsf{s}$ .

### 48 CLASSIFICATION DES « TYPES D'Es »

# 4.81. Procédés de classification :

Chaque fois que possible, toutes les traces Es visibles sur l'ionogramme devront être relevées dans la colonne de la feuille de dépouillement prévue pour les types d'Es. La classification est indépendante des règles de dépouillement concernant les caractéristiques foEs, h'Es, et fbEs. Ainsi les types d'Es correspondant à des réflexions faibles ou obliques peuvent être relevés même si leurs caractéristiques n'ont pas été relevées sous forme de valeur numérique. Toutes les observations disponibles à l'heure ronde, y compris celles du sondage à gain élevé, devront être utilisées pour reconnaître les types d'Es présents [B - III, p. 1-10].

# 4.82. Tabulation des types d'Es et des échos multiples

Lorsqu'il y a plus d'une trace Es sur l'ionogramme, on doit inscrire en premier le type de la trace sur laquelle a été relevée foEs. Les autres types d'Es sont inscrits dans l'ordre décroissant du nombre des multiples.

Chacun des deux premiers types inscrits doit être suivi d'un chiffre indiquant le nombre de traces visibles jusqu'à concurrence de 9. Si seule la trace principale est présente, on doit inscrire le chiffre 1. Le nombre de réflexions d'un type donné devra être déterminé sur le sondage à gain moyen.

### 4.83. Description des types normalisés

Les neuf types normalisés d'Es sont identifiés par les lettres minuscules : f,  $\ell$ , c, h, q, r, a, s, d. Ces lettres viennent respectivement des noms suivants : flat (plat), low (bas), cusp (rebroussement), high (haut), equatorial (équatorial), retardation (retard de groupe), auroral (auroral), slant (incliné), et région D. Il faut noter que ces noms ne sont pas restrictifs. On utilise la lettre "n" pour désigner une trace Es qui ne correspond à aucun de ces 9 types [A 94 D]. La présence de E nocturne est désignée par la lettre k.

#### Les types normalisés sont :

- f: Trace Es qui ne montre aucun accroissement appréciable de la hauteur en fonction de la fréquence (Fig. 4.23). La trace est généralement assez continue à la plupart des latitudes.

  [A 96 I, Fig. 93 (b) (c) (e)] . Cette classification ne peut être utilisée qu'aux heures où une couche épaisse E n'est pas habituellement observable, (heures pour lesquelles on ne peut obtenir une valeur numérique de foE). Pour les autres heures les traces apparemment Es "flat" sont classées "h" ou "f" selon leur hauteur virtuelle : [B III-3, -9 ; II A-59 Déc., -62 Déc., -63 Juin, -65 Juin, -70 Juin, -71 Rarotonga Juin et Déc., -74 Déc., -82 Juin, -83 Déc.] . Les ionogrammes basse fréquence montrent que la plupart des Es de type f de nuit auraient été classées Es de type & alors que les types c et h auraient parfois mieux convenu.
- 1 : Trace Es plate au niveau ou en dessous de la hauteur virtuelle minimale de la couche E normale, ou en dessous de la hauteur virtuelle minimale de la couche E nocturne [A 96 I,
  Fig. 93 (d)] . [B III-3,-5, -9; II B-36 Sept., -42 Déc.] . (Fig. 4.24 (a) (b) ).
- c: Trace Es présentant un rebroussement à peu près symétrique à foE ou en dessous de foE. Cette trace est généralement continue avec la trace E normale, bien que le rebroussement puisse manquer, en totalité ou en partie, lorsque l'absorption avec déviation est forte. (C'est un type généralement observé de jour) [A 96 I, Fig. 93 (d), 94, 95]. [B III-4, -9. Nombreux autres cas]. (Fig. 4.25 (a) (b)).
- h: Trace Es présentant une discontinuité en altitude avec la trace de la couche E normale à foE ou au-dessus de foE. Le rebroussement n'est pas symétrique, le commencement de la trace Es se trouvant nettement au-dessus de l'extrémité de la trace E normale (c'est un type généra-lement observé de jour) [A 96 I, Fig. 97]. [B III-4, -5, II B-42 (tous), -46 Sept. Freiburg, -51 Sept., -52 Déc., -55 Juin, Sept., -57 Déc., -61 Juin, -62 Juin Tsumeb, -64 Juin, -83 Dec.]. (Fig. 4.26 (a) (b) ).
- q : Trace Es diffuse et transparente sur un grand intervalle de fréquences. La diffusion est plus prononcée sur le bord supérieur de la trace. (Ce type est habituel le jour au voisinage de l'équateur magnétique) [A 96 I, Fig. 93 (a), 98]. [B III-8, II B-84 Ibadan, Kumasi Juin; -85 Déc., -86 tous; -87 tous]. (Fig. 4.27).
- r : Trace Es présentant à l'extrémité haute fréquence de la trace un accroissement de la hauteur virtuelle ressemblant à un retard de groupe. La trace est plus ou moins occultante. Le retard de groupe de cet Es se distingue d'un retard normal (comme dans le cas d'une couche E épaisse occultante) par l'absence de retard de groupe décroissant sur les traces de la région F aux fréquences correspondantes et l'absence d'occultation totale [A 96 I, Fig. 93 à 96 ; A 104 I, Fig. 120]. (Fig. 4.2, 4.28).
- a : L'Es de type auroral comprend tous les types de traces très diffuses. Elles peuvent s'étendre en hauteur virtuelle sur plusieurs centaines de kilomètres. Les configurations typiques présentent un bord inférieur plat ou s'élevant lentement, avec des traces stratifiées qui s'entremêlent et varient rapidement dans le temps. La largeur de la trace est généralement plus grande en dessous de foEs ou fxEs, souvent à une fréquence proche de fminF (Fig. 4.29). La configuration change généralement rapidement avec le temps. Les traces d'Es de type a sont généralement des traces obliques et les traces aux différentes altitudes sont généralement indépendantes (elles viennent le plus souvent de directions différentes). L'Es de type a présente rarement, sinon jamais, des réflexions multiples.
- s: Trace Es diffuse qui s'élève progressivement avec la fréquence et émerge généralement d'un autre type d'Es [A 96 I, Fig. 93h, 98]. Seule la trace inclinée est classée "s"; la trace horizontale est classifiée séparément. L'Es de type s peut s'élever à partir de foE, fxE, foEs, fxEs ou d'un point intermédiaire de la trace Es. Aux latitudes élevées, la trace inclinée commence généralement à s'élever à partir d'une trace Es horizontale telle que Es de type 2 ou de type f à des fréquences très supérieures à la fréquence critique de la couche E, ou à partir d'un Es de type r ou de traces E nocturne. Aux latitudes basses, elle s'élève généralement à partir de foE et est associée à des Es de type q, h ou c. Elle s'élève parfois à partir de fxE. Les traces d'Es de type s ne doivent pas être utilisées pour déterminer foEs, fbEs, h'Es. [B III -7, -8, -9]. (Fig. 4.30 (a) (b) ).
- d: Trace faible à des altitudes inférieures à 95 km associée à une forte absorption et à une fmin élevée. Ce n'est pas strictement une trace Es bien qu'y ressemblant, et on ne devra jamais l'utiliser pour obtenir les valeurs de fmin, foEs, h'Es. Cette trace n'est jamais occultante mais l'absorption qui lui est associée peut empêcher les réflexions sur des couches plus hautes. En pratique, on observe très souvent cette trace à des altitudes voisines de 80 km, [B III -10] (Fig. 4.31).

n : On emploie "n" pour désigner une trace Es qui n'entre pas dans la classification des types d'Es normalisés. Quand une trace paraît intermédiaire entre deux types, on devra faire un choix chaque fois que possible même si ce choix est incertain. "n" ne doit être utilisé que très rarement.

Remarque : Si une forme d'Es qui n'appartient pas aux types normalisés ci-dessus apparaît fréquemment dans une station, il est permis de définir un nouveau type et de le désigner par une lettre adéquate. Il devra se distinguer nettement des autres types et être complètement décrit dans les notes de dépouillement. C'est ainsi que le type d a été introduit puis reconnu sur le plan international. De telles propositions sont à soumettre à l'INAG pour discussion.

k : On utilise k pour indiquer la présence de E nocturne [B III-7] . Lorsque foEs est plus grand que foE (E nocturne), le type d'Es précède k ; par exemple r1, k, h. La figure 4.2 (c) présente un exemple typique.

### 4.84. Données manquantes

Par convention les types d'Es ne sont relevés que lorsqu'ils sont visibles, et on n'inscrit rien dans le tableau en absence d'Es. Ne pas essayer d'indiquer pourquoi il n'y a pas d'Es, c'est-à-dire ne pas utiliser de lettres symboles B, C, G, S etc... dans ce tableau.

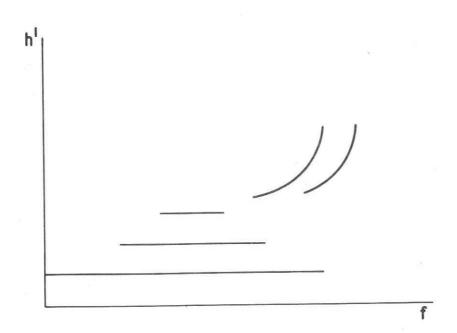
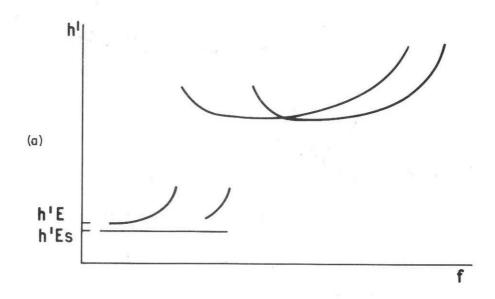


Fig. 4.23 Es de type f, plat (flat)

A utiliser seulement quand une couche épaisse E n'est pas observable habituellement à l'heure de l'enregistrement. Autrement utiliser &.



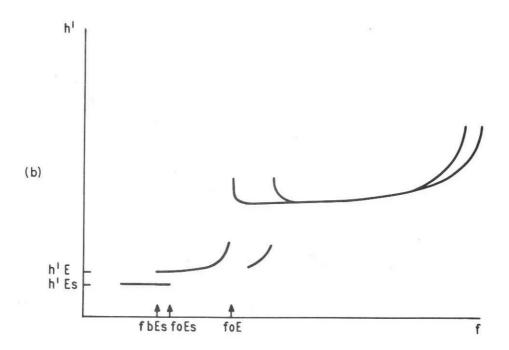


Fig. 4.24 (a) (b) Es de type  $\ell$ , bas (low)

Noter qu'une configuration semblable à celle de la Fig. 4.23, avec h'Es inférieure à la valeur normale de h'E à l'heure considérée, doit aussi être classée comme type  $\ell$ .

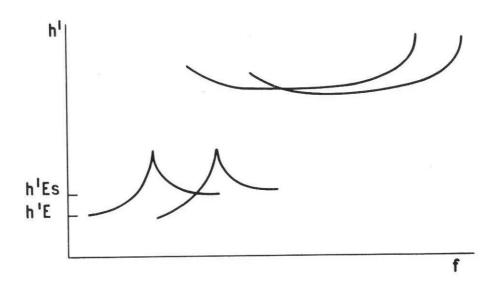


Fig. 4.25 (a) Es de type c, à rebroussement (cusp)

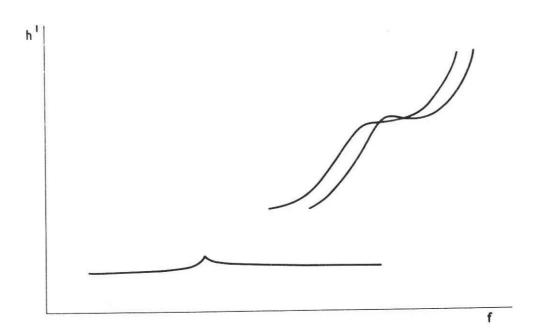
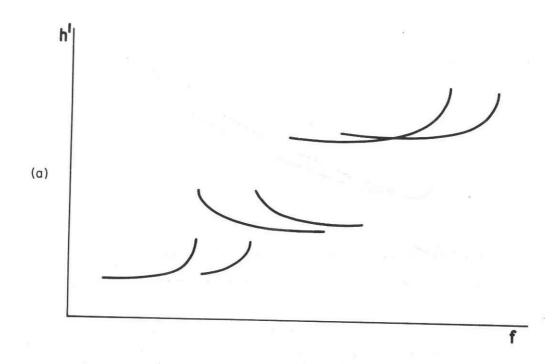


Fig. 4.25 (b) Es de type c, à rebroussement (cusp) foE est occultée par l'Es de type c.



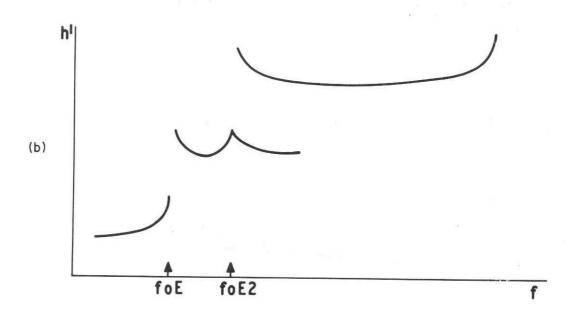


Fig. 4.26 Es de type h, haut (hight)

- (a) La trace Es est légèrement au-dessus de la trace E. Lorsque les traces sont incomplètes, elles ne doivent pas être extrapolées à un point commun pour obtenir foE sauf si la trace Es est nettement plus élevée que la trace E.
- (b) Un rebroussement à partir d'une stratification intermédiaire correspond aussi à Es de type h il est nettement au-dessus de hmE.

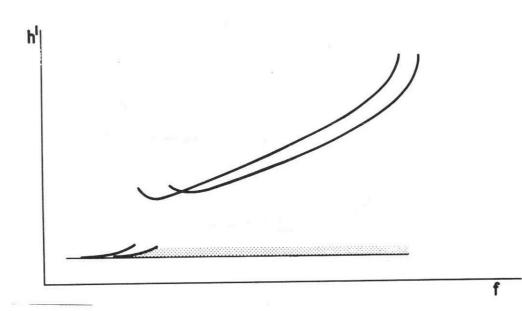


Fig. 4.27 Es de type q, équatorial

Une faible trace diffuse s'étend jusqu'à des fréquences très hautes et n'est pas occultante. Noter qu'un Es de type  $\ell$  peut se superposer au début de cette trace et est alors occultant. On suppose que ftEs correspond à fxEs, de sorte que foEs = fxEs - fB/2 pour cette trace. Lorsque les types  $\ell$  et q sont superposés, on déduit fbEs de la trace  $\ell$ .

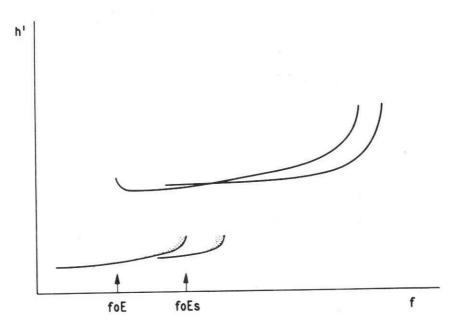


Fig. 4.28 Es de type r, retard de groupe (retardation)

La trace est normalement occultante sur une partie de son étendue. Sur cette figure fbEs = foE, mais la trace F peut aussi ne pas présenter de retard de groupe à fminF, voir Fig. 4.2 (a), (b).

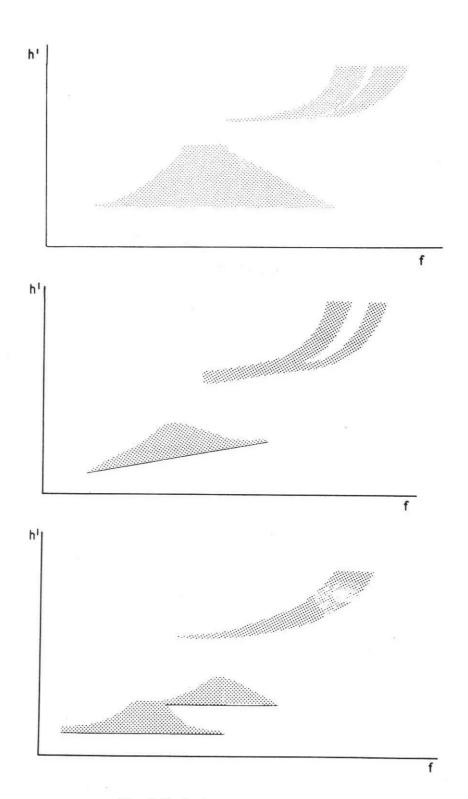
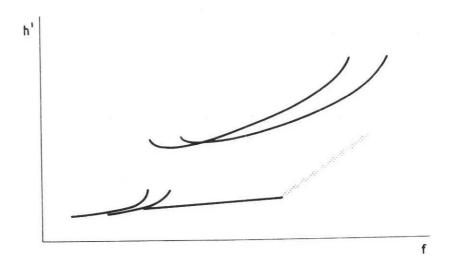


Fig. 4.29 Es de type a, auroral

Une grande variété de traces diffuses sont classifiées comme Es de type a. Quelques exemples typiques sont présentés ci-dessus. Les traces F sont généralement, mais pas toujours, diffuses aussi.



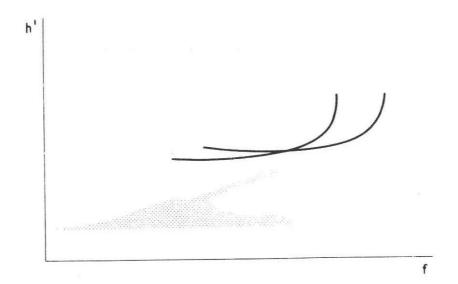


Fig. 4.30 Es de type s, incliné (slant)

Un Es de type s peut prendre naissance sur n'importe quelle trace Es, ou à partir de foE ou de fxE. On l'observe habituellement avec les types f,  $\ell$ , a et occasionnellement q, r. L'occurence varie suivant la localisation de la station.

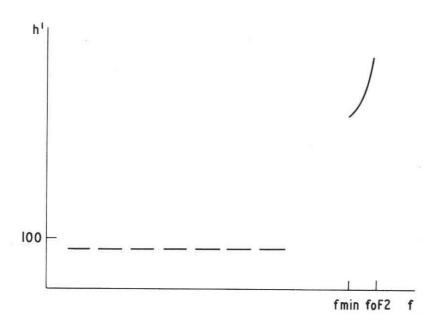


Fig. 4.31 Es de type d. Réflexion partielle sur une couche absorbante

Une trace faible généralement observée en dessous de 90 km et s'étendant de 1 à 3 MHz, parfois à des fréquences plus hautes. Toutes les autres traces indiquent une forte absorption ou sont absentes à cause d'elle (condition B).

# 4.85. Remarques sur la distinction entre les types d'Es

Les remarques suivantes ont pour but d'aider à identifier le type correct lorsque deux types (par exemple f, a) sont susceptibles d'être confondus. Dans le doute, la décision finale est toujours basée sur les règles internationales (§ 4.83). On insiste ci-dessous sur certaines particularités communes mais non essentielles, qui peuvent aider à l'identification.

f, a : Sauf quand il y a une forte absorption ou quand foEs est inférieure à fB, l'Es de type f présente généralement des traces multiples et est occultant au moins partiellement. Au contraire l'Es de type a présente rarement des traces multiples. Quand l'absorption est faible, on observe un peu de diffusion au-dessus de la trace du premier ordre de Es de type f (plat) tandis que l'Es de type a (auroral) présente une forte diffusion dans les mêmes conditions.

Lorsque l'absorption est forte, la distinction entre les types a et f peut s'avérer difficile. Un ionogramme à gain élevé peut la faciliter car on observera pour le type a un accroissement sensible de la diffusion avec le gain tandis qu'il n'y aura que peu ou pas de changement pour le type f. Si on observe de la diffusion en présence d'une forte absorption (fmin élevée), ceci indique qu'il s'agit d'un type a plutôt que d'un type f puisque la faible diffusion souvent observée avec un type f dans ces conditions d'absorption faible disparaît rapidement lorsque l'absorption augmente un peu.

r, a : Les traces r sont généralement en partie occultantes et présentent une limite supérieure incurvée de forme très semblable à la partie retardée d'une couche E normale, avec les hauteurs les plus grandes au voisinage de foEs. Au contraire les traces a couvrent généralement un intervalle de hauteurs plus grand et présentent souvent de la diffusion maximale à une fréquence bien inférieure à foEs. Le plus souvent la trace f présente un retard de groupe à une fréquence nettement inférieure à foEs, ce qui suggère la présence de E nocturne et la trace r est occultante jusqu'au voisinage de cette fréquence.

- 1, d : Une faible trace 1 peut ressembler à une trace d plutôt élevée, mais elle n'est visible que lorsque l'absorption est faible (fmin basse) et lorsqu'il y a des échos multiples. Le type d sera associé avec une forte absorption. Souvent on ne voit une trace  $\ell$  faible qu'au voisinage de foE, tandis que la trace d commence généralement au début de la gamme de fréquences. Un Es de type ε très intense peut apparaître à des altitudes basses mais il donne généralement lieu à de nombreuses traces multiples. Le type d ne présente jamais de traces multiples.
- q,  $\ell$ : Lorsque les deux traces sont faibles, q s'étend sur une large bande de fréquence,  $\ell$  sur une bande étroite, par exemple q peut s'étendre de 1 à 20 MHz,  $\ell$  de 1 à 3 MHz. Quand  $\ell$  s'étend sur une bande de fréquences plus large, il est occultant sur une partie de la bande au moins. Lorsque q est très fréquent, des traces combinées q,  $\ell$  ( $\ell$  légèrement plus haut que q) peuvent quelquefois être observées et se distinguent par l'effet d'occultation de  $\ell$  aux fréquences basses, et la valeur normale de foEs est associée avec le type q. Inscrire q,  $\ell$ . q est extrêmement rare sauf à l'intérieur d'une zone d'environ 15° de part et d'autre de l'équateur magnétique.
- Dans le cas d'une forte absorption au voisinage de foE (lettre symbole R) comparer les hauteurs relatives de h'E et h'Es avec des valeurs similaires obtenues pour des cas nets de h et c. h'Es pour h se situe généralement à au moins 10 km au-dessus de h'E.
- Aux latitudes élevées, la réflexion du mode z de E est souvent plus basse que celle du mode o et peut ressembler à une trace Es de type  $\ell$ . Dans de tels cas, une différence d'environ fB/2 suggère qu'il s'agit de la trace z plutôt que de Es de type  $\ell$ . La trace du mode z occulte généralement la partie inférieure de la trace E, la fréquence d'occultation variant très lentement avec le temps. Les traces Es de type  $\ell$  ne sont pas toujours occultantes lorsque foEs est inférieure à foE, et leur fréquence d'occultation varie généralement très rapidement avec le temps.

# 4.9. REGLES PROVISOIRES POUR LA REPRESENTATION DE fxEs SUR f-PLOTS :

Certaines stations ont entrepris d'ajouter la fréquence extrême de Es (ftEs) sur les graphiques de fréquences (fplots). Dans un but de conformité, il est recommandé de suivre les conventions suivantes :

- (a) On obéira strictement à la règle fondamentale que lef-plot représente ce qui est réellement observé.
- (b) Quand ftEs = fxEs, il est recommandé de la représenter par un triangle vide  $\Delta$
- (c) On utilisera un triangle plein ▲:
  - si la valeur est douteuse,

  - si l'interprétation fxEs est douteuse, si la valeur observée de ftEs correspond à foEs,
- (d) Les valeurs limites sont indiquées en ajoutant la lettre descriptive qui convient au-dessus du triangle plein si la valeur vraie est supérieure à celle indiquée, au-dessous si elle est inférieure.

Cette information supplémentaire présente de l'intérêt à condition qu'elle soit restreinte à la trace Es sur laquelle on relève foEs.

Remarque : Dans les conditions G, le symbole utilisé pour foE a la priorité sur celui utilisé pour Es, c'est-à-dire que, dans ce cas, on utilisera un cercle plein ou vide et non un triangle.

La représentation de ftEs ou fxEs sur les f-plots est facultative et n'est pas recommandée sur le plan international actuellement.

### CHAPITRE 5

#### SONDAGES EN CONTRE-HAUT

#### 5.0. INTRODUCTION

L'ionosphère supérieure peut être étudiée au moyen d'ionosondes embarquées sur des engins spatiaux, tels que fusées ou satellites. Les sondages en contre-haut ainsi obtenus permettent de mesurer la profondeur virtuelle, à partir de l'ionosonde, de certains niveaux de densité ou de phénomènes particuliers entre l'ionosonde et le niveau de densité maximale de la région F. Etant donné que l'on observe fréquemment des échos provenant de directions autres que la verticale, on emploie généralement pour les coordonnées des ionogrammes en contre-haut, les termes distance virtuelle ou distance apparente plutôt que profondeur ou hauteur virtuelle.

- **5.01.** Les sondeurs en contre-haut peuvent fournir des ionogrammes en des points peu espacés de leur trajectoire ; si un sondeur est embarqué à bord d'un satellite d'orbite terrestre presque polaire au-dessus du maximum de la région F, il est possible de couvrir presque toutes les surfaces géographiques au moins deux fois par 24 heures. Cependant, le choix d'une orbite particulière restreint les mesures qui peuvent être faites par un seul satellite. Par exemple, pendant une période de 24 heures, un satellite d'orbite équatoriale (inclinaison 0°) échantillonne toutes les heures locales mais sur une seule latitude tandis qu'un satellite d'orbite polaire (inclinaison 90°) échantillonne toutes les latitudes mais seulement pour deux heures locales.
- 5.02. Puisque la vitesse horizontale d'un satellite sur une orbite proche de la terre est approximativement constante (5 à 10 km/s), un sondeur en contre-haut avec une fréquence de récurrence de l'écho de 30 Hz se déplace de 167 à 133 m entre les impulsions. Ainsi la résolution spatiale (c'est-àdire la distance parcourue au cours d'un ionogramme) et la résolution en fréquence (c'est-àdire la différence de fréquences entre deux impulsions successives) sont des exigences qui entrent en compétition lors de la conception de sondeurs en contre-haut, de la même façon que la résolution temporelle (c'est-àdire le nombre d'ionogrammes par unité de temps) et la résolution en fréquence pour un sondeur en contre-bas. La fréquence de récurrence des impulsions d'un sondeur est déterminée par la distance sur laquelle on désire effectuer les sondages. Dans le cas d'un satellite, la distance requise pour le sondage dépend non seulement de la distance apparente du satellite au maximum de la région F (c'est-à-dire l'altitude du satellite) mais aussi de l'échelle de hauteur de l'ionosphère au voisinage du satellite et du fait que la propagation peut être oblique ou guidée par les lignes de force du champ magnétique. Si le satellite a une orbite élevée et si on désire effectuer des sondages au maximum de la région F, la fréquence de récurrence des impulsions doit être faible. Pour des altitudes allant jusqu'à 1500 km, une fréquence de récurrence des impulsions de 60 Hz convient généralement, tandis que pour une altitude de 3000 km, une fréquence de récurrence des impulsions de 30 Hz est préférable.
- 5.03. Deux des satellites sondeurs qui ont été lancés illustrent les compromis qui ont dû être faits pour tenir compte des restrictions ci-dessus. Le sondeur à fréquences présélectionnées d'Explorer XX obtenait un "ionogramme" toutes les 0,1 sec., c'est-à-dire environ tous les 0,75 km de distance horizontale, mais l'ionogramme consistait en un échantillonnage de seulement 6 fréquences comprises entre 1,5 et 7,2 MHz. Par contre le sondeur à balayage de fréquences d'Alouette II est conçu pour obtenir une haute résolution en fréquence; le sondeur balaye la gamme de 0,2 à 20,0 MHz en 14 secondes environ, fournissant environ 400 échantillons de fréquences mais le satellite a parcouru environ 100 km pendant ce temps. D'autres facteurs restreignent aussi la couverture réellement obtenue par un satellite donné: par exemple, le nombre et l'emplacement des stations de télémesures, la capacité de stockage des données à bord, l'efficacité du système de sondage, et la quantité d'énergie que l'engin spatial peut fournir au sondeur. Les sondages en contre-haut ne donnent généralement qu'une information limitée sur la forme de la couche en dessous du maximum d'ionisation de la région F. C'est pourquoi les données obtenues par les sondeurs en contre-haut complètent mais ne remplacent pas celles obtenues par le réseau des sondeurs au sol.
- 5.04. Etant donné que les sondages en contre-haut ne sont habituellement analysés que dans quelques centres, les instructions détaillées pour leur interprétation et leur dépouillement ne sont pas données ici. On les trouvera, ainsi que de nombreux autres sujets annexes, dans "Proceeding of the IEEE" de juin 1969, numéro spécial sur les sondages en contre-haut dont le sommaire est donné au paragraphe 5.76. Les références à cette publication faites dans ce chapitre seront indiquées [I] avec le numéro de la page. Le présent chapitre se borne à une description générale et simplifiée. Il contient aussi un résumé de la nomenclature conseillée et des listes des diverses données disponibles.

# 5.1. TRACES PROVENANT DE REFLEXIONS

5.11. Les figures 5.1, 5.2 et 5.3 présentent des ionogrammes en contre-haut avec l'identification des principales traces provenant des réflexions. Ces traces sont dues à des ondes radioélectriques qui se propagent selon les modes z, o et x, à peu près verticalement vers le bas à partir du satellite, se réfléchissent, reviennent au satellite et sont détectées par le récepteur du sondeur [I p. 949, p. 960]. Les fréquences de coupure basses pour ces différents modes (c. à d. la fréquence minimale à laquelle un mode particulier peut se propager dans le plasma au niveau du satellite) sont appelées respectivement fzS, foS et fxS, S indiquant que la mesure a été faite à l'altitude du satellite. La fréquence de coupure pour le mode o correspond à la fréquence de plasma locale, fN. Les fréquences de coupure pour les trois modes à une altitude quelconque du satellite S dans l'ionosphère sont liées à la fréquence de plasma fN par les relations suivantes :

mode o 
$$fN = foS$$
 (5.1)

mode z 
$$fN = \sqrt{fzS(fzS + fB)}$$
 (5.2)

mode x 
$$fN = \sqrt{fxS (fxS - fB)}$$
 (5.3)

où fN et fB sont mesurées à l'altitude du satellite.

Remarque : Dans les recueils canadiens de données, l'équation (5.3) est utilisée pour dédûire la fréquence de plasma au niveau du satellite ; cette dernière est notée JFOS. Dans ces recueils FH indique la gyrofréquence au niveau du satellite. Dans les recueils de la NASA, cette quantité est indiquée par FHS.

- 5.12. Lorsque la fréquence de sondage augmente au-delà des fréquences de coupure, les ondes pénètrent progressivement à une plus grande profondeur en dessous du satellite avant d'être réfléchies [I p. 949]. Les fréquences maximales auxquelles les ondes o et x peuvent être réfléchies dans la région F sont les fréquences critiques foF2 et fxF2. Aux fréquences supérieures à foF2 et fxF2, les ondes peuvent se propager jusqu'à la surface de la Terre et être réfléchies jusqu'au satellite ; de telles ondes observées sur les ionogrammes sont appelées "échos de soî". Sur la fig. 5.1, on remarquera, sur les traces de l'écho de sol, le retard de groupe au voisinage de foF2 et fxF2 qui décroît lorsque la fréquence augmente. On peut aussi observer des traces E sporadiques lorsque foEs est supérieure à foF2 [I p. 1019]. La trace de l'onde extraordinaire est souvent plus complète que celle de l'onde ordinaire, si bien que les caractéristiques de l'onde extraordinaire sont plus faciles à relever que celles de l'onde ordinaire. Pour la même raison, on utilise la trace extraordinaire pour calculer les profils de densité électronique, et la trace ordinaire sert à vérifier qu'ils sont corrects [I p. 960].
- 5.13. L'onde du mode z pénètre progressivement à une plus grande profondeur en dessous du satellite dès que la fréquence de sondage augmente au-delà de la fréquence de coupure du mode z, mais lorsqu'elle atteint une certaine fréquence, définie comme fzI, elle subit un très grand retard de groupe (Fig. 5.2, 5.3) [I p. 949, 960, 1143]. Pratiquement tout le retard de groupe se produit au voisinage du satellite. A fzI, le retard est si grand que l'onde ne peut plus se propager dans la direction verticale. L'onde z peut encore se propager obliquement à des fréquences supérieures à fzI mais elle ne peut revenir au satellite. La fréquence à laquelle fzI est observée constitue une limite supérieure pour la propagation de l'onde z sous incidence verticale. Cette fréquence est donnée par :

$$fzI = \sqrt{\frac{fT^2 + \sqrt{fT^4 - 4 fN^2 fB^2 \cos^2 \theta}}{2}}$$
 (5.4)

où fT est la fréquence limite supérieure pour la propagation de l'onde z perpendiculairement à la direction du champ magnétique (propagation transversale), fT est appelée la  $fréquence\ hybride\ haute$  et est liée à fN et fB par la relation :

$$fT = \sqrt{fN^2 + fB^2}$$
 (5.5)

fzI se trouve donc dans un intervalle de fréquences relativement étroit compris entre fT et la plus élevée des fréquences fN et fB. On peut évaluer la fréquence de plasma fN à partir de fzI en appliquant la relation (5.4) sous la forme :

$$fN = \frac{fzI}{fB \cos \odot} \sqrt{fT^2 - (fzI)^2}$$
 (5.6)

- 5.14. Si, dans l'équation (5.4), on remplace le signe plus par un signe moins, cette équation fournira la fréquence correspondant à un retard infini du mode sifflement à incidence verticale [I p. 949].
- **5.15.** On observe parfois entre fN et fzI une trace due à une réflexion supplémentaire de l'onde z appelée z'. Cette trace est due à des échos de l'onde z réfléchie obliquement,[voir I p. 1089, 1097] . L'onde z' commence à se propager à la fréquence fN, donc :

$$fz'S = foS = fN$$
 (5.7)

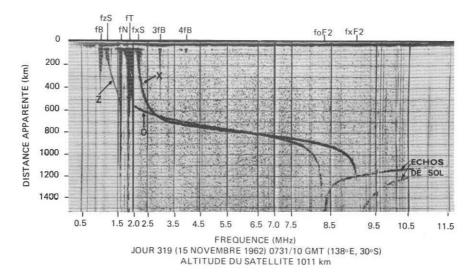


Fig. 5.1 Ionogramme d'Alouette I illustrant les traces des ondes z, o, et x, les fréquences de coupure, les flèches de résonnance et les échos de sol.

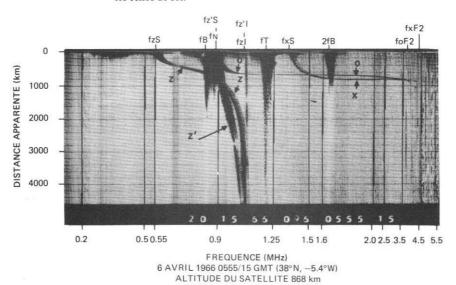


Fig. 5.2 Ionogramme d'Alouette II illustrant les traces des ondes z, o, x et z', les fréquences de coupure et les flèches de résonnance

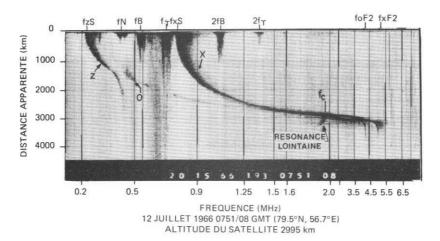


Fig. 5.3 Un ionogramme d'Alouette II illustrant les traces des ondes z, o et x, les fréquences de coupure, les flèches de résonnance et la résonnance lointaine

Le retard de l'onde z' devient infini en même temps que celui de l'onde z normale, donc

fz'I = fzI (5.8)

Aux fréquences légèrement inférieures à fzI, les échos z correspondent à des réflexions de l'onde z à plusieurs centaines de kilomètres en dessous du satellite, mais bien au-dessus du maximum de la région F. La trace z ne pénètre jusqu'au maximum de la couche F2 qu'en de rares occasions (Fig. 5.2).

- Landard Company of the Company of

5.16. Des traces provenant de propagation non verticale sont habituelles sur les ionogrammes en contre-haut [I p. 1019, 1097]. Les types les plus fréquents résultent de propagation le long des structures ionisées alignées le long des lignes de force du champ magnétique. Ce type de propagation se produit parfois d'un hémisphère de la Terre à l'autre (propagation guidée entre deux points conjugués) lorsque le satellite est localisé à des latitudes basses ou relativement basses. Les ondes radioélectriques qui se propagent obliquement à partir du satellite peuvent aussi être rétrodiffusées ou réfléchies par des structures alignées le long des lignes de force du champ magnétique, situées à une certaine distance du satellite. Des gradients horizontaux à grande échelle peuvent aussi provoquer des réflexions obliques. Les configurations caractéristiques qu'elles produisent sur les ionogrammes et la connaissance de la propagation ionosphérique des ondes radioélectriques permettent d'identifier la plupart des traces résultant d'une propagation non verticale.

Lorsqu'on dispose d'un ordinateur, on peut identifier les traces verticales en calculant la distribution apparente de la densité électronique à partir des différentes traces du mode x et en déduisant les traces correspondantes du mode o. La trace o calculée est compatible avec la configuration observée lorsque la propagation est verticale [I p. 986].

#### 5.2. FLECHES DE RESONANCE

**5.21.** A certaines fréquences, on observe des flèches de résonance sous forme de signaux persistants excités au voisinage immédiat du satellite par l'impulsion émise par le sondeur embarqué. Leur durée est variable mais les fréquences sont caractéristiques du plasma local. Certaines de ces fréquences sont déterminées par les paramètres classiques d'un plasma électronique froid, fN et fB, d'autres sont des fonctions complexes de ces paramètres. Des flèches apparaissent également à des fréquences harmoniques des résonances fondamentales (voir les ionogrammes des figures 5.1, 5.2 et 5.3). La théorie des "plasmas froids" ne semble pas conduire à une explication convenable des flèches; il faut faire intervenir au moins la compressibilité du gaz d'électrons, c'est-à-dire la théorie des "plasmas chauds". Le sondeur émet des ondes qui se propagent lentement dans le gaz d'électrons. Ces ondes sont analogues à des ondes sonores dans le gaz d'électrons; elles se propagent longitudinalement avec compression et dilatation, et impliquent des charges d'espace, c'est-à-dire des champs électrostatiques longitudinaux. On donne à ces ondes plusieurs noms, par exemple, ondes électroacoustiques ou ondes électrostatiques.

Les ondes électrostatiques sont émises obliquement par le sondeur à des fréquences comprises dans une bande de plusieurs kHz de part et d'autre de la fréquence caractéristique ; elles se propagent sur de courtes distances (plusieurs kilomètres) à partir du satellite, sont réfléchies et reviennent au sondeur en produisant un écho. La distance apparente de ces échos est si fortement sensible à la fréquence que des échos avec des distances apparentes couvrant toute la gamme du sondeur peuvent être produits par des ondes dont les fréquences ne correspondent qu'à une petite partie de la gamme complète des fréquences émises. On reçoit ainsi un long signal continu qui ressemble à une flèche sur les ionogrammes comme le montrent les figures 5.1, 5.2 et 5.3. Un autre type de résonance peut être produit simplement par des ondes électrostatiques qui se propagent de conserve avec le satellite.

5.22. Les principales flèches de résonance apparaissent sur les ionogrammes aux fréquences suivantes (à moins de 20 kHz près), caractéristiques du plasma local :

fréquence de plasma
gyrofréquence
fréquence hybride haute
second harmonique de la gyrofréquence
second harmonique de la fréquence hybride haute

La flèche fN apparaît intense quand fN>fB, et faible quand fN<fB. La flèche fT apparaît intense quand fT<2fB, et faible quand fT>2fB. La flèche 2fT r'est pas observée quand fT>2fB mais elle l'est généralement quand fT<2fB.

**5.23.** Certaines des principales flèches de résonance permettent de déterminer la fréquence locale de plasma quand les fréquences de coupure des traces réfléchies ne sont pas lisibles. Ces flèches sont liées à fN et fB par les relations suivantes :

La flèche fN apparaît à fN :

$$fN = \sqrt{fT^2 - fB^2}$$
 pour la flèche fT, (5.9)

$$fN = \sqrt{\frac{2fT}{2}}^2 - fB^2 \text{ pour la flèche 2fT}$$
 (5.10)

Les bandes latérales du spectre de l'émission sont parfois visibles dans la flèche fN. On peut alors mesurer la fréquence locale de plasma à quelques kHz près [I p. 1135].

5.24. En plus de ces flèches principales, on observe souvent aussi les flèches 3fB, 4fB, etc... D'autres types d'ondes électrostatiques ou de phénomènes de résonance qui peuvent ressembler à des flèches sont les résonances de type fQ, la flèche diffuse fD et la "flèche flottante" [I p. 949, 1089, 1128].

On observe parfois des flèches liées à la différence ou à la somme des fréquences des deux principales flèches de résonance ; elles sont dues à des phénomènes non-linéaires dans le plasma au voisinage du satellite [I p. 1108].

5.25. Une résonance lointaine (remote resonance) apparaît souvent sur les ionogrammes des hautes latitudes en présence d'irrégularités alignées le long des lignes de force du champ (fig. 5.3) [I p. 949, 1089, 1097, 1128]. Elle se manifeste sous forme de trace ressemblant à une flèche sortant de la trace de l'onde x à une fréquence supérieure à celle de la flèche locale 2fB. Les échos de résonance lointaine sont produits par l'impulsion descendante de l'onde x à des hauteurs où 2fB est égale à la fréquence de sondage. Sur l'ionogramme on observe la coupure haute fréquence de la résonance lointaine, fC, à l'endroit 000ù la trace de la résonance lointaine rejoint la trace de l'onde x. Cette fréquence correspond à la valeur de 2fB à la hauteur réelle de réflexion de la trace de l'onde x. La variation de l'intensité du champ magnétique total (et donc de 2fB) en fonction de l'altitude est connue avec précision d'après des modèles de champ et on peut donc déduire de fC une hauteur réelle. On peut montrer que, à cette hauteur réelle:

$$fN = \frac{1}{\sqrt{2}} fC = \sqrt{2}fB$$
 (5.11)

Remarque : fC n'est pas une fréquence critique et il ne faut pas confondre ce symbole avec le fc conventionnel.

Le phénomène de résonance lointaine permet donc de déterminer de façon simple et précise la valeur de la densité électronique à une certaine altitude en dessous du satellite. Il permet de vérifier le profil de densité électronique obtenu à partir de la trace x car il est basé sur une mesure totalement indépendante. Cependant, l'énergie responsable de la résonance lointaine se propage par guidage le long des tubes de force du champ II p. 1128 l. La valeur de fN calculée à partir de la relation (5.11) n'est donc pas la valeur à une hauteur réelle comptée verticalement en dessous du satellite (sauf au-dessus des pôles magnétiques) mais à une hauteur réelle sur la ligne de force qui passe par le satellite. L'énergie responsable de la trace de l'onde x peut se propager soit par guidage le long des tubes de force du champ, soit verticalement. Lorsque l'on observe la résonance lointaine, la plus grande partie de l'énergie de l'onde x s'est propagée par guidage le long des tubes de force du champ. Aux latitudes élevées où les lignes de force du champ sont presque verticales, les traces présentes sur l'ionogramme ne permettent pas de différencier la propagation guidée le long de tubes de force de la propagation sous incidence verticale. Dans ce cas, la propagation est presque verticale et, lorsque l'on observe la résonance lointaine, on peut appliquer l'équation (5.10) avec une erreur négligeable.

### 5.3. BATTEMENTS

5.31. Lorsque le satellite se déplace dans une région de densité électronique très faible, c'est- à-dire entre  $10^7$  et  $10^8$  par  $m^3$  (10 à 100 électrons par  $cm^3$ ), fT et fB deviennent très voisines, ne différant que de seulement 1 à 4 kHz. Comme sa largeur de bande est finie, l'impulsion émise par le sondeur peút exciter simultanément les résonances fT et fB et on peut observer sur les ionogrammes la fréquence de battement  $\Delta f = (fT-fB)$  sur les flèches de résonance qui se recouvrent en partie II p. 949 et 1184I. En supposant que ces résonances se produisent exactement à la fréquence hybride haute et à la gyrofréquence électronique, on peut montrer que :

$$fN = \sqrt{(2fB + \Delta f) \Delta f}$$
 (5.12)

La densité électronique N peut être déduite de  $\Delta$  à l'aide de la relation :

$$N(m-3) = 1.8.10^6 M fB (MHz)$$
 (5.13)

où M est le nombre de battements par 200 km de distance apparente, que l'on détermine facilement sur l'ionogramme. La résonance hybride haute, cependant, ne se produit pas exactement à la fréquence hybride haute ; en fait, sa fréquence varie avec la distance apparente d'une façon très complexe même lorsqu'elle n'est pas voisine de fB ou de ses harmoniques. Il n'est donc pas possible actuellement de calculer exactement Ne à partir des battements.

5.32. Pour l'analyse en hauteur réelle d'ionogrammes, dans le cas où la densité électronique au voisinage du satellite est très faible, on a utilisé le battement Δf pour obtenir une "première estimation" de la fréquence fxS de la trace de l'onde x. On obtient alors la fxS finale par un procédé d'itération et la valeur trouvée est généralement deux à trois fois plus grande que celle obtenue par le battement Δf [voir G.E.K. Lockwood, Radio Science, 5, 575, 1970].

# 5.4. PROFILS DE DENSITE ELECTRONIQUE EN FONCTION DE LA HAUTEUR REELLE

- 5.41. Les variations de la densité électronique en fonction de la hauteur réelle sont généralement appelées  $profils\ N(h)$ .
- La figure 5.5 présente la comparaison d'un profil N(h) calculé à partir d'un ionogramme en contrehaut et d'un profil N(h) calculé à partir de mesures obtenues par un sondeur à diffusion incohérente lorsque le satellite passait au zénith de ce sondeur.
- 5.42. La précision des profils calculés à partir des ionogrammes en contre-haut est affectée par des erreurs dues aux raisons techniques suivantes :
  - (i) la largeur des traces sur l'ionogramme est variable,
  - (ii) le balayage ne reste pas linéaire,
  - (iii) les marques de distances sont imprécises,

et principalement aux deux raisons physiques suivantes :

- (iv) la propagation en dessous du satellite peut n'être pas verticale,
- (v) le développement et l'application de la théorie pour obtenir N(h) à partir de l'ionogramme sont limités,

### De plus :

- (vi) la théorie du gaz d'électrons (plasma froid) peut être une trop grande simplification du plasma réel de l'ionosphère en contre-haut. Par exemple, les propriétés des flèches de résonance ne peuvent être expliquées que par la théorie du "plasma chaud". Ceci ne semble pas important pour l'analyse N(h).
- Si les ionogrammes sont faciles à interpréter et dépouillés avec soin, la précision des profils calculés sera de  $^{\pm}$  5 km à  $^{\pm}$  10 km. Les traces latérales dues aux bandes latérales du spectre de puissance émise se distinguent parfois au voisinage de la fréquence de coupure. Ces traces peuvent être dépouillées avec une précision exceptionnelle ; elles fournissent des mesures redondantes qui permettent de déterminer les profils avec plus de précision dans une région d'environ 100 km en dessous du satellite [I p. 1135]. Cependant, il arrive souvent que les ionogrammes soient difficiles à interpréter et il faut alors utiliser des procédés de dépouillement plus élaborés [I p. 986]. Pour de nombreuses recherches impliquant le dépouillement de routine de grandes quantités d'ionogrammes, la précision des profils calculés est en fait de  $^{\pm}$  20 km, et parfois de  $^{\pm}$  50 km.

Une des sources principales d'erreur est l'hypothèse de la propagation verticale des ondes radioélectriques en dessous du satellite. Dans de nombreux cas, on peut reconnaître sur les ionogrammes la propagation guidée le long des lignes de force du champ magnétique mais ce n'est pas toujours évident et la hauteur du maximum de la couche F obtenue à partir des profils calculés d'après de tels ionogrammes appraraîtra alors trop basse. De tels profils tendent à recouvrir les profils simultanés obtenus en contrebas (voir paragraphe 5.5). De plus, un pour cent des données enregistrées dans les stations de télémesure sont entachées d'erreurs de synchronisation supérieures à 400 secondes , un enregistrement sur 500 d'une erreur de plus de 10.000 secondes. De telles erreurs seront probablement systématiques sur une trentaine d'ionogrammes consécutifs.

- 5.43. Contrairement à l'analyse N(h) en contrebas, c'est la trace x qui est habituellement utilisée pour l'analyse N(h) en contre-haut[I p. 960]. Par conséquent, la fréquence de plasma calculée pour les altitudes entre le satellite et le maximum de densité de la région F dépend de la variation de la gyrofréquence sur cet intervalle de hauteur. Les gyrofréquences calculées à partir de modèles de champ magnétique conviennent dans la plupart des cas.
- 5.44 Lorsque la fréquence de plasma au niveau du satellite est très basse, c'est-à-dire inférieure à environ 0,1 MHz, la superposition des flèches fB et fT empêche d'observer la fréquence de coupure de l'onde x, fxS. On peut déduire une valeur approximative de fxS du battement  $\Delta f = (fT-fB)$  (paragraphe 5.32), ou simplement insérer une très faible valeur "factice" de fN (par exemple 0,03 MHz). On obtient alors la valeur finale de fxS (et de fN ou de N) par itération [G.E.K. Lockwood, *Radio Science*, 5, 575, 1970].

**5.45.** Les satellites qui se déplacent sur des orbites elliptiques changent d'altitude au cours de l'enregistrement d'un ionogramme ; pour Alouette II cu ISIS 1, cette variation d'altitude peut atteindre 10 km ; si l'on néglige cet effet, les distributions électroniques calculées seront entachées d'erreurs systématiques. On dispose maintenant de programmes d'ordinateur qui tiennent compte de ce changement d'altitude.

#### 5.5. LE PROBLEME DU RECOUVREMENT

5.51. Lorsque la hauteur du maximum d'ionisation de la région F est déduite pour la même heure et le même lieu d'un sondage en contrebas et d'un sondage en contre-haut, la valeur obtenue en contrebas est souvent plus élevee que celle obtenue en contre-haut. Il est clair que ce phénomène de recouvrement (voir Fig. 5.4) est dû aux limitations de l'interprétation et de l'analyse de l'une ou des deux séries de données. Plusieurs chercheurs ont trouvé des recouvrements allant jusqu'à 50 km; plus le satellite est haut, plus le recouvrement est important [I p. 976]. Cependant, de récentes études sur le problème du recouvrement montrent que les profils obtenus à partir d'ionogrammes en contre-haut de grande qualité sont en accord avec des profils obtenus par diffussion incohérente, au moins en Europe occidentale (Fig. 5.5) [L. Fleury et C. Taïeb, J. Atmosph. Terr. Phys., 33, 909-918, 1971].

#### 5.6. NOMENCLATURE RECOMMANDEE POUR LES SONDAGES EN CONTRE-HAUT

- 5.61. Etant donné que les sondages en contre-haut et en contrebas sont souvent utilisés ensemble, il est souhaitable que la nomenclature et les symboles utilisés dans les deux cas soient aussi cohérents que possible. Cependant, au début des sondages en contre-haut, certaines différences, qui apparaissent dans les publications, ont été instaurées et il est difficile de les modifier. Dans le paragraphe 5.64 ci-dessous, les formulations différentes souvent utilisées sont indiquées entre parenthèses. En général, on a utilisé les symboles avec des indices dans le texte ou lorsqu'il s'agit d'une valeur théorique et des symboles sur la même ligne lorsqu'il s'agit de données. Ainsi fN est la valeur théorique de la fréquence de plasma et fN, la valeur mesurée.
- **5.62.** Les caractéristiques foF2, fxF2, foF1, fxF1, foEs et fxEs ont la même définition pour les sondages en contre-haut et en contrebas.Les caractéristiques foF1 et fxF1 ne peuvent être observées sur les ionogrammes en contre-haut que pendant les "conditions G", c'est-à-dire lorsque foF1 et fxF1 sont supérieures à foF2 et fxF2.
- **5.63.** Les caractéristiques fN, fB, fT, foS, fxS,fzS,fzI, nfB et 2fT, telles qu'elles sont définies au paragraphe 5.64, sont maintenant communément utilisées pour les ionogrammes en contre-haut pour décrire les valeurs observées, calculées ou théoriques des fréquences caractéristiques du plasma ionosphérique au niveau du satellite (distance virtuelle nulle). Les relations théoriques entre les fréquences caractéristiques électromagnétiques, foS, fxS, fzS et fzI ont été déduites de l'équation d'Appleton-Lasser en négligeant les chocs. On peut déduire les fréquences fN et fT de la théorie du plasma froid, mais il faut appliquer la théorie du plasma chaud pour les fréquences nfB. Les valeurs observées pour les fréquences des flèches de résonance et les fréquences de coupure, ou les valeurs calculées à partir de l'une ou plusieurs de ces caractéristiques et de modèles de champ magnétique sont compatibles entre elles avec une précision supérieure à 20 kHz, largeur de l'impulsion émise [I p. 1135]. Les comparaisons entre les valeurs observées sont limitées par :
  - (i) la précision du dépouillement,
  - (ii) la précision de l'interpolation entre les marques de fréquences et celle des modèles de champ,
  - (iii) la présence d'irrégularités dans le plasma ionosphérique,
  - (iv) l'application de la théorie.

Les différences de plusieurs kHz [I p. 1139] entre les flèches de résonance nfB relevées sur les ionogrammes d'Alouette I et II et les modèles de champ sont encore controvervées ; elles peuvent être attribuées à une ou plusieurs des raisons indiquées ci-dessus.

**5.64. Nomenclature** : Si l'on utilise les conventions bien connues :

 $X = fN^2/f^2$ ; Y = fB/f

On obtient les définitions et les relations suivantes :

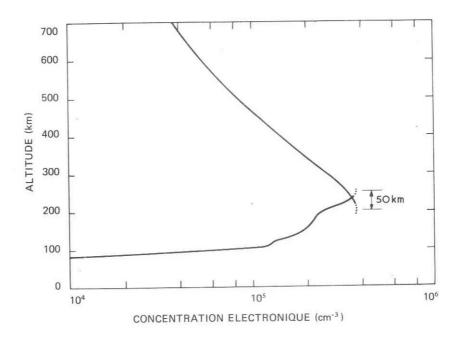


Fig. 5.4 Comparaison des distributions de la concentration électronique en contre-haut et en contrebas déduites d'ionogrammes enregistrés le 4 Juillet 1966. L'ionogramme en contrebas a été enregistré à Fort Belvoir à 13H15 TU et la distribution en contre-haut est la moyenne de deux distributions obtenues à partir des ionogrammes d'Alouette II à 13H14 TU lorsque le satellite était à 2200 km au-dessus des points situés respectivement à 0.8°N, 0.1°W et 0.6°S, 0.3°W de Fort Belvoir.

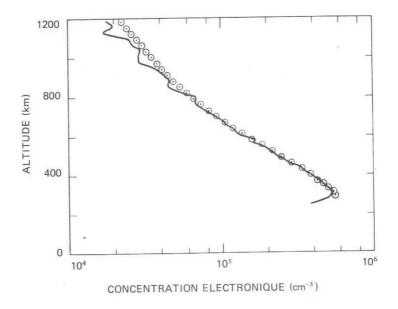


Fig. 5.5 Comparaison entre les profils N(h) obtenus à 18H24 TU le 30 Juin 1968, par Alouette II (cercles) et le radar à diffusion incohérente (trait plein) à Malvern, Angleterre. Le satellite était à 1190 km au-dessus d'un point situé à 50 km au sud-ouest de Malvern, et l'ionogramme a été enregistré au cours de l'intervalle nécessaire pour obtenir les données par le radar à diffusion incohérente.

### Caractéristiques de fréquence

$fN(f_N)$	-	flèche à la fréquence de plasma au niveau du satellite	us'.	(X = 1)
fB(f <sub>H</sub> )	-	flèche à la gyrofréquence au niveau du satellite		(Y = 1)
fT(f <sub>T</sub> )	_	flèche à la fréquence hybride haute		$(X = 1 - Y^2)$
foS	-	fréquence de coupure basse de l'onde o au niveau du satellite		$(X = 1-Y^2)$ (X = 1)
fxS	-	fréquence de coupure basse de 'l'onde x au niveau du satellite		(X = 1-Y)
fzS	-	fréquence de coupure basse de l'onde z au niveau du satellite		(X = 1+Y)
fzI .	-	fréquence de coupure haute de l'onde z au niveau du satellite à laquelle le retard de groupe devient infini pour une propagation verticale		$(X = \frac{1-Y^2}{1-Y^2\cos^2\Theta})$
nfB(nf <sub>H</sub> )	-	flèche au n <sup>i</sup> ème harmonique de la gyrofréquence au niveau du satellite pour n>1		$(Y = \frac{1}{2}, \frac{1}{3} \text{ etc})$
2fT(2f <sub>T</sub> )	-	la flèche au second harmonique de la fréquence hybride haute au niveau du satellite		$(X = \frac{1}{4} - Y^2)$

Notes sur les caractéristiques de fréquences :

(i) fN et foS sont numériquement identiques dans des conditions idéales mais sont déduites de phénomènes différents,

(ii) fN est la fréquence du plasma ambiant mesurée au niveau du satellite,

(iii) fN, fB, fT, fzI; nfB et 2fT peuvent aussi être utilisées pour les fréquences caractéristiques du plasma ionosphérique à un niveau quelconque dans l'ionosphère mais se réfèrent aux valeurs au niveau du satellite sauf indication contraire,

(iv) dans le texte, les formes avec indice  $f_N$ ,  $f_B$ ,  $f_T$  etc... sont permises mais les indices ne sont jamais utilisés pour les données tabulées.

Caractéristiques de hauteur :

n

2

hS - altitude du satellite au-dessus du niveau moyen de la mer. Il n'y a pas de symbole adopté pour la profondeur virtuelle ou la distance apparente, bien que r' soit souvent employé.

# 5.65 LETTRES QUALIFICATIVES

On peut utiliser des lettres qualificatives après une valeur numérique, dans les tableaux des valeurs de la fréquence de plasma fN ou de la densité N au niveau du satellite pour indiquer comment la valeur de la caractéristique a été obtenue

O - Caractéristique obtenue à partir de foS (fréquence de coupure de l'onde o)

X - Caractéristique obtenue à partir de fxS (fréquence de coupure de l'onde x)

Z - Caractéristique obtenue à partir de fzS (fréquence de coupure de l'onde z)

N - Caractéristique obtenue à partir de la flèche fN (résonance du plasma)

H,(T)- Caractéristique obtenue à partir de la flèche fT (résonance hybride haute)

R - Caractéristique obtenue à partir de la flèche 2fT

B - Caractéristique obtenue à partir de (fT-fB) ou du battement Δf

P - Caractéristique obtenue à partir du profil N(h) par itération.

On peut aussi utiliser une lettre qualificative après une valeur numérique pour indiquer que la caractéristique est inférieure ou supérieure à la valeur numérique :

- E Caractéristique inférieure à la valeur relevée
- D Caractéristique supérieure à la valeur relevée

Comme pour les ionogrammes en contrebas, on déduit souvent foF2 de fxF2 et on l'indique par la lettre qualificative normalisée après la valeur numérique de foF2 :

- J Caractéristique déduite de fxF2
- U Valeur incertaine, voir paragraphe 5.66
- Notes : (a) H n'est utilisée que dans les tableaux de fN
- (b) Les lettres qualificatives B et P ne sont utilisées que lorsque la densité électronique au niveau du satellite est très faible.

### 5.66. Emploi des lettres qualificatives

- (a) Lorsqu'on utilise une lettre qualificative, on doit la faire suivre d'une lettre descriptive qui indique pourquoi la qualification était nécessaire,
- (b) Quand on relève une valeur déduite alors que la valeur directe était mesurable avec une précision convenable, on répète la lettre qualificative comme lettre descriptive.

#### 5.67. Application des règles de précision

Il est possible que les règles de précision données ci-dessous, qui étaient appliquées en 1970 dans les principaux centres de dépouillement, soient modifiées dans le futur (paragraphes 5.8 et 5.9).

Ceux qui analysent les ionogrammes en contre-haut pour des études locales peuvent appliquer les règles de précision exposées au chapitre 2, en remarquant que la précision de lecture des hauteurs varie avec la profondeur explorée. Jusqu'à une distance d'environ 1000 km,  $\Delta=5$  km, au-delà  $\Delta=10$  km. A moins que l'équipement d'enregistrement ne soit très bon, il n'est pas possible de maintenir la précision de fréquence 1 du code A (paragraphe 5.84 ci-dessous). Dans ce cas, l'intervalle de fréquence  $\Delta$  sera choisi d'après le code A2 au lieu du code A1. Il est intéressant d'adopter la convention appliquée aux ionogrammes en contrebas, qui permet de faire varier les limites de précision en fonction de la fréquence de façon à obtenir des limites fixes en pourcentage.

Les règles appliquées aux ionogrammes en contre-haut qui permettent des imprécisions illimitées avec les symboles 4 et 5 (correspondant aux lettres E, D en contrebas) peuvent conduire à de sérieusess erreurs. Il est recommandé d'appliquer les règles du contrebas avec des limites définies.

### 5.68. Lettres descriptives

Chaque fois que possible, on devra utiliser pour les caractéristiques des ionogrammes en contrehaut les lettres descriptives normalisées pour les ionogrammes en contrebas (voir chapitre 3) en prêtant attention aux points suivants :

 $\it Emploi$  de  $\it J: Si Q$  est le symbole descriptif qui convient, foSJQ signifie que foS a été déduit de la valeur observée de fxS, la valeur foS n'étant pas mesurée à cause de Q. foSJJ signifie que foS a été déduite de fxS bien que foS ait été mesurable avec la précision voulue.

Emploi de H : Lorsque fN est déduite de fT et de fB parce que la valeur de fN était trop basse pour être observée directement, inscrire fNHE. Dans les autres cas, on utilisera la lettre descriptive qui indique pourquoi fN ne pouvait être observée directement, ou HH selon le cas.

# 5.69. Anomalies

Les ionogrammes en contre-haut peuvent présenter de la diffusion en fréquence (frequency spread) au voisinage de foF2 et de la diffusion en hauteur (range spread) en présence de couches inclinées. Des irrégularités alignées le long de lignes de force du champ magnétique ou de forts gradients horizontaux peuvent donner lieu à des réflexions intenses sur une séquence d'ionogrammes dont la distance apparente diminue lorsque le satellite se rapproche des lignes de force du champ siège des irrégularités [Clark et al., IEEE, 57, 493, 1969]. Il est aussi possible de recevoir des échos guidés par des tubes de force qui traversent l'orbite du satellite, et réfléchis dans l'ionosphère à l'une des extrêmités de ce tube de force [I p. 1019, 1097]. Les retards de ces échos peuvent atteindre plusieurs fois l'intervalle de temps entre des impulsions successives et ils ne sont visibles que :

(a) lorsque le balayage de la gamme de fréquences est suffisamment lent pour qu'ils se trouvent dans la bande passante du récepteur et

(b) lorsque le gradient entre les tubes de force est suffisant pour provoquer un bon piégeage.

### 5.7. REFERENCES

5.71. Il existe maintenant de nombreuses publications traitant des sondages en contre-haut. Nous attirons l'attention sur le "Special Issue on Topside Sounding and the Ionosphere" (numéro spécial sur les sondages en contre-haut dans l'ionosphère), publié par l'IEEE, Juini1969, 57, N° 6, p. 859 - 1172, qui contient un grand nombre d'ionogrammes en contre-haut, et la plupart des références antérieures à 1969 (voir paragraphe 5.76).

Des articles de synthèse intéressants sont parus dans les *"Annals of the IQSY"*,1969, 6, 167 - 185, par J.W. King et dans le *"Handbuch der Physik"*, XLIX/2, 503 - 520. Le premier résume les caractéristiques principales des sondeurs embarqués et indique où l'on peut se procurer les données.

- 5.72. Des données déduites de nombreux sondages en contre-haut ont été publiées. Les conventions adoptées sont résumées aux paragraphes 5.8 et 5.9. Ces données peuvent être divisées en deux groupes principaux :
  - (a) Tableaux synoptiques de caractéristiques normalisées
  - (b) Groupes sélectionnés de profils de densité électronique.

## 5.73. « Alosyn Data »:

Des caractéristiques synoptiques de sondages en contre-haut sont régulièrement analysées et publiées dans des fascicules appelés "Alosyn data" que l'on peut se procurer à l'adresse suivante :

Communications Research Center 1241 Clyde Avenue OTTAWA, Ontario K2C 1Y3, Canada

Ces données sont aussi disponibles sur bande magnétique sous forme numérique au Communications Research Center ci-dessus ou au :

World Data Center A for Rockets ans Satellites Goddard Space Flight Center Code 601 GREENBELT, Maryland, 20771, USA

# 5.74. Données de densité électronique.

Electron Densities and Scale Heights in the Topside Ionosphere - Alouette I Ames Research Center NASA San Francisco, Californie, USA

(Densités électroniques et échelles de hauteur dans l'ionosphère en contre-haut - Alouette I)

Data on Topside Ionosphere (Electron Densities and Scales heights from Alouette II - Observations over Japan) The Radio Research Laboratories Ministry of Posts and Telecommunications Tokyo, 184 - Japon

(Données sur l'ionosphère en contre-haut. Densités électroniques et échelles de hauteur pour Alouette II - Observations au-dessus du Japon)

Voici les références de quelques rapports de la NASA :

THOMAS, J. O., M. J. RYCROFT et L. COLIN

1966

Electron Densities and Scale Heights in the Topside Ionosphere: Alouette I Observations in Midlatitudes. NASA SP-3026.

CHAN, K. L., L. COLIN et J. O. THOMAS 1966

Electron Densities and Scale Heights in the Topside Ionosphere: Alouette I Observations over the American Continents - Volume I: November, December 1962 and January 1963. NASA SP-3027.

CHAN, K. L., L. COLIN et J. O. THOMAS	1966	Electron Densities and Scale Height Ionosphere : Alouette I Observation American Continents - Volume II : N NASA SP-3032.	is over the		
CHAN K. L., L. COLIN et J. O. THOMAS	1966	Electron Densities and Scale Height Ionosphere : Alouette I Observation American Continents - Volume III : September and October 1963. NASA SE	s over the June, July,		
5.75. Programmes de calcul sur ordinates	ur				
Profils N(h)		NASA Space Science Data Center Goddard Space Flight Center			
Modèle de champ magnétique "FIELDG"		Greenbelt, Maryland 20771, USA			
Invariant L de Mc Illwain "					
5.76. Articles concernant les son and the Ionosphere", Proc. IEEE, Juin 19		tre-haut dans le <i>"Special Issue on To</i> 859-1187.	pside Sounding		
Introduction, E.R. Schmerling and	d R.C. Langil	le	859		
I. Introduction					
Objectives, History, and Principa			16.30		
ISIS Programs, J. E. Jackson and Note on the Availability of Topsi	E. S. Warren ide Sounding	Data, L. L. Dubach	861 866		
II. Technique					
The development of a Series of Io Development of the Fixed-Frequence			867		
F. C. Zimmer Mechanical Design and Dynamics of	f the Alouett	e Spacecraft, J. Mar and T. Garrett s, C.A. Franklin and M. A. Maclean	876 882 897		
III. Traitement des données					
C. A. Franklin, R. J. Bibby, and	N. S. Hitchc		929		
and R. G. Green		uette I Ionograms, E. E. Ferguson	945		
Quick-look System for Virtual Rea P. R. Arendt, V. Rosati, and H. S		etry Reception of Topside Ionograms,	947		
The Interpretation of Topside Sou and G. L. Nelms	under Ionogra	ms, E. L. Hagg, E. J. Hewens,	949		
The Reduction of Topside Ionogram		n-Density Profiles, J. E. Jackson	960		
Comparison Between Topside and Gr A Computer-Aided System for Scali			976 986		
IV. Résultats scientifiques		A second			
A. Distribution de la densité éle	ectronique :				
Global Electron Density Distribut	tions from To	pside Soundings, K. L. Chan and			
L. Colin The High-Latitude Ionosphere, D.	H. Jelly and	I. F. Petrie	990 1005		
A Review of Topside Sounder Studi					
and J. W. King Ionospheric Irregularities Observ	ved by Topsid	e Sounders, W. Calvert and J. M.	1012		
Warnock On the Prediction of F-Layer Pene			1019		
G. E. K. Lockwood The Topside Ionosphere During Geo			1025 1029		
B. Autres données :					
Ionospheric Ion Composition Deduc	ced from VLF	Observations, R. E. Barrington	1036		
Radio Noise Levels Within and Abo On the High-Latitude Limit of Clo			1042		
I. B. McDiarmid, and M. D. Wilson			1051		

The cylindrical Electrostatic Probes Employed on Alouette II and Explorer XXXI Satellites, J. A. Findlay and L. H. Brace Comparison of Cylindrical Electrostatic Probe Measurements on Alouette II and Explorer XXXI Satellites, L. H. Brace and J. A. Findlay The Thermal Ion and Electron Trap Experiments on the Explorer XXXI Satellite, J. L. Donley Ion Mass Spectrometer on Explorer XXXI Satellite, J. H. Hoffman Explorer XXXI Total Current Monitor Experiments, E. J. R. Maier The Langmuir Plate and Spherical Ion Probe Experiments Aboard Explorer XXXI, G. L. Wrenn Comparison of Results of Explorer XXXI Direct Measurement Probes, J. L. Donley, L. H. Brace, J. A. Findlay, J. H. Hoffman, and G. L. Wrenn Results derived From Simultaneous Measurements Using the Langmuir Plate and Spherical Ion Probe on Explorer XXXI and the Ionosonde on Alouette II, G. L. Wrenn and P. A. Smith	1054 1057 1061 1063 1068 1072
C. Effets du plasma et de la propagation :	1085
Topside-Sounder Resonances, W. Calvert and J.R. McAfee Nonvertical Propagation and Delayed-Echo Generation Observed by the Topside Sounders, D. B. Muldrew Nonlinear Plasma Effects in the Alouette Recordings, T.R. Hartz and R. E. Barrington	1089 1097 1108
D. Théorie :	
Diffusive Equilibrium in the Topside Ionosphere, S.J. Bauer A Review of the Theories Concerning the Equatorial F2 Region Ionosphere, R. A. Goldberg	1114 1119
E. Articles divers :	
Day-Night Variation of Alouette II Secondary Resonances, J. D. Barry, P. J. Coleman, W. F. Libby, and L. M. Libby Properties of High-Latitude Ionospheric Ducts Deduced from Alouette II Two-Hop Echoes, D. B. Muldrew and E. L. Hagg Sideband Structure Observed by Topside Sounders, J. M. Warnock Frequency Shifts Observed in the Alouette II Cyclotron Harmonic Plasma Resonances, R. F. Benson	1126 1128 1135
Model Studies of the Kinked Z Trace in Topside Ionograms, L. Colin and K. L. Chan	1139 1143
The Middle-Latitude F Region During Some Severe Ionospheric Storms, R. B. Norton	1143
The structure of the Topside Ionosphere Deduced from Alouette Data, N. Matuura and T. Ondoh Temperature and Ion Abundance Profiles Deduced from Simultaneous Explorer XXXI	1150
and Alouette II Data, L. Colin, S. W. Dufour, and D. S. Willoughby Alouette Observations Taken During a Middle-Latitude Red Arc. R. B. Norton and	1154
E. Marovich Preliminary Results of Comparison Between Thomson Scatter and Topside Sounder Measurements, C. Taieb	1158
Electron Densities Less Than 100 Electron cm <sup>-3</sup> in the Topside Ionosphere, P. Timleck and G. L. Nelms Correction to "Network Theory Without Circuit Elements", H. J. Carlin	1161 1164 1171

# 5.8. CONVENTIONS ET SYMBOLES UTILISES POUR LES DONNEES EN CONTRE-HAUT CANADIENNES

**5.81.** Les données synoptiques sont généralement mises sous forme de tableau au moyen d'ordinateurs de sorte que les symboles utilisés sont ceux dont disposent les imprimantes des ordinateurs. C'est pourquoi les conventions normales, f pour la fréquence, o x z pour les composantes de l'onde, etc... sont remplacées par les lettres majuscules équivalentes. Pour les tableaux établis manuellement, la forme normalisée est préférable.

5.82. Les symboles utilisés dans les tableaux synoptiques des données d'Alouette et d'Isis sont :

- YR Année
- MO Mois
- DY Jour du mois
- GMT Temps universel auquel l'enregistrement est fait, en heures, minutes et secondes, avec les minutes et les secondes séparées par un point.

L'heure correspond à 3,0 ± 1 secondes avant l'apparition de la marque de fréquence 0,5 MHz.

LMT Temps local moyen en heures et minutes

LONG Longitude

LAT Latitude

HGT Altitude du satellite

CHI Angle zénithal du soleil

DIP Inclinaison du champ magnétique terrestre au niveau du satellite

FH Gyrofréquence au niveau du satellite, en MHz. L'inclinaison et la gyrofréquence sont généralement calculées en utilisant la suite des 48 coefficients harmoniques sphériques pour le champ magnétique B de la terre, d'après Jensen et Cain (pour 1960).

JFOS Fréquence de l'onde ordinaire au niveau du satellite, calculée à partir de la fréquence de plasma de l'onde extraordinaire observée FXS

FXS Fréquence de l'onde extraordinaire observée au niveau du satellite

FOF2 Fréquence de pénétration de l'onde ordinaire observée de la couche F2

JF0F2 Fréquence de pénétration de l'onde ordinaire de la couche F2, calculée à partir de la fréquence de pénétration de l'onde extraordinaire observée de la couche F2, FXF2. On utilise pour ce calcul la gyrofréquence correspondant à une altitude de 300 km.

FXF2 Fréquence de pénétration de l'onde extraordinaire observée de la couche F2

FES Fréquence maximale à laquelle est observée E sporadique

G Intensité du signal renvoyé par la Terre d'après le code suivant :

1. Echos nets et intenses

2. Echos intermittents et faibles

3. Pas d'échos observés

KP Indice magnétique planétaire tri-horaire : les symboles - ο, ε remplacent les habituels ο et + dans la seconde colonne de l'indice Kp. Le symbole "- ο" dans une colonne des tableaux indique que la caractéristique n'a pas été observée sur l'ionogramme.

5.83. La précision et la qualité des observations sont codées selon les tableaux suivants et inscrites dans les colonnes FOF2A, FOF2Q, FXF2A, FXF2Q, FXFSA, FXSQ, FESQ. La précision est donnée par l'erreur estimée avec les symboles numériques 4 et 5 qui signifient que la grandeur est inférieure ou supérieure à la valeur inscrite. 4 et 5 correspondent à E et D à cela près qu'aucune limite de précision n'est imposée dans leur emploi. En pratique, de telles valeurs sont souvent sources d'erreurs.

# 5.84. Limites de précision

Deux codes sont utilisés pour indiquer la précision (en 1971 et avant) : le code A pour l'erreur estimée et le code Q pour la qualité de la trace

	C	ode A	FX	.S	F0F2 e	t FXF2
1	Erreur est	imée inférieure à	0,025	MHz	0,05	MHz
2	11	п	0,05	MHz	0,10	MHz
3	11	n n	0,10	MHz	0,20	MHz
100		ALCOHOLOGICAL MARKET PROPERTY.				

4 Inférieur à la valeur inscrite

5 Supérieur à la valeur inscrite

## 5.85. Qualité de la trace réfléchie

Code Q	Pas d'échos diffus	Trace un peu diffuse	Trace moyennement diffuse	Trace fortement diffuse
Sans ambiguité	А	D	G	J
Traces obliques	В	Ε	Н	K
Rebroussements et/ ou fourches sur les enregistrements	С	F	I	L

Dans ce tableau, la classification des échos F-diffus correspond à l'importance de la diffusion à la hauteur apparente et la fréquence particulières auxquelles le paramètre a été obtenu. Ce n'est pas une classification de F-diffus pour l'ionogramme considéré dans son ensemble.

5.86. Il est possible que les limites de précision soient modifiées ultérieurement.

# 5.9. CONVENTIONS ET SYMBOLES UTILISES POUR LES DONNEES SYNOPTIQUES DE LA NASA ET DE AMES

5.91. S	ymboles, abréviations et unités (pour les satellites Alouette et ISIS)
N	Densité électronique exprimée en $10^{11}  \text{m}^{-3}  (10^5 \text{cm}^{-3})$
Н	Echelle de hauteur du plasma, en km
h	Hauteur réelle au-dessus du sol, en km
Pass	Numéro du passage d'Alouette I
SPoint	Station de poursuite de South Point, Hawaï
UT LT	Temps universel indiqués comme suit : XX XX XX Tous les zéros à l'extrême gauche sont supprimés.
SAT	Densité électronique à l'altitude du satellite
NT	Contenu électronique (densité électronique intégrée) en $10^{9} \mathrm{m}^{-2}$ ( $10^{13} \mathrm{cm}^{-2}$ )
Date	indiquée ainsi : XX XX XX , tous les zéros sont supprimés Année mois jour
HS	Altitude du satellite en km
LONG	Longitude géographique, en degrés, le signe + indique une longitude à l'est de Greenwich, le signe - à l'ouest
LAT	Latitude géographique, en degrés, le signe + indique une latitude nord, le signe - une latitude sud
DIPL	Latitude magnétique en degrés, le signe + indique une latitude magnétique nord, le signe - une latitude magnétique sud
INVL	Latitude magnétique invariante, en degrés
L	Numéro de la coquille magnétique L (paramètre de Mc Illwain)
DIP	Inclinaison magnétique en degrés, le signe + indique une latitude magnétique nord, le signe - une latitude magnétique sud
FHS	Gyrofréquence électronique au niveau du satellite, en MHz
KP	Indice d'activité magnétique planétaire, 0o, 0+, 1-, 1o, 1+

- QUAL Facteur de qualité de l'ionogramme
- SNL Indication sur l'éclairement par le soleil : 1 (satellite éclairé par le Soleil), 0 (satellite non éclairé par le Soleil)

#### 5.92. Facteur de qualité

Le facteur de qualité pour chaque ionogramme est codé par un nombre de 2 chiffres (11, 21, 31, 12, 22, 32, 13, 23, 33) défini comme suit :

#### Premier chiffre :

- 1. Ionogramme d'excellente qualité. La trace extraordinaire est fine, bien contrastée, facilement identifiable, presque continue, et ne peut être confondue avec la trace ordinaire; elle ne présente ni diffusion ni résonance sur toute la longueur. Pas d'échos dont l'interprétation est incertaine.
- 2. Ionogramme de bonne qualité. La trace extraordinaire n'est pas trop diffuse, elle est bien contrastée, facilement identifiable sur presque toute son étendue, elle ne présente pas de grandes interruptions qui ne soient faciles à interpoler et aucune confusion importante n'est possible avec la trace ordinaire ou avec des traces diffuses, des résonances, ou des traces dont l'interpolation est incertaine.
- 3. Ionogramme de mauvaise qualité, mais lisible. Diffusion considérable, manque de contraste, superposition des traces et des résonances, traces dont l'interprétation est douteuse etc. La précision du dépouillement est douteuse.

#### Deuxième chiffre :

- 1. fxF2 nettement visible et lisible
- 2. fxF2 pas tout à fait visible mais la fréquence visible la plus élevée voisine de fxF2 où la présence de réflexions sur le sol permettraient une estimation de fxF2.
  - 3. fxF2 non visible.
  - 5.93. De plus amples détails sont donnés dans le rapport : NASA SP-3039.

#### CHAPITRE 6

#### GRAPHIQUES DE FREQUENCES (« f-PLOT »)

#### 6.0. GENERALITES

Le "f-plot" est un graphique journalier représentant les caractéristiques de fréquence des traces des ionogrammes en fonction du temps, selon des conventions admises sur le plan international pour que les observations détaillées de différentes stations puissent être effectivement comparées [A 135 F, Fig. 153 et 154].

A l'origine, cette technique a été mise en oeuvre pour permettre le dépouillement d'ionogrammes compliqués et variant rapidement dans les stations de haute latitude, en évitant d'avoir à prendre des décisions difficiles et souvent arbitraires pour l'interprétation des ionogrammes individuels. Cependant le f-plot s'est rapidement avéré un moyen très efficace de dépouillement et d'étude de données trop compliquées ou trop nombreuses pour être tabulées de façon conventionnelle, et il est devenu un outil primordial pour l'analyse des variations de l'ionosphère d'une heure à l'autre ou d'un jour à l'autre. Il ne faut négliger aucun de ces deux aspects.

En principe toute caractéristique de fréquence peut être notée sur un f-plot. En pratique, on en a choisi certaines pour le dépouillement international à la fois utiles et faciles à transcrire. On peut en ajouter d'autres pour des études ionosphériques locales ou régionales à condition qu'elles ne puissent prêter à confusion avec les caractéristiques normalisées ; par exemple, foF1,5 dans les stations équatoriales.

Le seul problème difficile posé par le dépouillement d'ionogrammes est d'obtenir des valeurs horaires représentatives lorsque les conditions varient rapidement, ou en présence de réflexions obliques ou d'échos diffus. Ainsi dans certaines régions, il est souvent impossible de déduire certaines caractéristiques d'un ionogramme enregistré à une heure donnée alors qu'elles sont identifiables sur certains ou tous les ionogrammes enregistrés plus tôt ou plus tard. La séquence indique alors si la caractéristique variait peu au moment de l'observation manquante ; dans ce cas il est permis d'interpoler et la séquence suggère la meilleure méthode pour effectuer cette interpolation. Il est en général déconseillé de remplacer une valeur précise mais non représentative par une valeur interpolée car cela complique l'analyse de perturbations importantes mais rares. Ce remplacement est permis, en principe, (voir la lettre T qualificative et descriptive) pour obtenir des valeurs représentatives suffisantes pour les prévisions et les études géophysiques, mais on n'utilisera ce procédé que lorsque des études scientifiques des ionogrammes auront montré qu'il valorise réellement les données.

Le f-plot permet de reconnaître facilement les phénomènes transitoires et facilite donc l'identification des phénomènes plus stables, ce qu'il est difficile de faire lorsqu'on examine les ionogrammes lors du dépouillement. Pour les échos diffus, on relève l'intervalle des valeurs possibles de la fréquence critique. Pour les ionogrammes complexes, le graphique f-plot est établi sans se préoccuper de reconnaître les traces o, x ou z, ni de faire la distinction entre échos zénithaux ou échos obliques. Le f-plot fournit ainsi un résumé des observations initiales avec le minimum d'interprétation, et permet, dans les cas difficiles, de décider des valeurs horaires à tabuler compte tenu de toutes les données dont on dispose. Ceci s'applique particulièrement aux stations de haute latitude où des absorptions totales (black-out), des échos diffus ou des réflexions obliques rapidement variables empêchent souvent d'observer les caractéristiques normales sur les enregistrements horaires individuels. Le f-plot devrait être utilisé pour diminuer le nombre des inscriptions non numériques dans les tableaux horaires.

Normalement toutes les données classiques de fréquence, à l'exception de foEs, sont transcrites sur le f-plot. Les valeurs horaires de foEs et celles des caractéristiques autres que des fréquences, telles que facteurs de MUF et hauteurs virtuelles minimales doivent par conséquent être tabulées séparément. Le f-plot et la feuille de dépouillement journalière peuvent être établis en même temps ou séparément à condition de les comparer soigneusement pour s'assurer que les interpolations ont été faites à partir du f-plot pour compléter les valeurs horaires dans les tableaux lorsque cela est possible, et pour s'assurer que les valeurs horaires du f-plot sont cohérentes. S'il y a lieu, on remplacera des valeurs incohérentes, douteuses dans les tableaux par des valeurs interpolées sur le f-plot.

Avec l'essor des ionosondes fonctionnant à des fréquences basses, il s'est avéré nécessaire de remplacer le f-plot classique par une nouvelle version, avec quelques règles et symboles additionnels (voir  $\S$  6.1). Une technique très rapide pour établir les graphiques f-plot est décrite au paragraphe 6.14.

#### 6.1. FORMAT DE f-PLOTS

**6.11. Normes AGI** Le f-plot classique utilisé pendant l'AGI est une grille de fréquence-temps permettant des pointés quadrihoraires ou, dans certains cas, toutes les 10 minutes. L'échelle de fréquence est linéaire de 0 à 10 MHz, puis logarithmique de 10 à 25 MHz. Certaines stations où les fréquences extrêmes n'atteignent jamais ces valeurs élevées utilisent des échelles qui s'arrêtent à 15 ou 20 MHz.

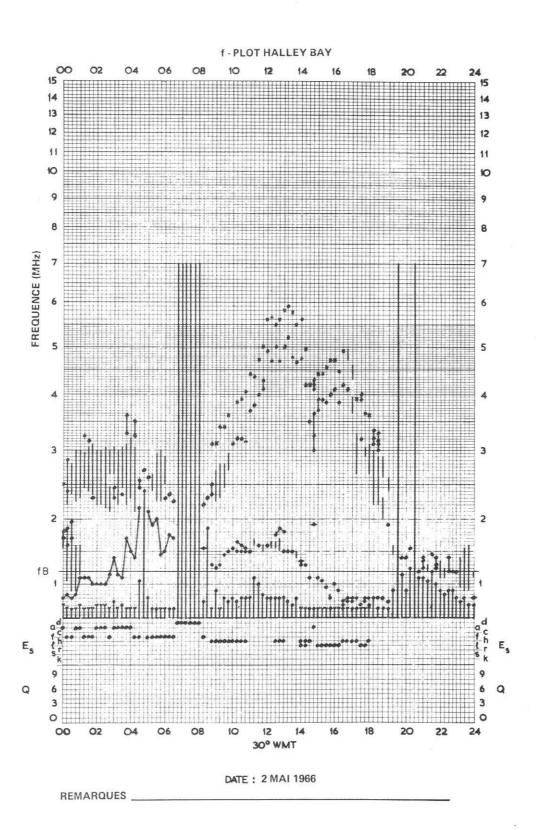


Fig. 6.1 Remarquez fB, calculée à 110 km

Le format classique comporte une échelle linéaire de 15 mm par MHz de 0 à 10 MHz. L'échelle est comprimée aux fréquences plus élevées et l'ordonnée y (en mm) est reliée à la fréquence f (en MHz) par

$$y(mm) = 345,4 \log \frac{f(MHz)}{10} - 195,4$$

Ceci assure la continuité à 10 MHz. Les échelles de temps sont habituellement de 8 à 9 mm par heure pour les enregistrements quadrihoraires et d'environ 10 mm par heure pour les enregistrements toutes les 10 mn. Avec des intervalles plus petits, les graphiques sont difficiles à reproduire correctement.

Pour l'échelle de fréquence, les traits repères sont tracés tous les 0,1 MHz au-dessous de 15 MHz et tous les 0,2 MHz au-dessus ; ils sont renforcés tous les MHz. Pour l'échelle du temps, les traits repères correspondent aux observations : par exemple 4 traits par heure pour les sondages quadrihoraires et traits horaires sont renforcés.

En haut ou en bas du f-plot figure une petite échelle supplémentaire destinée à noter l'occurence des types d'Es. Ce graphique comporte normalement 5 à 8 lignes horizontales espacées de 3 mm environ.

L'expérience montre que ce format est satisfaisant à condition de prendre soin de faire les inscriptions, surtout pour les traits pleins, assez épaisses pour qu'on puisse les distinguer de la grille stations sont illisibles, donc inutilisables.

## 6.12. Format du f-plot pour les stations travaillant avec des fréquences basses

Il est souhaitable que ces graphiques (f-plots) aient, si possible, la même dimension que les f-plots normaux mais que l'échelle soit dilatée au-dessous de 1 MHz. Etant donné que, pendant plus de la moitié du temps, on n'obtient pas de données au-dessous de 1 MHz, on peut faire un compromis entre la facilité du pointage et l'espace nécessaire. La partie du f-plot qui est la plus utilisée (c'est-à-dire de 2 à 8 MHz ne devrait pas être sensiblement plus petite que celle du format AGI (§ 6.11).

Une échelle convenable est celle dont l'intervalle entre les traits 0,1 MHz décroît en progression géométrique de 3 mm à 0 MHz à 1,5 mm à 1,5 MHz. Si x(f) est l'intervalle entre f et f + 0,1 MHz, le format standard est donné par :

$$Log_{10} x(f) (mm) = 0,477 - 0,22 f(MHz)$$

Le reste du f-plot est identique à celui de l'AGI, si ce n'est que la fréquence la plus élevée est limitée à 23 MHz.

Un trait épais sera tracé sur le f-plot à la gyrofréquence moyenne, fB, calculée à 0,1 MHz près, pour une altitude normalisée pour E ou F, par exemple 110 ou 200 km, à partir de l'équation :

$$fB(MHz) = 2.8 \left(\frac{R_E}{R_F + h}\right)^3 Bo(Gs)$$

où Bo est le champ total au niveau du sol exprimé en gauss (Gs) et  $R_{\mathsf{E}}$  le rayon terrestre. Il existe des cartes de Bo dont la valeur est comprise entre 0,3 et 0,6 Gs.

On peut aussi prendre un intervalle de 3 mm par 0,1 MHz de 0 à 1 MHz, puis l'échelle standard, mais l'échelle de fréquence est alors discontinue. Si on utilise cette échelle, on renforcera le trait à d'utiliser le format standard.

## 6.13. Recommandations pour l'emploi du format standard pour les fréquences basses

Les stations dont les ionosondes explorent à partir de 0,7 MHz ou plus doivent utiliser le format standard AGI. Les stations dont les ionosondes explorent à partir de 200 kHz environ, adopteront le nouveau format standard (§ 6.12) si la qualité des ionogrammes dans la partie basse fréquence et la quantité données supplémentaires justifient le changement.

# 6.14. Format adapté aux échelles des ionogrammes en vue de l'établissement des f-plots par projection

On peut gagner du temps si on dispose de feuilles de f-plot dont les échelles coïncident avec celles des ionogrammes projetés comme dans les conditions de travail habituelles. Les inscriptions appropriées peuvent alors être relevées directement sur le graphique à l'endroit exact de l'observation, en prenant soin de faire coïncider les repères de fréquences de l'ionogramme et ceux du f-plot, surtout au voisinage de la fréquence à relever. Le processus est le suivant :

On fixe la feuille f-plot sur l'écran de l'agrandisseur et on fait coı̈ncider les repères de fréquence de l'ionogramme avec ceux du f-plot.

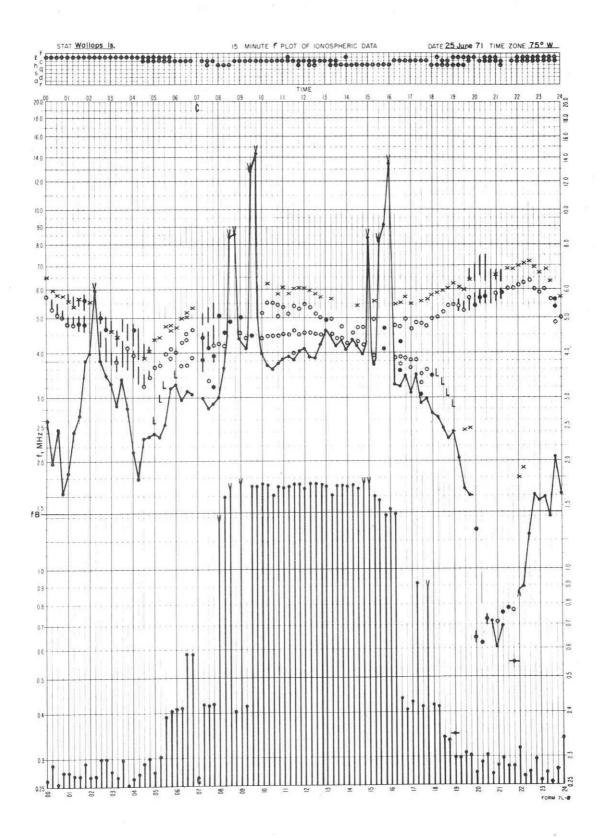


Fig. 6.2 f-plot basse fréquence Remarquez fB, calculée à 200 km

On utilise un triangle ou une règle de plastique ordinaire comme guide lors du transfert sur le f-plot des données de ces ionogrammes projetés. On en aligne le bord successivement sur les caractéristiques de fréquence. Le symbole qui convient est alors inscrit sur le graphique au point d'intersection de la règle et de la ligne repère correspondant à l'heure considérée. La règle permet aussi de relier plus facilement les points qui indiquent fbEs et de tirer les traits représentant la diffusion entre fmI

Les types d'Es sont inscrits d'après l'examen de l'ionogramme.

Cette technique fait gagner du temps et est donc préférable à la méthode normale qui est laborieuse, mais elle rend très difficile la comparaison des graphiques de stations différentes. En pratique, les f-plots sont généralement reproduits avec une échelle réduite, variable d'une station à l'autre, de sorte que cet inconvénient est commun aux deux méthodes.

#### 6.2. CARACTERISTIQUES A TRANSCRIRE

Les fréquences critiques de l'onde ordinaire de toutes les couches normalement observées doivent figurer sur le f-plot. S'y ajoutent fmin, toutes les valeurs de fbEs et les composantes x et z pour la couche F2. Les caractéristiques normalisées échangées sous cette forme sont donc :

foF2, fxF2, fzF2, foF1, foE, fbEs, fmin.

La plus haute valeur relevée (extrêmité du trait en présence d'échos diffus) donne fxI.

Il est utile de relever fzE lorsqu'elle est visible.

Les graphiques habituels comportent aussi une grille spéciale pour inscrire les types d'Es présents, Les graphiques habituels comportent aussi une grille speciale pour inscrire les types des presents qui peut être dans le bas ou le haut du f-plot. Il est souhaitable, particulièrement pour les stations de haute latitude, d'ajouter une ligne supplémentaire, k, pour E nocturne car des séquences d'Es a, E nocturne ou Es r sont fréquemment observées et intéressantes à étudier.

#### 6.3. SYMBOLES POUR LE f-PLOT

Les symboles suivants ont été normalisés sur le plan international :

(a) Les fréquences critiques de l'onde ordinaire non qualifiées d'après les règles de précision, sont inscrites sous forme de cercles vides (Fig. 6.3).

Il faut remarquer que la fréquence critique du mode ordinaire de E nocturne doit toujours être indiquée par un cercle vide sinon on ne pourrait pas l'identifier car elle est très variable dans le temps. Quand foE pour E nocturne correspond à fbEs, on utilisera un cercle vide encadré par deux tirets comme pour fbEs (voir § 6.6).

(b) Les fréquences critiques des modes extraordinaires et z de la couche F2 sont indiquées respectivement par x ou z lorsqu'elles ne sont pas qualifiées. Si elles sont douteuses, elles seront représentées

par un cercle plein (voir (a) ci-dessous) ou un trait plein vertical.

On n'inscrit pas les fréquences critiques x et z des couches E et F1 car elles rendent le f-plot confus sans apporter d'informations supplémentaires. On peut les relever lorsque la fréquence ordinaire n'a pu être observée ou lorsqu'elles peuvent aider à interpréter une séquence d'observations. On peut relever fzE pour montrer son occurence si on ne l'observe que rarement dans le but d'une éventuelle étude locale ou régionale du phénomène.

- (c) Si l'identification d'une fréquence critique est douteuse ou si la valeur numérique est incertaine selon les règles de précision, la valeur la plus probable est indiquée à l'aide d'un cercle plein (Fig. 6.4). Ceci s'applique à toutes les composantes o, x ou z. Quand les valeurs d'un ionogramme particulier relevées sur le f-plot sont toutes douteuses pour la même raison, on peut inscrire la lettre descriptive en haut du graphique.
- (d) Si, en appliquant les procédures décrites au paragraphe 2.7, on a pu identifier le mode quasi-vertical sur un ionogramme complexe, et si la fréquence critique peut être définie dans la limite des règles de précision, on indiquera cette fréquence par un cercle vide même si la trace est faible et haute comparée aux autres traces présentes.
- (e) En présence d'échos diffus sur une large bande d'altitude, la diffusion au voisinage de la fréquence critique sera représentée par une ligne droite verticale s'étendant sur tout l'intervalle de fréquence critique sera representee par une ligne droite verticale s'étendant sur tout l'intervalle de fréquence couvert par la diffusion (Fig. 6.5 et 6.6). Si on peut déterminer une fréquence critique dans la diffusion, on l'indiquera à la fréquence appropriée en utilisant les procédés énumérés ci-dessus (a, b et c) (Fig. 6.7, 6.8 et 6.9). On prendra soin de tracer des traits suffisamment épais pour qu'ils soient nets après reproduction. Des tirets aux extrêmités des traits représentant la diffusion ou un léger écart par rapport aux lignes repères de la grille du f-plot rendent les reproductions des graphiques beaucoup plus lisibles.

(f) En présence de diffusion commençant à la fmin, on doit laisser un petit intervalle (inférieur à une division de l'échelle de fréquence du f-plot) entre le point représentant fmin et le trait représentant la diffusion.

(g) Dans certains cas, la trace F peut être remplacée par de la diffusion en hauteur (range spread), sans qu'il y ait de diffusion en fréquence (frequency spread). On peut représenter ceci par un trait couvrant la gamme de fréquences où se manifeste la diffusion à condition d'inscrire la lettre Q aux deux extrêmités du trait. On peut parfois discerner de la diffusion du type "diffusion en fréquence" à l'extrêmité haute fréquence des traces de type "diffusion en hauteur". Dans ce cas, on interrompt le trait entre la partie "diffusion en hauteur" et la partie "diffusion en fréquence" et on inscrit la lettre Q dans cet intervalle. On n'utilise pas Q lorsqu'une trace principale est visible ni lorsque Q peut rendre confuse l'interprétation de la diffusion en fréquence (Fig. 6.10 (a) et (b)).

- (h) "V" signifie "plus petit que" (lettre qualificative E) (voir § 6.7).
- (i) " $\Lambda$ " signifie "plus grand que" (lettre qualificative D) (voir § 6.7).

Remarque : ne pas utiliser le symbole "plus grand que" lorsque la trace a été extrapolée pour obtenir la fréquence critique. La valeur extrapolée sera représentée par un cercle plein (valeur douteuse). Les symboles "plus grand que" et "plus petit que" sont utilisés quand l'ionogramme ne fournit aucune indication sur l'importance de l'extrapolation.

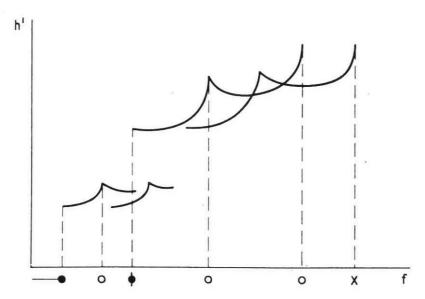


Fig. 6.3 Conventions pour le f-plot pour un ionogramme typique normal. Les symboles sont placés aux fréquences appropriées sur la feuille du f-plot.

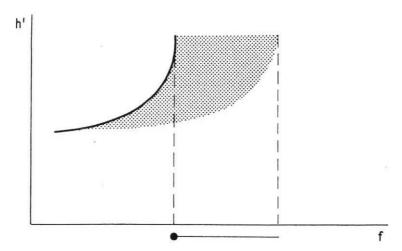


Fig. 6.4 Convention pour le f-plot lorsque la fréquence critique est douteuse.

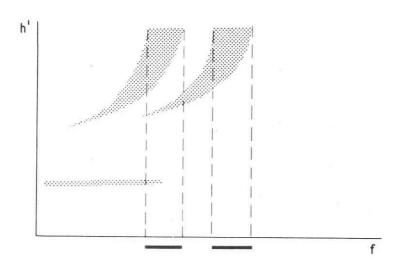


Fig. 6.5 Convention pour le f-plot en présence d'échos diffus

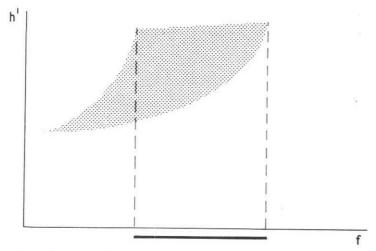


Fig. 6.6 Convention pour le f-plot en présence d'échos diffus

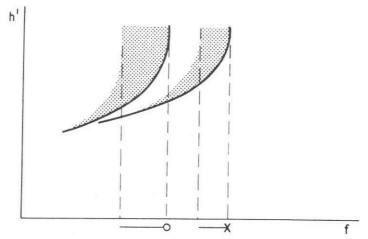


Fig. 6.7 Convention pour le f-plot pour les fréquences critiques d'échos diffus

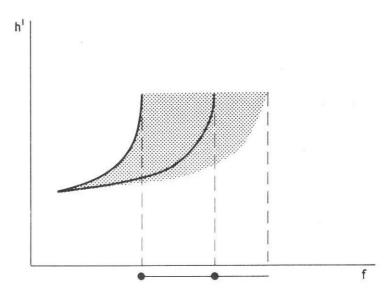


Fig. 6.8 Convention pour le f-plot pour les fréquences critiques d'échos diffus

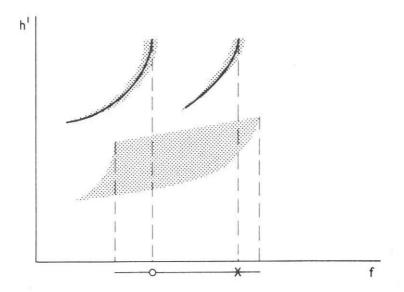
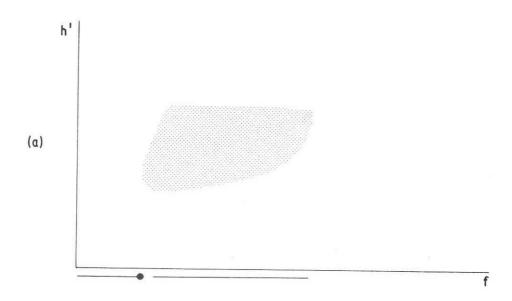


Fig. 6.9 Convention pour le f-plot quand les fréquences critiques sont déduites des traces d'ordre n (en général n=2)



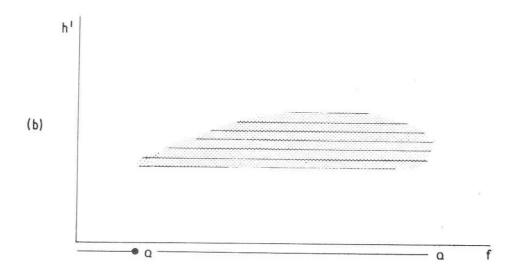


Fig. 6.10 Convention pour le f-plot en présence de diffusion

- (a) Diffusion en fréquence (frequency spread) : Le trait est interrompu à fmin.
- (b) Diffusion en hauteur (range spread) : Utiliser Q.

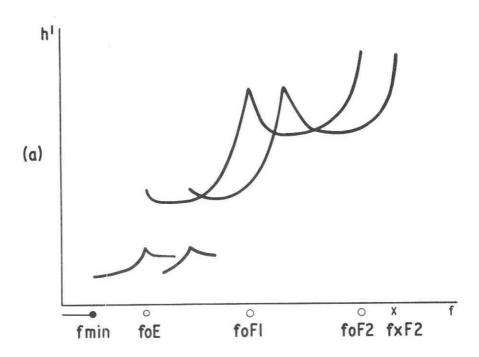


Fig. 6.11 (a) Convention pour transcrire foFl quand la valeur de foFl n'est pas qualifiée (foFl)--.

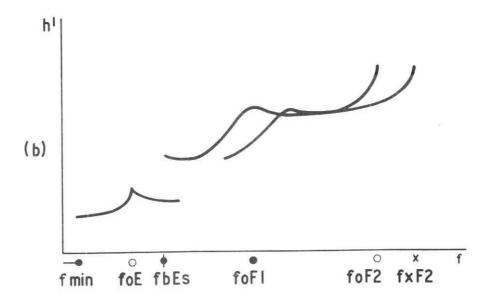


Fig. 6.11 (b) Convention pour transcrire foF1 quand elle est douteuse (foF1)UL.

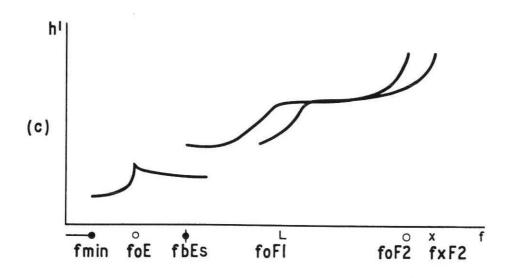


Fig. 6.11 (c) Convention pour transcrire foFl quand foFl est remplacée par L sur la feuille de dépouillement et sur le f-plot.

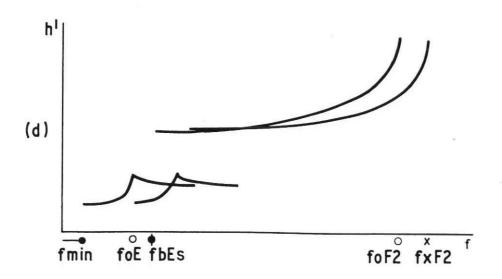


Fig. 6.11 (d) Convention pour transcrire foF1 : dans le cas de cette figure, aucune inscription n'est faite sur la feuille de dépouillement ni sur le f-plot.

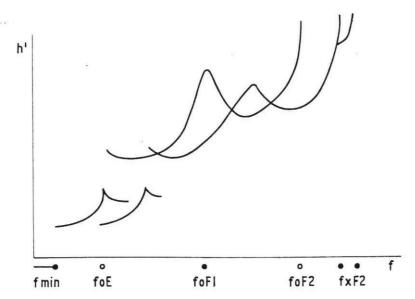


Fig. 6.12 (a) Valeur douteuse de foFl

Lorsque les traces o et x n'ont pas une forme analogue, les
fréquences critiques sont douteuses (foFl)-H ou (foFl)UH.

Ce type de figure est souvent associé à des traces satellites,
fourches et déformation de la trace F2 (sur cette figure, la
trace x est presque normale, la trace o est déformée).

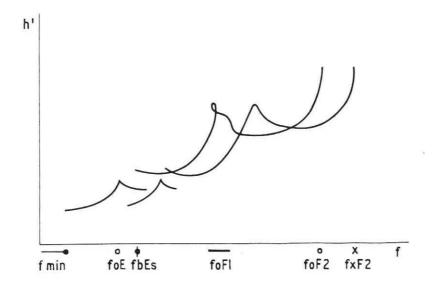


Fig. 6.12 (b) Valeur douteuse de foFl
Le rebroussement présent n'est pas simple (foFl)UH.

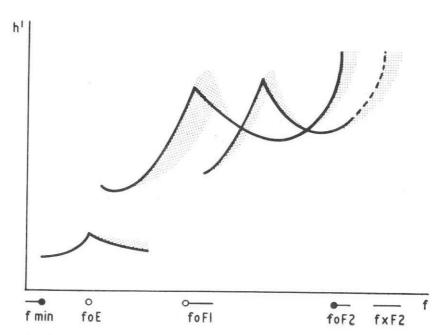


Fig. 6.13 Convention pour foF1

- (1) si le rebroussement est visible, utiliser o et un trait représentant l'étendue en fréquence de la diffusion
- (2) si le rebroussement n'est pas visible sur la trace, tracer seulement un trait.

## 6.4. CONVENTIONS POUR TRANSCRIRE foF1

- (a) Quand foF1 est bien définie (Fig. 6.11 (a)), on représente foF1 par un cercle vide.
- (b) Lorsque le rebroussement de foFl est mal défini (Fig. 6.11 (b)) (cas UL du Chapitre 3), la valeur est représentée par un cercle plein. Il faut remarquer que le maximum du rebroussement se décale en fréquence (généralement vers le haut) lorsqu'il s'aplatit ; le doute dû aux difficultés d'interprétation est donc généralement beaucoup plus grand que celui dû aux difficultés de la mesure.
- (c) Si la trace F ne présente pas de maximum pour foFl, on inscrit la lettre L sur le f-plot à la fréquence du point d'inflexion entre Fl et F2 (Fig. 6.11 (c)).
  - (d) Lorsqu'il n'y a pas d'inflexion, aucune inscription n'est faite (Fig. 6.11 (d)).
- (e) Lorsque la trace F1 est déformée ou lorsque les traces o et x ne sont pas séparées par fB/2 (dans la limite des règles de précision), la valeur de foF1 est représentée par un cercle plein (Fig. 6.12 (a)).
- (f) Lorsque la trace F1 est déformée de sorte qu'il n'y a ni maximum normal ni rebroussement, on tire un trait sur l'étendue des fréquences possibles, avec des cercles pleins pour tous les maxima (Fig. 6.12 (b)).
- (g) Lorsqu'il y a des traces satellites présentant des rebroussements à des fréquences différentes, on inscrira un cercle plein pour chaque rebroussement. S'il y a de la diffusion, on tirera un trait pour indiquer la bande de fréquence des valeurs probables de foFl (Fig. 6.13).

## 6.5. CONVENTIONS POUR TRANSCRIRE f-min

fmin est représentée par un cercle plein à l'extrêmité d'un trait plein vertical tiré jusqu'à la fréquence la plus basse explorée par le sondeur (voir Fig. 6.3, 6.10, 6.11, 6.12, 6.13).

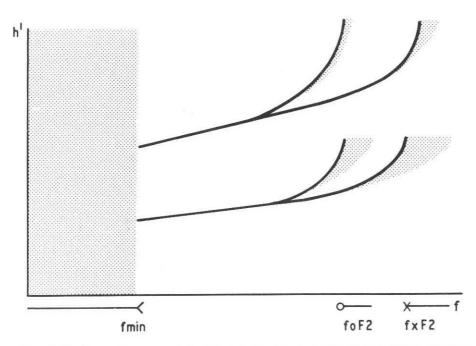


Fig. 6.14 Convention pour fmin déterminée par une bande de brouillage intense Brouillage intense au-dessous de la fréquence de réflexion la plus basse (par exemple : bande de radiodiffusion la nuit). fmin est donnée par (fmin)ES.

Quand fmin est déterminée par une bande de bruit intense ou de brouillage, par exemple la bande de radiodiffusion en ondes décamétriques dans certaines régions, la vraie valeur sera inférieure à la limite de la bande et on remplacera le cercle plein par le signe "V" (plus petit que) (Fig. 6.14). Il est toujours présumé que "V" utilisé pour une fmin sous-entend la lettre S. Dans les quelques cas où d'autres lettres s'appliqueraient, on inscrira la lettre appropriée dans la marge au bas du graphique (Fig. 6.15 à 21 H 30).

Les ionogrammes où aucun écho n'est visible par suite d'une forte absorption sont indiqués par un trait vertical couvrant toute la gamme de fréquence explorée par le sondeur. Ceci s'applique aussi quand les seules traces visibles sont de faibles traces Es de type d.

Les longues périodes où aucun écho n'apparaît par suite d'une forte absorption peuvent être indiquées sur le f-plot par des traits verticaux au début et à la fin de la période avec des flèches et la lettre B entre eux (Fig. 6.15).

#### 6.6. CONVENTIONS POUR TRANSCRIRE Es ET LES TYPES D'Es

foEs n'est pas relevée sur les f-plots normaux. Les valeurs de fbEs sont représentées par des cercles pleins traversés par un tiret horizontal. Quand des valeurs consécutives de fbEs concernent la même couche Es (mais pas nécessairement le même type), on relie les cercles par des lignes droites.

Lorsque fbEs est supérieure à foF2, on inscrit le symbole "V" (plus petit que) à la valeur numérique de foEs ou à la valeur de fbEs si cette valeur peut être déduite en appliquant les règles (a) (b) du paragraphe 4.6 (Fig. 6.16).

Lorsque la trace de la couche F présente un retard de groupe à fbEs (Fig. 6.17), ce qui signifie que la trace correspondant à la couche épaisse d'altitude inférieure est occultée par Es, on remplacera le cercle plein normal par un cercle vide traversé par un tiret horizontal, qui indique que la valeur correspond à fbEs. Ceci est particulièrement important aux latitudes élevées où E nocturne est fréquemment observée et souvent associée à de l'Es de type r.

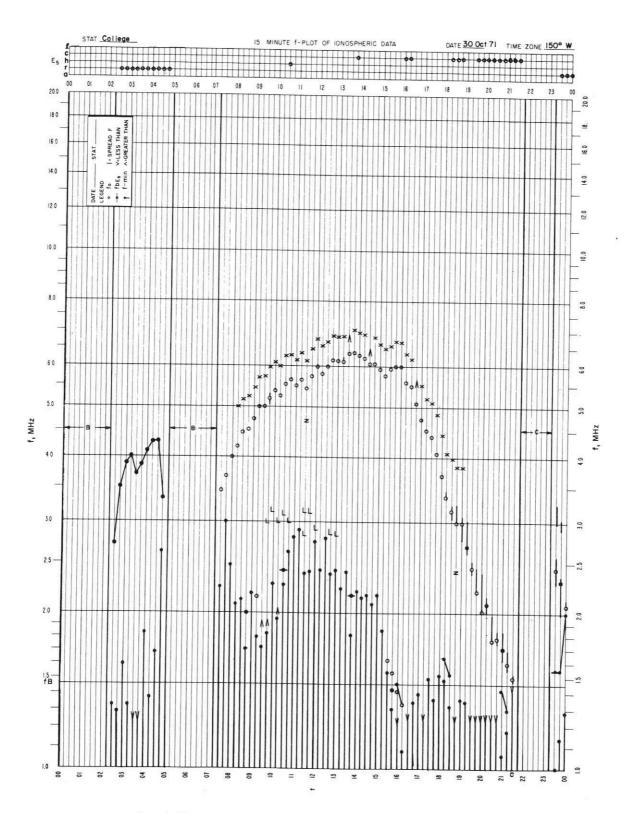
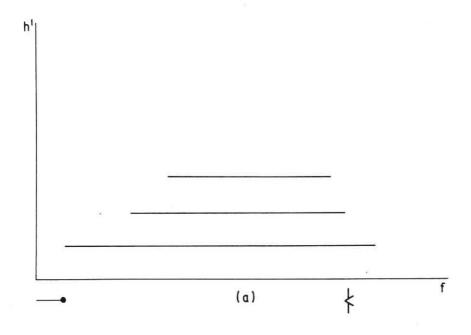


Fig. 6.15 Remarquer fB calculée à 200 km



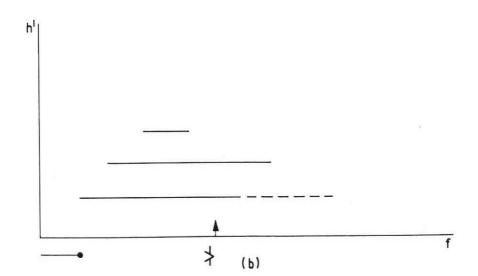


Fig. 6.16 fbEs en cas d'occultation totale

- (a) la trace o est continue et les multiples sont en bon accord. Utiliser -V- à foEs  $\,$
- (b) foEs est douteuse et il y a désaccord entre les multiples. Utiliser  $-\Lambda-$  à la valeur attendue de foF2.

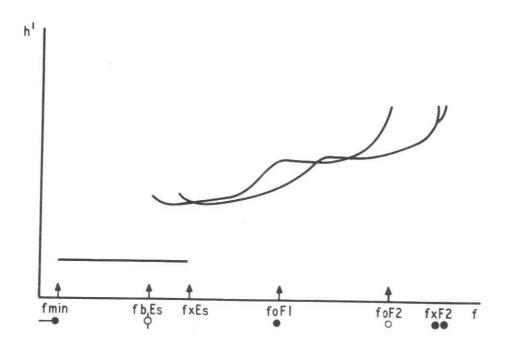


Fig. 6.17 Convention pour fbEs lorsque le début de la trace supérieure présente un retard de groupe

Les types d'Es qui apparaissent sur chacun des sondages sont représentés par des cercles vides sur le petit graphique spécial, à l'intersection des lignes verticales qui correspondent aux heures des sondages et des lignes verticales qui indiquent le type d'Es. Si l'identification du type d'Es est douteuse, on remplace le cercle vide par un cercle plein (Fig. 6.1, 6.2, 6.15).

Les types d'Es habituellement observés dans une station donnée sont indiqués à gauche du petit graphique. Le type non classifié (n) occupera la ligne du bas si nécessaire. Un effort devra être fait pour identifier les types les plus habituels dans chaque station. Dans la mesure du possible ils devront occuper la même position sur le graphique, chaque jour. Une station donnée observe probablement 4 ou 5 seulement de ces types (qui sont définis au Chapitre 4).

## 6.61. Transcription de fxEs sur les graphiques f-plots (règle provisoire)

A titre d'essai, un certain nombre de stations ajoutent la fréquence extrême de Es (ftEs) sur le f-plot. Il leur est recommandé d'appliquer les conventions suivantes :

- (a) La règle selon laquelle le f-plot représente ce qui est effectivement observé devra être strictement suivie.
  - (b) Il est recommandé d'utiliser un triangle vide  $\Delta$  quand ftEs est égale à fxEs
  - (c) Il est recommandé d'utiliser un triangle plein 🛦

    - (i) si la valeur est douteuse
       (ii) si l'interprétation fxEs est douteuse
       (iii) si la valeur observée de ftEs correspond à foEs
- (d) On indiquera les valeurs limites en ajoutant la lettre descriptive qui convient au-dessus du triangle plein si la valeur réelle est supérieure à celle représentée sur le graphique, en dessous si elle est inférieure.
- L'information supplémentaire est intéressante à condition qu'elle soit limitée à la trace Es sur laquelle est relevée foEs.

Remarque : Pour les situations G, le symbole pour foE a la priorité sur le symbole pour foEs, ce qui signifie que, dans ce cas, on utilisera un cercle plein et non un triangle. Le relevé de ftEs ou fxEs sur les graphiques f-plots est facultatif et ne fait pas actuellement l'objet d'une recommandation internationale.

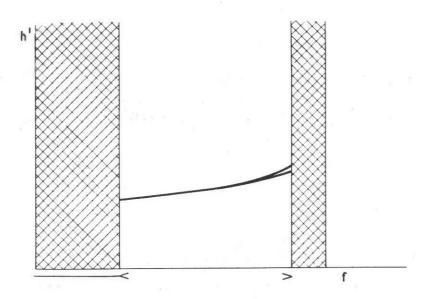


Fig. 6.18 Emploi des symboles de limites

Le brouillage est indiqué par des hachures fmin est (fmin)ES avec le signe plus petit que (V) foF2 est (foF2)DS avec le signe plus grand que (Λ)

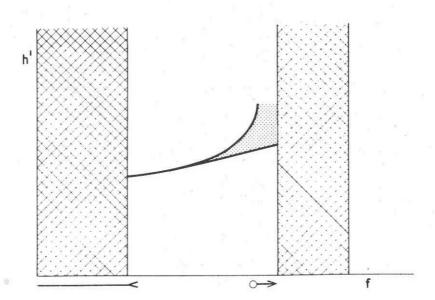


Fig. 6.19 Emploi des symboles de limites

fmin est donnée par (fmin)ES foF2 est lisible La limite supérieure de la diffusion est cachée par le brouillage

#### 6.7. TRACES MANQUANTES

Les symboles du f-plot sont déterminés par les règles de précision (§ 2.2), les données précises étant représentées par les symboles normalisés, les données douteuses par des cercles pleins, mais il n'y a pas de règles de précision pour l'étendue en fréquence de la diffusion qui est représentée par un trait. Quand les fréquences ne peuvent être observées, on utilise, selon le cas, "plus grand que" (D, symbole  $\Lambda$  pour le f-plot) et "plus petit que" (E, symbole V pour le f-plot). Lorsque les feuilles journalières de dépouillement sont établies à partir des f-plots, il faut faire la distinction entre les valeurs qui doivent être inscrites xxxDX ou xxxEX (X étant une lettre descriptive) et celles qui doivent être remplacées par X. Dans le premier cas on utilisera le signe qui convient avec la lettre descriptive où elle est nécessaire pour rendre claire l'interprétation du f-plot ; dans le second cas on utilisera la lettre descriptive seule. Les règles sont les suivantes :

- (a) Lorsqu'une trace a dû être extrapolée pour obtenir la fréquence critique, et que l'extrapolation en fréquence est inférieure aux limites de précision des données non qualifiées, on utilisera le symbole approprié o, x ou z.
- (b) Lorsqu'une trace a dû être extrapolée plus qu'il n'est permis en (a), on utilisera un cercle plein.
- (c) Lorsque seule une valeur limite est possible, on utilisera le signe "plus grand que" ( $\Lambda$ ) ou "plus petit que" (V) (suivant les mêmes règles que pour l'emploi de D ou E) (Fig. 6.18).
- (d) Lorsqu'une partie d'un ionogramme présentant des échos diffus manque alors que des échos diffus sont visibles des deux côtés de la partie manquante, on n'interrompra pas le trait représentant la diffusion.
- (e) Lorsqu'une des limites de la diffusion (fmI ou fxI) n'est pas visible, on utilisera les signes "plus grand que" ( $\Lambda$ ) ou "plus petit que" (V) selon le cas (Fig. 6.19).
- Il n'est pas recommandé d'utiliser librement des lettres descriptives sur les f-plots (sauf L) car elles sont trop difficiles à lire après reproduction. Il suffit d'inscrire S ou C (les lettres les plus fréquentes) aux fréquences appropriées, près des bords du f-plot lorsque la représentation graphique ne serait pas interprétable autrement. Il faut noter que les bandes de radiodiffusion sont habituelles dans toutes les stations et par conséquent ne nécessitent pas d'indications spéciales.

#### 6.8. AUTRES CONVENTIONS

- **6.81.** On trace un trait vertical pour indiquer l'intervalle des valeurs possibles de foE quand les traces sur l'ionogramme ne permettent pas d'obtenir une valeur numérique dans la limite des règles de précision (Fig. 6.20).
- 6.82. Lorsqu'on emploie le symbole "plus grand que" (A) pour représenter une fréquence critique (en général foF2), on doit l'inscrire à la plus haute fréquence visible de la trace correspondante et on suppose toujours que ce symbole utilisé seul implique la lettre descriptive R. Dans le cas où une autre lettre descriptive est nécessaire (brouillage, absence de réponse du récepteur aux fréquences élevées etc...) on inscrira la lettre descriptive appropriée sur le f-plot près du symbole.
- 6.83.Les périodes prolongées où les données manquent par suite d'une panne du sondeur (lettre C) peuvent être indiquées par un trait horizontal interrompu par la lettre C (-C-) s'étendant sur toute la période intéressée (Fig. 6.15).
- **6.84.** Lorsqu'une même lettre descriptive s'applique à toutes les caractéristiques de fréquence d'un même ionogramme, on inscrira cette lettre en haut du f-plot, ce qui simplifie la tabulation des valeurs numériques.

## 6.85. Règles supplémentaires pour les fréquences inférieures à la gyrofréquence

On appliquera les conventions suivantes pour les fréquences inférieures à la gyrofréquence :

- fmin, fréquence la plus basse à partir de laquelle on observe un écho quelconque (aucune exception)
- fminF, sauf quand elle est égale à la fréquence critique d'une couche inférieure, cas dans lequel on inscrit -O-. Quand fminF = fmin, on applique la convention pour fmin.
- o toute fréquence critique du mode ordinaire ou fréquence d'un point de rebroussement.

- z toute fréquence critique du mode z
- x tout point de rebroussement sur une trace, attribué à un maximum ou à un minimum de profil d'ionisation au-dessous de la couche réfléchissante, qui n'a pas déjà été représenté par o.

La distinction entre o et x dépend de la présence ou de l'absence de retard de groupe sur la trace de la couche plus basse. Si la trace inférieure et la trace supérieure présentent toutes les deux un retard de groupe à la fréquence critique et si la couche supérieure est effectivement occultée par la couche inférieure jusqu'à cette fréquence, on utilisera o. Quand une séquence d'évènements montre clairement que le rebroussement est dû à la formation d'une stratification dans la couche F, par exemple aux environs du lever ou du coucher du Soleil, on utilisera le symbole o et on inscrira la fréquence critique dans le tableau des valeurs de la couche qui convient. Il faut faire attention pour ne pas confondre foFl et foE quand la stratification commence à apparaître le matin.

Lorsque les modes magnéto-électroniques sont étroitement couplés, des retards supplémentaires se produisent dans le mode x quand la fréquence de travail est égale à la fréquence de plasma. Ainsi une trace due à un couplage présente souvent un retard à des fréquences où l'ionisation sous-jacente présente un maximum ou un minimum. On utilise le symbole x pour indiquer des maxima de h' dûs à ce phéromène.

#### 6.86. Conventions régionales spéciales

On n'a le droit d'utiliser, dans une station, des conventions spéciales pour relever des phénomènes particuliers que si elles ne prêtent pas à confusion avec les caractéristiques classiques, c'est-à-dire celles qui représentent les fréquences caractéristiques. Des traits pointillés ou tiretés ont été utilisés pour indiquer des phénomènes locaux particuliers, mais on ne peut les distinguer des traits discontinus représentant des groupes de traces diffuses (frequency spread). Une méthode s'avère nécessaire pour représenter les traces obliques ou la diffusion en hauteur (range spread) de la région F dans les zones où elles sont fréquemment observées. On peut appliquer la convention Q (§ 6.3 (g) ) si on la restreint à l'intervalle de fréquence qui n'est pas occupé par d'autres symboles, représentant des fréquences ou de la diffusion en fréquence. Lorsque les deux phénomènes sont présents dans le même intervalle de fréquence, la diffusion en fréquence (frequency spread) a la priorité et Q doit être inscrit de façon à être facilement lisible. Des conventions régionales spéciales ont été jugées utiles pour indiquer la présence de trois types différents de phénomènes dont l'occurence est difficile à étudier autrement, à savoir :

- La présence de traces très faibles et basses, à des fréquences inférieures à la valeur de fmin obtenue à partir des traces normales.
- (ii) La présence du phénomène F-diffus équatorial
- (iii) La présence de traces d'une couche F stable à des fréquences supérieures à la fréquence critique de la trace zénithale de la couche F2.

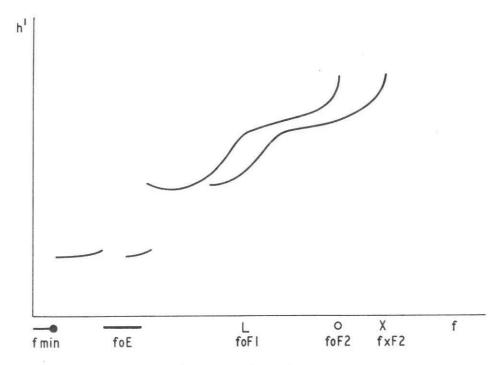


Fig. 6.20 Convention pour le f-plot lorsque foE est douteuse

Ces phénomènes sont très importants tant sur le plan pratique que scientifique, et il est permis d'appliquer les règles locales suivantes pour les études régionales :

- (a) On indique maintenant la présence de traces très faibles et basses en portant une inscription dans la rangée "type d" de la grille du f-plot pour les types d'Es (§ 4.8) (la convention AGI était d'inscrire un d minuscule en haut ou en bas du f-plot).
- (b) La présence de F-diffus équatorial, tel que la trace principale est totalement remplacée par une bande diffuse horizontale avec amorce ou non de retard de groupe, peut s'indiquer par un trait en appliquant la convention Q.
- (c) La présence de traces F supplémentaires, par exemple des éperons polaires (Fig. 3.39 (3) ) peut être indiquée en appliquant la convention Q. Il faut remarquer que pour éviter toute confusion, Q doit être inscrit au-dessus de fxF2 ou au-dessus de la limite supérieure du F-diffus associé à fxF2 selon les cas.

#### 6.87. Conventions pour la transcription de ftEs sur les f-plots

A titre expérimental et facultatif, il est permis de représenter sur le f-plot la fréquence extrême, ftEs, de la trace Es qui a été utilisée pour relever foEs.

Etant donné que la fréquence extrême de la trace Es (si on applique les règles normales de sélection) est généralement fxEs, les règles sont rédigées de façon à donner normalement la valeur de fxEs.

Les règles provisoires sont résumées au paragraphe 4.9. Il faut noter que les valeurs sures de fxEs sont représentées par  $\Delta$  et les valeurs douteuses par  $\Delta$ .

#### 6.9. TRANSCRIPTION DES DONNEES A PARTIR DU f-PLOT

#### 6.91. Valeurs numériques

Les valeurs numériques accompagnées des lettres qualificatives et descriptives appropriées peuvent être transférées du f-plot sur la feuille journalière de dépouillement. Les valeurs numériques limites de fmin représentées par "V" sont transcrites avec la lettre qualificative E et la lettre descriptive S à moins qu'une autre lettre descriptive ne s'applique si elle est indiquée sur le f-plot. En ce qui concerne fbEs, le symbole "V" est toujours transcrit par la valeur numérique accompagnée de AA (voir les règles détaillées aux paragraphes 4.6 et 3.2, lettre A).

Les valeurs numériques limites des fréquences critiques représentées par le symbole " $\Lambda$ " sont transcrites avec la lettre qualificative D et la lettre descriptive R sauf si une note sur le f-plot indique qu'il faut une autre lettre.

### 6.92. Interpolation

Si la valeur horaire d'une fréquence critique manque et si l'interpolation est permise, on fera une interpolation graphique sur le f-plot. La valeur numérique interpolée est qualifiée par la lettre I et décrite par la lettre descriptive indiquant pourquoi la valeur horaire manque.

#### 6.93. Valeurs douteuses incompatibles

Si la valeur horaire réelle de foF2 du f-plot est douteuse et incompatible avec les valeurs qui l'entourent, on ne l'inscrira pas dans le tableau comme une valeur représentative mais on la remplacera par une valeur interpolée graphiquement pour l'heure considérée. Dans ce cas, la valeur inscrite dans le tableau sera qualifiée par T et décrite par la lettre qui donne la raison pour laquelle la valeur du f-plot était douteuse. Il faut remarquer qu'on doit inscrire sur le f-plot la valeur effectivement observée (incompatible) car elle peut être utile aux futurs utilisateurs du f-plot pour l'étude de variations à court terme. Lorsque les conditions ionosphériques sont anormales de façon transitoire à l'heure ronde, c'est la lettre descriptive T qui convient.

#### CHAPITRE 7

#### TABLEAUX JOURNALIERS DES VALEURS HORAIRES

## 7.0. GENERALITES

Les tableaux de valeurs horaires fournissent des données représentatives des phénomènes ionosphériques qui peuvent être étudiés en utilisant des données horaires seules ; celles-ci doivent donc être suffisamment complètes et homogènes pour qu'il ne soit pas nécessaire de se référer aux ionogrammes originaux. Les caractéristiques d'Es et de fmin, cependant, représentent toujours la valeur instantanée à l'heure considérée.

Les ordinateurs sont de plus en plus utilisés pour établir ces tableaux, les contrôler et effectuer une analyse statistique des données ionosphériques, tant pour la recherche que pour les applications pratiques. C'est pourquoi tous les tableaux de données ionosphériques doivent être présentés sous une forme normalisée qui permet de transférer facilement ces données sur cartes perforées et qui a été conçue pour faciliter l'utilisation et l'échange des données ionosphériques.

Etant donné que les cartes perforées sont généralement préparées d'après ces tableaux, soit à la station, soit dans un centre,il est important qu'ils soient remplis en suivant soigneusement les instructions. La plupart des inscriptions comportent une valeur numérique (3 chiffres), un symbole qualificatif et un symbole descriptif au moins. Lorsque le formulaire comporte de la place pour plus d'un symbole descriptif, seul le premier peut être utilisé lors du traitement par ordinateur et ce doit toujours être le symbole le plus important.

#### 7.1. FEUILLE DE DEPOUILLEMENT JOURNALIERE

Les valeurs horaires de nombreuses caractéristiques obtenues à partir du f-plot (graphique de fréquences) ou dépouillées directement sur les ionogrammes sont habituellement inscrites heure par heure sur une feuille de dépouillement journalière, qu'on appelle généralement "feuille de travail journalière" pour éviter de la confondre avec le tableau mensuel (Chapitre 8) ou avec les tableaux des caractéristiques médianes mensuelles. La présentation de cette feuille de travail est généralement adaptée aux circonstances particulières propres à chaque station. Un exemple type est donné par la figure 7.1.

Dans la plupart des stations les diverses caractéristiques sont inscrites horizontalement en haut de la feuille et les heures verticalement. Le tableau contient habituellement les caractéristiques internationales normalisées :

fxI, foF2, foF1, foE, foEs, fbEs, fmin M(3000)F2, M(3000)F1, ou les MUF correspondantes : MUF(3000)F2, MUF(3000)F1 h'F, h'F2, h'E, h'Es Types d'Es

Le tableau comporte aussi une colonne pour les remarques, qui permettent d'attirer l'attention sur des informations plus détaillées figurant sur une feuille séparée de "notes de dépouillement" séparée. Des caractéristiques spéciales régulièrement relevées pour des études locales ou régionales peuvent également figurer soit sur la feuille de dépouillement, soit sur d'autres tableaux complémentaires.

Sur chaque feuille doivent figurer les renseignements permettant de l'identifier, à savoir :

Nom de la station ou symbole Date Temps standard du méridien utilisé à la station Initiales de la personne qui effectue le dépouillement et de celle qui le contrôle

Certaines stations relèvent plus de caractéristiques que le minimum demandé, ce qui n'est possible que si la feuille journalière y est adaptée. Ces pratiques locales sont exposées dans les sous-paragraphes intitulés "règle locale". La figure 7.1 présente un exemple d'une feuille de travail journalière conçue pour faciliter le dépouillement et la perforation des données. Avec cette disposition, on remarquera que M(3000)F2 doit avoir les mêmes lettres qualificatives et descriptives que foF2.

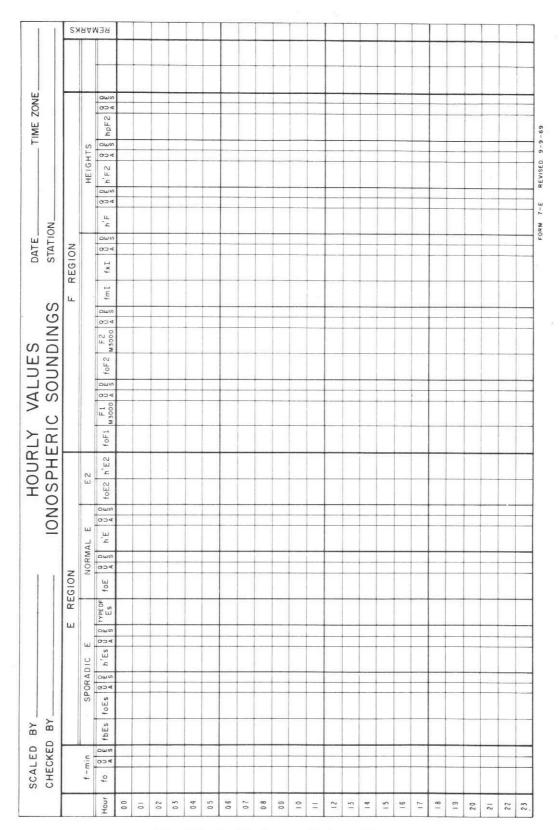


Fig. 7.1 Feuille de travail journalière

#### 7.2. CONVENTIONS POUR LA TRANSCRIPTION DES DONNEES SUR LA FEUILLE DE DEPOUILLEMENT JOURNALIERE

#### 7.21. Identification:

On doit porter sur chaque feuille les informations permettant de l'identifier.

#### 7.22. Temps:

Une donnée manquante sera remplacée par une valeur interpolée chaque fois que le permettent les conventions pour la lettre qualificative I. On corrigera de cette façon les écarts de temps par rapport à l'horaire du programme de routine. Ceci est particulièrement important lorsque les fréquences critiques varient rapidement dans le temps, par exemple au lever ou au coucher du Soleil en certaines saisons, puisqu'un décalage dans le temps peut entraîner un décalage systématique des valeurs numériques.

Lorsque la séquence indique que les conditions varient lentement, la valeur horaire d'une caractéristique peut être relevée sur un ionogramme enregistré dans un intervalle de plus ou moins cinq minutes par rapport à l'heure ronde, en le signalant dans la colonne des remarques et dans les "Notes de dépouillement". Sinon, on doit effectuer une interpolation.

Règle locale: L'heure exacte de l'ionogramme utilisé et la lettre descriptive expliquant pourquoi l'ionogramme de l'heure ronde ne convenait pas sont inscrites dans la colonne "heure" chaque fois que l'ionogramme de l'heure ronde n'a pas été utilisé.

#### 7.23. Gains variables:

 $R\`egle\ locale$ : (rarement utilisée) Le gain de l'ionogramme utilisé pour dépouiller une caractéristique peut être indiqué comme suit sur la feuille journalière, en utilisant l'espace prévu pour les lettres descriptives correspondantes :

Ionogramme à gain faible : Inscrire un tiret au-dessous de la position normale de la lettre descriptive, de telle sorte que cette lettre puisse être lue facilement.

 ${\it Ionogramme ~\`a~gain~\'elev\'e:}~{\it Inscrire~un~tiret~au-dessus~de~la~position~normale~de~la~lettre~descriptive,~de~telle~sorte~que~cette~lettre~puisse~\'etre~lue~facilement.}$ 

Ionogramme à gain normal : Ne rien inscrire de sorte que la lettre descriptive apparaisse seule.

## 7.24. Valeurs numériques :

Pour la perforation, toutes les valeurs numériques doivent être exactement sous la même forme et il est donc essentiel :

- (a) d'utiliser trois chiffres pour les valeurs numériques,
- (b) de toujours placer les lettres decriptives et qualificatives après la valeur numérique, et dans l'ordre correct, c'est-à-dire la lettre qualificative en premier,
  - (c) d'omettre les virgules,

Les conventions à suivre pour la transcription des valeurs numériques sur la feuille journalière sont illustrées par les exemples suivants :

Caractéristiques	Valeur		Inscription sur la feuille journalière	A inscrire		
fmin foF2 M(3000)F2 h'F	1,3 9,6 2,95 255	MHz 013 MHz 096 295 km 255		Toutes les heures		
h'F2 foF1 M(3000)F1	370 4,7 3,45	km MHz	370 470 345	Si elles sont observées principalement le jour		
foE h'E	3,85 111	MHz km	385 111	Toutes les heures le jour et la nuit si elles sont observées		
foEs h'Es fbEs	5,1 103 4,6	MHz km MHz	051 103 046	Toutes les heures		
Types d'Es	voir § ci-dess			Si observées		

foF1 et foE sont toutes deux relevées à 0,01 MHz près à cause de la perforation des cartes. Le dernier chiffre est toujours 0 pour foF1 et soit 0 soit 5 pour foE. Toutes les MUF sont relevées en dixièmes de MHz (même convention que pour foF2).

## 7.25. Lettres symboles :

Quand la feuille ne comporte pas de colonnes séparées pour les lettres qualificatives et descriptives, on les inscrit après la valeur numérique. On inscrira toujours un tiret lorsqu'il y a une lettre descriptive sans lettre qualificative, par exemple, 096, 096-H, 096UF.

Lorsque la feuille comporte des colonnes séparées pour les lettres qualificatives et descriptives, il est essentiel que chacune d'elles soit inscrite dans la colonne appropriée.

Règles locales :

- (a) Lorsque les lettres qualificative et descriptive s'appliquent à foEs et pas à fbEs, on inscrit les lettres qualificative et descriptive de fbEs dans la colonne de fbEs au-dessus de la valeur numérique.
- (b) Lorsque les lettres qualificative et descriptive qui s'appliquent à M(3000) ne sont pas les mêmes que celles qui s'appliquent à la fréquence critique, on inscrira les lettres qui s'appliquent à M(3000) dans la colonne des remarques ou dans les notes de dépouillement. Par exemple, si foF2 est 062US et M(3000)F2 est 280UF, on inscrira dans la colonne des remarques : M(3000)F2...UF.
- (c) On peut aussi inscrire les lettres au-dessus des nombres, avec la lettre qualificative d'abord, la lettre descriptive ensuite. Ceci n'est possible que si la place est suffisante. La lettre qualificative devra être inscrite au-dessus du premier chiffre, la lettre descriptive au-dessus du 3ème chiffre pour éviter toute confusion lorsqu'il n'y a qu'une seule lettre.

## 7.26. Types d'Es :

Les conventions pour inscrire les types d'Es sur les feuilles de dépouillement sont les suivantes : Les types d'Es sont écrits en lettres minuscules.

Lorsqu'on observe plusieurs types d'Es sur un même ionogramme, on inscrit en premier le type dont la trace a été utilisée pour déterminer foEs, fbEs et h'Es. Les autres types d'Es éventuellement présents sont inscrits dans l'ordre décroissant des réflexions multiples. Les deux premiers types inscrits sont suivis chacun d'un chiffre indiquant le nombre de traces observées jusqu'à 9, y compris la trace principale. Si seule la première réflexion est observée, on inscrit le chiffre 1 pour éviter toute confusion lors de la perforation des données. Lorsque E nocturne n'est décelé que par un retard de groupe de la trace F (pas de trace E), on peut inscrire KO (règle locale).

Le nombre des échos Es doit être déterminé sur l'ionogramme à gain normal.

## 7.27. Contrôle des erreurs ou des omissions

Chaque feuille de dépouillement journalière doit être entièrement contrôlée pour s'assurer qu'il n'y a pas d'omissions ou d'importantes erreurs de lecture ou de transcription, et que toutes les références aux notes de dépouillement sont complètes.

Chaque fois que c'est possible, on doit comparer soigneusement la feuille de dépouillement journalière et le f-plot pour s'assurer que les valeurs horaires représentent vraiment la variation diurne (voir lettre T, Chapitre 3).

## 7.3. EMPLOI DES CARTES PERFOREES POUR LES DONNEES IONOSPHERIQUES :

#### 7.31. Généralités :

La mise sous forme de tableaux, le contrôle et l'analyse statistique des données ionosphériques sont maintenant souvent effectués par des ordinateurs programmés pour traiter des cartes qui ont été perforées sous une forme normalisée à partir des feuilles de travail journalières. Le format standard des cartes de données ionosphériques est le résultat de plusieurs années d'exploitation, principalement par R.M. Gallet, en France, en Allemagne et aux Etats-Unis. Le modèle est assez souple et peut-être adapté à tous les types de données géophysiques, mais, pour le moment, ce format standard n'a été adopté sur le plan international que pour les données ionosphériques.

La carte standard comporte 80 colonnes de 10 digits de 0 à 9) au-dessus desquelles figurent deux rangées supplémentaires destinées à des indications spéciales. Toutes les informations d'identification (heure, date, station, caractéristique ... etc) et les données elles-mêmes sont perforées dans la grille des chiffres.

Remarque : quelques changements significatifs ont été apportés par rapport au paragraphe correspondant 6.3 de la précédente édition du Manuel.

#### 7.32. Identification:

Les treize premières colonnes de la carte contiennent les informations d'identification suivantes :

(a) Type de carte

La colonne 1 identifie le type des nombres enregistrés 1 signifie : mesure horaire 2 signifie : récapitulation mensuelle

La colonne 2 identifie les heures (en temps local standard) des données figurant sur la carte 0 signifie : 06 - 18 heures

O signifie: 06 - 18 heures 1 signifie: 00 - 11 heures 2 signifie: 12 - 23 heures

5 signifie : vecteurs de h uteurs, c'est-à-dire une

séquence de valeurs de hauteurs

Dans Les colonnes 1 et 2

39 signifie matrice de conversion

#### (b) Station

Les stations sont identifiées par un code de 3 symboles dans les colonnes 3, 4 et 5. Ce code international remplace l'ancien code du paragraphe 6.3 de la première édition du Manuel. Pour éviter un double emploi et toute confusion, les codes pour les nouvelles stations sont attribués par le Centre Mondial des Données (World Data Center A for Solar Terrestrial Physics, NOAA, Boulder, Colorado, 80302, USA) et ne doivent pas être choisis arbitrairement. Le Tableau 1 donne la liste complète des stations auxquelles un code a été assigné avant Janvier 1971. Des additifs seront publiés dans le Bulletin INAG, on peut trouver une liste complète et à jour dans la dernière édition du Catalogue du WDC-A que l'on peut se procurer à l'adresse ci-dessus.

Les stations sont classées suivant l'ordre géographique car certaines stations ont plusieurs noms et les noms peuvent changer de temps en temps. Le tableau 7.1 donne aussi l'indicatif international de la station normalisé par deux lettres, qui est aussi assigné par le WDC-A. Cette classification facilite l'identification des stations chaque fois que des abréviations sont nécessaires (par exemple cartes, telégrammes).

Le code à 3 symboles (colonnes 3, 4 et 5 des cartes perforées) donne une indication de la situation géographique de la station.

Le premier symbole indique la zone de longitude. Il y en a 12, de  $30^\circ$  de large chacune. Dans la liste ci-dessous, les zones sont données en degrés Est par rapport au méridien de Greenwich et en longitude conventionnelle Est ou Ouest (W).

Bande	E	Est	Conventionnelle	Code
0	345°	- 15°	15°W - 15°E	0
1	15°	- 45°	15°E - 45°E	1
2	45°	- 75°	45°E - 75°E	2
3	75°	- 105°	75°E - 105°E	3
4	105°	- 135°	105°E - 135°E	4
5	135°	- 165°	135°E - 165°E	5
6	165°	- 195°	165°E - 165°W	6
7	195°	- 225°	165°W - 135°W	7
8	225°	- 255°	135°W - 105°W	8
9	255°	- 285°	105°W - 75°W	9
10	285°	- 315°	75°W - 45°W	J
11	315°	- 345°	45°W - 15°W	А

Le second et le troisième symboles indiquent la latitude géographique réelle en degrés. Il est parfois nécessaire de modifier arbitrairement le troisième symbole pour ne pas attribuer le même indicatif à des stations situées dans la même zone de longitude et à la même latitude. Par exemple, comparer dans le tableau 7.1 les codes de Lindau et Slough, ou de Dourbes et Pruhonice.

Pour indiquer qu'une station est dans l'hémisphère Nord ou Sud, on fait une "perforation 11" audessus du dernier digit des stations de l'hémisphère Sud, ce qui convertit le code numérique en code alphanumérique comme le montre la carte perforée de la figure 7.2 (voir le Tableau 7.1 pour les exemples).

Tableau 7.1

Station	Lat Géogr	Long aphique	Indi- catif	Code Ident. comp.	Station	Lat Géogr	Long aphique	Indi- catif	Code Ident. comp.
ARCTICA (NP 6) ALERT FLETCHERS ICE ARCTICA (NP 13) ARCTICA (NP 8) EUREKA HEISS IS	87N 82N 82N 81N 80N 80N 80N		XG AL XC XL XI EU BT	J82 982 980 280	MIEDZESKYN ADAK LINDAU SLOUGH DOURBES PRUHONICE WINNIPEG	52N 51N 51N 51N 50N 50N 49N		MZ AD LI SL DB PQ WI	152 651 050 051 049 052 949
ARCTICA (NP 7) ARCTICA (NP 11) ARCTICA (NP 10) LONGYEARBYEN ARCTICA (NP 16) THULE/QANAG THULE/TUTO	79N 79N 78N 78N 78N 77N 76N	15 176 290 291	XH XK XJ LG XM TH TH	178 676 J77 J76	FREIBURG KHABAROVSK PARIS-SACLAY VICTORIA GARCHY GRAZ ROSTOV	48N 48N 48N 48N 47N 47N 47N	7 135 2 236 3 15 39	FR KB SC VI GY GZ RV	048 548 047 848 042 146 149
RESOLUTE BAY DIXON BARROW TIXIE BAY CLYDE GODHAVN MURMANSK	74N 73N 71N 71N 70N 69N 68N	265 80 203 128 291 306 33	RB DI BW TX CR GO MM	974 373 771 471 J70 J69 168	ST JOHNS YUZHNO SAKHALI BAIE ST PAUL + SEATTLE + BUDAPEST POITIERS SCHWARZENBURG	47N 47N 47N 47N 46N 46N 46N	307 143 289 237 21 0 6	SJ SA PL SE BU PT SZ	J47 547 J48 847 147 046 045
TROMSO CAPE SCHMIDT KIRUNA SODANKYLA SALEKHARD LULEA BAKER LAKE	69N 68N 67N 67N 66N 65N 64N	19 181 20 26 66 22 264	TR CE KI SO SD LU BL	169 681 167 166 266 165 964	OTTAWA WAKKANAI BEOGRAD GENOVA SIMFEROPOL ALMA ATA MILLSTONE HILL +	45N 45N 44N 44N 44N 43N 43N	284 141 20 9 34 76 288	OT KK BE GV SF AA MH	945 545 145 044 144 343 J45
COLLEGE FORT NORMAN LYCKSELE PROVIDENYA RAYKJAVIK FROBISHER BAY YAKUTSK	64N 64N 64N 64N 64N 63N 61N	212 234 18 185 338 291 129	CO FN LY PD RK FB YA	764 864 164 664 A64 J63 461	HANOVER + BILLERICA/BOSTN MAYNARD ROMA TBILISI BOULDER FORT MONMOUTH	43N 42N 42N 41N 41N 40N 40N	287 288 288 12 44 254 285	HN BO MY RO TB BC FM	J44 J43 J42 041 142 840 940
YELLOWKNIFE ANCHORAGE NARSSARSSUAQ KJELLER LENINGRAD NURMIJARVI UPPSALA	62N 61N 61N 60N 59N 60N 59N	245 210 314 11 30 24 17	YE AN NQ OS LD NU UP	862 761 J61 059 160 159	TORTOSA AKITA ATHENS WASHINGTON ASHKHABAD SAN FRANCISCO + WALLOPS IS +	40N 39N 38N 38N 37N 37N 37N	0 140 23 282 58 237 284	EB AK AT WA AS ST WP	040 539 138 938 237 837 937
CHURCHILL FORT CHIMO INVERNESS GORKY SVEROLOVSK TOMSK EMMABODA	58N 58N 57N 56N 56N 56N 56N	265 291 355 44 61 84 15	CH FC IN GK SV TK EM	958 J58 056 156 256 356 157	SEOUL + POINT ARGUELLO + TEHRAN TOKYO CAPE ZEVGARI CASABLANCA RABAT	37N 35N 35N 35N 34N 33N 33N	127 239 51 139 33 352 353	SU PA TE TO CV CA RT	437 836 236 535 135 033
MOSCOW JULIUSRUH/RU MEANOOK GOOSE BAY CHITA DE BILT IRKUTSK	55N 54N 54N 53N 52N 52N 52N	37 13 246 299 113 5 104	MO JR ME GS CX DT IR	155 055 855 J53 452 053 352	WHITE SANDS HAIFA + YAMAGAWA QUETTA EGLIN AFB + CAPE KENNEDY + DELHI	32N 32N 31N 30N 30N 28N 28N	253 34 130 67 273 279 77	WS HA YG QT EG CC	832 132 431 230 930 929 328

Tableau 7.1 (suite)

Station	Lat Lon Géographiqu		Code Ident. comp.	Station	Lat Géograph	Long	Indi- catif	Code Ident. comp.
GRAND BAHAMA OKINAWA TAIPE SAN SALVADOR + AHMEDABAD CALCUTTA CUBA	26N 28 26N 12 25N 12 24N 28 23N 7 23N 8 23N 27	7 OK L TP 5 SS 2 AH 3 CU	926 426 424 924 223 322 923	LA PAZ ILO SALISBURY/RHOD TAHITI TANANARIVE TOWNSVILLE TSUMEB	16S 17S 17S 17S 18S 19S 19S	291 288 31 210 47 146 17	LP IL SY TT IV TV TS	J1Ø J1P 11P 71P 21Q 51R 11R
MACAU TAMANRASSET HONG KONG MAUI BOMBAY MEXICO CITY JAMAICA +	22N 11 22N 22N 11 20N 20 19N 7 19N 26 18N 28	5 TN 4 HK 3 MA 2 BM 0 MX	422 022 423 720 219 919 918	RAROTONGA LA QUIACA SAO PAULO JOHANNESBURG TUCUMAN BRISBANE KERMADEC	21S 22S 23S 26S 26S 27S 29S	200 294 313 28 294 152 182	RA LQ SP JO TU BR KC	72J J2K J2L 12Ø J2O 52P 62R
PUERTO RICO + ARECIBO + HYDERABAD BAGUIO DAKAR MANILA BANGKOK	18N 29 18N 29 17N 7 16N 12 14N 34 14N 12	3 AR 8 HY 0 BF 2 DK 1 MN	J18 J19 317 416 A14 414 314	NORFOLK IS WOOMERA MUNDARING GRAHAMSTOWN BUENOS AIRES CAPE TOWN + SALISBURY	29S 30S 32S 33S 34S 34S 34S	168 136 116 26 301 18 138	NI WO MU GR BA CT SR	63v 53J 43k 13L J3M 13M 53M
MADRAS BARBADOS + OUAGADOUGOU DJIBOUTI KODAIKANAL TIRUCHIRAPALLI TOGO	13N 30 12N 3! 11N 10N		313 J13 012 111 310 311 011	HERMANUS CANBERRA CONCEPTION AUCKLAND HOBART GODLEY HEAD TRELEW	34S 35S 36S 37S 42S 43S 43S	19 149 287 175 147 172 294	HE CB CP AU HO GH TW	13N 53N J3Ø 63P 54K 64L J4L
FT ARCHAMBAULT PANAMA THUMBA TRIVANDRUM IBADAN PARAMARIBO ACCRA +	09N 2 08N 08N 07N 05N 3	L8 FA 30 PN 76 TC 77 TM 3 IB 04 PM 59 AG	109 909 309 308 007 J06 005	MARION IS KERGUELEN PORT STANLEY CAMPBELL IS MACQUARIE IS USHUAIA SOUTH GEORGIA	46S 49S 51S 52S 54S 54S 54S	37 70 302 169 159 291 323	MR KG PS CI MQ UA SG	14Ø 24R J5J 65K 55M J5M A5M
BANGUI BOGOTTA POPAYAN BUNIA SINGAPORE NAIROBI HOLLANDIA	04N 2 02N 2 01N 01N 1 01S	18 BI 85 BG 83 PP 30 BN 03 SI 36 NR 40 HL	104 905 984 102 301 10J 50K	SOYA SHIP DECEPTION ARGENTINE IS CASEY MIRNY TERRE ADELIE WILKES	60S 63S 65S 66S 66S 66S	300 295 110 92 140 110	XD DE AI CW MI DU WL	J6L J6N 46Ø 36Ø 56Ø 46Ø
LWIRO VANIMO KINSHASA BINZA TALARA NATAL + CHICLAYO CHIMBOTE	04S 04S 05S 06S	28 LW 41 VA 15 LB 78 TA 824 NL 880 CY 881 CM	10K 50L 10M 90M A0N 90P 90R	MAWSON SYOWA BASE BAUDOUIN SANAE CAPE HALLETT EIGHTS + HALLEY BAY +	67S 69S 70S 70S 72S 75S 75S	62 39 23 357 170 282 333	MW SW BB QM HT EI HB	26P 16R 17 v 07 v 67 K 97 N A7 N
PORT MORESBY ZARYA SHIP ELIZABETHVILLE JICAMARCA + COCOS IS HUANCAYO JULIACA	10S 11S 11S 12S 12S	27 EZ 283 JI 96 CS 284 HU 289 JU	50R 11J 91J 31K 91K J1N	BELGRANO + ELLSWORTH SCOTT BASE LITTLE AMERICA VOSTOK BYRD STATION SOUTH POLE	77S 77S 77S 78S 78S 80S 90S	321 318 166 197 106 240 0	GE EL SB LA VO BD PO	A7Q A7P 67P 77Q 47Q 88v 09v

#### JKLMNOPQR9

#### 

Fig. 7.2 "Perforation onze" pour les codes des stations

#### (c) Date

```
Les colonnes 6 et 7
                                    identifient l'année (par ex : 57 signifie 1957)
Les colonnes 8 et 9
                                    identifient le mois (par ex : 09 = septembre)
Les colonnes 10 et 11
                                    identifient :
                                    (i) pour les mesures horaires : le jour
(par ex : 08 indique le 8 du mois)
                                    (ii) pour les récapitulatifs mensuels :
                                          40 identifie la médiane
                                         50
                                                        la base de la médiane
                                         60
                                                        le quartile supérieur
                                                        le quartile inférieur
                                         80
                                                        l'écart quartile
                                         77
                                                       le décile supérieur
                                         87
                                                       le décile inférieur
```

## (d) Caractéristique

Les colonnes 12 et 13

identifient les caractéristiques ionosphériques d'après le code unifié à 2 digits du Tableau 7.2 du paragraphe 7.34. Les caractéristiques normalement échangées sont signalées par un astérisque.

## 7.33. Mesures horaires:

Les données de 12 (ou 13) observations horaires d'une caractéristique ionosphérique sont perforées sur une seule carte. Chaque observation occupe cinq colonnes, comme suit :

# (a) Caractéristiques représentées par une valeur numérique

Colonnes 14, 15, 16 (par exemple) : Valeur numérique, toujours perforée avec trois digits de la façon suivante :

une valeur de 7,9 pour foF2 est perforée 079 est perforée 350 une valeur de 2,45 pour foF est perforée 350

foE est perforée 245 9,4 une valeur de pour foEs est perforée 094 une valeur de pour fbEs est perforée 037 une valeur de 2,6 pour fmin est perforée 026 une valeur de 2,95 pour M(3000)F2 est perforée une valeur de 245 295 pour h'F est perforée 245 une valeur de 97 pour h'Es est perforée 097 une valeur de 27,6 pour MUF(3000)F2 est perforée 276

Colonne 17 (par exemple) Colonne 18 (par exemple)

Lettre qualificative Lettre descriptive

Les groupes suivants de cinq colonnes sont utilisés de la même manière.

## (b) Types d'Es

Pour respecter la répartition en cinq colonnes attribuées normalement à chaque observation horaire, les types d'Es sont perforés de la façon suivante :

Colonne 14 (par exemple)

Colonne 15

Colonne 16 et 17 (par exemple)

premier type tabulé

nombre de traces Es du type perforé dans la colonne précédente (jusqu'à concurrence de 9)

type et nombre de traces Es pour le

second type tabulé le type seul du troisième type tabulé

Colonne 18 (par exemple) On ne perfore rien si rien n'est inscrit dans la case correspondante de la feuille de dépouillement.

#### 7.34. Code des caractéristiques :

Il est essentiel que tout le monde utilise le même code pour la perforation des données ionosphériques. Le code normalisé du Tableau 7.2 a été adopté sur le plan international en Janvier 1970 pour l'identification des caractéristiques (colonne 12 et 13 des cartes perforées).

TABLEAU 7.2

Code des caractéristiques (colonnes 12 et 13 des cartes) Les caractéristiques normalement échangées sont indiquées par un astérisque (\*)

		CODES DES	CARACT	ERISTIQUES	A UTILISER PO	UR LES ME	SURES 1	IONOSPHERIQ	UES	Janv.	1970
Colonne 13	3			2	3	4	5	6	7	8	9
Colonne 12	2	0	1	2	3	4	3				
Couche										1	
		00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
F2	0	foF2*	fxF2	fzF2	M(3000)F2*	h'F2*	hpF2	h'0x	MUF(3000)F2	hc	qc
F1		10	11		13	14		16	17		
	1	foF1*	fxF1		M(3000)F1*	h'F1		h'F*	MUF(3000)F1		
		20		22		24		26			
E	2	foE*		foE2		h'E*		h'E2			
		30	31	32	33	34		36	i i		
Es	3	foEs*	fxEs	fbEs*	fEs	h'Es*		Type Es*			
		40		42	43	44			47	48	49
Autres	4	foF1.5		fmin*	M(3000)F1.5	h'F1.5			fm2	hm	fm3
F-diffus		50	51	. 52	53	54			57		
et échos obliques	5	foI	fxI*	fmI	M(3000)I	h'I			dfS		
0011400		60	61		63	64	65	66	67	68	69
N(h)	6	fh'F2	fh'F		h'mF1	h1	h2	h3	h4	h5	Н
		70	71	72							79
C.E.T.	7	I(2000)	I	I(xxxx)							T

Ce tableau donne la liste des caractéristiques qui sont échangées sur le plan international par toutes les stations et aussi de quelques caractéristiques mesurées en certaines stations et qui sont échangées de façon facultative. Un code arbitraire a été adopté dans certains cas mais, en général, le système du WWSC a été suivi.

Ce tableau diffère quelque peu de celui de la première édition ; les modifications sont les suivantes : dans la colonne 12 de la carte (identification de la couche), le chiffre 5 était à l'origine réseté mis au point. En conséquence, le chiffre 5 de la colonne 12 a été adopté pour les caractéristiques associées aux échos F-diffus et aux réflexions obliques. Le chiffre 6 a été adopté pour les caractéristiques des profils de densité électronique et le chiffre 7 pour celles du contenu électronique total (C.E.T.).

fzF2 (nouveau)
MUF(3000)F2 (changement de code)
MUF(3000)F1 (changement de code)
h'E2 (nouveau)
h'F1,5 (nouveau)
fm2, fréquence minimale de la trace du second ordre (nouveau)
fm3, fréquence minimale de la trace du troisième ordre si nécessaire (nouveau)
réservé pour foI si nécessaire
fxI (nouvelle caractéristique normalisée)
fmI, fréquence la plus basse à laquelle on observe des échos diffus (utilisé dans certaines stations seulement) (nouveau)
M(3000)I, facteur déduit à partir du rebord externe des traces diffuses et de fxI (utilisé dans certaines stations sur une base expérimentale seulement) (nouveau)
h'I, altitude minimale de la diffusion (utilisé dans certaines stations seulement) (nouveau)
I <sub>2000</sub> ou I(2000). Définition : contenu électronique de l'ionosphère jusqu'à 2000 km (mesuré à partir d'un satellite géostationnaire par effet Faraday)
I. Définition : contenu électronique total (C.E.T.) jusqu'à un satellite géostationnaire
$I_{xxxx}$ ou $I(xxxx)$ . Définition : contenu électronique de l'ionosphère jusqu'à l'altitude xxxx d'un satellite (pour les satellites non géostationnaires)

Les codes suivants ont été demandés pour faciliter l'échange des données concernant les profils de densité électronique. Ils sont susceptibles d'être modifiés ultérieurement si ils ont effectivement été utilisés.

Caractéristiques supplémentaires pour le calcul des profils à partir des caractéristiques conventionnelles (par exemple : foF2, M(3000)F2, h'F2, foF1, M(3000)F1, h'F, foE, h'E, fmin).

```
60 fh'F2 Définition : fréquence à laquelle est mesurée h'F2
61 fh'F Définition : fréquence à laquelle est mesurée h'F
63 h'mF1 Définition : hauteur maximale virtuelle du rebroussement F1 dans le mode o (c'est-à-dire la valeur de h' à foF1).
```

Caractéristiques des profils calculés par la méthode de Titheridge (chapitre 10).

48	hm	Définition : hauteur de la densité maximale de la couche F2 calculée par la méthode de Titheridge
79	T	Définition : contenu électronique jusqu'au maximum d'ionisation, calculé par la méthode de Titheridge
69	H h1 )	Définition : échelle de hauteur effective à hmF2 calculée par la méthode de Titheridge (H est physiquement similaire à qc mais sujet à de plus grandes erreurs expérimentales)
65 66 67 68	h2 h3 h4 h5	Définition : hauteurs réelles calculées par la méthode de Tîtheridge aux fréquences d'échantillonnage f1, f2, f3, f4, f5.

Parmi ces récentes caractéristiques, seule fxI (51) est maintenant recommandée pour un emploi général, mais les autres données devront être conformes au code recommandé si elles sont perforées.

Les définitions suivantes ont été généralement acceptées mais n'ont pas été normalisées sur le plan international. On remarquera que des conventions locales de ce genre peuvent changer selon le développement des recherches.

Caractéristiques des modes x et z : Pour l'onde du mode extraordinaire ou du mode z (colonnes 1 et 3 du Tableau 7.2), appliquer les définitions correspondant aux caractéristiques du mode extraordinaire

44	h'F1,5	Hauteur virtuelle définie par analogie avec h'F2
05	hpF2	Ce code peut aussi être utilisé pour des paramètres analogues à hpF2 quand ce paramètre n'est pas mesuré à la station, par exemple, hmF2 déduit à l'aide d'une courbe sans correction pour tenir compte de l'ionisation sous-jacente. Une note indiquant la caractéristique exacte doit être jointe aux cartes.
06	h'0x	Hauteur de la trace de l'onde extraordinaire à la fréquence foF2
57	dfS	Intervalle de fréquences de la diffusion. Il est normalement équivalent à fxI - foF2, mais peut indiquer l'intervalle total de la diffusion lorsque foF2 ou fxF2 ne peuvent être identifiés, par exemple dans le cas de diffusion équatoriale, lorsque il est permis d'utiliser dfS = fxI - fmI.

Remarque: Lors de la préparation de conventions locales pour un emploi régional, il faudrait consulter le conseiller de l'URSI/STP pour les sondages verticaux ou un membre de l'INAG afin de s'assurer que les instructions données au personnel chargé du dépouillement sont cohérentes avec celles concernant les caractéristiques classiques qui font l'objet du programme d'échange international.

Les figures 7.3, 7.4, 7.5 et 7.6 présentent quelques cartes perforées concernant des données ionosphériques typiques. L'interprétation des codes et des données perforés figure en haut de chaque carte et dans la légende de la figure.

## TABULATION OF HOURLY VALUES

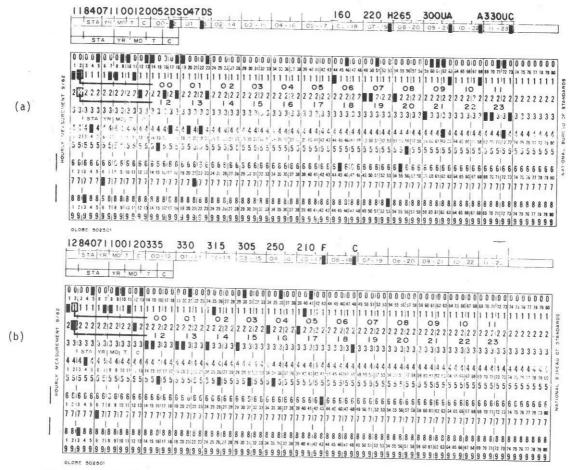


Fig. 7.3 (a) (b) Cartes perforées pour les valeurs horaires de foE, station 840 (Boulder) pour le ler Octobre 1971

(a) pour l'intervalle 00 - 11 heures

pour l'intervalle 12 - 23 heures

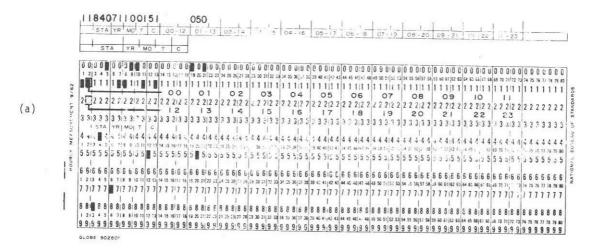


Fig. 7.4 (a) Carte perforée pour les valeurs horaires de fxI, station 840 (Boulder) pour le ler Octobre 1971, pour l'intervalle 00 - 11 heures

#### PUNCHED CARDS

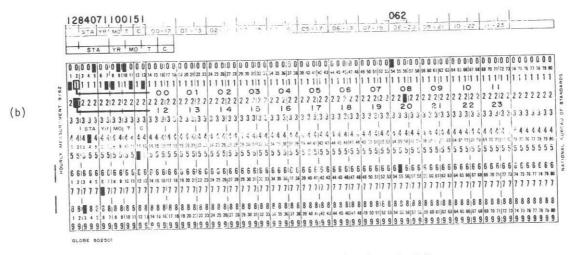


Fig. 7.4 (b) Carte perforée pour les valeurs horaires de fxI, station 840 (Boulder) pour le ler Octobre 1971, pour l'intervalle de 12 - 23 heures.

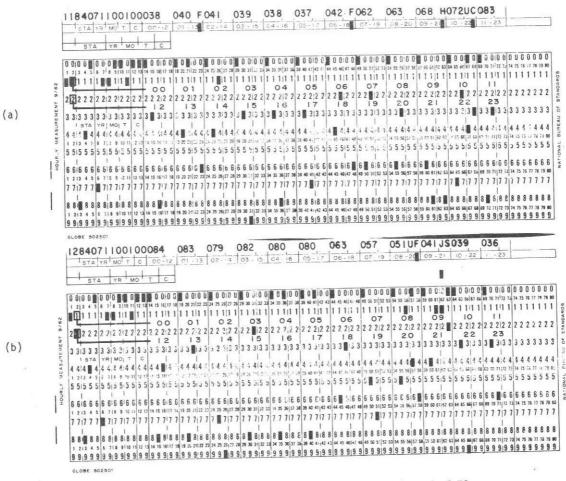


Fig. 7.5 (a) (b) Cartes perforées pour les valeurs horaires de foF2, Station 840 (Boulder) pour le ler Octobre 1971 (a) pour l'intervalle 00 - 11 heures (b) pour l'intervalle 12 - 23 heures

# TABULATION OF HOURLY VALUES

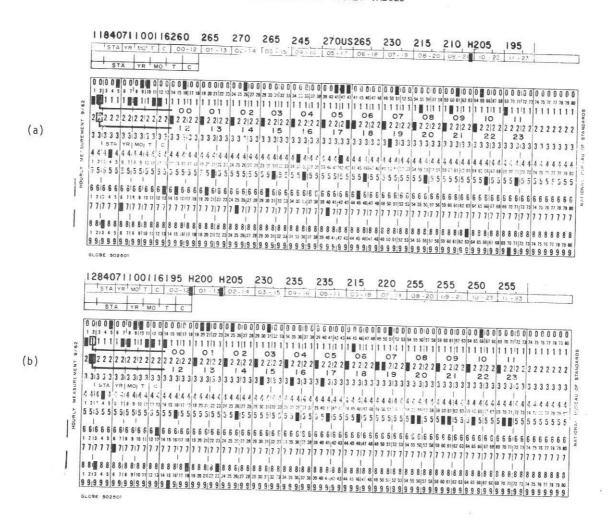


Fig. 7.6 (a) (b) Cartes perforées pour les valeurs horaires de h'F, station 840 (Boulder) pour le ler Octobre 1971 (a) pour l'intervalle 00 - 11 heures (b) pour l'intervalle 12 - 23 heures

#### CHAPITRE 8

# TABLEAUX MENSUELS DE DONNEES, MEDIANES ET QUARTILES

## 8.0. GENERALITES

Normalement, les stations préparent les tableaux horaires mensuels de toutes les caractéristiques classiques à partir des feuilles de dépouillement journalières. Le plus souvent, ces tableaux sont établis par ordinateur, par exemple à l'aide de cartes perforées d'après ces feuilles de travail journalières et d'un programme spécial de calcul.

Les conventions résumées au paragraphe 8.2 et dans le Tableau 8.1 ont été conçues pour permettre de perforer toutes les données, ce qui est maintenant pratique courante. Ces conventions s'appliquent aussi aux valeurs médianes.

Les règles concernant le calcul des médianes et des valeurs quartiles sont exposées aux paragraphes 8.3 (Médianes) et 8.4 (Valeurs quartiles). Les mêmes règles s'appliquent aux valeurs déciles lorsqu'elles sont calculées.

Toutes les données doivent être exactement sous la même forme avant d'être perforées et il est donc essentiel :

- (a) d'utiliser trois chiffres pour les valeurs numériques,
- (b) de toujours placer les lettres qualificatives et descriptives après les valeurs numériques et dans l'ordre correct (la lettre qualificative en premier lieu),
  - (c) de ne pas utiliser de virgules pour indiquer les décimales.

Les conventions appliquées pour enregistrer directement sur bande magnétique les valeurs numériques à la sortie des sondeurs numériques (voir  $\S$  11.4) devront être aussi compatibles que possible avec le système standard des cartes perforées.

## 8.1. IDENTIFICATION

Toutes les informations nécessaires à l'identification, telles que : nom de la station, lieu, temps du méridien, mois, année, caractéristique mesurée, ainsi que les unités utilisées, doivent figurer aux emplacements appropriés sur les tableaux.

# 8.2. VALEURS NUMERIQUES ET LETTRES

Les valeurs numériques et les lettres doivent être inscrites dans les tableaux comme indiqué par les exemples du Tableau 8.1 ci-dessous (qui ont été choisis arbitrairement pour illustrer des cas typiques).

Remarque : Les lettres qualificatives sont inscrites dans la première colonne des lettres et les lettres descriptives dans la seconde. Pour les exemples, on a supposé que les règles de précision normales (§ 2.1 et 2.2) s'appliquaient. Sinon les limites d'incertitude sont augmentées, selon la note du § 2.22.

L'inscription manuelle classique figure dans la deuxième colonne du Tableau 8.1 et sera reproduite sous la même forme à moins que l'on utilise un programme spécial d'ordinateur. Il est généralement plus facile d'inscrire les données sous la forme indiquée dans la troisième colonne lorsqu'on utilise un ordinateur.

Tableau 8.1

Caractéristique	Format manuel	Format ordinateur	Signification et précision (voir § 2.22)
foF2	096	096	Valeur sûre, incertitude inférieure à $\pm$ 2% (ou à $\pm$ $\Delta$ si $\Delta$ est supérieur à 2%).
	096-F	F 096	Diffusion au voisinage de foF2, incertitude de la valeur inférieure à $\pm$ 2% (ou à $\pm$ $\Delta$ si $\Delta$ est supérieur à 2%).
	096UF	U F 096	Diffusion à l'extrémité de la trace F, incertitude de la valeur comprise entre $(\pm\ 2\%\ \text{ou}\ \pm\ \Delta)\ \text{et}\ (\pm\ 5\%\ \text{ou}\ \pm\ 2\Delta).$
	F	F	Diffusion intense, incertitude de la valeur supérieure à 10% ou 3∆ à partir de la limite des valeurs possibles.
	071TN	T N 071	Les observations ne peuvent pas être interprétées (à cause de phénomènes transitoires, par exemple : réflexions obliques, perturbations itinérantes, etc); la valeur est obtenue par interpolation sur le f-plot.
	071TT	T T 071	Les observations ne sont pas représentatives de la valeur pour l'heure considérée et la valeur inscrite a été obtenue par interpolation sur le f-plot (ceci s'applique en présence de phénomènes transitoires lorsque seule la valeur horaire est perturbée).
	062EG	E G 062	Mesure sur la trace F2 impossible parce que foF1 est supérieure à foF2 (foF1 = 6,2 MHz).
foF1	04610	I C 046	Mesure impossible par suite d'une panne de l'appa- reil ; la valeur a été obtenue par interpolation dans le temps.
	052-L	L 052	Rebroussement mal défini mais l'incertitude de la valeur est estimée inférieure à $\pm$ 2% (ou à $\pm$ $\Delta$ si $\Delta$ est supérieur à 2%).
fxI	060	060	Fréquence extrême fxI sûre.
	0600B	0 B 060	fxI déduite de foI, l'absorption étant trop forte pour permettre d'observer la trace $x$ .
	060DC	D C 060	fxI certainement supérieure à la fréquence extrême observée, par suite d'un défaut de l'appareillage.
	030-X	X 030	Pas de diffusion, fxI = fxF2.
foEs	066	066	Valeur précise lue sur la trace o.
	072-X	X 072	Fréquence extrême identifiée comme correspondant à la trace x.
	072-M	M 072	Fréquence extrême dont on ne sait pas s'il s'agit de la trace o ou x.
	066JA	J A 066 fB/2	Fréquence extrême observée interprétée comme fxEs, la valeur numérique a été obtenue en soustrayant fB/2 de la valeur observée.
	041EG	E G 041	Absence d'Es, foEs égale ou inférieure à foE (foE = 4,1 MHz).
	025-G	G 025	Présence d'Es de type $\ell$ (bas), foEs inférieure à foE.

Tableau 8.1 (suite)

Caractéristique	Format manuel	Format ordinateur	Signification et précision (voir § 2.22)
fbEs	050	050	
TOES	050		Valeur précise de fbEs.
	041EG	E G 041	Absence d'Es, fbEs égale ou inférieure à foE (foE = 4,1 MHz).
	023-G	G 023	Présence d'Es de type $\ell$ (bas), fbEs inférieure à foE.
foE	310DR	D R 310	Absorption avec déviation si importante que seule une borne inférieure peut être donnée ; la vraie valeur est plus élevée de moins de 20% (ou de $5\Delta$ si $5\Delta$ est supérieur à 20%).
	325-H	H 325	La trace E présente une stratification au voisinage de la fréquence critique.
fmin	016ES	E S 016	Le brouillage empêche une observation précise, la vraie valeur doit être plus petite mais l'erreur est inconnue.
h'F	275EA	E A 275	Occultation du début de la trace F de sorte que seule une borne supérieure peut être donnée, la vraie valeur doit être plus petite.
	250UB	U B 250	Absorption si forte qu'elle empêche d'observer le début de la trace F; une valeur douteuse a été obtenue par extrapolation, l'erreur probable n'excède pas 5% (ou 2Δ si 2Δ est supérieur à 5%).
h'E	107	107	Valeur précise.
	095UC	U C 095	Mesure incertaine par suite d'une panne (par exemple : absence des repères de hauteur) ; l'erreur probable n'excède pas $5\%$ (ou $2\Delta$ si $2\Delta$ est supérieur à $5\%$ ).
M(3000)F2	325UH	U H 325	Mesure influencée par une stratification de sorte que la valeur inscrite est imprécise, l'erreur probable n'excède pas 5% ou 2∆.
	W	W	Le point de tangence avec la trace est au-delà de la limite supérieure de l'échelle des hauteurs de l'ionogramme.
Types d'Es	c3h1l	C3H1L	3 traces Es de type rebroussement (cusp), un Es haut (high) et un Es bas (low).
	r1K1	R1K1	Une trace Es de type r. Le retard de groupe sur la trace F indique la présence de E nocturne (une règle locale autorise d'inscrire r1Ko ou R1KO dans ce cas)
	k3	К3	E nocturne avec 3 traces (remarque : l'ordinateur ne dispose pas de lettres minuscules).

#### 8.3. VALEURS MEDIANES ET QUARTILES

#### 8.31. Choix de la moyenne :

Il est souhaitable que la valeur moyenne horaire d'une caractéristique soit représentative, c'està-dire à la fois typique et voisine de la valeur la plus probable. Ceci est difficile en pratique car la distribution des valeurs est presque toujours dissymétrique. On trouve souvent plusieurs valeurs très éloignées de la valeur moyenne la plus probable et, souvent, il est seulement possible de donner une limite supérieure ou inférieure pour une observation particulière. Pour ces raisons, la médiane est généralement plus représentative des conditions normales que la moyenne et a donc été adoptée sur le plan international comme la mesure standard de la valeur moyenne.

Pour les mêmes raisons, on a adopté les valeurs quartiles et l'intervalle quartile pour représenter la variabilité des données au cours du mois, pour chaque heure.

La signification d'une valeur moyenne dépend toujours de la forme de la distribution des valeurs individuelles. Pour les distributions généralement dissymétriques des caractéristiques ionosphériques, la fiabilité de la moyenne diminue très vite lorsque le nombre des observations est petit. Il est donc important, chaque fois que c'est possible, de ne pas omettre de valeurs dans le calcul de la médiane ou du quartile. Les conventions données ci-dessous indiquent le procédé le plus simple pour calculer des médianes et des quartiles représentatifs. Elles évitent aussi d'obtenir une médiane complètement indéterminée lorsqu'il y a des valeurs limites. Lorsque la distribution est mal définie, les valeurs moyennes et médianes sont souvent non représentatives en ce sens que de petites fluctuations du nombre d'observations utilisées changeraient considérablement la valeur numérique de la moyenne ou de la médiane. Dans ce cas, le procédé qui tient compte du plus grand nombre de valeurs est probablement celui qui permet d'obtenir la valeur la plus représentative.

#### 8.32. Définitions :

La médiane, les quartiles et la base de la médiane peuvent être définis comme suit :

- (a) La médiane d'une série de nombres est la valeur centrale de ces nombres classés par ordre de grandeur, ou la moyenne des deux valeurs centrales si le nombre des valeurs est pair.
- (b) Le quartile supérieur est la valeur médiane de la moitié supérieure des valeurs classées dans l'ordre croissant, le quartile inférieur est la valeur médiane de la moitié inférieure de ces valeurs.
  - (c) L'intervalle interquartile est la différence entre les quartiles supérieur et inférieur.
- (d) La base de la médiane est le nombre des valeurs qui entrent dans le calcul de la médiane. En plus des valeurs numériques, la base peut inclure certaines lettres descriptives.

#### 8.33. Conventions pour déterminer la base de la médiane :

La base de la médiane est le nombre de valeurs utilisées pour établir la médiane. Celles-ci comprennent toutes les valeurs numériques, les valeurs "plus petit que" et "plus grand que", et certaines lettres descriptives qui représentent des valeurs "plus petit que" ou "plus grand que".

Remarque : le fait d'expliciter numériquement les valeurs limites, par exemple xxxEE, xxxEG, xxxDD simplifie le calcul des médianes.

On utilise les conventions suivantes pour inclure les valeurs non-numériques dans la base de la médiane :

- (a) On élimine de la base de la médiane les valeurs de toute caractéristique ionosphérique remplacée par A (nouvelle règle), C, F, H, L, N, R, S, Y. (Ces lettres figurent dans la colonne des lettres descriptives).
  - (b) Les lettres suivantes, qui remplacent une valeur numérique, sont traitées comme suit :
  - A pour fbEs, A est comptée comme supérieure à la médiane (ceci est maintenant périmé, on applique les nouvelles règles des paragraphes 3.1, 3.2 et 4.6 pour obtenir une valeur numérique).
  - B pour fmin, B est comptée comme supérieure à la médiane.

    Remarque : B est souvent utilisée lorsque fmin est supérieure à la valeur normale de la caractéristique. Dans ce cas, B ne contribue pas à la médiane. L'inscription (fmin)EB n'apporte que peu d'information et oblige à calculer une seconde médiane. Pour foEs et fbEs, on utilisera la forme complète (fmin)EB lorsque (fmin) est numérique et détermine ces caractéristiques.
  - D pour les caractéristiques de fréquence, D est comptée comme supérieure à la limite supérieure de la gamme de fréquences du sondeur.

- $\mathsf{E}$  pour les caractéristiques de fréquence,  $\mathsf{E}$  est comptée comme inférieure à la limite inférieure de la gamme de fréquences du sondeur.
- E pour les valeurs des hauteurs virtuelles (sauf h'Es) remplacées par E, E est comptée comme égale ou supérieure à la médiane.
- G pour foF2, G est comptée comme égale ou inférieure à la valeur de foF1
- G pour foEs et fbEs, G est comptée comme égale ou inférieure à la médiane de foE. Lorsque foEs ou fbEs sont inférieures à foE, ce qui peut se produire quand le principal type d'Es est de l'Es type l, les valeurs numériques sont décrites par G et traitées comme égales ou inférieures à foE.
- G pour M(3000) et MUF(3000), G est comptée comme égale ou inférieure à la médiane.
- G pour h'F2, hmF2, hpF2, hc, qc, G est comptée comme égale ou supérieure à la médiane.
- W pour toutes les caractéristiques de hauteur, W est comptée comme égale ou supérieure à la médiane.
- W pour M(3000) et MUF(3000), G est comptée comme égale ou inférieure à la médiane.

Remarque : les lettres ci-dessus sont comptées comme "supérieure à" ou "inférieure à" la médiane selon le cas, à moins que la médiane elle-même ne soit une valeur limite, auquel cas elles sont comptées comme égales à cette valeur limite.

#### 8.34. Conventions pour l'évaluation des médianes :

La médiane est la valeur centrale du champ de points lorsque les valeurs ont auparavant été classées par ordre de grandeur. Si le nombre de valeurs est impair, la médiane sera déterminée par une seule valeur, par exemple, la 16ème des 31 valeurs. Si le nombre de valeurs est pair, la médiane est la moyenne des deux valeurs centrales, par exemple la moyenne entre les 15ème et 16ème des 30 valeurs (voir § 8.6). Cette moyenne peut être, ou non, un nombre entier dans la plus petite unité de mesure. Si elle ne l'est pas, le résultat est arrondi à la valeur paire la plus proche de la plus petite unité de mesure, par exemple 6,55 MHz est arrondi à 6,6 MHzet 6,45 MHz est arrondi à 6,4 MHz. .

Les règles suivantes indiquent comment procéder lorsque la médiane tombe sur une valeur limite (qualifiée de D ou E).

La première médiane d'essai est déterminée en ignorant toutes les lettres qualificatives.

- (i) Si plus de la moitié des valeurs sont qualifiées par D, la médiane est la première médiane d'essai qualifiée de D.
- (ii) Si plus de la moitié des valeurs sont qualifiées par E, la médiane est la première médiane d'essai qualifiée de E.
  - (iii) Si plus de la moitié des valeurs sont remplacées par D, la médiane est D.
  - (iv) Si plus de la moitié des valeurs sont remplacées par E, la médiane est E.
- (v) Si la moitié exactement des valeurs sont qualifiées par D et si celles-ci sont toutes au-dessus de la médiane, la médiane est la valeur la plus élévée non qualifiée que l'on qualifie par D.
- (vi) Si la moitié des valeurs exactement sont qualifiées par E et si celles-ci sont toutes au-dessous de la médiane, la médiane est la valeur la plus petite non qualifiée que l'on qualifie par E.
- (vii) Si la médiane est la moyenne (arrondie s'il y a lieu) d'une valeur qualifiée de D ou de E et d'une valeur non qualifiée, on la qualifie de D ou de E selon le cas ; mais si la valeur non qualifiée la plus proche est à l'intérieur de la limite de précision de la valeur médiane, on ne qualifie pas la médiane. Ici, les valeurs qualifiées de U sont traitées comme des valeurs précises.
- (viii) Si toutes les valeurs qualifiées de D sont au-dessus ou égales à la première médiane d'essai, et si toutes les valeurs qualifiées de E sont au-dessous ou égales à cette première médiane d'essai, cette dernière est la médiane.
- $(i \times)$  Si une valeur qualifiée par D est au-dessous de la première médiane d'essai, ou si une valeur qualifiée par E est au-dessus, il faut procéder au calcul d'une seconde médiane d'essai (voir cidessous). Ceci s'applique aussi aux cas où la moitié exactement des valeurs sont qualifiées de D ou de E, mais ne sont pas toutes respectivement au-dessus ou en-dessous de la médiane. La seconde médiane d'essai est déterminée en considérant toutes les valeurs qualifiées par D comme plus grandes que la première médiane et toutes les valeurs qualifiées par E comme plus petites.
- (x) Si la première et la seconde médiane d'essai sont identiques, c'est la médiane finale, et elle est donnée sans qualification (à moins que plus de la moitié des valeurs de la base ne soient qualifiées par des lettres apportant une notion de doute (I, T, U, Z), (voir § 8.35), auquel cas la médiane est qualifiée de U). Remarquer que les modifications pour arrondir des valeurs ne sont pas prises en considération ici.

- $(\times i)$  Si la première et la seconde médiane d'essai sont numériques, la médiane correspond à leur moyenne et on la qualifie, si nécessaire, en appliquant les règles du paragraphe 8.35.
- $(\times ii)$  Si une médiane d'essai est un symbole descriptif ayant force de valeur numérique, on applique les règles illustrées par les exemples suivants :

Pour les caractéristiques de fréquence :

```
032 et E donnent 032EE
042 et G donnent 042EG (pour foF2, foEs, fbEs seulement)
174 et D donnent 174DD
042 et B donnent 042DB (pour fmin seulement)
```

Pour les caractéristiques de hauteur (à l'exception de h'Es)

```
225 et E donnent 225DE
240 et G donnent 240DG
380 et W donnent 380DW
```

Pour les facteurs de MUF

```
295 et G donnent 295EG
270 et W donnent 270EW
```

( imes iii) Aucune médiane ne peut être donnée si les deux médianes d'essai sont remplacées par des lettres différentes.

Remarque : Sauf aux heures pour lesquelles une caractéristique est en dehors de la gamme de fréquences de l'ionogramme, il est inhabituel d'utiliser D ou E pour les valeurs médianes. (Les principales exceptions sont les caractéristiques d'Es et les fmin limitées par le brouillage). Donc, si ces règles sont souvent appliquées, il est bon de s'assurer que D et E ont été correctement utilisées et que l'ionosonde fonctionne bien.

#### 8.35. Fiabilité des médianes :

L'indication la plus importante de la fiabilité d'une médiane est la base (c'est-à-dire le nombre d'observations qui entrent dans l'évaluation de la médiane). Les médianes sont déterminées dans tous les cas, quelque soit le nombre d'observations. La base est inscrite avec chaque valeur médiane.

- Si plus de la moitié des valeurs individuelles sont qualifiées par une certaine lettre, la médiane elle-même sera qualifiée par cette lettre. Il en est de même pour les lettres descriptives.
- Si aucune lettre qualificative ne s'applique à plus de la moitié des valeurs de la base, mais si plus de la moitié de ces valeurs sont qualifiées par des lettres comportant une notion de doute (I, T, U, Z), la médiane sera qualifiée par la lettre U, et décrite par la lettre descriptive la plus fréquemment utilisée pour les valeurs douteuses.
- Si la première et la seconde médianes d'essai diffèrent de plus de deux fois l'incertitude permise par les règles de précision (§ 2.2), la moyenne de ces deux médianes d'essai est douteuse et doit être qualifiée par la lettre U. C'est le seul cas où la lettre qualificative U peut être utilisée sans lettre descriptive. Il est préférable de ne pas inscrire une lettre descriptive dans ce cas puisque la principale cause du doute est la grande différence entre les médianes d'essai.

Remarque : Cette différence limite est généralement 10% (ou 4∆ si 4∆ est plus grand que 10%).

#### 8.36. Marche à suivre pour le calcul des médianes :

- (i) Omettre de la base de la médiane les valeurs de toute caractéristique ionosphérique remplacée par A, C, F, H, L, N, R, S, V et Y.
- (ii) Ranger toutes les valeurs numériques par ordre de grandeur sans tenir compte des lettres symboles.
- (iii) Ranger les valeurs remplacées par des lettres ayant force de valeur numérique, comme spécifié au paragraphe 8.33. Il s'agit des lettres A (ancienne convention seulement), B, D, E, G et W.
  - (iv) La première médiane d'essai est déterminée en ignorant les lettres qualificatives.
- (v) Si une qualification est nécessaire, appliquer les règles du paragraphe 8.34 (i) à (vii). Dans ce cas on ajoutera la lettre descriptive qui convient.
- (vi) Si toutes les valeurs qualifiées par A ou D sont au-dessus de (ou égales à) la première médiane d'essai, et si toutes les valeurs qualifiées par E sont au-dessous de (ou égales à) la première médiane d'essai, cette dernière est la médiane finale.

- (vii) Si certaines valeurs qualifiées par A ou D apparaissent au-dessous de la première médiane d'essai, ou si des valeurs qualifiées par E apparaissent au-dessus, il faut déterminer une seconde médiane d'essai.
- (viii) Procéder comme suit : déplacer toutes les valeurs E au bas de la répartition et toutes les valeurs A ou D au sommet de la répartition et calculer la seconde médiane d'essai.
- (ix) La médiane finale est la moyenne des première et seconde médianes d'essai (si cette moyenne n'est pas un multiple de l'unité de mesure, on l'arrondit à l'unité de mesure paire la plus proche).
- (x) Si la seconde médiane d'essai diffère de la première de plus de 10% (ou de  $4\Delta$  si  $4\Delta$  est plus grand que 10%), la médiane finale doit être qualifiée par U, sans lettre descriptive.
- $(\times i)$  Vérifier sur la feuille des valeurs horaires si, dans la colonne correspondante, plus de la moitié des valeurs de la base sont affectées d'une lettre descriptive. Dans ce cas la médiane doit être affectée par une lettre descriptive. Si une lettre descriptive domine, c'est cette lettre qui sera utilisée, sinon on utilisera N comme lettre descriptive pour la médiane.
- $(\times ii)$  Vérifier sur la feuille des valeurs horaires si, dans la colonne correspondante, plus de la moitié des valeurs de la base sont affectées d'une lettre *qualificative* U, I ou T. Dans ce cas la médiane doit être qualifiée par U (on ne tient pas compte de A, D, E et J pour savoir si la médiane doit être qualifiée).

Remarque : On ne peut qualifier une valeur médiane avec la lettre U sans lettre descriptive que lorsque la médiane est imprécise par suite d'une grande différence entre les deux médianes d'essai.

# 8.37. Détermination des médianes par ordinateur :

Pour déterminer les médianes par ordinateur, on peut programmer les règles complexes données aux paragraphes 8.33 à 8.35 pour calculer les médianes d'essai et choisir les lettres symboles adéquates. De nombreux groupes utilisent de tels programmes qui réduisent beaucoup le travail de calcul des médianes. Les détails varient selon le type d'ordinateur, bien que, pour l'essentiel, le même organigramme soit utilisé par tous les groupes. En pratique, la précision des médianes obtenues par ordinateur est plus grande que celle des médianes évaluées manuellement car moins d'erreurs peuvent se produire. Les personnes qui désirent utiliser un ordinateur pour le calcul des médianes peuvent demander conseil, éventuellement par l'intermédiaire de l'INAG, à un des groupes qui travaillent déjà avec un ordinateur de type identique. Un exemple de programme type (selon les règles AGI) a été donné par L. Bossy dans le Manuel d'Instructions des Années internationales du Soleil calme (*IQSY Instruction Manual*), (Londres, 1963), réimprimé dans les Annales des Années internationales du Soleil calme (*Annals of the International Quiet Sun Years*, *Vol. 1*, M.I.T. Press, Cambridge, Mass. 1968).

#### 8.4. VALEURS QUARTILES:

Le quartile supérieur est la valeur médiane de la moitié supérieure des valeurs classées par ordre de grandeur ; le quartile inférieur est la médiane de la moitié inférieure. Il faut noter que, pour la détermination des valeurs quartiles, on doit utiliser toutes les valeurs numériques sans tenir compte des lettres qualificatives, de la même façon que pour la détermination de la médiane d'essai.

La règle exacte à appliquer est la suivante : sans chercher à savoir si la base de la médiane comporte 2n valeurs (base paire) ou 2n + 1 valeurs (base impaire), le quartile inférieur est la médiane des n plus petites valeurs et le quartile supérieur est la médiane des n plus grandes valeurs, classées pour trouver la première médiane d'essai.

On arrondit les valeurs quartiles en suivant les mêmes règles que pour les médianes.

- Si la valeur quartile est la moyenne des deux valeurs dont l'une est qualifiée par A, D ou E, la valeur quartile ne sera pas qualifiée. Si la valeur quartile est la moyenne de deux valeurs, toutes deux qualifiées par la même lettre A, D ou E, le quartile sera qualifié par D ou E selon le cas. Si une valeur quartile est la moyenne de deux valeurs, dont l'une est qualifiée par A ou D et l'autre par E, le quartile ne sera pas qualifié.
- Notes : (i) Il peut arriver que le quartile supérieur soit inférieur à la médiane finale, ou que le quartile inférieur soit supérieur à cette médiane lorsque les première et seconde médianes d'essai sont différentes.
- (ii) Les quartiles ne sont pas qualifiés à moins qu'ils ne soient des valeurs limites qualifiées par D ou E comme ci-dessus.
- (iii) Le valeurs quartiles ne peuvent comporter que les lettres A, D ou E. Ces lettres ne seront utilisées que si la valeur quartile est elle-même qualifiée par A, D ou E ou si la valeur quartile est la moyenne de deux valeurs toutes deux qualifiées par A ou D, ou toutes deux qualifiées par E.

- (iv) Les valeurs quartiles sont toujours obtenues lors de l'évaluation de la première médiane d'essai.
- (v) Les quartiles sont moins importants que les médianes, c'est pourquoi on ne calcule pas de secondes valeurs quartiles. Si le quartile tombe entre une valeur qualifiée et une valeur qui ne l'est pas, il est plus utile de connaître la valeur non qualifiée que la valeur qualifiée.

#### 8.5. INTERVALLE INTERQUARTILE:

L'intervalle interquartile est la différence entre les valeurs quartiles supérieure et inférieure. Si un quartile supérieur tombe sur une valeur "plus grand que" ou si un quartile inférieur tombe sur une valeur "plus petit que", l'intervalle interquartile sera "plus grand que" la différence calculée.

On rencontre une difficulté lorsque le quartile supérieur pour fmin est donné par la lettre de remplacement B. Dans ce cas le meilleur procédé consiste à prendre pour quartile supérieur la valeur la plus élevée de fmin pour l'heure considérée, xxx, en la qualifiant par DB : xxxDB. L'intervalle interquartile sera alors qualifié par D. On peut aussi, plus simplement, remplacer l'intervalle interquartile par B. Ceci ne fournit aucune donnée numérique aux heures pour lesquelles la dispersion des valeurs de fmin est anormalement grande.

(a) La lettre qualificative D ou E nécessaire pour l'intervalle interquartile lorsque les quartiles sont qualifiés est déterminée comme suit :

Quartile supérieur	Quartile inférieur	Intervalle interquart	tile
D	Ε	D	
D	_	D	
D	D	U	
E	E	U	
E	D	Ε	
E	-	Ε .	
_	D	E	
le .	E	D	

Note (i): En fait, les cas D, D; E, E sont indéterminés mais il est souvent utile de donner une idée de la dispersion des valeurs numériques. Le fait que la médiane est une valeur limite montre que U est utilisée de façon conventionnelle et n'a pas sa signification habituelle.

Note (ii): Pour fbEs, les règles ci-dessus s'appliquent lorsque la lettre qualificative A remplace la lettre qualificative D. Utiliser A comme équivalent de D dans ce cas.

- (b) Les lettres suivantes, qui remplacent une valeur numérique, ont la valeur indiquée ci-après :
  - A Pour fbEs, A est comptée comme supérieure à la médiane.
  - B Pour fmin, B est comptée comme supérieure à la médiane.
  - D Pour toutes les caractéristiques de fréquence, D est comptée comme supérieure à la limite supérieure de la gamme de fréquences de l'ionosonde.
  - E Pour toutes les caractéristiques de fréquence, E est comptée comme inférieure à la limite inférieure de la gamme de fréquences du sondeur.
  - E Pour les valeurs de hauteurs virtuelles, sauf h'Es, E est comptée comme égale ou supérieure à la médiane.
  - F Pour h'Es. E est omise.
  - G Pour foF2, G est comptée comme égale ou inférieure à la valeur de foF1.
  - G Pour foEs et fbEs, G est comptée comme égale ou inférieure à la valeur de foE.
  - G Pour les caractéristiques de hauteur, h'F2, hmF2, hc, qc, G est comptée comme égale ou supérieure à la médiane.
  - G Pour les facteurs de MUF ou les MUF, M(3000), MUF(3000), G est comptée comme égale ou inférieure à la médiane.

W - Les règles sont les mêmes que pour G, si ce n'est que W ne concerne pas les caractéristiques de Es.

#### 8.6. TABLEAU INDIQUANT L'EMPLACEMENT DES MEDIANES :

Le tableau suivant, préparé d'après les règles qui viennent d'être exposées, montre, pour toutes les bases possibles de la médiane, quelles valeurs correspondent à la médiane et aux quartiles.

On suppose que les données sont rangées par ordre de grandeur. La base est le nombre de valeurs qui entrent dans le calcul de la médiane. Pour obtenir la médiane, on compte à partir de l'une ou l'autre des extrémités de la série des valeurs jusqu'à celle (ou celles) du milieu (les valeurs affectées de "plus grand que" ou "plus petit que" doivent être traitées comme indiqué au paragraphe 8.33).

#### Exemples :

- (i) La médiane de 13 valeurs est la 7ème valeur.
- (ii) La médiane de 22 valeurs est la moyenne des 11ème et 12ème valeurs.
- (iii) Le quartile inférieur de 31 valeurs est la 8ème valeur à partir du bas et le quartile supérieur la 24ème valeur à partir du bas.
- (iv) Les quartiles de 29 valeurs sont la moyenne des 7ème et 8ème et des 22ème et 23ème valeurs.

Tableau 8.2

Emplacement des quartiles supérieur et inférieur et de la médiane d'après le nombre de valeurs de la base

Base	Quartile inférieur	Médiane	Quartile supérieur	Base	Quartile inférieur	Médiane	Quartile supérieur
1	-	1	-	17	4/5	9	13/14
2	-	1/2	-	18	5	9/10	14
3	1/2	2	2/3	19	5	10	15
4	1/2	2/3	3/4	20	5/6	10/11	15/16
5	1/2	3	4/5	21	5/6	11	16/17
6	2	3/4	5	22	6	11/12	17
7	2	4	6	23	6	12	18
8	2/3	4/5	6/7	24	6/7	12/13	18/19
9	2/3	5	7/8	25	6/7	13	19/20
10	3	5/6	8	26	7	13/14	20
11	3	6	9	27	7	14	21
12	3/4	6/7	9/10	28	7/8	14/15	21/22
13	3/4	7	10/11	29	7/8	15	22/23
14	4	7/8	11	30	8	15/16	23
15	4	8	12	31	8	16	24
16	4/5	8/9	12/13				

Note: 1/2, par exemple, signifie la moyenne entre les valeurs 1 et 2.