

PARTAGE DE FREQUENCES, suite

Zone de silence

A une distance proche de l'émetteur, il peut y avoir, au-delà de la limite de l'onde de sol, une zone dans laquelle les ondes ionosphériques provenant de l'émetteur ne peuvent pas être reçues, car elles dépassent la MUF et traversent l'ionosphère.

Théoriquement, cela crée une zone dans laquelle le partage des fréquences est possible, mais dans la pratique, les mesures ont montré que les signaux pouvaient pénétrer dans la zone de silence par diffusion latérale.

Utilisation des modèles de prévision de la propagation

Les modèles de prévision de la propagation des ondes radioélectriques tels que ceux décrits dans la Recommandation UIT-R P.533 peuvent donner des indications sur les caractéristiques prévues des circuits.

Ces renseignements peuvent également servir à indiquer s'il existe des possibilités de partage des fréquences.

Ces modèles sont établis sur la base d'un comportement moyen et ne sauraient donner des résultats qui dépassent leurs possibilités statistiques.

Ainsi, ils ne permettent pas d'obtenir de bonnes prévisions de la propagation ionosphérique en région équatoriale, là où les anomalies peuvent entraîner des variations transitoires par rapport aux modes normaux de propagation et où des signaux de forte intensité peuvent être transmis sur de grandes distances.

Là encore, la propagation par E-sporadique peut entraîner des brouillages que les modèles ne pourront pas prévoir.

Dans les régions de hautes latitudes, on observe des irrégularités et des phénomènes transitoires dont les modèles ne peuvent pas tenir compte.

Variations de la propagation

Les modèles peuvent donner des indications statistiques pour les circuits susceptibles d'utiliser des fréquences en partage, mais il faut tenir compte des effets des variations réelles de la propagation des ondes ionosphériques.

Ces variations et l'évanouissement du champ du signal doivent être pris en considération en prévoyant une marge pour la variation prévisible.

Le Rapport UIT-R P.266 donne des renseignements généraux sur la nature de ces variations et les Recommandations UIT-R F.339 et UIT-R BS.411 indiquent les valeurs des marges contre les évanouissements à prendre en compte pour les applications du service fixe et du service de radiodiffusion.

Les signaux brouilleurs peuvent se propager au-delà de leur zone de réception théorique à des distances difficiles à prévoir, en présence de couches E sporadique (la Recommandation UIT-R P.534 donne des statistiques sur l'apparition de E-sporadique),

DOCUMENTATION

ou de fortes inclinaisons à proximité du point de réflexion de l'onde ionosphérique, ou lorsque des irrégularités de la densité ionosphérique provoquent une diffusion latérale des signaux.

La plupart de ces phénomènes se produisent à certaines heures de la journée, de la saison ou du cycle solaire et il est possible d'utiliser des techniques d'attribution dynamique de fréquences, lorsque l'utilisation en partage de certaines fréquences n'est pas possible pendant les périodes de propagation anormale.

Systèmes à agilité de fréquence

Le partage dynamique des fréquences ou la gestion des fréquences en temps réel est très utile pour établir des circuits de communication lorsque les contraintes de brouillage ne le permettent pas.

Le partage dynamique suppose que les services sont exploités à titre secondaire et qu'il est impossible de demander des communications sans brouillage.

Ce type de partage est possible avec les équipements modernes d'émission et de réception à agilité de fréquence.

Le partage dynamique des fréquences est particulièrement efficace quand un service utilise une puissance élevée sur des fréquences connues ou qui ont fait l'objet d'avis, par exemple le service de radiodiffusion, et que le service dynamique utilise une faible puissance faisant intervenir des communications bidirectionnelles,

par exemple le service fixe, le service mobile et le service d'amateur.

Les systèmes d'évaluation des canaux en temps réel (RTCE), qui contrôlent en temps réel la qualité d'un circuit donné sur un ensemble de fréquences assignées, permettent d'adapter les fréquences disponibles aux conditions de la propagation sur le circuit.

Les systèmes radioélectriques dotés de dispositifs RTCE sont maintenant disponibles et l'emploi des techniques de ce genre va sans doute se généraliser.



LA PROPAGATION TERRESTRE

1.1 Introduction

La propagation des ondes métriques est surtout influencée par des éléments physiques, comme le terrain et la couverture du sol (fouillis d'échos), et par des facteurs troposphériques, principalement la réfraction.

Cependant la propagation ionosphérique d'ondes métriques peut se produire avec des affaiblissements relativement faibles, sur de longues distances.

De tels phénomènes de propagation peuvent s'avérer importants, en particulier pour les systèmes qui exigent une grande fiabilité, en ce qu'ils provoquent des brouillages dans le domaine des ondes métriques.

1.2 Résumé des mécanismes ionosphériques susceptibles de provoquer des brouillages

[Le Tableau 1](#) présente un résumé des mécanismes de propagation ionosphérique qui peuvent provoquer des brouillages importants aux fréquences métriques.

Des renseignements sur les mécanismes les plus importants sont donnés dans les paragraphes qui suivent.

1.3 Propagation normale par la région F

Au voisinage du maximum du cycle d'activité solaire, les transmissions à grande distance par la couche F2 peuvent se faire pendant un pourcentage de temps appréciable pour des fréquences supérieures à 30 MHz.

Cet effet peut s'étendre jusqu'à 70 MHz aux latitudes basses. Les [Fig. 1, 2 et 3](#) présentent des valeurs de la MUF pour une distance de 4 000 km dépassées pendant 1% des heures, pour trois saisons, au maximum d'activité solaire.

1.4 Propagation transéquatoriale

Des transmissions peuvent se faire avec des niveaux élevés, notamment pendant les années de forte activité solaire, sur des trajets longs nord-sud franchissant l'équateur géomagnétique.

Il semble qu'il existe deux types de propagation transéquatoriale, caractérisés par :

les heures d'occurrence,

les caractéristiques des évanouissements

et les modes de propagation.

Le premier type de propagation transéquatoriale, appelé le type de l'après-midi, a les caractéristiques suivantes:

- maximum d'occurrence vers 1700-1900 h (temps local moyen), l'heure étant déterminée au point où le circuit coupe l'équateur magnétique;
- normalement, signaux forts et constants, avec un taux d'évanouissement peu élevé et un faible étalement par effet Doppler (environ ± 2 à 4 Hz);

DOCUMENTATION

Le deuxième type de propagation transéquatoriale, appelé le type du soir, fait généralement intervenir des fréquences plus élevées que le type de l'après-midi et possède des caractéristiques très différentes:

- maximum d'occurrence vers 2000-2300 h (temps local moyen);
- signaux forts, mais subissant des évanouissements profonds et rapides dont la période peut atteindre environ 15 Hz et avec un grand étalement par effet Doppler qui dépasse parfois 40 Hz;
- longueurs de trajet plus petites que pour le type de l'après -midi, de l'ordre de 3 000 à 6 000 km

1.5 Propagation par E-sporadique

(Voir page suivante)

1.6 Ionisation provoquée par les traînées météoriques

(Voir page suivante)

1.7 Ionisation aurorale

Des irrégularités d'ionisation alignées le long des lignes de force du champ magnétique terrestre dans les zones aurorales apparaissent pendant des périodes magnétiquement perturbées. Une telle ionisation peut provoquer des réflexions qui entraînent une propagation généralement en dehors du trajet dans le plan du grand cercle, qui peut être une cause de brouillages dans la bande des ondes métriques, principalement aux latitudes géomagnétiques moyennes et élevées.

1.8 Propagation Terre-espace

La propagation des ondes métriques et décimétriques sur des trajets Terre-espace qui traversent l'ionosphère est sujette /

- à des affaiblissements,
- à la rotation de polarisation,
- à la scintillation d'amplitude et de phase
- et à la courbure du trajet des rayons.

Ces effets peuvent avoir une influence sur l'étendue du partage des fréquences pour les services par satellite et entres services par satellite et services de Terre.

Pour les systèmes à satellites sur orbite, l'effet des variations des irrégularités de l'ionosphère en fonction du temps et du lieu peut être important, en particulier dans les régions équatoriales et aurorales.

DOCUMENTATION

Origine des brouillages	Zone de latitudes	Période où les brouillages sont intenses	Valeur approximative (MHz) de la fréquence la plus haute affectée d'un brouillage intense	Valeur approximative (MHz) de la fréquence au-dessus de laquelle le brouillage est négligable	Distances approximatives entre lesquelles les brouillages se font sentir (km)	Principales caractéristiques
Réflexions par la couche F normale	Latitudes moyennes	Jour, équinoxe et hiver, activité solaire maximale	50	60	Trajets E-O 3 000-6 000 ou	Occurrence généralement conforme à la morphologie de la couche normale.
	Latitudes basses	Entre l'après-midi et la fin de la soirée, activité solaire maximale	60	70	trajets N-S 3 000-10 000	
Réflexions par l'ionisation E-sporadique	Latitudes élevées	Nuit	70	90	500-4 000	Principalement pendant les mois d'été aux latitudes moyennes. Début et fin soudains, commençant plus tard et se terminant plus tôt à mesure que la fréquence d'exploitation augmente. Zone concernée relativement restreinte et mobile. Durée plusieurs minutes ou plusieurs heures. Pas de renforcement du signal associé sur une courte distance.
	Latitudes moyennes	Jour et soir – Eté	60	83-135 (1)		
	Latitudes basses	Jour	60	90		
Diffusion par E-sporadique	Latitudes basses	Soir jusqu'à minuit	60	90	Jusqu'à 2 000	

Tableau des principales causes de brouillage pour les stations travaillant sur des fréquences de 30 à 300 MHz

Pour 0,1% du temps, pendant les heures comprises entre 0800 et 2300 (heure locale), de mai à août (111 min au total), on peut déduire les fréquences suivantes, pour une distance de 1 800 km et pour G = 30 dB aux latitudes moyennes:

Région A (Europe et Afrique du Nord)	0	83 MHz
Région B (Amérique du Nord)	0	93 MHz
Région C (Asie)		135 MHz
Région D (Moyenne pour l'hémisphère Nord)		115 MHz

SPORADIQUE E

La couche E sporadique

La région E de l'ionosphère est située à environ 90 à 150 kilomètres d'altitude. Son altitude peut varier, et la densité d'électrons (ionisation) dépend de l'angle solaire par rapport au zénith et de l'activité solaire.

Pendant les heures de jour, la densité d'électrons (une mesure du niveau d'ionisation) peut atteindre 10^5 électrons/cm³.

La nuit, quand le flux des rayons X du soleil est coupé, le niveau d'ionisation tombe à 10^3 e/cm³.

Ces densités d'ionisation sont évaluées dans des conditions normales, en absence d'E. sporadique.

Des "nuages" particulièrement ionisés, organisés en une simple couche ou en multi-couches, habituellement espacés d'environ 6 kilomètres, constituent la couche sporadique E_s.

Leur formation peut durer de quelques minutes à quelques heures.

Les mécanismes de formation de cette couche sont mal connus. Sa probabilité d'apparition est inconnue et ses paramètres imprévisibles. Quelques mécanismes théoriques possibles incluent des cisaillements des vents de niveau supérieur et l'activité géomagnétique.

L'apparition de ces phénomènes de façon intense se situe principalement dans la période des un à deux mois précédents et suivants le solstice d'été, soit de mai à août dans l'hémisphère nord.

Toutefois même pendant cette période, les phénomènes restent aléatoires : il peut n'y avoir aucun événement pendant trois semaines consécutives, ou des événements presque tous les jours pendant toute une semaine.

La propagation radio E_s

Des distances de communication de 300 à 2 500 km sont communes d'un "nuage" simple couche d'E_s.

La variabilité de la distance de propagation en E_s et des fréquences impliquées est due à la taille et à la densité des "nuages".

Les fréquences de 20 à 70 MHz sont les plus concernées par ce type de propagation (les bandes de fréquences des 27 MHz, 28 MHz et 50 MHz des radioamateurs, les canaux TV de la bande I, la bande FM des 66 à 73 MHz d'Europe de l'Est).

Lors des événements les plus intenses, des fréquences jusqu'à 250 MHz peuvent être reflétées (la bande FM des 88 à 108 MHz, la bande radioamateur des 144 MHz).

Ce type de propagation a pour caractéristiques principales d'être directif (seules sont concernées certaines zones géographiques, variables en fonction des événements ionosphériques) et très intense (des émetteurs de très faible puissance peuvent être reçus à des centaines de km, des émetteurs lointains peuvent brouiller des émetteurs locaux).

Du fait de son caractère aléatoire, ce type de propagation n'est pas utilisé par des services réguliers de télécommunication, qui au contraire y voient une nuisance à cause des risques de brouillages qu'il entraîne.

DOCUMENTATION



SPORADIQUE E

La propagation des ondes métriques par la couche E normale n'est probable à aucun moment alors que la propagation par ionisation météorique ou par nuages sporadiques de la région E peut être significative.

Propagation par ionisation météorique

Malgré leur apparition irrégulière, on peut établir des prévisions journalières de la durée des ouvertures dans la partie inférieure de la bande métrique. Certains pays utilisent ce phénomène pour la transmission de données dans des réseaux spécialisés.

Ionisation sporadique E

L'ionisation sporadique E se présente comme une augmentation de l'ionisation sous l'aspect de "nuages en nappes horizontales" dont l'épaisseur est d'environ 1 km

et la surface horizontale est de 100 km.

L'altitude de ces couches de nuages est de 100 km.

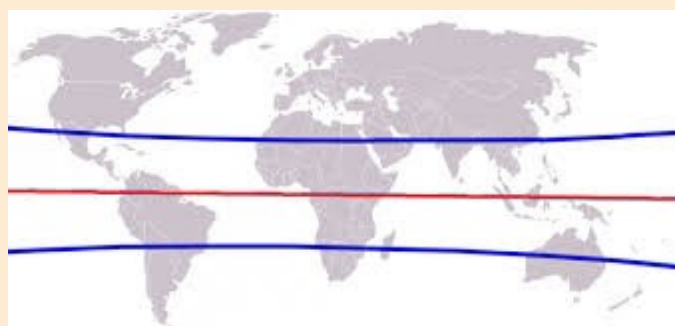
Ces nuages apparaissent de façon erratique avec une préférence à certaines heures et aussi à certains mois de l'année.

Il existe 3 zones d'ionisation avec sporadique E, à des latitudes "basses" "moyennes" et "aurorales".

La zone de basse latitude est subdivisée en deux sous-régions :

La zone équatoriale

La zone sub-équatoriale



SPORADIQUE E, suite

La zone équatoriale s'étend de part et d'autre de l'équateur jusqu'à 6 degrés d'inclinaison et chaque bord se déplace de 1 degré de latitude magnétique entre l'été et l'hiver.

C'est lors du solstice d'été que le bord s'éloigne le plus de l'équateur.

Il y a pourtant des différences en fonction des continents.

Bien qu'il n'y ait pas de variation saisonnière importante, il y a une augmentation de sporadique E lors des équinoxes pour les stations proches de l'équateur magnétique et une autre augmentation lors des solstices pour les stations situées à quelques degrés de l'équateur magnétique.

La propagation des ondes métriques due aux E sporadiques s'effectue par diffusion.

La zone sub-équatoriale se trouve de chaque côté de cette ceinture jusqu'à + ou - 20 degrés d'inclinaison.

[Les zones des latitudes moyennes couvrent la plus grande partie de la terre et s'étendent :](#)

De la zone de basse latitude jusqu'à la latitude géomagnétique de 60 degrés environ.

Dans les zones de latitude moyenne, le phénomène le plus important est le maximum très net observé en été dans la fréquence d'apparition d'ionisation des couches E sporadiques intenses.

Ce maximum devient plus marqué lorsque l'on se rapproche des latitudes élevées, jusqu'à ce que (ce maximum) soit très altéré par les phénomènes liés à la zone aurorale.

L'ionisation E sporadique est rarement présente entre minuit et 6 heure du matin (heure locale)

Elle apparaît le plus souvent vers 10 heure locale, et dans certaines régions, dans l'après midi ou dans la soirée.

L'ionisation est très dense dans la journée.

Dans les zones des latitudes moyennes, la probabilité d'apparition de sporadique E présente des variations importantes en fonction de la longitude et de la latitude.

La valeur maximum se situe entre 120 et 160 degrés de longitude Est

Et entre 15 et 40 degrés de longitude Nord.

L'explication pourrait être, les cisaillement de vents, en particulier dans les latitudes moyennes.

Dans les zones aurorales, le phénomène principal est le maximum de nuit présenté par la probabilité d'apparition de E sporadique.

Ce maximum est observé en été aux latitudes moyennes et disparaît totalement dans la zone du maximum des aurores visibles.

DOCUMENTATION

Les zones aurorales comme la zone équatoriale, sont des régions où un courant important circule dans la basse ionosphère.

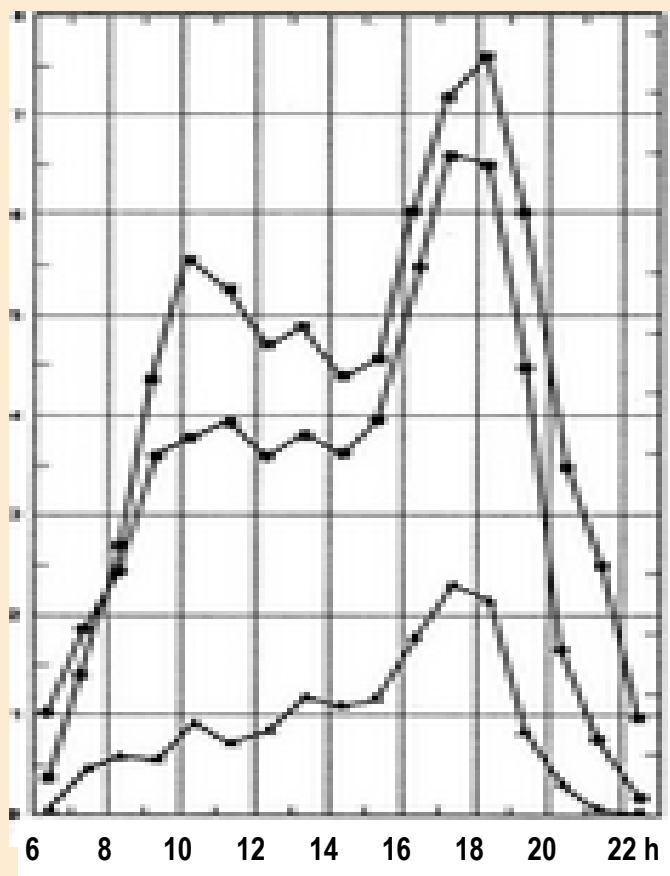
De plus, dans ces régions, des couches ionisées peuvent être formées par des précipitations de particules chargées.

On pense que ces deux phénomènes puissent être responsable des sporadiques E et que l'apparition de ces sporadiques E dans les régions de hautes latitudes soit liée à l'ovale auroral instantané.

Le rôle des précipitations de particules chargées, des courants ionosphériques, des cisaillements de vents soient liés à la formation de sporadique E dans la morphologie et la structure de cette ionisation.

Pourtant le phénomène principal semble être la précipitation de particules aurorales.

On a constaté que la fréquence maximale d'apparition de E sporadique correspondait à l'heure locale et à la latitude



Intensité en fonction de l'heure

En haut 62 MHz

Milieu 59 MHz

En bas 77 MHz

SPORADIQUE E, suite

Propagation par E sporadique

La probabilité de E sporadique diminue lorsque la fréquence augmente.

On considère qu'elle est négligeable au dessus de 100 MHz, sauf à créer des brouillages dans des circuits exigeant une haute fiabilité.

Basses latitudes

On a constaté des propagations en sporadique E pour le 50 MHz mais aussi jusqu'à 144 MHz.

Il existe plusieurs modes de propagation en un même lieu : par exemple

Le premier bon est dû à la E sporadique et le suivant, long et par la couche F.

Ou 2 bonds E sporadique et un bond en couche F

Latitudes moyennes

En Europe, l'apparition de E sporadique est maximum entre les mois de mai et septembre.

On constate, pour le 50 MHz, des variations de E sporadique

En fonction du mois, de la fin du printemps à la fin de l'été, le maximum en juin

Selon les années

D'un trajet à l'autre

Les distances entre 2 points sont d'environ 1500 Km

Des distances de 2500 Km sont obtenues par réfractions atmosphériques et l'élévation du niveau de l'antenne et ce en un seul bon.

Les observations

sur une période de 11 ans, couvrant un cycle solaire complet, montrent qu'il n'existe pas de corrélation simple à long terme entre l'activité solaire et la propagation métrique par E sporadique.

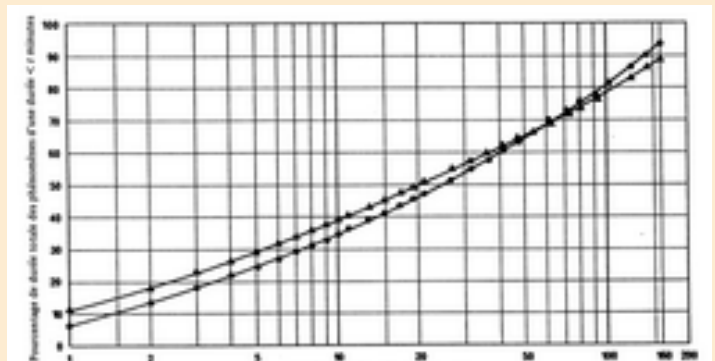
On a constaté que les variations annuelles sont assez régulières.

La durée de E sporadique serait plus courte plus on monte en fréquence

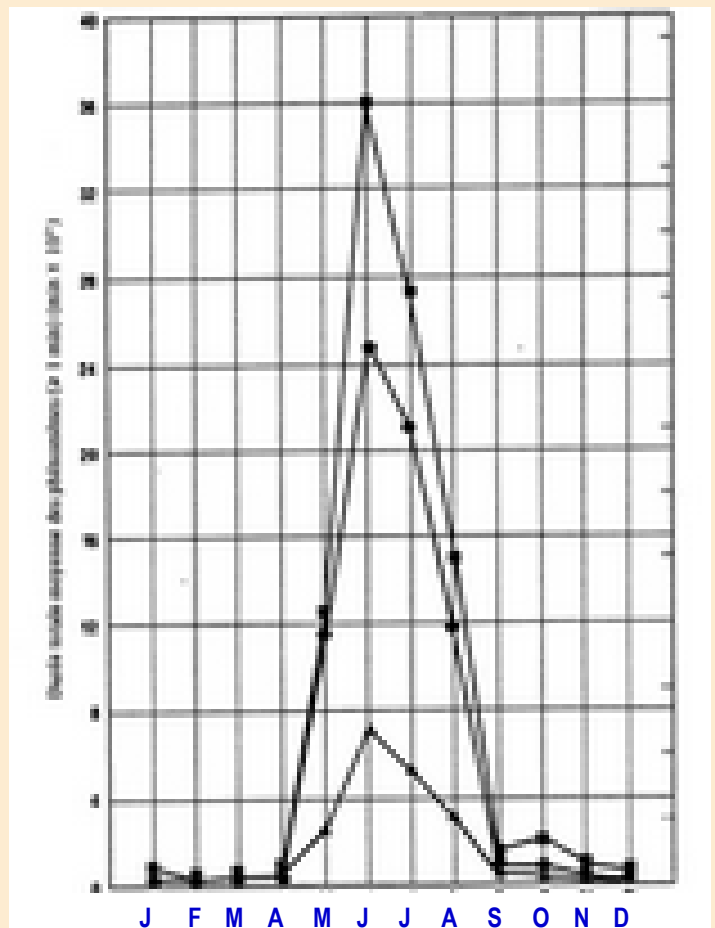
Evaluation du champ de propagation

On estime à 1 bond les distances entre 0 et 2600 Km et 2 bonds entre 2600 et 4000 Km.

DOCUMENTATION



La durée de sporadique E
Intensité en fonction du temps (durée)



Durée du phénomène
En fonction du mois de l'année