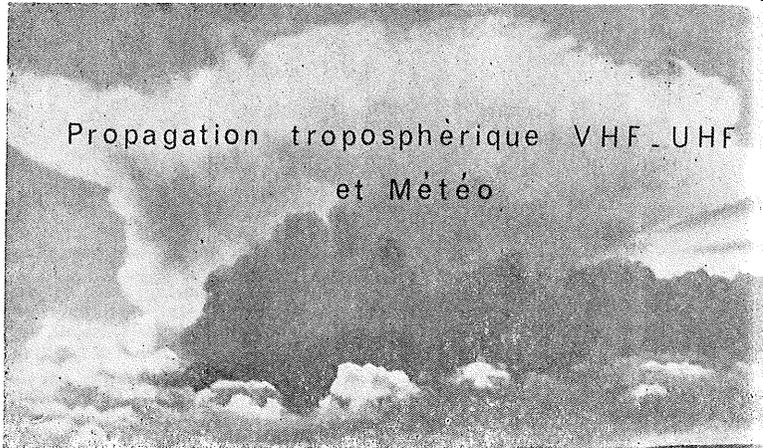


Propagation troposphérique VHF-UHF et Météo

A. BERTEMES F3NB



Au cours des dernières années, Radio-REF a publié deux articles (*) sur la propagation des ondes de très hautes fréquences (THF) dans la Troposphère.

Le fait que ces deux articles aient été particulièrement appréciés par de nombreux radioamateurs français et étrangers, nous a incité à poser à leur auteur un certain nombre de questions sur le même sujet.

A* nom de tous ceux qui s'intéressent aux THF (ils sont de plus en plus nombreux) nous remercions vivement F3NB d'avoir accepté ce travail, permettant ainsi à Radio-REF de publier un nouvel article très documenté sur la propagation troposphérique et l'influence des phénomènes météorologiques sur cette propagation.

La Rédaction.

Question 1 :

Pendant de nombreuses années, on a considéré que pour les ondes de fréquence supérieure à 100 MHz, la portée normale était limitée à l'horizon radioélectrique.

On savait néanmoins qu'il existait des périodes dites « de propagation anormale » (DUCT) durant lesquelles ces ondes de très hautes fréquences permettaient subitement des liaisons DX.

Ensuite, des expérimentateurs, amateurs et professionnels, ont commencé à mettre en évidence le fait que les ondes THF pouvaient être reçues de façon continue, à des distances bien au-delà de l'horizon.

Sur quels phénomènes reposent les liaisons lointaines réalisées quotidiennement par différents radioamateurs, quelles que soient les conditions de propagation ?

dans les conditions de propagation dites « Standard » :

a) l'affaiblissement des ondes THF augmente brusquement et de façon importante au-delà de l'horizon radioélectrique, conformément au phénomène de diffraction autour d'une terre sphérique.

Cette augmentation atteint quelques dizaines de décibels, au-dessus de la valeur donnée pour l'espace libre.

b) au-delà de cette zone, le taux d'affaiblissement prend alors une valeur beaucoup plus faible et l'on continue à recevoir des signaux de niveau mesurable, jusqu'à de très grandes distances.

Le caractère extrêmement variable des signaux reçus de façon permanente à grande distance d'un émetteur THF, donne à penser qu'ils sont dus aux irrégularités de l'indice de réfraction de la basse atmosphère terrestre (Troposphère).

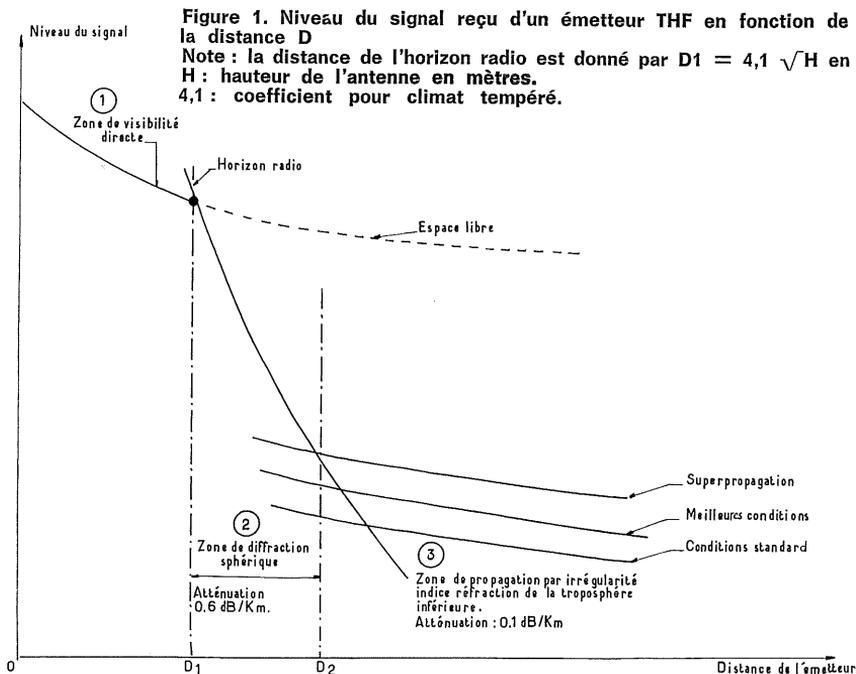
Question 2 :

Tous les amateurs utilisant ces fréquences ont effectivement constaté les très fortes variations de niveau qui affectent les signaux reçus en THF, même parfois pour des stations situées à faible distance.

Réponse :

Un article précédent paru dans Radio-REF d'avril 1966, a indiqué sommairement que

(*) Voir Radio-REF janvier 1964, pages 9 à 20 et Radio-REF avril 1966, pages 251 à 267.



Quelles sont les causes principales des dites fluctuations ?

Réponse :

Il faut d'abord noter que les variations de niveau enregistrées sont de deux catégories :

- Variations instantanées.
- Variations lentes (diurnes ou saisonnières par exemple).

En règle générale, pour les liaisons « en visibilité directe ou quasi directe », on note assez peu de fluctuations erratiques et rapides des signaux reçus (1), mais par contre de lentes variations de niveau dont l'origine peut être attribuée aux changements de la réfractivité moyenne de l'atmosphère inférieure.

Rappelons en passant que pour une antenne placée à 10 mètres au-dessus d'un sol dégagé de tout obstacle, la zone de visibilité radioélectrique est représentée par un cercle d'environ 40 kilomètres de rayon ayant l'aérien pour centre.

• Pour les distances dépassant l'horizon radioélectrique de quelques dizaines de kilomètres, dans la zone où la propagation d'une onde THF s'effectue presque exclusivement par diffraction autour de la surface terrestre supposée sphérique, les variations de niveau peuvent être très importantes.

Nous attirons en particulier l'attention des OM sur le point suivant :

Même avec un correspondant relativement proche, situé par exemple à 40 ou 50 kilomètres de votre station, le niveau de réception peut facilement différer d'une dizaine de dB, d'un jour à l'autre, voire au cours d'une même journée, rendant assez aléatoire toutes comparaisons d'équipements (antennes, émetteurs ou convertisseurs) comme celles fréquemment entendues sur les bandes 144 ou 432 MHz :

« Hier, je vous recevais S8, aujourd'hui, après votre changement d'aérien, je vous reçois S9. Vous avez donc gagné 6 dB avec votre nouvelle antenne ». C'est possible mais c'est peut être simplement la propagation qui a varié.

• Enfin, au-delà de la zone de diffraction, la propagation du signal s'effectue grâce aux hétérogénéités de l'atmosphère et dépend en-

(1) Nous ne tenons pas compte des variations de niveau se présentant sous forme de battements rapides, de fréquence variable, dus généralement au passage d'un aéronef.

tièrement des caractéristiques radiométéorologiques de la basse troposphère, ce qui explique l'amplitude des variations de niveau (QSB), affectant toute réception de stations lointaines, en dehors des périodes dites de « propagation anormale ou de superpropagation ».

Question 3 :

Compte tenu que les variations, instantanées ou lentes, des conditions de réception semblent dépendre entièrement des conditions météorologiques du moment, est-il possible d'avancer une théorie pour expliquer les phénomènes constatés et pour tenter au besoin d'en prévoir les caractéristiques générales ?

Réponse :

Au cours des dernières années l'étude approfondie de la propagation des ondes comprises entre 30 et 30.000 MHz, par de nombreux spécialistes du monde entier, étude recommandée et coordonnée par l'Union Scientifique Internationale de Radio (URSI) en collaboration avec le Comité Consultatif International de radio (CCIR), et l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), a montré clairement que la **propagation des ondes THF est fonction des conditions thermodynamiques rencontrées dans la basse troposphère (2)**.

En fait, si l'on considère une liaison VHF ou UHF entre deux points E et R, situés tous deux à la surface du globe, la trajectoire suivie par le rayon radio issu de E pour atteindre R, **reste en permanence dans les basses couches de l'atmosphère**.

On sait que la courbure de cette trajectoire dépend directement du gradient d'indice de réfraction (3) et qu'elle se produit en majeure partie tout près de la surface terrestre, dans la région la plus dense et la plus changeante de l'atmosphère.

L'atmosphère terrestre étant considérée comme homogène dans le plan horizontal, seul le gradient vertical d'indice est pris en considération.

La Valeur numérique de ce gradient (3 bis) dépend de la distribution verticale des trois paramètres météo bien connus, à savoir :

- P — la pression
- H — l'humidité
- T — la température.

Ce qui revient à dire que la plupart des problèmes de propagation troposphérique pourraient se ramener à des calculs de réfraction. Malheureusement ces derniers ne peuvent trouver de solution qui si l'on connaît la variation de l'indice n avec l'altitude.

Le problème n'est pas simple.

Lorsque l'on étudie l'influence des conditions météorologiques sur la propagation des ondes THF il est très difficile de mettre en évidence une loi physique certaine, tout au plus peut-on dégager une probabilité de loi de nature statistique, tenant compte des paramètres météo qui caractérisent le climat d'une région.

Pour le moment, de nombreux renseignements ont été accumulés pour diverses régions du globe et aident à l'établissement de prévisions.

(2) Les questions posées à F3NB ne concernent volontairement que la **propagation troposphérique**. Si des lecteurs de Radio-REF en expriment le désir, nous pourrions présenter plus tard un article sur la propagation des THF par « Diffusion Ionosphérique » et par « E sporadique ».

(3) Voir Radio-REF, janvier 1964.

(3-bis) Rappelons que la réflectivité de l'atmosphère est généralement exprimée par le para-

$$N = (n - 1) 10^6$$

$$\text{ou } N = \frac{77,6}{T} (P + 4810 \frac{e}{T})$$

mètre avec T température absolue en degrés Kelvin — e tension de vapeur d'eau en mb. et P pression atmosphérique en mb.

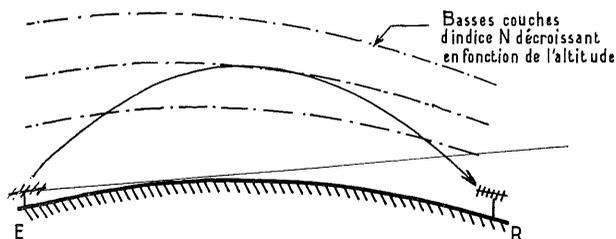
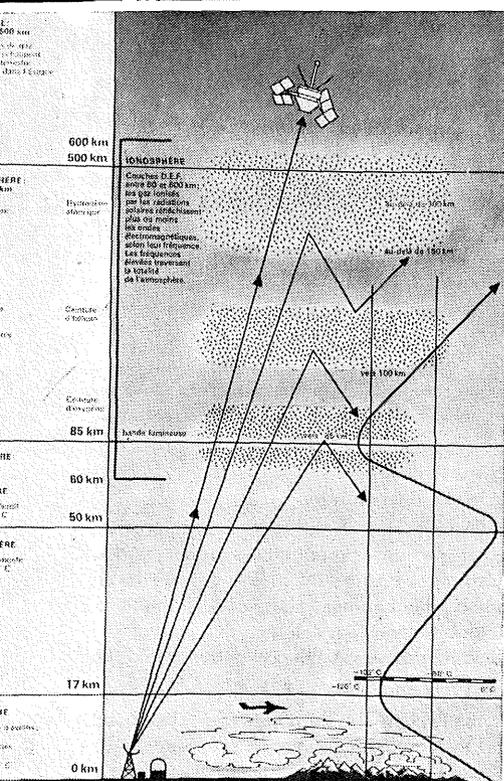


Figure 2.



Les paramètres proposés par divers chercheurs (Indice au sol N_s — gradient d'indice N_{1000} — N_s — gradient équivalent G_e — Indice potentiel K etc... (4) ont donné des résultats encourageants pour l'étude de liaisons troposphériques commerciales, mais ont dans bien des cas laissé apparaître des limitations d'emploi assez importantes.

Les explications « a posteriori » sont également intéressantes, lorsque l'on cherche à comprendre certains phénomènes enregistrés (5) et suivre les variations lentes de l'intensité du champ reçu d'une station éloignée, mais l'on peut affirmer que la prévision des caractéristiques de propagation troposphérique reste encore une entreprise hasardeuse.

Dans de nombreux rapports communiqués sur les travaux de recherches entrepris à l'échelle mondiale nous avons relevé quelques points très importants :

1°) La bonne corrélation entre les valeurs du champ reçu d'un émetteur éloigné et la variation verticale de l'indice de réfraction dans le premier kilomètre d'atmosphère au-dessus du sol.

2°) L'existence permanente dans l'atmosphère de feuillets (atmosphère stratifiée ou feuilletée) dont les dimensions horizontales seraient de quelques kilomètres (entre 1 et 40)

(4) Voir radio-REF, avril 1966.

(5) Voir en particulier l'utilisation de l'indice K par F3NB dans article cité.

et l'épaisseur de quelques mètres (10 à 50 environ).

Ces feuillets qui se présentent comme des irrégularités d'indice de réfraction, pourraient être à l'origine de réflexions partielles, permettant les contacts continus réalisés bien au-delà de l'horizon.

À l'intérieur de ces feuillets, dont certains sont stables et de durée moyenne variable, d'autres de forme et de durée éphémère l'indice de réfraction peut varier de plusieurs unités N .

3°) Dans des situations météorologiques particulières se forment de véritables couches de grandes dimensions horizontales (plusieurs centaines de kilomètres) et verticales (quelques dizaines à quelques centaines de mètres) couches à l'intérieur desquelles les variations d'indice peuvent atteindre des valeurs élevées (20 à 100 unités N).

Ces couches importantes peuvent se maintenir sur toute une région, plusieurs heures et même plusieurs jours et se comporter à la limite comme un véritable conduit atmosphérique (DUCT des anglo-saxons).

Les forts gradients d'indice, souvent observés à la limite de ces couches, permettent également l'explication de certaines propagations anormales, sous forme de réflexions

Question 4 :

L'on affirme fréquemment que les couches favorables aux liaisons DX seraient dues à des inversions de températures. Pourriez-vous :

- définir de façon simple la signification du terme « Inversion de température ».
- préciser l'influence de ces inversions sur la propagation troposphérique ?

Réponse :

a) Dans l'atmosphère terrestre, la température décroît de façon sensiblement linéaire en fonction de l'altitude (baisse de $0,65^\circ$ par 100 mètres dans l'atmosphère type) jusqu'à la hauteur de la tropopause (environ 11 kilomètres à notre latitude).

Suivant la situation météorologique il arrive parfois que la température de la tropo-

phère au lieu de diminuer régulièrement décroître moins rapidement. Elle peut même augmenter jusqu'à une altitude donnée et reprendre ensuite sa décroissance continue.

On dit alors qu'il se produit « **une inversion de température** ».

Ces inversions se présentent comme des couches d'épaisseurs variables pouvant commencer au niveau du sol, ou à une certaine altitude.

b) Tous les radioamateurs savent par expérience que l'influence des inversions de température sur la propagation des ondes THF peut être très grande.

En général, elles prennent naissance et se développent dans des périodes où l'air devient calme.

Elles exercent une influence stabilisatrice sur les mouvements de l'air, réduisent la turbulence, **permettent l'apparition de forts gradients d'humidité, donnant ainsi naissance à d'importantes discontinuités d'indice de réfraction, ou à des couches superréfractives.**

D'autre part, comme nous l'avons déjà indiqué, en l'absence de turbulence, les inversions de température peuvent s'étendre sur des régions de surfaces importantes et persister durant de longues périodes.

Question 5 :

Quelles sont les conditions, ou situations météo favorables au phénomène d'inversion de température et aux bonnes propagations ?

Réponse :

Les très bonnes **conditions de propagation** correspondent **habituellement à l'existence de conditions de stabilité anticyclonique** au-dessus d'une région donnée.

Au contraire, les mauvaises conditions sont celles qui s'opposent à la formation de stratifications, comme la turbulence (vent) et la convection, qui toutes deux provoquent un brassage et un fort mélange de la basse atmosphère.

En fait il existe trois procédés de formation des inversions de température, qui peuvent être classées par importance croissante eu égard à la propagation THF.

Ce sont :

- Les inversions d'advection
- » » de rayonnement
- » » de subsidence.

Les **premières** (advection) se traduisent par un échange de chaleur et d'humidité entre l'air et le sol (ou la surface de la mer) échange qui affecte la structure physique de la basse atmosphère.

Le cas le plus connu est celui constaté quand de l'air sec et chaud passe au-dessus d'une surface froide et humide.

Il apparaît assez souvent sur les côtes de la Manche, durant la belle saison, quand le beau temps persiste plusieurs jours, mais les conditions requises d'humidité et de température se rencontrent assez peu fréquemment sur le continent.

Les **secondes** (rayonnement) sont plus courantes dans nos régions.

Le mécanisme de formation d'une inversion de rayonnement a été expliqué dans un article précédent (voir Radio-REF, janvier 1964, page 15).

Les conditions favorables à la formation d'une couche superréfractive sont :

Air humide au sol, faible vent à la surface et ciel bien dégagé.

Les stratifications atmosphériques formées par de telles combinaisons de paramètres météo, peuvent alors provoquer de brusques ouvertures de la propagation, en particulier le soir, ou la nuit et se maintenir assez tard le matin.

Au cours de la matinée, le réchauffement du sol par le rayonnement solaire les dissipe plus ou moins rapidement.

A nos latitudes l'inversion de rayonnement est rarement assez forte pour provoquer la formation réelle d'un guide atmosphérique affectant la bande 144 MHz, sauf peut-être sur les côtes de Méditerranée, mais elle peut jouer fortement sur la propagation du 432 du 1296 MHz.

Enfin, le **dernier type d'inversion (subsidence)** est celui qui intéresse le plus les OM chasseurs de pays ou de départements.

Il se produit en période de hautes pressions, quand une masse d'air s'affaisse lentement.

L'air est réchauffé par compression adiabatique, quand il descend et s'étale en couches au-dessus de la surface terrestre.

Le phénomène produit alors des couches stables et des inversions de température, s'accompagnant d'une forte décroissance de l'humidité relative.

L'air sec provenant d'un niveau élevé de l'atmosphère, peut se trouver au-dessus d'une masse d'air froide et humide et provoquer une couche superréfractive (fort gradient d'indice).

C'est un cas fréquemment enregistré dans nos régions, **en particulier durant les mois d'automne.**

Les effets de la subsidence peuvent être observés à tous les niveaux, mais semblent d'autant plus importants pour nos bandes THF, lorsqu'ils se situent dans le premier kilomètre d'atmosphère, au-dessus du sol.

Néanmoins, en situation anticyclonique, des couches élevées couvrant de grandes surfaces, et provoquées par de la subsidence entre 1000 et 2500 mètres d'altitude, peuvent également donner naissance à des conditions de propagation favorables sous forme de réflexions.

A ces altitudes, les fortes discontinuités d'indice de réfraction sont le plus souvent causées par un changement important de l'humidité de l'air.

En résumé, **en propagation troposphérique, les périodes favorables au DX** sont dues à une stratification de la basse atmosphère pouvant provoquer les phénomènes suivants :

— **Reflexion sur une couche élevée** généralement située dans les deux premiers kilomètres au-dessus du sol, couche formée par inversion de subsidence ou de rayonnement.

— **Superréfraction** phénomène identique au précédent mais où la couche a sa base au sol. On note alors un net renforcement des effets de la réfraction entraînant une plus forte courbure des rayons (extension de la zone de visibilité directe, déplacement de l'horizon radio).

A la limite, lorsque cette courbure est telle qu'elle excède celle de la surface terrestre, on enregistre la formation d'un conduit atmosphérique ou « DUCT ».

Question 6 :

Les habitués des bandes THF ont l'habitude de dire, qu'en période de hautes pressions, la propagation deviendra bonne, lorsque le baromètre commence à descendre.

- Cette observation est-elle exacte ?
- Dans l'affirmative, peut-on donner

une explication valable, au phénomène enregistré ?

Réponse :

Cette affirmation est loin d'être exacte, et l'on pourrait citer de très nombreuses périodes de hautes pressions, pour lesquelles les conditions de propagation sont demeurées médiocres, par exemple celle du 26 au 29 mars 1968 où la pression atmosphérique est restée plusieurs jours supérieure à 1035 mb, et où la propagation dans la région Nord est demeurée très mauvaise.

Néanmoins dans de nombreux cas le phénomène a été observé et correspondait à des périodes de subsidence.

On peut tenter de l'expliquer de la façon suivante (6) :

Rappelons tout d'abord que dans l'hémisphère Nord, les anticyclones (Centres de hautes pressions) se déplacent le plus souvent d'ouest en est, et que leur passage se traduit par une montée de la pression, une période de maximum dont la durée est variable, suivie enfin d'une baisse du baromètre lorsque le Centre de haute pression s'affaiblit ou s'éloigne vers l'est.

Dans nos régions de climat tempéré, on a fréquemment constaté, que les conditions de propagation s'améliorent en période anticyclonique lorsque le Centre de haute pression se trouve à l'Est d'une liaison intéressée, **ce qui revient à dire que la propagation est généralement meilleure entre stations situées sur le côté Ouest du centre de hautes pressions.**

Dans l'hémisphère Nord, la circulation de l'air autour d'un centre de haute pression se fait toujours dans le sens des aiguilles d'une montre.

Que se passe-t-il sur le **côté Est de l'anticyclone** ? L'air se déplace du **Nord vers le Sud**, c'est-à-dire vers une région où la température est habituellement plus élevée, ce qui favorise la convection et la turbulence.

S'il existait précédemment une région de transition entre masses d'air d'indices différents la **stratification résultante aura tendance à s'élever et à s'atténuer**, la propagation se dégrade.

Au contraire sur le **côté Ouest de l'anti-**

(6) F3NB tient à préciser qu'il n'est pas un spécialiste météo mais qu'il s'intéresse à cette science uniquement comme amateur.

cyclone, l'air se déplace vers le Nord, région généralement plus froide, de plus grande stabilité.

La limite de transition entre masses d'air, si elle existe, tend à descendre et à devenir plus prononcée.

Dans une telle situation, la région de transition est la résultante d'un courant lent et constant de l'air supérieur qui s'affaisse et se réchauffe (air sec et chaud) et d'un mouvement convectif ou turbulent de l'air situé immédiatement au-dessus du sol (air humide et plus froid).

En règle générale, pour les fréquences intéressées, la propagation est d'autant meilleure que :

— le contraste entre indice de réfraction des deux masses d'air est plus net.

— La hauteur de la couche de transition s'abaisse vers le sol.

Question 7 :

Cette explication, qui semble assez satisfaisante, permet de penser qu'il pourrait exister une hauteur favorable de la région de transition. Est-ce exact ?

Réponse :

Cette remarque est très pertinente, et l'on peut en effet dire, que pour une fréquence et une portée donnée, il existe une hauteur optimum de la couche de transition (zone de discontinuité d'indice de réfraction), lorsque celle-ci se présente comme une couche réfléchissante, et même lorsqu'elle se traduit simplement par une augmentation de la courbure des rayons.

Question 8 :

Dans ces conditions, à quelles altitudes approximatives doivent se situer les fortes discontinuités d'indice de réfraction pour provoquer une période de propagation anormale, favorable au DX ?

Réponse :

C'est une question que l'on se pose souvent. D'après ce que l'on connaît actuellement sur les caractéristiques de l'atmosphère, en particulier sur les gradients de température et d'humidité mesurés normalement dans la troposphère, les conditions nécessaires à la

formation d'un conduit atmosphérique (DUCT) ne peuvent être rencontrées aux altitudes supérieures à 3.000 mètres.

En fait, pour une superpropagation très marquée, les conditions requises seraient presque toujours confinées dans la tranche d'atmosphère comprise entre la surface terrestre, et une altitude voisine de 1.500 mètres. Différents auteurs disent même dans le premier kilomètre.

Des travaux très intéressants ont été entrepris aux USA, en vue de déterminer la longueur d'onde λ , pouvant normalement être transmise par un conduit atmosphérique d'épaisseur d situé au contact de la surface terrestre.

On est arrivé à une formule très savante que nous ne reproduisons pas car elle est sans intérêt pour l'amateur, mais la figure 3 que nous avons extrapolée de différents résultats publiés, donne très approximativement la réponse à cette question.

La courbe indique que :

— pour la bande 144/146 MHz, la surface de discontinuité la plus active se situera généralement entre le sol et une altitude comprise entre 500 et 1.000 mètres (1.500/3.000 feet).

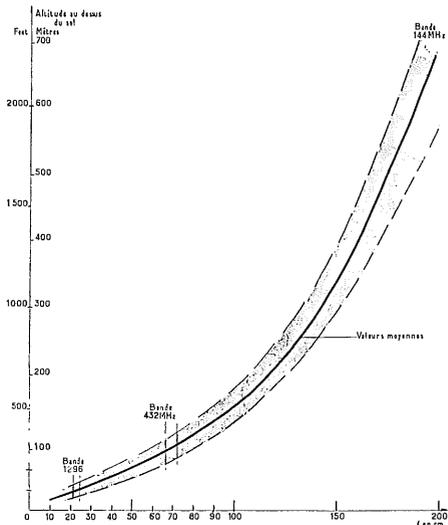


Figure 3. Relation entre l'altitude d'un conduit atmosphérique et la longueur d'onde affectée. (Courbe très approximative déduite de différents articles).

— pour la bande 432 MHz vers 200/300 mètres, le plus souvent entre le sol et 100 mètres ou 200 mètres.

— pour la bande 1296 MHz très près du sol (quelques dizaines de mètres).

Compte tenu des nombreux paramètres mis en cause, ces chiffres ne doivent être considérés que comme un ordre de grandeur.

Question 9 :

D'après la courbe indiquée, valable pour un DUCT au sol, l'épaisseur de la couche d'air intéressée serait donc d'autant plus importante que la fréquence de l'onde émise est faible.

Cette observation a-t-elle une relation directe avec les conditions de propagation sur les différentes bandes THF ?

Réponse :

Très certainement, car les conditions atmosphériques nécessaires à la formation d'un conduit atmosphérique se rencontrent bien plus souvent dans les très basses couches (0 à 100 mètres), qu'au-dessus de 500 mètres.

Une étude poursuivie aux USA pendant plusieurs années (région de Washington. DC climat tempéré océanique), étude présentée sous forme de statistique, tenant compte du nombre de DUCT au sol, de leur épaisseur moyenne et de la fréquence intéressée, met nettement en évidence que sur 100 ducts enregistrés :

90 auraient concerné les fréquences ≥ 3000 MHz.

75 auraient concerné les fréquences ≥ 1200 MHz.

30 environ auraient concerné les fréquences ≥ 400 MHz,

et 5 seulement les fréquences voisines de 150 MHz.

Ceci montre que dans nos climats tempérés, les conditions météorologiques favorables aux liaisons à grande distance doivent se rencontrer bien plus fréquemment sur la bande 432 MHz, que sur celle des 145 MHz.

Question 10 :

Compte tenu de l'altitude des zones de discontinuité d'indice, bien des

OM se demandent s'il ne serait pas intéressant pour le DX, de pointer légèrement leur antenne vers le ciel. Que peut-on répondre à cette question ?

Réponse :

Comme nous venons de l'indiquer, une grande partie de la courbure d'un rayon VHF se produit dans la partie la plus dense de l'atmosphère, en contact avec la surface terrestre.

En règle générale si le rayonnement de l'aérien n'est pas masqué par des obstacles proches, on peut affirmer que pour le trafic DX, la condition fondamentale à observer consiste à placer l'antenne aussi horizontalement que possible, de manière à ce qu'elle soit pointée vers l'horizon.

Un rapport présenté à l'Assemblée plénière du CCIR, tenue à Oslo en 1966, indique qu'une inclinaison du faisceau d'antenne de 0°5 vers le haut, suffit parfois à provoquer à distance un affaiblissement pouvant atteindre 10 dB.

Par contre dans le cas où le rayonnement de l'aérien est masqué par le relief, ou par des obstacles proches, il peut être intéressant d'incliner légèrement l'antenne pour essayer de bénéficier du gain d'obstacle (par diffraction).

Question 11 :

Dans notre région (Europe occidentale), nous avons l'habitude de considérer l'automne comme la période de l'année la plus favorable aux liaisons THF à grande distance. Est-ce bien exact ?

Réponse :

Précisons tout d'abord que nous considérons comme liaisons DX, celles réalisées sur des distances bien supérieures à l'horizon radioélectrique, et supérieures également à la distance où interviendraient encore les phénomènes de diffraction par la courbure terrestre (≥ 200 kilomètres environ).

Pour ces liaisons il faut alors distinguer entre celles réalisables quotidiennement, et celles réalisées tout à fait exceptionnellement.

Pour ces dernières, c'est en effet dans les anticyclones d'automne (septembre-octobre) que l'on rencontre les conditions optima de

température et d'humidité susceptibles de provoquer des superpropagations spectaculaires.

Dans cette période de l'année, des réductions de l'affaiblissement (de l'ordre de -40 à -50 dB) peuvent être fréquemment observées par suite de phénomènes de subsidence provoquant des liaisons guidées dépassant parfois les 1.000 kilomètres (7).

Dans de telles situations, des stations modestement équipées, mal dégagées, utilisant même parfois des antennes intérieures réussissent de beaux DX. Il suffit d'être présent au bon moment et de savoir profiter des conditions.

Comme nous l'avons déjà dit, si ces phénomènes intéressent particulièrement les chasseurs de DX ou de départements nouveaux, ils présentent peu d'intérêt pour les scientifiques, ou pour les professionnels des télécommunications, mis à part les problèmes d'interférences ou de brouillages, qu'ils peuvent provoquer aux systèmes utilisant ces fréquences (FM - TV - faisceaux hertziens, etc...).

Dans les milieux scientifiques on considère que les phénomènes de propagation intéressants à étudier sont ceux liés à la structure de l'atmosphère terrestre et à ses variations.

Pour les liaisons régulières, entreprises sous forme de skeds quotidiens, on a par contre constaté que la meilleure période se situe chaque année à la belle saison. En effet dans notre climat tempéré les valeurs mensuelles des affaiblissements sont plus élevées en hiver qu'en été. La bibliographie relative à ces variations saisonnières fait état de différences de niveaux comprises entre 6 et 26 dB.

A titre d'exemple, la figure 4 donne les valeurs mensuelles du niveau des signaux relevées pour un de nos correspondants réguliers F1QV de Ruffec (Charente) (8).

Cette liaison effectuée chaque matin en téléphonie, a été très instructive, et nous remercions tout particulièrement F1QV d'avoir assuré avec une telle régularité ce contact qui nous a permis de suivre pendant une année, les variations de propagation sur ce parcours (distance Ruffec-Orly 340 kilomètres).

Il est intéressant de comparer cette courbe à celle de la figure 5 donnant les variations mensuelles de l'indice de réfraction de la

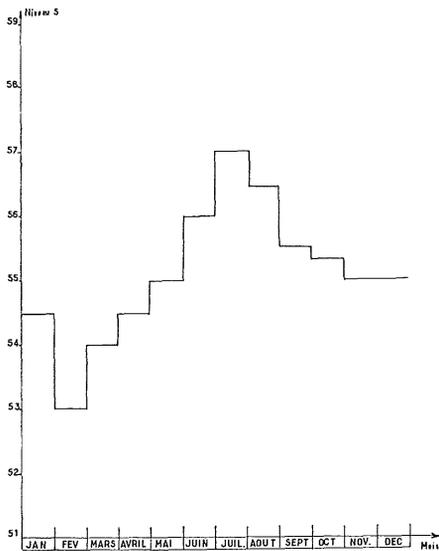


Figure 4. Variations annuelles du niveau moyen mensuel du signal de F1QV chez F3NB (distance 340 km).

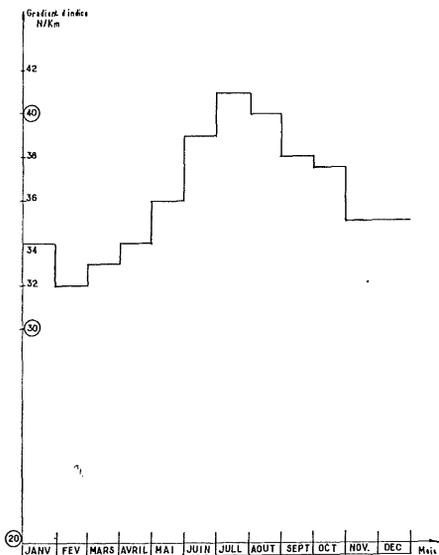


Figure 5. Variations annuelles des valeurs moyennes mensuelles du gradient d'indice (entre sol et 1.000 m) région parisienne, d'après trois années de radio-sondages effectués à Trappes.

(7) Les DX dépassant 1.000 kilomètres demeurent toutefois assez rares. Les distances courantes se situent entre 500 et 800 kilomètres.

région parisienne, basée sur les résultats de plusieurs années de radio-sondage.

On note que les deux courbes suivent les mêmes variations et présentent **un maximum en juillet**, meilleur mois de l'année, **un minimum en février**, considéré comme le mois le plus défavorable.

La différence de niveau enregistrée sur les signaux de F1QV entre ces deux mois atteint environ 24 dB chiffre semblable à ceux relevés dans différents articles scientifiques.

En 1968, juillet a encore été le mois le plus favorable à ces liaisons régulières puisque au cours d'essais quotidiens avec F9NL, le contact (CW) a été possible 20 jours sur 26... (distance Bagnères-de-Bigorre - Orly, 660 km).

Question 12 :

Puisque la propagation des ondes THF dépend directement des conditions thermodynamiques de la basse atmosphère, elle devrait en principe être différente dans chaque région du globe.

Est-ce à dire que les conditions standard rencontrées par exemple dans la région Parisienne ne sont pas les mêmes que celles du littoral méditerranéen ?

Réponse :

Les renseignements statistiques collectés dans différentes parties du monde ont permis de classer les conditions de propagation, en fonction des zones de climat.

Ces données ont été utilisées en particulier pour tracer des courbes donnant les variations de l'affaiblissement troposphérique, en fonction de la distance, pour une fréquence donnée et pour un climat radiométéorologique donné.

De telles courbes ont été établies par le C.C.I.R..

Le CNET a également proposé des courbes d'affaiblissement basées sur les résultats expérimentaux obtenus depuis une dizaine d'années, dans l'exploitation de relais hertziens transhorizon, en France et en Afrique (9).

Ces courbes tracées d'une part pour l'année entière et d'autre part pour le mois le plus défavorable font apparaître des différences importantes, même dans des régions géogra-

phiquement voisines, comme la France continentale, classée climat tempéré et le Sud de la France ou la Corse, classés, climat méditerranéen.

Pour illustrer la différence assez sensible entre ces deux régions de notre pays, disons que pour une fréquence de 1.000 MHz et une distance de 500 kilomètres entre stations, dans la zone méditerranéenne, **l'atténuation moyenne de parcours (à 99 % du temps) serait environ 6 à 12 dB** moins élevée (soit le gain d'une antenne à 9 éléments) que dans la zone Nord.

Question 13 :

Enfin, pour clôturer cette série de questions, les courbes d'affaiblissement dont nous venons de parler, sont-elles utilisées pour les amateurs ?

Réponse :

Ces courbes, destinées aux professionnels (Ingénieurs et exploitants) sont intéressantes pour l'amateur qui désire effectuer le bilan d'une liaison, ou étudier les possibilités de contact avec un correspondant lointain.

Elles doivent naturellement être adaptées à nos bandes de fréquences (145-432, etc...).

La figure 6 représente une telle courbe extrapolée par nos soins pour la bande 145 MHz.

Elle donne la valeur de l'affaiblissement moyen pour des distances comprises entre 100 et 600 kilomètres (climat tempéré, parcours terrestre, terrain normalement dégagé, antennes E et R à 15 mètres au-dessus du sol), et pour les probabilités suivantes :

- 90 % du temps.
- 50 % du temps.
- 10 % du temps.

Prenons un exemple simple d'utilisation de cette courbe :

Soit deux stations séparées de 420 kilomètres (terrain normalement vallonné, sans obstacle au départ, utilisant un aérien à environ 5 m au-dessus du sol (zone non parasitée).

(8) Valeurs moyennes obtenues par une méthode assez peu scientifique, en additionnant le niveau S de chaque contact quotidien, et en divisant la somme obtenue par le nombre de jours où le QSO a été effectué normalement.

(9) Voir ANNALES DES TELECOMMUNICATIONS, n° 7-8 1965, Les Faisceaux hertziens de haute qualité.

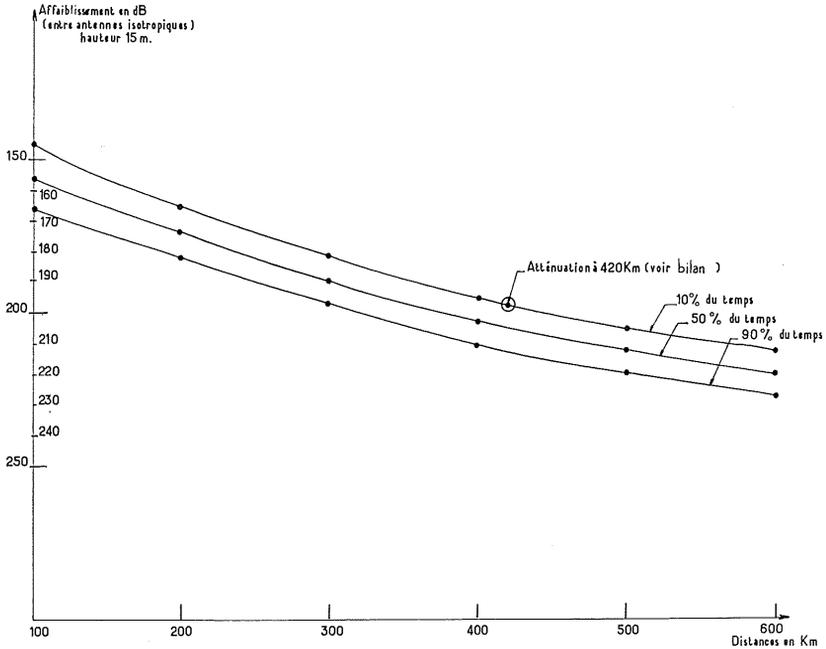


Figure 6. Affaiblissement troposphérique moyen pour la bande 144-146 MHz pour la France (climat tempéré continental, trajets terrestres).

Ces stations se posent la question suivante : un contact quotidien est-il possible sur la bande 144 MHz ?

La station A utilise : un émetteur de 50 Watts (puissance HF mesurée en sortie) et une antenne Yagi 9 éléments.

La station B utilise : un émetteur de 30 Watts sortie et une antenne de 4 x 8 éléments.

A et B disposent de la même chaîne de réception normale dont la puissance effective de bruit (KTeffB) est mesurée à :

— 164 dB en A3 ($\Delta B = 3$ kHz — Teff environ 900°K).

— 179 dB en A1 Bande étroite ($\Delta B = 100$ Hz — Teff environ 900°K).

Bilan de la liaison

Sens A vers B

P. émission de A 50 w + 17 dB
Gain antenne 9 éléments + 12 dB
Perte coax. émission — 2 dB

Per = + 27 dB

Atténuation de transmission (en sus courbe Figure 6 à 420 km)

à 10 % du temps —197 dB
Gain antenne de B + 16 dB
Perte coax. réception — 2 dB

Niveau signal = —156 dB

Niveau réception de A en B

En A1/Bande étroite — 179 dB — 156 dB = 23 dB au-dessus du bruit.

En A3 — 164 dB — 156 dB = 8 dB au-dessus du bruit.

Sens B vers A

P. émission de B 30 w + 15 dB
Gain antenne 4 x 8 éléments + 16 dB
Perte coax. environ. — 2 dB

Per = + 29 dB

Atténuation de transmission —197 dB
Gain ant. de A + 12 dB
Perte coax. réception — 2 dB

Niveau signal —158 dB 105

Niveau réception de B chez A

En A1 : 21 dB au-dessus du bruit.

En A3 : 6 dB au-dessus du bruit.

L'exemple donné est volontairement simplifié. Nous avons pris l'atténuation donnée par la courbe 10 % du temps, elle semble valable pour le trafic amateur.

Il montre que la liaison est facile en CW et possible en A3.

La courbe montre également que pour les mêmes données mais pour deux stations séparées de seulement 300 km le niveau de réception se trouverait amélioré d'environ 15 dB.

Dans les périodes de bonne propagation où le signal de A monte à S8 ou S9 chez B soit > 40 dB au-dessus du bruit, il faut que toutes choses gardées par ailleurs, l'atténuation de transmission descende à des valeurs comprises entre $-150/-140$ dB (pour 420 km).

A noter également que s'il nous est possible d'assurer normalement un contact quotidien avec un correspondant situé à cette distance, vous pouvez encore espérer maintenir le contact CW avec un autre correspondant situé à 500 km puisque l'atténuation supplémentaire n'est que de 8 dB environ. Mais ceci est une autre histoire !