

Contribution à l'Etude de la Propagation des VHF.

Conférence de l'A. G. 1960,
par Pierre Plion, F9ND

Il est admis généralement que les ondes radio-électriques se propagent de façons différentes suivant leurs fréquences. Ainsi les ondes longues, les petites ondes, les ondes courtes, ont chacune des régimes de propagation bien connus et même prévisibles.

En ce qui concerne les ondes très courtes ou VHF, les modes de propagation sont encore assez mal connus et on admet d'une façon courante que les transmissions ne peuvent être faites qu'en visibilité directe. On dit que deux antennes sont en visibilité directe lorsque la droite qui les joint passe au dessus de l'horizon.

On peut admettre en effet que les transmissions sûres et régulières, confortables même, se font en visibilité directe. Cependant la pratique a démontré que la portée utile est nettement plus grande que celle qui serait faite en visibilité directe, et qu'en outre, dans de très nombreux cas, des portées exceptionnelles ont été réalisées par les amateurs.

Avant de tenter de donner quelques explications, nous ferons remarquer que les ondes radio-électriques, quelles que soient leurs fréquences, se propagent toujours en ligne droite dans un milieu rigoureusement homogène (le vide par exemple) et dans les conditions définissant l'espace libre. Or, dans quoi se propagent les ondes radio-électriques quand elles voyagent d'un point à un autre de notre planète, sinon dans un milieu hétérogène et en perpétuelle transformation.

Ce qui constitue l'atmosphère terrestre est un mélange de gaz divers dont la proportion varie suivant le lieu et l'altitude de ce lieu. On l'a divisée arbitrairement en couches successives : la troposphère, la plus proche du sol, la stratosphère, l'ionosphère.

La pression de ces gaz varie selon l'altitude et selon le lieu ; elle varie aussi dans le temps. On la mesure avec un

baromètre dont on tapote la vitre d'un doigt expert, avant de se munir pour sortir, d'un parapluie ou d'un imperméable (dont on ne saura que faire toute la journée, sous un soleil de plomb). La différence de pression entre deux lieux voisins engendre un déplacement d'air, ou vent, allant de la zone de haute pression à la zone de basse pression.

La température est également variable suivant le lieu, l'altitude et le temps ; vous êtes habitués aux fantaisies du thermomètre et il vous est sûrement arrivé de vous laisser surprendre sans antigel dans le radiateur de votre voiture.

On peut dire que, théoriquement, la pression et la température de l'atmosphère diminuent proportionnellement à la distance au sol ; mais ceci, comme toutes les règles, comporte tellement d'exceptions qu'on en est amené à se demander quelle est la règle.

Les manuels de physique nous enseignent que l'air est constitué par 78,1 % d'azote, 20,9 d'oxygène, 1 % d'argon, 0,025 % de gaz carbonique, 0 à 4 % de vapeur d'eau et des traces d'hélium, de néon, de xénon, de krypton, de radon, d'hydrogène, d'oxyde de carbone, d'ammoniac, d'acide chlorhydrique, etc...

On se demande où les savants ont fait leur prélèvement d'air pour en faire l'analyse quantitative, quel jour et à quelle heure. Croyez-vous sincèrement que l'air du Boulevard Magenta à Paris, à l'heure de pointe où les voitures automobiles avancent péniblement d'un mètre à l'heure, et l'air du sommet d'une montagne ou d'un bord de mer ont la même composition et qu'elle soit stable dans le temps ?

La seule proportion variable qui soit notée est celle de vapeur d'eau ; elle vous oblige à rouler en codes ou à essuyer votre pare-brise avec un chiffon, ou bien provoque chez le conducteur, l'impérieux besoin de s'arrêter au premier café en vue pour y déguster force demis.

L'atmosphère peut contenir aussi des corps solides finement divisés ou poussières de toutes origines, végétale, minérale et animale, dans des proportions non moins variables suivant le lieu, l'altitude et le temps.

Enfin, ce milieu décidément invraisemblable, possède un état électrique aussi variable que les autres, soit qu'il reçoive des particules électrisées venant du soleil ou d'ailleurs, soit que ses mouvements propres provoquent l'accumulation de charges, soit enfin qu'on ait fait éclater ou non un pétard dit atomique ou que le sol sous jacent soit bon conducteur ou non.

Que nous voilà loin de la définition d'un milieu homogène constant et régulier qui permettrait une propagation en ligne droite.

Si on a pu étudier et prévoir la propagation des ondes de grande longueur, décamétriques y compris, c'est qu'elles sont d'autant moins sujettes aux différents phénomènes que leur longueur est plus importante. Quand on aborde le domaine des ondes métriques il en est tout autrement. Outre qu'elles sont exploitées depuis moins de temps, elles sont tellement sensibles qu'elles ont dérouter les chercheurs les plus acharnés. Ce qui nous a le plus frappés, c'est qu'à mesure que leur longueur diminue (ou que leur fréquence augmente) elles ont des propriétés qui se rapprochent de celles des rayons lumineux, qui eux aussi se propagent en ligne droite dans un milieu parfaitement homogène. Pris d'intérêt, nous avons feuilleté nos vieux cours de physique élémentaire, revivant au passage nos belles années de jeunesse, revoyant la physionomie sympathique, bourru ou pittoresque de nos professeurs successifs, et plus nous allions dans les livres et les cahiers aux pages écornées, plus cette analogie des ondes très courtes et des rayons lumineux se précisait dans notre esprit.

Phénomènes de réfraction.

Rappelons-nous qu'un milieu transparent est caractérisé par sa réfringence et que le passage d'un milieu à un autre, par suite de la différence d'indice de réfraction, produit des phénomènes curieux, tel celui du bâton plongé dans l'eau et qui apparaît coudé et raccourci. Tout comme les rayons lumineux, les ondes radio-électriques sont réfractées au passage d'un milieu dans un autre. Mais nous n'avons jamais à faire dans le cas qui nous préoccupe, à des variations

aussi nettes qu'entre l'air et l'eau ou le verre et l'air, mais à des variations progressives. Il n'y aura donc pas de cassure nette du rayon, comme dans le cas du bâton, mais une courbure progressive. Cette courbure, ou ces courbures successives, peuvent au hasard du voyage d'une onde, la ramener au voisinage immédiat d'une antenne de réception, parfois très éloignée de l'émetteur et bien au delà de la limite de visibilité directe.

Applications pratiques de la réfraction, le prisme et la lentille. Le prisme, par deux réfractions successives dans le même sens, va dévier de façon différente des rayons lumineux de longueur d'onde différente et fait apparaître à nos yeux étonnés ce splendide spectre solaire que l'on retrouve dans la nature sous la forme d'arc-en-ciel. Par deux réfractions successives, la lentille donne en son foyer, l'image d'un objet situé à l'infini, mais si cet objet est noir et blanc, on observe sur les bords de l'image une irisation : c'est l'aberration chromatique dont la cause est la même que dans le cas du prisme. Si nous admettons que les changements d'indice de réfraction provoquent une déviation des ondes, on peut admettre aussi que cette déviation sera d'autant plus sensible que la longueur d'ondes sera plus courte. C'est si vrai que les ondes dites moyennes et courtes traversent allègrement les couches les plus perturbées de la troposphère pour aller se réfracter dans l'ionosphère, tandis que les VHF y parviennent difficilement, et que le seul exemple fréquent soit la réfraction sur couche sporadique E des ondes de quatre mètres. A part quelques rarissimes exemples, les ondes de deux mètres se propagent exclusivement de façon utile dans la troposphère.

Phénomènes de réflexion.

Ces phénomènes sont intimement liés à ceux de la réfraction. En effet, au passage d'une surface de séparation entre deux milieux différents, une partie de la lumière est réfléchie, c'est-à-dire, retourne dans le premier milieu. La proportion de lumière réfléchie est d'autant plus grande que le saut d'indice est plus important, ceci est bien connu des photographes et cinéastes qui utilisent des objectifs traités pour que la variation d'indice soit moins brutale.

Lorsqu'aucune lumière n'est transmise du premier milieu dans le second, la totalité est réfléchie, cas du miroir parfait.

Tout se passe comme si la variation d'indice était infinie. Qu'il s'agisse ou non de phénomène apparenté à la réfraction, les cas de réflexion des ondes sont multiples : immeubles, avions, collines, montagnes, aurores boréales, traînées de météorites.

Phénomènes de diffusion.

L'atmosphère n'est pas parfaitement transparente ; observez un rayon de soleil dans une pièce sombre ; vous distinguerez d'abord une quantité de poussières en suspension dans l'air, mais entre ces poussières, l'air paraît légèrement lumineux ; il y a diffusion de la lumière, comme c'est le cas chaque fois qu'un corps n'est pas totalement transparent ; la lumière non transmise est dispersée dans toutes les directions.

En matière d'ondes radio-électriques, il en est de même et on constate souvent un flou dans la directivité d'une antenne pourtant bien étudiée. Ce phénomène est utilisé pour assurer des liaisons entre stations qui « ne se voient pas » ; on expédie dans la troposphère une onde d'une puissance considérable dans une direction déterminée mais très au-dessus de l'horizon ; du côté réception, on braque une antenne à fort gain dans la direction de l'émetteur et également très au-dessus de l'horizon. La zone où les faisceaux des antennes se recoupent est appelée volume commun ou zone de diffusion optimum. Une partie des ondes diffusées dans toutes les directions vient rencontrer l'antenne de réception et la liaison est assurée bien au delà de la traditionnelle visibilité directe. Il semble, là, aussi, que l'on doive s'adresser à des ondes très courtes pour bénéficier au mieux du phénomène.

Phénomènes de diffraction.

La propagation des ondes est arrêtée par les obstacles matériels tels que les montagnes. Pourtant il ne manque pas d'exemple de liaisons faites sur VHF par dessus les Alpes.

Lorsqu'un faisceau de rayons lumineux parallèles vient frapper un obstacle à bord effilé, par exemple une lame de couteau, les rayons passant juste au ras du fil de la lame sont déviés derrière l'obstacle, c'est la diffraction.

Les ondes radio-électriques courtes et très courtes sont sujettes à ce phénomène, si un faisceau d'ondes rase le sommet d'une montagne, il est diffracté vers

le bas et peut atteindre une antenne située derrière la montagne ; c'est ce qu'on appelle le gain d'obstacle. Il fut mis en évidence pendant la guerre de Corée. Les stations VHF des casques bleus se plaçaient bien entendu sur les sommets pour être « en visibilité directe » ; mais comme elles étaient alors en visibilité aussi de l'artillerie ennemie, elles étaient particulièrement vulnérables ; elles durent rapidement se « planquer » dans les vallées et découvrirent alors le « gain d'obstacle » qui leur permit d'assurer des liaisons jusqu'alors réputées impossibles.

Phénomènes d'absorption.

Nous avons vu au sujet de la diffusion, que l'atmosphère n'était pas totalement transparente, tant aux rayons lumineux qu'aux ondes radioélectriques. Une partie de l'énergie est transmise, une seconde est diffusée dans toutes les directions, mais de plus une troisième est dégradée en chaleur par absorption. Cela est vrai pour l'atmosphère, mais aussi pour tous les obstacles matériels qui n'étant ni parfaitement conducteurs, ni parfaitement isolants absorbent une bonne partie de l'énergie qui les atteint. Une antenne située dans un grenier, par exemple, ne reçoit qu'une partie de l'énergie qui lui parviendrait dehors, car les murs, le toit, la charpente absorbent une quantité considérable d'énergie, elle n'en recevrait presque plus dans une immeuble en béton. Certains matériaux, très bons isolants aux très hautes fréquences, absorbent si peu d'énergie qu'on les utilise pour fermer des guides d'onde ou des antennes « cornet » afin d'éviter que les intempéries ne viennent souiller et dégrader l'intérieur. L'absorption est d'autant plus marquée que la longueur d'onde est plus courte. Ainsi les amateurs ont constaté à de nombreuses reprises qu'une liaison 2 mètres était affectée de « fading », alors que la même liaison était stable sur soixante-dix centimètres ; la raison est que sur deux mètres, une onde directe venait interférer avec une onde réfléchie par le sol au voisinage de l'antenne, tandis que sur 70 centimètres, l'onde réfléchie au sol est à ce point absorbée, ne serait-ce que par la végétation, que seule subsiste l'onde directe. Dans le domaine des ondes centimétriques, l'absorption est si sensible que la pluie rend toute propagation impossible.

Effets combinés

Suivant la longueur d'onde utilisée, les différents phénomènes que nous venons d'évoquer, peuvent produire des effets tantôt favorables, tantôt défavorables, eu égard à la distance à couvrir.

Il apparaît que les effets contraires des différents phénomènes ne se compensent pas de façon égale suivant les différentes fréquences et une bande de fréquence optimum peut être définie dans chaque cas. Ce n'est pas un pur effet du hasard si l'écoute des bruits radioélectriques des étoiles se fait sur ondes métriques, de même que la transmission de signaux à partir ou vers les satellites artificiels.

Propagation des ondes métriques.

A) Conditions normales.

Nous entendons par conditions normales, toutes les possibilités de transmission par propagation troposphérique, c'est-à-dire dans la basse atmosphère. Nous disposons de deux bandes dans la gamme des ondes métriques, le 4 mètres ou 72 MHz, et le 2 mètres ou 145 MHz. Les Américains, plus heureux, ont en outre le 50 et le 220 MHz. Il y a peu de différence dans la propagation normale des bandes 72 et 144. L'onde de sol est probablement très vite atténuée sur un parcours de quelques dizaines de kilomètres, mais la réfraction et la diffusion interviennent pour masquer la limite entre l'onde de sol et l'onde réfractée à très basse altitude. Des portées de 200 kilomètres sont normales pour une station correctement dégagée et disposant de 15 à 50 watts dans une antenne de surface effective moyenne. Il a été cependant démontré sur une période très longue, que la liaison était possible sur 400 kilomètres par tous temps, avec bien entendu des hauts et des bas, la télégraphie étant nécessaire dans les cas les plus difficiles.

L'humidité et la température élevée semblent des éléments favorables ; on constate par exemple une réfraction favorable aux grandes distances au-dessus des mers chaudes ; c'est ainsi que de nombreuses liaisons ont pu être faites entre la côte Provençale et l'Algérie. L'uniformité et la stabilité des conditions sur le parcours sont dans tous les cas nécessaires ; les discontinuités sont au contraire nettement défavorables. L'inversion de température nocturne aug-

mente la portée moyenne, elle se manifeste assez tard dans la matinée. Les brumes matinales sont aussi un élément favorable très souvent exploité.

L'augmentation de puissance à l'émission étale les zones de réception sans augmenter considérablement la portée maximum ; il paraît plus judicieux, et plus économique de rechercher un angle favorable au départ. De toutes façons, l'augmentation de la puissance de l'émetteur n'apporte rien lors du passage sur écoute aussi il est bien plus intéressant d'augmenter le gain de l'aérien.

B) Conditions exceptionnelles.

Nous classerons sous ce vocable des types de propagation très différents, mais qui ont comme point commun de ne se produire que dans des conditions particulières, ce sont : les réflexions sur aurore boréale, les réflexions sur couche sporadique E, les réflexions sur traînées de météorites, les propagations « conduites ». Contrairement à ce qu'on pourrait croire, ces propagations exceptionnelles sont très fréquentes, mais elles passent souvent inaperçues, soit par manque d'attention à l'écoute, soit par manque de correspondant dans la zone pouvant être atteinte.

Le Soleil émet un spectre infiniment riche de rayonnements et notre planète est soumise à un véritable bombardement ; nous n'en constatons visuellement que la partie du spectre lumineux. Certains rayonnements ne parviennent même pas, ou très atténués, jusqu'à la surface du globe ; ils n'en pénètrent pas moins profondément dans les hautes couches de l'atmosphère terrestre où ils provoquent une très forte ionisation, d'où le nom donné à ces couches, de ionosphère. Le parcours des rayons est soumis au champ magnétique terrestre qui les dévie, de ce fait c'est au voisinage des pôles que la concentration en est la plus élevée ; il est d'autant plus intense qu'il y a plus de taches à la surface du soleil ou que ces taches sont plus grandes. Lorsque l'intensité est suffisante, elle produit des phénomènes lumineux connus sous le nom d'aurores boréales. Si la ou les taches solaires qui ont produit une aurore ont une durée suffisante, on constate une répétition des aurores avec une périodicité de 27 à 29 jours suivant que les taches se trouvent à l'équateur ou au pôle du Soleil. C'est en général vers la fin de l'après-midi que les aurores peuvent produire un effet de réflexion des ondes ; cette réflexion a été constatée

principalement sur la bande 144 ; elles ont permis des liaisons entre stations éloignées de plusieurs milliers de kilomètres et il semble que des liaisons transatlantiques pourraient être tentées par ce procédé.

Pour la même raison il peut se produire des zones ionisées dans la couche E de l'ionosphère situées plus près de l'équateur, en été et au moment de la journée correspondant à l'insolation maximale. Ces ionisations sont dites sporadiques si elles sont très localisées et distribuées comme les petits nuages dans un ciel clair. Elles sont dites aurorales si elles sont de grande étendue comme un ciel couvert. Les réflexions sur couche sporadique E ont permis d'excellentes liaisons sur la bande 4 mètres (72 MHz) entre l'Europe et l'Afrique du Nord ; les signaux arrivent alors avec une puissance extraordinaire et les antennes n'ont plus aucun effet directif, comme si les ondes arrivaient presque à la verticale. Ce phénomène est beaucoup plus rare sur 144, une seule liaison entre l'Angleterre et l'Italie du Sud semble devoir être notée.

On sait que l'espace interstellaire est rempli d'une très grande quantité de corps dont on attribue l'origine à des planètes détruites ; ces corps se propagent en effet par essaims et suivent des orbites très régulières et prévisibles. Leur dimension varie depuis le grain de poussière jusqu'au bloc de plusieurs tonnes. Ils sont animés de vitesses énormes et lorsqu'ils viennent à frôler les hautes couches de l'atmosphère ils sont portés à l'incandescence par le frottement sur les gaz, ce sont les étoiles filantes. Ils peuvent provoquer des traînées ionisées au niveau de la couche E, et ces traînées sont susceptibles de réfléchir les ondes métriques. Les communications par ce procédé relèvent d'une technique particulière, néanmoins des résultats très intéressants ont pu être enregistrés entre l'Angleterre et la Suisse. Le nombre d'essaims de météorites intéressant notre atmosphère est très grand et c'est une centaine de jours par an qu'on peut en constater les effets.

Les propagations conduites se produisent dans la troposphère, elles permettent d'atteindre des distances de plusieurs milliers de kilomètres. Elles de-

mandent des conditions homogènes sur l'ensemble du parcours ; elles peuvent être généralisées sur de très grandes étendues ou bien se produire sur des itinéraires bien définis. Elles sont produites par des couches d'inversion constituant de véritables guides d'onde, soit entre deux couches, soit entre une couche et le sol. La réception des signaux se fait avec une puissance extraordinaire, presque sans atténuation.

Conclusion.

Nous avons tenté de rassembler ici tout ce que nous avons pu apprendre de la propagation des ondes métriques, tant par le dépouillement des comptes rendus d'activité des stations que par des observations et des recherches systématiques entreprises par certains amateurs de différents pays.

Les propagations par aurore ou par couche sporadique E peuvent être assez facilement prévues par observation de l'activité solaire ; les réflexions sur traînées et météorites sont également prévisibles puisque leur passage est connu avec précision. Par contre les propagations conduites ne peuvent, pour le moment, être prévues, sauf parfois à court délai, par observation des conditions météorologiques. Les variations de la propagation normale sont aussi difficilement prévisibles dans l'état actuel de nos connaissances. Il reste par conséquent un très gros travail de recherche et d'étude à faire et, dans ce domaine, les amateurs peuvent jouer un rôle très important. Les écoutes régulières suivant des programmes préétablis, l'assiduité de l'écoute, quelles que soient les conditions apparentes, peuvent nous apporter des renseignements précieux pour peu que les circonstances de chaque phénomène soient soigneusement enregistrées. Nous ne saurions trop encourager les amateurs à imiter nos camarades F9AJ et F8OB dont les observations sont publiées chaque mois dans notre revue. Le travail d'une journée peut paraître sans intérêt, mais l'accumulation de renseignements sur de très longues périodes et l'analyse statistique de ces renseignements nous permettra sûrement de tirer des conclusions fort intéressantes.

N'oubliez pas que votre Chef de Section est prêt à répondre à vos questions et à vous aider à résoudre vos problèmes particuliers. Vous obtiendrez rapidement satisfaction, tout en allégeant le travail du Secrétariat.