

La Propagation par ondes NVIS

N.D.L.R.: Dans l'unique but d'alléger le texte, le terme Propagation par Ondes Réfléchies à Angle d'Incidence Quasi Vertical a été remplacé par le terme « NVIS ». Bonne lecture.

Mise en Situation

- Vous êtes dans le fond d'une vallée entouré de montagnes et la station avec laquelle vous communiquez est trop proche pour être à portée d'ondes réfléchies et hors de portée des ondes directes à cause des montagnes. Pourtant, vous échangez des signaux bien au dessus de S9.
- Vous disposez d'équipement de radiogoniométrie pour tenter de déterminer la provenance d'une transmission illégale mais votre équipement vous refuse une indication d'azimut stable.
- Vous apercevez un convoi militaire et vous remarquez qu'ils n'ont pas détachés le bout de leur antenne verticale du pare-choc avant du véhicule. Pourtant, il y a suffisamment de dégagement vertical pour qu'ils les déploient.

Que se passe-t-il ?

Bienvenue dans l'univers de la propagation par ondes NVIS.

La plupart des manuels traitant de propagation omettent de mentionner que les ondes à incidence quasi verticales subissent elles aussi l'influence des couches de l'ionosphère.

On ne traite que des ondes incidentes en bas-angle pour les communications de médium et longues distances. La zone de silence ou zone de skip, est le fruit du manque de compréhension du phénomène de propagation, elle n'existe seulement que dans la tête de celui qui a fait le mauvais choix d'antennes. Ce paradigme de propagation est sans fondement scientifique. Bien-entendu, les règles s'appliquant à la fourchette des fréquences MUF et LUF et de la relation de celles-ci avec leur angle d'incidence par rapport aux couches ionisées tiennent toujours.

Les ondes NVIS utilisent les mêmes couches Es et F de l'ionosphère comme réflecteurs vers le sol. Une antenne qui favorise un départ à angle quasi vertical optimise ce mode. L'image d'un parapluie décrit assez bien l'empreinte du schéma de réflexion par l'ionosphère sur le sol à partir d'une antenne optimisée à cette fin. Finalement, pour les mobiles, l'usage d'antennes verticales est tout à fait inapproprié pour les communications locales et régionales à cause du cône de silence vers l'azimut.

Le mode par ondes NVIS est tout simplement l'usage d'ondes en basses fréquences réfléchies grâce à des antennes possédant un angle de radiation élevé. Tout comme le bon choix d'antennes peut rehausser la fiabilité d'une liaison de longue distance, les communications de courtes distances ont aussi un type d'antenne qui leur est propre. La capacité d'opérer dans les deux modes est un outil indispensable dans le coffre d'un opérateur HF chevronné.

Toute station utilisant une antenne à bas angle de départ favorise la propagation sur une portée de médium et de longue distance. De cette façon, une zone de silence est formée entre la portée maximum d'onde directe et la portée minimum de l'onde réfléchi.

L'emplacement de cette zone de silence en forme de couronne est influencé par la propagation, le type d'antenne et la fréquence d'opération. Elle peut débuter aussi proche qu'à une trentaine de km et s'étendre jusqu'à 300km empêchant ainsi toute communication avec les stations à l'intérieur de cette zone. Dans des circonstances exceptionnelles, la zone de silence peut se rapprocher à quelques kilomètres seulement de la station émettrice.

Pour fonctionner, le mode NVIS requiert des antennes dont l'angle de radiation est très élevé, de 60° à 90° afin d'irradier le maximum d'énergie vers l'azimut et le minimum vers l'horizon. Les ondes sont ensuite réfléchies par l'ionosphère vers le bas couvrant une zone de forme circulaire. A cause de cette irradiation quasi verticale, il n'y a pas de zone de silence, tout le cercle est couvert. Un tel angle d'incidence favorise la pénétration dans la végétation dense, les creux de vallées et l'autre côté des montagnes. Ce mode fonctionne très bien du 160M jusqu'au 40M inclusivement. Le secret consiste à utiliser une fréquence qui est plus basse que la fréquence critique (MUF) de réflexion ionosphérique.

Le mode NVIS fait l'objet de recherches depuis la deuxième grande guerre. Depuis les vingt dernières années, ce mode de propagation connaît un regain de popularité pour les communications tactiques à cause de sa simplicité et de son agilité. Ces raisons deviennent évidentes à la lumière des faits suivants :

- La lourdeur des infrastructures requises pour implanter un réseau VHF/UHF pour couvrir tout le terrain d'engagement.
- Le délai de déploiement des répéteurs et les ressources requises pour ce faire.
- Le coût et les vulnérabilités des réseaux asservis aux systèmes de satellites.

Historique

On peut retracer la genèse du mode NVIS à une période datant d'avant l'identification formelle du phénomène. Durant le deuxième conflit mondial, la plupart des radios tactiques couvraient un spectre s'étalant de 2 jusqu'à environ 10Mhz. À cette époque, on prenait pour acquis que la propagation était soit directe (groundwave) ou par réflexion ionosphérique (skywave). Le fait qu'il était souvent possible de communiquer d'un canyon à l'autre ou d'un côté de montagne à l'autre n'avait pas fait l'objet de recherches plus approfondies. On attribua simplement ce phénomène aux aléas de la propagation en haute fréquence.

Bien que les deux modes de propagation étaient à la portée de la bande des fréquences utilisés par ces radios, c'est la propagation en direct qui a dominé l'esprit des stratégies militaires de l'époque. Ainsi, les antennes utilisées par ceux qui étaient sur le point d'envahir le Nord-Ouest de l'Europe et les territoires occupés par les Japonais en Asie-Pacifique étaient aptes à opérer de façon fiable que sur de très courtes distances.

Vers 1943, suite à plusieurs fiascos attribuables à des défaillances des moyens de communications, il devint évident que les systèmes en place étaient inadéquats pour toutes communications au-delà de quelques kilomètres en zone d'engagement. Des recherches entreprises indépendamment par les Britanniques et les Américains démontrèrent alors que la seule façon d'améliorer la portée des équipements existants était d'utiliser des antennes qui favoriseraient davantage la propagation par l'ionosphère.

Les essais pratiques réalisés avaient démontré qu'avec ce mode, des distances allant jusqu'à 240 km¹ pouvaient être atteintes 24 heures par jour dans la bande de fréquences couvrant de 2 à 8Mhz. Les chercheurs venaient de cerner les effets de NVIS sans pour autant en connaître les causes exactes dans tous leurs détails.

Le fascicule numéro 2 du groupe de formation du British Signal Corps présentait aux opérateurs radio un modèle d'antenne pour favoriser ce mode pour les radios existants². Il reléguait ainsi aux oubliettes la traditionnelle antenne verticale pour toutes les communications d'au-delà de quelques kilomètres.

Les recherches de l'Army Operational Research Group conclurent que pour des communications fiables sur des distances courtes ou moyennes n'excédant pas 240Km, une antenne devait :

- 1) Avoir un angle de radiation s'approchant de la verticale
- 2) Accommoder une plage de fréquences de 2 à 8Mhz
- 3) Construite pour être syntonisée par les radios tactiques de l'époque
- 4) Être raisonnablement compacte, facile à ériger, simple et robuste.

On venait d'adopter le long fil horizontal. Un circuit formé de deux condensateurs fut ajouté en série avec la nouvelle antenne afin d'offrir une charge compatible avec les radios existants conçus pour de courtes antennes verticales. Le variomètre du Wireless Set 19 Mk II et III, ça vous dit quelque chose?

Un exemple spectaculaire de la performance de ce mode de propagation eut lieu lors du débarquement sur les plages de Normandie (D-day) en juin 44. Planifiées sous le regard du conseiller spécial en communications auprès de l'Armée américaine, M. Harold H. Beverage, on effectua le bon choix des fréquences et d'antennes pour assurer les communications entre les postes de commandement et contrôle à Uxbridge Angleterre, quartier général de la U.S. Air Force et celui à bord du USS Ancon dans le chenal de la Manche pour fournir le soutien aérien essentiel au succès du débarquement³.

Birmanie

Le théâtre de Birmanie avec ses forêts tropicales gigantesques éprouva davantage les systèmes de communications tactiques des forces britanniques. Même sur des distances d'à peine quelques kilomètres, le mode traditionnel de propagation directe n'arrivait pas à franchir le dense feuillage mouillé, l'air surchargé de vapeur d'eau et surtout le haut niveau de bruit statique causé par des orages tropicales incessantes. Les travaux de recherche entrepris par Appleton et Piggott du Army Operational Research Group⁴ établirent que l'antenne idéale pour opération durant la Mousson était un dipôle d'une demi-longueur d'onde située à un quart de longueur d'onde du sol. Encore une fois, le mode NVIS s'avéra le seul pouvant offrir des liaisons fiables 24 heures / 12 mois par année en Birmanie ainsi que dans les autres latitudes équatoriales du sud-ouest asiatique.

¹ Il s'agit ici d'un objectif arbitrairement établi pour des besoins stratégiques par le British War Office; NVIS peut habituellement couvrir des distances passablement supérieures.

² Anonyme, 3 avril 1943, Signal Training Pamphlet No. 2 part IX, British War Office

³ D.M. Fielder et E.J. Farmer 1996, NVIS, Worldwide Books p.122-124.

⁴ Sire Edward Appleton et Piggott W. R., The absorption of radio waves in the ionosphere, AORG report No. 160, 1942.

Corée

Lors de la guerre de Corée, les hauts mornes ainsi que le sol rocailleux et aride n'aidant pas l'emploi d'antennes verticales rendit l'usage du mode NVIS une nécessité absolue pour les troupes alliées.

Viêt-Nam

Pays tropical par excellence, c'est à l'époque du début des engagements des troupes américaines que parurent les premiers résultats de recherches visant à cerner et quantifier ce mode particulier de propagation⁵.

Modélisation

Les premières tentatives à modéliser ce mode débutèrent dans les années 70. Des expériences avec des sondes ionosphériques ont été faites par G.H. Hagn en 1973⁶ pour mesurer la réponse et le gain d'antennes vers le zénith. En 1976, Q.G. Villard démontra que dorénavant, les sondes par radar avaient leur place dans l'étude des phénomènes de propagation dans l'ionosphère⁷. Finalement, au début des années 80, le défi de modéliser les antennes mobiles fut relevé suite à l'apparition d'un premier article par R.A. Burberry⁸. Il aura donc fallu 40 ans avant d'arriver à cerner les grandes lignes de ce capricieux phénomène. Ce n'est que vers 1989 que les premiers logiciels de modélisation du NVIS firent leur apparition⁹. Voyons maintenant où ils en sont rendus.

Facteurs de Propagation en Mode NVIS

Absorption et Réfraction

L'absorption par la couche D des fréquences les plus basses est à son maximum quand le soleil est au Zénith. La couche F est celle qui réfléchit le plus les ondes, c'est une fonction de la densité d'électrons qui sont aussi à leur maximum le jour. À mesure qu'augmente la densité des électrons, de même augmente la fréquence utilisable la plus haute (MUF). Ainsi, on utilise de plus hautes fréquences le jour et les plus basses le soir au moment où l'absorption par la couche D disparaît presque complètement.

Angle d'Incidence

Plus un faisceau d'ondes s'approche de la perpendiculaire par rapport à la couche ionosphérique d'intérêt, plus il risque de la traverser, plus son angle d'incidence se referme, plus il risque d'être réfléchi. L'angle d'incidence est déterminé par la distance entre les deux stations désirant communiquer. À mesure qu'on referme l'angle pour augmenter la distance, la plus haute fréquence utilisable augmente. L'inverse se produit pour la plus basse fréquence.

À mesure qu'on ouvre l'angle (on rapproche les deux stations) la probabilité que le faisceau traverse la couche augmente. Cependant, si on abaisse la fréquence

⁵ J.W.Herbstreit et W.Q.Critchlow, Measurement of the Attenuation of Radio Signals by the Jungle, Radio Science, 68D, 1964, pp. 903-906.

⁶ IEEE Transactions on Antennas and Propagation, AP-21, 1973, pp. 571-574.

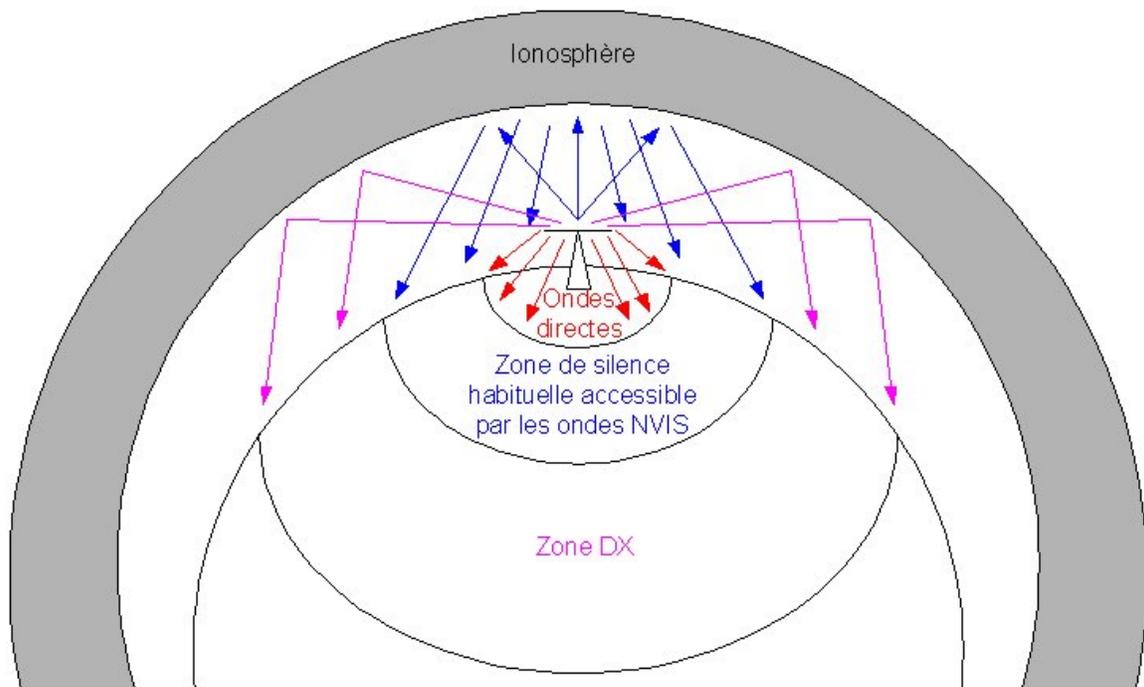
⁷ Radio Science, 11, 1976, pp. 847-860.

⁸ HF loop antennas for Air, Land and Sea mobiles, IEE 2nd. International Conference on HF Radio Systems and Techniques, No. 206, 1982 pp. 18-22.

⁹ EK Miller, Mininec in Fortran, IEEE Antennas and Propagation Society Newsletter, 31,6, December 1989, pp. 28-29.

d'exploitation les électrons de la couche F influencent davantage ce faisceau. En dessous d'une certaine fréquence critique, les électrons piègent le faisceau et le renvoient vers la terre. On définit cette fréquence comme étant la plus haute utilisable (MUF). Les fréquences plus hautes que cette dernière ne seront pas retournées vers la terre. Les faisceaux de fréquences trop en bas de la plus haute utilisable subiront trop d'absorption par la couche D. Le soir, la densité des électrons est à son minimum, la fréquence la plus haute utilisable baisse passablement, tout particulièrement en hiver. Heureusement, l'absorption par la couche D disparaît ce qui aide à rendre les communications possibles en utilisant de plus basses fréquences.

Un autre phénomène affectant la propagation est la couche sporadique E (Es). C'est une couche très mince à haute densité d'électrons située aux environs de 90Km. Elle peut, à l'occasion, soutenir de fréquences beaucoup plus hautes que la couche F. Elle n'est pas causée par les radiations solaires mais plutôt par des perturbations météorologiques affectant l'ionosphère. Elle est donc imprévisible bien qu'elle offre d'excellentes conditions de propagation en mode NVIS.

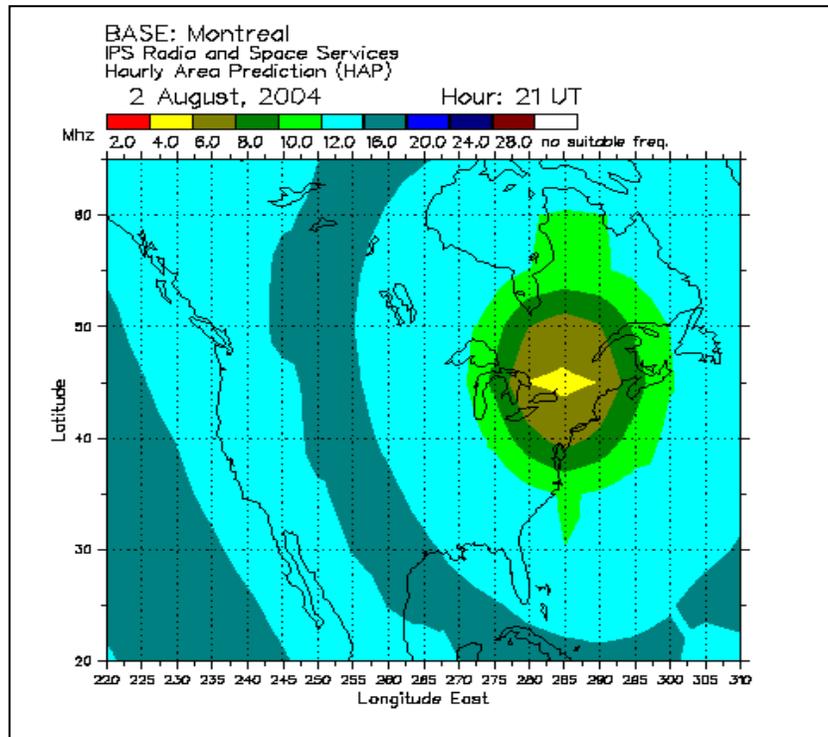


Conclusions

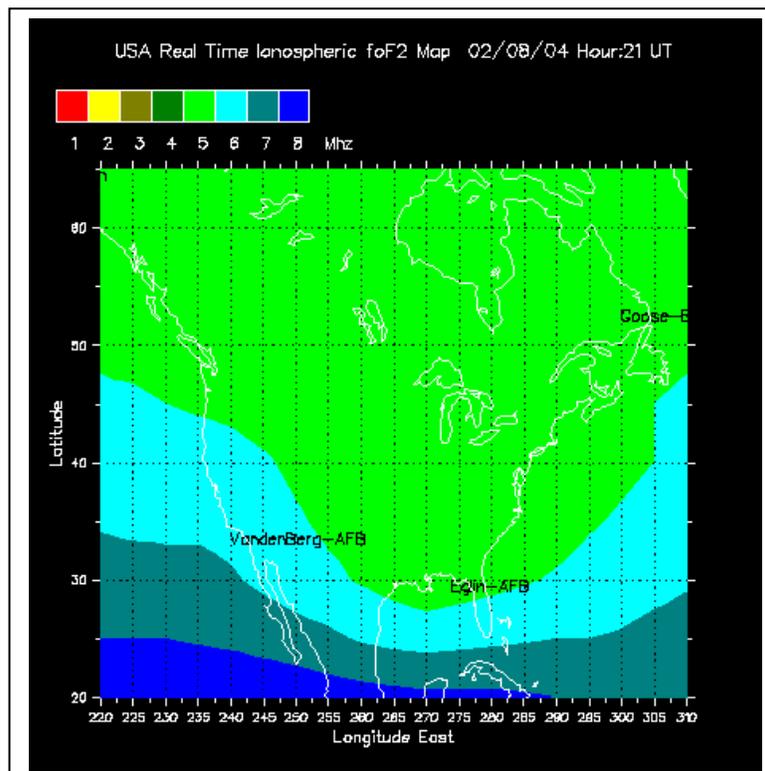
Les conditions de propagation en mode NVIS changent constamment. Afin d'en tirer le maximum, nous avons besoin de connaître précisément l'état de l'ionosphère en temps réel. Des radars sont maintenant dédiés pour sonder l'ionosphère à ces fins, partout sur le globe.

Pronostics de Propagation

Les données provenant des sondes ionosphériques sont maintenant à la disposition des scientifiques sur une échelle globale. Ainsi, nous avons été en mesure d'obtenir les données suivantes pour l'ensemble de l'Amérique du Nord et pour la grande région de Montréal à partir du site Internet www.hfpack.com



Cette carte montre les fréquences utilisables pour communiquer à partir de Montréal pour le 2 août 2004 à 21 heures T.U.C. Par exemple, le sud-ouest de la province et le sud-est de l'Ontario sont à portée de Montréal. Pour la bande des 80 mètres, le losange jaune correspond à la zone de couverture NVIS.



La carte de l'Amérique du Nord ci-haut montre la fréquence la plus haute utilisable (MUF) pour réflexion par la couche F2. Il est donc possible d'obtenir en temps quasi réel (20 minutes après l'heure du sondage par radar), des informations précises sur quelles bandes de fréquences utiliser pour en tirer le maximum en tout temps.

Antenne de Base Optimisée

Le design d'une antenne optimisée pour NVIS n'est pas sorcier, au contraire, il est des plus conventionnels. Une bonne vieille Yagi à deux éléments pointée vers le ciel est imbattable si on se fie à un article paru dans la revue 73 en 1969¹⁰. Il s'agissait d'y penser, ce design a fait ses preuves depuis l'aube des temps de la radio. Les règles habituelles de design prédominant, la distance entre l'élément piloté et son réflecteur est de $0,15\lambda$. Le réflecteur est de 5% supérieur en longueur que l'élément piloté et peut être à quelques pieds seulement au-dessus du sol, assez haut pour dégager la tête de votre voisin. Si on l'installe plus bas, l'effet de capacitance avec le sol risque de compliquer le calcul et surtout la syntonisation du réflecteur. N'utilisez pas de mât métallique à proximité de l'élément piloté ou son réflecteur, tenir éloignés les objets métalliques. Les obsédés du gain peuvent toujours mettre trois réflecteurs au lieu d'un seul et n'oubliez surtout pas qu'ils ont tous besoin d'isolateurs.

Dimensions de Départ

L'usage d'un facteur de vélocité de propagation de 0,95 est fortement recommandé afin de compenser pour le rapport entre le diamètre du conducteur et sa longueur ainsi que l'effet des isolants aux extrémités pour les antennes filaires. Il est aussi recommandé d'utiliser un peu plus long de fil pour ensuite le raccourcir jusqu'à résonance. Les dimensions entre parenthèses tiennent compte du facteur de V_p .

Fréquence	Pilote	Réflecteur(+5%)	Espacement (0,15λ)
3.780Mhz	39,68m(37,7)	41,66m(39,58)	11,9m
7.070Mhz	21,22m(20,16)	22,27m(21,16)	6,66m

Directivité de l'Antenne NVIS Optimisée

L'Antenne dirige la totalité de son faisceau d'ondes vers le zénith. Par conséquent, son azimut (orientation) est sans importance.

Autres Détails à Respecter

Pour un rendement optimal, l'antenne (pilote et réflecteur) doit être de niveau et, afin d'éviter toute interaction avec la ligne de transmission, utilisez un symétriseur (balun) de courant 1:1 au point de raccord au pilote et assurez-vous que la ligne de transmission descend ensuite à la verticale jusqu'en dessous du réflecteur vis-à-vis son centre. Un fil non-conducteur de sustentation peut être ajouté au-dessus de l'élément pilote afin de soutenir le symétriseur et de la ligne de transmission. L'affaissement du centre de l'élément pilote peut causer une distorsion du patron de radiation de l'antenne.

¹⁰ 73 Magazine, Octobre 1969 par Ed Dusina, W4NVK. A cette époque, Ed était ingénieur chez Harris Communications, un fabricant de radios tactiques.

Performance

On doit se méfier des données de performance sauf pour celles qui ont été acquises par des professionnels en la comparant à une antenne dipôle de référence étalonnée sur un site ouvert homologué à ces fins (open area test site ou OATS). Pour les bandes de 40, 80 et 160M, il n'en existe pas d'accessibles au Canada par des civils, on peut aussi présumer de même pour les sondes ionosphériques.

Par contre, si vous utilisez présentement une dipôle dont le dégagement du sol est proche d'une longueur d'onde laissez-là en place pour fins de comparaisons. Ne soyez pas surpris, pour des communications en dedans de 320 à 480Km, que l'antenne NVIS optimisée exhibe un gain relatif à votre ancienne dipôle d'au moins 6dB et davantage si vous faites partie des rares individus donc l'antenne HF est à une longueur d'onde au dessus du sol. Notez bien qu'elle n'est pas conçue pour les longues distances; seulement pour les premiers 320 à 480Km. Pensez-y bien avant d'enlever votre ancienne antenne pour le DX. Bien qu'un gain de 6dB semble à prime abord négligeable, n'oubliez pas que le patron de couverture en mode NVIS est beaucoup plus uniforme que celui d'une dipôle à la bonne hauteur car cette dernière irradie peu ou pas vers le zénith. Il est donc fort possible dans certains cas, qu'on vous reçoive 5 sur 5 là ou n'arrivez pas à vous faire entendre en utilisant l'autre antenne. Pour les antennes sans réflecteur, la hauteur de l'élément pilote peut varier de 0,1 à 0,25 au dessus du sol selon sa conductivité. La fourchette de performance pour cet ajustement est de l'ordre de 3dB.

Opportunité d'Expérimentation

Voici une belle expérience à tenter pour les rares amateurs qui possèdent une dipôle sur le 80M à une longueur d'onde du sol. Ajoutez un réflecteur sous le pilote à $0,15\lambda$ tout en prenant soin d'installer, en plein milieu du réflecteur, un relais servant à ouvrir la continuité entre ses deux moitiés. En ouvrant les contacts du relais, vous aurez votre antenne de DX. En les fermant, vous aurez votre antenne NVIS. Il y a peu de chances que deux bouts de fil non résonnant sur le 80M aient une influence significative sur votre antenne de DX. Par contre, un écart respectable de toute autre antenne syntonisée pour le 40M est fortement conseillé. La station radioamateur idéale serait ainsi équipée.

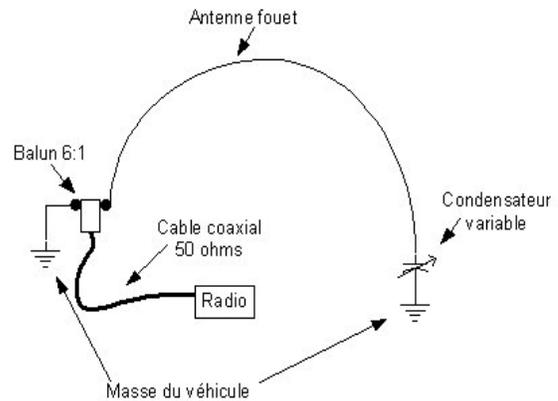
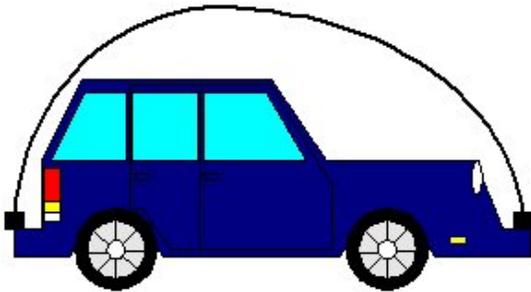
Mobilité

L'antenne verticale n'est pas la bonne solution pour les communications locales et régionales. En plus de son inefficacité notoire, le peu d'énergie qu'elle irradie n'est pas concentrée vers le zénith, bien au contraire. N'oubliez pas le fameux cône de silence que l'on retrouve au dessus de toute antenne verticale.

Les scientifiques délibèrent encore en ce qui concerne la meilleure installation d'antenne mobile pour exploiter de façon optimale ce mode. Ceci dit, certains points en commun se dégagent des multiple travaux de recherche publiés dans ce domaine¹¹ par les militaires Britanniques. Il s'agit d'une antenne en forme d'arc entre le pare-choc arrière et le pare-choc avant installée en diagonale afin d'être le plus long possible.

¹¹ BA Austin & KP Murray, IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 40, No. 1, Feb. 1998

Un condensateur est placé à l'avant entre le châssis (masse) du véhicule et l'extrémité de l'antenne afin d'uniformiser la distribution du courant RF tout le long de l'antenne. La valeur du condensateur varie selon le type de véhicule, la longueur de l'antenne et la fréquence d'exploitation. Pour le 80M, la plage se situe aux environs de 400 à 600 pF, et pour le 40M, autour de 150pF^{12,13}. L'impédance de cette antenne se situe entre 300 et 350 Ohms, un transformateur d'impédance est donc recommandable au point d'alimentation de l'antenne.



N.B. Contrairement aux Britanniques, les militaires Américains déploient leur antenne en forme d'arc vers l'arrière du véhicule à l'aide d'un fil tendeur évitant ainsi l'absorption par le châssis. Malheureusement, notre code de la sécurité routière et le gros bon-sens nous interdisent de telles extravagances. Le compromis Britannique est de l'ordre de seulement quelques décibels de toute façon.

Conclusions

Pour résumer en une seule phrase le résultat des recherches sur NVIS, **la zone de silence (skip) n'existe pas**. Elle est causée par un mauvais choix d'antenne. Un paradigme de la propagation des ondes radio vient de changer mais trop peu de manuels de formation en radio en font mention.

Il devient donc évident que les amateurs opérant sur les bandes de 40, 80 et 160M en utilisant des dipôles à des hauteurs inférieures à une longueur d'onde font usage du mode NVIS sans le savoir. Par contre, en ne tenant pas compte de la résistance du sol ou de la hauteur optimale pour ce mode de communications ils se sont retrouvés avec une antenne de moindre performance tant pour le DX que pour les communications en mode NVIS.

Pour la mobilité, il reste encore un tas de choses à découvrir, c'est donc une excellente occasion d'expérimenter. Chose certaine, vous ne passerez pas inaperçu mais par contre, ce sont les mobiles adaptés au mode NVIS qui risquent de connaître les gains de performance et de fiabilité les plus spectaculaires pour les communications locales et régionales.

¹² Optimized Vehicular Loop Antenna for NVIS, BA Austin & WC Liu, IEE HF Radio Systems and Techniques No. 474. 2000. Figure 9 p. 47.

¹³ Comme point de départ seulement, les valeurs vont varier selon la masse et la longueur du véhicule, un analyseur d'antenne est un outil essentiel ici.

Mesures d'Urgences

Une antenne agile pouvant être commutée au besoin entre l'un ou l'autre des deux modes est hautement recommandable pour les stations de base. Pour les mobiles, un choix d'une de deux types d'antennes au besoin s'impose selon les circonstances car l'usage d'une antenne verticale par les mobiles est tout à fait inapproprié pour les communications locales et régionales en HF à cause du cône de silence vers le zénith.

Le design d'antennes NVIS suggéré dans ce document comporte plusieurs avantages :

- 1) Communications locales et régionales optimisées
- 2) Pas de zone de silence (skip)
- 3) Insensible à l'orientation (azimut)
- 4) Insensible aux accidents géographiques
- 5) Son angle de réception optimisé vers le zénith réduit de façon très marquée l'impact d'interférence par les stations distantes (DX).

Pour en Savoir Davantage

Near Vertical Incidence Skywave Communications, theory, techniques and validation, David Fiedler and Edward Farmer, Worldradio Books, Sacramento CA. 1996, 144 pages.

Un gros merci à Sheldon de Radio HF pour avoir remué mer et monde afin de nous procurer avec diligence le manuel de Worldradio Books sur NVIS

Jacques, VA2JOT

AVIS : Le texte de ce document est la propriété intellectuelle exclusive de ses auteurs. Il ne peut servir qu'à des fins de formation des radio amateurs avec la permission écrite des auteurs. Tout usage à d'autre fins est strictement interdit.
©2004 Jacques Orsali, VA2JOT et l'équipe de radioamateur.ca