

Radiocommunications d'Urgence par Ondes de Sol

par F1GBD (ADRASEC 77) - v1.02 du 17 décembre 2016

Tout radio amateur sait qu'il est relativement simple de communiquer dans le monde à des distances de plusieurs milliers de kilomètres (DX) avec une station décamétrique équipée d'une antenne adaptée en utilisant la réflexion des ondes radio sur les couches ionosphériques. Avec un équipement VHF/UHF il est possible de communiquer en direct dans un rayon d'une trentaine de kilomètres. Par contre, communiquer sur un rayon d'une centaine de kilomètres et donc à l'échelle d'un département avec une station portable/mobile n'est pas une chose facile sans téléphone (GSM), sans relais hertzien et sans internet... C'est pourtant une condition requise dans le cadre de la mise en place d'un réseau de communications d'urgence départementales ou même interdépartementales en cas de rupture des moyens de communications traditionnels (téléphone, internet, relais hertzien). Etablir un réseau de secours palliatif/supplétif est une des missions importantes des ADRASEC de chaque départements par exemple dans le cadre du PCS (**Plan Communal de Sauvegarde**, publié par l'IRMa (1): voir **Moyens de Communication Alternatifs**).

Il existe bel et bien un "trou de communications radio" ou "zone de silence" à combler entre des liaisons courtes distances (locales) type VHF/UHF (sans relais) et des liaisons très longues distances (DX) en décamétrique. Et c'est pourtant dans ce "trou de communications radio" que des communications vitales peuvent transiter (entre des communes isolées par exemple). En cas de risque majeur, il ne faut pas compter sur l'usage de relais radio fixes car ces derniers peuvent être détruits et/ou désactivés par des causes naturelles ou malveillantes... Par contre, grâce à l'existence d'un réseau de Radioamateurs bénévoles et bien équipés (relais APRS VHF, station décamétrique et/ou VHF/UHF de terrain, relais RMS...) il est possible de déployer rapidement un réseau de secours palliatif/alternatif pour subvenir aux besoins de la population en difficulté. Chaque station radioamateur (fixe ou mobile) peut être transformée rapidement en relais de communication. La mobilité, la flexibilité et la capacité de déploiement de ces stations radioamateurs donnent une grande invulnérabilité au fonctionnement du système.

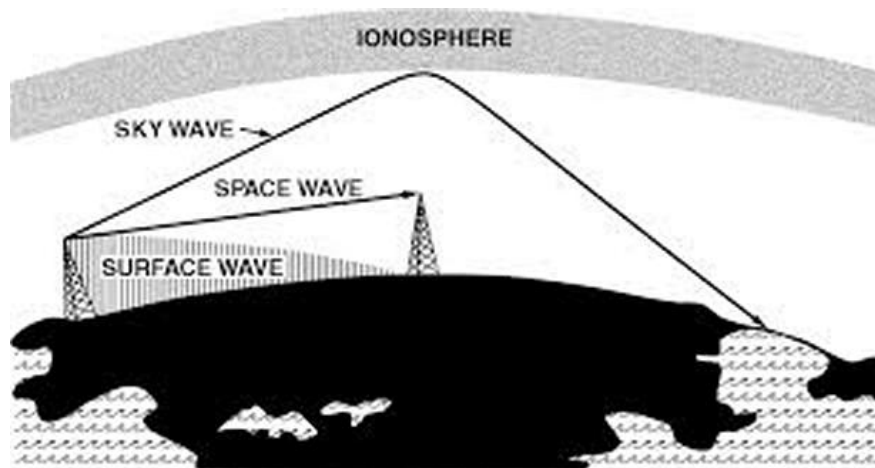
Il existe à ce jour, et à ma connaissance, des moyens qui peuvent être déployés rapidement et efficacement par des radioamateurs pour mettre en place un réseau de communication alternatif/palliatif d'urgence sur une zone d'un rayon de 100km (liaison départementale) :

- en VHF/UHF :
 - une station radio mobile ou fixe utilisée pour l'occasion en digipeater APRS pour véhiculer un message d'urgence (messages d'information, bulletins, SMS, email...).
 - une station radio mobile ou fixe utilisée pour l'occasion en relais RMS (relais point à point et/ou Relais RMS winlink)
- en décamétrique :
 - une station radio mobile ou fixe équipée d'une **antenne NVIS** (Near Vertical Incidence Skywave) sur la bande des 40m peut transférer des messages d'urgence vocalement et/ou numériquement via FLdigi/FLmsg. J'ai déjà étudié cette possibilité dans le précédent article sur le sujet (2)
 - une station radio mobile ou fixe équipée d'une **antenne verticale sur la bande des 80m en utilisant les ondes de sol** peut transférer des messages d'urgence vocalement et/ou numériquement via FLdigi/FLmsg.

Ayant vu précédemment l'utilisation du mode NVIS (2), je vais me concentrer, dans cet article, sur l'utilisation des **ondes de sol pour établir des radiocommunications d'urgence**.

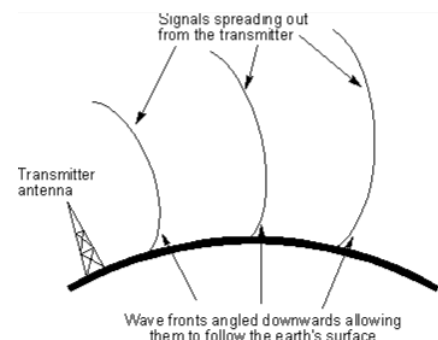
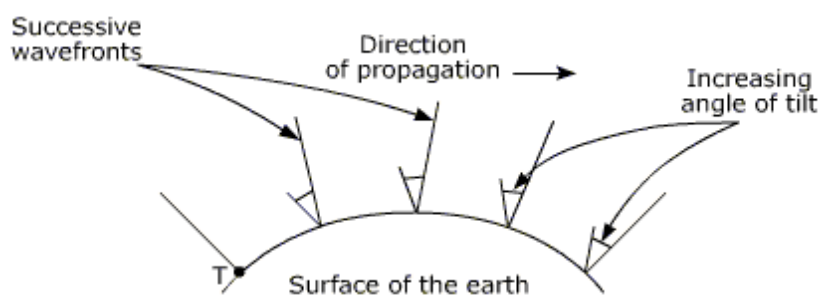
1 - Radiocommunications d'Urgence par Ondes de Sol

Comme son nom peut le laisser sous-entendre, ce système de radiocommunication utilise des ondes qui voyagent sur la surface de la Terre. Ce type d'onde ne voyage pas en ligne droite mais a tendance à suivre la courbure de la Terre et voyage ainsi au-delà de l'horizon. Ce principe de propagation est utilisé pour les radiocommunications maritimes (par exemple: le système de navigation LORAN-A). Contrairement au NVIS qui utilise la couche F2 pour se réfléchir vers le sol, une onde de sol est très peu affectée par l'état fluctuant (jour, nuit, activité solaire..) de l'ionisation de la haute atmosphère. Une fois établie entre deux stations, une radiocommunication par ondes de sol est stable dans le temps.



Une onde de sol est composée de 2 composantes : une onde de surface (surface wave) qui se propage le long de la surface de la terre et une onde d'espace (space wave) qui se propage en ligne droite directement au dessus de la surface. Pour qu'une onde de surface se propage, elle doit être polarisée verticalement (antenne verticale), c'est à dire que la composante du champ électrique (Electric Field) de l'onde doit être perpendiculaire à la surface du sol (la composante du champ magnétique (Magnetic Field) tant parallèle à la surface du sol). Le sol étant un conducteur, si l'onde était polarisée horizontalement (champ électrique parallèle au sol), alors ce champ électrique serait virtuellement court-circuité par le sol et donc l'onde serait très rapidement atténuée (le champ magnétique lui ne subit pas le même effet car le sol n'est pas magnétique). L'onde se propage tant que la composante du champ électrique de l'onde électromagnétique émise par la station reste perpendiculaire au sol.

Cette onde se propage de proche en proche mais elle est affectée par la proximité du sol : les courants induits dans la surface ralentissent le front de l'onde proche du sol forçant celle-ci à suivre la courbure du sol même au-delà de l'horizon. L'angle de basculement (angle of tilt) du vecteur champ électrique dépend de la conductivité et la permittivité du sol survolé par l'onde de sol (8).



Effect of Frequency and Medium Properties on Wave Tilt

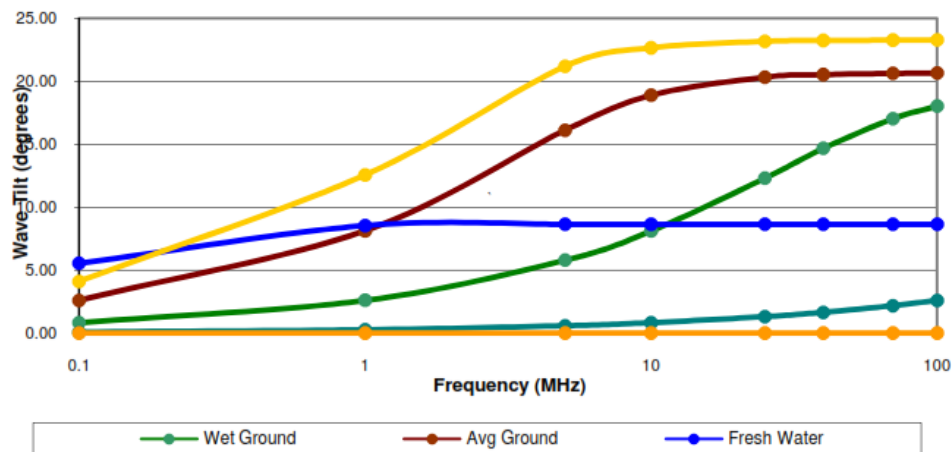
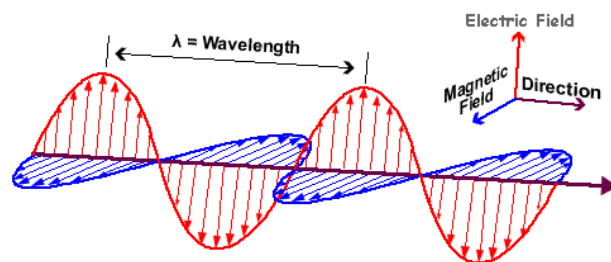
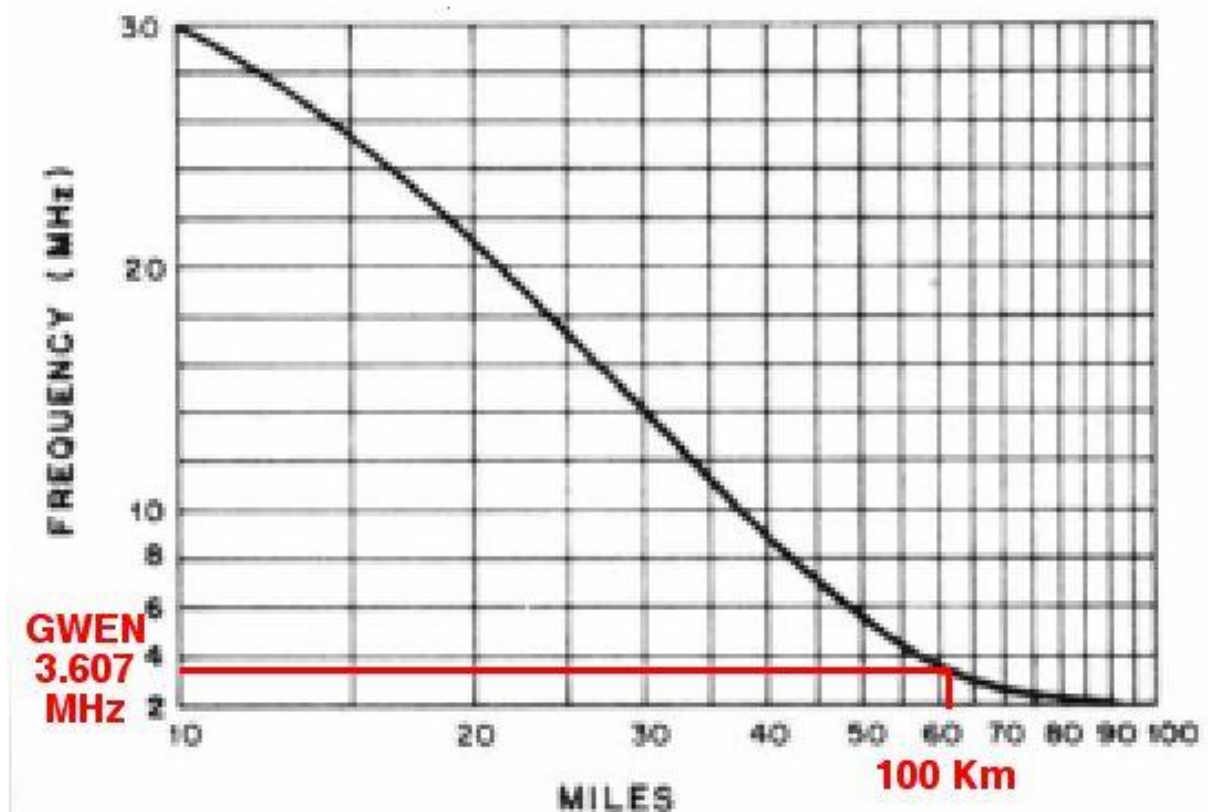


Figure 5 Effect of frequency on wave tilt for different ground properties



Plus la fréquence de l'onde est élevée, moins la propagation de l'onde de sol est efficace et il en va de même pour la distance utile (voir courbe ci-dessous extrait de l'ARRL antenna book (10))



La qualité du sol joue un rôle important sur l'atténuation de l'onde de sol. Sur un sol salé (mer, Sea water) il y a très peu d'atténuation et la portée est nettement accrue alors que sur un sol très sec (Poor ground) la portée est plus réduite.

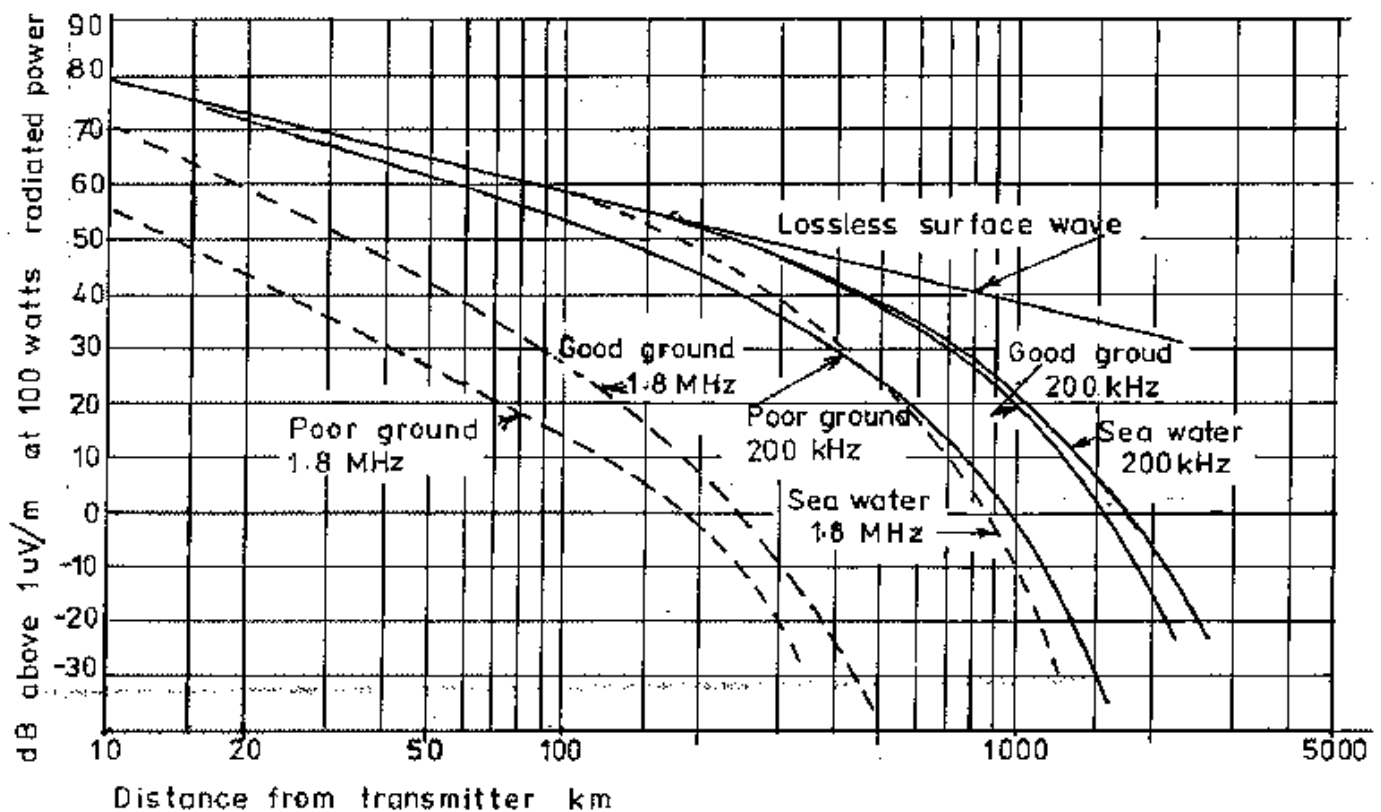
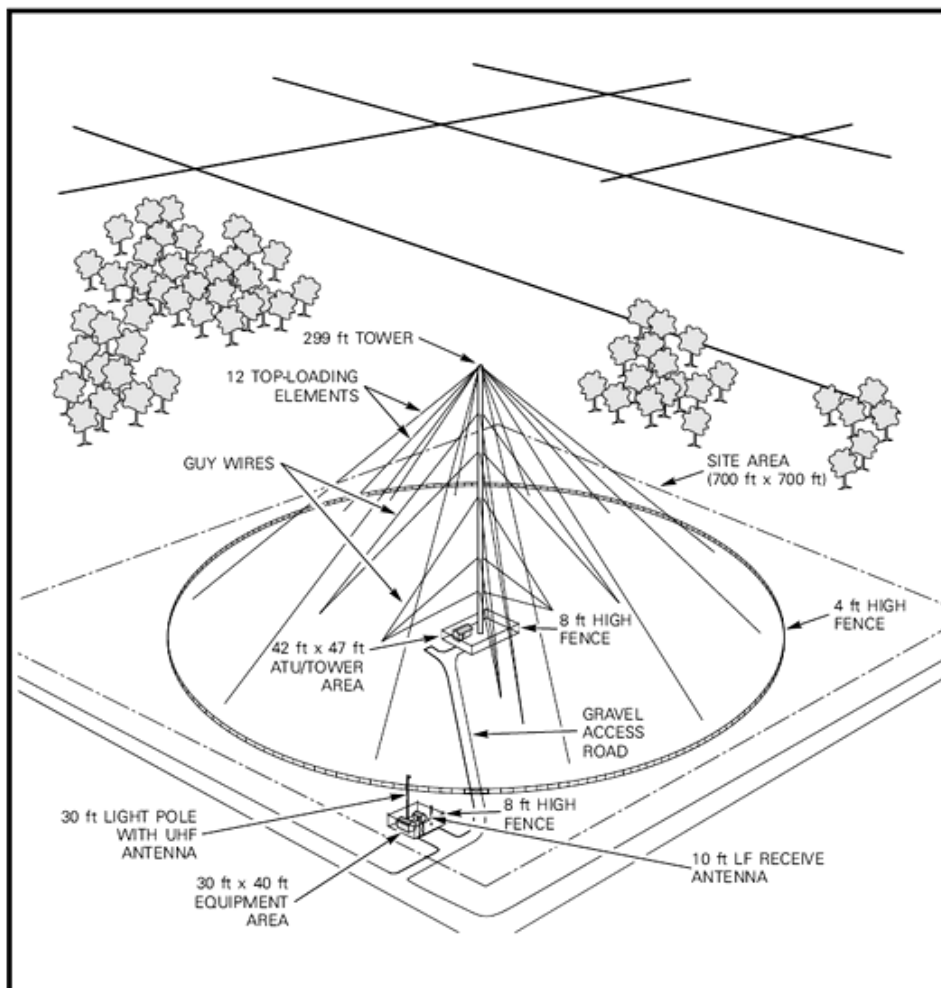


FIG.4 Surface wave propagation, 1.8 MHz & 200kHz

Plus la fréquence est faible, plus grande est la portée. Les VLF (3 KHz à 30 KHz) et les ELF (<3KHz) sont réservées aux radiocommunications militaires avec les bateaux et les sous-marins car elles pénètrent très bien l'eau de mer. Le système de radio navigation marine LORAN-A utilise la bande des 160m (1850 KHz-1950 KHz) et donne une portée en mer de l'ordre de 800 km (7).

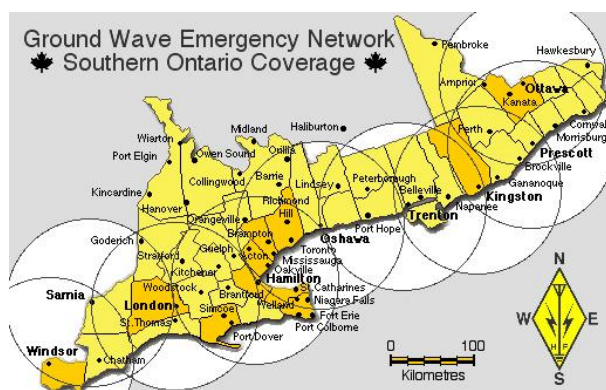
La fréquence choisie pour les radiocommunications par onde de sol dans la bande radioamateur est **3.607 MHz** (bande des 80m). Ce qui donne une couverture radio théorique de l'ordre de l'ordre de 100 km.

Initialement, ce principe de radiocommunications par ondes de sol a été déployé par les militaires américains dans les années 80 pour transmettre des Messages d'Action d'Urgence (EAM) dans le cas d'une destruction de la couche ionosphérique par une forte Impulsion Electro-Magnétique (HEMP) suite à une explosion nucléaire en haute altitude rendant inopérante toute forme de radiocommunications d'espace par réflexion ionosphérique. L'utilisation des ondes de sol était la seule possibilité pour maintenir les radiocommunications. Plus de 300 stations radio émettant dans une plage de fréquence de 150 à 190 KHz (Bande LF : Low Frequency) ont été réparties en réseau à travers tout le territoire américain (3). Ce type de réseau maillé est quasiment invulnérable aux attaques diverses. C'est le **G.W.E.N. (Ground Wave Emergency Network)** ou Réseau d'Urgence par Ondes de Sol (ci-dessous un nœud de radiocommunication militaire GWEN). Ne pas confondre ou assimiler avec le système HAARP (4).



TYPICAL GWEN RELAY NODE

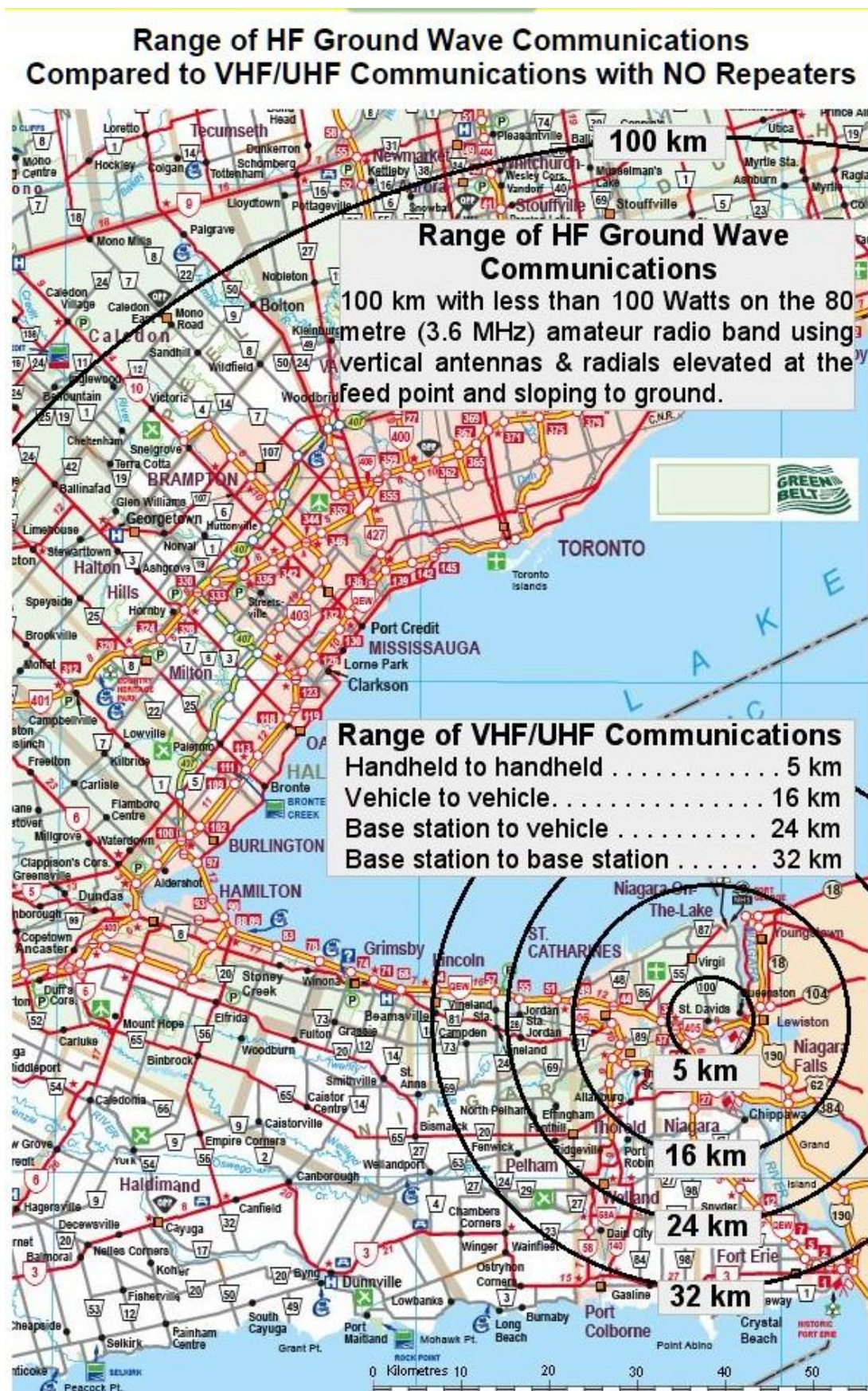
De nos jours, ce principe a été repris à des fins civiles par l'homologue américain de l'ADRASEC Français, le réseau ARES (Amateur Radio Emergency Service) qui est constitué de radioamateurs licenciés qui consacrent leur temps, leur passion et leurs économies à la mise en place de réseaux de communication d'urgence au service de la population. Le réseau de radioamateurs canadiens **GWEN-EmComm** de l'ARES est très actif dans ce domaine, il utilise la bande radioamateur des 80m à des fins civiles. Leur slogan est **"GEWN : 100% Reliable Emergency Communications to 100 Kilometres with 100 Watts or Less in all Conditions"** (5).



<http://www.nparc.on.ca/content/gwen/>

Les radioamateurs du GWEN-EmComm canadien sont très actifs et font de nombreux exercices de radiocommunications d'urgence en collaboration avec l'ARES et la FEMA.

Les radioamateurs du GWEN-EmComm ont démontrés l'efficacité de l'utilisation des radiocommunication d'urgence utilisant des ondes de sol sur 3.607 MHz (bande 80m) en utilisant des antennes 1/4 d'onde verticales. Ils ont pu ainsi couvrir sans difficulté un distance de 100 km démontrant ainsi la supériorité de ce système par rapport à une communication VHF/UHF dans des conditions similaire qui ne couvrirait qu'une distance de 32 km (station à station), voir la carte de ces tests à : http://www.nparc.on.ca/content/gwen/GWEN_range.html



Un point très intéressant à signaler à propos des tests de vérification du mode de propagation effectués par les équipes du GWEN-EmComm :

Comment vérifier que le contact radio a bien été effectué en utilisant les ondes de sol et non en mode NVIS ?

Voici la méthode détaillée proposée par David, VE3BBN et Peter, VA3WET à :

http://www.nparc.on.ca/content/gwen/GWEN_confirming.html

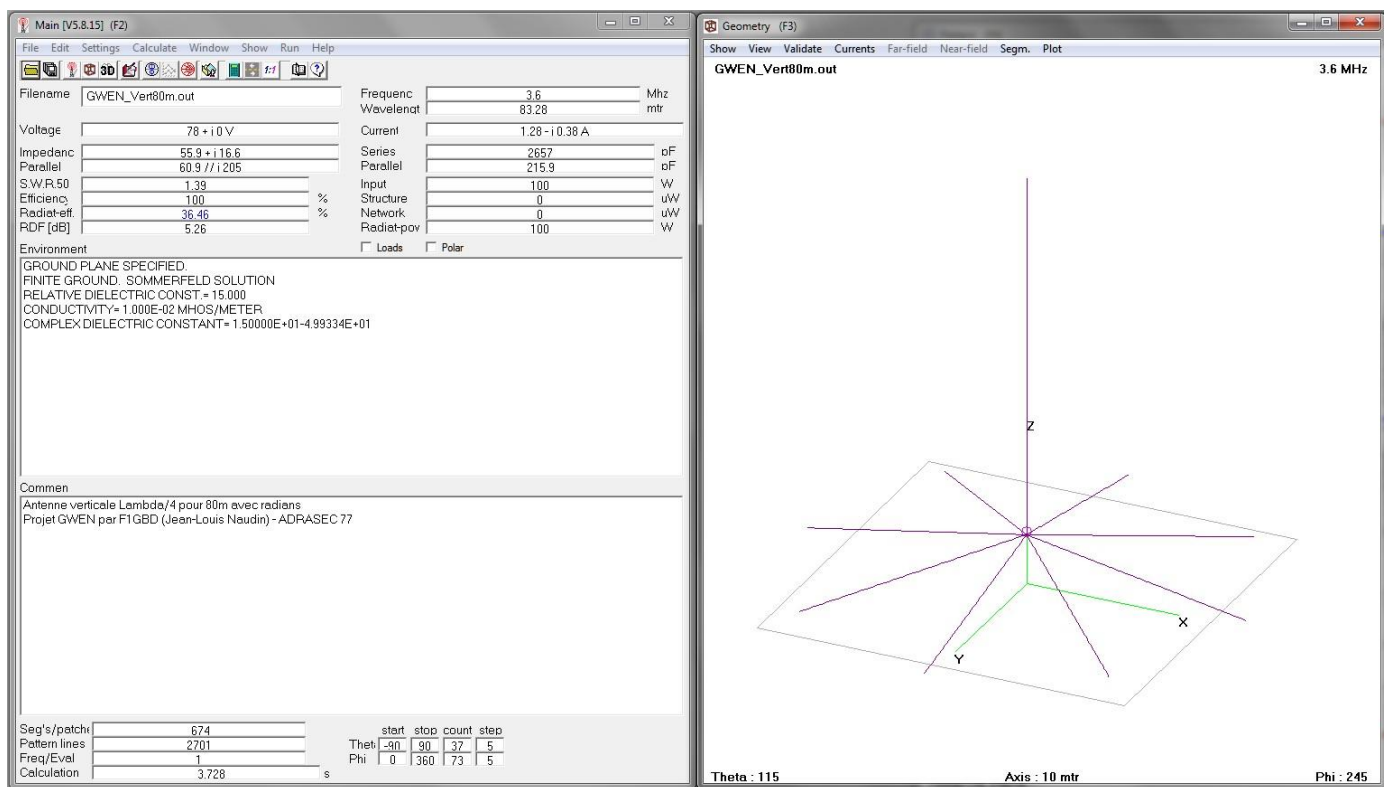
Pour résumer cette méthode, sachant qu'une propagation de type ionosphérique (NVIS ou par réflexion normale) est sujette à des fluctuations de propagation, celles-ci se traduiraient par une fluctuation du S-mètre avec un signal (en CW par exemple) maintenu pendant une dizaine de secondes (à condition que le contrôle automatique de gain (AGC ou AVC) soit désactivé bien sûr). De plus, une augmentation ou une réduction de la puissance émise doit se traduire par une augmentation proportionnelle du signal reçu. Par exemple, une réduction de 1/4 de la puissance émise doit se traduire (si c'est une propagation par onde de sol) par une réduction d'une unité au S-mètre. Si ce n'est pas le cas, cela signifie que c'est une propagation de type ionosphérique et non par ondes de sol.

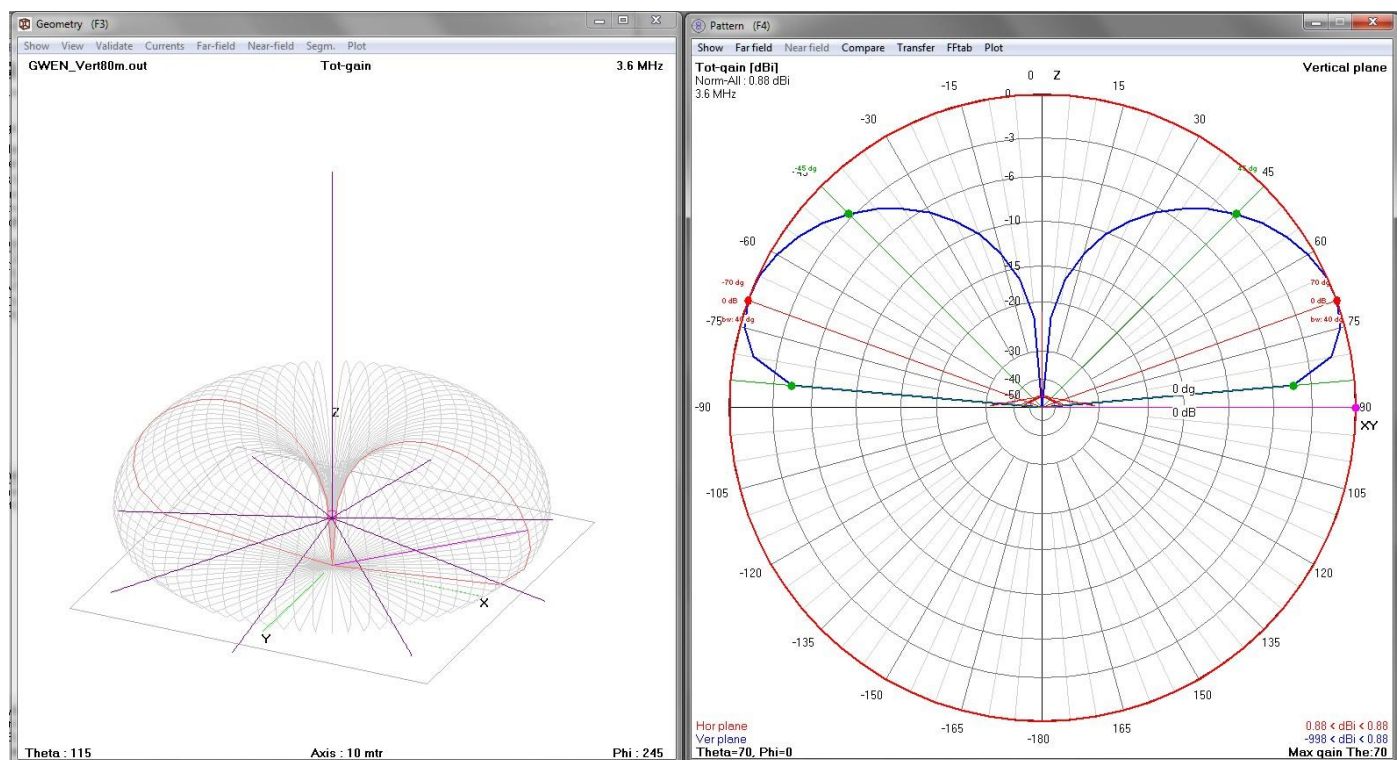
C'est un point très intéressant et en faveur de la propagation par ondes de sol comparée au NVIS ou au mode décimétrique conventionnel : **une bonne communication par ondes de sol est la garantie d'une communication sûre et stable dans le temps à toute heure du jour et de la nuit.**

2 - Configuration de l'antenne pour établir des radiocommunications par ondes de sol

Nous avons vu précédemment que, pour produire une onde de sol, il faut **impérativement** que la polarisation de l'antenne soit **verticale** et proche du sol. L'antenne recommandée est un quart d'onde ou une antenne multi-bandes pour 80m montée au niveau du sol avec des radials inclinés.

Voici une simulation sur **4nec2** d'une antenne 1/4 d'onde avec 8 radials inclinés et attachés au point d'alimentation.





Voici le fichier source pour 4nec2 :

CM Antenne verticale Lambda/4 pour 80m avec radians
 CM Projet GWEN par F1GBD (Jean-Louis Naudin) - ADRASEC 77

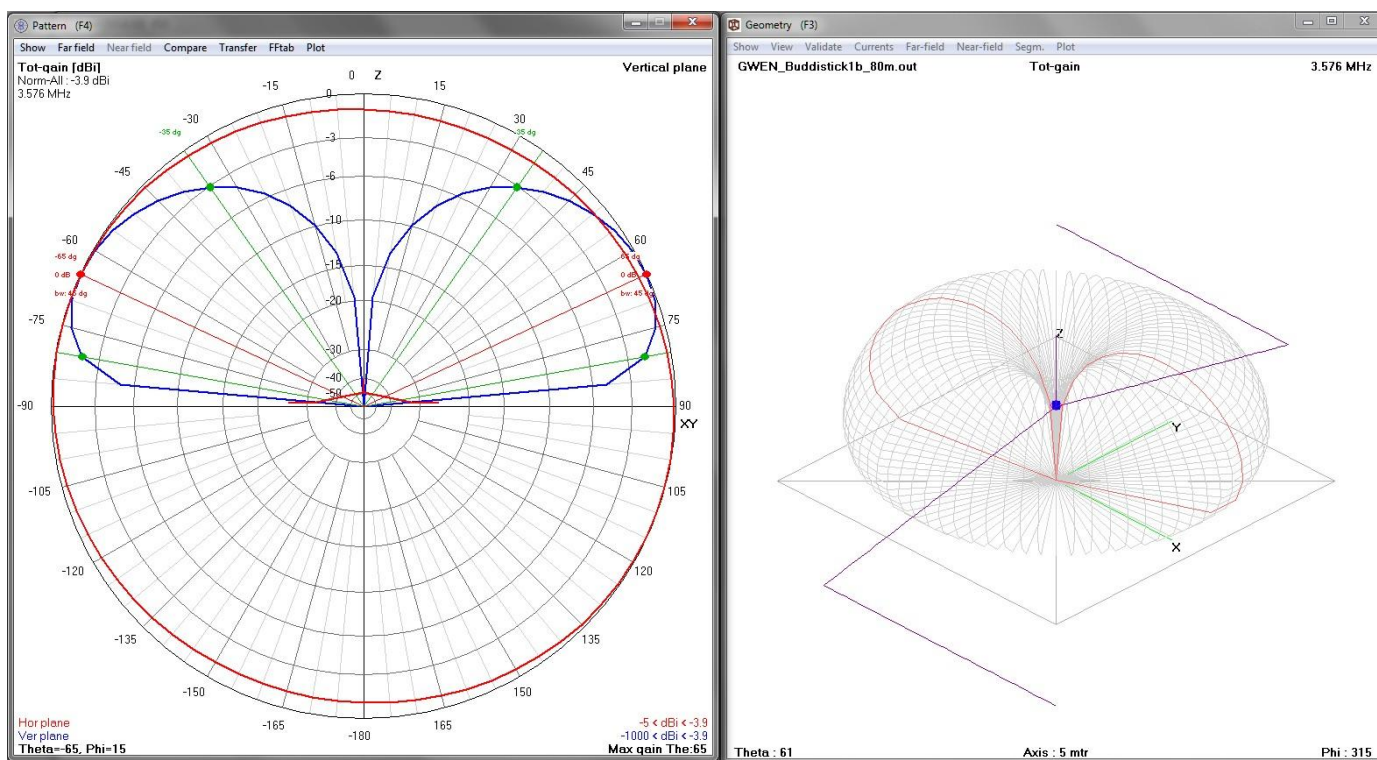
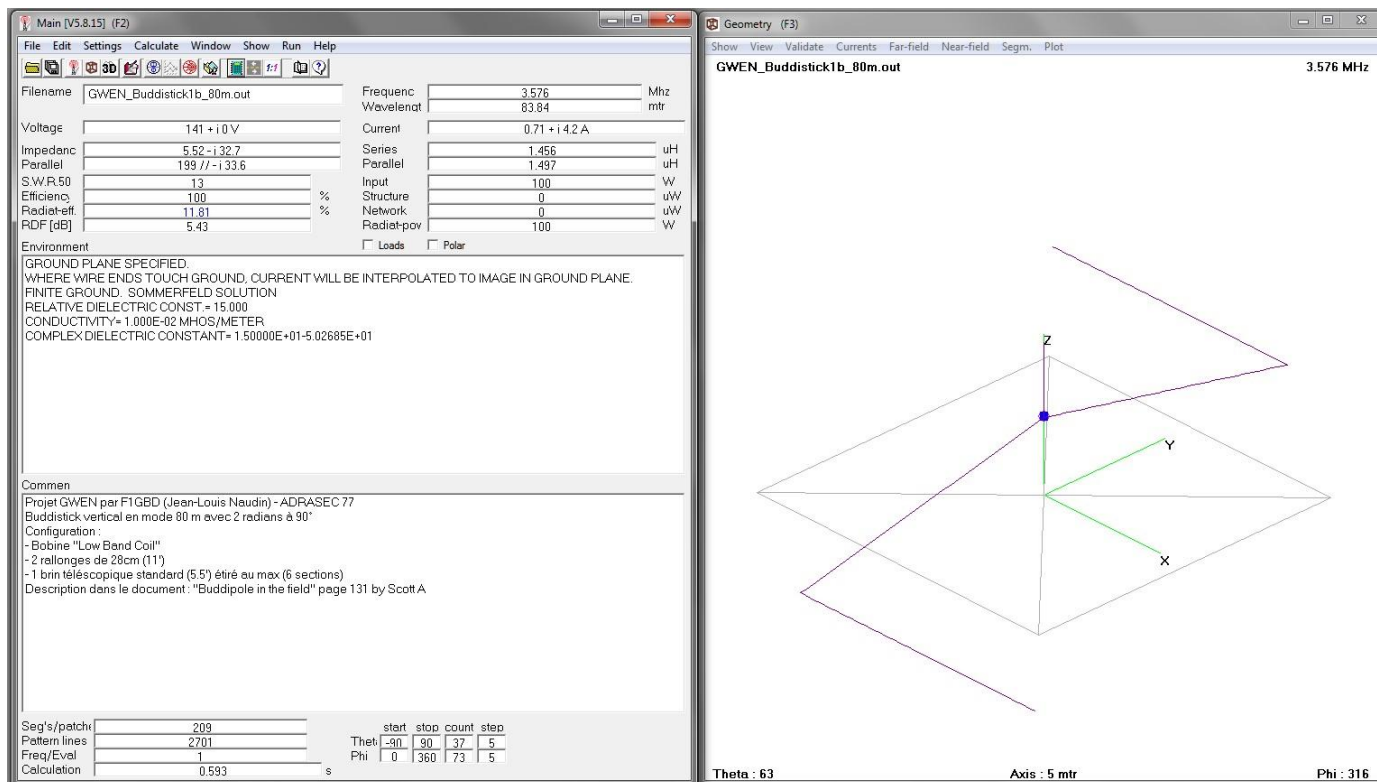
```
CE
GW 1 1 0 0 3.052009 0 0 2.952009 0.0127
GW 2 71 0 0 2.952009 14.339334 0 0.54470737 1.28e-3
GW 3 71 0 0 2.952009 0 14.339334 0.54470737 1.28e-3
GW 4 71 0 0 2.952009 -14.339334 0 0.54470737 1.28e-3
GW 5 105 0 0 3.052009 0 0 24.7 0.0127
GW 6 71 0 0 2.952009 0 -14.339334 0.54470737 1.28e-3
GW 7 71 0 0 2.952009 10.1394404 10.1394404 0.54470792 1.28e-3
GW 8 71 0 0 2.952009 10.1394404 -10.13944 0.54470792 1.28e-3
GW 9 71 0 0 2.952009 -10.13944 -10.13944 0.54470792 1.28e-3
GW 10 71 0 0 2.952009 -10.13944 10.1394404 0.54470792 1.28e-3
GE -1
GN 2 0 0 0 17 0.007
EK
EX 0 5 1 0 1 0 0 0
FR 0 0 0 0 3.6 0
EN
```

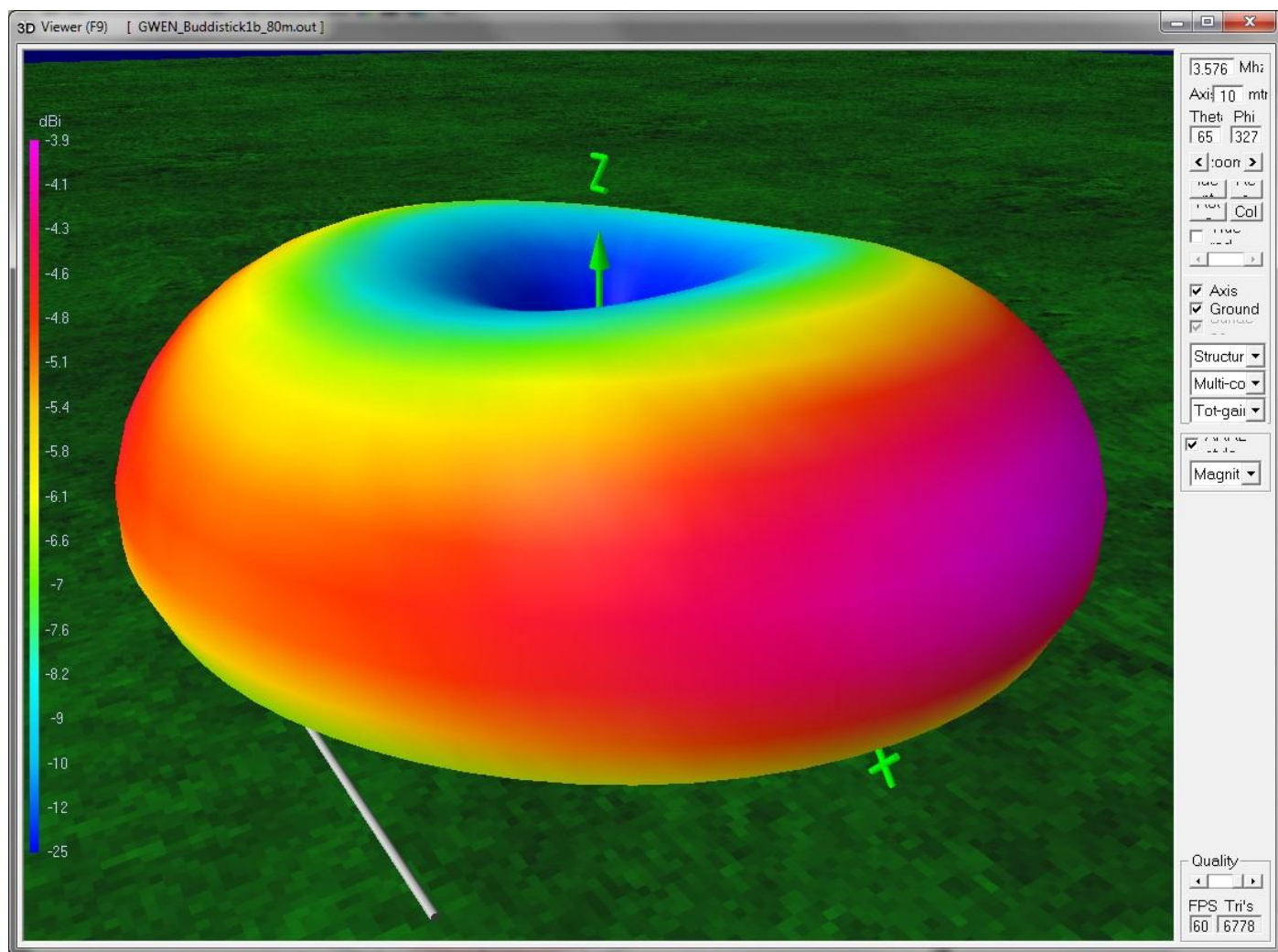

Voici une simulation sur 4nec2 d'une antenne de type Buddistick avec 2 radians inclinés et repliés à 90° et attachés au point d'alimentation.

Configuration Buddipole :

- 1 Bobine "Low Band Coil"
- 2 rallonges de 28cm (11')
- 1 brin télescopique standard (5.5') étiré au max (6 sections)

Description complète dans le document : "Buddipole in the field" (9) page 131 by Scott Andersen, NE1RD





Voici le fichier source pour 4nec2 :

CM Projet GWEN par F1GBD (Jean-Louis Naudin) - ADRASEC 77

CM Buddistick vertical en mode 80 m avec 2 radians à 90°

CM Configuration :

CM - Bobine "Low Band Coil"

CM - 2 rallonges de 28cm (11')

CM - 1 brin télescopique standard (5.5') étiré au max (6 sections)

CM Description dans le document : "Buddipole in the field" page 131 by Scott Andersen, NE1RDCE

GW	1	1	0	0	2.4	0	0	2.512	5mm
GW	2	19	0	0	2.512	0	0	3.072	9.5mm
GW	3	20	0	0	3.072	0	0	4.752	5mm
GW	4	49	0	0	2.4	0	10	0.5	1mm
GW	5	49	0	10	0.5	-10	10	0.5	1mm
GW	6	49	0	0	2.4	0	-10	0.5	1mm
GW	7	49	0	-10	0.5	10	-10	0.5	1mm
GE	1								
LD	0	1	1	1	0	81uH		'Bobine 80m (no tap)	
GN	2	0	0	0	15	0.01			
EK									
EX	0	1	1	0	1	0	0		
FR	0	0	0	0	3.576	0			
EN									

Documents de référence :

- (1) PCS, Plan Communal de Sauvergarde publié par l'IRMa (Institut des Risques Majeurs), http://www.irma-grenoble.com/PDF/05documentation/brochure/Guide_PCS_SMACL_IRMa.pdf
- (2) <https://github.com/f1gbd/F1GBD/wiki/Simulation-de-l%27antenne-Buddipole-40m-en-mode-NVIS>
- (3) https://en.wikipedia.org/wiki/AN/URC-117_Ground_Wave_Emergency_Network
- (4) HAARP : https://fr.wikipedia.org/wiki/High_frequency_active_auroral_research_program
- (5) GWEN- EmComm : <http://www.nparc.on.ca/content/gwen/index.html>
- (6) Ondes radio et ionosphère : <http://qsl.net/f3wm/radio/propag.html>
- (7) http://www.jproc.ca/hyperbolic/loran_a.html
- (8) "SURFACE WAVES: WHAT ARE THEY? WHY ARE THEY INTERESTING?" by Janice Hendry - Roke Manor Research Limited, UK
- (9) "Buddipole in the field" by Scott Andersen, NE1RD : <http://lib.store.yahoo.net/lib/buddipole/buddipoleinthefield2.pdf>
- (10) The ARRL Antenna Handbook : <https://ia801608.us.archive.org/28/items/TheArriAntennaBook/Hall-TheArriAntennaBook.pdf>