

Les échos long path et les conduits atmosphériques par IK3XTV

— INTRODUCTION —

La scientifique australienne de l'université de Sydney, Cleo Loi, est à l'origine de la très intéressante découverte des tubes de plasma de la magnétosphère terrestre. Utilisant un radiotélescope qui permet de voir l'espace en 3D, elle a démontré que ces conduits de plasma sont intégrés à l'atmosphère de la Terre. C'est une découverte sensationnelle qui pourrait aller jusqu'à changer la théorie de la structure des champs magnétiques. La recherche a été publiée sous le titre "Imagerie en temps réel de la densité des conduits entre la plasmasphère et la ionosphère" par Cleo Loi de l'université de Sydney avec le soutien de quelques membres du consortium international du radio télescope Murchison Widefield Array (MWA). Quel peut être le rôle de ces structures sur la propagation des ondes HF ? Je me demande si cette découverte peut être mise en relation avec mes recherches sur la propagation long path et les conduits ionosphériques, dont je parle brièvement dans cet article.

— Les tubes de plasma de la ionosphère —

Le complexe de conduits à plasma est créé par l'atmosphère lorsqu'elle est ionisée par la lumière solaire. Ces tubes sont localisés dans la ionosphère qui est un environnement plasmatique multicouche de particules électroniquement chargées. Ce plasma interagit avec le champs magnétique terrestre créant des champs alignés de conduits de plasma. Ces structures de plasma se situent à une altitude de 600km au dessus de la surface terrestre, dans la haute ionosphère et jusqu'à la plasmasphère (à l'intérieur de la magnétosphère). Il semble qu'ils soient disposés en bandes, quelques bandes de haute densité plasmique, d'autres de basse densité et ils sont supposés se déplacer très lentement et parallèlement au champs magnétique terrestre. Ces structures sont également importantes car elles causent des distorsions de signal qui pourraient affecter les communications trans-ionosphériques (satellites et GPS) et même l'EME (rebonds lunaires), comme j'ai pu le constater dans de nombreuses études sur ce type de propagation.

— La géométrie des tubes —

Quelques informations sur la géométrie que nous pouvons utiliser afin de déduire la longueur des tubes. On les trouve à peu près à 570km (+/- 40) de la surface et la longueur des lignes de champs magnétique (si l'on se réfère à de vagues calculs) pour cette coque est d'environ 1400km pour la partie au dessus de la surface de la Terre. Si les conduits suivent effectivement les lignes de champs magnétique sur tout le trajet jusqu'à l'hémisphère opposé, alors ils seront de cette longueur, mais les observations seules du MWA ne peuvent le confirmer directement, car le réseau ne peut observer qu'une portion de quelques centaines de kilomètres au dessus de l'ouest australien. Les observations montrent qu'ils font au moins quelques centaines de kilomètres de long, puisque c'est la capacité de "vision" du MWA, et au delà de cette échelle de longueur il semble qu'ils soient très bien alignés avec le champs géomagnétique. Étant donné qu'ils existent à des altitudes où la conductivité en bande est quasi infinie, il est plus que probable qu'ils s'étendent jusque dans l'ionosphère conjuguée.

Donc, par déduction, je dirai qu'ils ont une longueur d'environ 1400km. Les conduits pourraient-ils être désalignés du champs magnétique ?

Afin de répondre à cette question, j'ai contacté madame Cleo Loi. Loi et ses collègues sont sur le point de faire plus d'observations sur la densité des conduits. Ce qu'ils voient c'est qu'à leur point de formation, les tubes sont alignés avec le champs, mais peuvent par la suite se distordre. Ils pensent que la distorsion pourrait être le résultat de vents neutres dans la thermosphère qui entraînent les bases des conduits et cisailent l'ensemble de la structure.

Le télescope

Le MWA est un radiotélescope basse fréquence situé à l'observatoire radioastronomique Murchison en Australie occidentale. Il est composé de 2048 antennes dipôles à polarisation double optimisées pour la portion 80-300 MHz, organisées en 128 groupes, chacun en carré de 4x4 dipôles. La surface du collecteur est approximativement de 2000 m² et la résolution spectrale de 40 kHz. Le MWA sera piloté depuis une interface via un software de contrôle et de surveillance installé dans un ordinateur dédié sur le site du MWA.

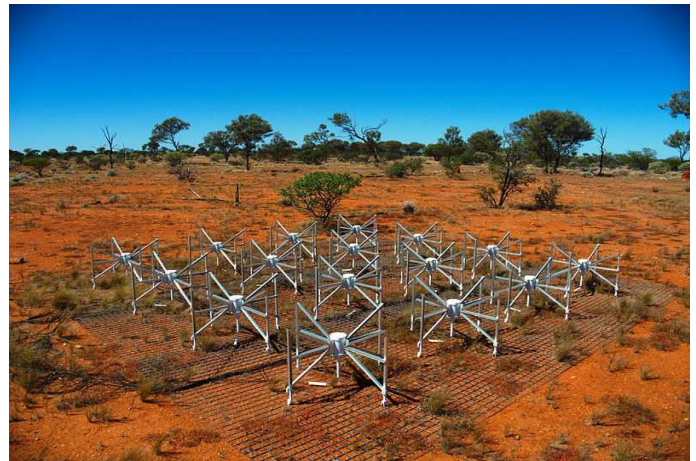
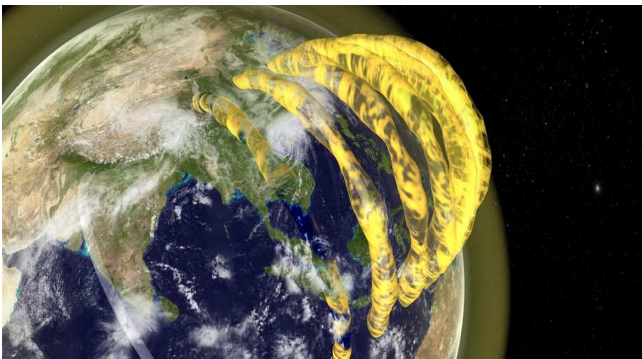


Fig. 1a : Tubes de plasma dans la magnétosphère terrestre. Crédit : CAASTRO - Mats Björklund (Magipics)

Fig. 1b : Le Wide Field Array consiste en 128 "tuiles" d'antennes couvrant une surface de 7 km² sur le site du radio télescope australien Murchison widefield array, utilisé pour ces recherches. Madame Loi a séparé le réseau en deux utilisant la moitié occidentale comme œil droit et la partie orientale comme œil gauche. De façon similaire à celle dont les humains utilisent la vue, elle a triangulé ses observations pour construire une carte dynamique en 3D des tubes de plasma sur une grande surface. Crédit : Wikipedia - Natasha Hurley-Walker.

Quelques mesures des échos long path

J'ai réalisé plusieurs mesures des échos reçus par une probable propagation long path. Dans ce document, je n'ai consigné qu'un seul cas à titre d'exemple (figure 2). J'ai cependant observé de nombreux cas pour lesquels le délai de l'écho variait de 125 à 140 ms (SDRE, échos radio de court délai). Le temps de trajet autour du globe est de $40,021/299.792,458 = 0,133$ seconde (circonférence terrestre/vitesse de la lumière). Les textes officiels sur la propagation des ondes radio fixent le délai de propagation à 138ms pour le long path depuis qu'ils ont pris en compte les 1400km de longueur additionnelle du path du à la réflexion entre le sol et la ionosphère. A titre personnel, je pense que ce type de propagation n'est pas induit par les sauts ionosphériques classiques, mais par un mécanisme différent des conduits ionosphériques de faible atténuation.

Le chiffre de 1400km est déduit de ce simple calcul :

$$t = s / v \text{ soit } t = (40000 + 1400) / 300.000 = 0,138 \text{ sec.}$$

40000 c'est la circonférence terrestre en kilomètres, 300.000 est la vitesse de la lumière.

Le signal long path

Sur la figure 2, j'ai reporté un très court extrait d'une transmission CW enregistrée, de YU5D depuis IK2GRA. La première portion est le signal short path (distance de 650 km environ) de IK2GRA. La seconde, chevauchant légèrement la première, est l'écho de la première portion, et elle est probablement reçue depuis le long path avec une très faible atténuation d'environ 3 dB.

J'ai analysé cet enregistrement audio de façon très détaillée et je pense pouvoir faire les spéculations suivantes. Il est possible que le signal de YU5D ait fait un autre virage autour du globe (à l'intérieur du conduit ionosphérique). C'est la raison pour laquelle il m'est possible de retrouver la trace d'un autre écho, que l'on peut appeler LP+1 (long path + 1), à environ 270 ms du signal short path principal. Ce LP+1 est également atténué de 3 dB supplémentaires et ressort du bruit ambiant.

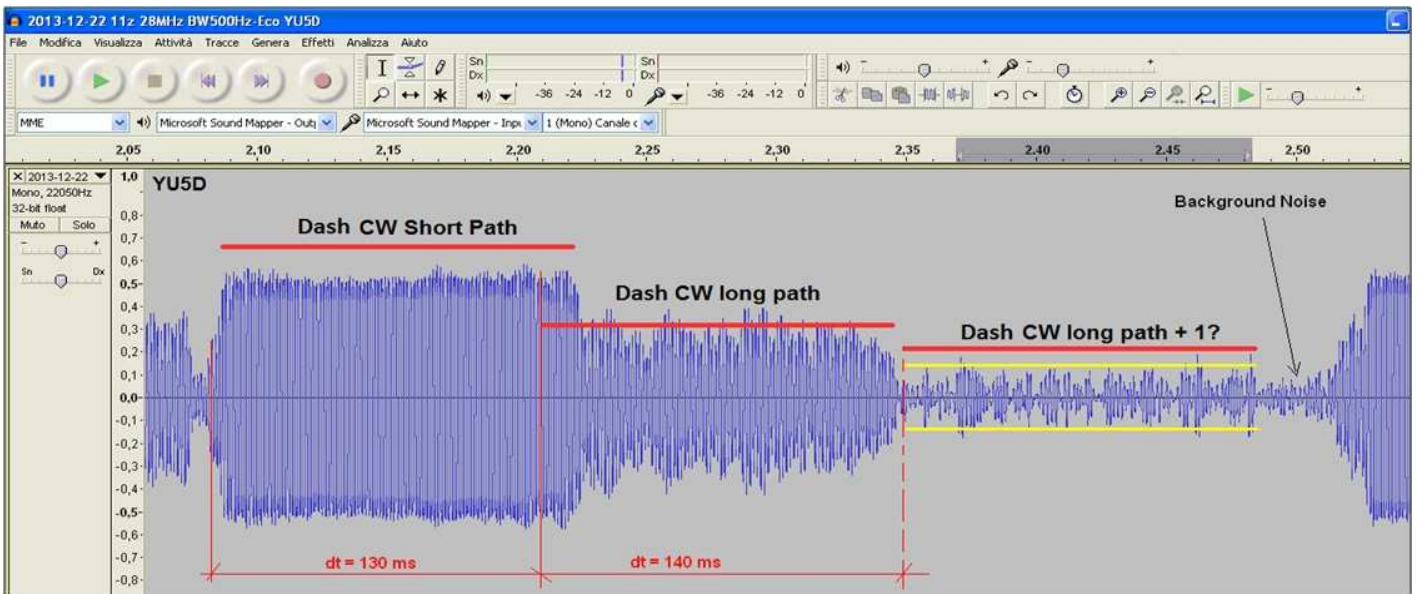


Fig. 2 : Réception de YU5D depuis IK2GRA. Il s'agit d'un échantillon de signal 28 Mhz (cw dash), reçu via shortpath et le premier écho est reçu via long path avec un délai de 130 ms. L'atténuation de l'écho est très basse, environ 3 dB. L'écho est partiellement couvert par le signal short path. Il y a probablement un second écho que j'ai nommé LP+1, perdu dans le bruit ambiant, dû à un autre tour du conduit. La distance short path est d'environ 650 km et long path de 39400 km. La mesure audio est réalisée avec le logiciel Audacity. La fréquence d'enregistrement de 28 Mhz. Date : 22 décembre 2013, 11h00 UTC. Indice solaire : SFU 144 - Kp=1 (calme).

Les conduits ionosphériques

Je suis convaincu que la propagation HF dans l'ionosphère ne se produit pas toujours en accord avec les modèles classiques des sauts ionosphériques, mais dans la plupart des cas il y a un phénomène de conduit ionosphérique. Le plasma haute densité du conduit est capable de piéger les signaux radio. Il est probable que les ondes radio suivent un mouvement spirale à l'intérieur de ces tubes avec une très faible atténuation.

De plus, la propagation devrait se produire le plus souvent vers un trajet trans-équatorial, si l'on considère que les forces du champ magnétique sont orientées nord/sud. Les cercles ne peuvent pas toujours passer par le centre de la Terre. Il est également possible que le signal puisse faire plus d'une révolution à l'intérieur du conduit. La formation et l'efficacité des conduits semblent optimisées lorsque le champ géomagnétique est calme. La forme et la hauteur des conduits pour certaines fréquences, des grandes aux petites ondes, sont variables, et les décalages sont liés à la fréquence et à la hauteur du conduit. J'ai généralement observé cet événement lorsque la fréquence de trafic était proche de la fréquence critique de la F2.

L'existence de ces structures géomagnétiquement alignées avec une large variété de taille se rencontre dans l'environnement plasmatique proche de la Terre, incluant des structures de conduits d'une largeur de 10 à 100km, et est en cohérence avec les études conduites par le MWA publiées dans le journal de la recherche géophysique.

Atténuation

Une question importante. Tous les enregistrements et observations des échos long path montrent une faible atténuation. Dans le cas de la figure 2 YU5D : avec un short path de 650km et un long path de 39400km, le rapport est de 60. En accord avec la loi de l'atténuation en carré inverse il devrait être de $10 \cdot \log 60^2 = 35\text{dB}$. Au lieu de cela il est de 3 dB. Avec ce résultat il est clair que nous ne pouvons être en présence d'un cas de propagation en espace libre (fonction d'atténuation de la distance au carré) mais dans un conduit de propagation (type guide d'onde des micro-ondes).

Conclusion

Les processus qui conditionnent l'apparition des conduits d'échos dans la ionosphère ne sont pas clairement identifiés. Je pense que des études plus poussées sont nécessaires pour comprendre l'impact que cette découverte peut avoir sur la propagation des ondes HF. L'existence des tubes de plasma pourrait également expliquer le phénomène toujours en discussion du LDRE (échos radio de long délai).

Configuration

L'analyse des enregistrements a été faite avec Audacity, un software multiplateforme open source gratuit pour l'enregistrement et l'édition de sons. La configuration de réception est TX-RX Kenwood TS930S avec une antenne multibande verticale Hy Gain AV640. AGC setting=0 enregistrement MP3 - programme QARTest par IK3QAR + PC avec carte son.

Collaboration

Je remercie particulièrement Cleo Loi, astrophysicienne australienne diplômée de l'école de physique de l'université de Sydney. Elle a à son crédit la découverte de l'existence des tubes de plasma à l'intérieur de la magnétosphère terrestre jusque dans la plasmasphère. Elle m'a fourni tout le matériel et beaucoup d'informations.

Merci à Adolfo Brochetelli IK1DQW pour sa coopération. Son expérience d'officier (radio télégraphiste) de la marine italienne a été d'une grande aide pour moi. Merci également à Annibale Malagoli, IK2GRA, et Loris Bonora, IK3QAR, pour plusieurs enregistrements et rapports.

Références.

- Cleo Loi, astrophysicienne australienne diplômée de l'école de physique de l'université de Sydney.
- CAASTRO, Arc Center of Excellence for All-sky Astrophysics – Australia.
- Science Foundation for Physics – University of Sydney.
- The Murchison Widefield Array.
- Density duct formation in the wake of a travelling ionospheric disturbance : Murchison Widefield Array observations (Journal of Geophysical Research).
- Wikipedia.

Profil personnel

Flavio Egano, IK3XTV, est un opérateur radio amateur depuis 1993 avec une licence de classe A. Il est membre de l'ARRI et de l'ARI. Depuis de nombreuses années il est engagé dans l'étude de la propagation radio. Il a passé avec succès un examen lors d'un programme d'étude "sensing planet earth", de l'université de technologie Charmer et d'une initiative e-learning EDX. Flavio est un technicien en ingénierie électronique en Italie, et il travaille comme technicien salarié d'une multinationale. Il vit avec sa femme et leur fille à Thiene, Italie.