

# Mise en évidence de perturbations de propagation VLF par des météores

Jean-L. Rault

International Meteor Organization Radio Commission (Courriel: [f6agr@orange.fr](mailto:f6agr@orange.fr))

*(Traduction et adaptation en français de l'article "Evidence for VLF propagation perturbations associated with single meteors", publié dans les Proceedings de la conférence Meteoroids 2013, Université Adam Mickiewicz, Poznan, Pologne)*

**Résumé:** Cette étude montre que sous certaines conditions, un météore pénétrant l'atmosphère terrestre est capable, en perturbant la densité électronique de l'ionosphère, de modifier temporairement l'amplitude d'un signal VLF (Very Low Frequency, très basse fréquence) reçu à distance d'un émetteur.

**Mots-clé :** Météores, VLF, perturbations de propagation

## 1. Introduction

Les ondes électromagnétiques VLF (Very Low Frequency, ou TBF, très basse fréquence) naturelles ou artificielles se propagent sur Terre à de très longues distances, grâce à un guide d'ondes naturel. Ce guide d'ondes est constitué par la surface du sol et par la couche la plus basse de l'ionosphère, qui se comportent globalement comme deux plaques parallèles conductrices. Selon la méthode de tracé de rayons utilisée couramment (Delcourt 2000) pour décrire la propagation radio VLF sur des distances courtes ou moyennes (< 2000 km), l'amplitude d'une onde radio VLF à un point d'observation au sol peut être représentée comme la somme vectorielle

$$\vec{A}_0 = \vec{A}_G + \vec{A}_S$$

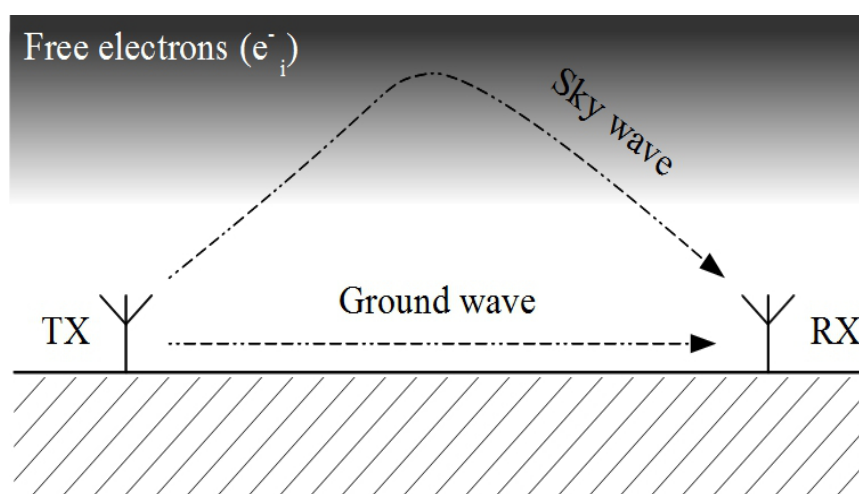


Figure 1. Représentation d'une onde de sol et d'une onde de ciel se propageant dans le guide d'ondes surface terre/ionosphère

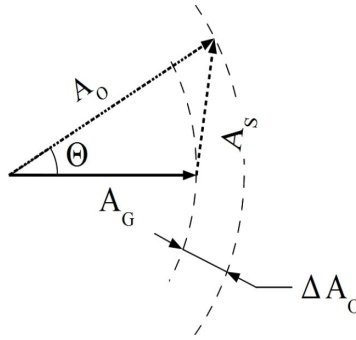


Figure 2. Au niveau d'un observateur, le signal reçu d'une source VLF terrestre est la somme vectorielle de l'onde de sol et de l'onde de ciel incidentes

Les longueurs des vecteurs  $\vec{A}_G$  et  $\vec{A}_S$  représentent respectivement l'amplitude de l'onde se propageant le long du sol et l'amplitude de l'onde réfléchi par la couche D (pendant la journée) ou la couche E (pendant la nuit) de l'ionosphère (figures 1 et 2). L'angle entre les deux vecteurs correspond au retard (phase) entre les composantes onde de sol et onde de ciel. C'est ainsi que tout changement concernant l'altitude ou la conductivité de l'ionosphère modifie l'amplitude et la phase du signal reçu au point d'observation.

### 2. Perturbations de propagation VLF

Des phénomènes naturels variés (figures 3, 4 et 5) tels que l'émission de rayons ultraviolets par le Soleil, l'absorption dans la région des calottes polaires, des bouffées de rayons X solaires, des rayons  $\gamma$  provenant d'étoiles lointaines et des averses d'électrons déclenchées par des éclairs d'orage sont à l'origine de brèves ou de longues perturbations de propagation VLF, ceci en modifiant la densité et/ou l'altitude des couches ionosphériques D et E (Barr 2000).

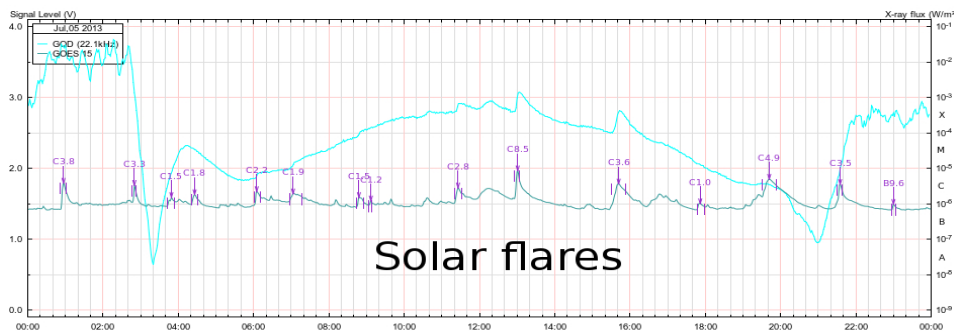


Figure 3. Exemple de PIDB (perturbations ionosphériques à début brusque) -courbe supérieure- induites par des bouffées de rayons X solaires -courbe inférieure- (Loudet 2013).

### 3. Recherche de perturbations VLF induites par des météores

Le but de la présente étude était de chercher si des météoroïdes pénétrant l'atmosphère terrestre

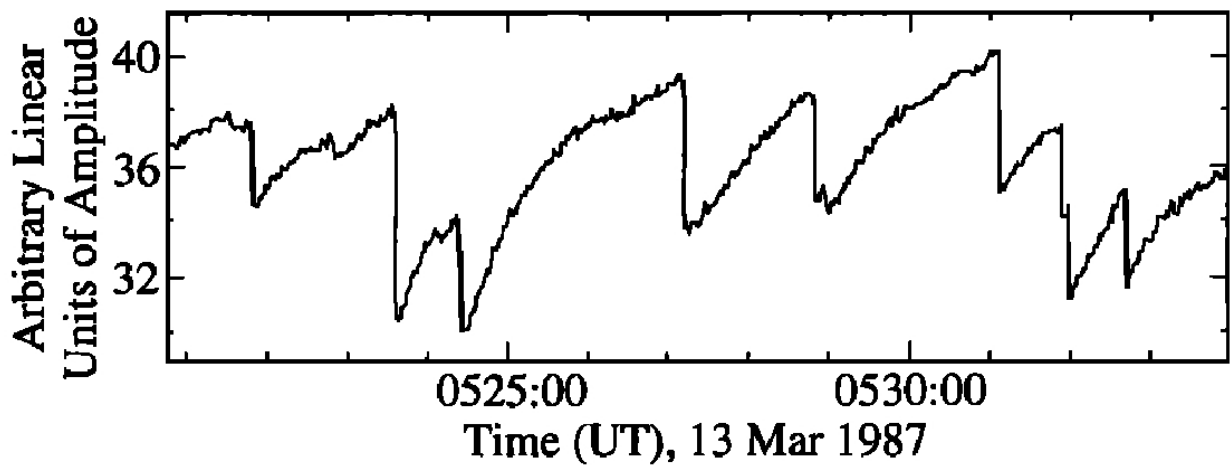


Figure 4. Exemple de sauts d'amplitude de signaux VLF déclenchés par des LEP (Lightning induced Electrons Precipitations, précipitations d'électrons déclenchées par des éclairs d'orage) (Levtov, 1993)

pouvaient également, comme les phénomènes évoqués ci-dessus, provoquer des perturbations de propagation VLF. Des variations de phase (Chilton 1961) et d'amplitude (De, 2012) supposées dues aux étoiles filantes ont été rapportées en VLF dans le passé, mais ces variations ont été observées de façon globale, sur une grande échelle de temps (valeurs moyennées sur la durée d'un essaim de météores). Ces variations de propagation n'étaient pas directement liées à un météore précis.

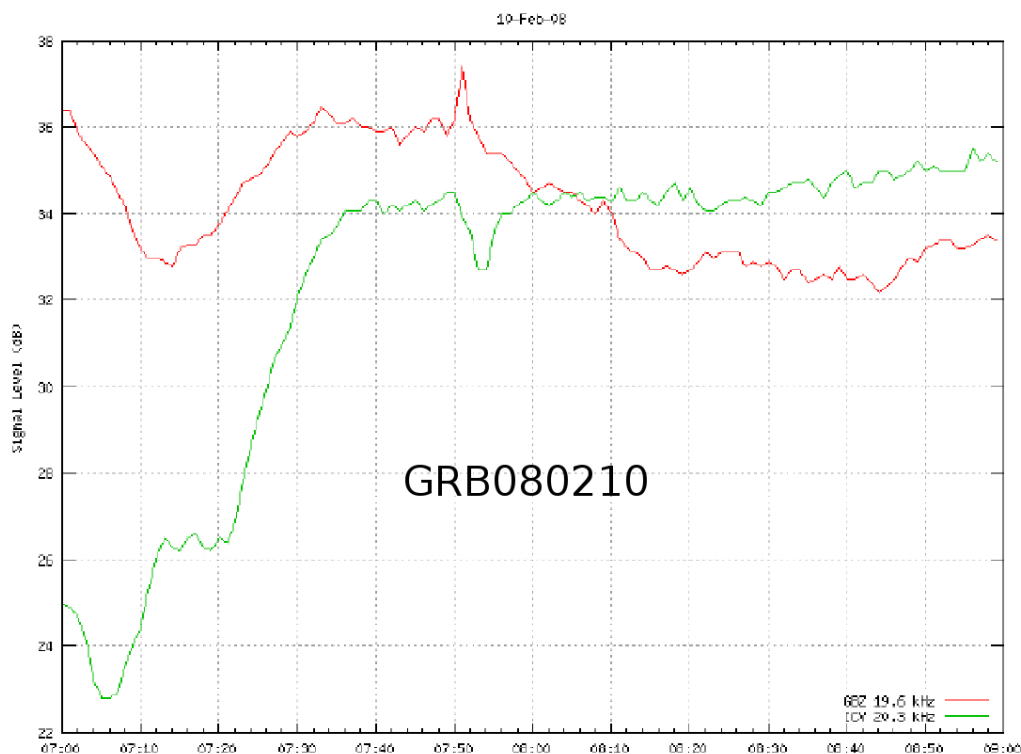


Figure 5. Anomalies d'amplitude VLF à 07h50 le 10 février 2008 dues à un GRB (Gamma Ray Burst), bouffée de rayons gamma provenant d'une étoile lointaine (Godet, 2008)

### 3.1 Première observation d'une perturbation transitoire de propagation VLF déclenchée par un météore discret

Dans le cadre d'une campagne d'observations conjointes radio et vidéo de météores, des données VHF et VLF, ainsi que des images ont été enregistrées de façon synchronisée à l'observatoire du Pic du Midi en 2010 pendant l'essai d'étoiles filantes des Géminides (Rault, 2010). Le système d'acquisition radio comprenait principalement un récepteur ELF/VLF sensible à la composante électrique du champ électromagnétique (couvrant de 5 Hz à 24 kHz), développé spécialement pour cet usage, un récepteur de trafic (AR5000A+ de marque AOR) et un enregistreur haute-fidélité numérique stéréo (Zoom H4N). Les signaux de 5 émetteurs VLF militaires (GBZ, DHO38, FTA, HWU et ICV) étaient enregistrés simultanément en permanence. Les météores étaient détectés en VHF en mode "forward scatter" en utilisant comme illuminateur le radar militaire GRAVES situé près de Dijon.

Une saute brève d'amplitude sur les émissions de DHO38 (Allemagne) et de FTA (France) a été découverte par hasard à l'apparition d'un gros météore le 13 décembre à 23h 13 mn 44s TUC. Aucune variation d'amplitude n'a été constatée sur l'émission anglaise de GBZ, italienne de ICV ou française de HWU..

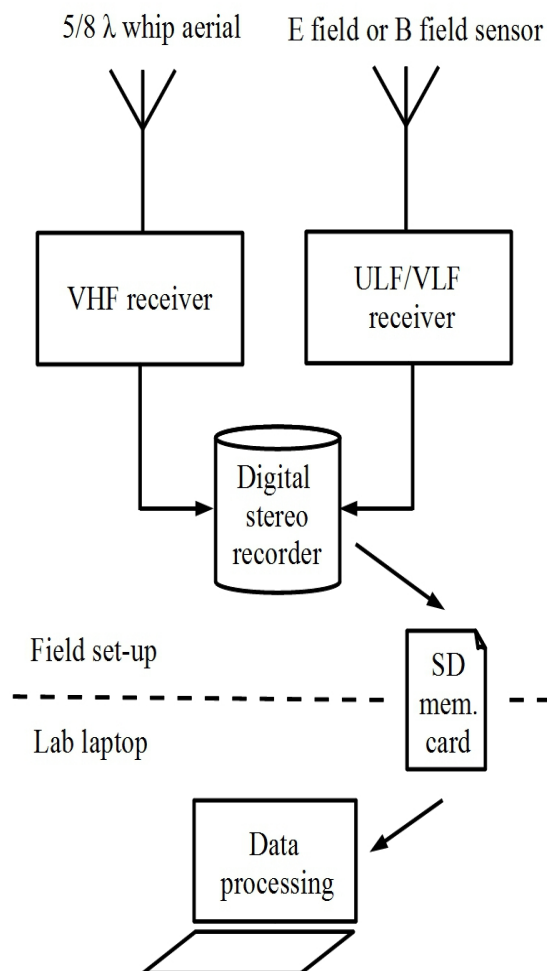


Figure 6. Synoptique de la chaîne d'acquisition radio.

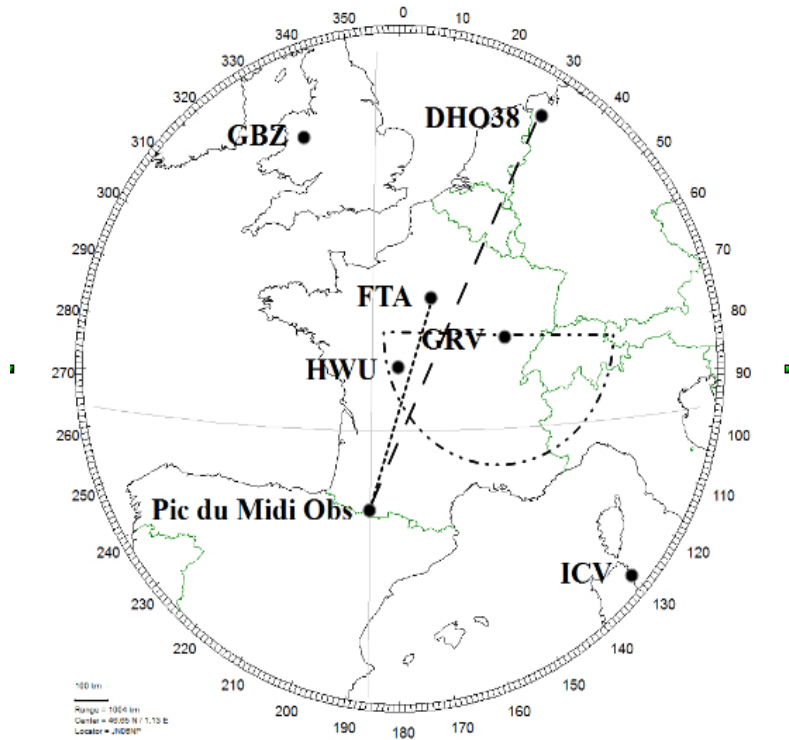


Figure 7. Positions du site d'observation (Pic du Midi) et des émetteurs VLF utilisés

Sur la figure 8, la trace supérieure représente plusieurs "pings" correspondant à l'arrivée de météoroïdes dans l'atmosphère terrestre. La trace du milieu représente une inférence constructive entre les vecteurs  $\vec{A}_G$  et  $\vec{A}_S$  constatée sur le signal de l'émetteur FTA, et la trace inférieure une interférence destructive enregistrée sur DHO38. L'échelle des temps horizontale est de 10 secondes par division, et l'échelle verticale des amplitudes est de 0,1 dB par division.

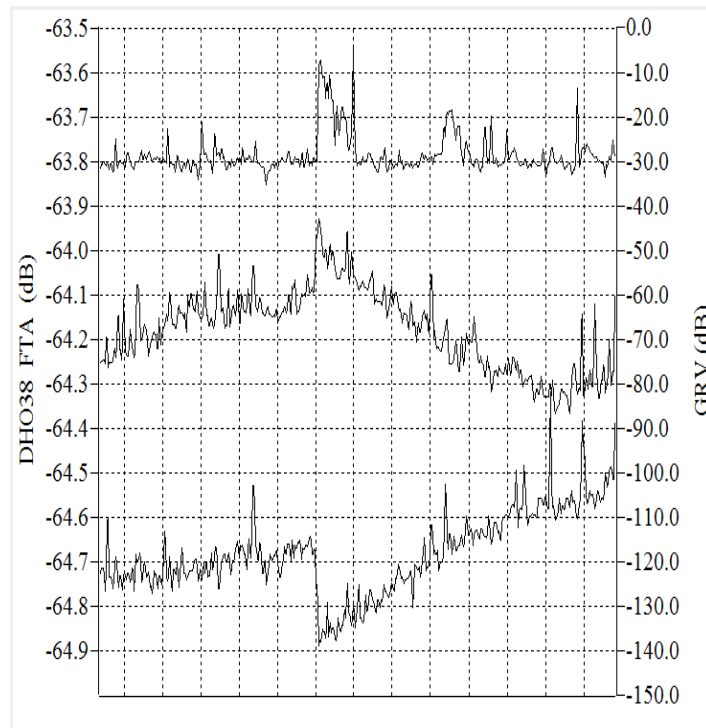


Figure 8. Premières observations au Pic du Midi d'interférences VLF constructives et destructives dues à un météore

### 3.2 Observations d'autres perturbations transitoires de propagation VLF

Durant l'essai des Lyrides en 2013, une observation systématique des perturbations VLF par les météores a été entreprise. Le site d'observation, dans Parc National des Cévennes en Lozère, a été choisi pour son excellente qualité en ELF/VLF (faibles perturbations par le réseau électrique d'EDF). Environ 50 événements de météores surdensés (avec traînées ionisées d'une densité supérieure à  $2,4 \times 10^{14}$  électrons par mètre) ont été analysés à la main et plusieurs sautes d'amplitude VLF parfaitement corrélées avec l'apparition de météores ont été observées (voir figure 9)

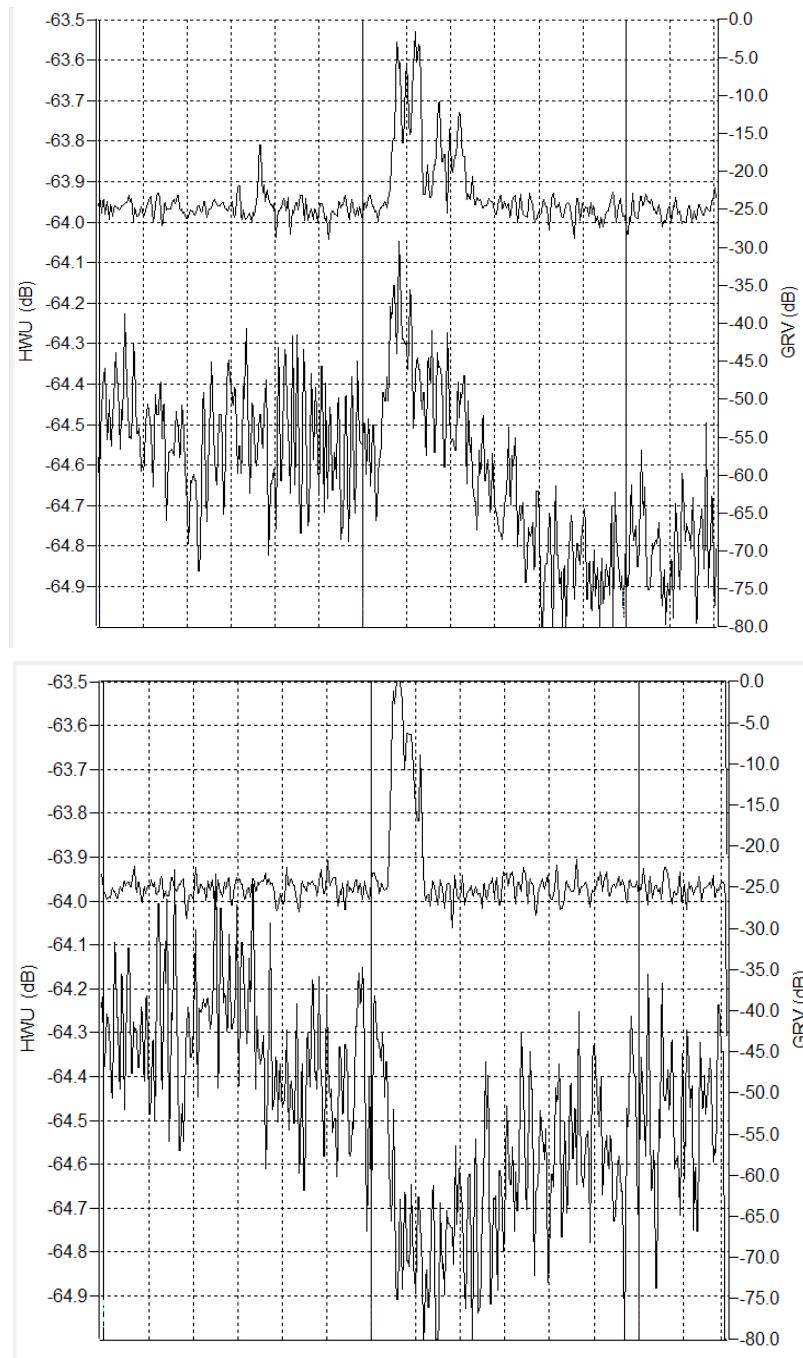


Figure 9. Autres exemples d'interférences VLF induites par des météores. Observations effectuées en Lozère au mois d'avril 2013 (Traces supérieures : échos VHF sur météores, traces inférieures : interférences VLF induites). Echelle des temps : 10 s/div.

## 4. Conclusions

De tels "M-SIDs" (Meteor induced Sudden Ionospheric Disturbances) semblent être rares et faibles. On suppose qu'ils sont créés par une variation brusque de densité électronique et/ou d'altitude de la partie inférieure de l'ionosphère induite par l'apparition d'une traînée fortement ionisée de météore (densité  $> 2,4 \times 10^{14} \text{ e}^- / \text{m}$ ).

Tous les M-SID observés jusqu'à présent ont une forme semblable, débutant par un front raide (positif ou négatif) et suivie par une diminution progressive du phénomène (d'une durée de quelques dizaines de secondes). Aucun M-SID diurne n'a encore été observé. On suppose donc que la couche D, présente de jour sous la couche E à cause des rayons ultraviolets ou X du Soleil masque ces phénomènes. Tous les M-SID observés semblent proches de la ligne joignant le site d'observation à l'émetteur VLF concerné.

Les enregistrements d'autres campagnes d'observation (Geminides 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, Léonides 2009, 2012, Perseides 2009, 2010, 2011, 2012) sont en cours d'analyse afin de mieux caractériser ces phénomènes méconnus jusqu'à présent.

## Remerciements

L'auteur remercie chaleureusement les astronomes François Colas et Jérémie Vaubaillon de l'Institut de Mécanique Céleste pour leurs invitations à participer à des campagnes d'observation radio dans les observatoires du Pic du Midi et de Haute-Provence.

## Références

- Barr R, et al., 2000, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 62, 1689  
Chilton, C.J., 1961, Journal of Geophysical Research 66, 379  
De S.S., 2006, Indian Journal of Radio and Space Physics, Vol.35, Dec., 396  
Delcourt J.J., 2000, Ionosphère region D, Lavoisier, ISBN 2-7462-0656-0, 141  
Godet J.-P., 2008, correspondance privée  
Lev-Tov S.J., 1995, Journal of Geophysical Research, Vol. 100 NO A11, 21, 375-21, 3  
Loudet L., 2013, <http://sidstation.loudet.org/data-fr.xhtml>  
Rault J.-L., 2010, WGN, the Journal of the IMO 38:2, 67