« Un voyage sur Terre à la découverte des mystérieux signaux radio naturels »

De l'enregistrement à l'écoute de la musique des aurores boréales …
Une conférence accessible à tous (enfants et adultes) animée par Franck Durand, Association ARAM95 – (http://aram95.r-e-f.org/), Entrée gratuite.

Samedi 1er Juillet 2023
14h30 à 16h00

Maison des associations
salle Hajos – 2ème étage
14 Bd du Petit Château, 95600 Eaubonne

La Semaine de la Vie associative

Informations e-mail: aram95.f4kkt@gmail.com
Portable: 06 50 59 69 51

British Antarctic Survey
NATURAL ENVIRONMENT RESEARCH COUNCIL

A new album with the unique ‘sounds of space’ recorded from Antarctica is released free today (6 May 2020).

New album Aurora Musicalis brings the ‘sounds of space’ to the public https://www.bas.ac.uk/media-post/aurora-musicalis/

Les TLF - ELF – VLF c'est quoi, pourquoi, comment ?

- Les bandes
- La propagation ELF-VLF
- Que se passe t-il sur ces bandes ?
- Les signaux naturels
  - Tweeks, sphérics
  - Les résonances de Schumann
  - Eruption volcanique
  - Les sifflements (Whistler)
  - Perturbation ionosphérique à début brusque (SID, Sudden Ionospheric Disturbances)
- A l'écoute des météores
- Matériel et conseils pour la réception, quels logiciels, quelles antennes ?
- Questions, échanges

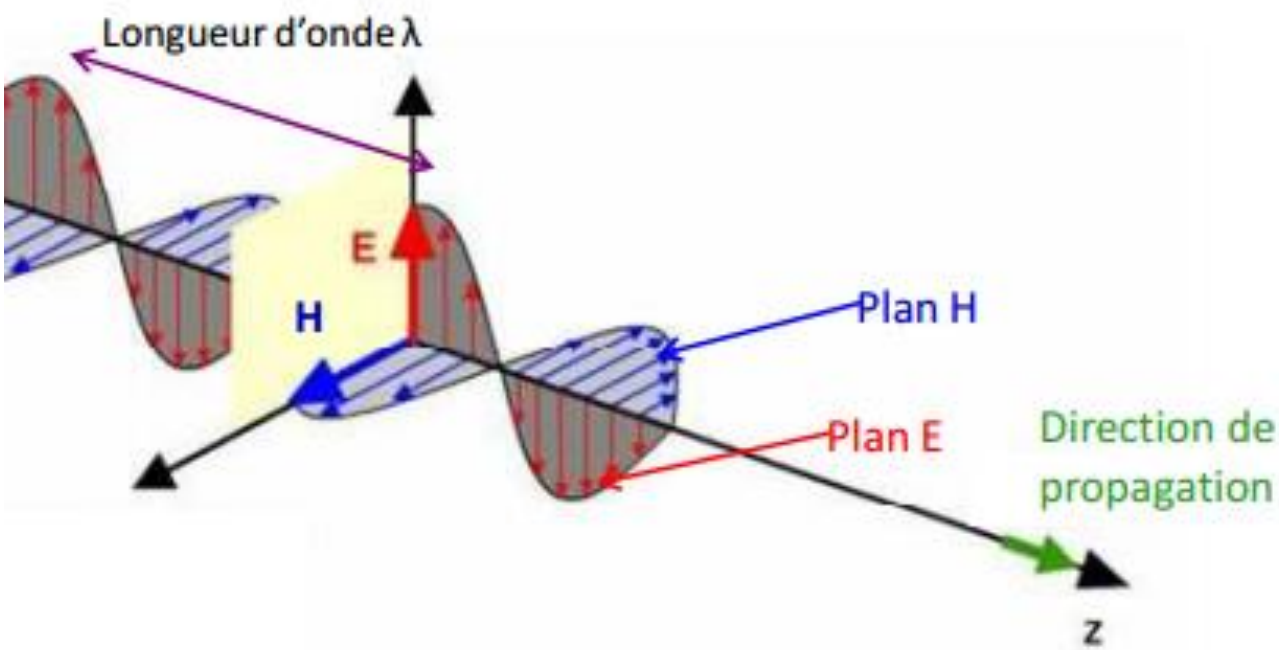
Une onde, une fréquence c’est quoi ?

La longueur d'onde λ

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{\text{Vitesse de propagation du signal (m/s)}}{\text{Fréquence du signal (Hz)}}$$

Vitesse de propagation d'une onde acoustique, à 20°C : dans l'air : **344 m / s**, soit environ 1 240 km/h. dans l'eau : 1 500 m/s, soit environ 5 400 km/h.

Vitesse de propagation de la lumière C = **299 792 458 m / s**



$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{C}{f \times \sqrt{(\varepsilon_r \times \mu_r)}}$$

$$\lambda = \frac{299\,699\,264 \text{ (m/s)}}{f \text{ (Hz)}}$$

C = 299 792 458 m / s
ε_r = 1,0006 (Air sec)
μ_r = 1,000022 (Aluminium)

TLF	ELF	SLF	ULF
OHz – **3Hz**	**3Hz** – **30Hz**	**30Hz** – **300Hz**	**300Hz** – **3 KHz**
Lambda > 100 000 Km	10 000 Km à 100 000 Km	1 000 Km à 10 000 Km	100 Km à 1 000 Km
Tremendously low frequency (fréquence extrêmement basse) Champs magnétiques, ondes et bruits électromagnétiques naturels	Extremely low frequency (fréquence extrêmement basse) Les résonances Schumann Signaux naturels	Super low frequency (super basse fréquence) ZEVS qui est aujourd'hui le dispositif d'émission radio le plus bas en fréquence du monde, puisqu'il transmet sur 82Hz, soit 3658 km de longueur d'onde. ZEVS. Grabber(http://vlf.u01.de/zevs.php)	Ultra low frequency (ultra basse fréquence) Mise en évidence de la perturbation de la propagation des ondes VLF associé à un météore

longueurs d'onde (Lambda) sont calculées avec l'approximation: $C = 3.10^8\ m.s^{-1}$

VLF

Very low frequency
(très basse fréquence)
Eclairs (orages), Whistler

Auxiliaires de la Météorologie
Radionavigation
Fixe/Mobile Maritimes
Signaux Horaires (20 KHz)
RSDN-20 - Alpha, radionavigation
18.100 KHz Russian Navy Russian High Command Naval Radio RDL-Moscow Headquarters
20.900 KHz FTA Sainte Assise (77)
Loc.JN18GN
21.750 KHz French Navy HWN-Le Blanc, France 200/90 PSK Loc.JN06OR

longueurs d'onde (Lambda) sont calculées avec l'approximation: $C = 3.10^8\ m.s^{-1}$

La propagation ELF-VLF ?

Ces ondes se propageant dans l'eau de mer (environ 40m), elles sont utiles pour la navigation et la communication avec les sous-marins.

Ces ondes peuvent aussi pénétrer des distances importantes dans la roche et le sous-sol, ce pourquoi elles sont utilisées par certains systèmes de communication minière et s'utilisent en géophysique dans l'exploration du sous-sol (couches géologiques, cavités, etc.…).

Ces fréquences sont aussi exploitées pour détecter certains phénomènes naturels, générateurs d'impulsions radioélectriques (foudre et certaines perturbations naturelles du champ magnétique terrestre)

Comme les longueurs d'onde VLF sont très longues, elles peuvent se diffracter autour de grands obstacles.

Deux modes de propagations:

- Propagation sous forme **d'ondes de sol** autour de la courbure de la terre.

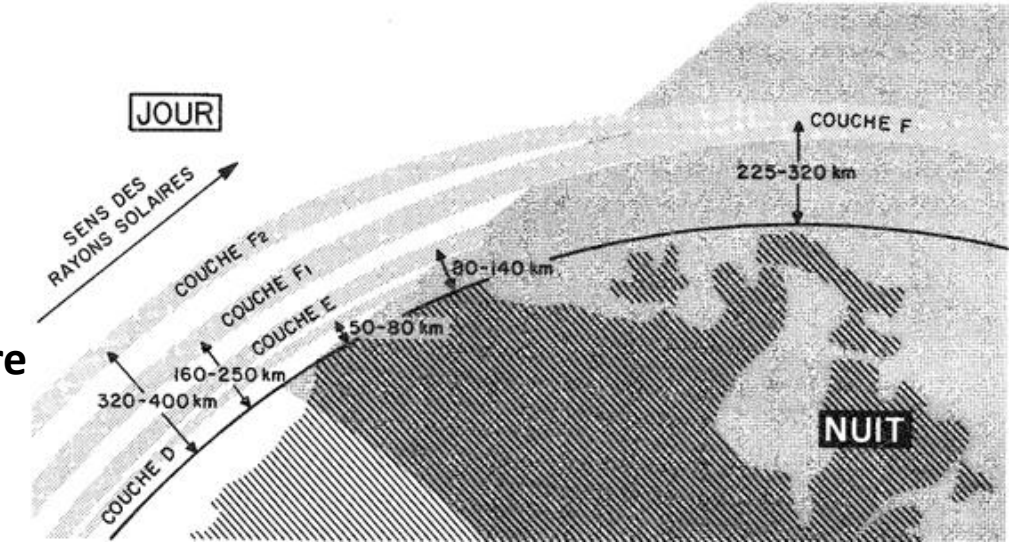
- La couche Ionosphérique 'D' à 60 Km reflète l'onde VLF entre celle-ci et la terre, une sorte de guide d’onde de quelques longueurs d'onde VLF se forme. (un chemin en zigzag autour du monde)

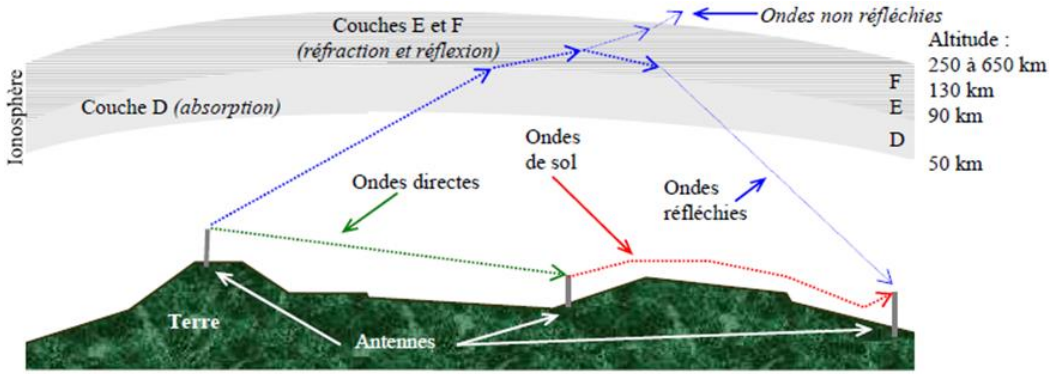
Les ondes VLF ont une **très faible atténuation 2 à 3 dB pour 1000 Km et 1 dB pour les ondes ELF.**

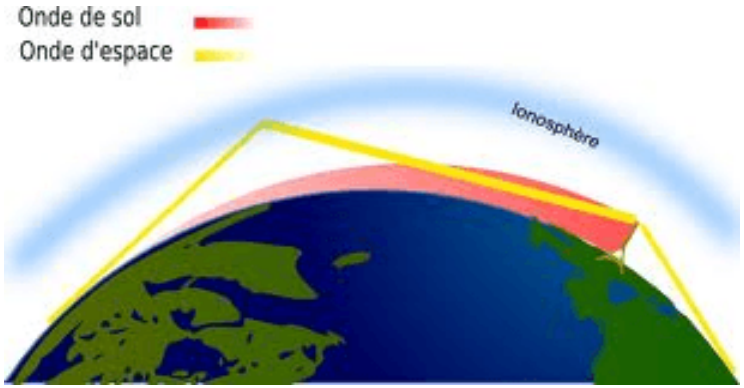
Des distances de propagation de 5 000 à 20 000 Km peuvent être atteintes

PROPAGATION

Région D (60 à 100 km) : Faible densité d'ionisation de jour (10^8 – 10^9 e^-/m^3). Pratiquement inexistante de nuit.
Pas de maximum d'ionisation mais peut introduire une atténuation due au nombre élevé de chocs électrons- ions.







La nuit, la couche D a disparu et la base de l'ionosphère est donc composée de la fusion des couches E et F. Cette couche s'étend entre 90 et environ 150 km. Cette région est composée de molécules d'air ionisées et d'électrons libres, cette région agit comme une couche réfléchissante.

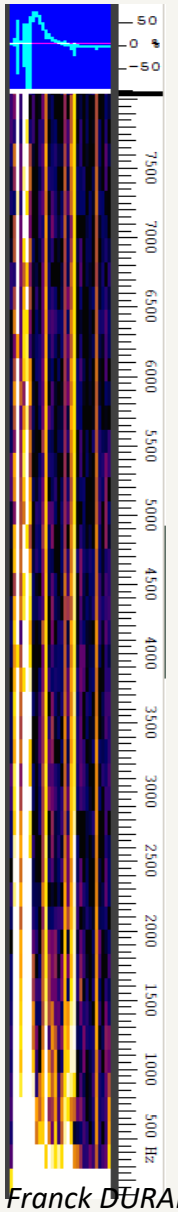
http://www.vlf.it/thierry/waveguide_propagation.html

Que se passe t-il sur ces bandes ?

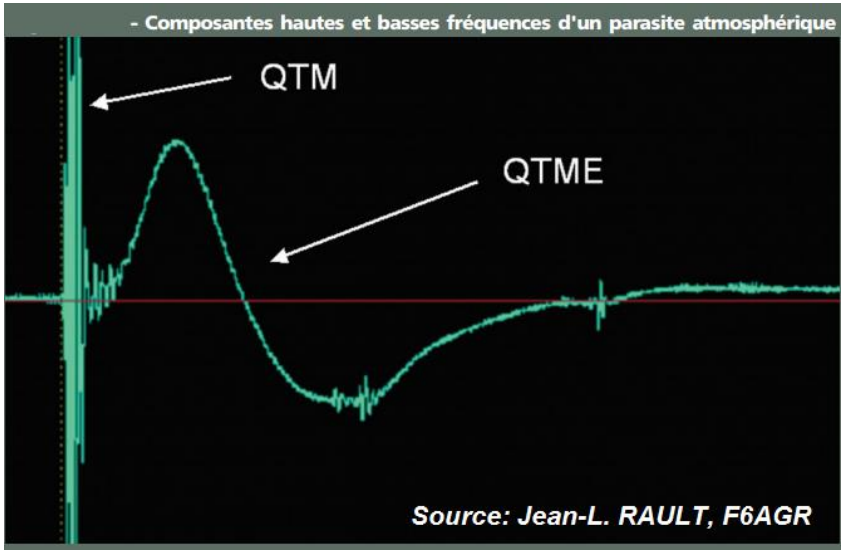
- **Signaux radio VLF naturels:**
  - Décharges statiques, foudre
  - « sphériques » rayonnées par la foudre.
  - Tweeks - ressemble à un gazouillis c'est une déformation de la propagation des décharges statiques.
  - Oscillations en perles[1]
  - Les insectes – produits par les mouvements de charges électriques.
  - Siffleurs (Whistler) – d'une durée allant d'une demi-seconde à plusieurs secondes.
  - « Auroral chorus »- peut ressembler à une musique constituée de siffleurs, variant à la fois en tonalité et en fréquence. (aurores boréales).
  - Éruptions solaires, vent solaire

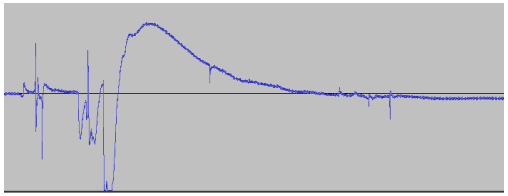
[1] ce sont des oscillations très basses fréquences, autour du Hertz, dues à des ondes qui se propagent le long des lignes du champ magnétique terrestre et rebondissent d'un hémisphère terrestre à l'autre

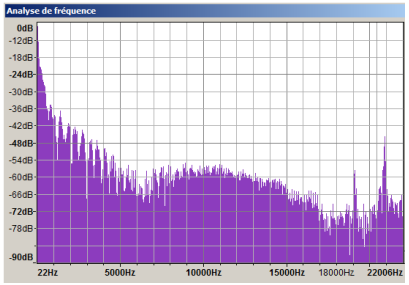
Des « sferics » et des « tweeks »



Les sferics sont des décharges électriques d'origine orageuse. Elles se composent d'un spectre très riche en fréquences. La propagation en mode QTM dans le guide ionosphère / Terre est dispersive pour les fréquences proches de la fréquence de coupure : pour un point d'observation situé loin de la décharge orageuse, les fréquences les plus élevées arrivent d'abord, suivies des fréquences les plus basses.

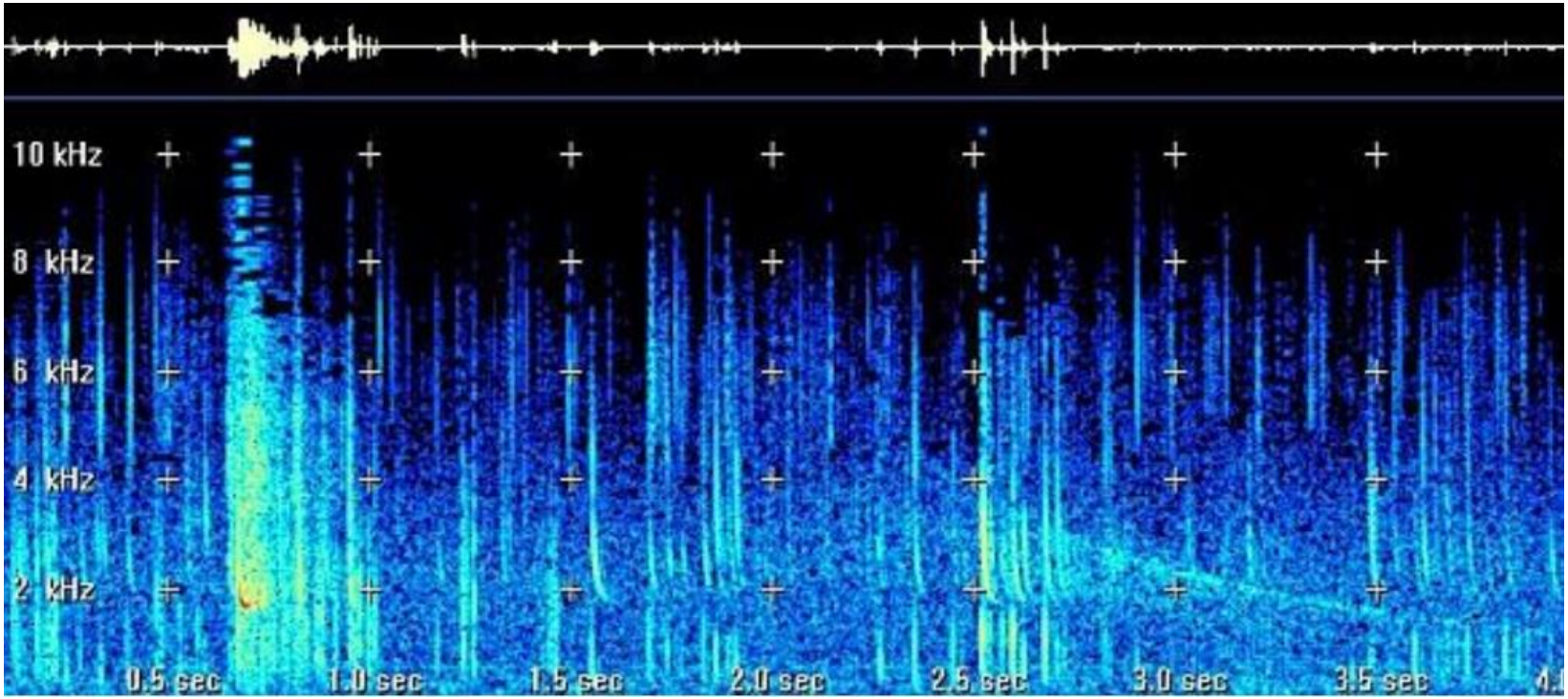






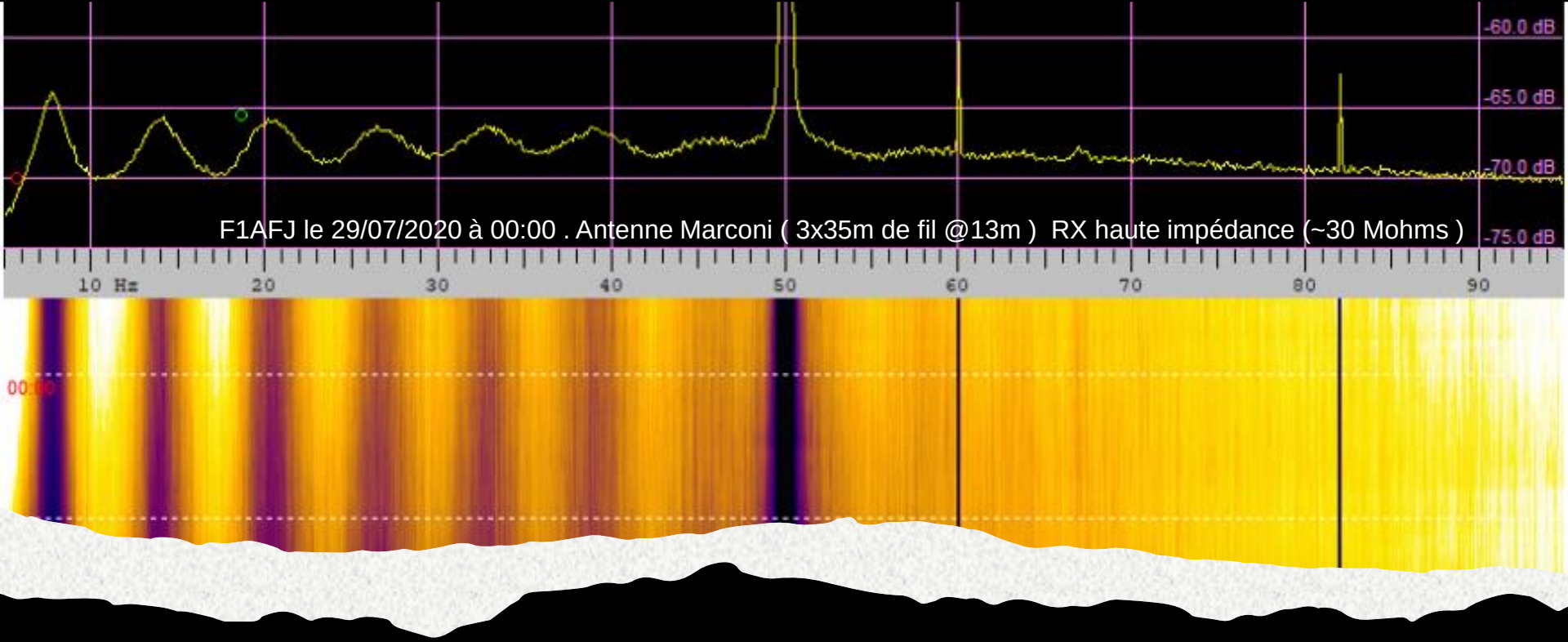
Franck DURAND – F4IEW, 1er Juillet 2023

Franck DURAND, 10 Février 2020 – 18:00 UTC



Tweeks & Whistler

- Retour du signal émis par un éclair vers le récepteur (distance 500Km) via la propagation au travers du guide d'onde (Tweek) ainsi qu'avec le mode magnéto-ionique (Whistler),
- Enregistrement réalisé par Thierry Alves, F4EOB, le 27 Décembre 2002, CICOURO, au nord du Portugal http://www.vlf.it/thierry/waveguide_propagation.html



Les résonances de Schumann

- Ce phénomène de résonance électromagnétique mondiale tire son nom du physicien Winfried Otto Schumann qui l'a prédit mathématiquement en 1952. Les résonances Schumann se produisent parce que l'espace entre la surface de la Terre et l'ionosphère conductrice agit comme un guide d'onde fermé. Les dimensions limitées de la Terre font que ce guide d'ondes agit comme une cavité résonante pour les ondes électromagnétiques dans la bande TLF.

- **Les résonances Schumann (SR)** sont un ensemble de pics de spectre dans la partie extrêmement basse fréquence (ELF) du spectre du champ électromagnétique de la Terre. Les résonances Schumann sont des résonances électromagnétiques globales, générées et excitées par des décharges de foudre dans la cavité formée par la surface de la Terre et l'ionosphère.

- La cavité est naturellement excitée par les courants électriques de la foudre. Les résonances de Schumann sont le principal bruit de fond dans la partie du spectre électromagnétique de 3 Hz à 60 Hz, et apparaissent comme des pics distincts à des fréquences extrêmement basses (TLF) autour de 7,83 Hz (fréquence fondamentale), 14,3, 20,8, 27,3 et 33,8 Hz.

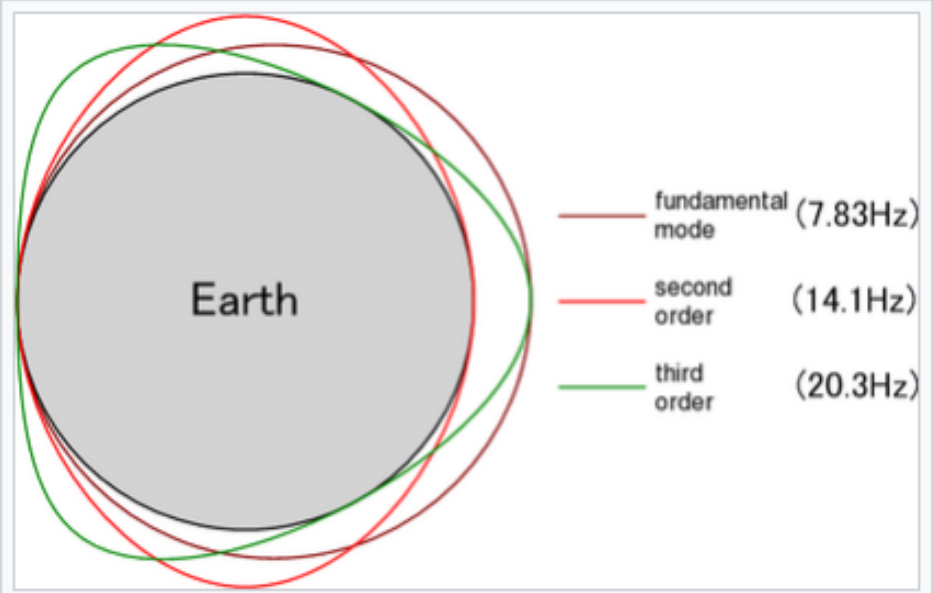
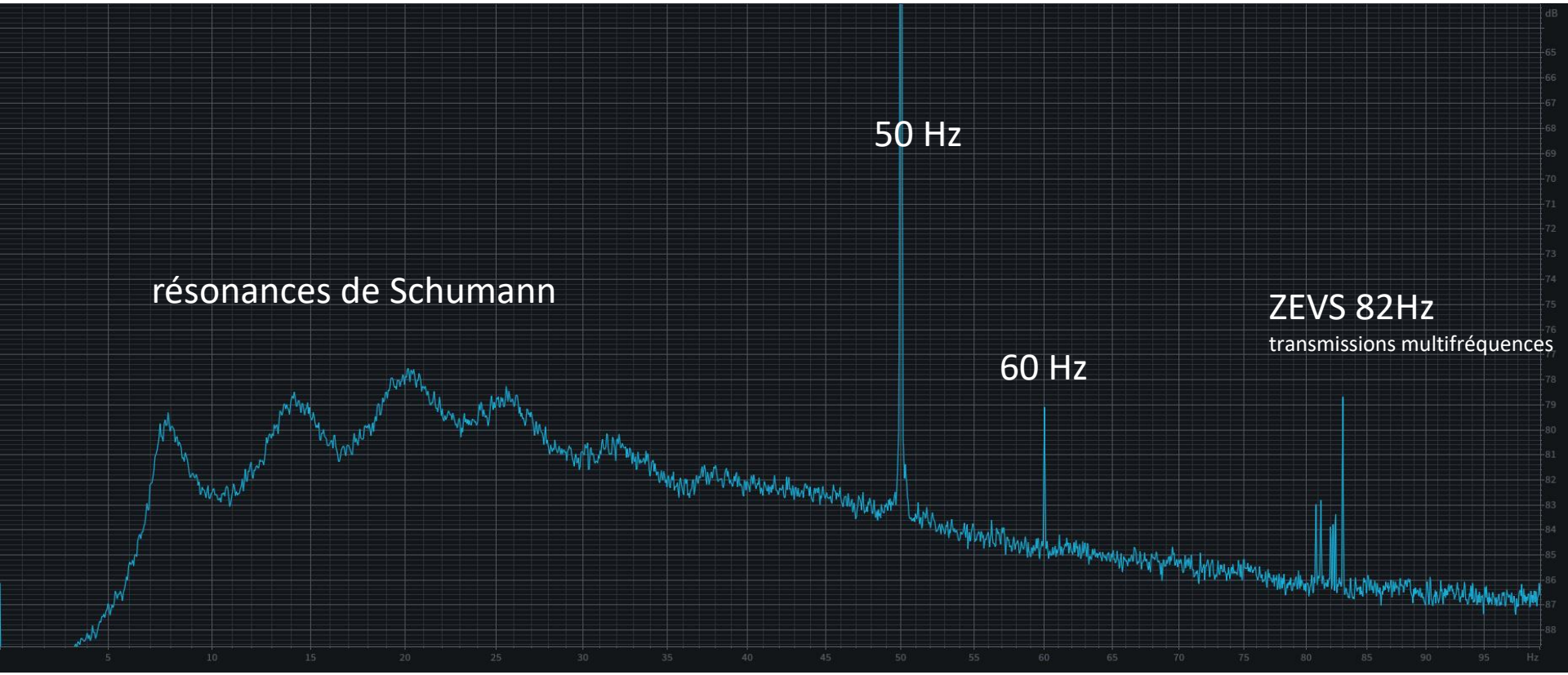
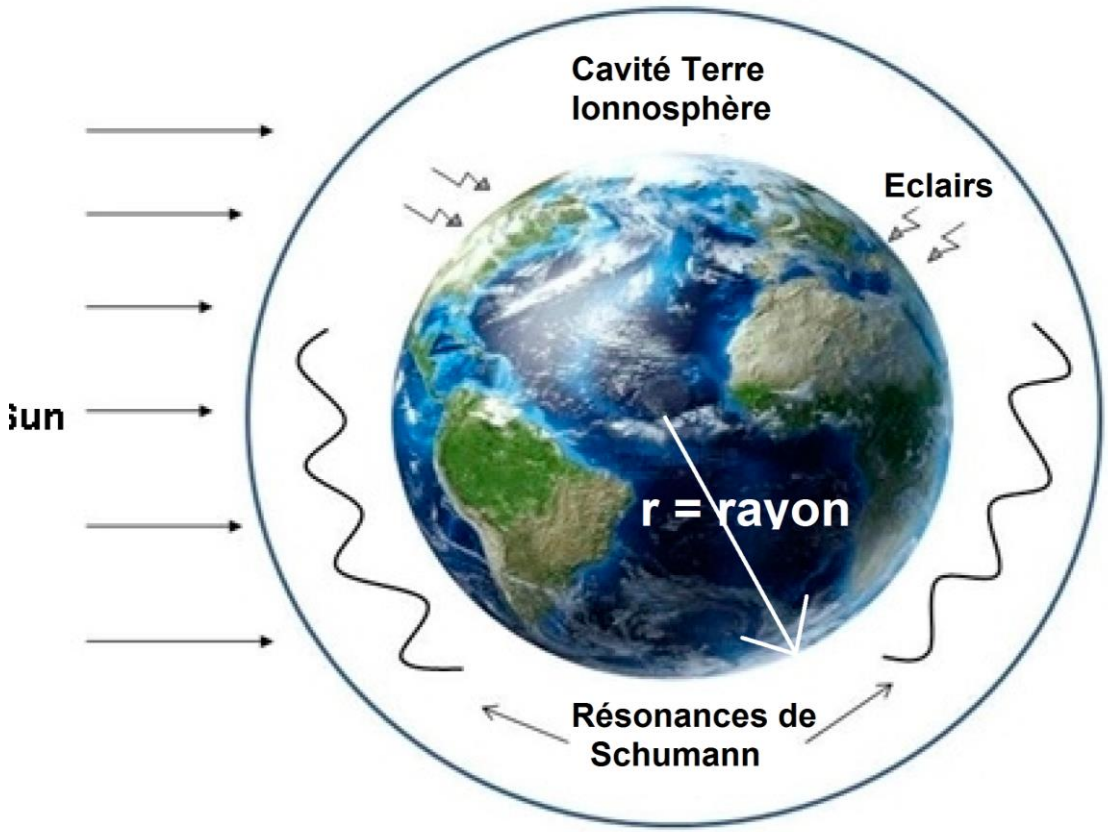


Diagram of Schumann resonances in Earth's atmosphere



Analyse spectrale d'un enregistrement effectué en décembre 2017 à l'Observatoire de Haute Provence dans la bande 0 à 100 Hz, F6AGR (avec Zoom H4N et Darjeeling)

Franck DURAND – F4IEW, 1er Juillet 2023



$$f_n = \frac{c}{2\pi r}\sqrt{n(n+1)}.$$

$$f_1 = \frac{300,000\text{km/s}}{2\pi \times 6,371\text{km}}\sqrt{2} = 10.6\text{Hz}.$$

- Dans les descriptions des modes normaux des résonances de Schumann, le mode fondamental est une onde stationnaire dans la cavité Terre-ionosphère avec une longueur d'onde égale à la circonférence de la Terre. Ce mode de résonance Schumann à la fréquence la plus basse (et à l'intensité la plus élevée) se produit à une fréquence d'environ 7.8 Hz, mais cette fréquence peut varier légèrement du fait d'une variété de facteurs, tels que les perturbations induites par le rayonnement solaire sur l'ionosphère, qui comprime la partie supérieure de la proie de la cavité fermée. Les modes de résonance supérieurs sont espacés à environ 6,5 Hz d'intervalles, une caractéristique attribuée à la géométrie sphérique de l'atmosphère.

Les observations des **résonances de Schumann ont été utilisées pour:**

- **Suivre l'activité mondiale de la foudre.**

- En raison du lien entre l'activité de la foudre et le climat de la Terre, il a été suggéré qu'ils pourraient également être utilisés pour **surveiller les variations de température mondiale** et les variations de vapeur d'eau dans la haute troposphère. L'intérêt pour les résonances Schumann a été renouvelé en 1993 lorsque ER Williams a montré une corrélation entre la fréquence de résonance et les températures de l'air tropical, suggérant que la résonance pourrait être utilisée pour surveiller le réchauffement climatique.

- Il a été émis l'hypothèse que **la foudre extraterrestre** (sur d'autres planètes) pourrait également être détectée et étudiée au moyen de leurs signatures de résonance Schumann.

- Les résonances de Schumann ont été utilisées pour étudier l'ionosphère inférieure sur Terre et il a été suggéré comme un moyen **d'explorer l'ionosphère inférieure sur les corps célestes**.

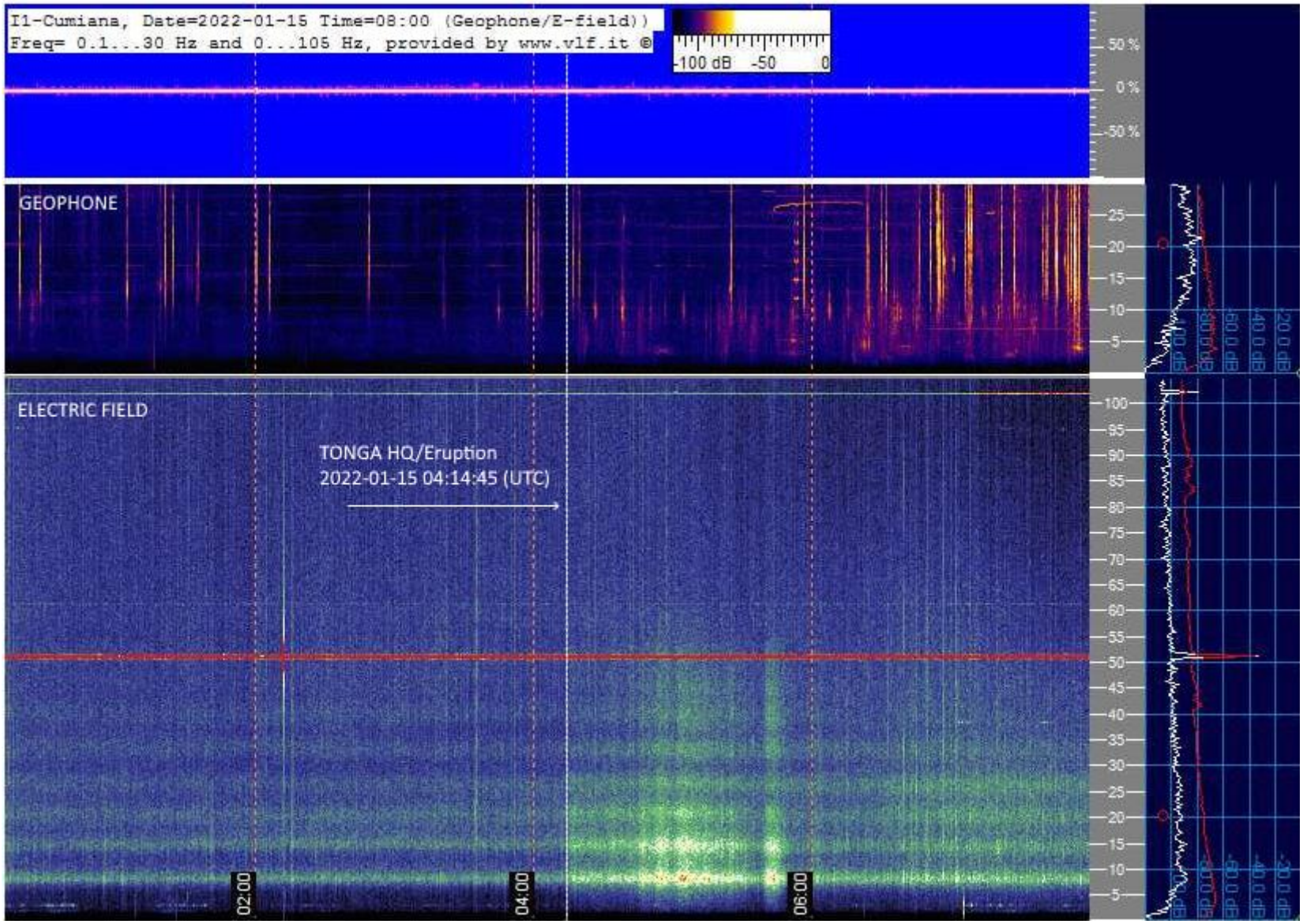
- Des effets sur les résonances de Schumann ont été signalés à la suite de perturbations géomagnétiques et ionosphériques. Plus récemment, des excitations de résonance Schumann discrètes ont été liées à des événements lumineux. Un nouveau domaine d'intérêt utilisant les résonances Schumann est lié à la prévision, à court terme, **des tremblements de terre** .

- **En géophysique appliquée, les résonances de Schumann sont utilisées dans la prospection de gisements d'hydrocarbures en mer.**

- **Eruption volcanique du volcan Hunga Tonga-Hunga Ha'apai situé dans l'océan Pacifique,**

- **le 15 Janvier à 4h14 et 45s UTC**

Capture depuis l'observatoire ELF, Renato Romero



Franck DURAND – F4IEW, 1er Juillet 2023

- Enregistrement réalisés par Jean-Marie (F6ETU) et analysés par Thierry ALVES (F4EOB)

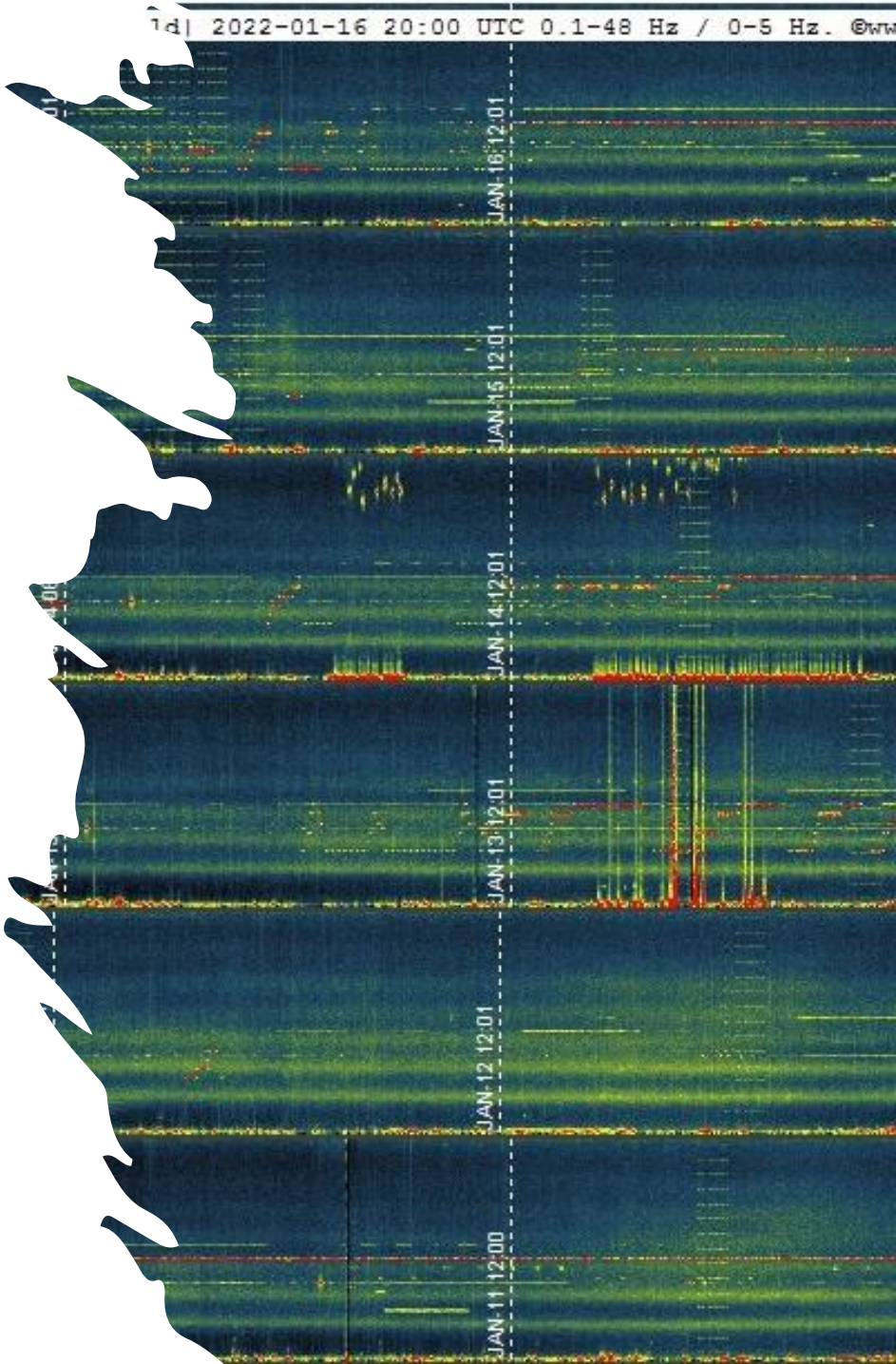
- 15 Janvier de 22h à 23h30 UTC toujours en accéléré de 250 fois

- oscillations en forme de perles (vers 1 Hz)

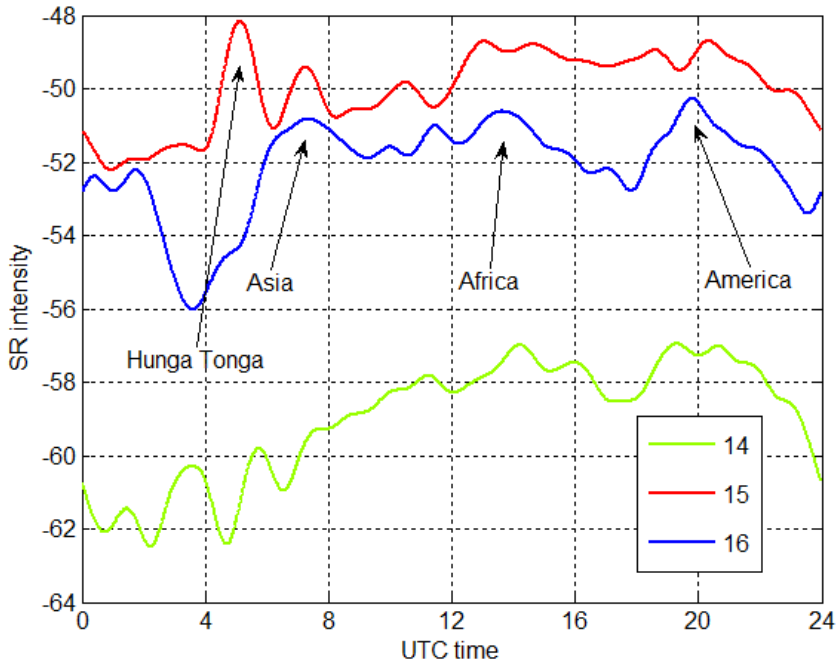
- le "hululement" très fort qu'on entend au début ressemble beaucoup à des oscillations des lignes de champ magnétique terrestre qui "vibrent" en recevant de face un flot de particules émis par le Soleil

- Lorsque les fréquences de ces ondes magnétiques se transforment en signaux audibles, elles donnent naissance à un son étrange qui pourrait rappeler davantage les effets sonores d'un film de science-fiction qu'un phénomène naturel

- Ecouter l'enregistrement

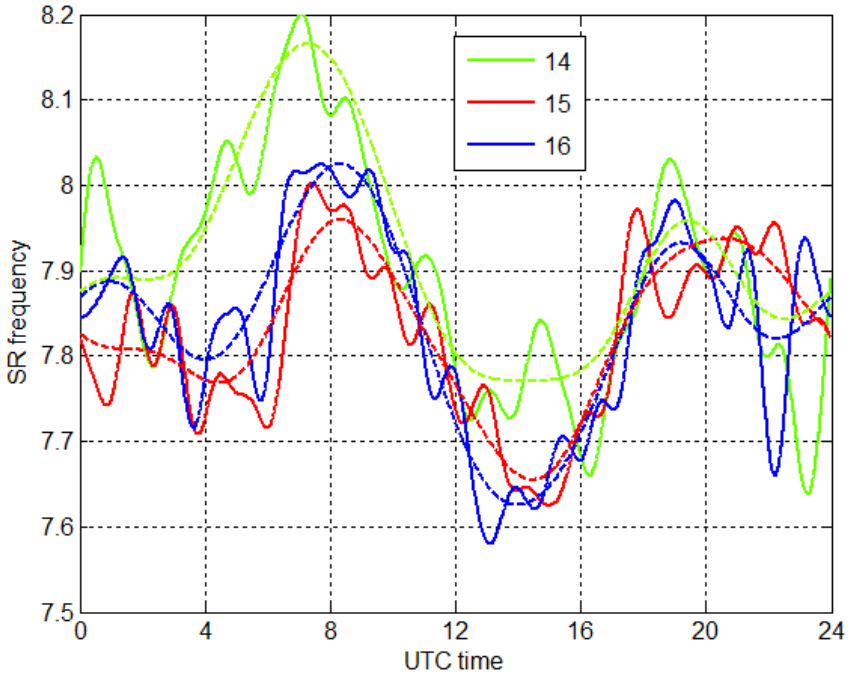


- L'activité orageuse engendrée dans la poussière de l'éruption du volcan au 15 Janvier est plus forte que les 3 foyers d'activité mondiale. Ceci est bien visible car l'éruption s'est produite avant le pic d'activité orageuse d'Asie qui doit se situer aux alentours de 7h00 UTC.



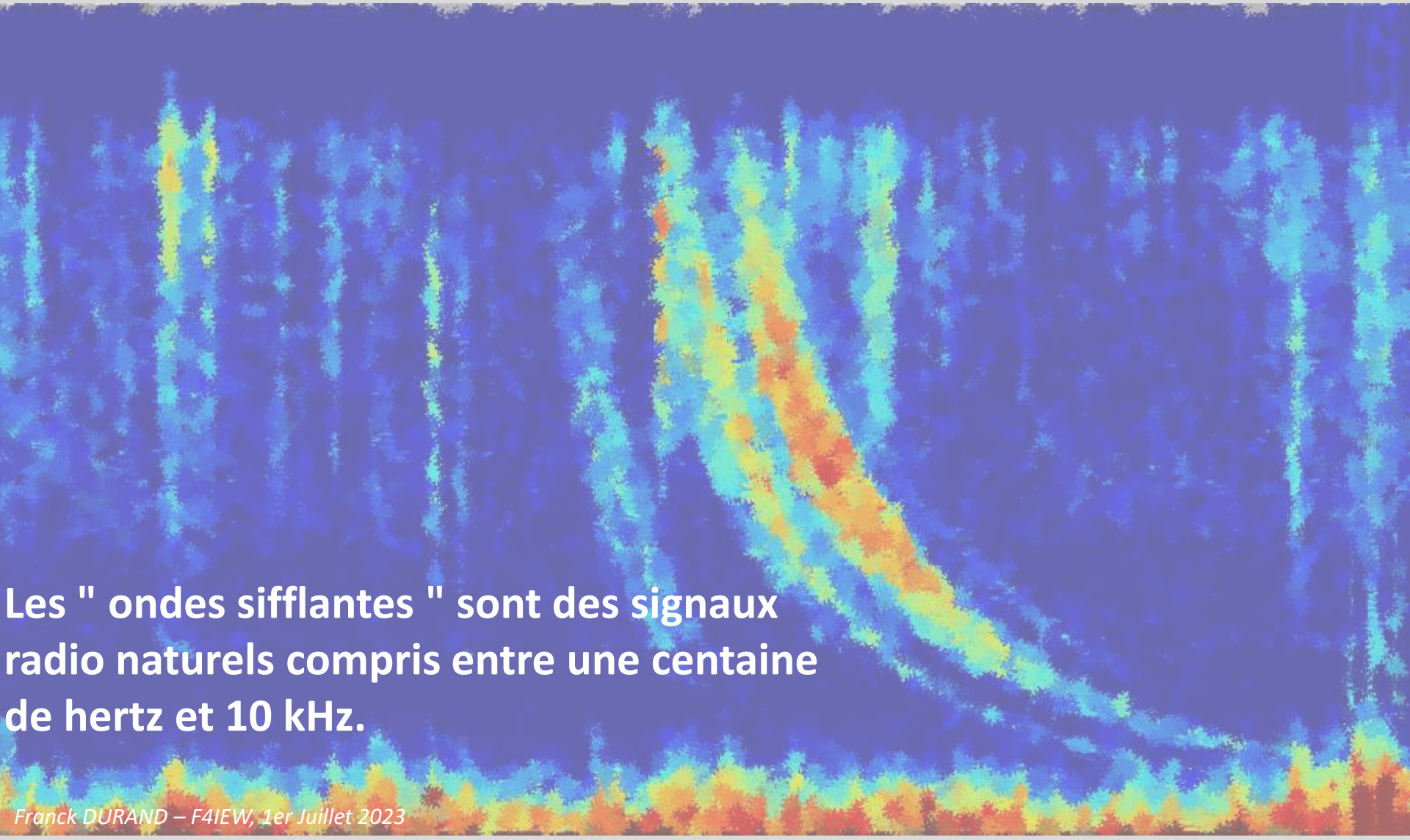
Enregistrements réalisés par Jean-Marie (F6ETU) et analysés par Thierry ALVES (F4EOB)

- Concernant la fréquence de la SR1 elle varie de façon plus ou moins sinusoïdale et aucune différence notable apparaît au 15 Janvier. Cette variation est causée par la dysmétrie de la cavité Terre-Ionosphère du fait de l'éclairement solaire (jour/nuit).

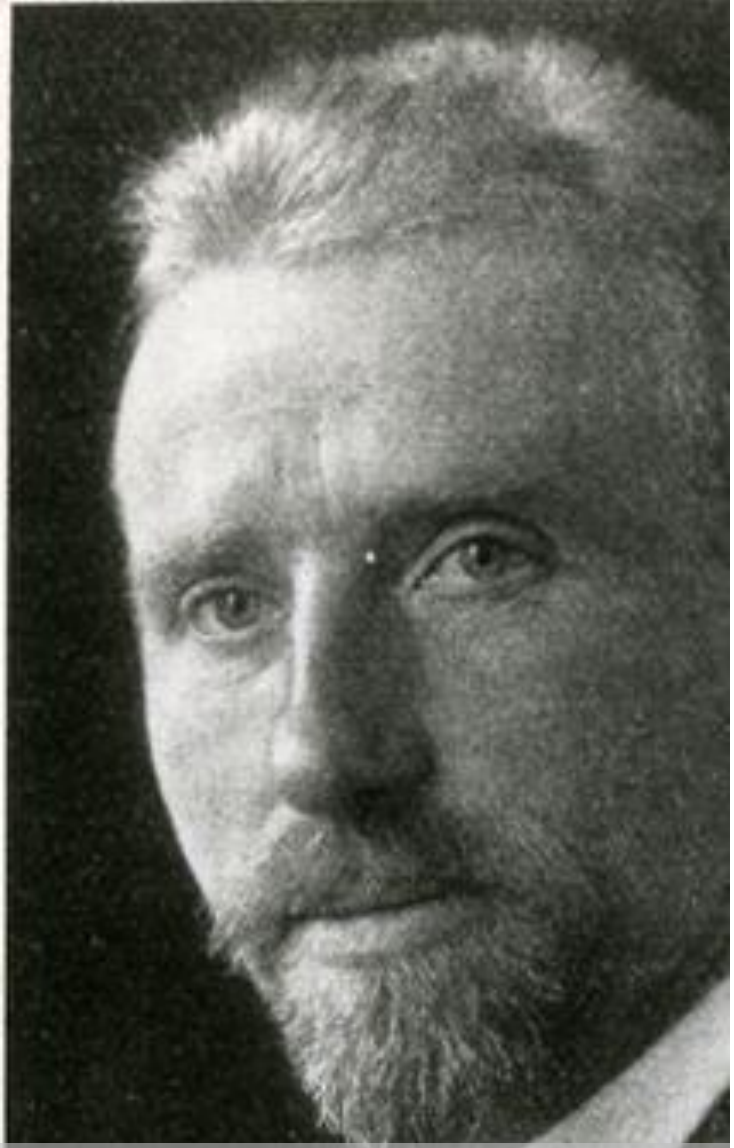


Enregistrements réalisés par Jean-Marie (F6ETU) et analysés par Thierry ALVES (F4EOB)

Whistlers - SIFFLEURS



Les " ondes sifflantes " sont des signaux radio naturels compris entre une centaine de hertz et 10 kHz.

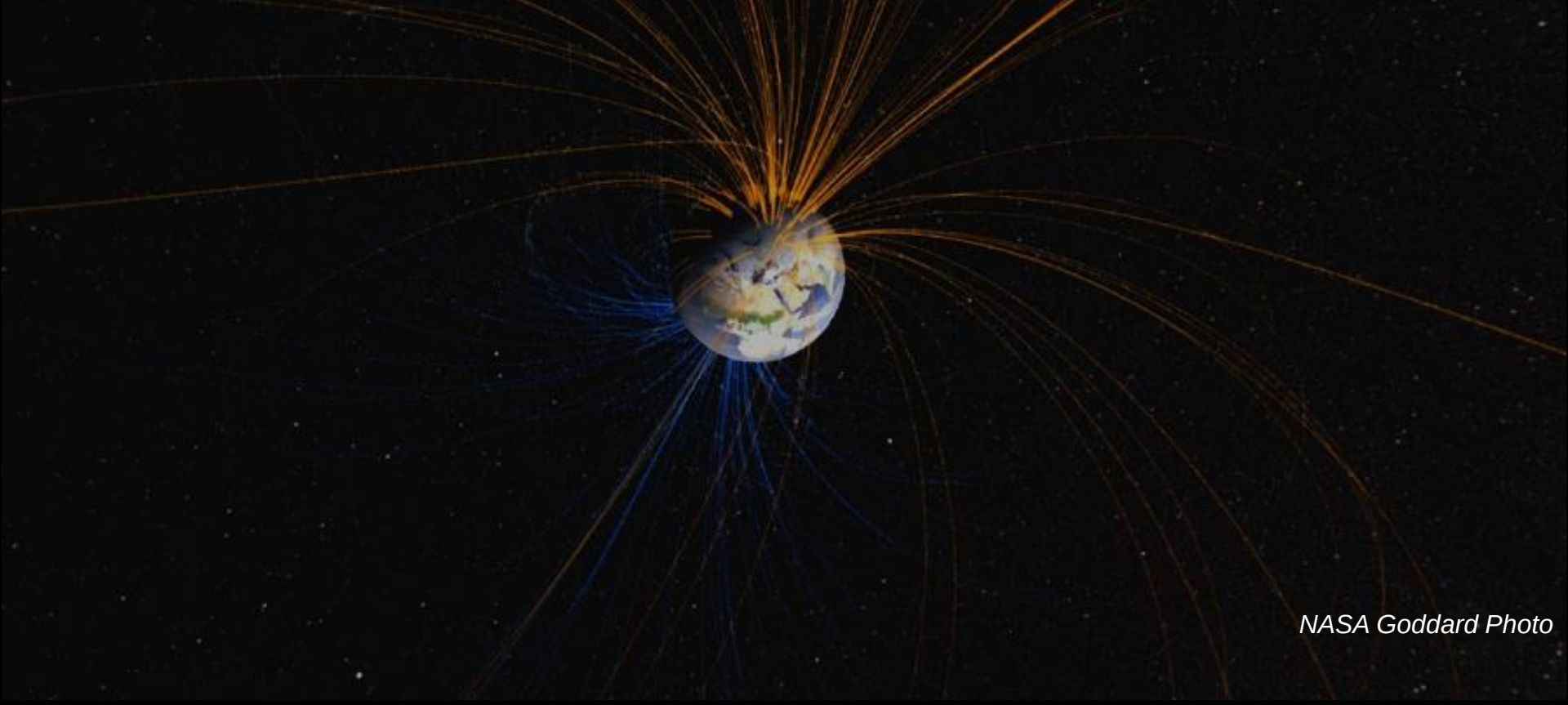


Heinrich Georg Barkhausen était un physicien allemand spécialisé dans l'ingénierie électronique, il est né le 2 décembre 1881 à Bremen en Allemagne.

Découverte des siffleurs

- 1919 Premier rapport de réception de siffleurs (Whistlers) a été fait par Barkhausen pendant la Première Guerre Mondiale
- 1931 Eckersley développe la théorie de propagation des ondes dans un plasma magnéto actif comme l'ionosphère et la magnétosphère
- 1933 Burton et Boardman enquêtent sur les siffleurs et les signaux VLF captés par les câbles sous-marins. Ils ont effectué des études détaillées de spectrogrammes de Whistler, qui ont probablement montré différents types de siffleurs.
- 1953 Storey ses travaux apportent des preuves concluantes que les siffleurs provenaient de décharges de foudre dans l'hémisphère opposé puis propagé dans la magnétosphère le long des lignes de champ géomagnétique jusqu'à l'hémisphère de l'observateur

pour une biographie plus complète: (Helliwell, 1965; Walker, 1976; Hayakawa and Tanaka, 1978; Park, 1982; Al'pert, 1990; Hayakawa and Ohta, 1992)



- **Lorsque les sferics se propagent hors de l'ionosphère, ils peuvent emprunter un chemin de propagation de milliers de kilomètres à travers une forme de conduits dans la magnétosphère**

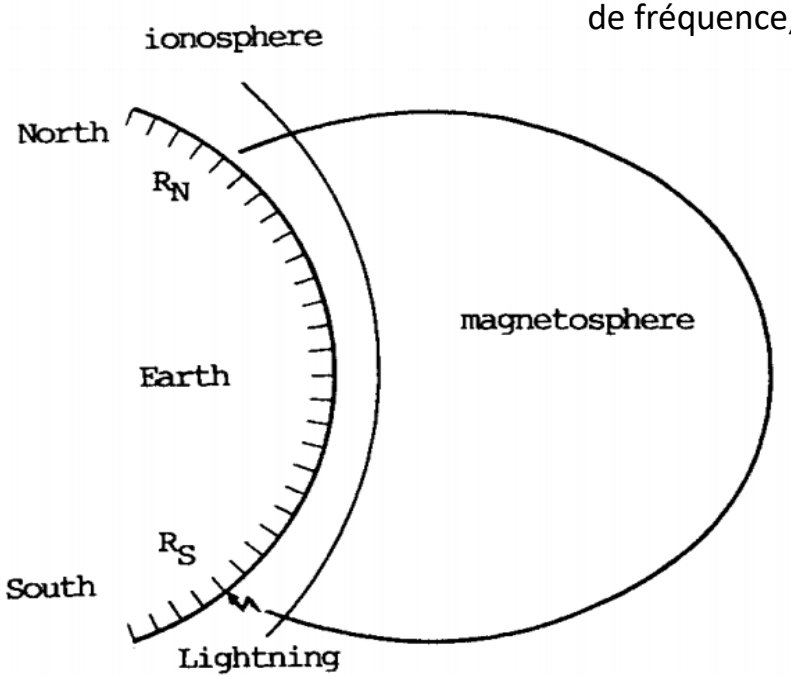
- **Ce conduit est constitué de plasma de vent solaire qui s'est aligné le long des lignes de champ magnétique de la Terre**

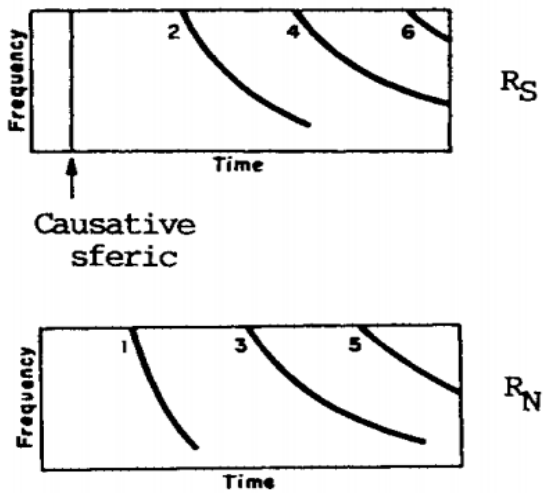
- **Étant donné que les conduits suivent les lignes de champ magnétique terrestre, le chemin de propagation se termine dans l'hémisphère opposé**

Source et propagation des siffleurs

- Une décharge de foudre émet des ondes électromagnétiques sur une large gamme de fréquences et en particulier un rayonnement dans une gamme de fréquence relativement basse, — 0,5 à 30 kHz, qui est la source des « sifflements ».

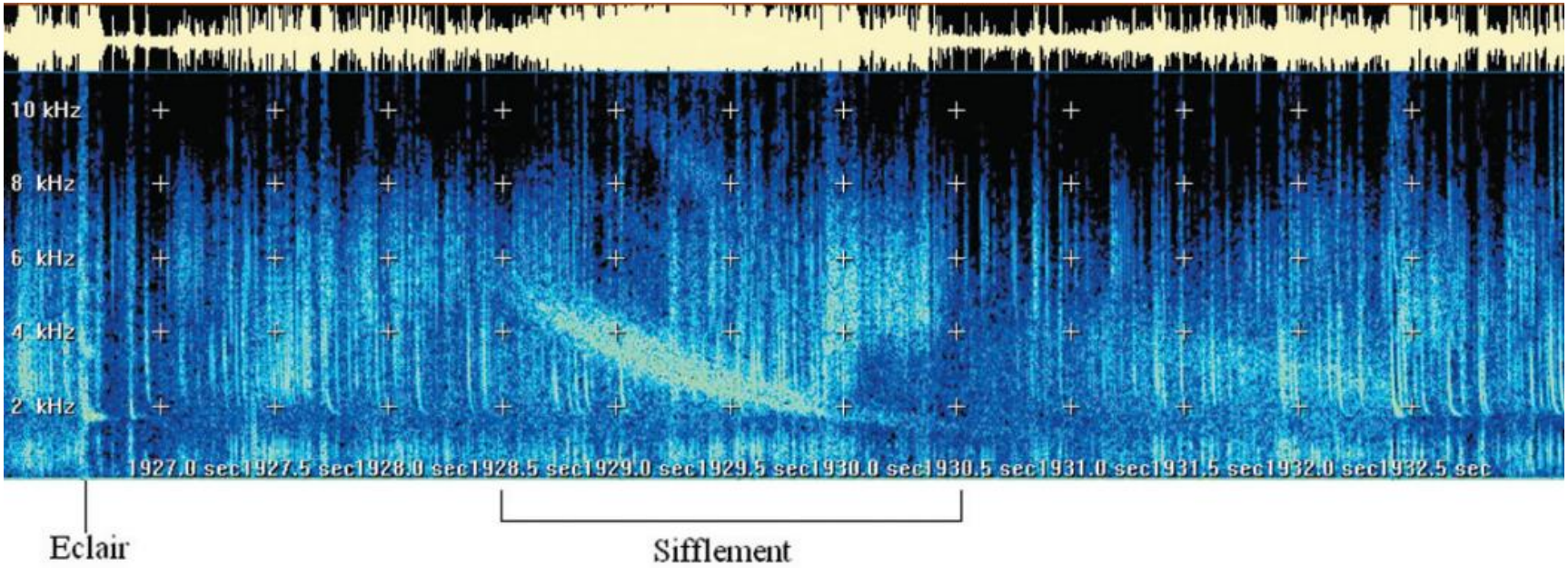
- La propagation n'est possible que dans un plasma magnétisé et à des fréquences inférieures à la fois à l'électron plasma et gyrofréquence. La propagation dans ce mode est fortement affectée par le champ magnétique statique et se caractérise par de faibles vitesses de propagation qui varient avec la fréquence.
- **Les basses fréquences se propagent plus lentement que les hautes fréquences, de sorte que les hautes fréquences arrivent plus tôt au point final**
- La densité électronique du conduit détermine la quantité de dispersion de fréquence,



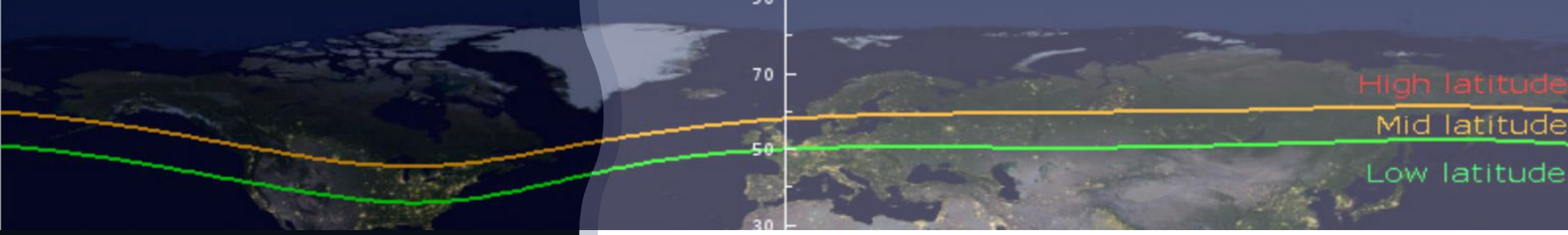


Source: Handbook of Atmospheric Electrodynamics: Volume II, Edited by Hans Volland. Radioastronomical Institute, University of Bonn, Bonn, Germany

La dispersion de fréquence produit une longue tonalité très caractéristique d'un siffleur

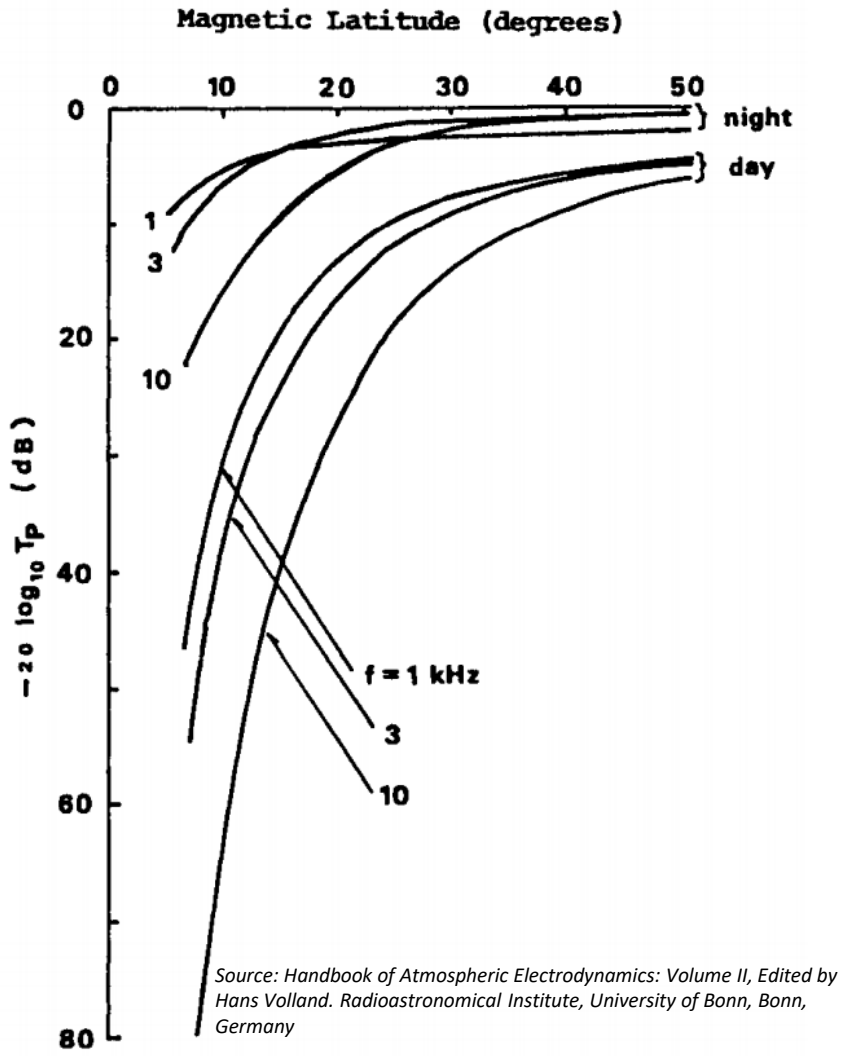


Lien vers la vidéo



La dépendance latitudinale de la perte de transmission ionosphérique des ondes sifflantes en fonction de la fréquence.

les sifflements reçus sont plus nombreux aux latitudes moyennes, soit environ 45 degrés.

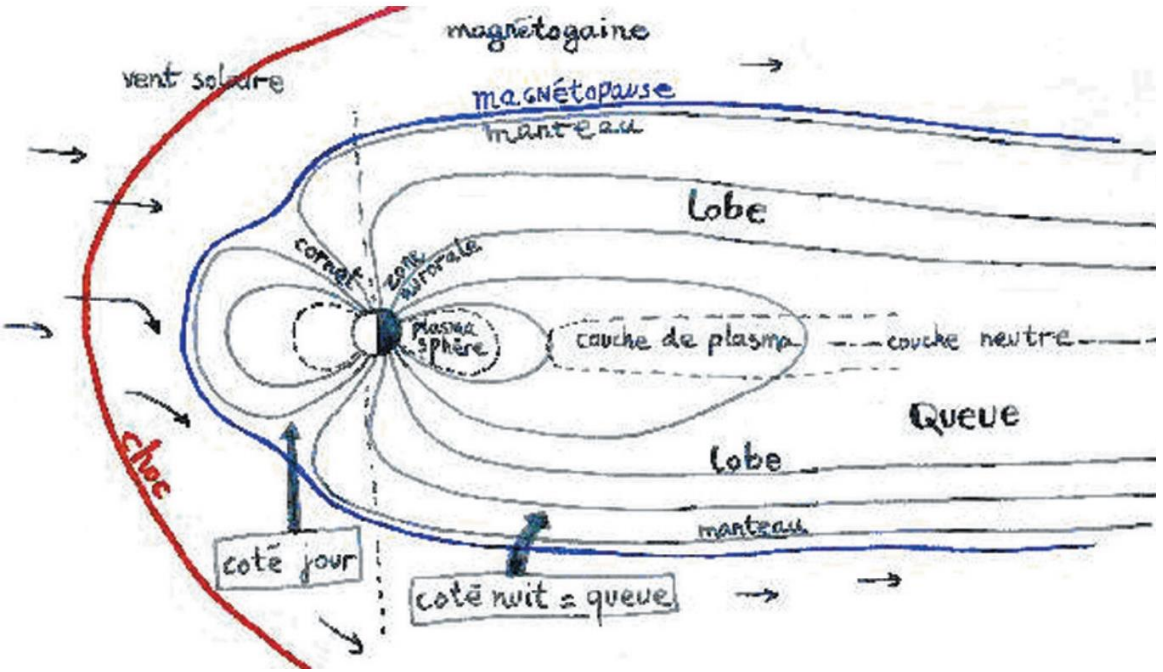


Source: Handbook of Atmospheric Electrodynamics: Volume II, Edited by Hans Volland. Radioastronomical Institute, University of Bonn, Bonn, Germany

La gyrofréquence a une valeur d'environ 1.4 MHz à la base de l'ionosphère, puis diminue progressivement avec l'altitude, car le champ magnétique diminue lorsque l'on s'éloigne de la terre. La fréquence haute d'un sifflement sera donc limitée suivant l'altitude atteinte par le tube dans lequel il se propage.

$$f_g(Hz) = \frac{1}{2 * \pi} * \frac{q_e * B_0}{m_e}$$
$$= 1{,}399\ MHz$$

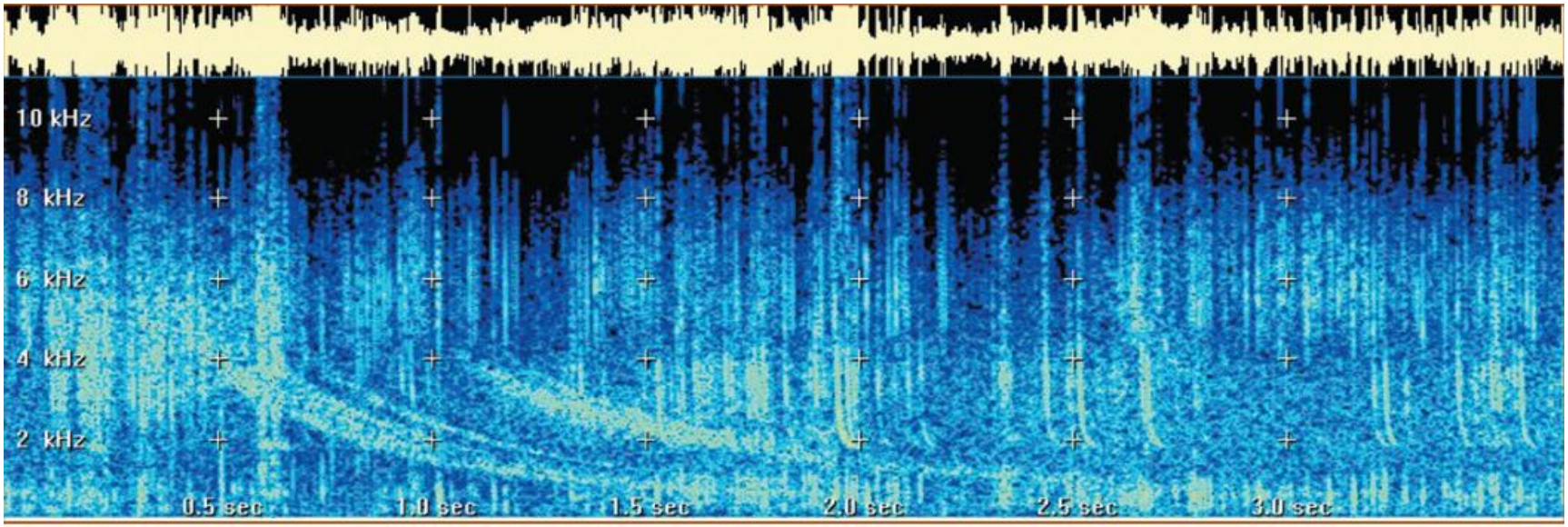
q_e= 9,109.10^{-19} C (charge de l'électron)
B_0= 50 uT = 50.10^{-6} T (Champ magnétique terrestre en Tesla)
m_e= 9,109.10^{-31} Kg (Masse de l'électron)



Source Thierry Alvès, F4EOB, RADIO-REF 777 mai 2005

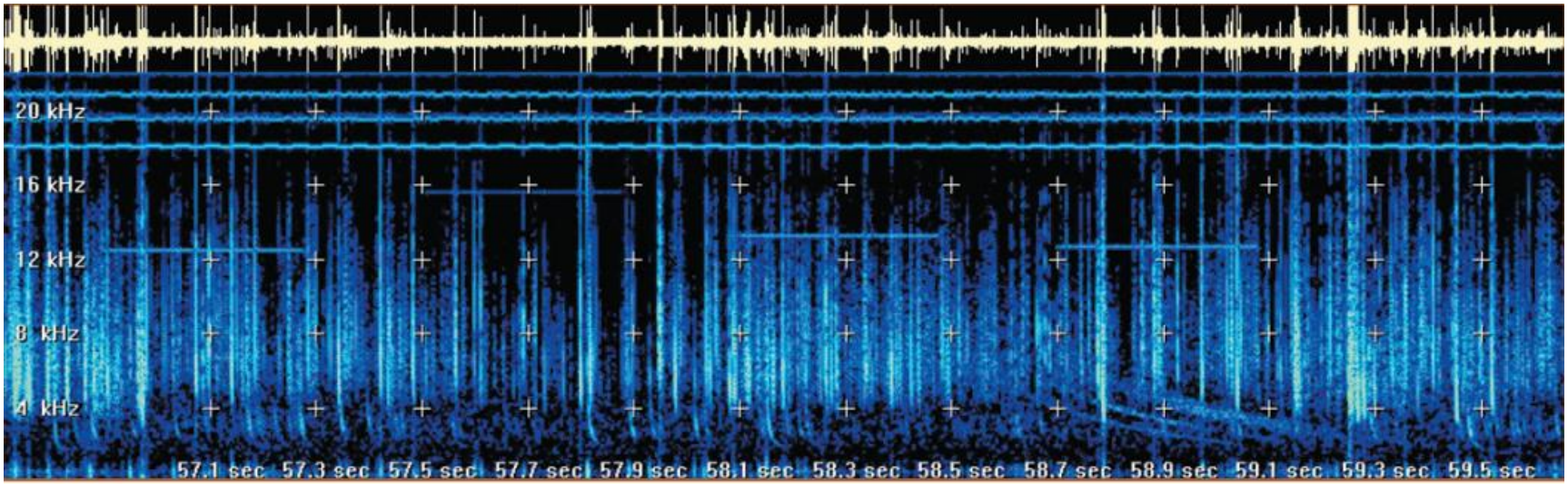
Echos de sifflements (Whistler Echos)

- Lorsque les conditions sont bonnes, l'Energie des sifflements peut être réfléchie au travers du canal d'origine, puis réfléchie une nouvelle fois vers sa destination, il s'agit de « Whistler echo »
- Plusieurs échos de sifflements se nomment « echo trains »
- Lors de chaque réflexion l'énergie se disperse
- Des trains d'une centaine de réflexions ont déjà été observés

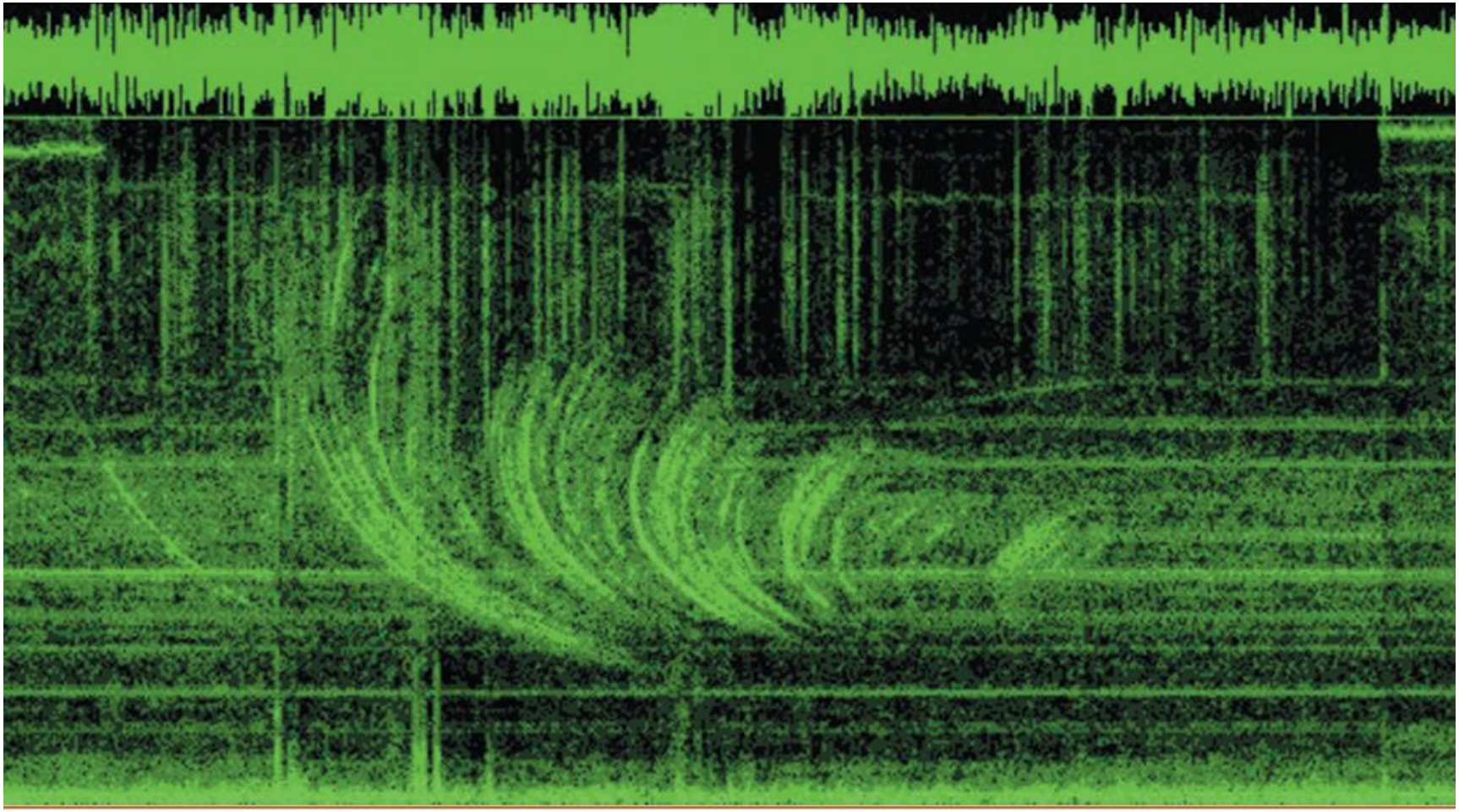


Spectrogramme d'un sifflement double.

[Lien vers la vidéo]

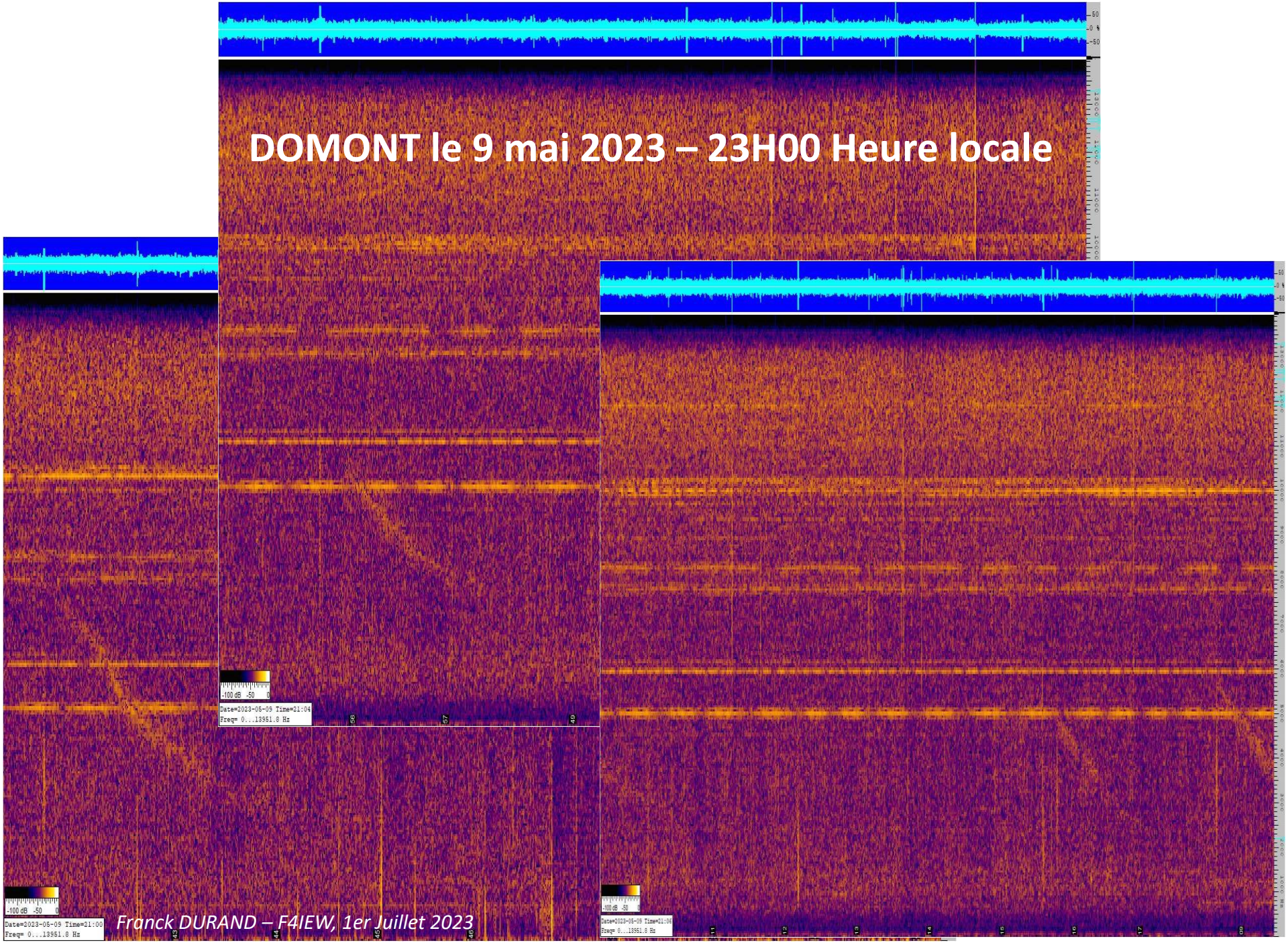


Sifflement triple.

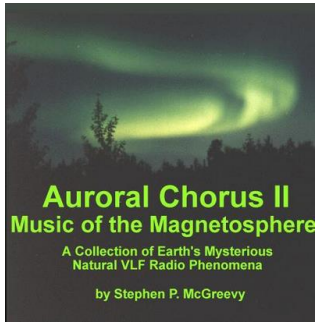


Spectrogramme d'un sifflement " nez "..

DOMONT le 9 mai 2023 – 23H00 Heure locale

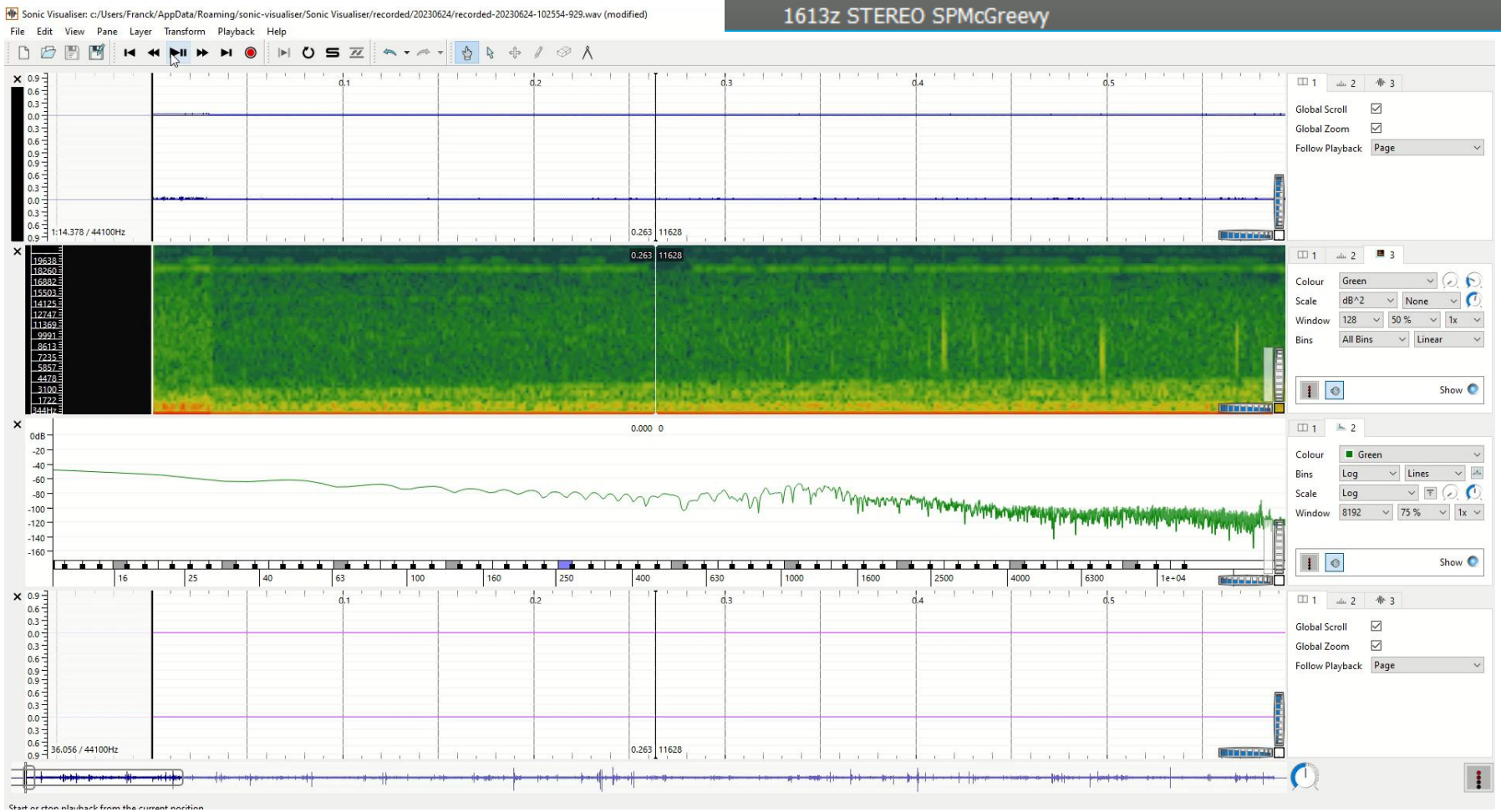


Franck DURAND – F4IEW, 1er Juillet 2023

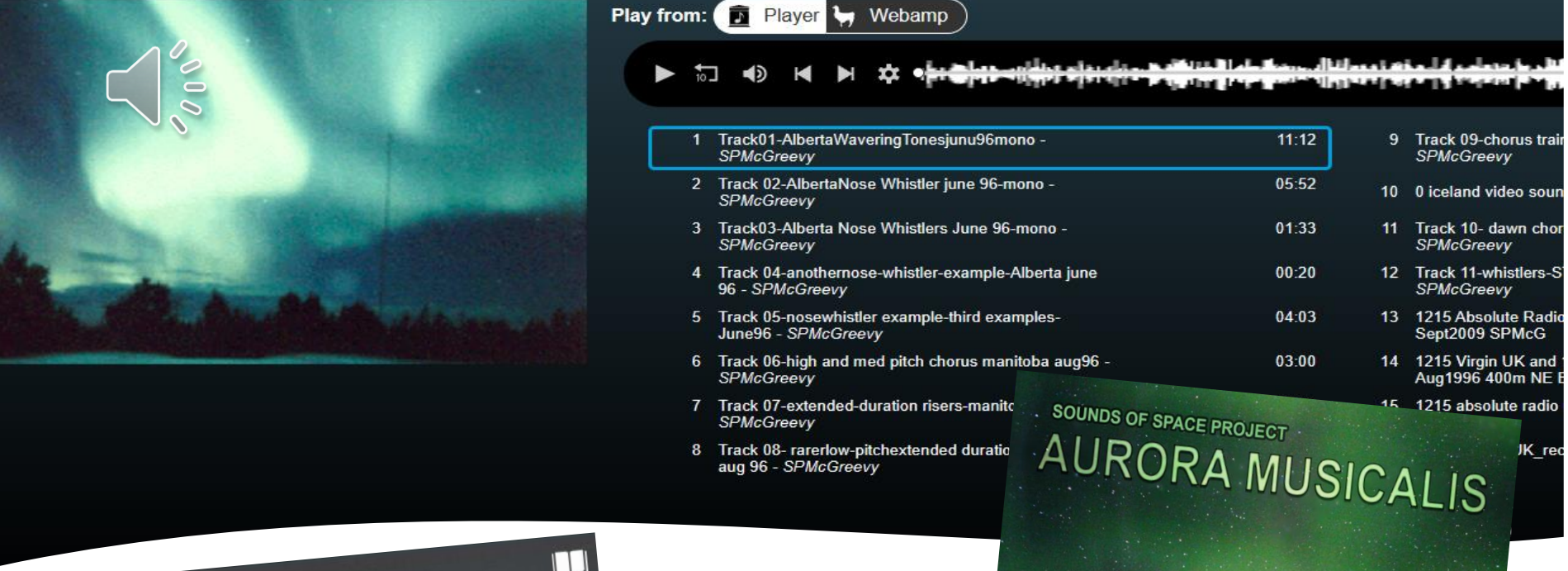


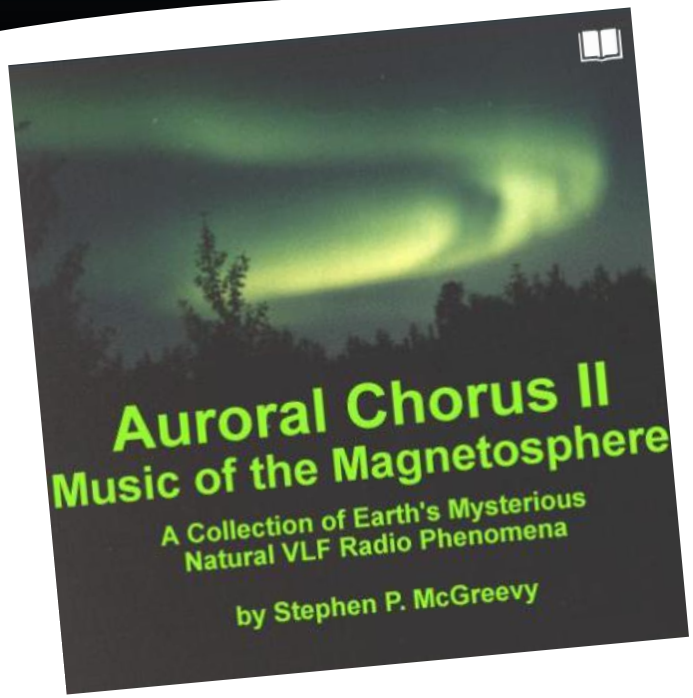
Le sifflement électromagnétique est une onde électromagnétique naturelle à très basse fréquence (300 Hz à 10 kHz) qui est générée dans le plasma de l'ionosphère ou de la magnétosphère terrestre. Son nom est dérivé de ses propriétés spectrales incohérentes et sans structure qui, lorsqu'elles sont lues via un système audio, sonnent comme un bruit blanc ("sifflement").

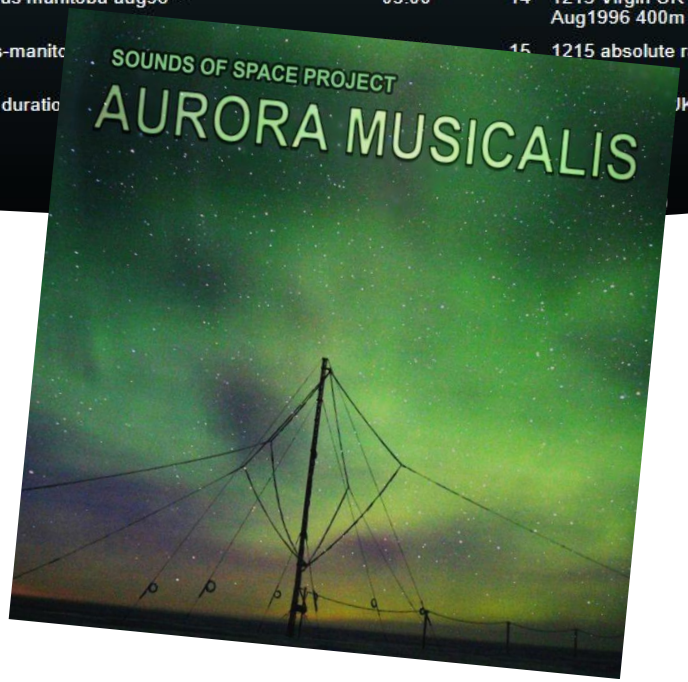
20 Saskatchewan Hiss and Whistlers 29June2001 06:35
1613z STEREO SPMcGreevy



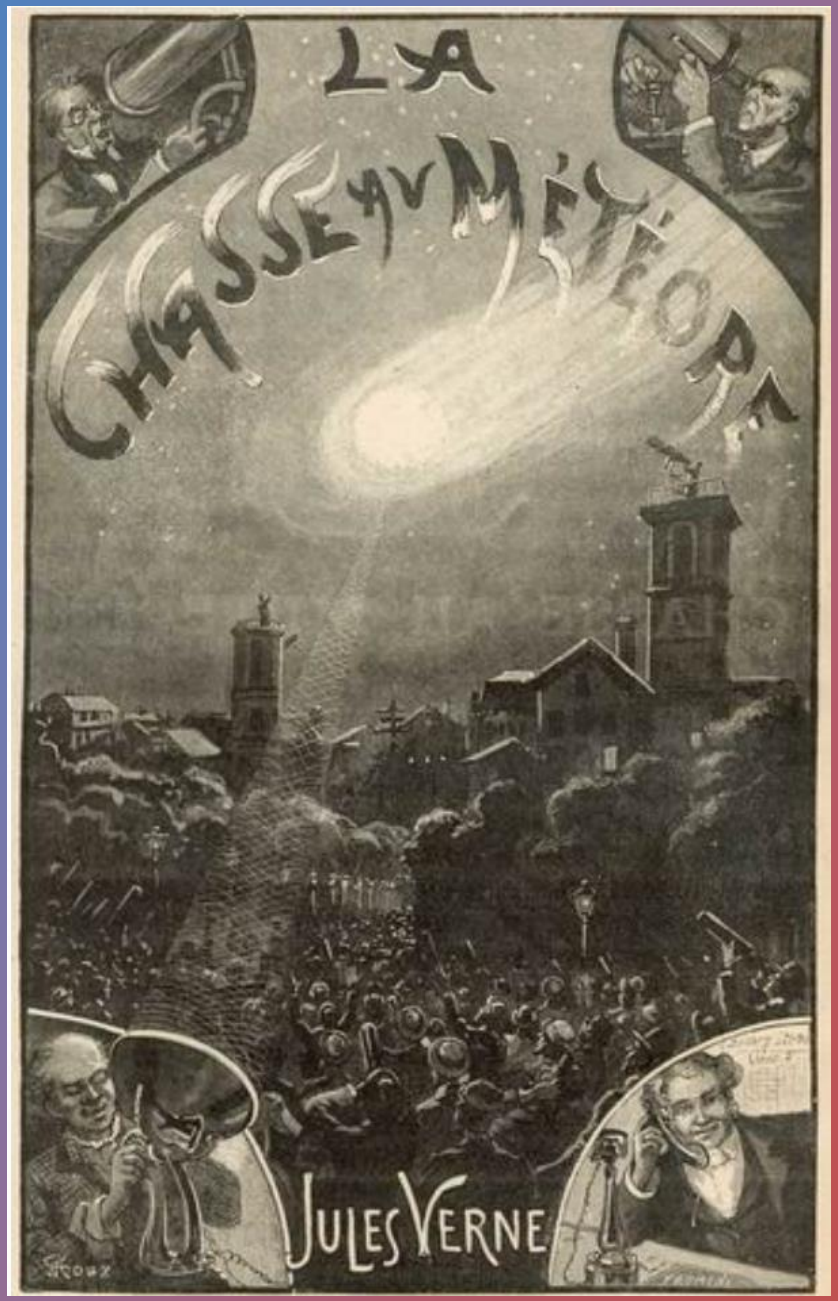
Franck DURAND – F4IEW, 1er Juillet 2023







- https://archive.org/details/auroral_chorus_2_cd
- Auroral Chorus II: The Music of the Magnetosphere : Stephen P. McGreevy : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive
- https://www.bas.ac.uk/media-post/aurora-musicalis/



A l’écoute des Météores

Les Perséides sont un essaim de météores (ou pluie d'étoiles filantes) visible dans l'atmosphère terrestre. Les enregistrements ont été réalisés sur la période des Perséides qui s’étend du 15 juillet au 25 août, et s’intensifie particulièrement du 10 au 14 août.

Chaque année, la Terre traverse un nuage de poussières et de cailloux, débris de la comète 109P Swift-Tuttle dont l’orbite croise celle de notre planète. Certains de ces débris pénètrent dans l’atmosphère terrestre à grande vitesse (environ 58 kilomètres par seconde soit environ 210 000 km/h) et provoquent des traînées lumineuses dans le ciel (étoiles filantes) ainsi que des perturbations électromagnétiques dans l’ionosphère objet des enregistrements

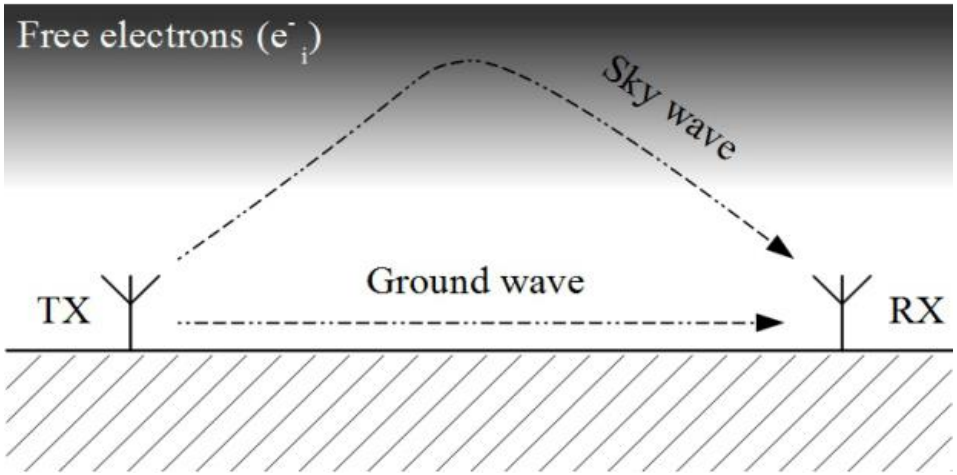
L'ionosphère terrestre bloque quasiment tous les rayonnements très basses fréquences provenant de l'espace.

Par contre, l'ionosphère terrestre est sensible à des phénomènes qui modifient plus ou moins localement sa densité ou l'altitude de ses couches.

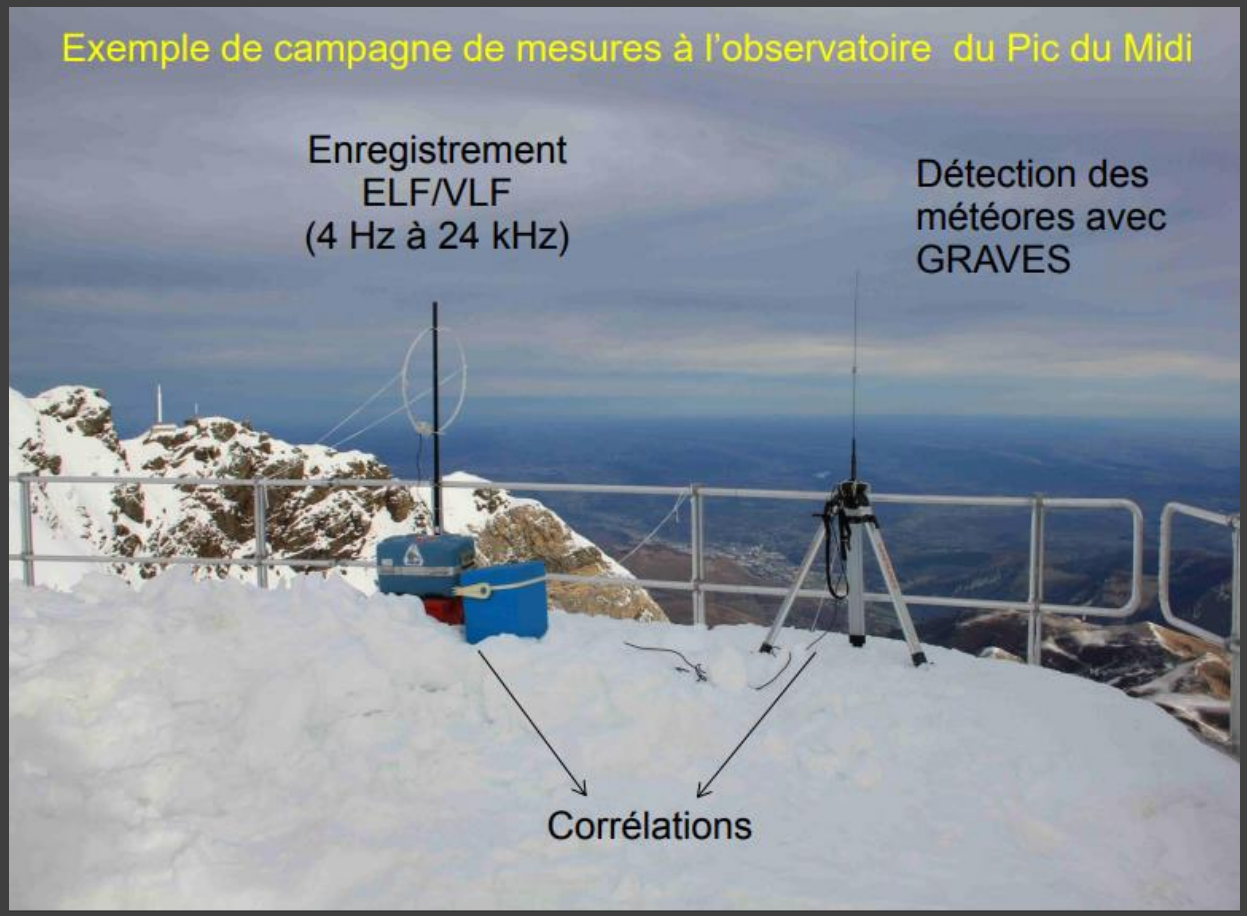
Parmi ceux-ci:

- lever et coucher du Soleil
- éclipses de Soleil
- flots de particules et de rayons X émis par les éruptions solaires
- rayons gamma émis par des étoiles
  - entrée de météores dans l'atmosphère

Tous ces phénomènes dont la durée s'étend sur quelques secondes à plusieurs minutes peuvent être observés à l'aide d'un récepteur qui couvre la bande de 0 à 24 kHz (une carte son basique de PC suffit alors), ou mieux 0 à 48 ou 96 kHz avec une carte son "Hi-Fi".

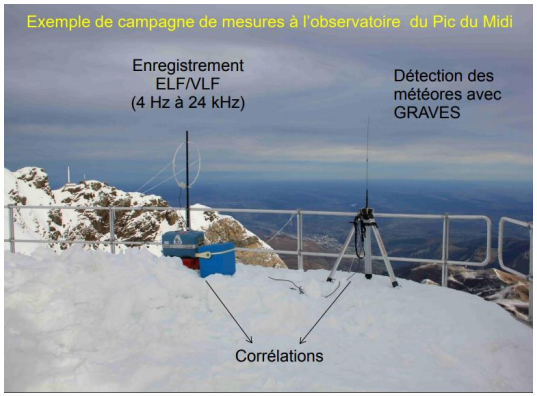


Lien vers la vidéo



Recherche de radiations VLF éventuelles par les météores
Campagne de mesures Perséides 2010 - Jean-Louis RAULT F6AGR

Radar militaire GRAVES (143,050 MHz)



- **Recherche des perturbations VLF induites par les météores**

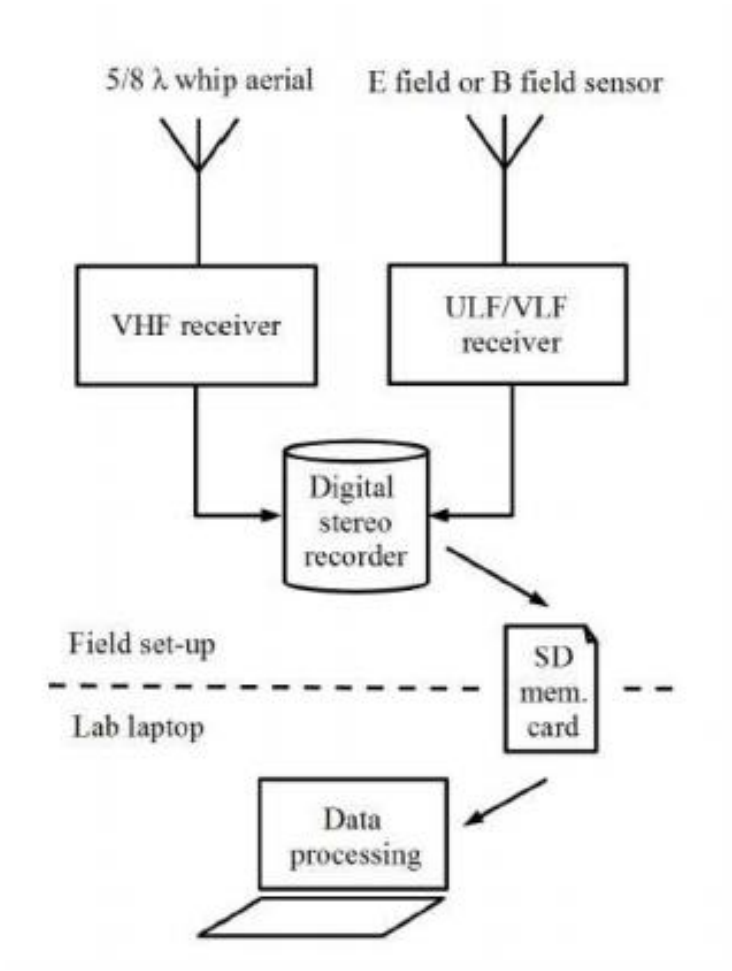
Les variations transitoires de phase VLF et d'amplitude se produisant pendant les pluies de météorites ont été rapportées dans le passé, mais ces variations ont été observées sur une base statistique et uniquement sur des échelles de temps longue (c'est-à-dire des valeurs moyennes), mais n'étaient pas directement liées à un seul météore.

- **Observation d'une première perturbation VLF transitoire induite par un seul météore**

Le principe retenu pour cette expérimentation consiste à enregistrer simultanément tous les évènements de la gamme radio VLF entre 5 Hz et 24 kHz d'une part, et l'ensemble de l'activité météorique détectable autour du lieu d'observation, d'autre part. La détection des météores est effectuée selon le principe du radar bistatique. Un émetteur VHF (Very High Frequency) lointain est utilisé pour illuminer en altitude les météores incidents et leurs trainées ionisées. Cette expérience a permis de bénéficier des caméras de l'observatoire

Sources: Jean-Louis. RAULT F6AGR Commission Radioastronomie de la Société Astronomique de France Commission Radio de l'International Meteor Organization

Perturbations VLF induites par les météores
Campagne d'enregistrements réalisée par Jean-Louis Rault, Pic du midi en 2010



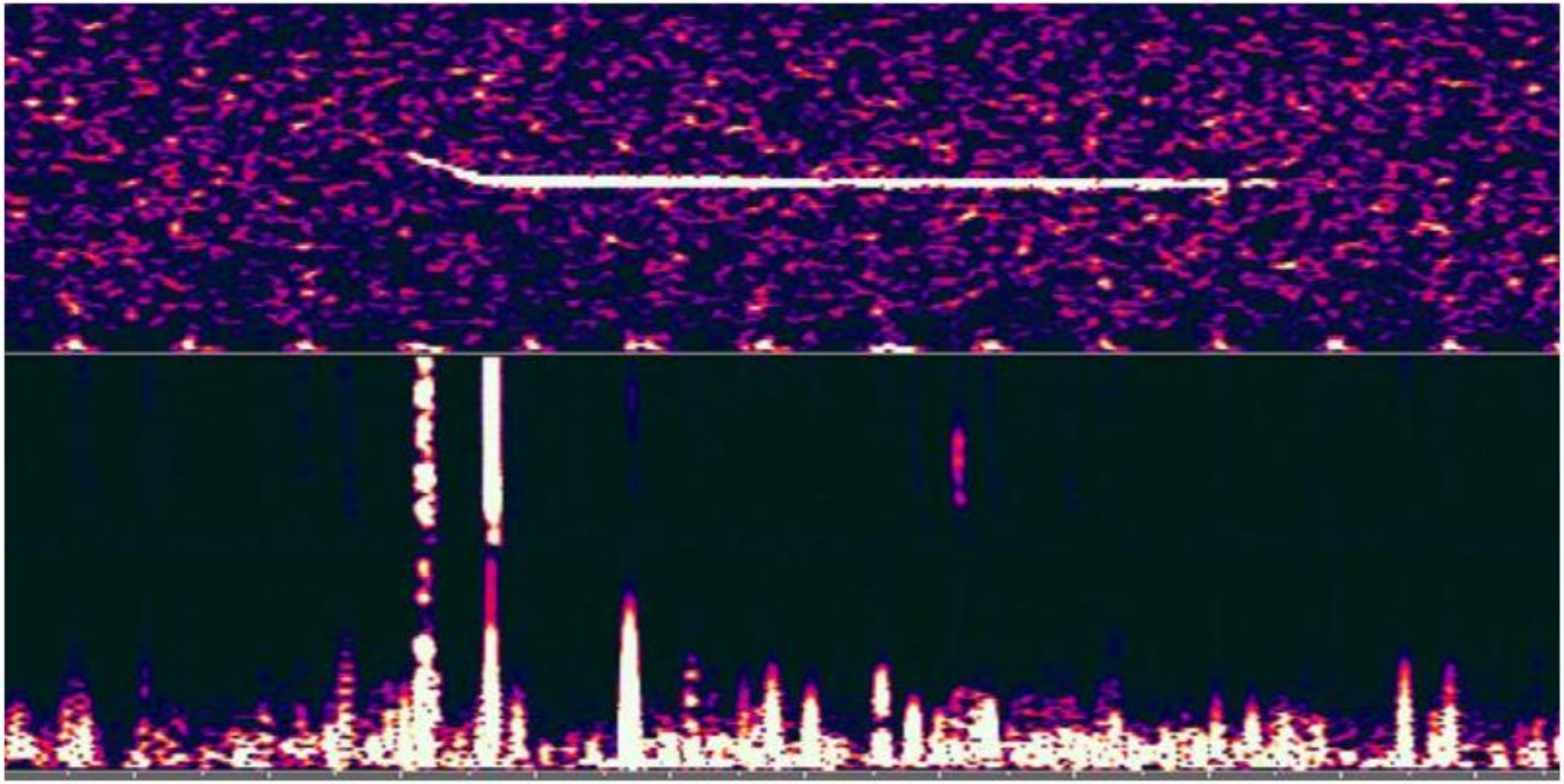


Figure 8 – VLF spikes during a meteor head echo (frequency domain)

http://www.vlf.it/F6AGR/meteorsignatures.html

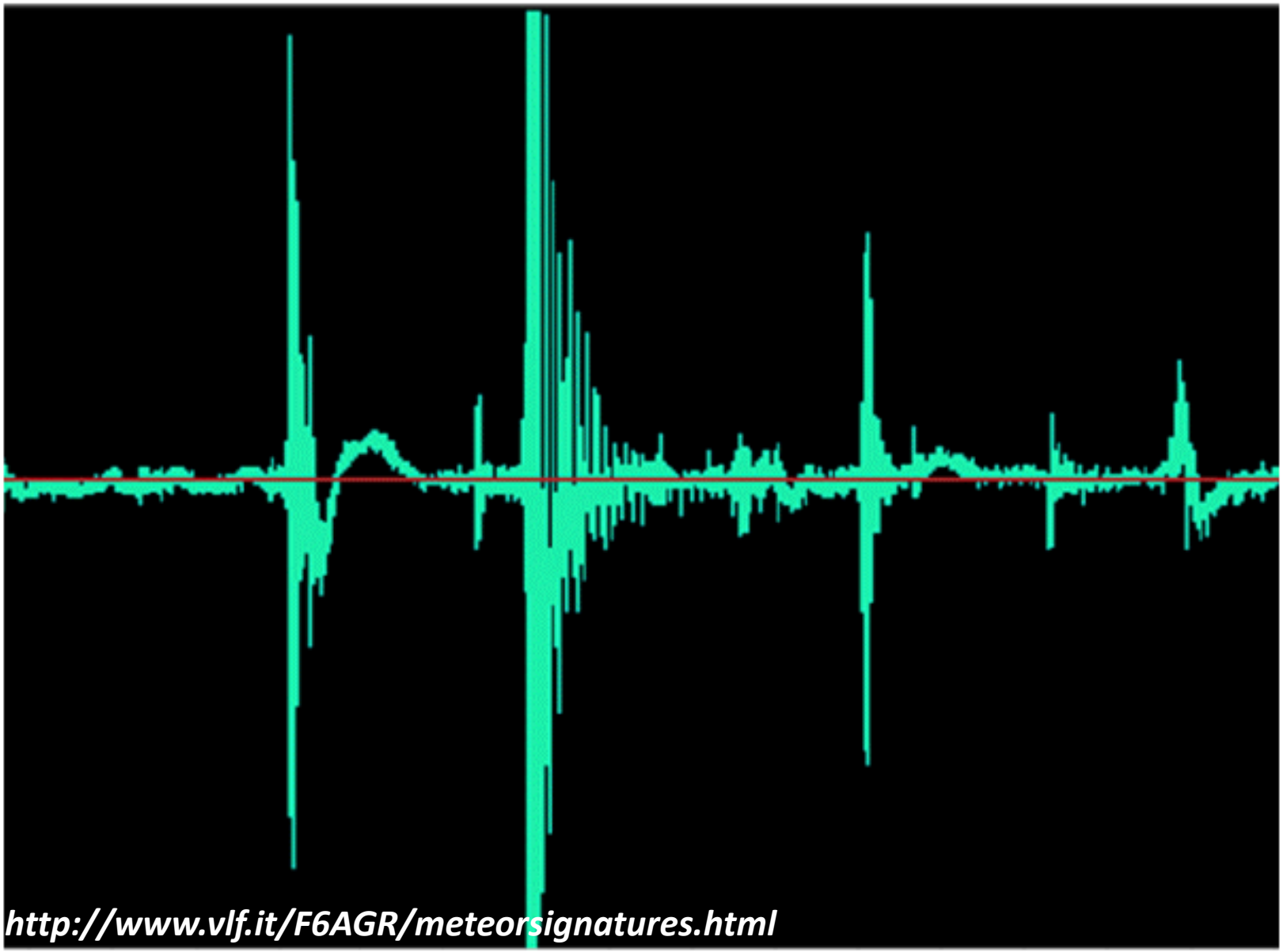


Figure 9 – Same VLF spikes but seen in the time domain

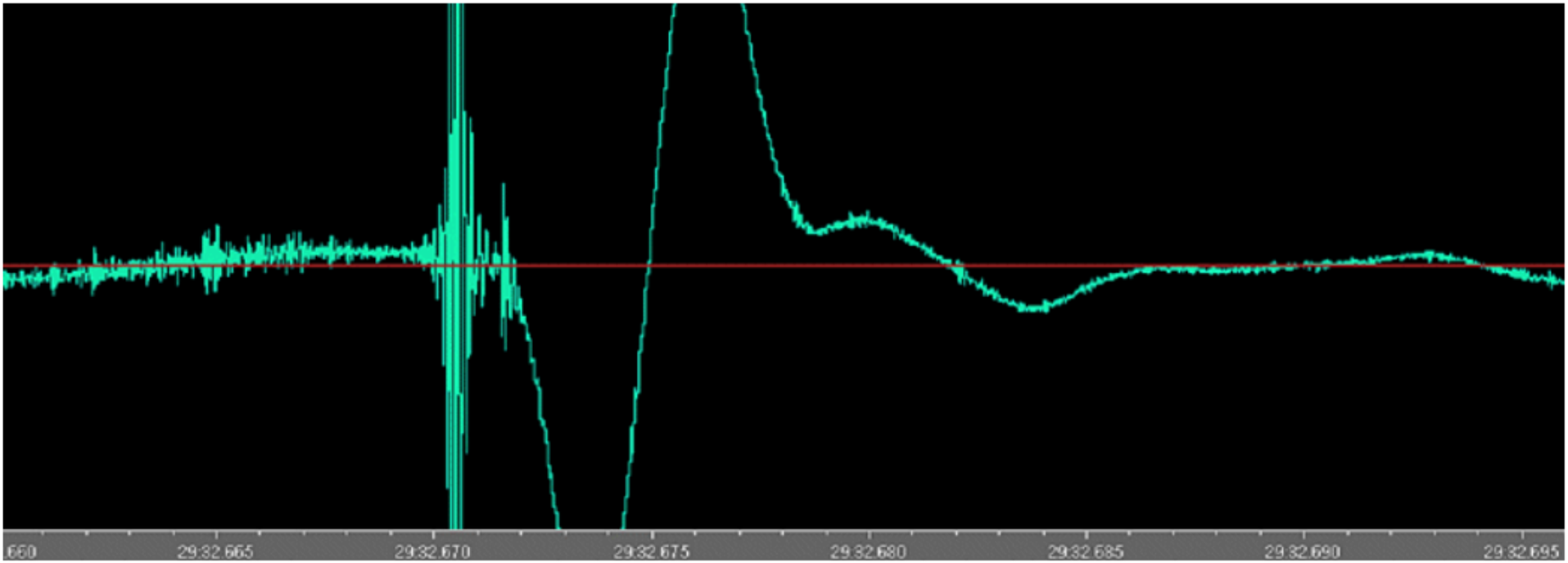


Figure 11 – Time domain representation of a very large ELF spike associated with a meteor ping

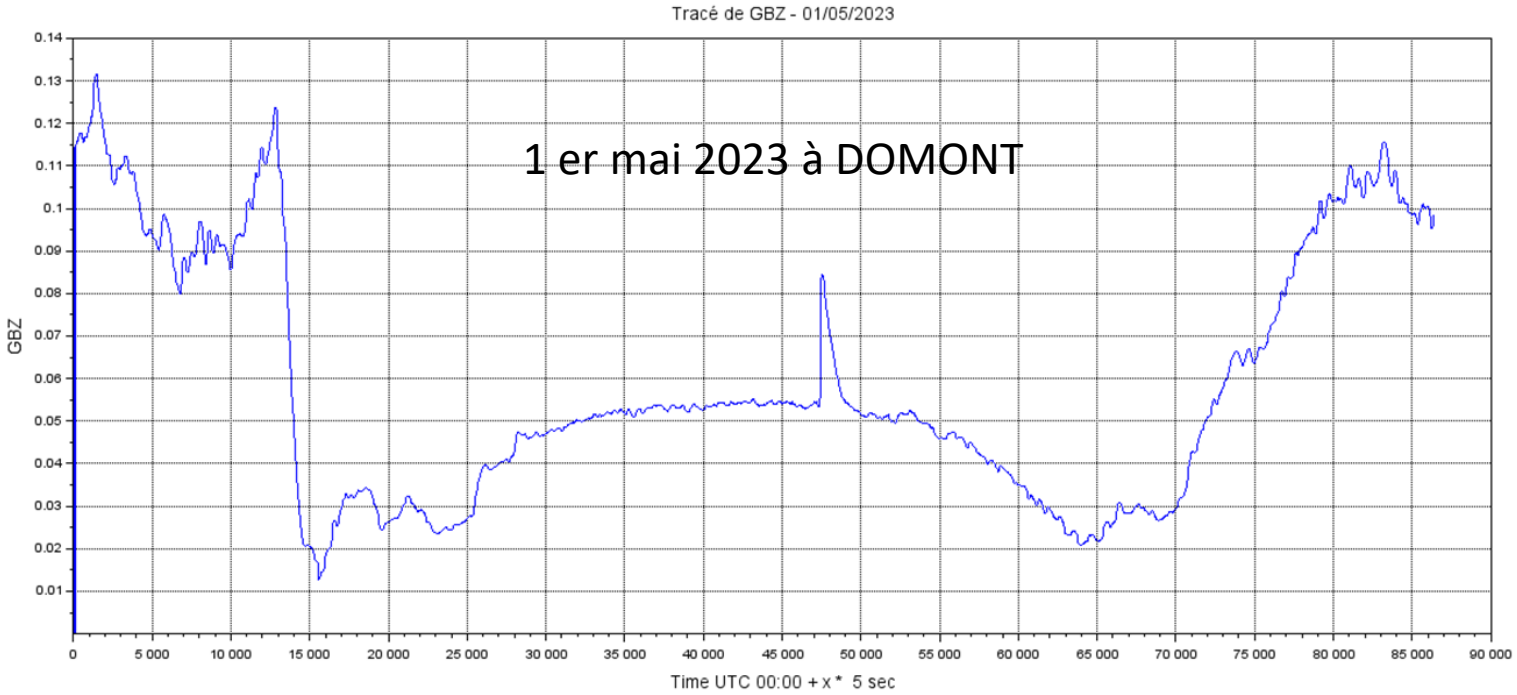
http://www.vlf.it/F6AGR/meteorsignatures.html

Sudden Ionosphéric Disturbance

- **Une perturbation ionosphérique à début brusque ou PIDB (Sudden Ionospheric Disturbance - SID en anglais) résulte d'une ionisation anormalement élevée de la couche D de l'ionosphère faisant suite à une éruption solaire.**
- **la perturbation ionosphérique modifie la propagation des ondes très basses fréquences. L'AAVSO (American Association of Variable Star Observers) définit une perturbation ionosphérique soudaine ainsi: "L'ionosphère terrestre réagit à l'intense rayonnement X et UV libéré durant une éruption solaire. La perturbation améliore la propagation des ondes très basses fréquences (Very Low Frequency - VLF). La surveillance du signal d'un émetteur très basse fréquence distant permet ainsi de détecter une éruption solaire récente.**
- **Les éruptions solaires ont des effets jusque dans notre environnement immédiat, et plus particulièrement sur une région de l'atmosphère appelée ionosphère.**

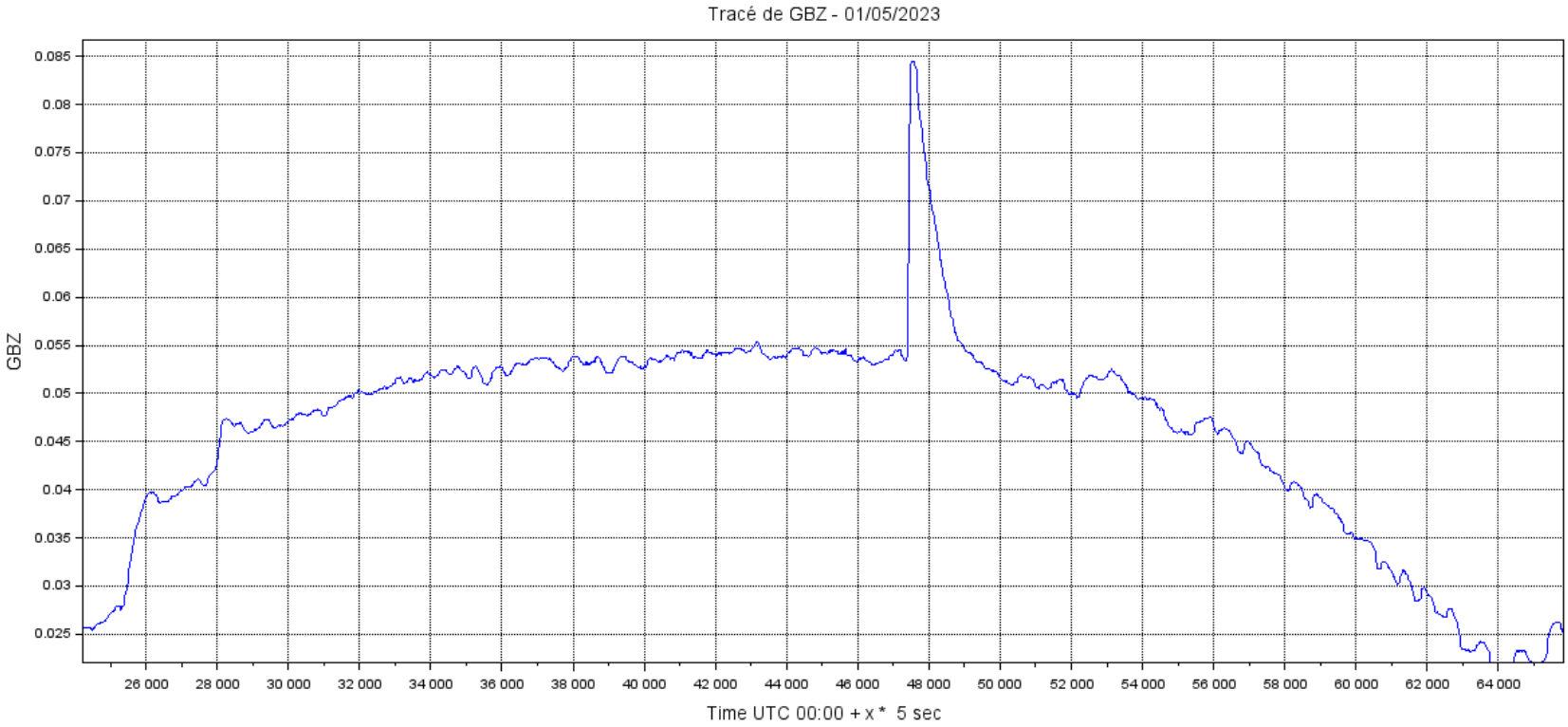
Sudden Ionosphéric Disturbance

Il s'agit de la réception effectuée à Domont (95) en VLF (19.580 KHz) de la station GBZ située à Anthorn (UK). Le tracé nous renseigne sur les SID (*sudden ionospheric* disturbance ou perturbation ionosphérique à début brusque).

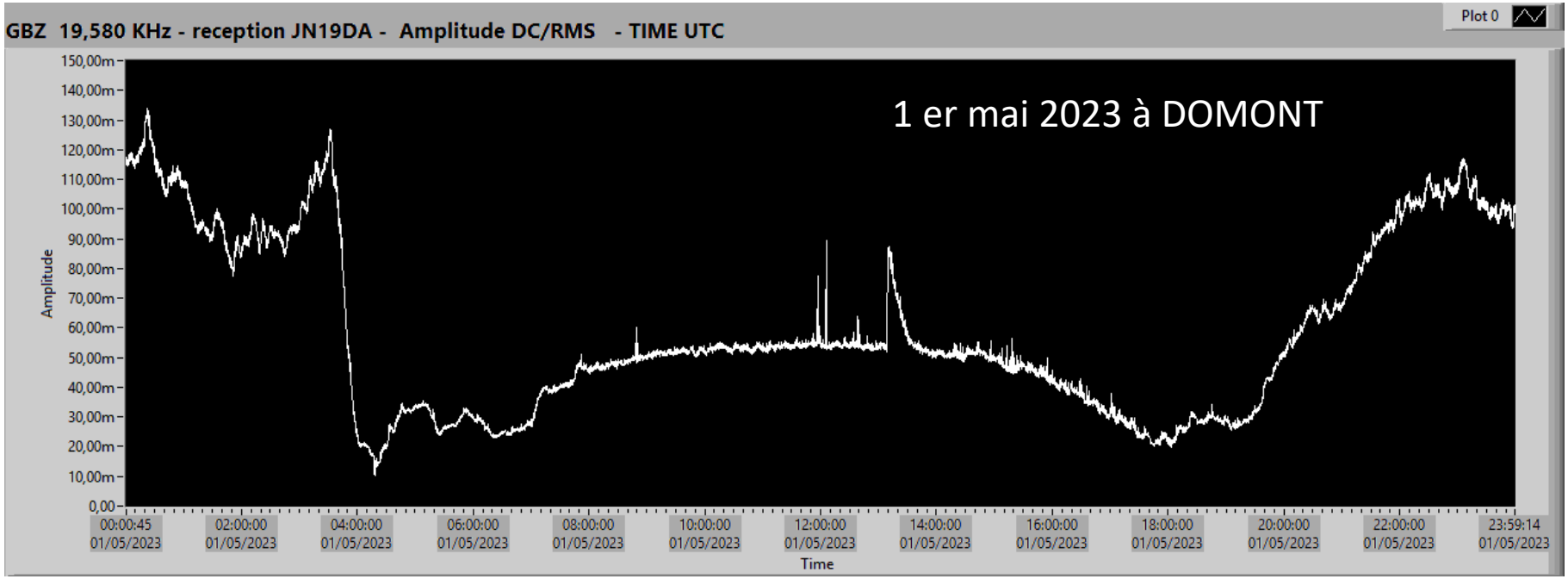


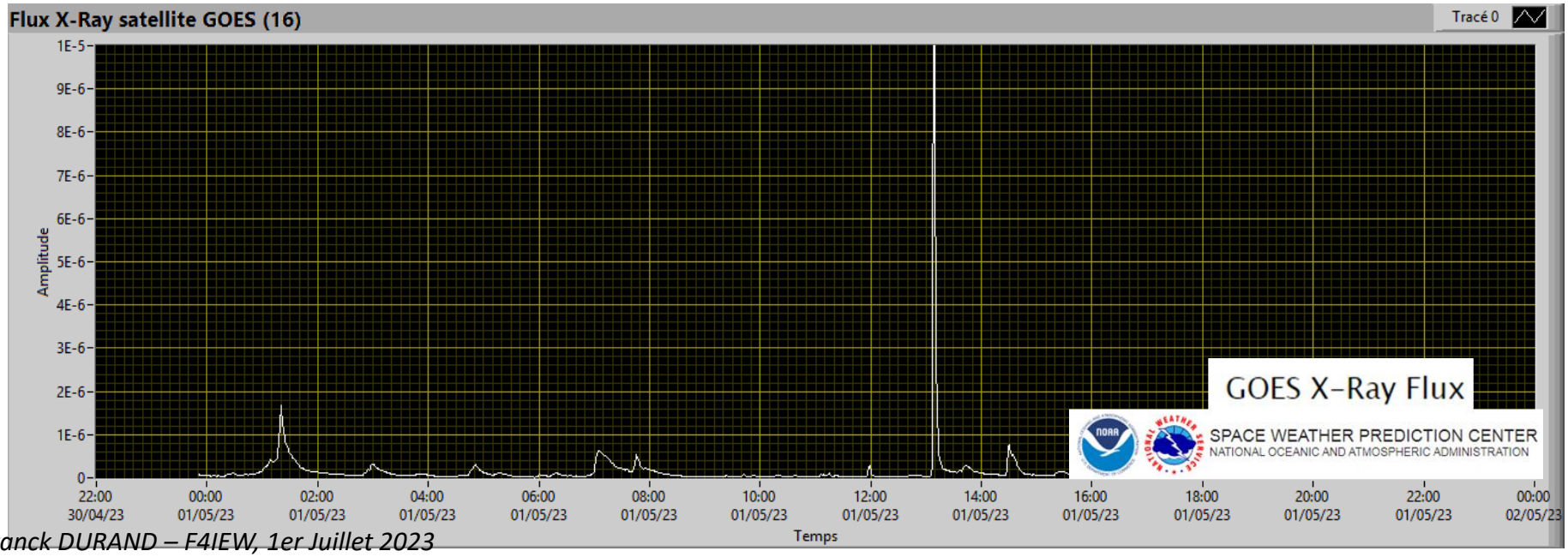
Les éruptions solaires peuvent être détectées aux fréquences VLF. Ceci est souvent réalisé en surveillant en permanence les niveaux des signaux des transmissions militaires. Une éruption solaire est causée par l'effondrement soudain du champ magnétique très fortement sollicité dans la région d'une tache solaire.

Franck DURAND – F4IEW, 1er Juillet 2023



1 er mai 2023 à DOMONT





Franck DURAND – F4IEW, 1er Juillet 2023

Station de transmission d'Anthorn

L'émetteur VLF est principalement utilisé pour transmettre des ordres aux sous-marins en **19,6 kHz.** Son indicatif est **GQD.** Les transmissions VLF sont relativement peu affectées par les explosions nucléaires atmosphériques et Anthorn faisait autrefois partie du lien entre le radar d'alerte précoce de Fylingdales, et le système de défense aérienne des États-Unis.

À l'origine, la station avait été conçue pour émettre un seul canal télégraphique à 45,5 bauds et à des puissances comprises entre 50 kW à 16 kHz et 100 kW à 20 kHz. Par la suite, le débit de données a été augmenté à 50 bauds et la stabilité de la porteuse améliorée.

Il s'agit d'une installation de l'OTAN contrôlée par le Quartier général de Northwood tels que trois autres émetteurs VLF en Norvège, en Allemagne et en Italie. Conformément à la procédure applicable aux projets OTAN, le projet a fait l'objet d'un concours entre les pays membres de l'organisation. La British Post Office, agissant en tant que conseiller technique et agent du ministère de la Défense, a choisi le site, négocié le contrat et supervisé les travaux, avec l'aide du ministère des Bâtiments et Travaux publics. Le contrat a été passé le 26 octobre 1961 avec Continental Electronics Systems Incorporated de Dallas, Texas. Cette société avait déjà construit une station similaire mais beaucoup plus grande dans le Maine, aux États-Unis. Les travaux ont commencé en 1962 et la station a été acceptée au sein du ministère de la Défense en novembre 1964.

Great-circle distance between two points

- **Station de transmission d'Anthorn**
- **841 Km**
- il est possible de calculer les coordonnées du point milieu (Midpoint), il s'agit du point à mi-chemin le long d'un grand cercle qui relie les deux points (utilisation d'un calculateur sur internet ou d'un script C++ sinon les formules existent)

https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html?fbclid=IwAR21zyC9o0vPq85HrY6Bpu9qvPc2sRV5vMrPBOuAGRVqdUHDUQ_QONUW_Hk

Pour être à l'écoute des ELF/VLF il faut:

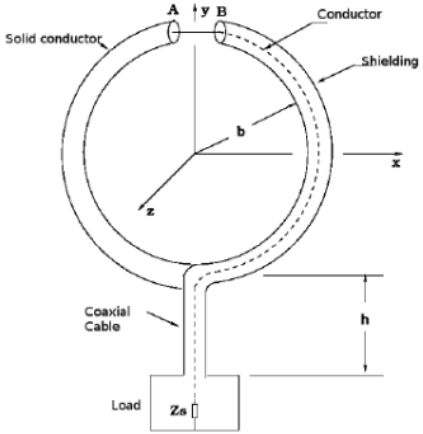
ANTENNE
E-Field / Loop

→

PREAMPLIFICATEUR
ELF/VLF
+10 à 40 dB

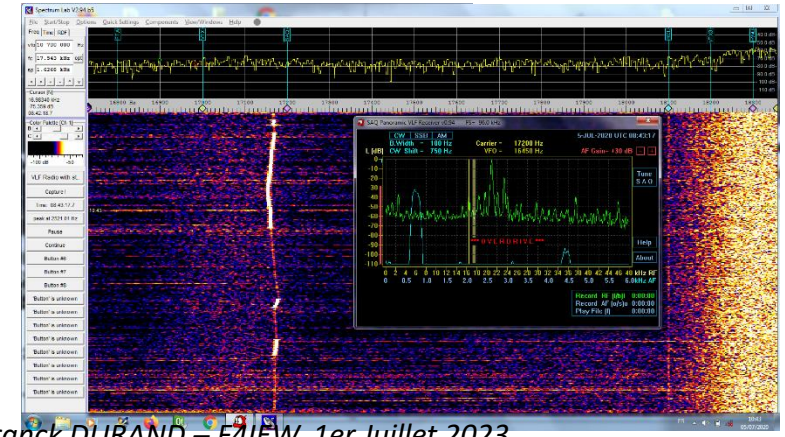
→

Enregistreur audio
numérique ou
Ordinateur + logiciel

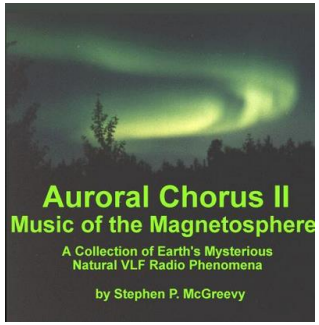


Shielded loop antenna.

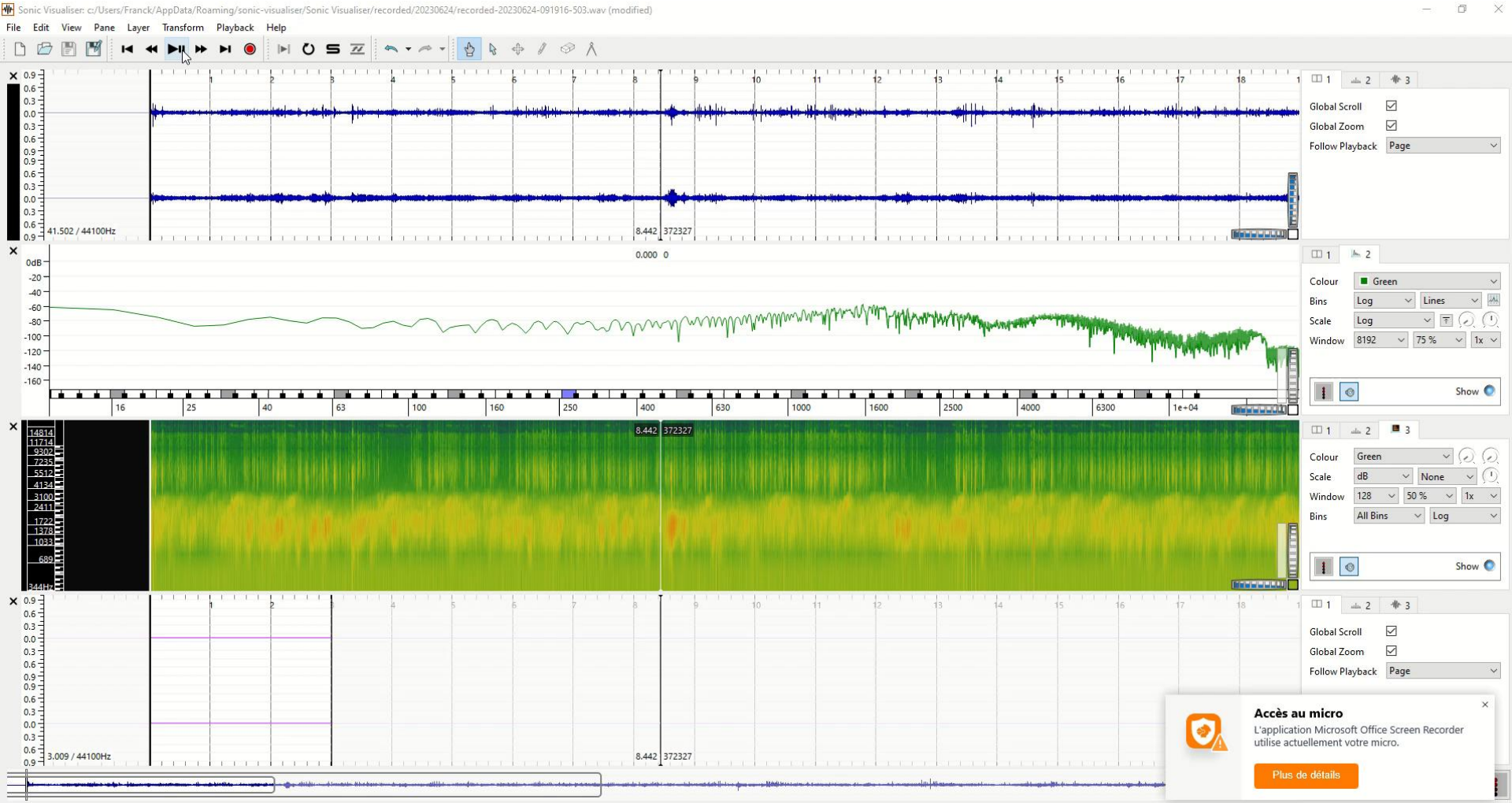
E-Field: composante électrique du champ électromagnétique
Loop: composante magnétique



Réception SAQ - 5 Juillet 2020 - Andilly (95)
Franck DURAND, F4IEW



15 Track 15-dawn Chorus-STEREO-Alberta June 98 - *SPMcGreevy* 05:03



EXPLORING VERY LOW FREQUENCY **NATURAL RADIO**

INSPIRE

INTERACTIVE NASA SPACE PHYSICS
IONOSPHERE RADIO EXPERIMENTS

CLICK HERE ORDER A VLF-3 RADIO RECEIVER KIT TODAY!

INSPIRE VLF-3 RADIO RECEIVERS

Since 1989, INSPIRE has provided radio receiver kits to over 3,900 students and other groups within the United States and internationally to make field observations of VLF signals. The INSPIRE VLF-3 receiver is designed to receive radio waves in the 0-10 kHz frequency range, which is audible to the human ear when converted sound waves by either speakers or headphones.

To order an INSPIRE VLF-3 Radio Receiver, CLICK HERE>

THE INSPIRE JOURNAL

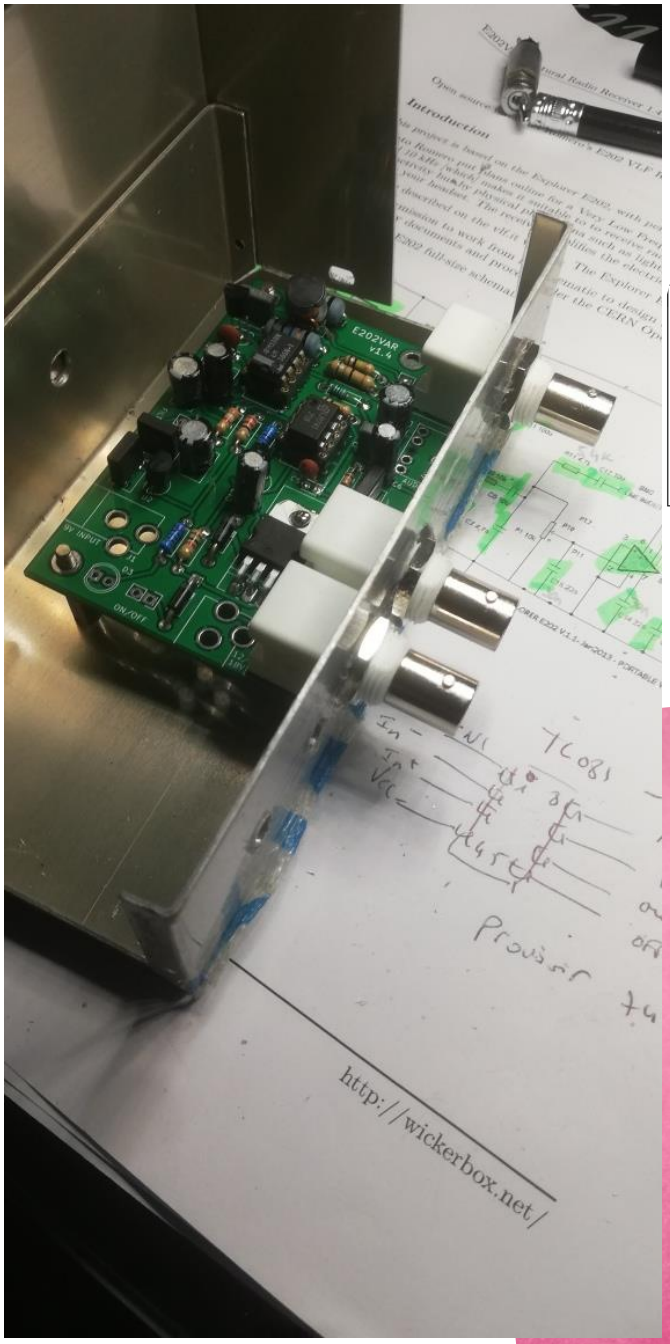
To read the Spring 2022 Volume CLICK HERE>

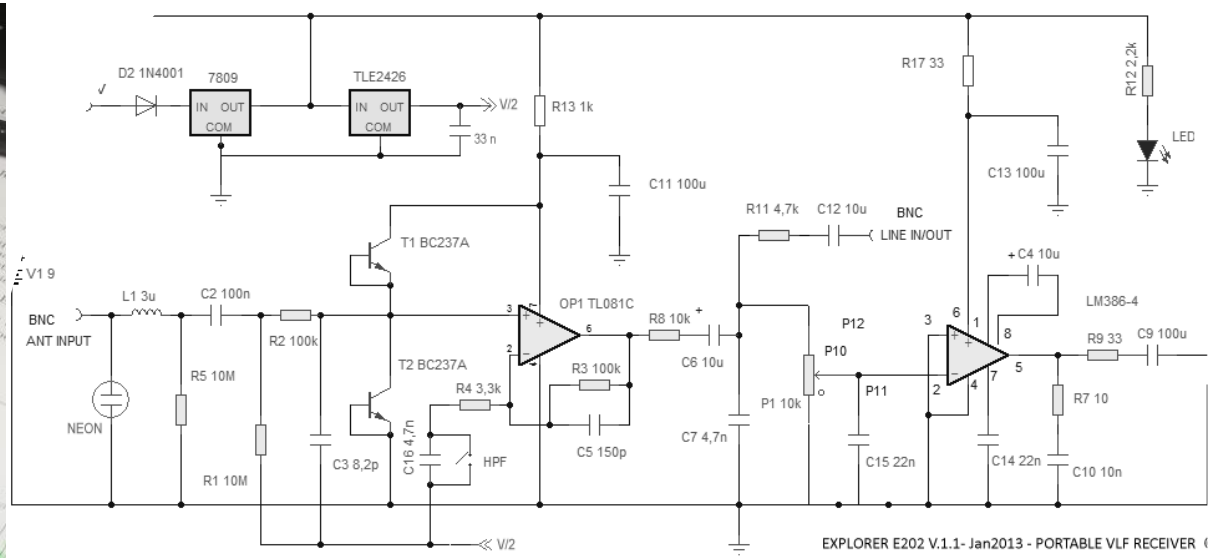
Invest Today for the Exploration of Tomorrow

In 2009, The INSPIRE Project expanded its STEM educational programs to provide scholarships and internships to educators, middle/high school students, and university students to ensure the next generation of space science and technology explorers. INSPIRE's team is comprised of dedicated board members and advisors who volunteer his/her time to make it possible for INSPIRE to continue fulfilling its expanded mission of providing students the resources to pursue study in STEM disciplines.

EXPLORER E202

Franck DURAND – F4IEW, 1er Juillet 2023





Explorer E202 - VLF portable receiver

Franck DURAND – F4IEW, 1er Juillet 2023

Août 2020 depuis la Haute Savoie (Locator JN36HE)

Franck DURAND – F4IEW, 1er Juillet 2023

Préamplificateur de signaux ELF-VLF « DARJEELING V2.1 » d'après le schéma proposé par Jean-Louis, F6AGR

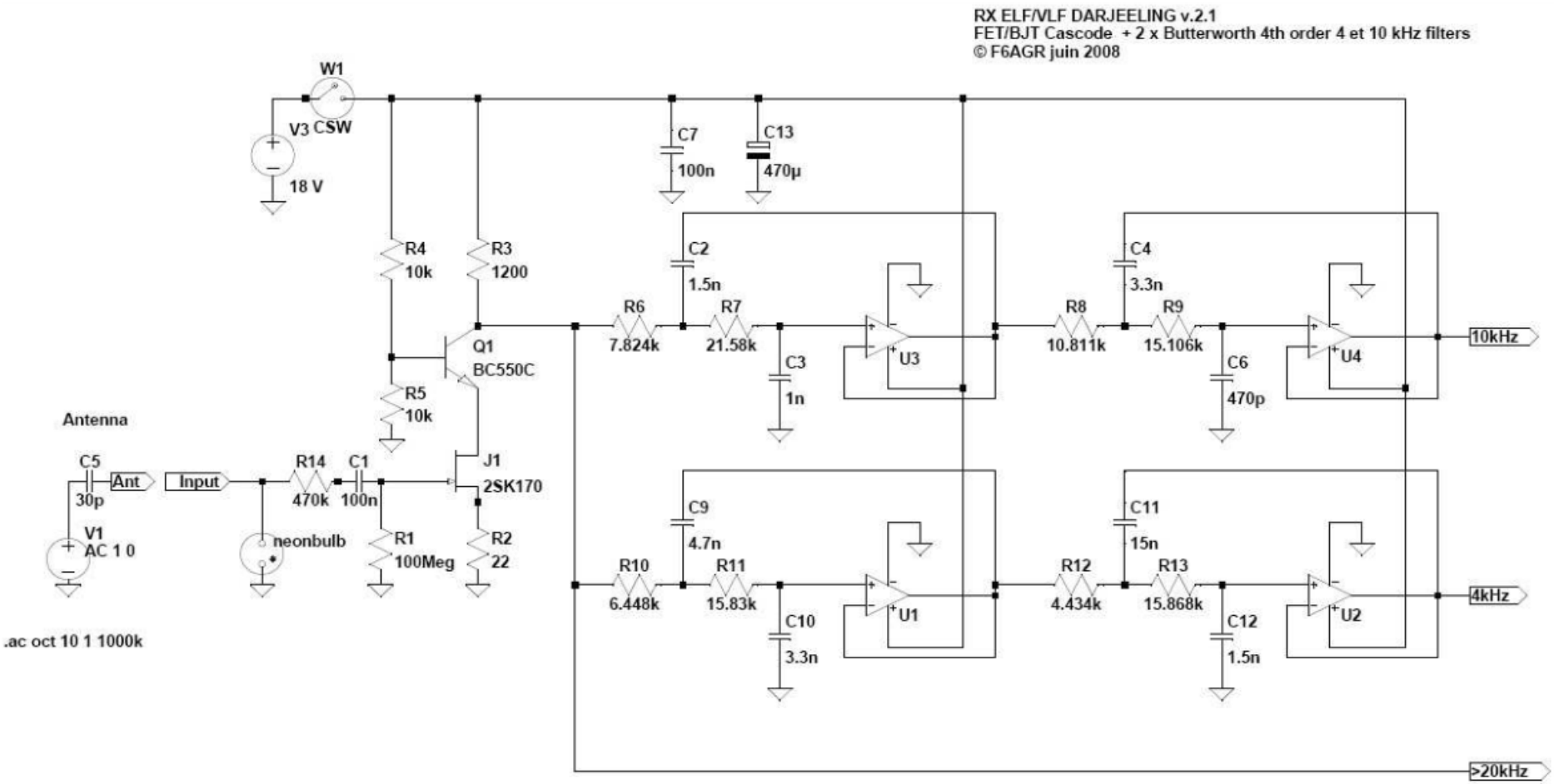
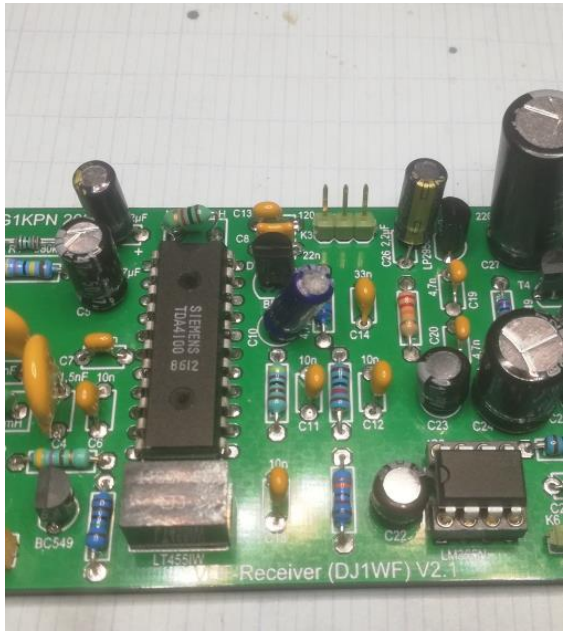


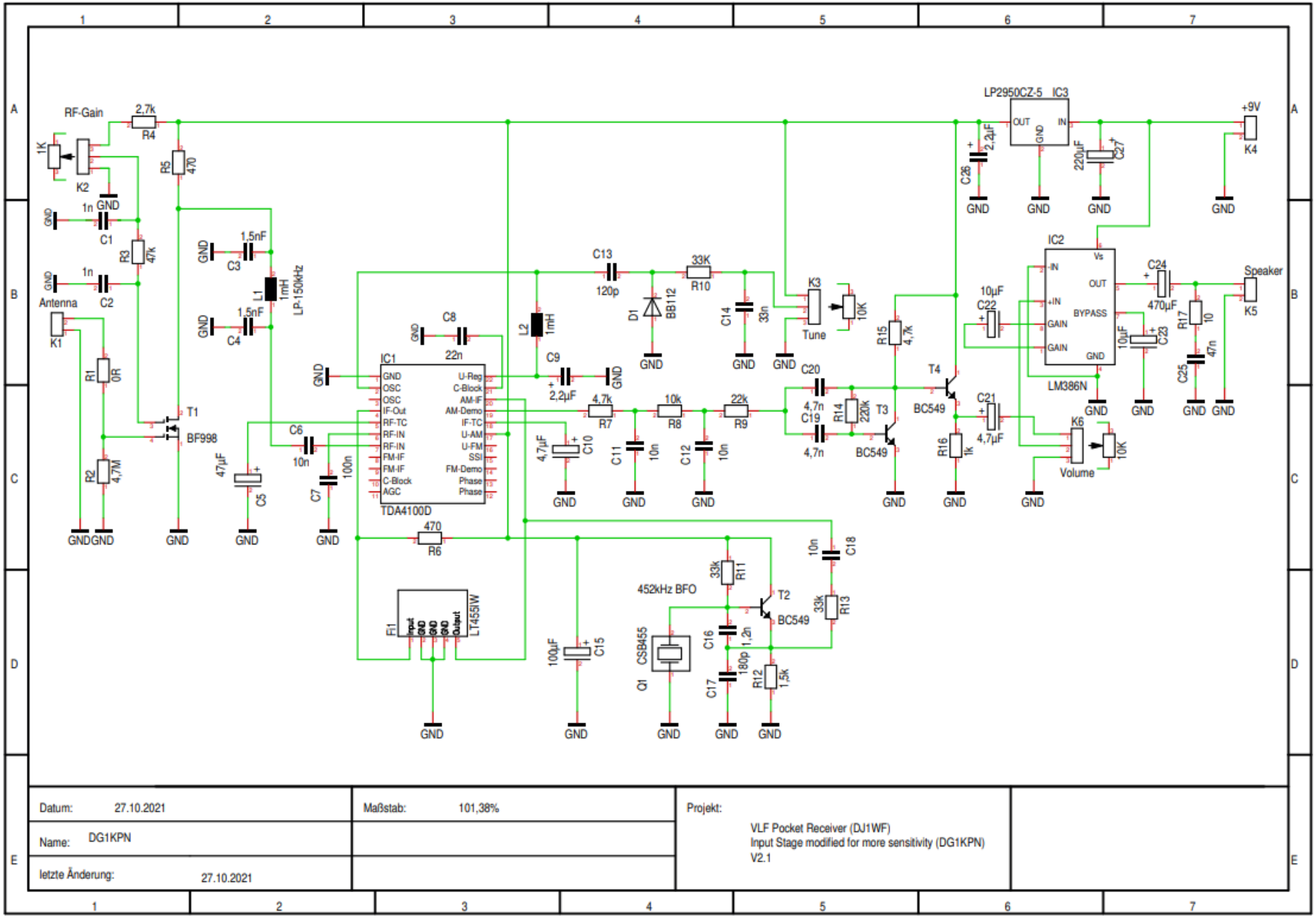
Figure 5 – Diagram of the entire ELF/VLF receiver.



Récepteur portable

Réalisation 2021 depuis le schéma de DJ1WF modifié par DG1KPN

Franck DURAND – F4IEW, 1er Juillet 2023



Datum: 27.10.2021	Maßstab: 101,38%	Projekt: VLF Pocket Receiver (DJ1WF) Input Stage modified for more sensitivity (DG1KPN) V2.1	
Name: DG1KPN			
letzte Änderung: 27.10.2021			

Franck DURAND – F4IEW, 1er Juillet 2023

Quelle antenne fabriquer ?

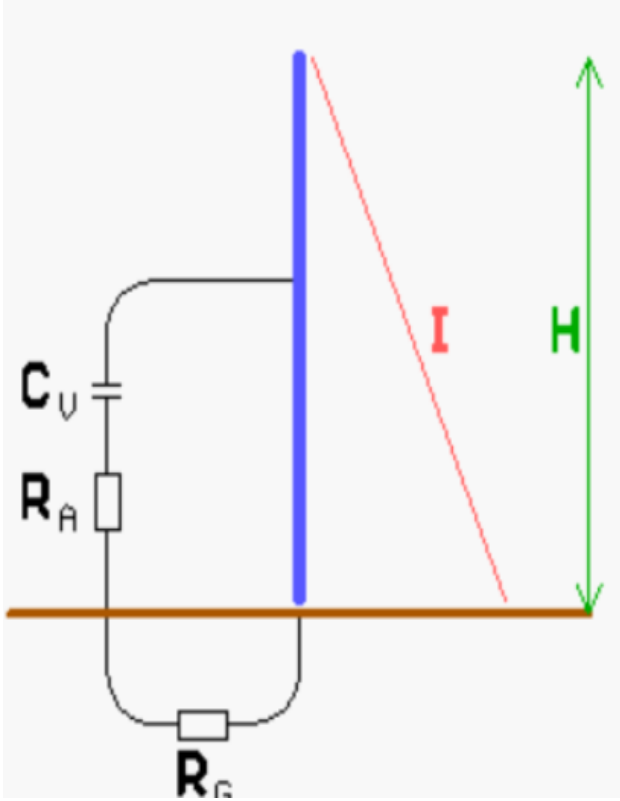
Le monopôle vertical court (E-field) peut être vu comme **la fin** d'un quart d'onde entière, où la distribution de la tension est (presque) constante et la diminution de distribution de courant est (presque) linéaire.

- Un tube métallique de 1m (inox, cuivre …) positionné à un ou deux mètres du sol
- Ou un arbre en guise d'antenne ?
- Espace dégagé des arbres et autres constructions
- Un piquet de terre au pied de l'antenne
- Attention à la capacité série de l'antenne + impédance d'entrée du préamplificateur qui forment un filtre passe haut

$$C_V = \frac{24 \cdot H}{\log\left(\frac{1.15 \cdot H}{d}\right)}$$

$$R_A = \frac{40 \cdot \pi^2 \cdot H^2}{\lambda^2}$$

Cv = environ 10 pF/m



http://www.on8im.be/fr/theorie-antennes-136khz/59-2-2-monopole-vertrical-court.html

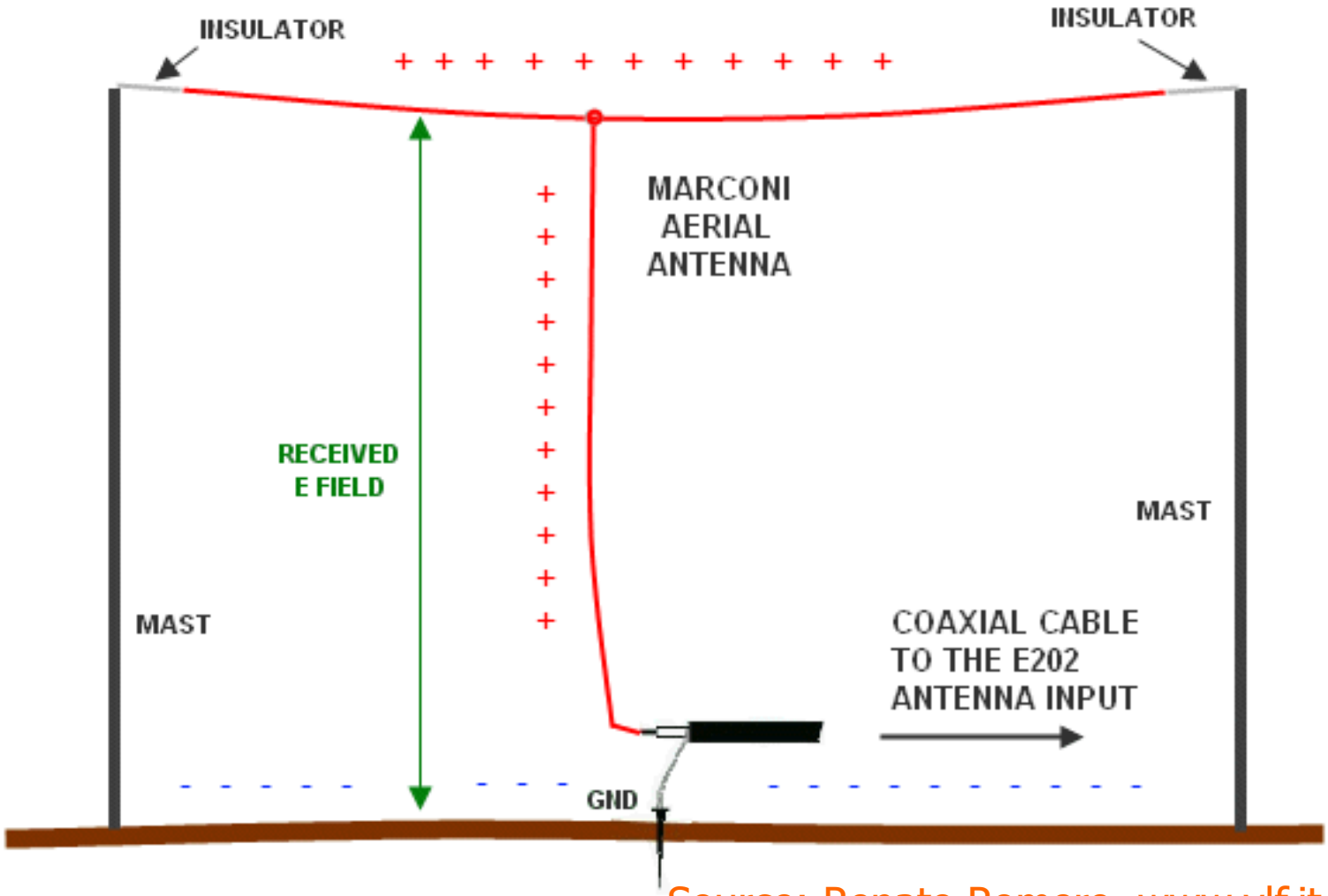
Antennes actives de réception

Une sonde de champ E avec une simple plaque de cuivre, montée sur un balai télescopique

Homebrew E-Field Antenna, http://dl1dbc.net/SAQ/homebrew_e-field.html
https://pa3fwm.nl/technotes/tn07.html

Franck DURAND – F4IEW, 1er Juillet 2023

Antennes de réception



Source: Renato Romero, www.vlf.it

Précautions à prendre pour une bonne réception

- Être dans un endroit éloigné des perturbations électriques car les basses fréquences sont très polluées par les parasites véhiculés par les lignes EDF (en ville mais aussi à la campagne) mais aussi les clôtures électriques, pas de voiture à proximité, etc. …
- Pour l'observation des signaux faibles, il faut s'éloigner au minimum de plusieurs km d'une source électrique (intérêt d'une station portable)
- Pas d'écran allumé (téléphone, PC portable)
- Pas d'oscillateur (microcontrôleurs, convertisseur de tension, alimentation à découpage, etc…)
- Préamplificateur au bas de l'antenne et système d'enregistrement à 10m minimum dans une boîte métallique
- Une terre unique au pied de l'antenne si possible
- Pas de coaxial entre l'antenne et le préamplificateur (Capacité)

Fabriquer son premier récepteur

- Adapter l'antenne à l'impédance d'entrée du préamplificateur
- Utiliser un JFET ou amplificateur opérationnel faible bruit (ex. 2SK170, BF256C, …)
- Utiliser une résistance d'au minimum 20 MΩ en entrée (antenne E-field)
- Ne pas utiliser de coaxial sur l'entrée
- Préférer un montage isolé du PCB et immobile pour relier l'entrée du préamplificateur à l'antenne (vibrations)
- Isoler de l'humidité le circuit d'entrée avec du silicone (risques de variations d'impédance)
- Ne pas utiliser d'alimentation à découpage, préférer des piles ou des batteries
- Placer le récepteur (préamplificateur) au bas de l'antenne avec une seule liaison terre pour l'ensemble du circuit.
- Eloigner d'au minimum 10m le système d'enregistrement qui sera placé dans un coffret métallique.
- Prévoir éventuellement des filtres passe bas (4KHz, 10 KHz, 20 KHz)
- Utiliser un enregistreur numérique (exemple: HN4PRO) ou une carte son adéquate (exemple Behringer UMC204HD)

Logiciels utiles

Logiciels utiles sous Windows:

SpectrumLab: https://www.qsl.net/dl4yhf/spectra1.html

Logiciel SAQ: https://sites.google.com/site/swljo30tb/

Logiciels utiles sous Linux:

Nathan Towne (SID): http://towne56.ownmail.net/sidmon/
Paul Nicholson: http://abelian.org/vlfrx-tools/

VLF Grabber

https://sites.google.com/site/sub9khz/vlf-grabbers

ELF Grabber https://vlf.u01.de/

Quelques sites utiles

Site VLF de Renato http://www.vlf.it/

Site de Jean-Marie F6ETU http://www.vlf.it/lotetgaronne/lotetgaronne.html

Météores et préamplificateur Darjeeling V2 de F6AGR sur le lien suivant:
http://www.vlf.it/F6AGR/meteorsignatures.html

Space Weather prediction center: https://www.swpc.noaa.gov/
Solar X-ray Flux: http://www.swpc.noaa.gov/today.html
The American Association of Variable Star Observers (AAVSO): https://www.aavso.org/

Ionosphère, couche D (J.J.Delcourt): http://www.couched.be/

Groupe VLF de Stanford en Californie, site scientifique professionnel de référence:
https://vlf.stanford.edu/

SAQ Grimeton (Suède) : https://alexander.n.se/

Antenne: http://www.on8im.be/fr/theorie-antennes-136khz/59-2-2-monopole-vertrical-court.html

Liste de diffusions sur les ELF/TLF:
France: **S'abonner →** https://framalistes.org/sympa/subscribe/tlf_elf_vlf
International: Natural Radio & VLF Group VLF@groups.io https://groups.io/g/VLF

Questions & Remerciements

Remerciements pour leur aide, autorisation d'utiliser des tracés, publications, images, vidéos, schémas électroniques (par ordre alphabétique):

Thierry ALVES, F4EOB (France)

Thomas ASHCRAFT (Nouveau Mexique)

Jean-Marie BRIEUSSEL, F6ETU (France)

J.J.DELCOURT Dr.Sc. (Belgique)

Jean-Pierre GODET, F5YG (France)

Norbert KOHNS, DG1KPN (Allemagne)

Jean-Pierre MERE, F1AFJ (France)

Jean-Louis RAULT, F6AGR (France)

Les membres des listes: tlf_elf_vlf@framalistes.org, VLF@groups.io

---

Contact: Franck DURAND, www.f4iew.fr email: franck@f4iew.fr