

Les TLF - ELF – VLF

C'est quoi ?

Pourquoi ?

Comment ?

Franck DURAND, F4IEW
ECULLY, 2 Avril 2022

Radio club de Lyon - F8KLY
Radioamateur- Science et Technologie
Réseau des Emetteurs Français du Rhone



OND'EXPO 2022

Samedi 2 avril 2022
Conférences techniques et scientifiques
Matériels pro et brocantes
www.ondexpo.com
ondexpo@ref69.fr

Radio-club de Lyon - F8KLY
radio-communication amateur, électronique et technologies

ESPACE ECULLY
7 rue Jean Rigaud
69130 ECULLY
9 h - 18 h

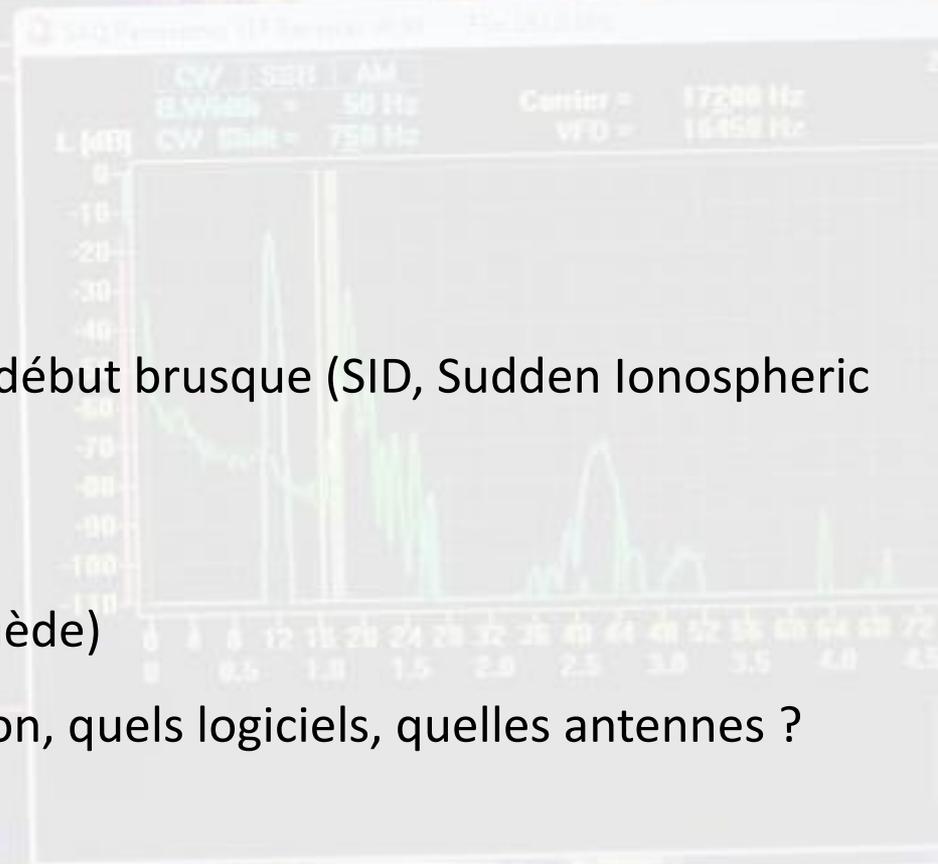


Bar et restauration sur place - Parkings

30e. édition

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

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



Définitions des bandes

Onde	Description	Fréquences	Lambda
TLF	Tremendously low frequency (fréquence extrêmement basse) Champs magnétiques, ondes et bruits électromagnétiques naturels	0 à 3 Hz	> 100 000 Km
ELF	Extremely low frequency (fréquence extrêmement basse) Les résonances Schumann Signaux naturels	3 Hz à 30 Hz	10 000 Km à 100 000 Km
SLF	Super low frequency (super basse fréquence) ZEVS qui est aujourd'hui le dispositif d'émission radio le plus bas en fréquence du monde, puisque'il transmet sur 82Hz, soit 3658 km de longueur d'onde. ZEVS. Grabber(http://vlf.u01.de/zevs.php)	30 Hz à 300 Hz	1 000 Km à 10 000 Km

longueurs d'onde (Lambda) sont calculées avec l'approximation: $C = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Onde	Description	Fréquences	Lambda
ULF	<p>Ultra low frequency (ultra basse fréquence)</p> <p>Mise en évidence de la perturbation de la propagation des ondes VLF associé à un météore</p>	300 Hz à 3 KHz	100 Km à 1 000 Km
VLF	<p>Very low frequency (très basse fréquence)</p> <p>Eclairs (orages), Whistler</p> <p>8.27 & 8.7 KHz, TX/RX Expérimentations par des radioamateurs</p> <p>8,3 KHz à 11,3 KHz Auxiliaires de la Météorologie</p>	3 KHz à 30 KHz	10 Km à 100 Km

Onde	Description	Fréquences	Lambda
VLF	<p>Very low frequency (très basse fréquence)</p> <p>Radionavigation Fixe/Mobile Maritimes Signaux Horaires (20 KHz)</p> <p>RSDN-20 - Alpha, radionavigation F1: 11.904761 kHz, F2: 12.648809 kHz et F3: 14.880952 kHz.</p> <p>18.100 KHz Russian Navy Russian High Command Naval Radio RDL-Moscow Headquarters (many remote sites) 36/50 Bd encrypted traffic T-600</p> <p>20.900 KHz FTA Sainte Assise (77) Loc.JN18GN</p> <p>21.750 KHz French Navy HWN-Le Blanc, France 200/90 PSK Loc.JN06OR</p>	3 KHz à 30 KHz	10 Km à 100 Km

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)

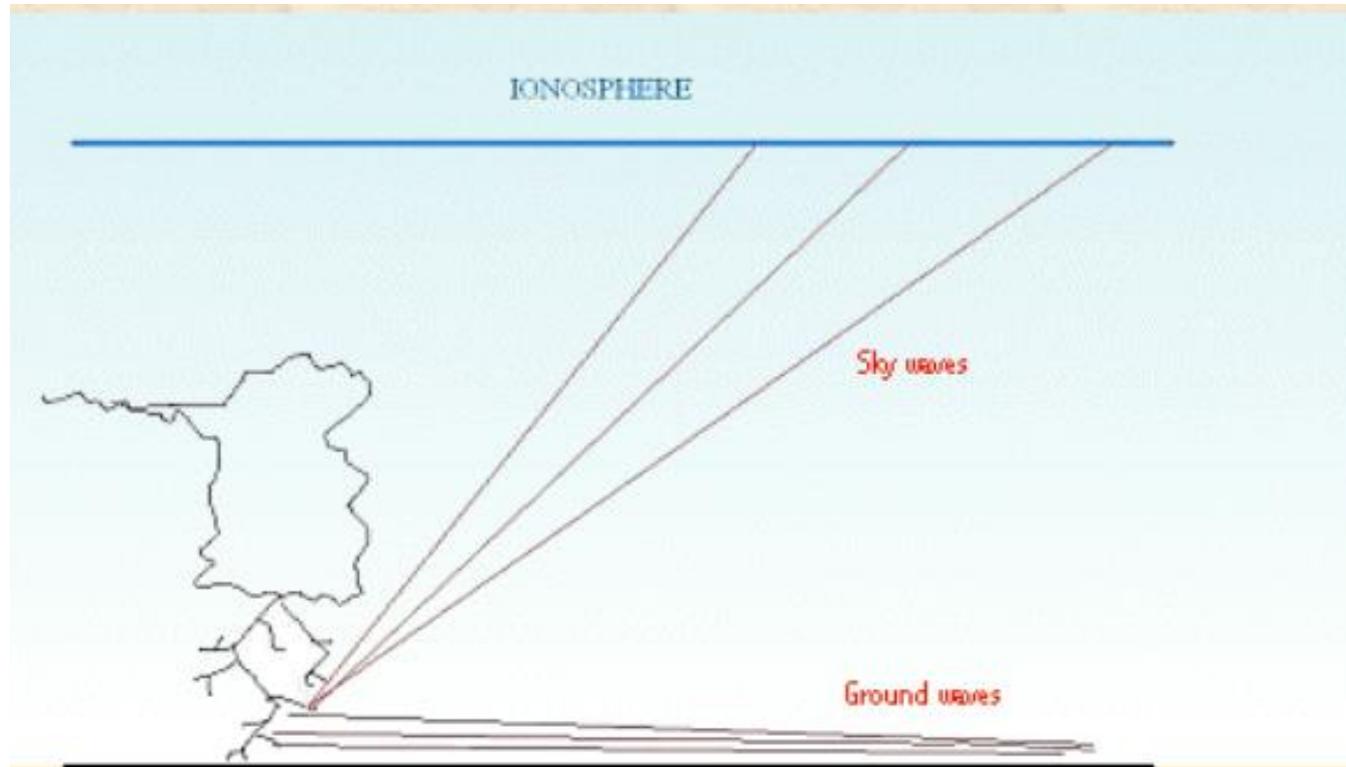
Comme les longueurs d'onde VLF sont très longues, elles peuvent se diffracter autour de grands obstacles.

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



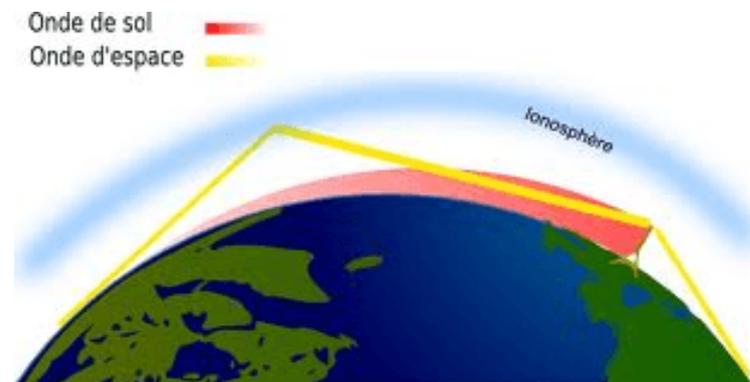
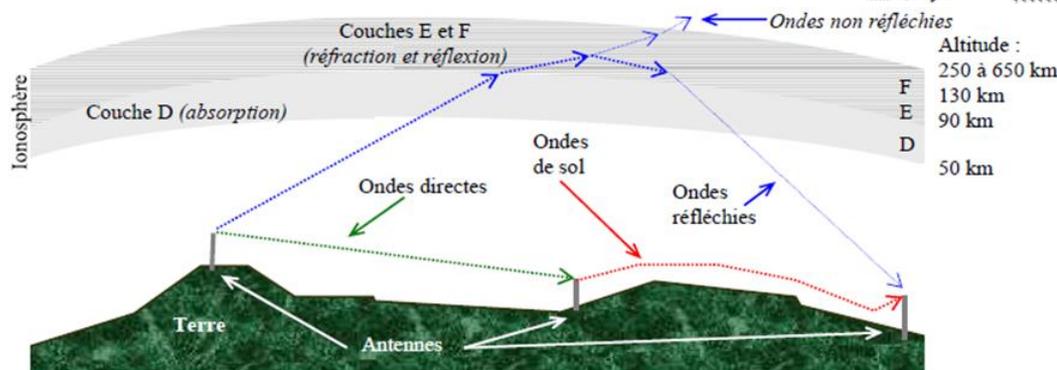
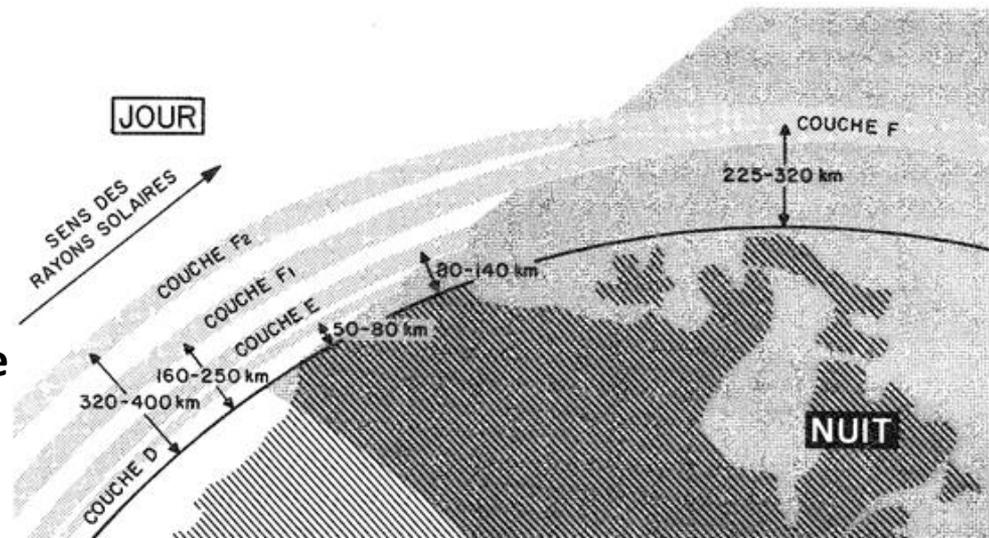
L'ionosphere est composée de molécules d'air ionisées et d'électrons libres dans les différentes couches (D, E, F1 et F2). La modification de la densité électronique et l'altitude des couches ionosphériques modifie la propagation.

En journée, la base de l'ionosphère est composée de la couche D. Cette couche s'étend entre 60 et 90 km de haut, elle est composée d'électrons libres créés le jour par les rayons ultraviolets du soleil qui sont responsables de la forte atténuation en transmission BF et HF, inférieure à 6 Mhz.

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

PROPAGATION

Région D (60 à 100 km) : Faible densité d'ionisation de jour ($10^8 - 10^9 \text{ e}^-/\text{m}^3$).
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

PROPAGATION

La propagation des ondes dans l'ionosphère obéit aux lois de la réfraction (optique) mais en tenant compte des fluctuations du milieu ionosphérique. La formule de l'indice (complexe) de réfraction de l'ionosphère a été établie pour la première fois par Appleton dès 1926. La formule définitive est connue sous le nom de formule d'Appleton-Hartree les paramètres qui entrent en ligne de compte sont:

- f : fréquence d'émission du signal
- ν : fréquence des collisions
- f_p : fréquence de plasma (liée à la densité électronique)
- f_g : fréquence cyclotron ou gyrofréquence (présence du champ magnétique B_0)

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{N q_e^2}{\epsilon_0 m_e}} \quad f_g (Hz) = \frac{1}{2 * \pi} * \frac{q_e * B_0}{m_e} = 1,399 MHz$$

$q_e = 9,109 \cdot 10^{-19}$ C (charge de l'électron)

$B_0 = 50 \mu T = 50 \cdot 10^{-6}$ T (Champ magnétique terrestre en Tesla)

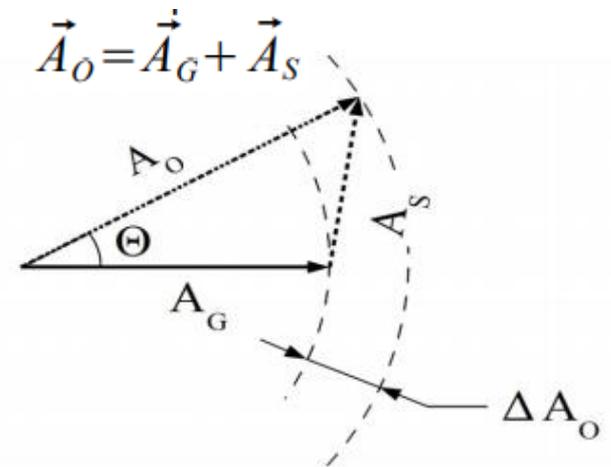
$m_e = 9,109 \cdot 10^{-31}$ Kg (Masse de l'électron)

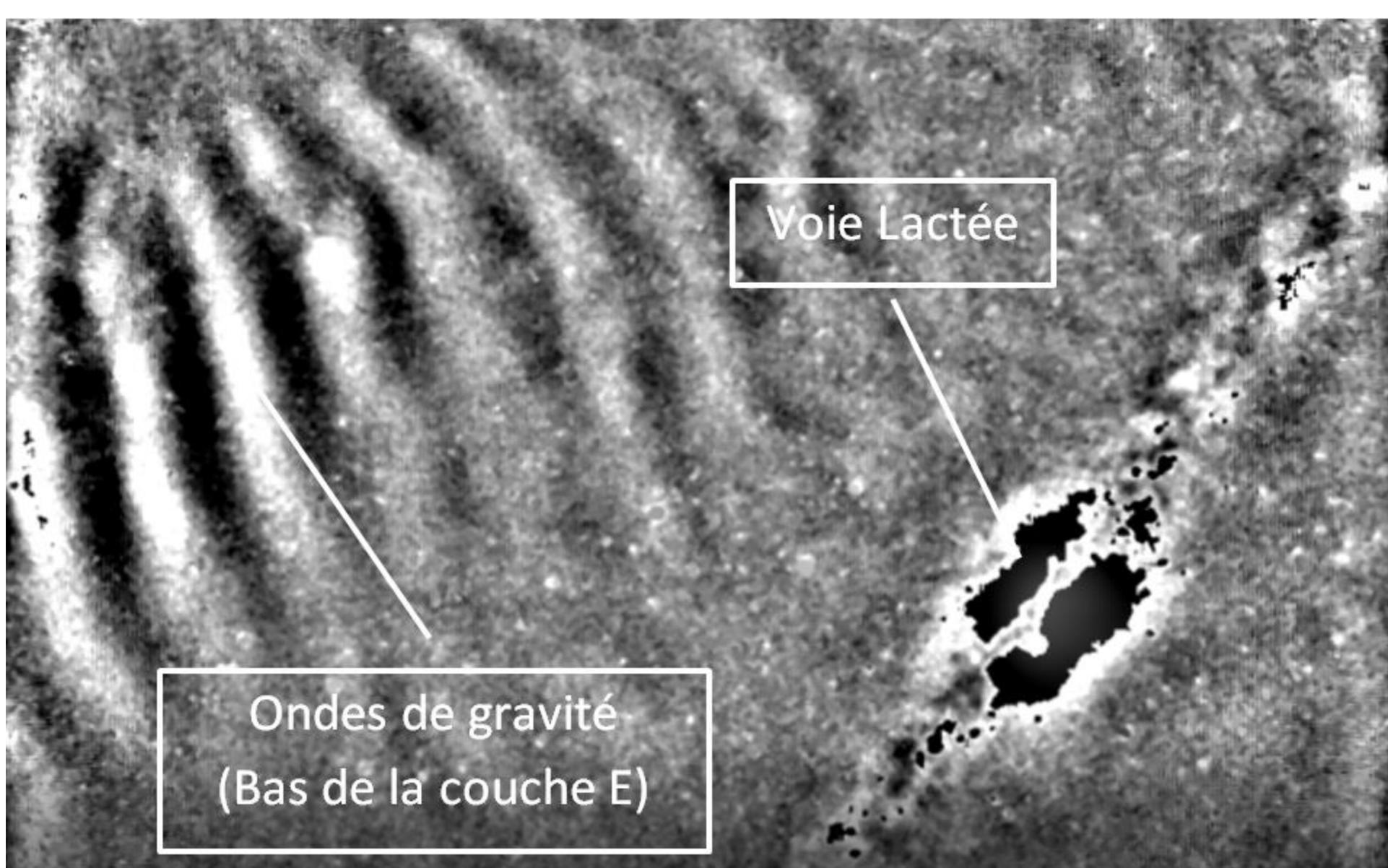
$\epsilon_0 = 8,85418782 \times 10^{-12}$ F.m⁻¹ (Permittivité du vide)

N: densité électronique

Ondes de gravités et variation de phase et d'amplitude de l'onde de ciel

- Le niveau d'une émission VLF reçue au sol est souvent une interférence (somme du signal de l'onde de ciel et du signal de l'onde de sol).
- L'onde de sol est stable en amplitude et en phase, mais la phase et l'amplitude du signal réfléchi sur le bas de l'ionosphère fluctuent elles en fonction de la densité et de l'altitude du bas de l'ionosphère.
- Si il apparait des ondes de gravité dans la haute atmosphère (dues aux vents d'altitude dont l'écoulement est perturbé par un relief montagneux) qui font varier la hauteur du bas de l'ionosphère, on constate des fluctuations du niveau des émissions VLF reçues.





caméra infrarouge de l'ONERA, Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales) lors d'une campagne d'observation des Géminides 2017 → [Vidéo](#)

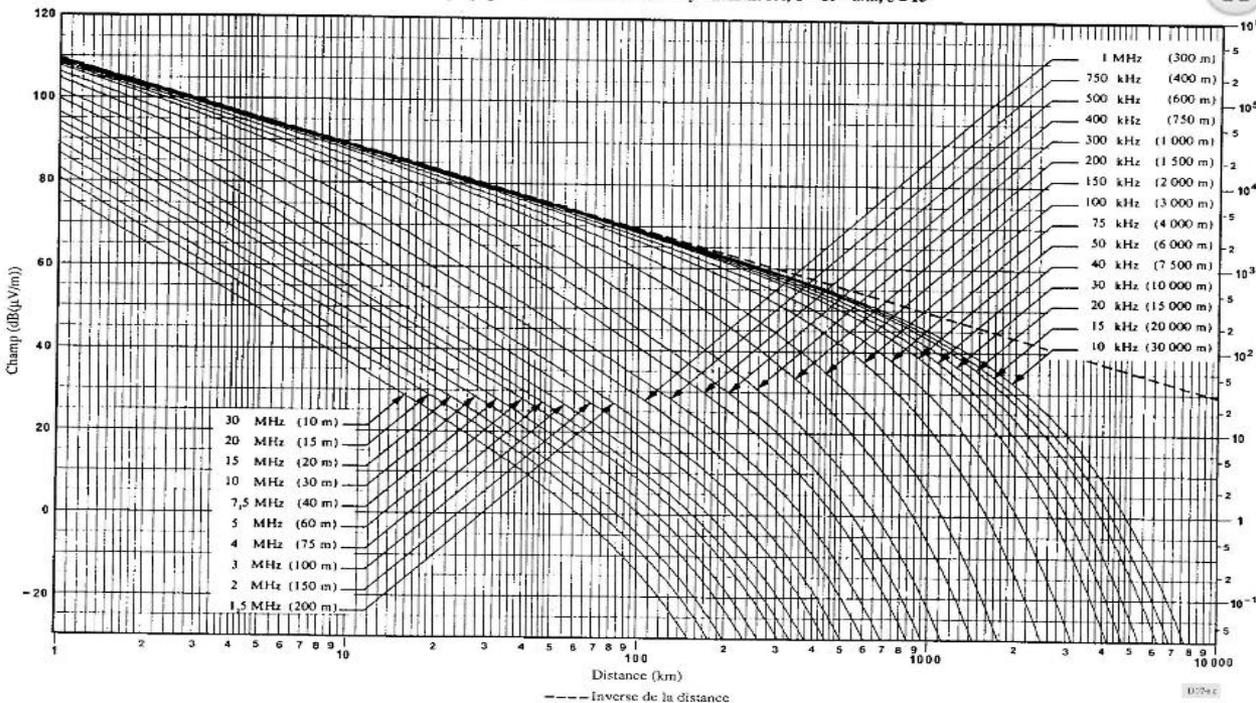
Les ELF et VLF se propagent très bien par ondes de Sol

L'onde de sol est une énergie rayonnante qui a la particularité de suivre la courbure terrestre, comme le train suit ses rails.

Cette particularité vaut essentiellement pour les grandes et moyennes longueurs d'onde, c'est à dire les fréquences relativement basses, comprises entre quelques KHz et quelques dizaines de MHz. Au-dessus, même si l'onde de sol existe toujours, elle devient négligeable en regard de l'onde d'espace.

Le tableau, ci-dessous, est un graphique, émanant de l'UIT, et donnant l'atténuation en distance d'une onde de sol, en fonction de sa fréquence et pour un sol moyennement sec :

FIGURE 7
Courbes de propagation de l'onde de sol. Sol moyennement sec, $\sigma = 10^{-3}$ S/m, $\epsilon = 15$

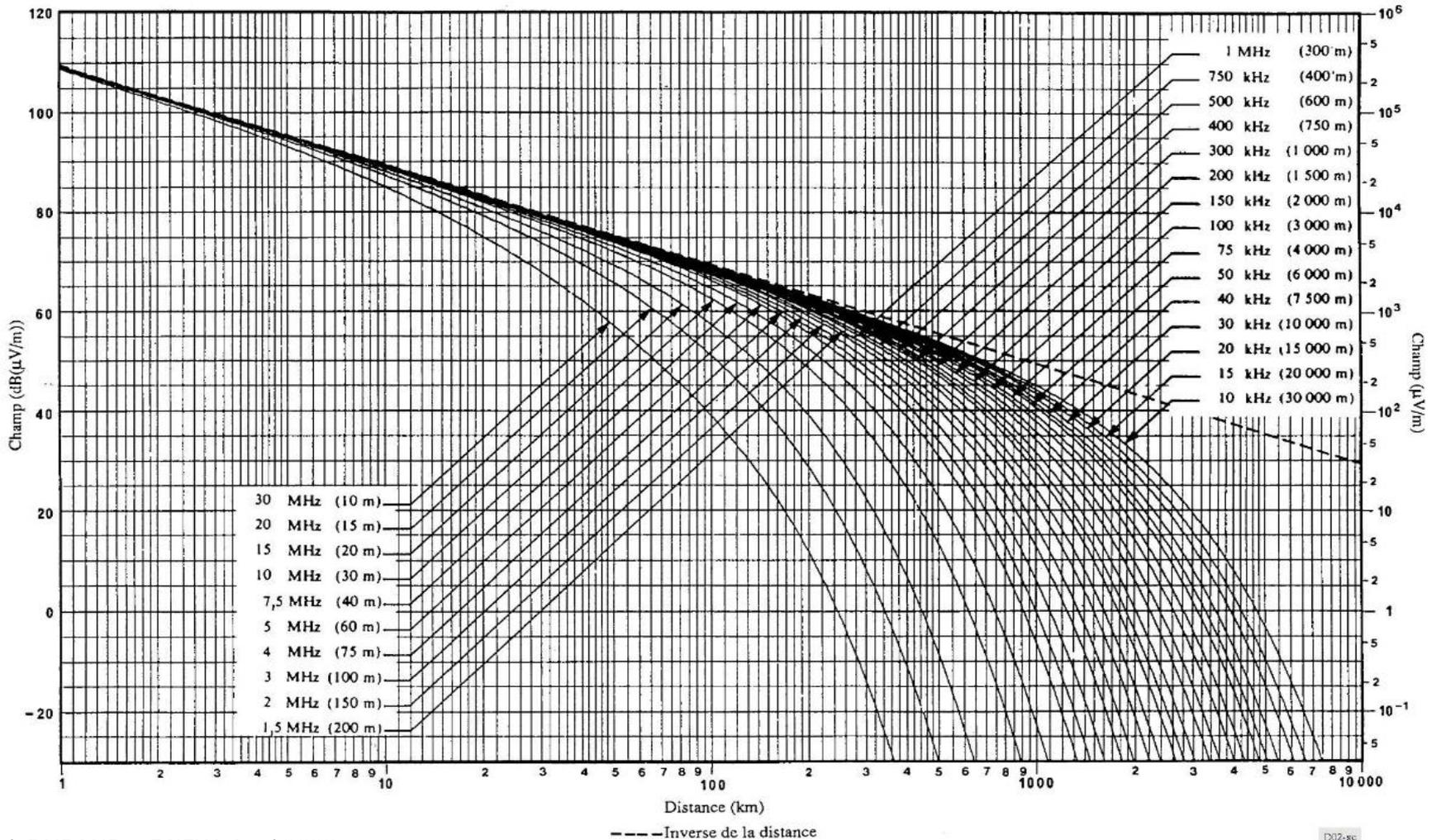


On voit que, pour une fréquence de 1 MHz ($\lambda = 300\text{m}$) on mesure un signal d'onde de sol de $1 \mu\text{V/m}$ (ce qui correspond à un peu plus de « S3 » sous 50 ohms, mesuré sur le S-mètre d'un récepteur = bonne réception) à seulement 300 km, alors que pour une fréquence de 100 KHz ($\lambda = 3000\text{m}$) la distance dépasse 1700 km.

Cet autre graphique donne les mesures avec une eau de mer, de salinité moyenne

FIGURE 2

Courbes de propagation de l'onde de sol. Eau de mer, salinité moyenne, $\sigma = 5 \text{ S/m}$, $\epsilon = 70$



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

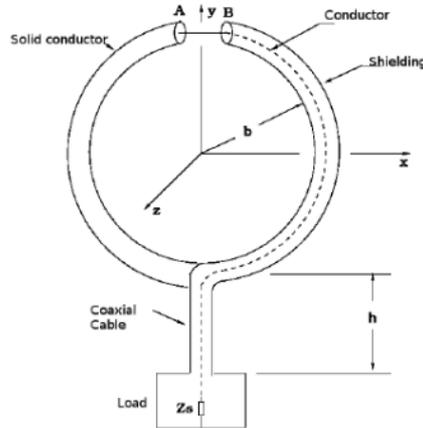
ANTENNE
E-Field / Loop



PREAMPLIFICATEUR
ELF/VLF
+10 à 40 dB

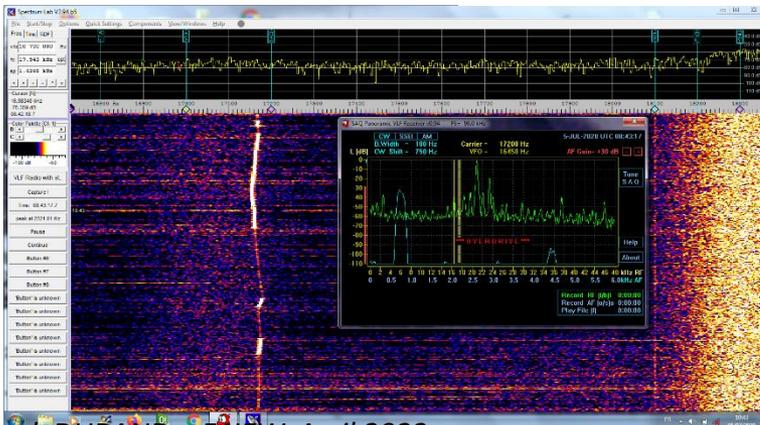


Enregistreur audio
numérique ou
Ordinateur + logiciel



Shielded loop antenna.

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



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

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 perles¹
 - 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



- **Signaux radio VLF d'origine humaine:**

- Communication avec les sous marins
- Radio Navigation
- Stations radio horaire
- Station de radio « Valberg » à Grimeton en Suède (17,2 kHz - 200 kW antenne 1,9 Km)
- Stations militaires





STATION RADIO-ÉMETTRICE DE LYON-LA DOUA

- Le bâtiment de la station radio-émettrice fut construit en 1916 pour abriter un gros émetteur radio (200 kw à 20 khz) ramené à Lyon : l'armée craignait alors que l'ennemi ne s'empare de l'émetteur installé dans la station radioélectrique de la Tour Eiffel qui permettait les liaisons permanentes avec les alliés russes et les ambassades lointaines. A Villeurbanne, l'armée disposait à La Doua de 45 hectares autorisant la construction de nombreuses antennes.
- <http://lerizeplus.villeurbanne.fr/article.php?larub=133&titre=la-station-radio-emettrice-de-lyon-la-doua>

https://fr.wikipedia.org/wiki/La_Doua

3 KHz

VLF

9KHz

30 KHz



Indicatif	Notes	Fréquence	Localisation	Latitude	Longitude
VTX1		16300	South Vijayanarayananam, India Locator: MJ88vj	N 08° 23' 13.25" (+08.387015°)	E 077° 45' 9.94" (+077.752762°)
JXN	(1)	16400	Novik, Norway Locator: JP66wx	N 66° 58' 27.67" (+66.974353°)	E 013° 52' 25.02" (+013.873617°)
VTX2		17000	South Vijayanarayananam, India Locator: MJ88vj	N 08° 23' 13.25" (+08.387015°)	E 077° 45' 9.94" (+077.752762°)
SAQ	(2)	17200	Grimeton, Sweden Locator: JO67ec	N 57° 06' 47.42" (+57.113171°)	E 012° 23' 50.20" (+012.397277°)
RDL	(3)	18100	? Locator: -----	- - - - - (- - - - -°)	- - - - - (- - - - -°)
VTX3		18200	South Vijayanarayananam, India Locator: MJ88vj	N 08° 23' 13.25" (+08.387015°)	E 077° 45' 9.94" (+077.752762°)
VTX4		19200	South Vijayanarayananam, India Locator: MJ88vj	N 08° 23' 13.25" (+08.387015°)	E 077° 45' 9.94" (+077.752762°)
GBZ		19580	Anthorn, UK Locator: IO84iv	N 54° 54' 41.91" (+54.911643°)	W 003° 16' 42.44" (-003.278456°)
NWC		19800	Harold E. Holt, North West Cape, Exmouth, Australia Locator: OG78be	S 21° 48' 58.78" (-21.816328°)	E 114° 09' 56.11" (+114.165586°)
ICV		20270	Isola di Tavolara, Italy Locator: JN40uw	N 40° 55' 23.26" (+40.923127°)	E 009° 43' 51.64" (+009.731011°)
FTA	(4)	16800 <u>20900</u>	Sainte-Assise, France Locator: JN18gn	N 48° 32' 40.68" (+48.544632°)	E 002° 34' 45.94" (+002.579429°)
NPM		21400	Pearl Harbour, Lualaba, HI Locator: BL01wk	N 21° 25' 12.60" (+21.420166°)	W 158° 09' 4.10" (-158.151140°)
HWU	(5)	15100 18300 19100 <u>21750</u> 22600	Rosnay, France Locator: JN06or	N 46° 42' 47.26" (+46.713129°)	E 001° 14' 42.89" (+001.245248°)

https://sidstation.loudet.org/stations-list-fr.xhtml?fbclid=IwAR2QR_Ite8H0MBNlgRtH5yvZ-jvxaaM6pwaGQ5mb1PuSI2PUMDnbF44cNDw

VLF

3 KHz

9KHz

30 KHz



GQD		22100	Skelton, UK Locator: IO84nr	N 54° 43' 54.48" (+54.731799°)	W 002° 52' 58.92" (-002.883033°)
NDT		22200	Ebino, Japan Locator: PM52jb	N 32° 04' 55.50" (+32.082084°)	E 130° 49' 40.66" (+130.827960°)
DHO38	(6)	23400	Rhauderfehn, Germany Locator: JO33tb	N 53° 04' 44.04" (+53.078900°)	E 007° 36' 54.00" (+007.615000°)
NAA		24000	Cutler, ME Locator: FN64ip	N 44° 38' 41.77" (+44.644936°)	W 067° 16' 53.90" (-067.281639°)
NLK		24800	Oso Wash, Jim Creek, WA Locator: CN98ae	N 48° 12' 12.55" (+48.203487°)	W 121° 55' 0.58" (-121.916827°)
unid25		25000	Mokpo, South Korea Locator: PM34fq	N 34° 40' 44.65" (+34.679068°)	E 126° 26' 43.38" (+126.445383°)
NML	(7)	25200	La Moure, ND Locator: EN06ti	N 46° 21' 57.56" (+46.365990°)	W 098° 20' 8.30" (-098.335638°)
TBB		26700	Bafa, Turkey Locator: KM37pj	N 37° 24' 45.81" (+37.412725°)	E 027° 19' 24.03" (+027.323342°)
NRK/TFK		37500	Grindavik, Iceland Locator: HP83su	N 63° 51' 1.31" (+63.850365°)	W 022° 28' 0.38" (-022.466773°)
JJY-40	(8)	40000	Mount Ootakadoya, Fukushima prefecture, Japan Locator: QM07ki	N 37° 22' 21.35" (+37.372598°)	E 140° 50' 56.06" (+140.848906°)
SRC		40400	Varberg, Sweden Locator: JO67ec	N 57° 06' 47.42" (+57.113171°)	E 012° 23' 50.20" (+012.397277°)
NAU		40800	Aguada, Puerto Rico Locator: FK68jj	N 18° 23' 55.54" (+18.398762°)	W 067° 10' 39.36" (-067.177599°)
NSY		45900	Nisceimi, Italy Locator: JM77fd	N 37° 07' 32.37" (+37.125660°)	E 014° 26' 11.10" (+014.436416°)

https://sidstation.loudet.org/stations-list-fr.xhtml?fbclid=IwAR2QR_ItE8H0MBNlgRtH5yvZ-jvxaaM6pwaGQ5mb1PuSI2PUMDnbF44cNDw

RSDN-20

Alpha, également connu sous le nom de RSDN-20, est un système russe de radionavigation à longue portée. RSDN en russe signifie "système de navigation radio-technique à longue distance". Alpha a été utilisé pour déterminer les positions des avions, des navires et des sous-marins (en immersion), il fonctionne de façon discontinue.



<http://www.vlf.it/alphatrond/alpha.htm>

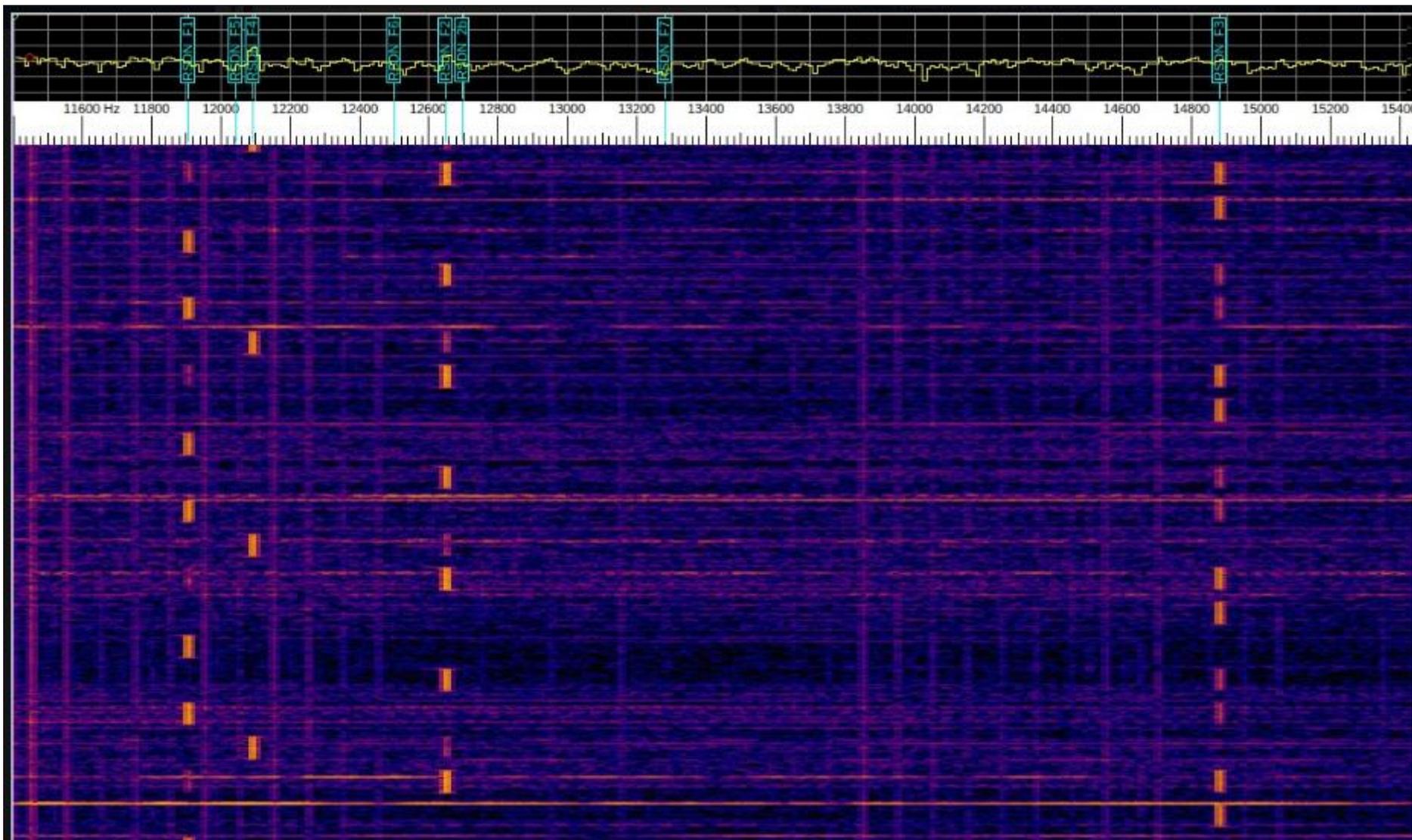
<https://pdfs.semanticscholar.org/97e3/a621bfe77409d189527245e8ccb7a022e363.pdf>



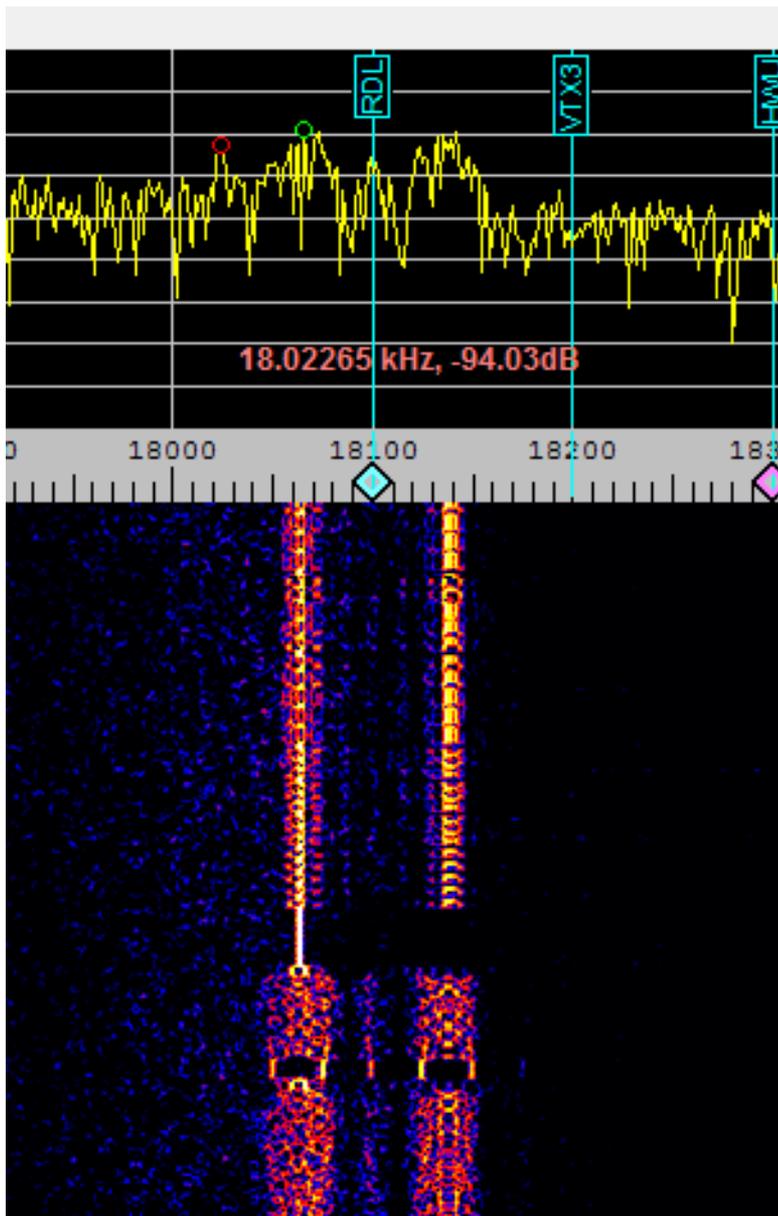
AALTO UNIVERSITY
School of Electrical Engineering
Department of Signal Processing and Acoustics

Juhana Jaatinen

**PHASE ESTIMATION
IN A NAVIGATION RECEIVER**



Enregistrement 29/12/2019 par Sabine CREMER, Hattingen Allemagne



Frequency : 18.100 kHz
Callsign : RDL
Activity : Y
ITU / country: RUS
Station Name : Matotchkinchar

GPS ●

27 janv. 2020

16:07

Latitude: 46° 9' 54" N

Longitude: 6° 38' 36" E

Altitude: 1762 m (5782 ft)

QTH Locator

JN36HD

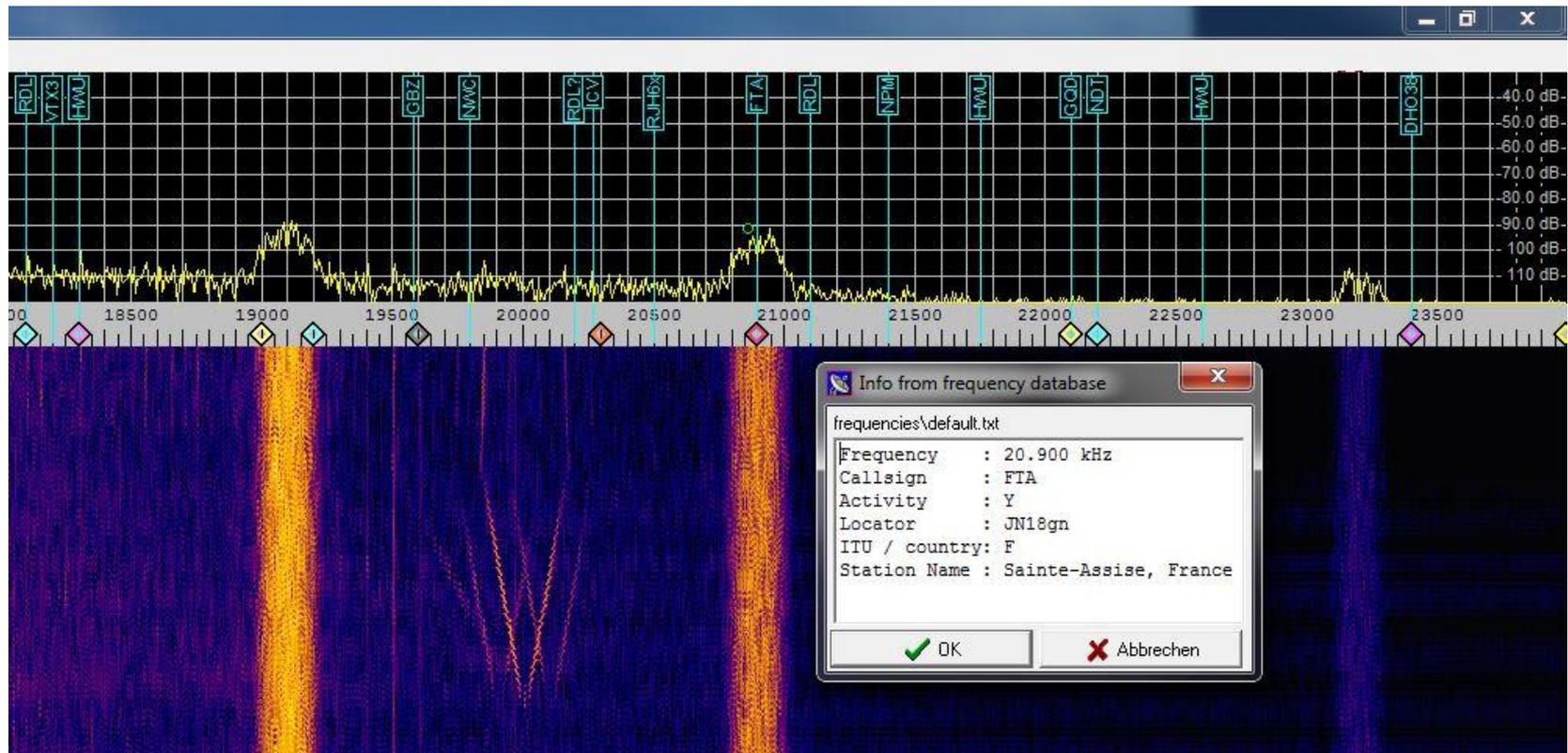
Source: <https://www.transmission1.net/viewtopic.php?t=7633>

Réception en JN19DA

95330 Domont

Ile de France

Frequency : 20.900 kHz
Callsign : FTA
Activity : Y
Locator : JN18gn
ITU / country: F
Station Name : Sainte-Assise, France



🏆🏆🏆 Weltrekord auf 8,3 kHz 🏆🏆🏆

Längstwelle - für viele eine magische Welt. Markus Vester, DF6NM; Tom Kölpin, DK1IS und Bernd Wiesgickl, DF9RB, haben eine Nachricht in diesem Frequenzbereich empfangen - aus North Carolina. Entfernung: 7257 km! Weltrekord 🏆🏆🏆

Der Bayerische Rundfunk hat hierzu eine informative Reportage gedreht:

<https://www.ardmediathek.de/ard/player>

[/Y3JpZDovL2JyLmRIL3ZpZGVvLzJlYUWUzYWMxLWVhZDAtNDI2Ni05YjY2LWQ1NWQ1MDE3ODk5Ng/](https://www.ardmediathek.de/ard/player/Y3JpZDovL2JyLmRIL3ZpZGVvLzJlYUWUzYWMxLWVhZDAtNDI2Ni05YjY2LWQ1NWQ1MDE3ODk5Ng/)

Voir la traduction

<https://www.ardmediathek.de/ard/player/Y3JpZDovL2JyLmRIL3ZpZGVvLzJlYUWUzYWMxLWVhZDAtNDI2Ni05YjY2LWQ1NWQ1MDE3ODk5Ng/?fbclid=IwAR3CxlSFcQ6PanggymZDSm891EzKao87d3kxkblEf2WZKCQu6Yn18vmPw8A>



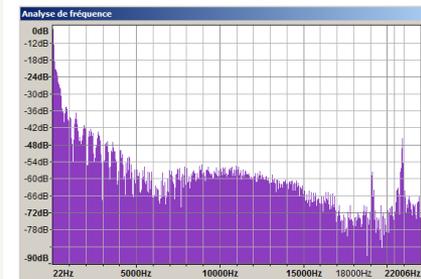
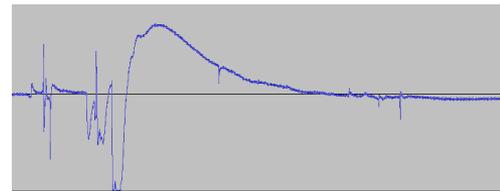
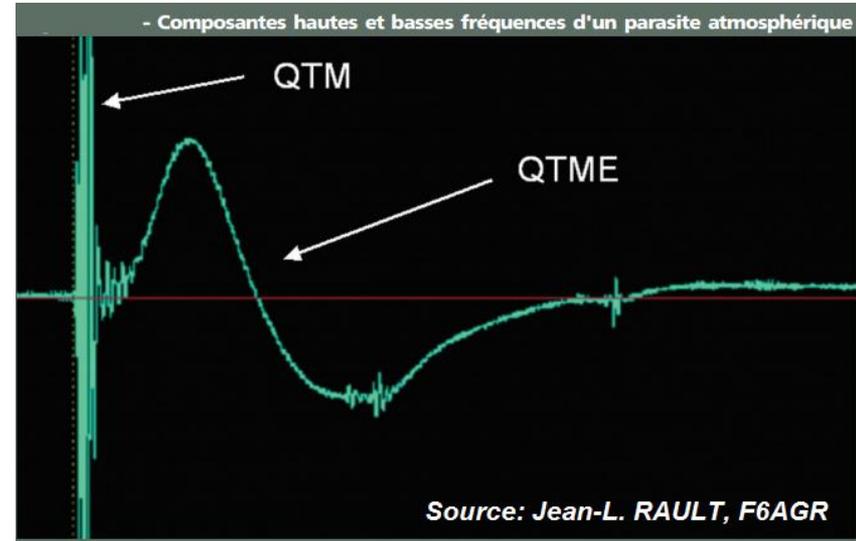
ARDMEDIATHEK.DE

Weltrekord im Empfangen einer Amateurfunk-Nachricht unter 9kHz



Des « sferics » et des « tweaks »

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.

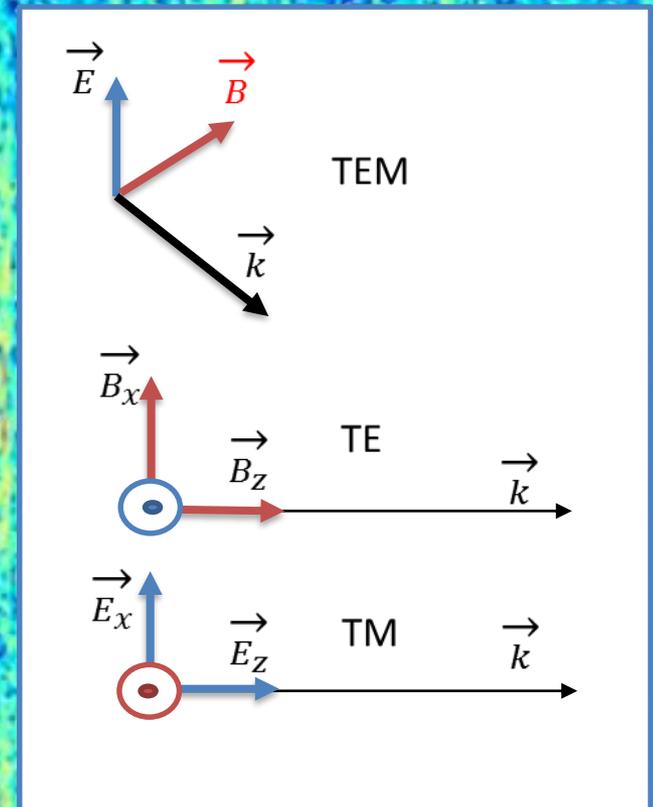


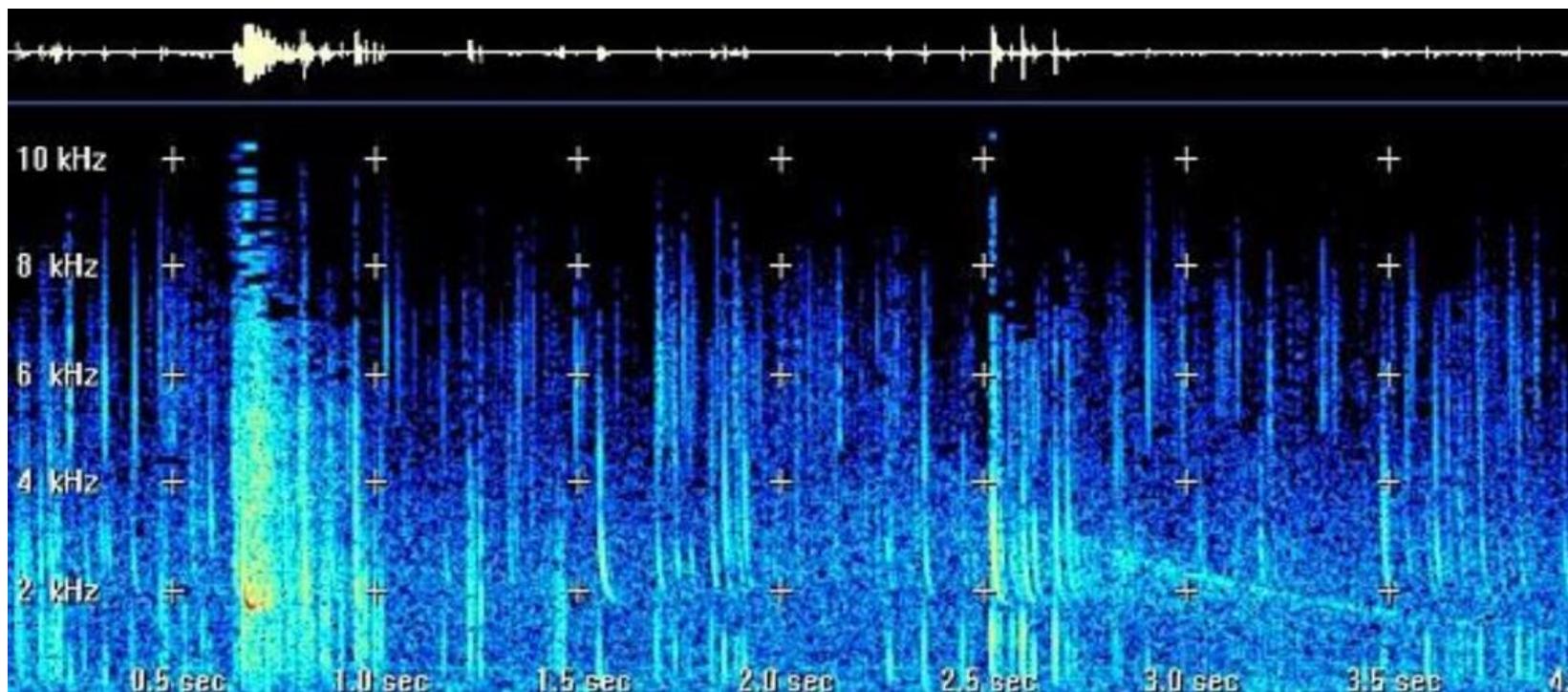
- Selon la théorie de JR **Wait** (1964) la propagation dans le guide d'onde terre-ionosphère est dispersive et **la vitesse des ondes est fonction de la fréquence**
- Le spectre dynamique d'un « sferic » qui montre une ligne presque verticale correspondant aux fréquences les plus hautes et une ligne courbe en forme de crochet aux fréquences les plus basses, qui a une valeur asymptotique F_c (fréquence de coupure), autour de 1700 Hz la nuit et qui est déterminée par la hauteur de la couche réfléchissante.

• La propagation électromagnétique dans le guide d'onde formé par la terre et l'ionosphère est caractérisée par les modes suivants:

- TM: Transverse magnétique ($\vec{B}_z = 0$)
- TE : Transverse électrique ($\vec{E}_z = 0$)
- TEM: Transverse électro magnétique ($\vec{E} \perp \vec{B}$)

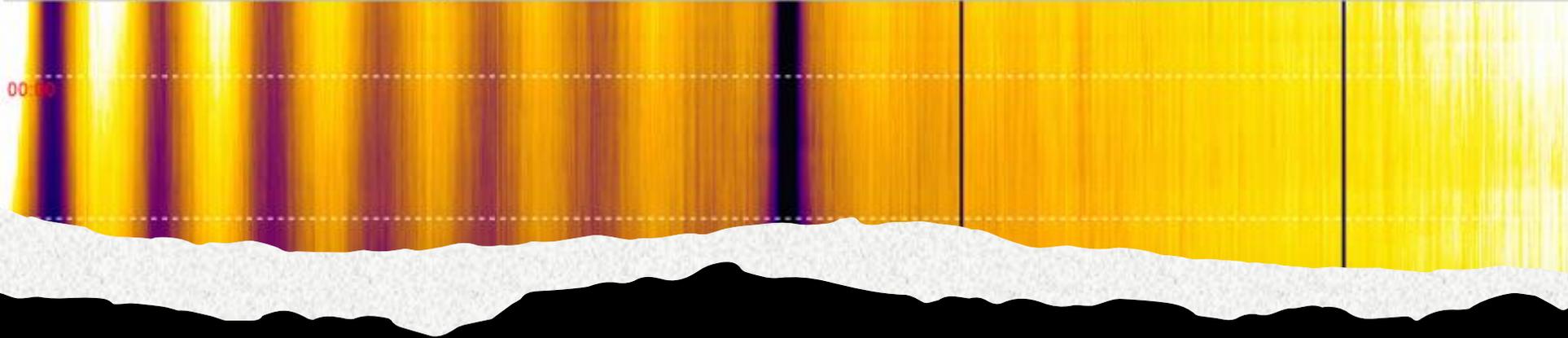
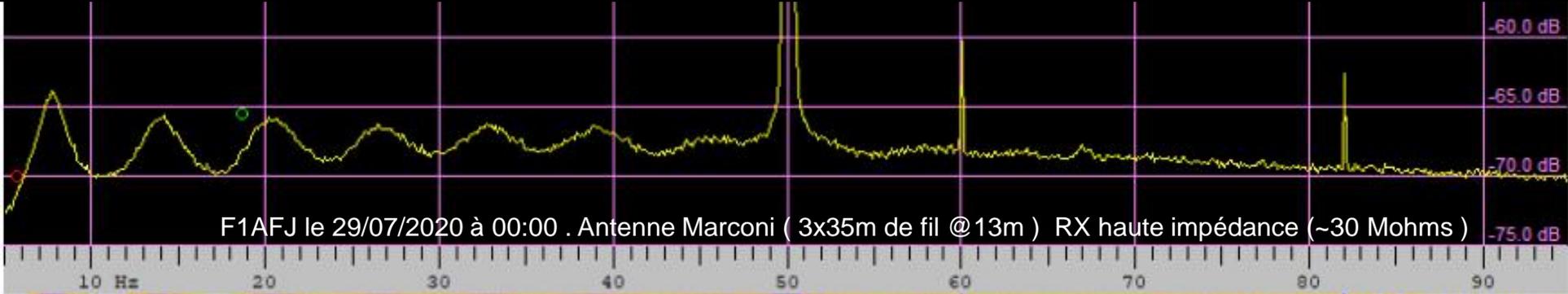
- **Sferic: durée 0 – 10 ms**
- **Tweeks: durée 10 – 100 ms**





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.

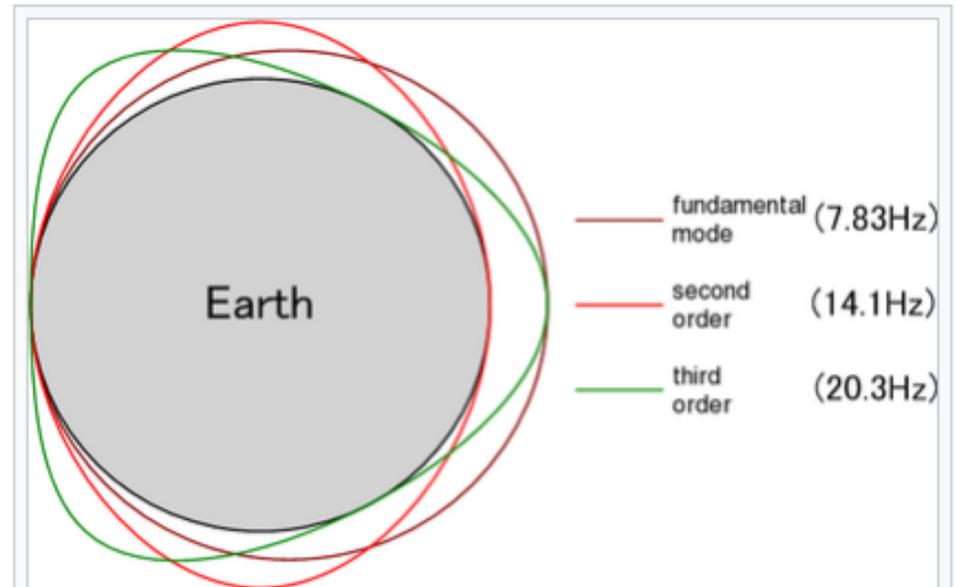
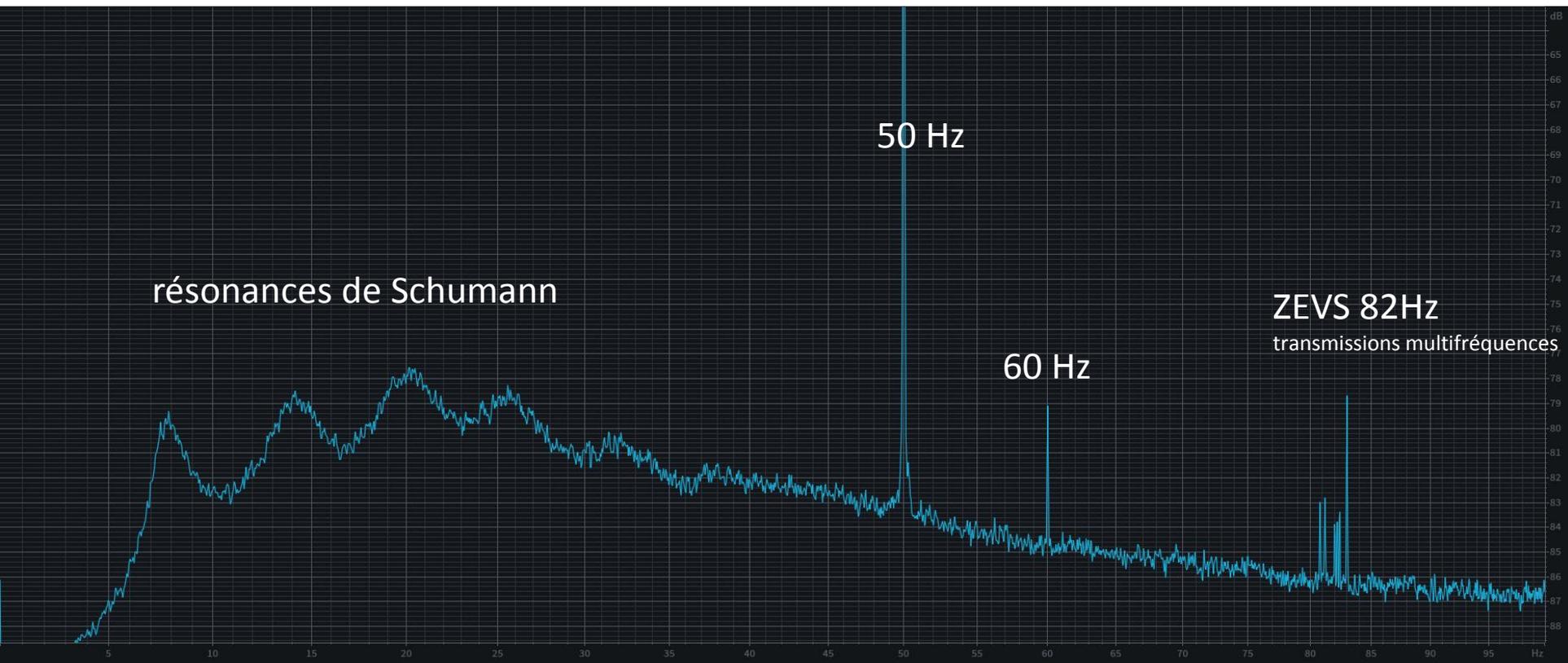
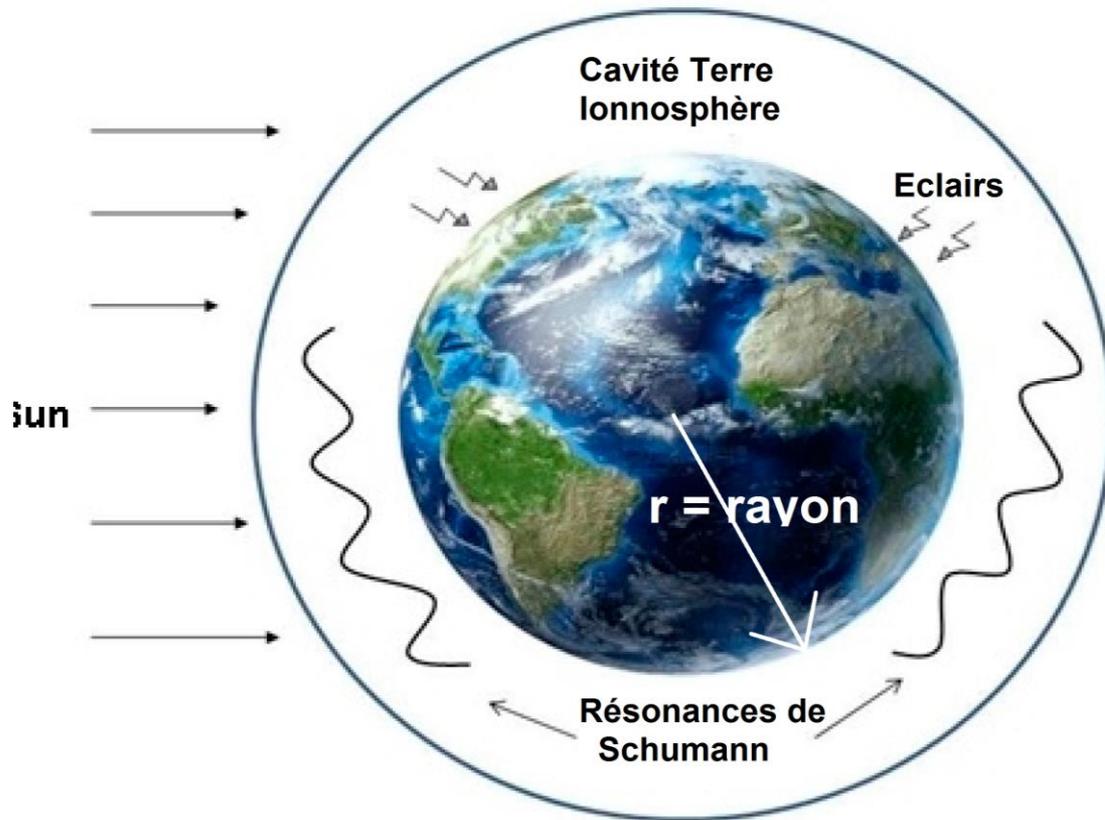


Diagram of Schumann resonances in Earth's atmosphere 



**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)**



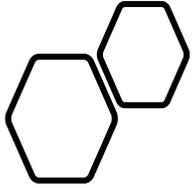
$$f_n = \frac{c}{2\pi r} \sqrt{n(n+1)}.$$

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

- 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.**

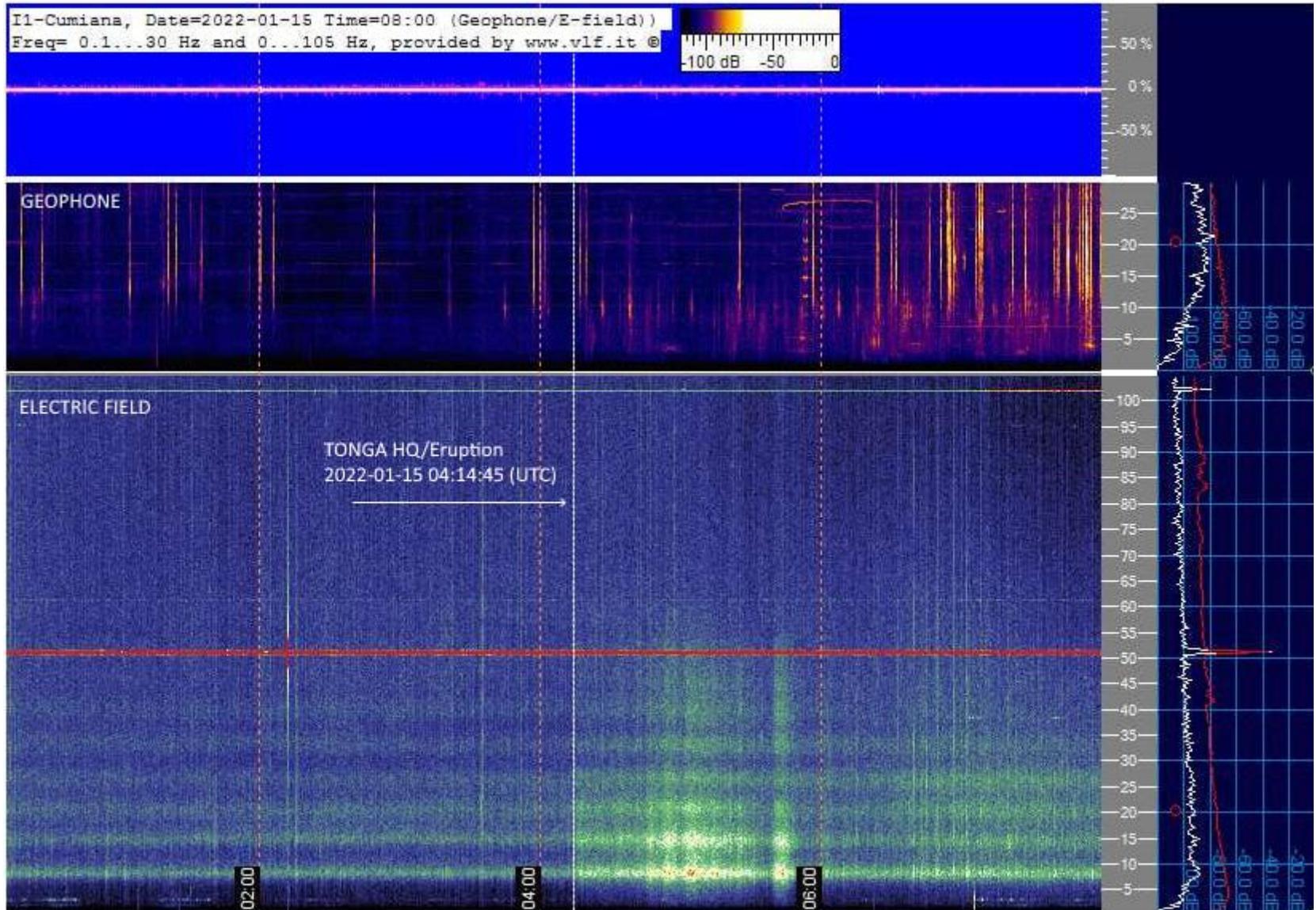


- **Eruption volcanique du volcan Hunga Tonga-Hunga Ha'apai situé dans l'océan Pacifique,**

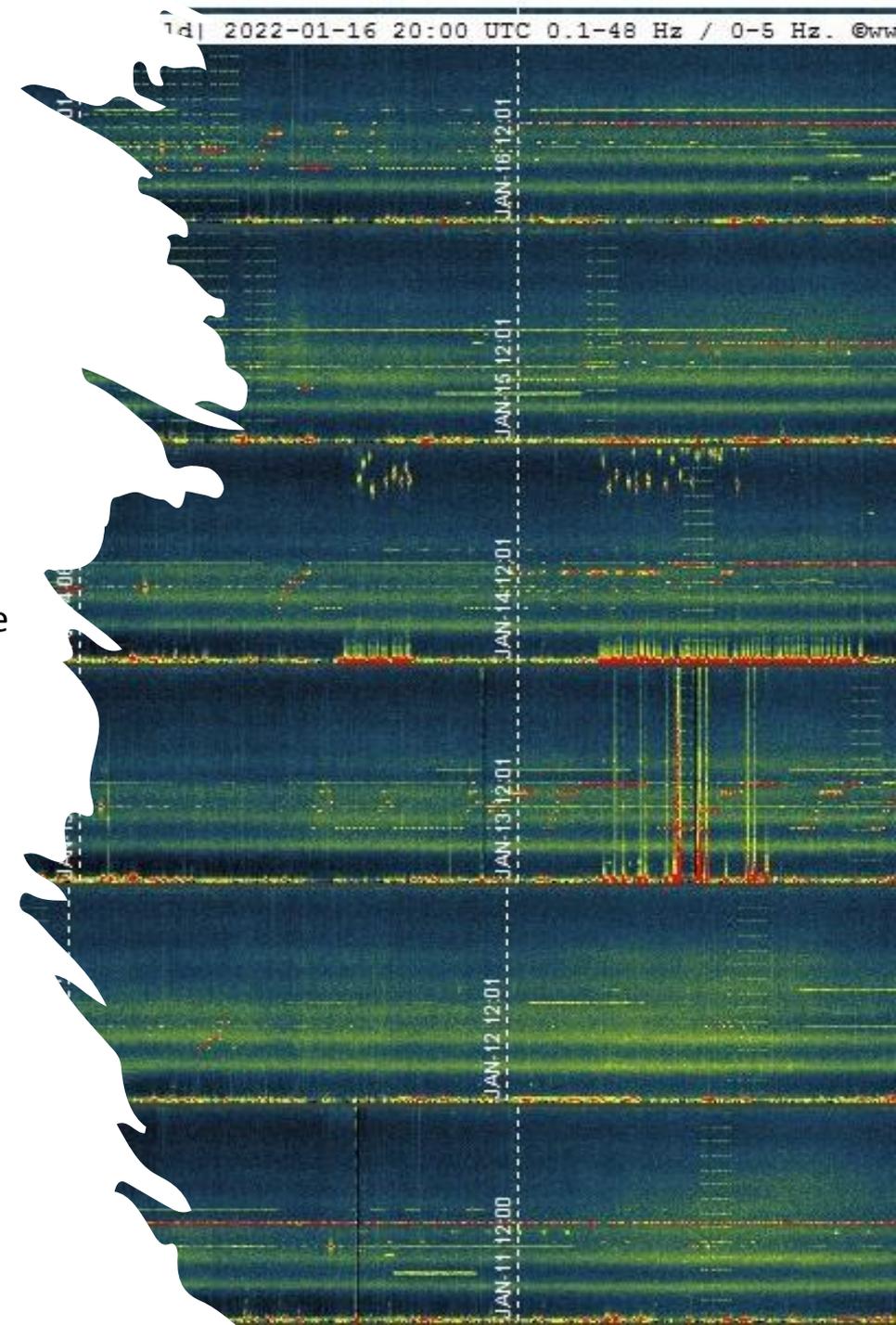
- **le 15 Janvier à 4h14 et 45s UTC**



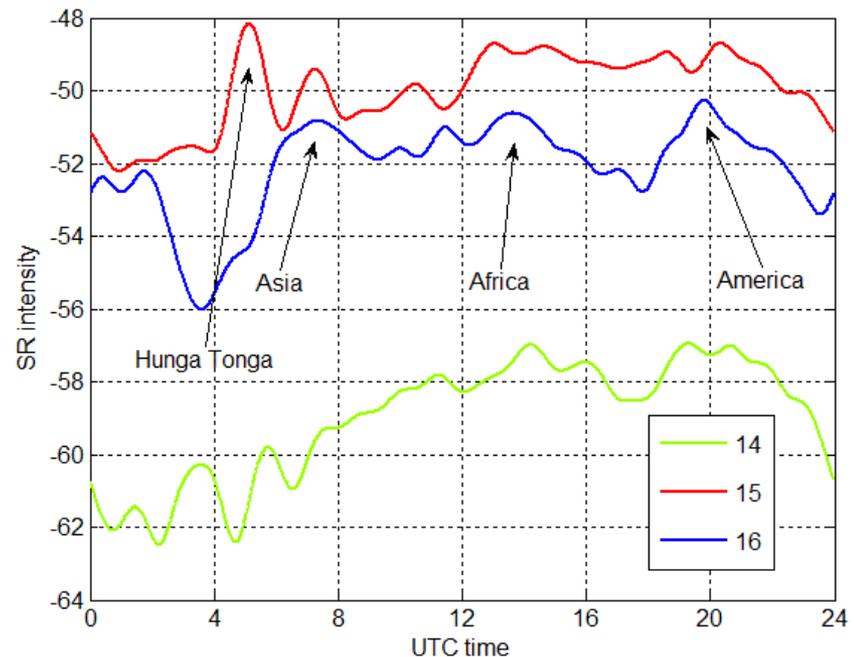
Capture depuis l'observatoire ELF, Renato Romero



- 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](#)

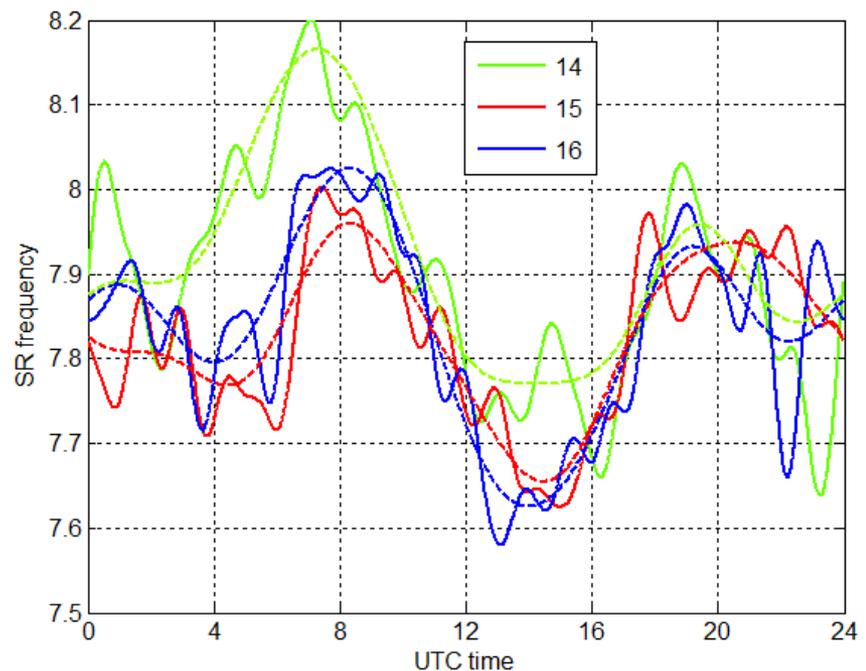


- L'activité orageuse engendrée dans la poussière de l'éruption du volcan au 15 Janvier est plus forte que les 3 foyers d'activité mondiale. Ceci est bien visible car l'éruption s'est produite avant le pic d'activité orageuse d'Asie qui doit se situer aux alentours de 7h00 UTC.



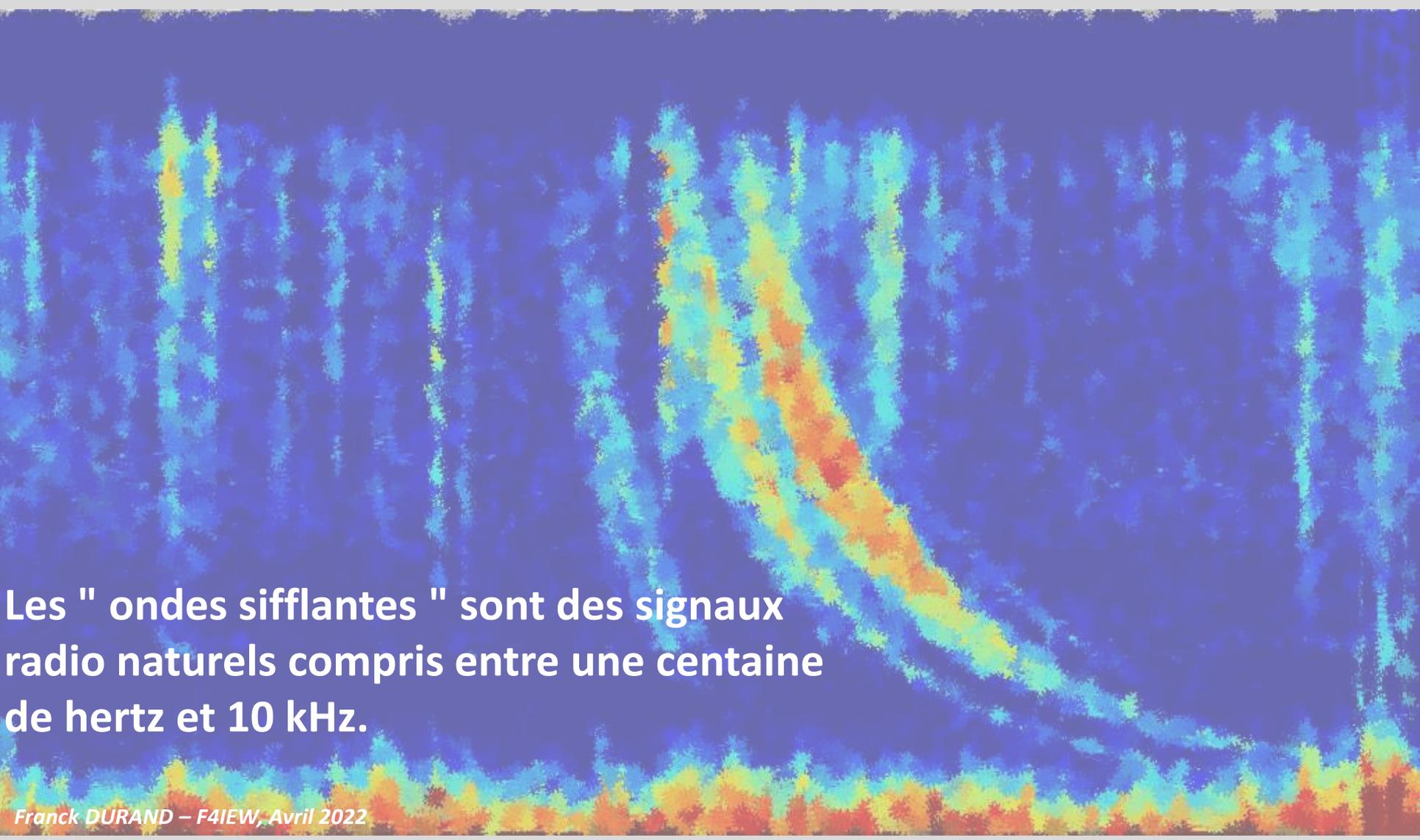
Enregistrements réalisés par Jean-Marie (F6ETU) et analysés par Thierry ALVES (F4EOB)

- 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.

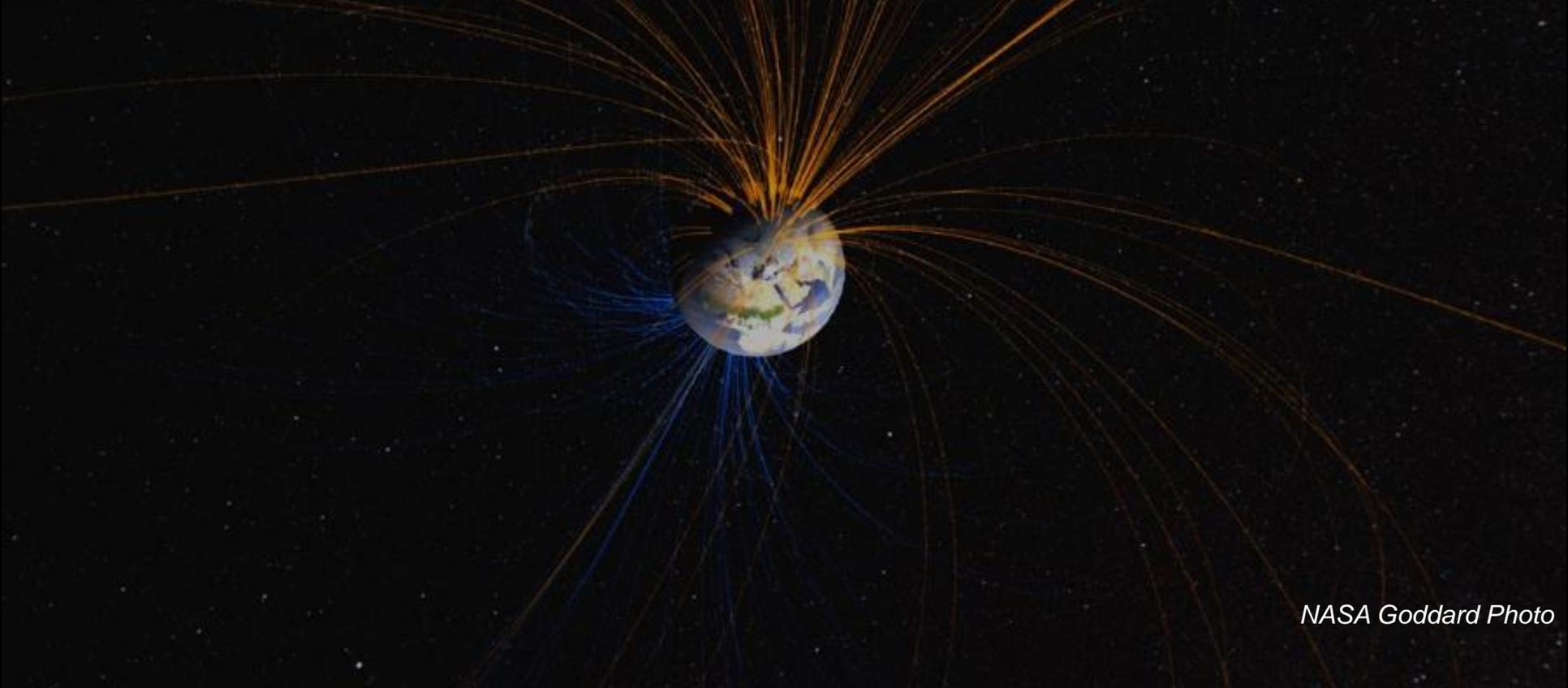
Découverte des siffleurs

- 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)



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

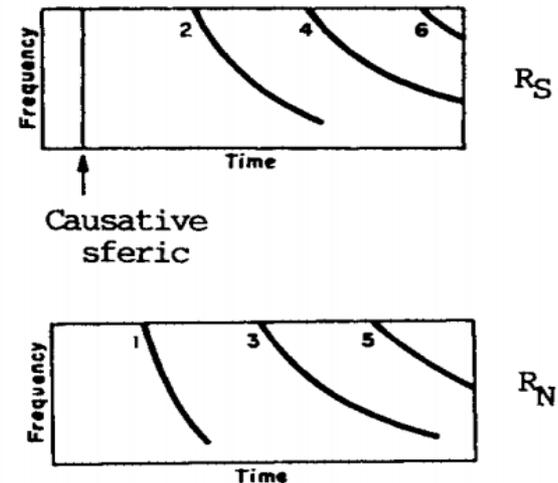
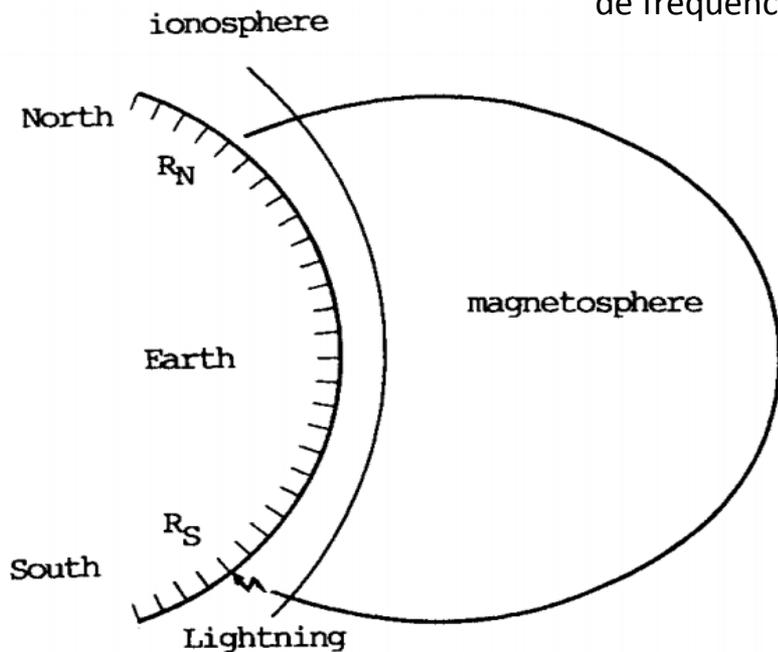


NASA Goddard Photo

- 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

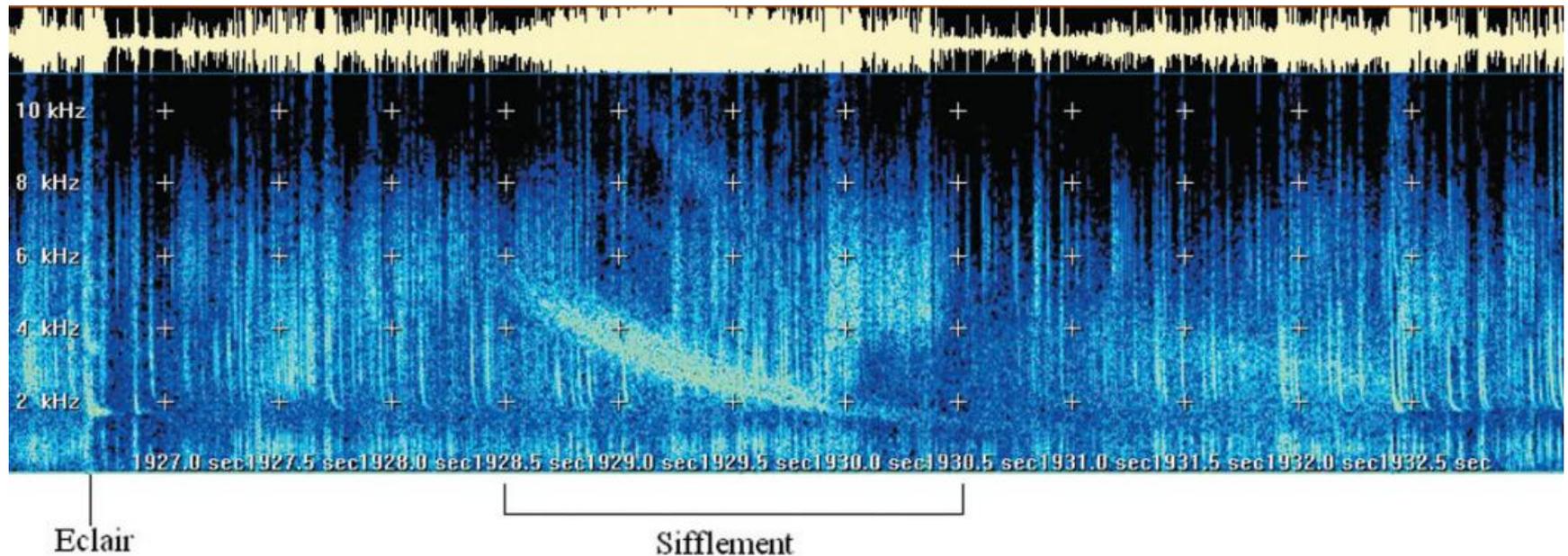
Source et propagation des siffleurs

- 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,

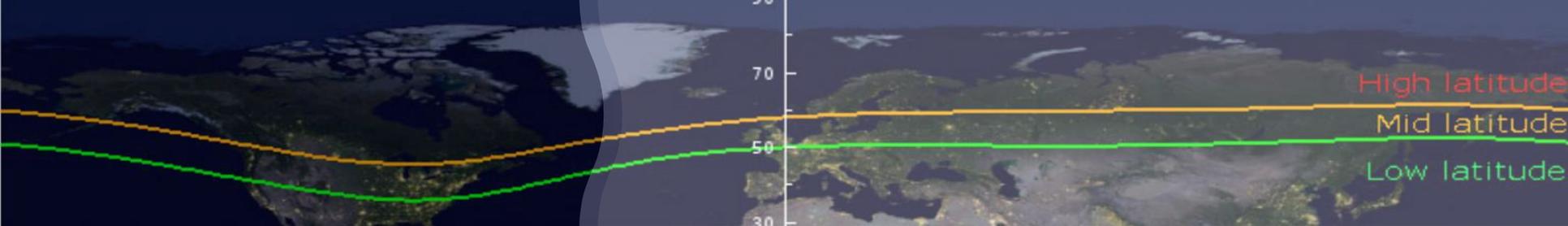


Source: Handbook of Atmospheric Electrodynamics: Volume II, Edited by Hans Volland. Radioastronomical Institute, University of Bonn, Bonn, Germany

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

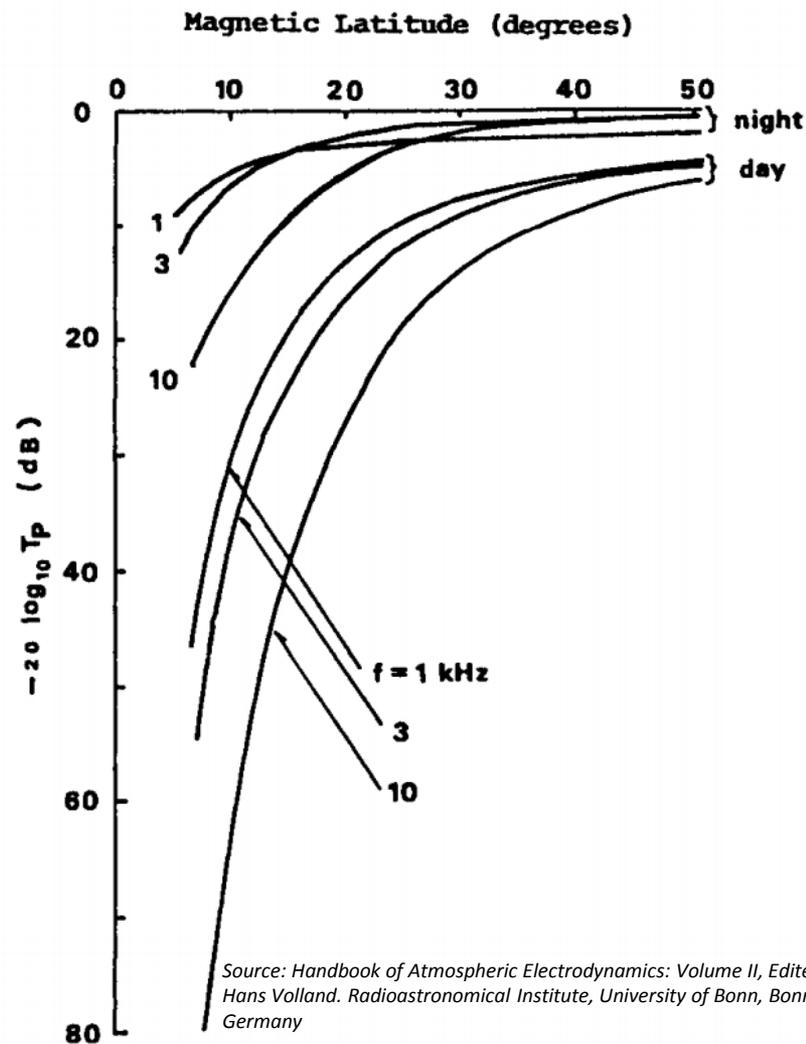


[Lien vers la vidéo](#)



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.



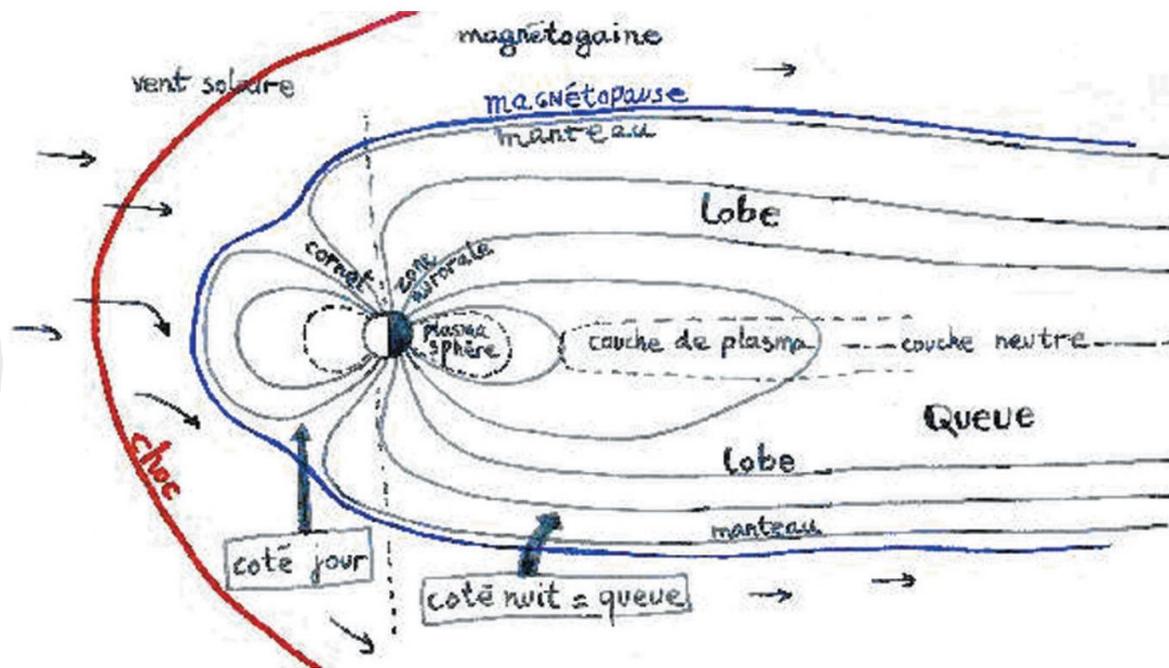
Source: Handbook of Atmospheric Electrodynamics: Volume II, Edited by Hans Volland. Radioastronomical Institute, University of Bonn, Bonn, Germany

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.

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

$$= 1,399 \text{ MHz}$$

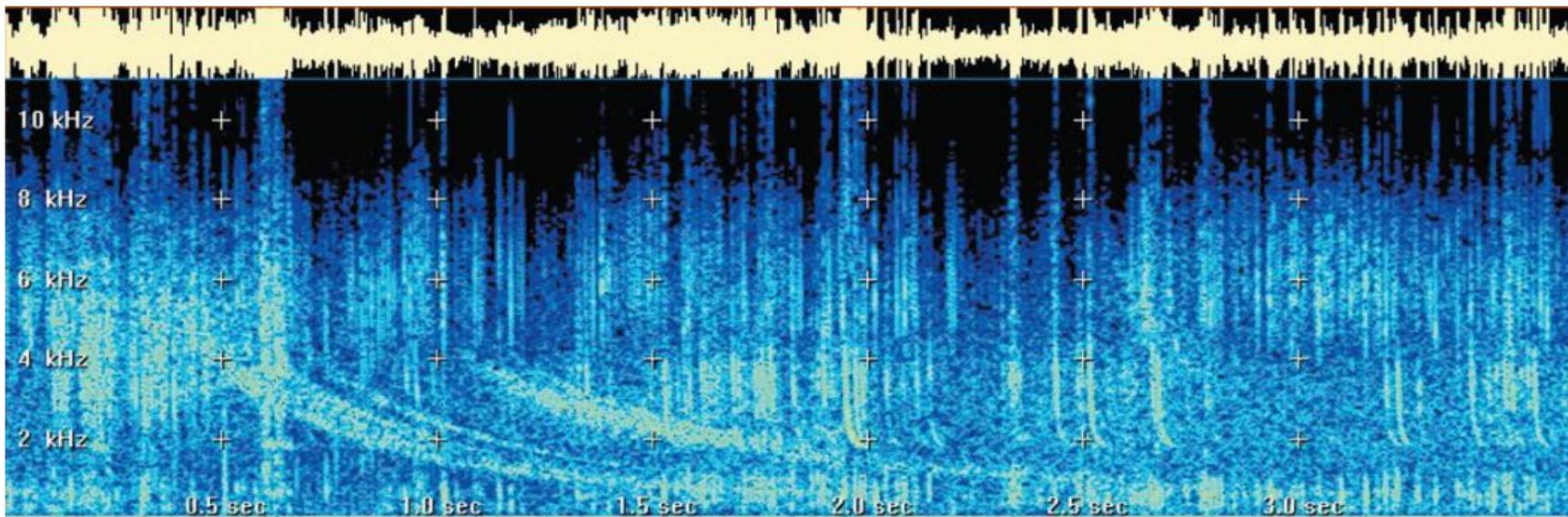
$q_e = 9,109.10^{-19}$ C (charge de l'électron)
 $B_0 = 50 \text{ uT} = 50.10^{-6}$ T (Champ magnétique terrestre en Tesla)
 $m_e = 9,109.10^{-31}$ Kg (Masse de l'électron)



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

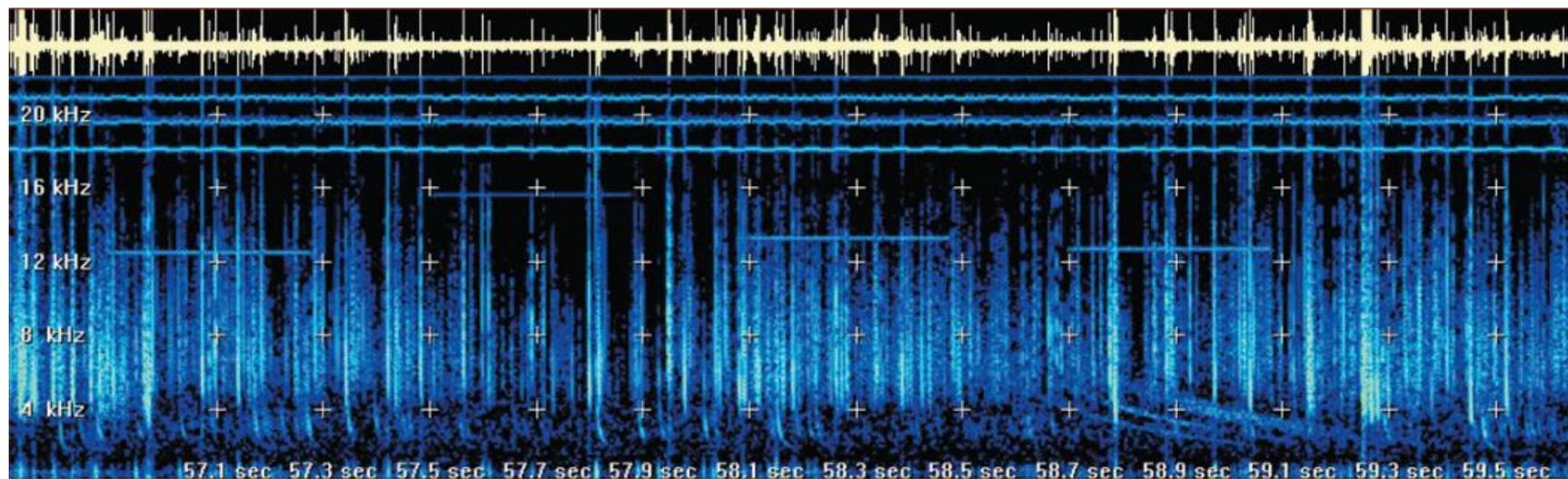
Echos de sifflements (Whistler Echos)

- Lorsque les conditions sont bonnes, l'Energie des sifflements peut être réfléchi au travers du canal d'origine, puis réfléchi 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

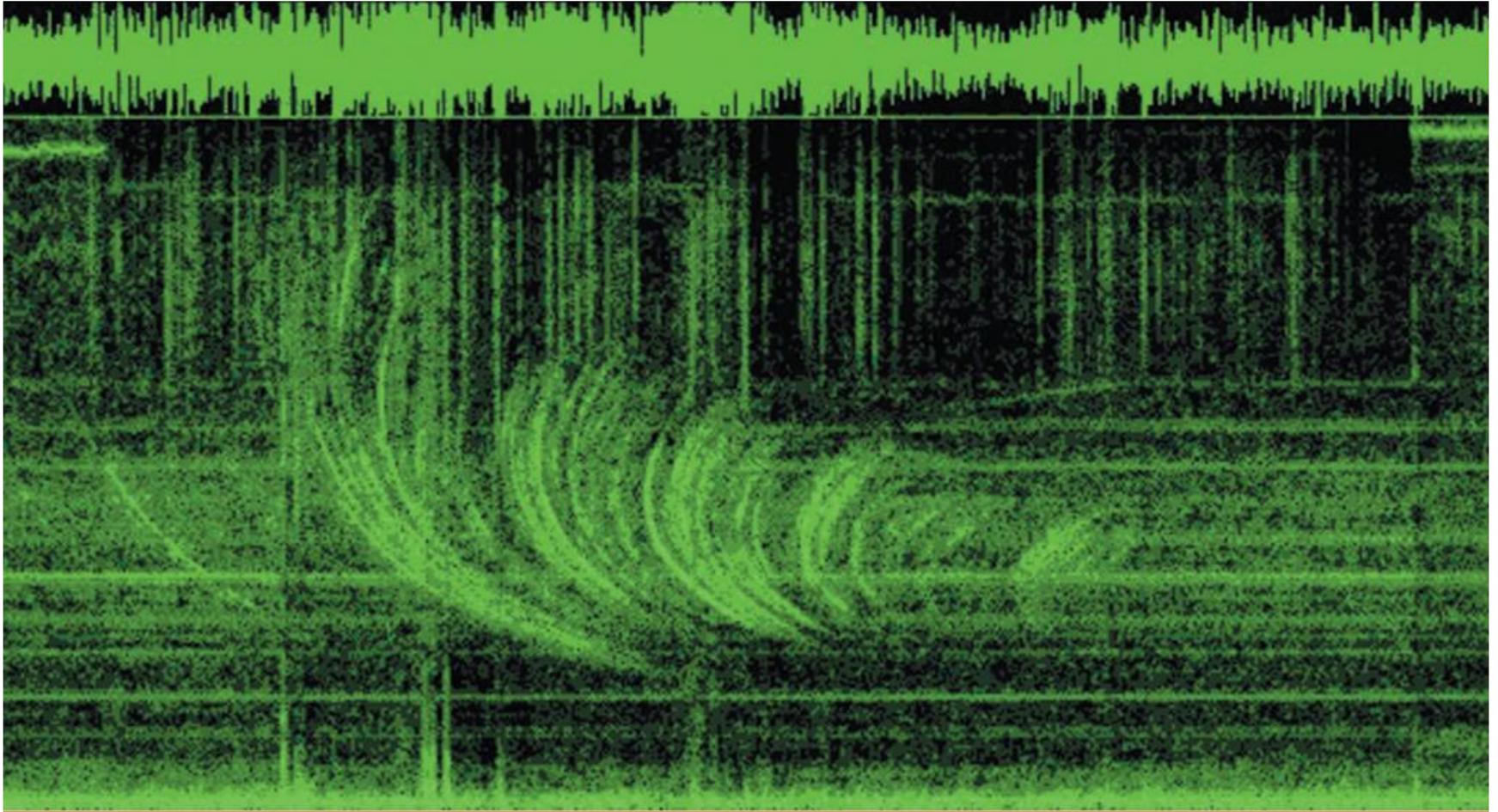


Spectrogramme d'un sifflement double.

[Lien vers la vidéo](#)

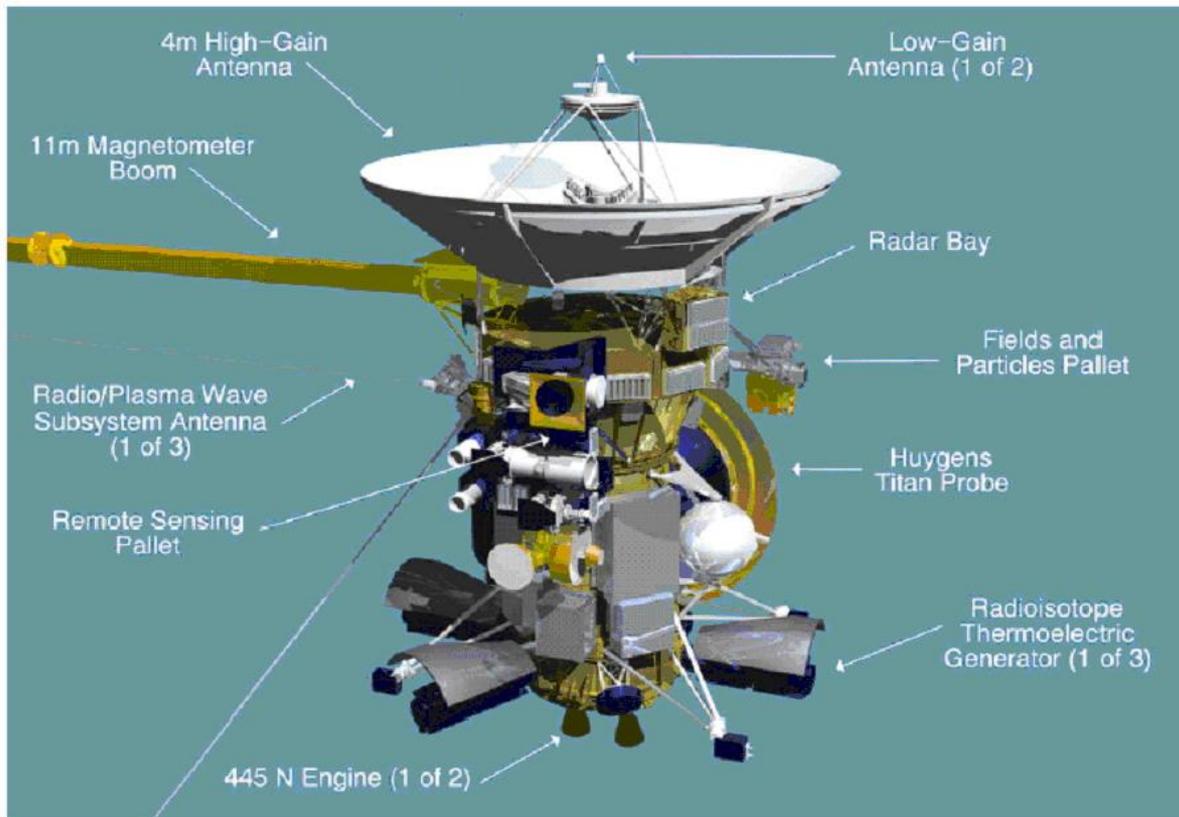


Sifflement triple.



Spectrogramme d'un sifflement " nez " ..

Ces phénomènes naturels ne concernent pas que la Terre: des sondes spatiales ont déjà détecté de tels phénomènes naturels (whistlers, etc) en survolant des planètes possédant un champ magnétique et une magnétosphère (comme Jupiter et Saturne, par exemple)



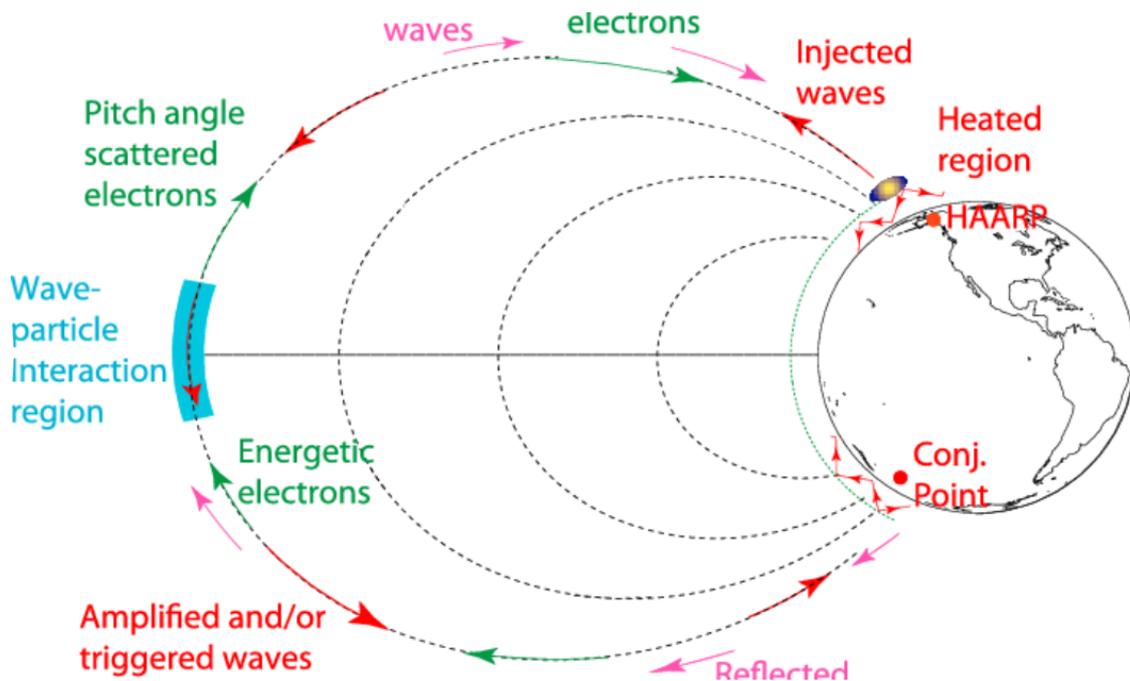
La sonde Huygens: L'instrument PWA (Permittivity, Waves and Altimetry), l'une des composantes de l'expérience HASI, réalisait des mesures Extra Basses Fréquences et Très Basse Fréquences (PWA-ELF-VLF).

Sources: LPC2E

http://www.perso.lpc2e.cnrs.fr/www_experim/experim_espace_pwa_fr.php



Un schéma de l'expérience d'injection d'ondes en mode "Wistler" HAARP. Les ondes ELF/VLF générées dans l'ionosphère au-dessus de HAARP sont injectées dans le guide d'onde Earth-ionosphere et dans la magnétosphère.



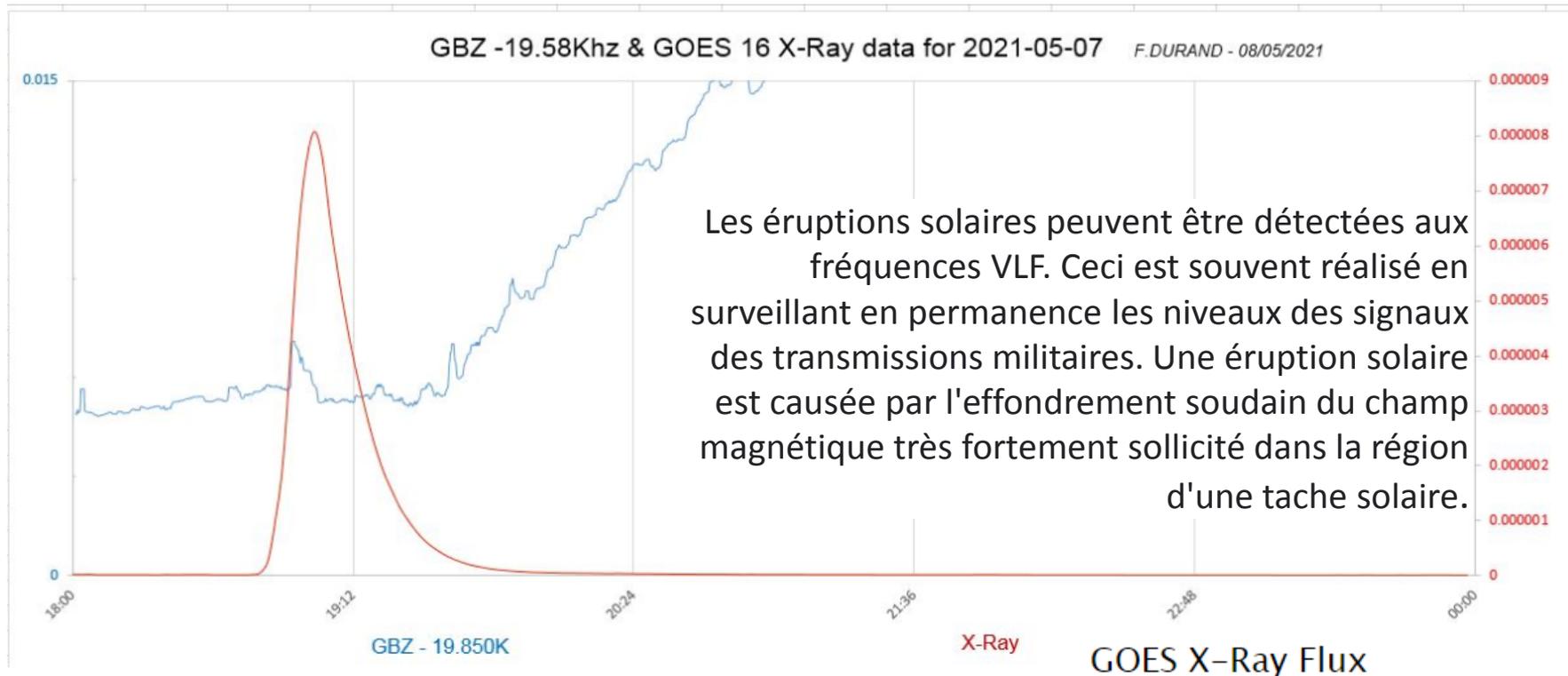
Source: Amplitude and phase of nonlinear magnetospheric wave growth excited by the HAARP HF heater, February 2010, Mark Golkowski- University of Colorado, Morris B Cohen - Georgia Institute of Technology, DOI:10.1029/2009JA014610

Sudden Ionospheric 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.

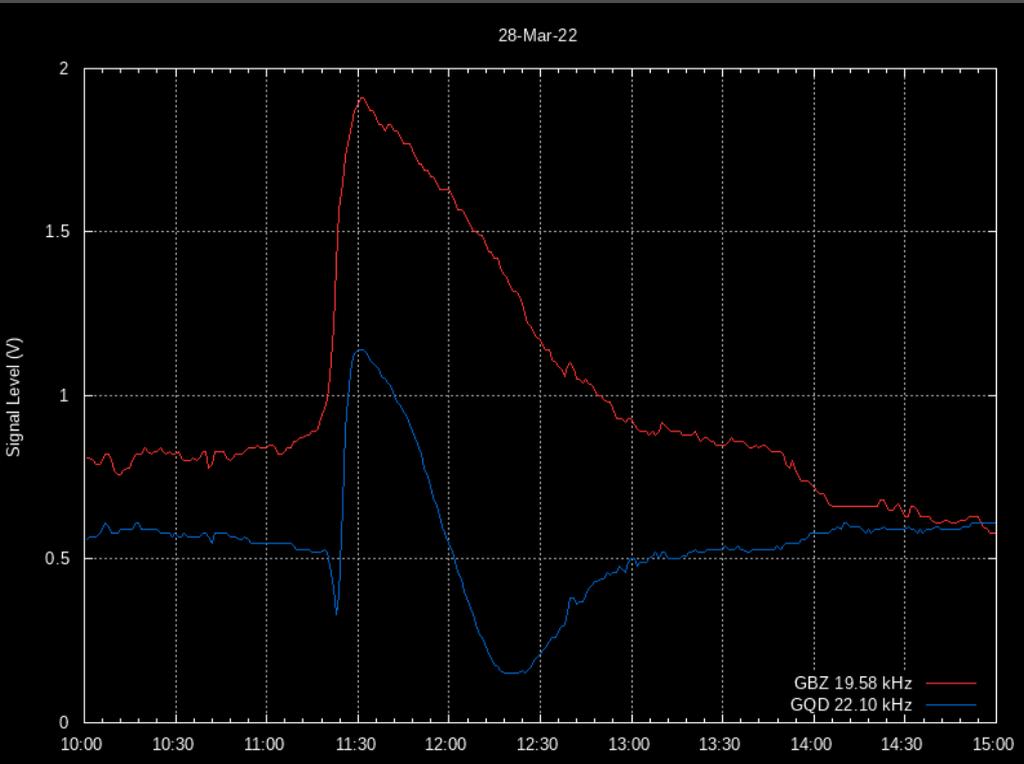
Sudden Ionospheric Disturbance

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).

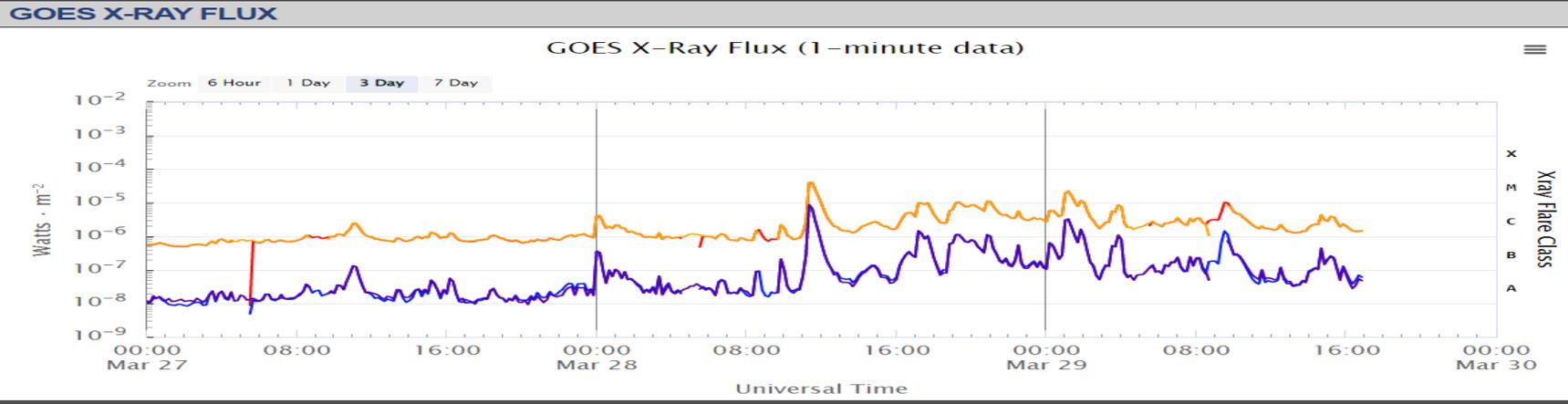


SPACE WEATHER PREDICTION CENTER
NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION

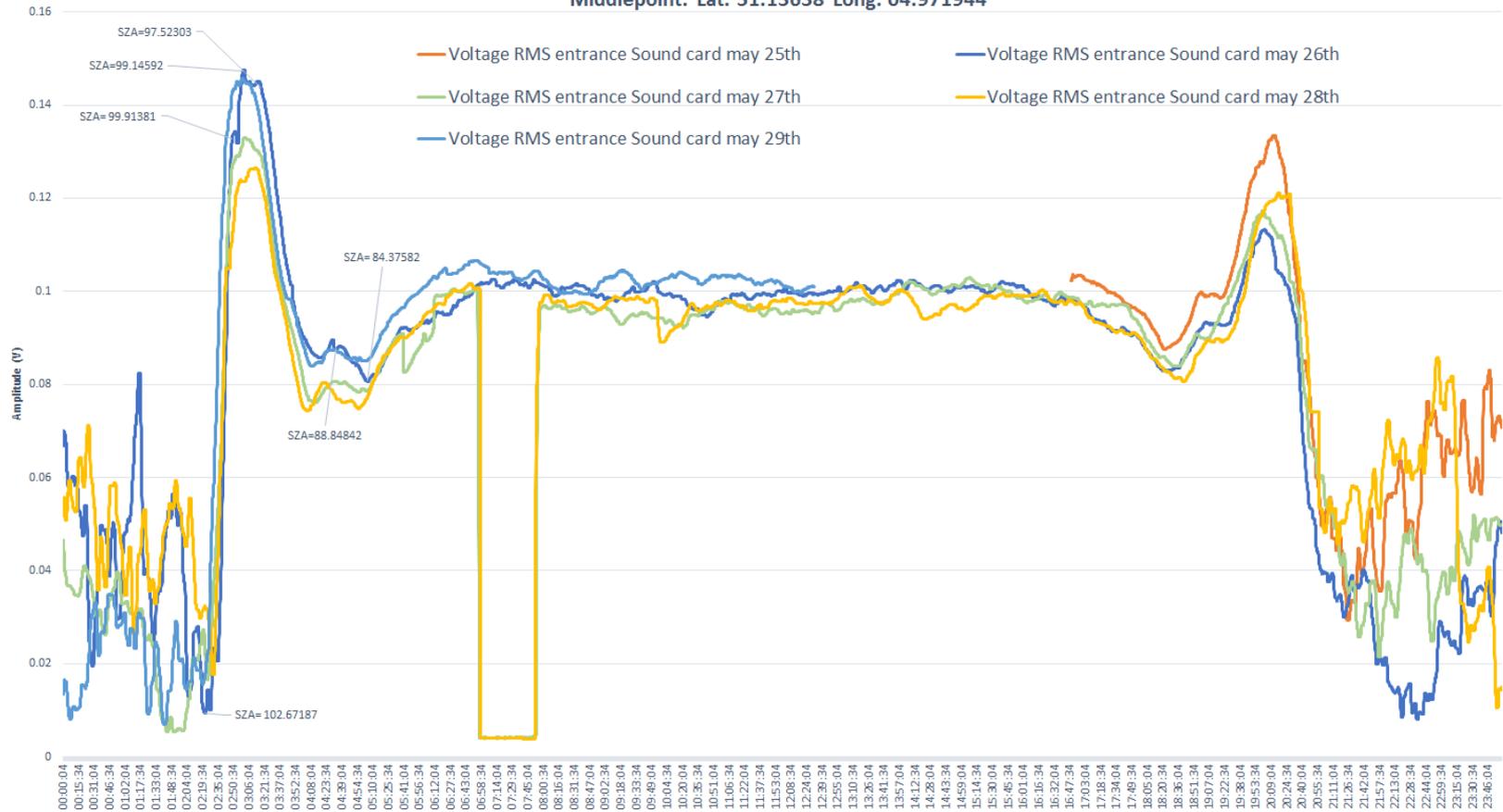
28 mars 2022



J-P GODET
F5YG



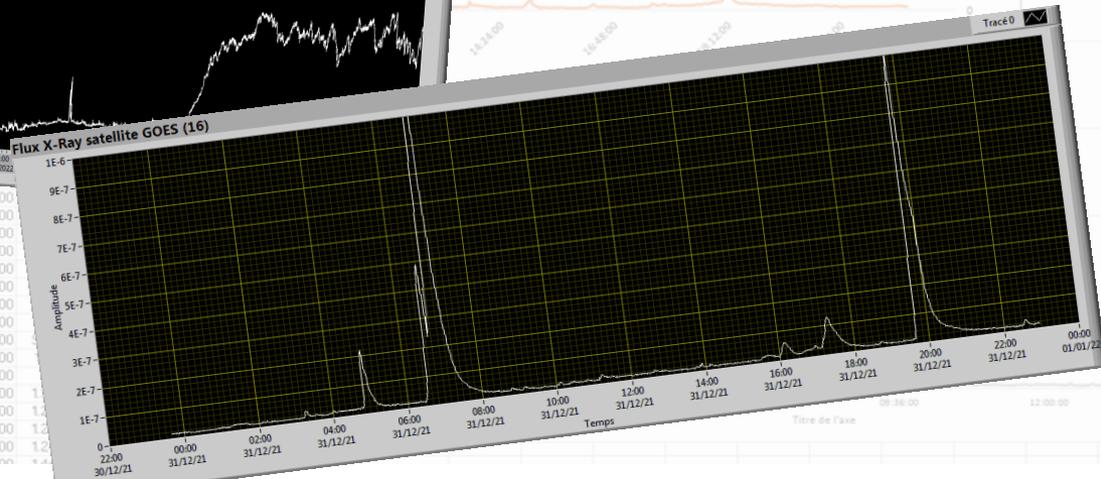
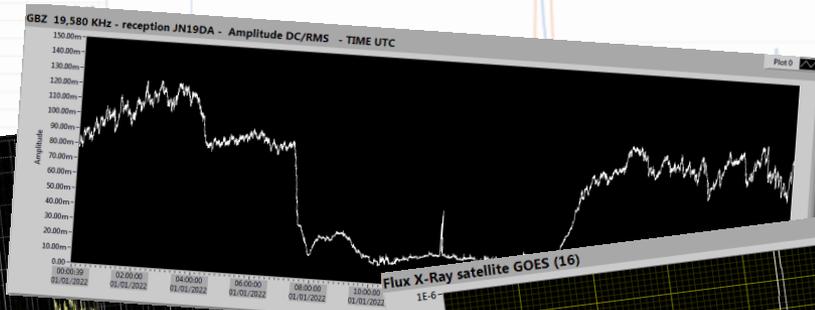
DHO38 - Volt RMS+DC Value at soundcard input - Bandwith 23,3 kHz to 23,5 kHz - Active buildin E-Field Antenna
recording from May 25th to May 29th
Middlepoint: Lat. 51.13638 Long. 04.971944



Sudden Ionospheric Disturbance

Pour effectuer ces mesures il faut:

- 1- Enregistrer le signal VLF provenant d'une station connue grâce à une antenne (antenne active pour ceux qui sont en ville et qui n'ont pas des km de jardin)
- 2- Un logiciel pour traiter le signal reçu (J'ai développé mon propre logiciel automatique sous LabVIEW sous Windows). SpectrumLab est également un logiciel gratuit qui permet de faire ce type d'enregistrement.
- 3- Il faut ensuite réaliser un graph avec SpectrumLab ou traiter les données exportées dans Excel



4. Choix de l'émetteur à utiliser pour la surveillance des PIDB

Avec les coordonnées géographiques précises de l'émetteur et celles du récepteur

https://www.latlong.net/degrees-minutes-seconds-to-decimal-degrees?fbclid=IwAR0o8euKIo2QCxM_7sZ9msCa4U9IUDagioi849b7XPiGOSpEI_dy1vgs1l0

De nombreuses stations VLF militaires sont implantées de part le monde pour la communication avec les sous-marins.

Il est important qu'elles soient suffisamment éloignées afin de limiter le niveau de l'onde de sol. Le site de DCF77 (voir DCF77 range) mentionne une onde de sol prédominante jusqu'à 500km, et des ondes de sol et réfléchies comparables entre 600 et 1100km. En conséquence, le choix doit s'orienter vers **un émetteur situé à au moins 500km, et de préférence au-delà de 1100km.**

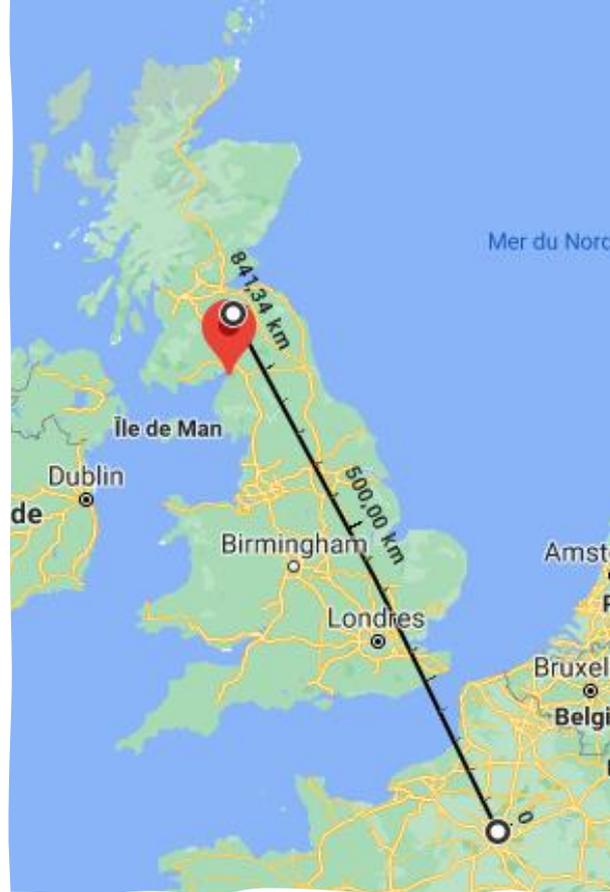
La limite haute pour avoir une seule "réflexion" sur l'ionosphère est aux alentours de 1900km durant la journée (en supposant une couche D à 70km d'altitude) et de 2100km durant la nuit (en supposant une couche E à 90km d'altitude). **Les signaux d'émetteurs à plus grande distance auront deux réflexions** ou plus sur l'ionosphère et le graphe du niveau du signal reçu présentera plusieurs transitions nuit/jour et jour/nuit.

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)

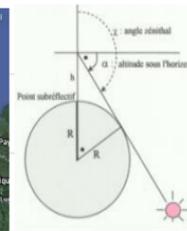
https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html?fbclid=IwAR21zyC9o0vPq85HrY6Bpu9qvPc2sRV5vMrPBOuAGRVqdUHDUQ_QONUW_Hk

GBZ - April 29 to May 1st - 2021

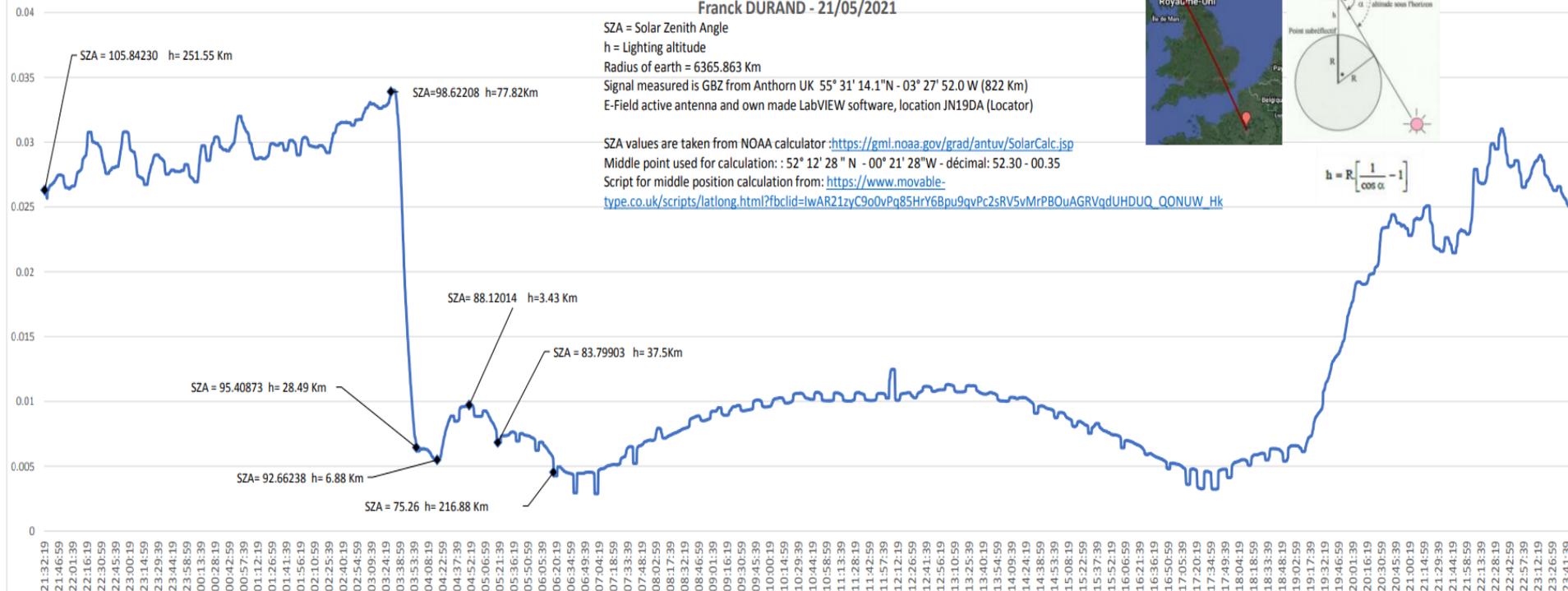
Franck DURAND - 21/05/2021

SAZ = Solar Zenith Angle
h = Lighting altitude
Radius of earth = 6365.863 Km
Signal measured is GBZ from Anthon UK 55° 31' 14.1"N - 03° 27' 52.0 W (822 Km)
E-Field active antenna and own made LabVIEW software, location JN19DA (Locator)

SAZ values are taken from NOAA calculator: <https://gml.noaa.gov/grad/antuv/SolarCalc.jsp>
Middle point used for calculation: : 52° 12' 28 " N - 00° 21' 28"W - décimal: 52.30 - 00.35
Script for middle position calculation from: https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html?fbclid=IwAR21zyC9o0vPq85HrY6Bpu9qvPc2sRV5vMrPBOuAGRVqdUHDUQ_QONUW_Hk



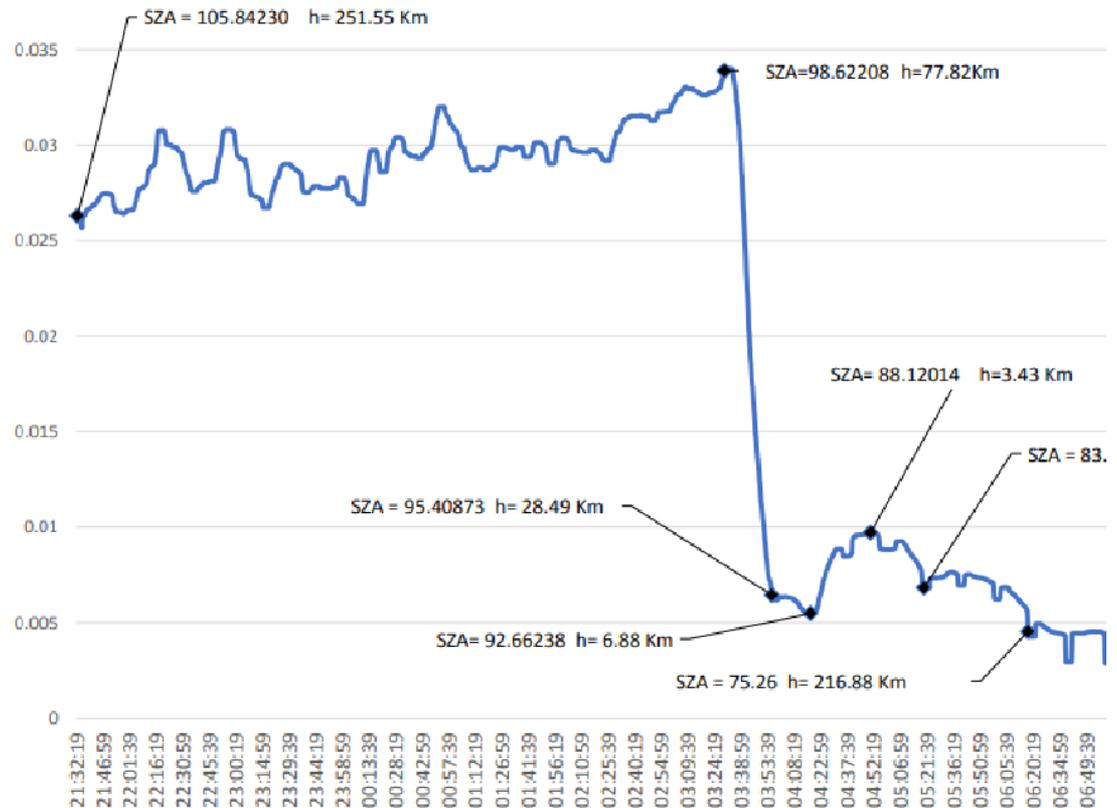
$$h = R \left[\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right]$$



Le graphique représente la variation du niveau RMS du signal (valeur efficace) sur une durée de 24h. Sur ce tracé nous observons chaque jour le lever ionosphérique (ici 3h53 UTC) ainsi que le couché (ici 20h16). Le lieu où la réflexion (nous parlons plutôt de réfraction en fonction des propriétés de la couche D qui réfracte l'onde reçue vers le sol en la pliant) s'effectue à la verticale est appelé point subréflectif et intervient au moment où le SAZ (Solar Zenith Angle) est d'environ 97,8° il est situé au milieu du trajet (distance entre émetteur et récepteur 822Km).

• 5 – Pour chaque point relevé sur la courbe il est ensuite possible, avec la date et l'heure précise, d'obtenir la valeur de l'angle SZA correspondant au Midpoint (serveur NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration)

- **Solar Position Calculator**
- <https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/azel.html>



6-2 Géométrie du lever ionosphérique .

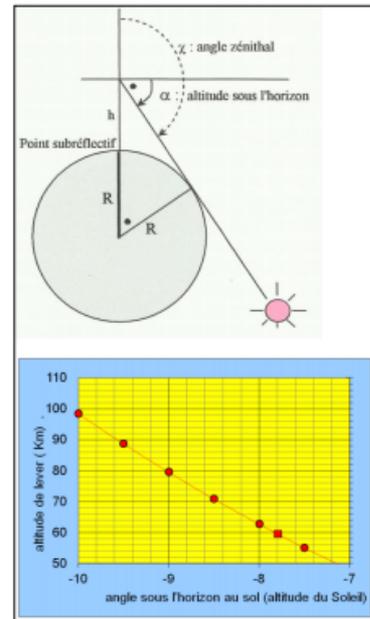


Figure 30 : Géométrie du lever ionosphérique .

Pour un Soleil au limbe :

$$h = R \left[\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right]$$

dont l'évolution est quasiment linéaire .

On constatera que pour une altitude de $-7,8^\circ$, soit pour un angle zénithal χ de $97,8^\circ$, la totalité de la région D est éclairée . On prêter attention au fait que le graphique est de position et non temporel . On se souviendra que le Soleil se déplace de son diamètre angulaire, soit de $0,5^\circ$, en approximativement trois minutes .

Lors du lever ionosphérique, lorsque le soleil pointe au limbe, la totalité des XR et des UV est absorbée par la troposphère . En effet, dans le cas des XR on peut montrer que sur le trajet optique correspondant à $\chi = 100^\circ$ la quantité de matériau absorbant est plus de deux millions de fois plus grande que sur le trajet optique correspondant à $\chi = 90^\circ$. D'autre part, il faut se souvenir que 90% des photons X de 3 keV, responsables majoritaires de l'ionisation diurne dans la tranche altimétrique des 80→ 85 km

sont absorbés par une couche d'air de 10 cm d'épaisseur aux conditions normales (figure 31) ...

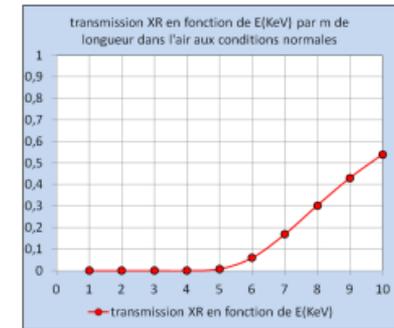


Figure 31 : Coefficient de transmission des XR dans une tranche d'atmosphère de 1 m d'épaisseur aux conditions normales

Le Soleil qui se lève est donc durant quelques minutes un Soleil rouge et les longueurs d'onde incidentes qui jouent un rôle dans le photodétachement sont situées dans le visible à des $\lambda \geq 600 \text{ nm}$. Accessoirement, durant ce las de temps, il faut tenir compte sauf pour les XR de la réfraction atmosphérique . On vérifiera facilement qu'à partir d'une altitude de 100 km, la troposphère du limbe est sous-tendue par un angle de $0,8^\circ$ soit moins de deux diamètres solaires .

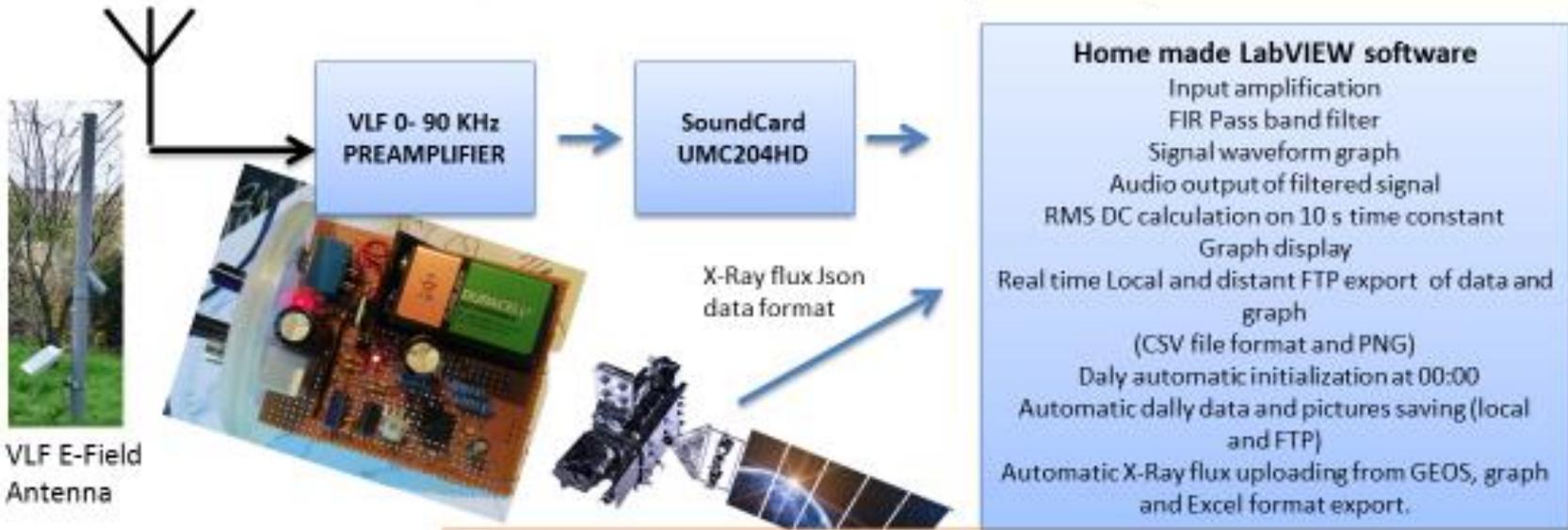
Le toit de la région D est caractérisé par un lit d'ions météoritiques centrés sur le Sodium dont la concentration bien que faible (de l'ordre de quelques 10^3 à 10^4 cm^{-3}), peut jouer un rôle transitoire majeur lors du lever ionosphérique puisque le potentiel d'ionisation de Na de 5,14 V est excessivement bas .

D'autre part, il perdure la nuit un éclairage résiduel en Lyman α dû à une fluorescence de résonance qui se développe dans la géocouronne d'Hydrogène . Son éclairage photonique, de cent à mille fois plus faible que celui de jour, et qui varie avec la saison, est néanmoins suffisant pour entretenir une ionisation minimale (entre 27 et 40 cm^{-3}) au toit de la région D . Chaque photon Ly α ($\lambda = 121,5 \text{ nm}$) auquel est attaché une énergie de 10 eV est susceptible d'ioniser une molécule de NO considéré comme le précurseur majeur de l'ionisation . Son potentiel d'ionisation est de 9,25 V, soit le plus bas de tous les constituants mésosphériques neutres . La concentration en NO est de trois ordres de grandeur supérieure à celle de Na .

- 6 – Avec la valeur SZA obtenue il faut ensuite appliquer des formules de géométrie (Cosinus, sinus etc...) ou une formule toute faite voir encore mieux une calculatrice Excel afin d'obtenir la valeur de h et de Z (en Km) pour le phénomène observé.

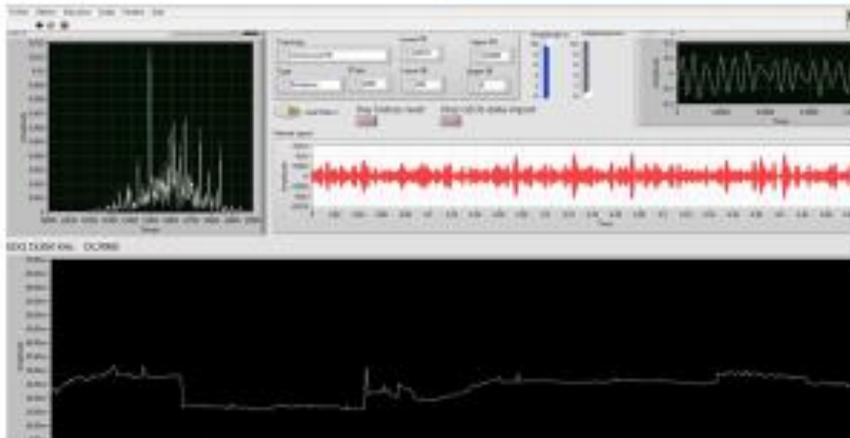
- Extrait de: Basse ionosphère, région D Les fondamentaux . J.J.Delcourt Dr.Sc.

F4IEW, VLF & HF observatory description



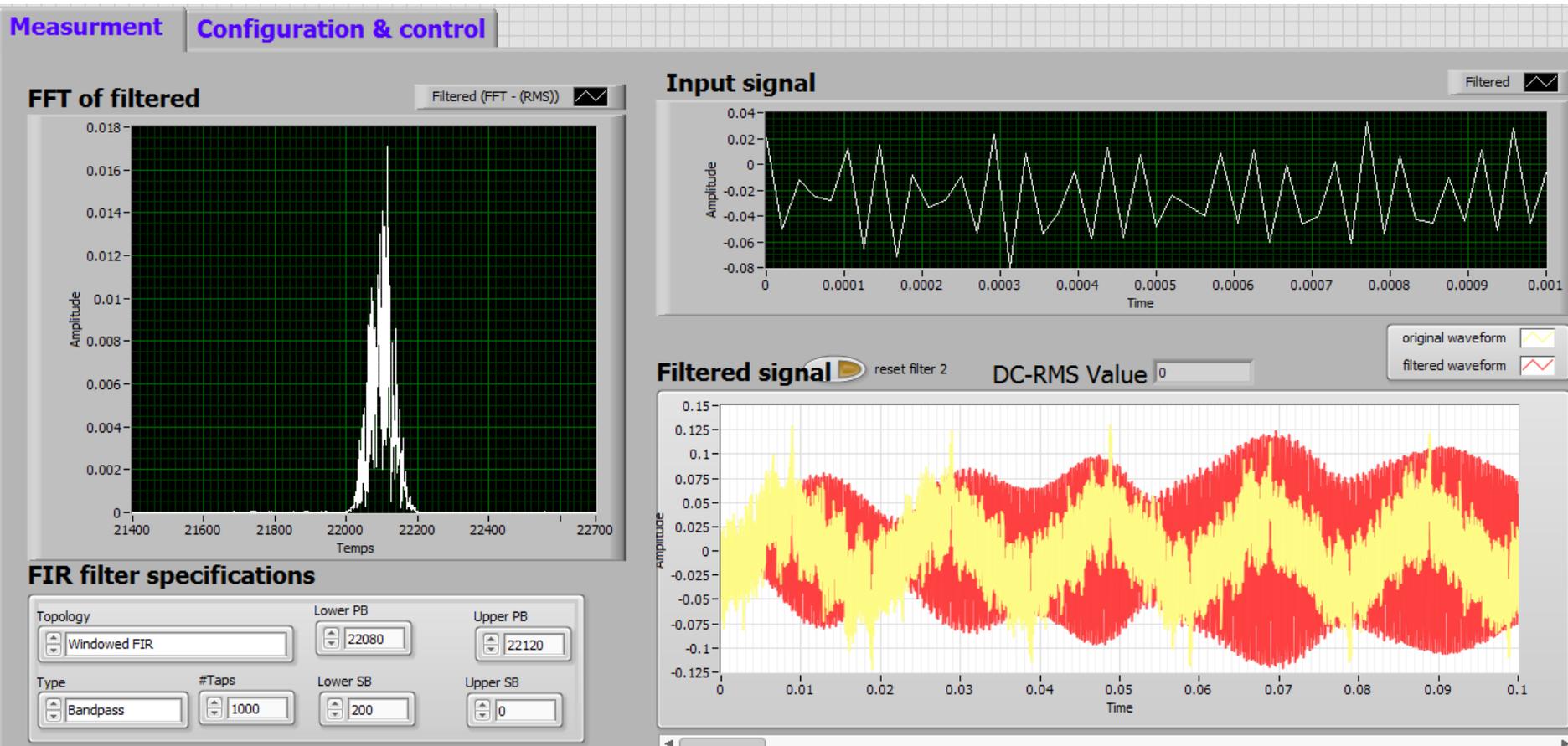
VLF E-Field Antenna

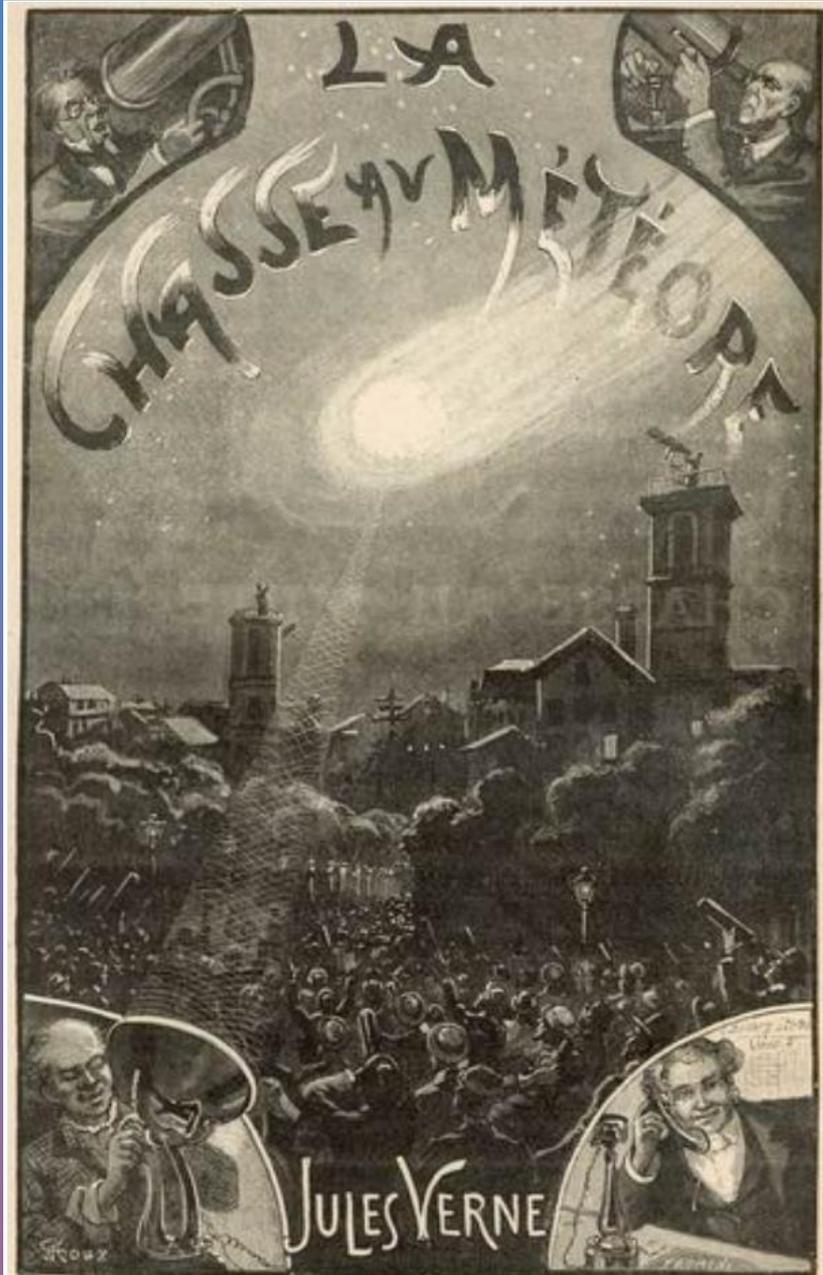
SPACE WEATHER PREDICTION CENTER
NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC
ADMINISTRATION



Franck DURAND, March 27, 2021

SID LabVIEW Software description by Franck DURAND, 2021 – F4IEW





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

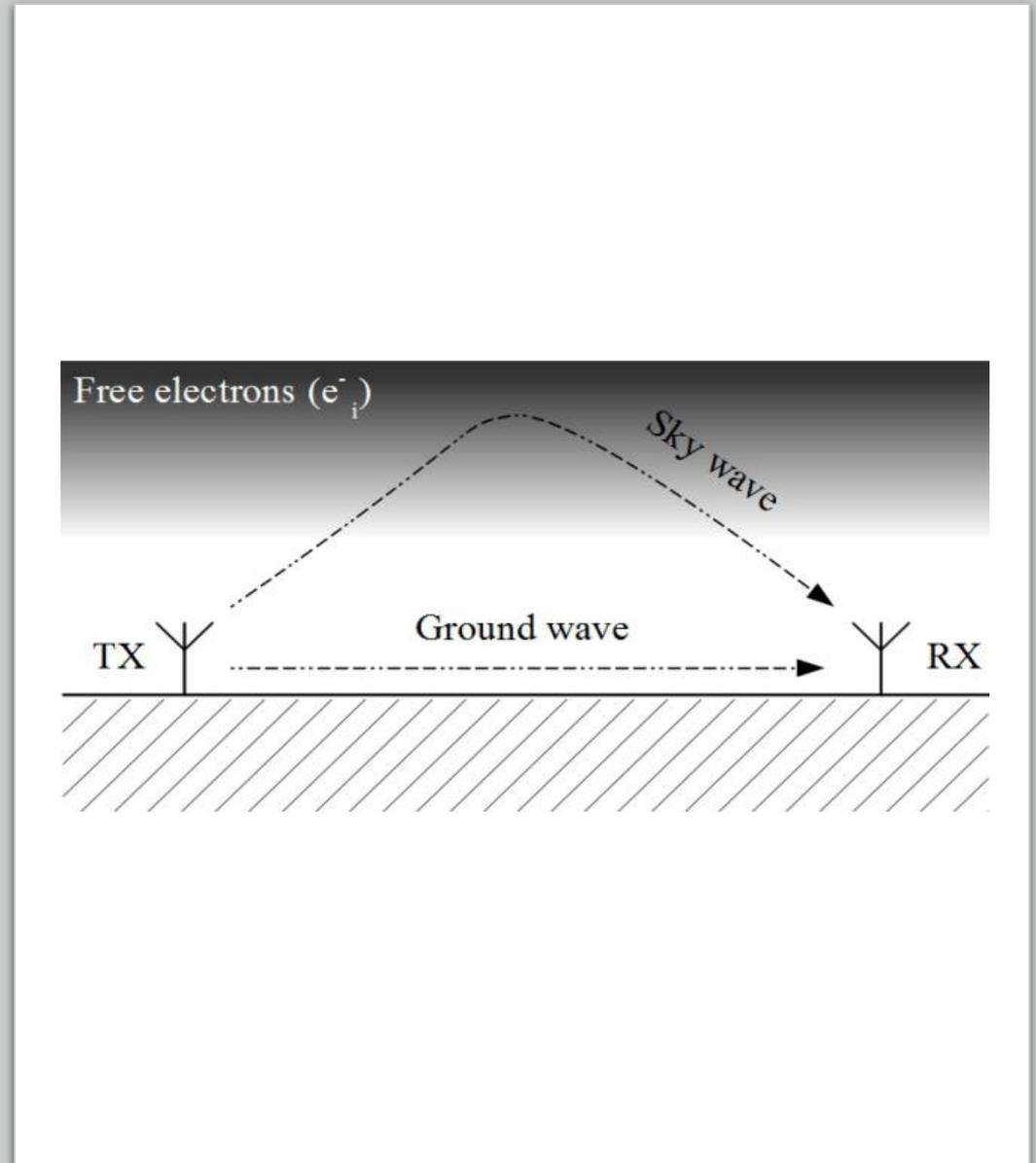
L'ionosphère terrestre bloque quasiment tous les rayonnements très basses fréquences provenant de l'espace.

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".

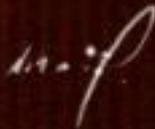




Specimen Fireball

October 09, 2009
0804:43 UT
(2:04 am MDT)

[Lien vers la vidéo](#)



Thomas Ashcraft
New Mexico

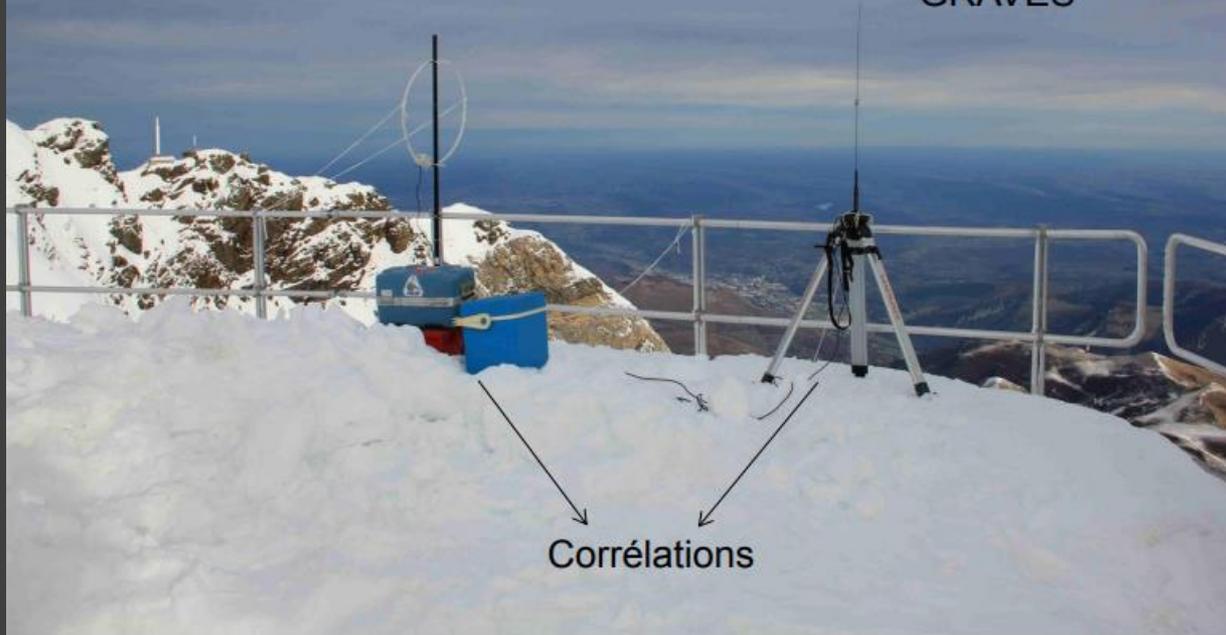
www.heliotown.com

Sentinel camera on loan from
Sandia National Laboratories

Exemple de campagne de mesures à l'observatoire du Pic du Midi

Enregistrement
ELF/VLF
(4 Hz à 24 kHz)

Détection des
météores avec
GRAVES

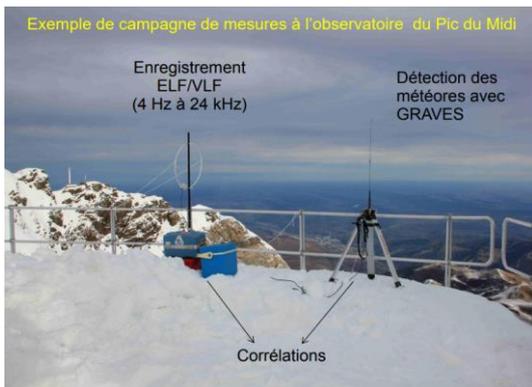


Corrélations

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.

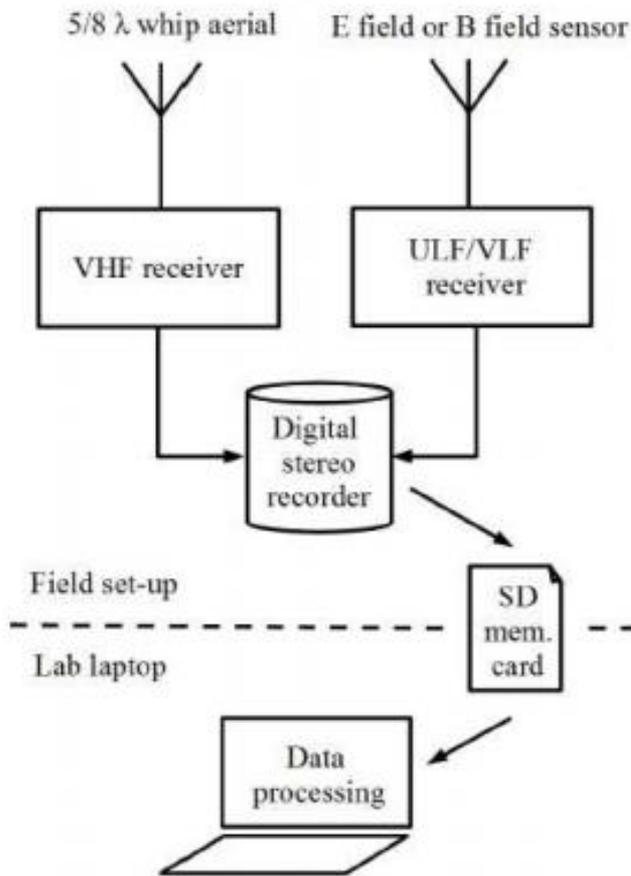
- **Observation d'une première perturbation VLF transitoire induite par un seul météore**

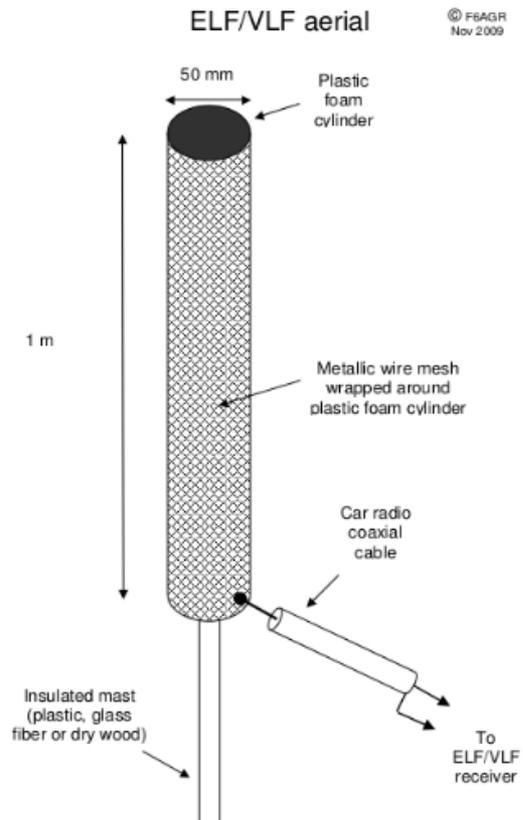
Le principe retenu pour cette expérimentation consiste à enregistrer simultanément tous les événements de la gamme radio VLF entre 5 Hz et 24 kHz d'une part, et l'ensemble de l'activité météorique détectable autour du lieu d'observation, d'autre part. La détection des météores est effectuée selon le 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





Electric field antenna - F6AGR

Antennes de réception

First trials of the
ELF VLF aerial at Armagh
observatory

Source Jean-Louis RAULT, F6AGR



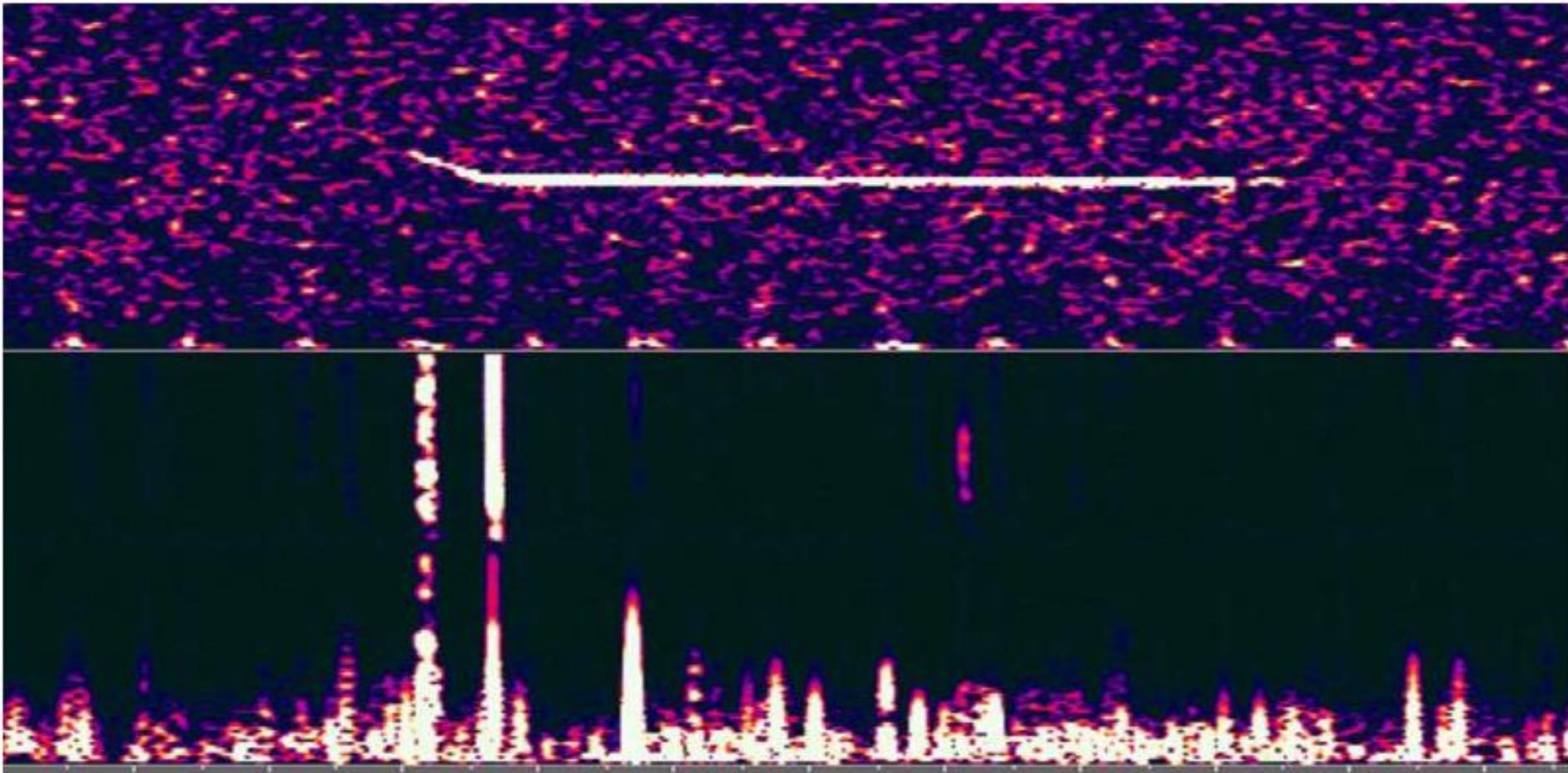
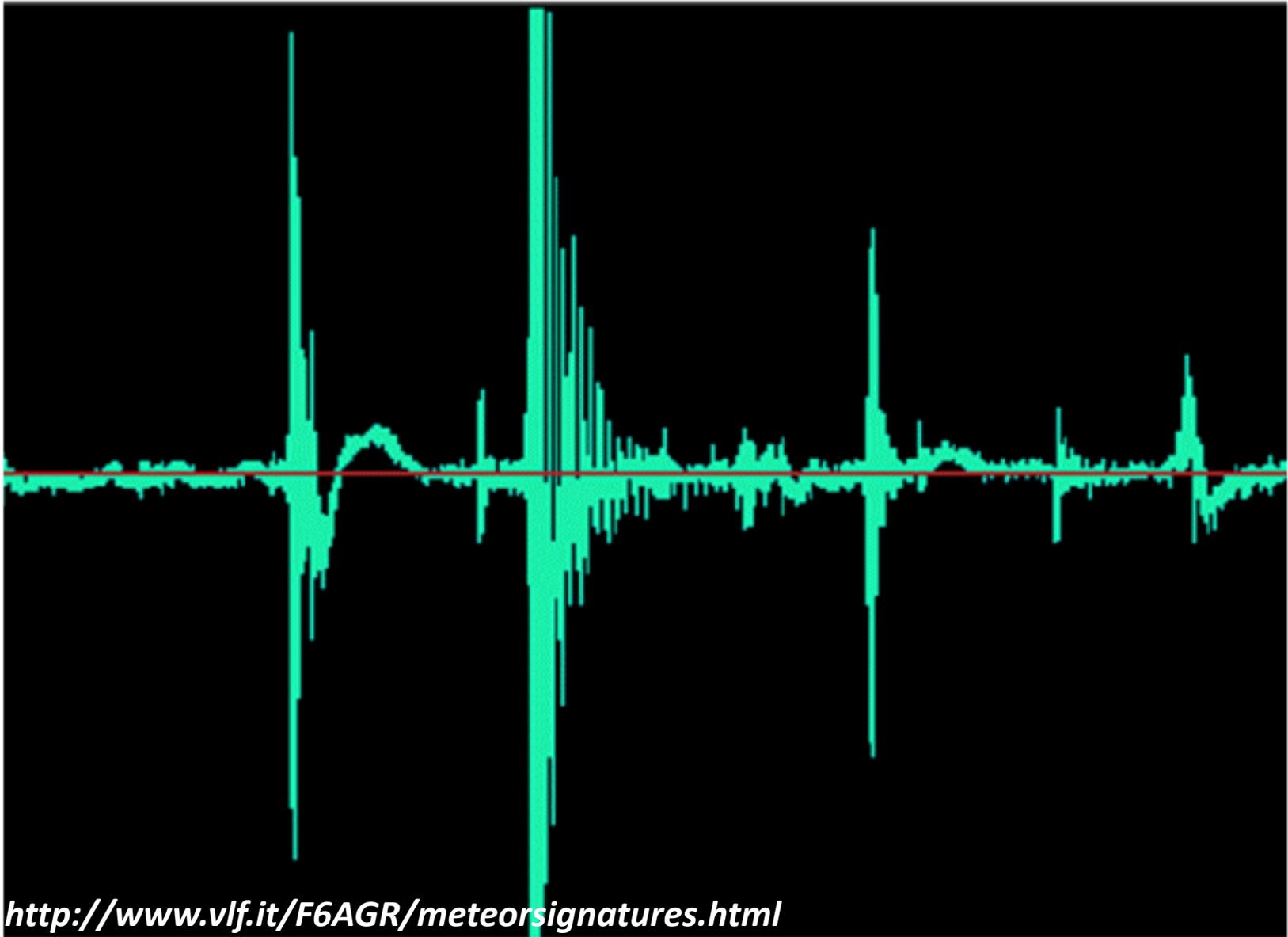


Figure 8 – VLF spikes during a meteor head echo (frequency domain)

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



<http://www.vlf.it/F6AGR/meteor signatures.html>

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

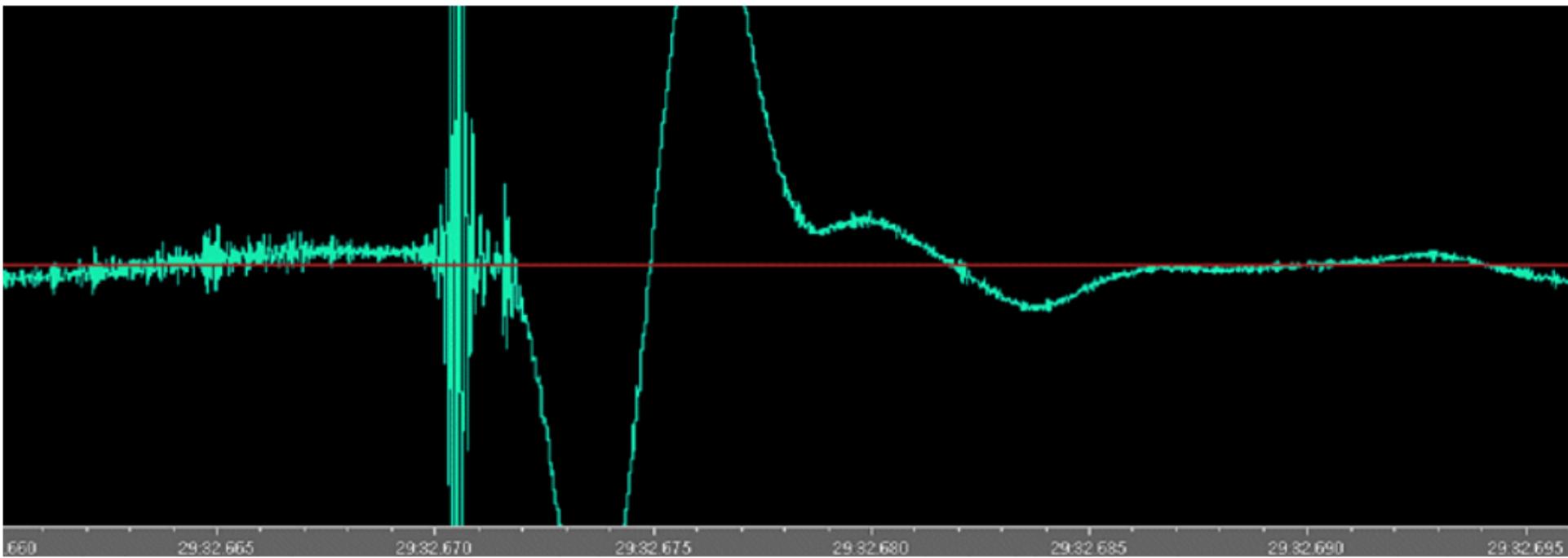


Figure 11 – Time domain representation of a very large ELF spike associated with a meteor ping

<http://www.vlf.it/F6AGR/meteor signatures.html>

Par F4IEW, les 8 et 11 Août 2020 depuis la Haute Savoie (Locator JN36HE)

Enregistrements des perturbations de propagation
des ondes radio associées à des météores à
l'occasion de la période des Perséides 2020.

ANT VLF



Préamplificateur VLF (0 – 20 KHz)
avec piquet de Terre
Pile 9v Interne



Distance 15m
(coaxial 50 Ohm)

ANT VHF

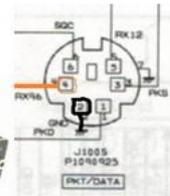
ANT HF



FT857D, récepteur HF et VHF



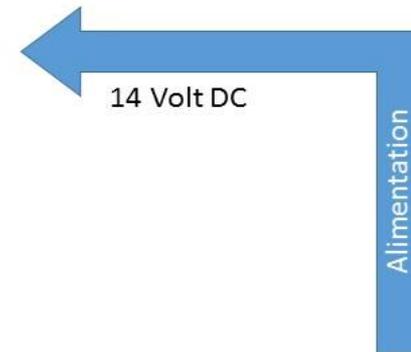
Isolateur US Link (isolation BF uniquement)



HN4PRO, Digitalisation sur carte SD
44Khz 16 bits

BF voie 1

BF voie 2

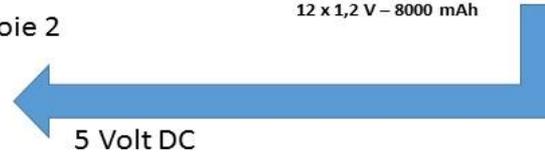


14 Volt DC

Alimentation



12 x 1,2 V – 8000 mAh

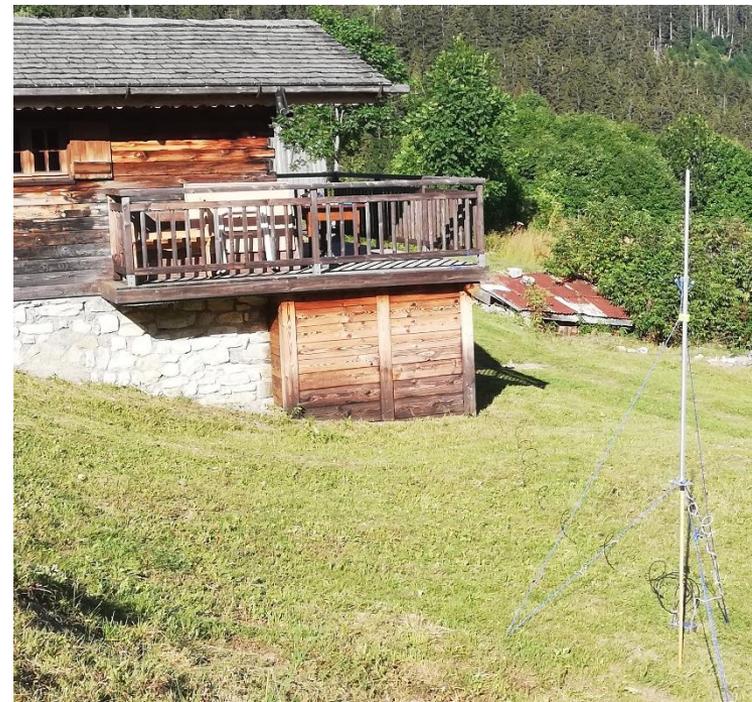


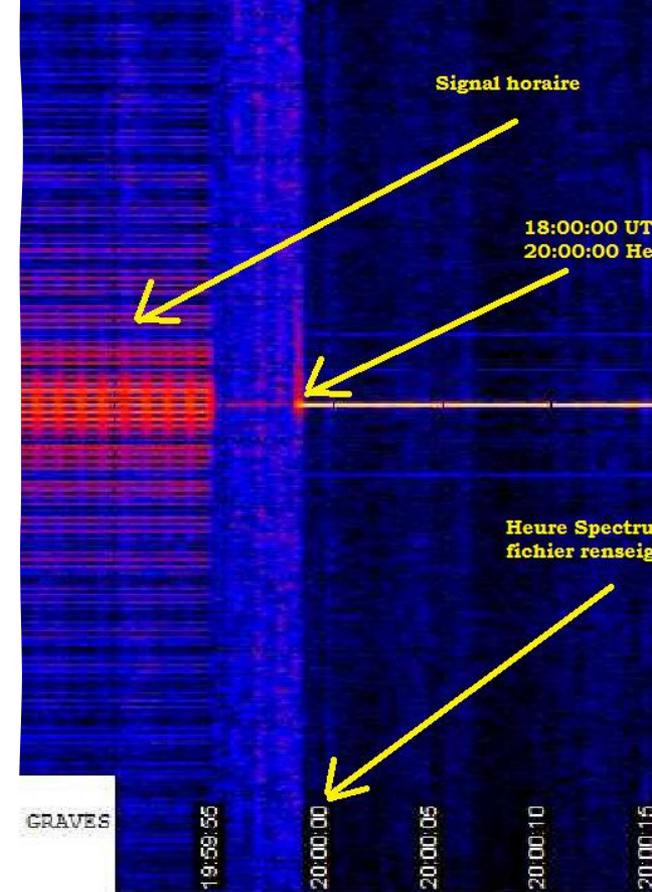
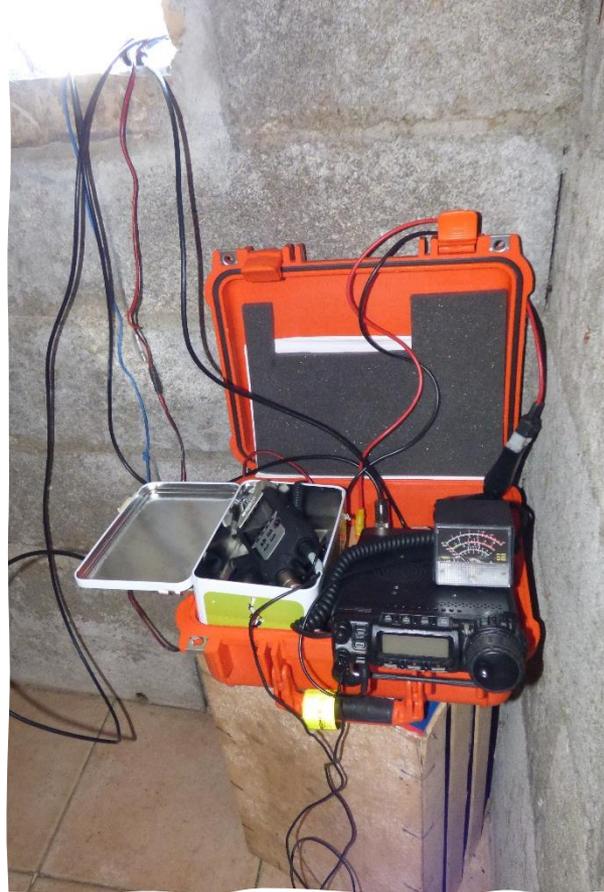
5 Volt DC



Août 2020 depuis la Haute Savoie (Locator JN36HE)

Franck DURAND – F4IEW, Avril 2022



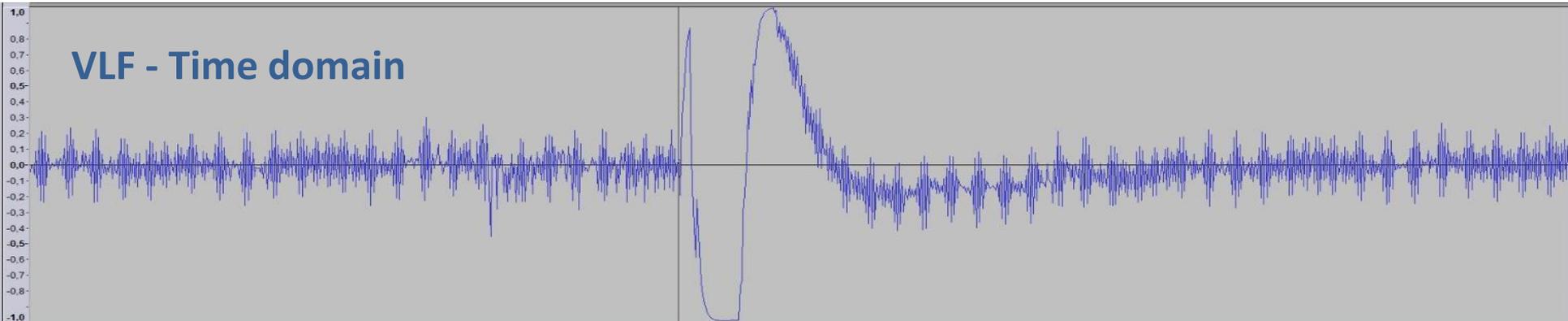


• **Les Fréquences utilisées pour la campagne d'enregistrements :**

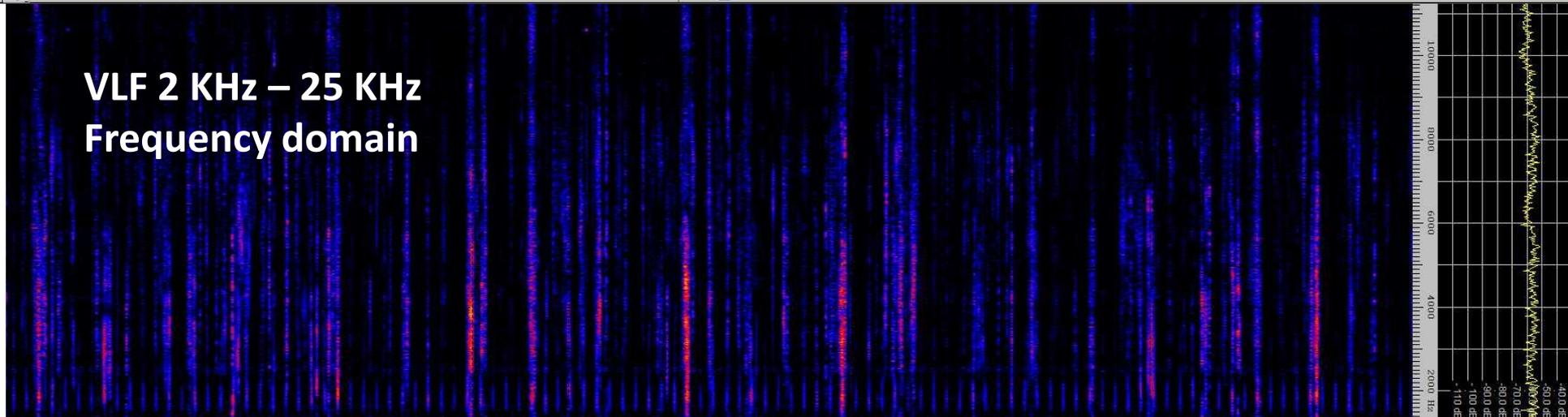
- ELF - VLF : 10 Hz – 20 KHz
- RWM : 4,996 MHz
- GRAVES : 143,050 MHz (réglage 143,0495 MHz en USB)

Août 2020 depuis la Haute Savoie (Locator JN36HE)

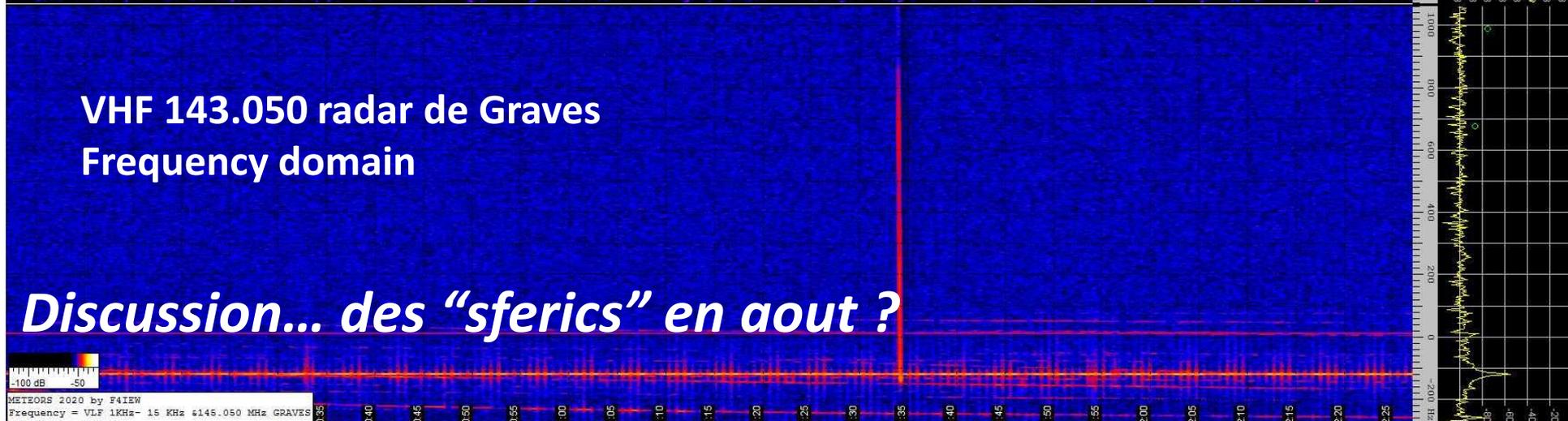
VLF - Time domain



VLF 2 KHz – 25 KHz Frequency domain

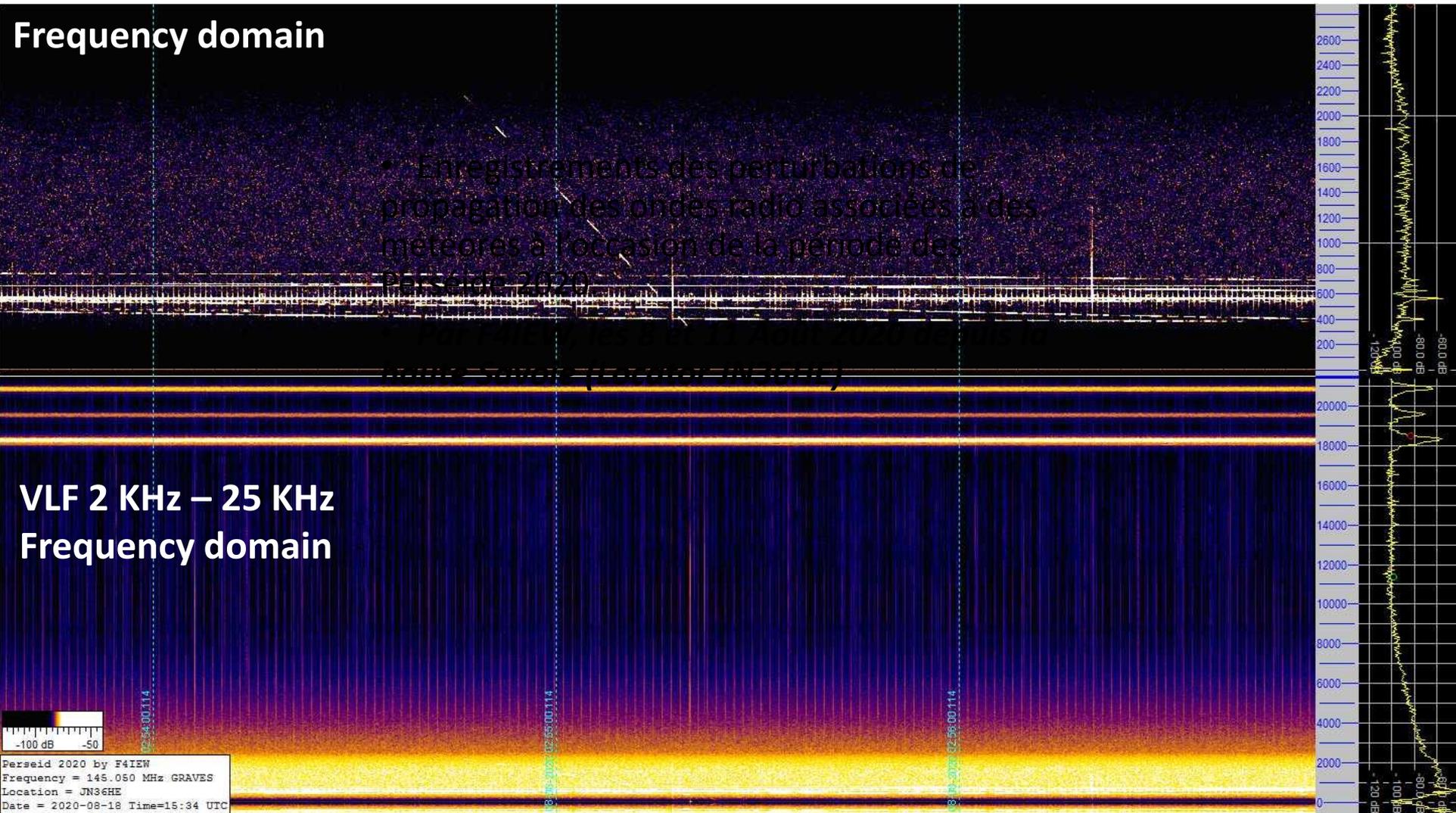


VHF 143.050 radar de Graves Frequency domain



Discussion... des "sferics" en aout ?

- Enregistrements des perturbations de propagation des ondes radio associées à des météores à l'occasion de la période des Perséides 2020.
- *Par F4IEW, les 8 et 11 Août 2020 depuis la Haute Savoie (Locator JN36HE)*

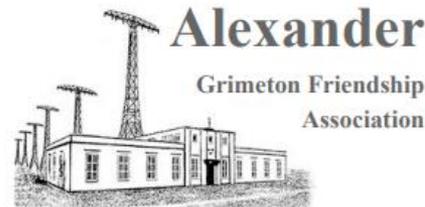


A l'écoute CW de SAQ Grimeton (Suède)

To: **F4IEW**

Confirming your reception report of our A1 mode transmission on 17.2 kHz of the **UN-Day October 24th 2021 Transmission**

Transmitter: Alexanderson Alternator
Power: 200 kW
Antenna: Multiple - 6 towers 127m
In Operation: Since 1924



Historical transmitter
SAQ
 Alexanderson Alternator

WORLD HERITAGE
GRIMETON
 RADIO STATION

Fredrik Wiklund
 Chairman

Franck DURAND – F4IEW, Avril 2022

To: **F4IEW**

Confirming your reception report of our A1 mode transmission on 17.2 kHz of the **Alexanderson Day, July 5, 2020 transmissions**

Transmitter: Alexanderson Alternator
Power: 200 kW
Antenna: Multiple - 6 towers 127m
In Operation: Since 1924




Historical transmitter
SAQ
 Alexanderson Alternator

WORLD HERITAGE
GRIMETON
 RADIO STATION

Jan Straloch
 Chairman

To: **F4IEW**

Confirming your reception report of our A1 mode transmission on 17.2 kHz of the **Alexanderson Day July 4, 1924 transmissions**

Transmitter: Alexanderson Alternator
Power: 200 kW
Antenna: Multiple - 6 towers 127m
In Operation: Since 1924




Historical transmitter
SAQ
 Alexanderson Alternator

WORLD HERITAGE
GRIMETON
 RADIO STATION

Fredrik Wiklund
 Chairman

To: **F4IEW**

Confirming your reception report of our A1 mode transmission on 17.2 kHz of the **UN Day October 24, 2020 transmission**

Transmitter: Alexanderson Alternator
Power: 200 kW
Antenna: Multiple - 6 towers 127m
In Operation: Since 1924




Historical transmitter
SAQ
 Alexanderson Alternator

WORLD HERITAGE
GRIMETON
 RADIO STATION

Jan Straloch
 Chairman

To: **F4IEW**

Confirming your reception report of our A1 mode transmission on 17.2 kHz of the **Christmas Eve morning December 24th 2021 Transmission**

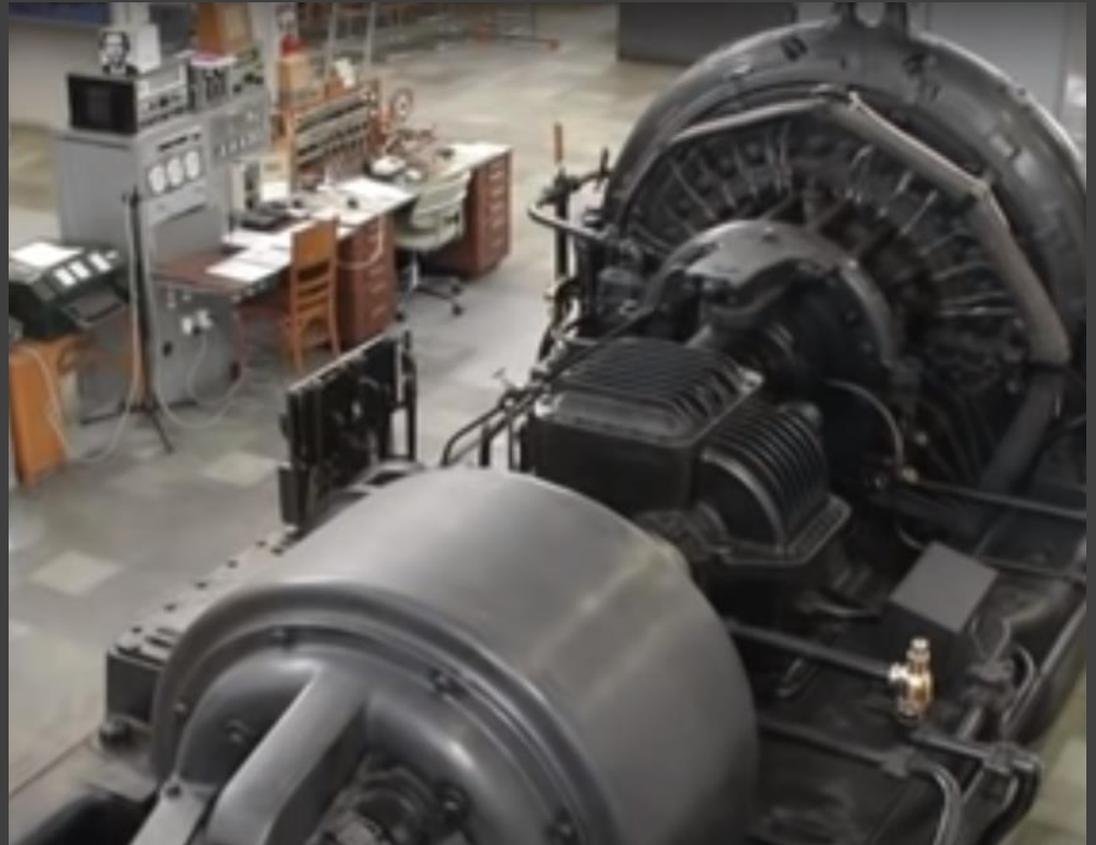
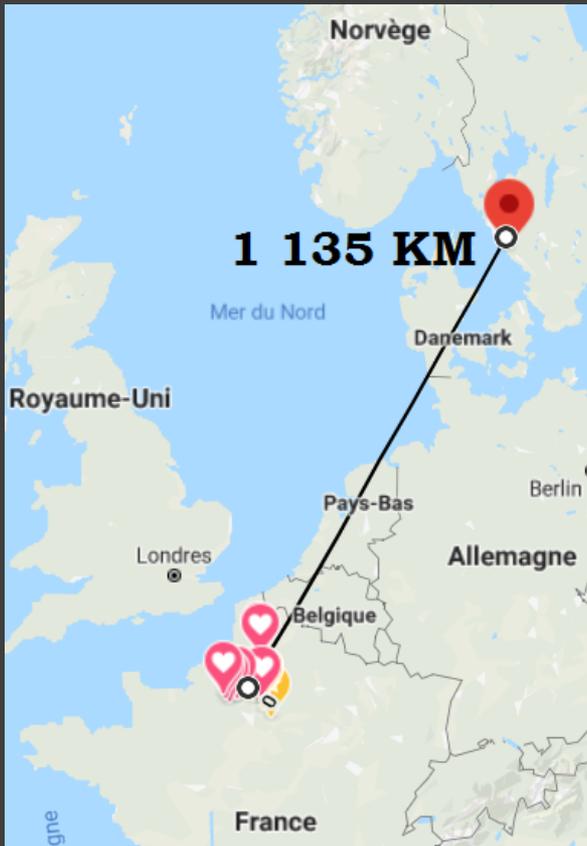
Transmitter: Alexanderson Alternator
Power: 200 kW
Antenna: Multiple - 6 towers 127m
In Operation: Since 1924



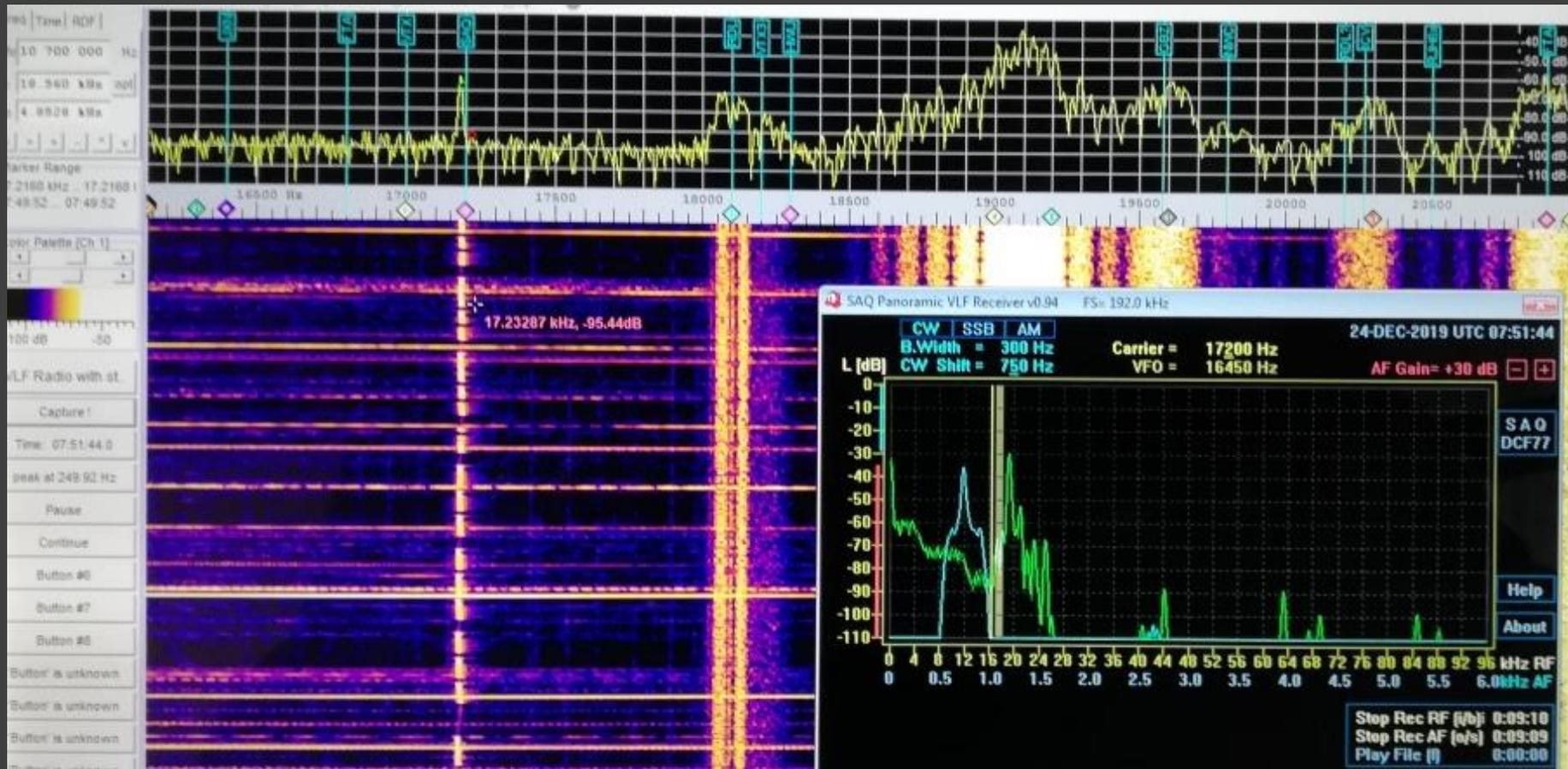

Historical transmitter
SAQ
 Alexanderson Alternator

WORLD HERITAGE
GRIMETON
 RADIO STATION

Fredrik Wiklund
 Chairman



La première fréquence attribuée à SAQ, 16,7 kHz, a rapidement été changée en 17,2 KHz (aujourd'hui), correspondant à une longueur d'onde de 17,4 kilomètres. L'efficacité de l'antenne a été calculée à 13%, à la puissance maximale de 200 kW de l'émetteur, la puissance électromagnétique totale rayonnée est de 26 kW.



[Lien vidéo](#)

- Le **premier message a été envoyé le 1er décembre 1924** et l'année suivante, le 2 juillet 1925, la station a été **officiellement inaugurée par Sa Majesté le Roi Gustaf V.** avec l'envoi d'un télégramme au président américain Calvin Coolidge. Dès le début, une grande partie des télégrammes de la Suède à l'Amérique ont été envoyés de Grimeton. **L'émetteur pouvait envoyer 100 mots par minute (mots par minute) correspondant à 500 caractères par minute, mais la vitesse habituelle était d'environ 25 mots par minute (wpm).**

L'occasion d'un évènement de sensibilisation ouvert au public



Le Bois Fruitier du Rémoulu

United Nations Day

Journée des Nations Unies

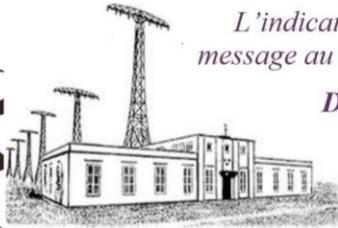
Dimanche 24
OCTOBRE
De 16h à 18h00

Histoire science et technologie sont au rendez-vous des Jardins d'Alain à l'occasion de la journée des Nations Unies

Venez avec vos enfants participer à la réception d'un message provenant de l'unique et historique alternateur Alexanderson situé à Grimeton en Suède.

*L'indicatif d'appel **SAQ**, devrait envoyer un message au monde entier en **VLF 17,2 kHz CW**.*

Découvrez comment cette expérience est accessible à tous.



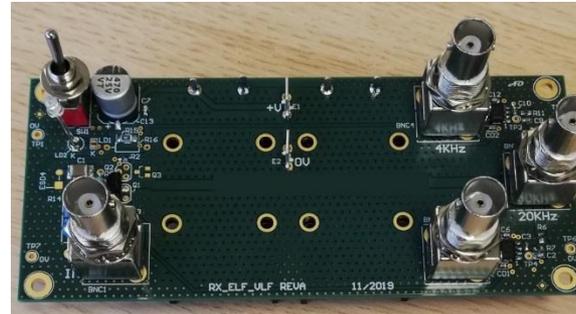
SAQ Grimeton

Accès par la **rue Pasteur à Bouffémont** (Route du Golf).
Fléchage à partir de **l'Église de Bouffémont**.





Antenne, E-Field

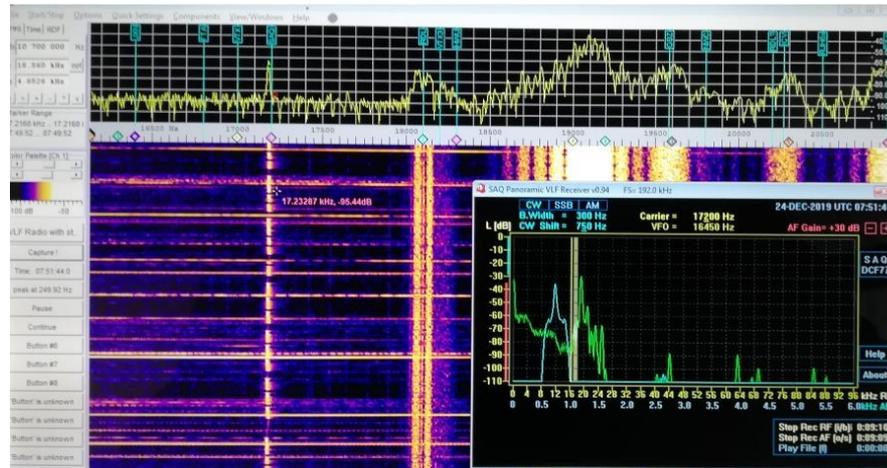
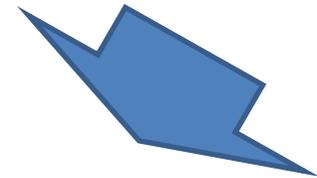


Préamplificateur ELF/VLF



USB Audio Interface UMC-204

Carte son externe ou interne



Logiciel de traitement

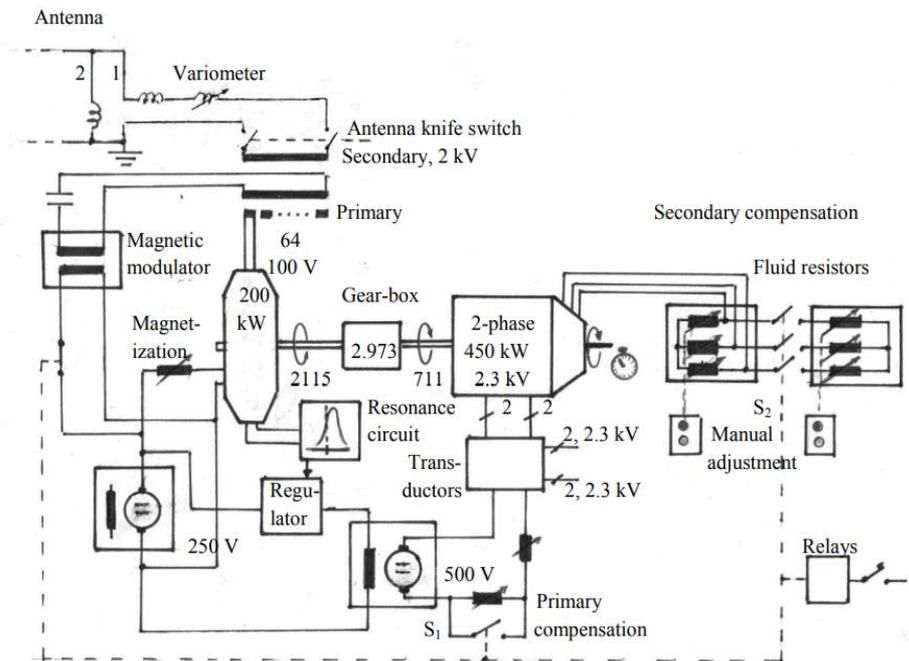
SAQ Panoramic VLF Receiver v0.94

Audio Spectrum Analyzer ("Spectrum Lab")



[Lien vidéo](#)

- **Premier message le 1er décembre 1924**
- **L'émetteur pouvait envoyer 100 mots par minute (mots par minute) correspondant à 500 caractères par minute (vitesse habituelle 25 mots/minutes)**
- La tension rapportée à la terre dans les parties supérieures des bobines: jusqu'à **130 kilovolts**
- la fréquence de l'émetteur (17,2 kHz) ne doit pas varier beaucoup, la fréquence ne varie pas plus de 20 Hz environ, c'est-à-dire environ 1/1000, pas facile à obtenir ceci avec un moteur
- **La partie tournante du générateur est un disque en acier, a sa périphérie dentée dotée de 488 dents, se déplace le long des pôles de 64 électro-aimants.**
- Leur fonction repose sur la périodicité, variations du flux magnétique dues aux différentes propriétés magnétiques de l'acier et laiton. Chacun des 64 enroulements peut produire 100 volts à 30 ampères, soit 3 kW ou au total $64 \times 3 \text{ kW} \approx 200 \text{ kW}$.
- **La vitesse de révolution nominale est de 2115 tr / min, soit 35,25 par seconde.** Ainsi, chaque aimant est passé par $35,25 \times 488 = 17\,202$ couples acier / laiton par seconde, ce qui fait la fréquence 17,2 kHz.



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 M Ω 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)

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

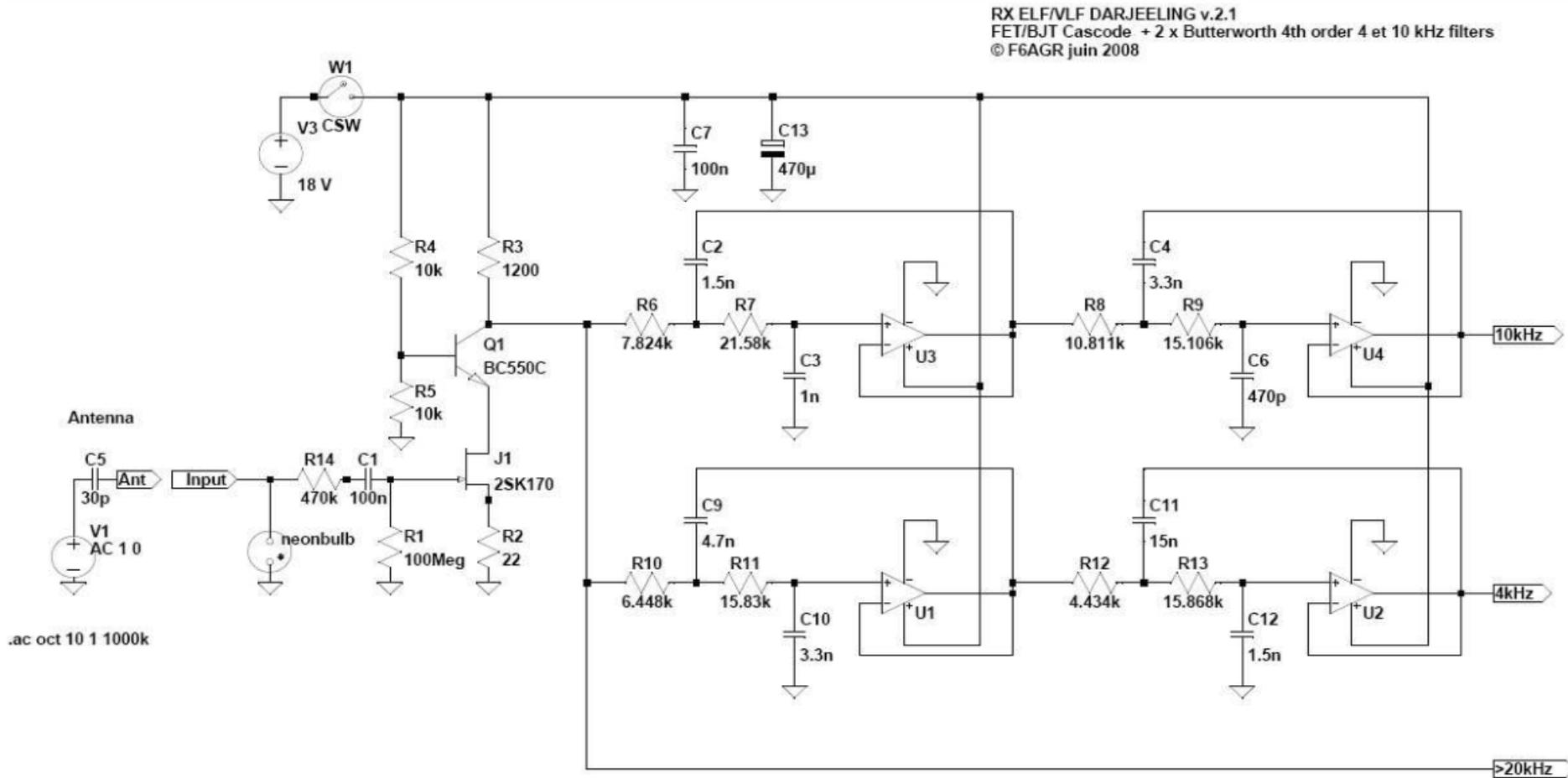
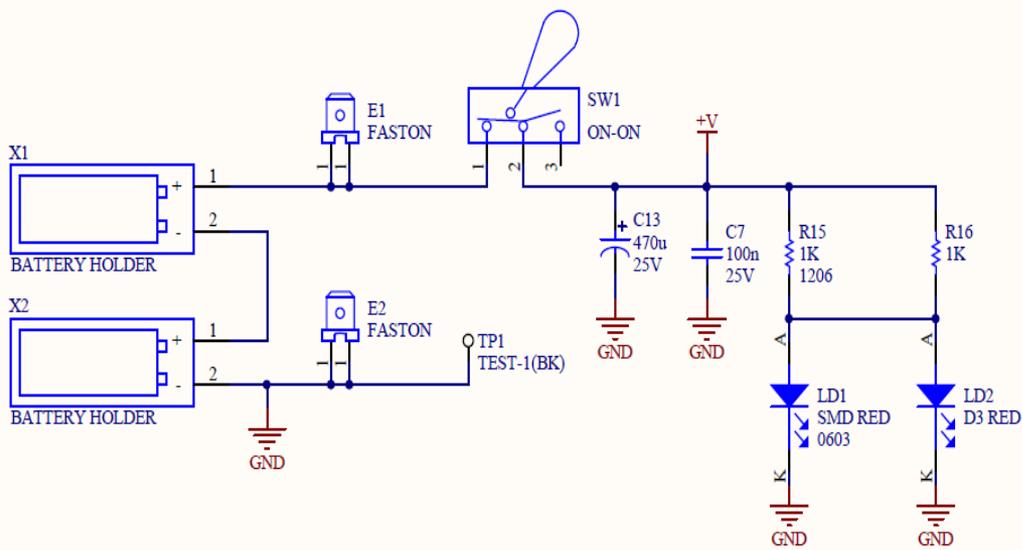
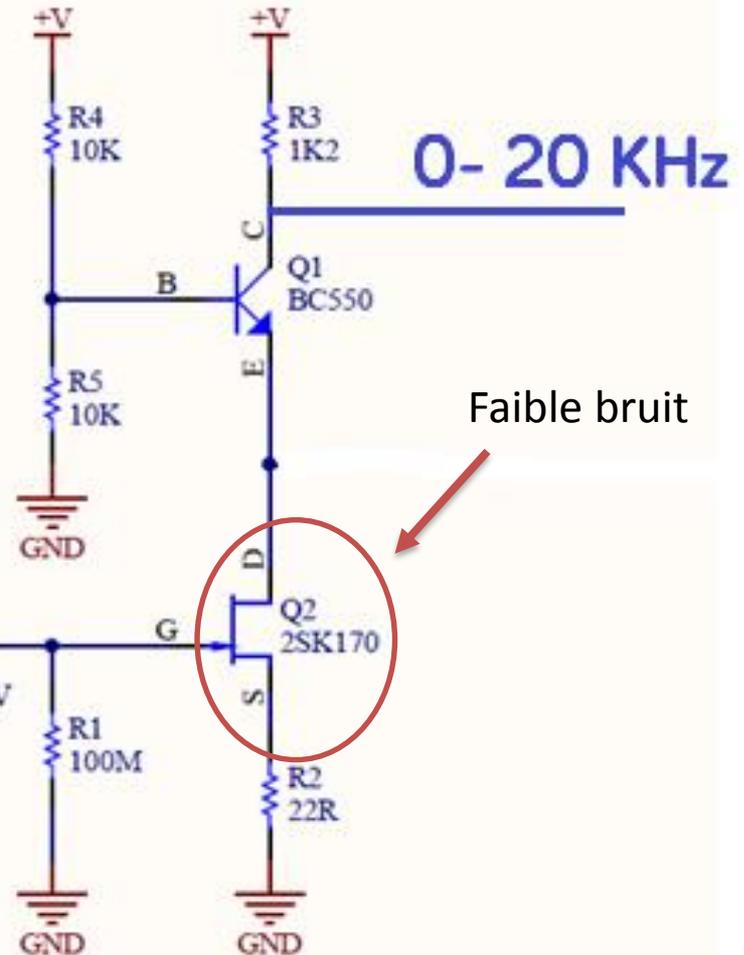


Figure 5 – Diagram of the entire ELF/VLF receiver.

Darjeeling V2

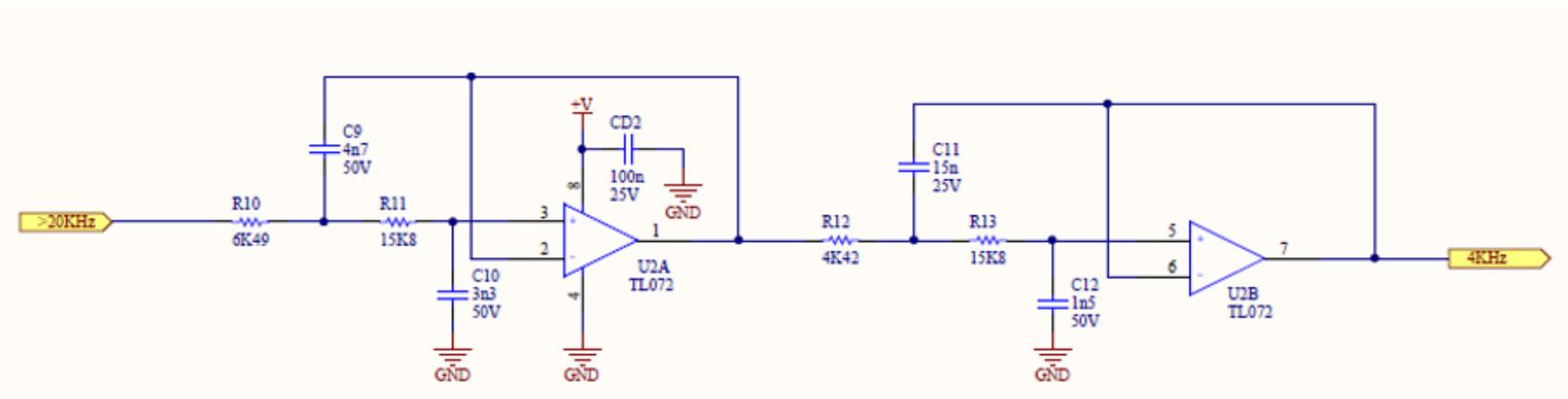
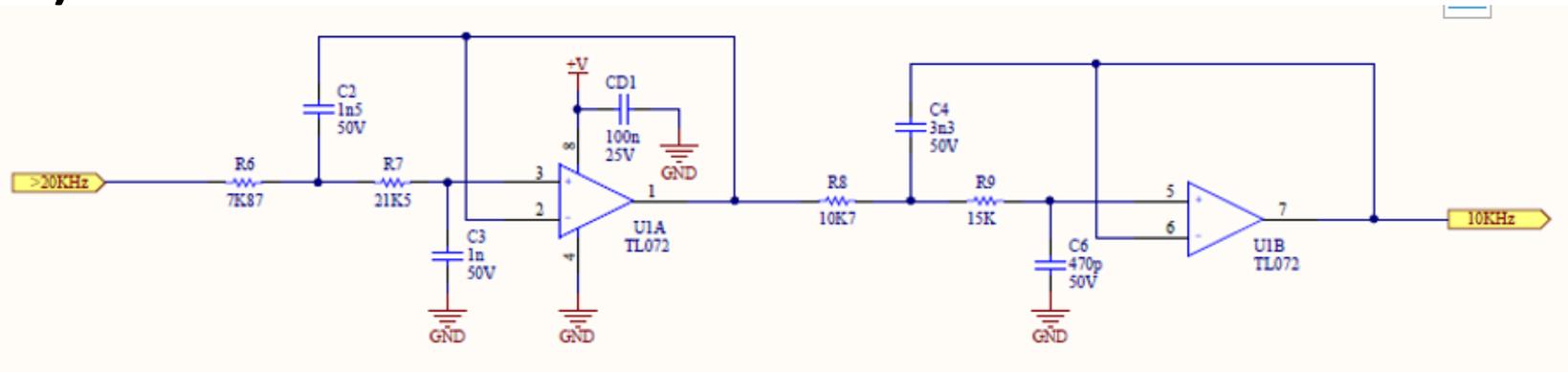


Choix de la résistance pour la bande passante (filtre passe bas avec capacité d'entrée de Q2 – 30pF)
25 K Ω , 50 K Ω , 100 K Ω

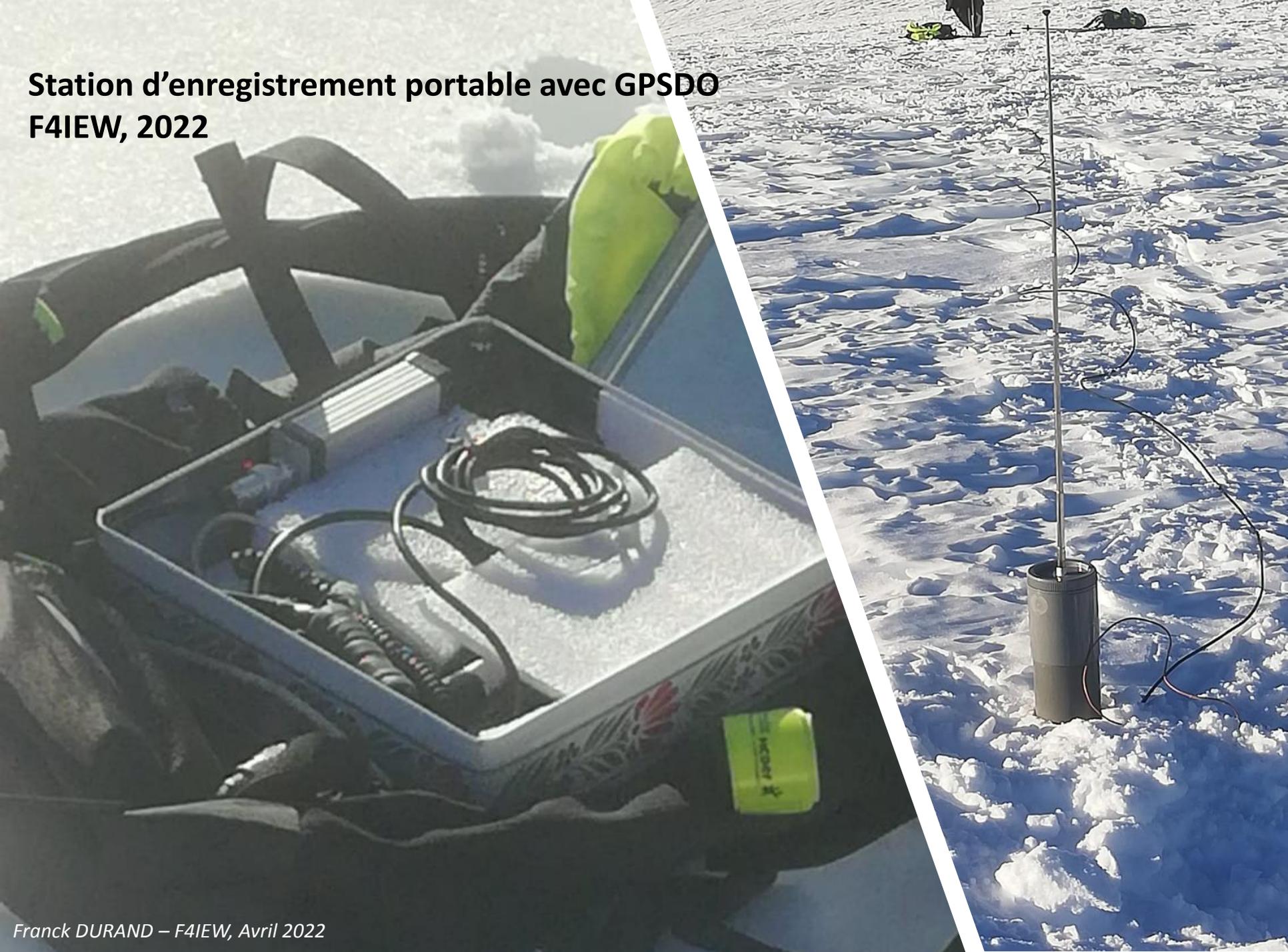


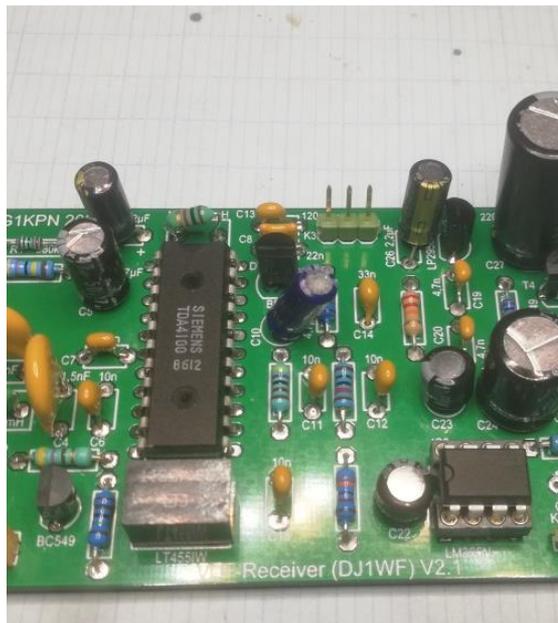
Darjeeling V2

Ce circuit utilise 2 circuits composés de 2 filtres passe bas 2^{ème} ordre à structure de Sallen & Key soit un filtrage de 4^{ème} ordre pour chaque sortie (deux pour le filtrage 10KHz et deux pour le filtrage 4 KHz)



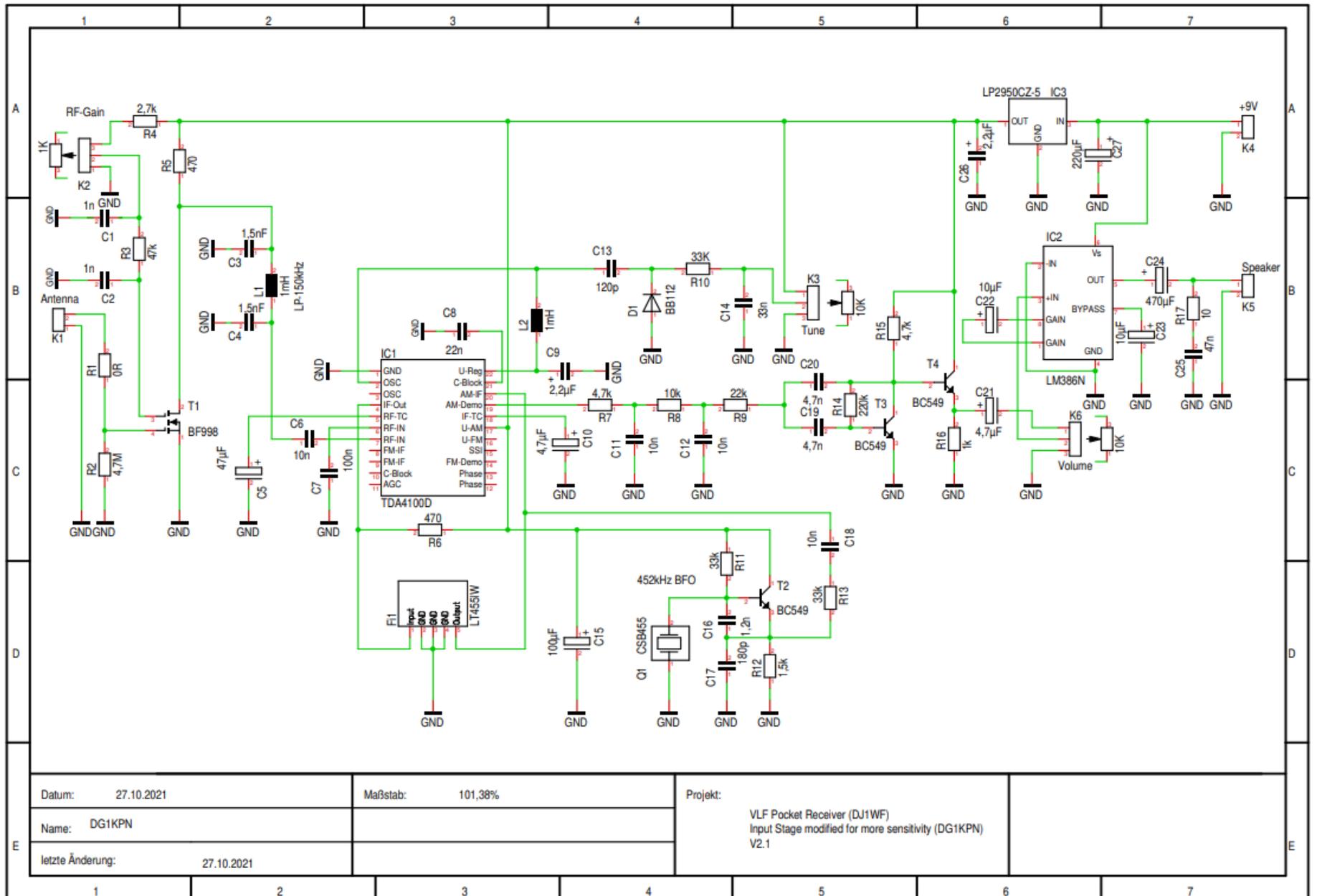
**Station d'enregistrement portable avec GPSDO
F4IEW, 2022**





Récepteur portable

Réalisation 2021 depuis le schéma de DJ1WF
modifié par DG1KPN

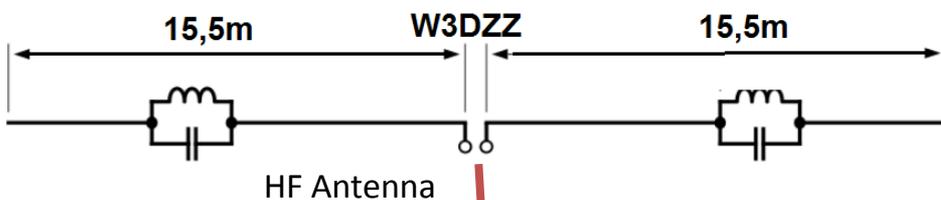


Datum: 27.10.2021
 Name: DG1KPN
 letzte Änderung: 27.10.2021

Maßstab: 101,38%

Projekt:
 VLF Pocket Receiver (DJ1WF)
 Input Stage modified for more sensitivity (DG1KPN)
 V2.1

Réception synchronisée HF et VLF avec GPSDO et SDR RSP DUO - SDRPLAY

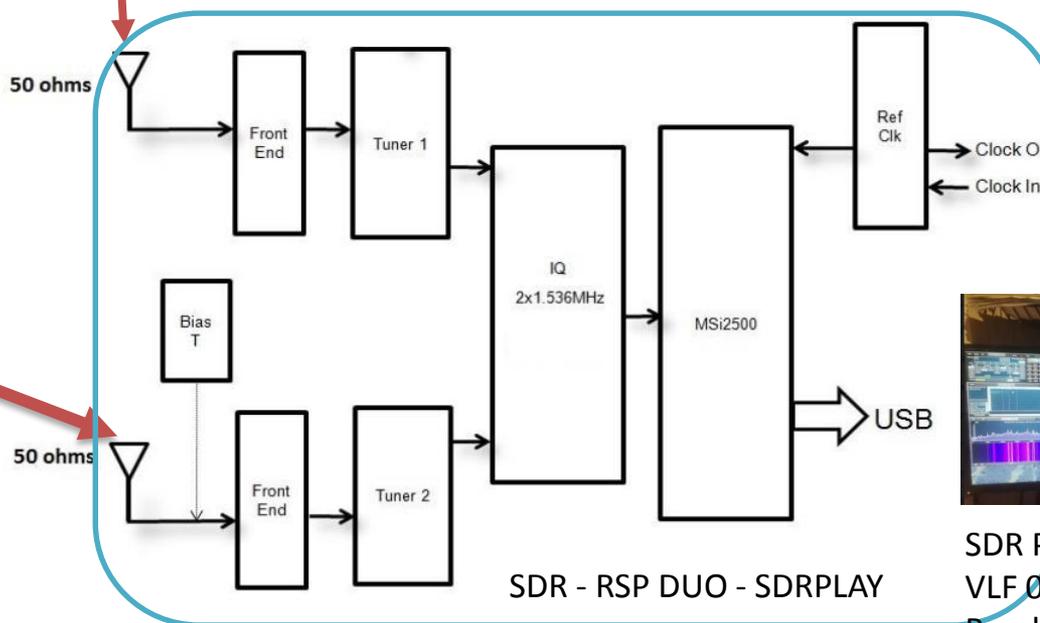


GPS-locked precision frequency reference

Active GPS Patch antenna with built in LNA



Active VLF Antenna



24 KHz
Période $4.166 \times 10^{-5} \text{ s}$ $\pm 10^{-12} \text{ s}$



SDR PLAY Software, tuner 0 and 1
VLF 0 to 7 KHz and HF 9600 KHz
Bandwidth 60 KHz

F4IEW, Reception setup description

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.

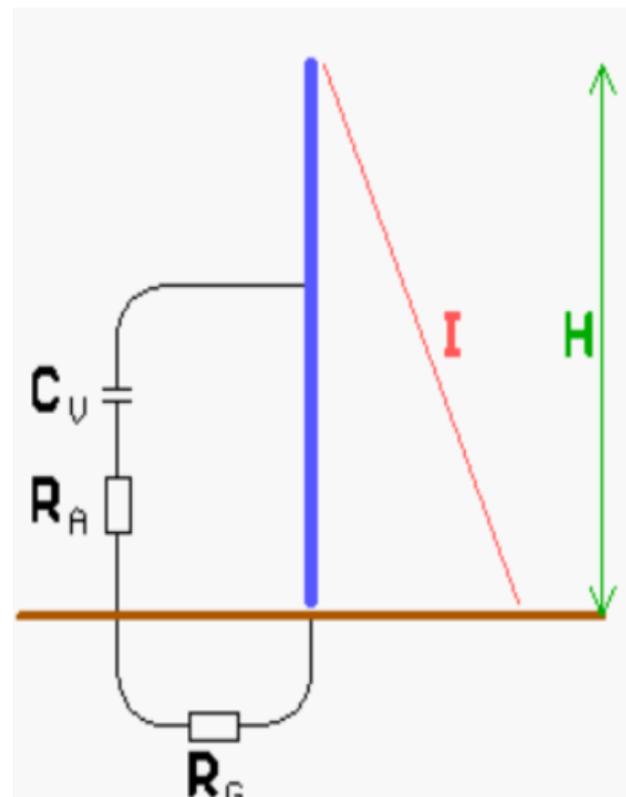
- Un tube métallique de 1m (inox, cuivre ...) positionné à un ou deux mètres du sol
- Ou un arbre en guise d'antenne ?
- Espace dégagé des arbres et autres constructions
- Un piquet de terre au pied de l'antenne
- Attention à la capacité série de l'antenne + impédance d'entrée du préamplificateur qui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

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

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

C_V = environ 10 pF/m

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





Antennes actives de réception

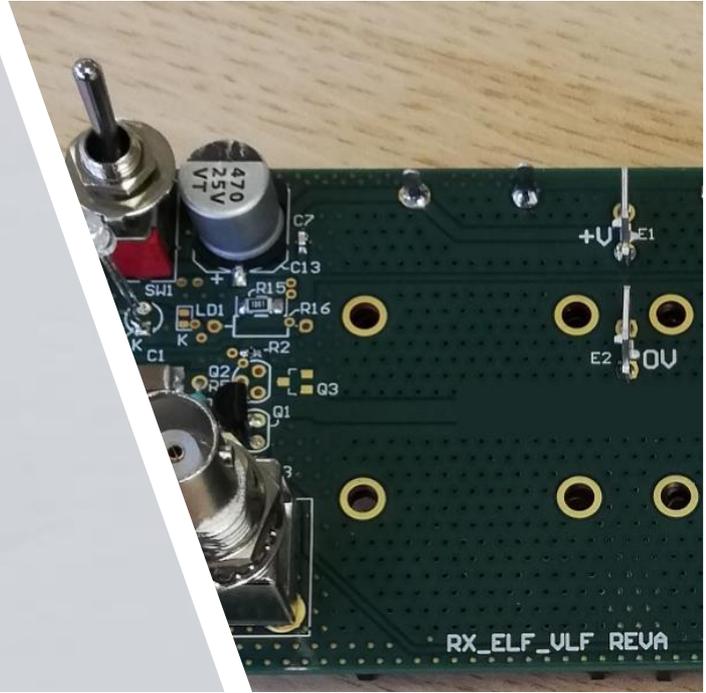
Une sonde de champ E avec une simple plaque de cuivre, montée sur un balai télescopique

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

Antenne télescopique

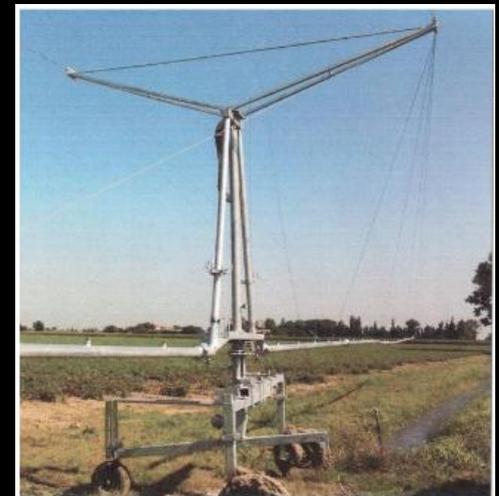


E-Field avec le récepteur « Darjeeling »



RX_ELF_ULF REVA

Antennes de réception SAQ



Antennes de réception



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)

Articles techniques de Radio-REF - 1930 à 2015

Thème	Auteur	Titre	Date	Page	Pages	PDF
VLF	F4DXU	Pi-Morse en 630 m	10 / 2015	18	?	
VLF	F5WK	Accord automatique d'une antenne d'émission 630 mètres.	03 / 2015	15	?	
VLF	F6BWO	Etude des éléments d'une station pour la future bande 472 kHz	01 / 2014	22	?	
VLF	F8DKK	Radioamateurisme ? 136 kHz (4e partie, TX à transistors)	12 / 2013	29	?	
VLF	F8DKK	Radioamateurisme ? 136 kHz (3e partie, récepteur SDR)	05 / 2013	12	?	
VLF	F8DKK	Radioamateurisme à 136 kHz (2ème partie).	12 / 2012	26	?	
VLF	F8DKK	Radioamateurisme à 136 kHz (1ère partie).	11 / 2012	14	?	
VLF	F5NB	ROS-mètre 137 kHz	09 / 2012	20	?	
VLF	FR1HF	TOS-mètre pour 136 kHz	01 / 2012	18	?	
VLF	FR1HF	Réglage d'antenne 136 kHz	10 / 2011	15	?	
VLF	FR1HF	Premiers pas sur kHz	05 / 2011	12	?	
VLF	ON5PG	Une FI à diapason piézoélectrique un microtome pour les VLF	01 / 2011	16	?	
VLF	FR1HF	Récepteur 136 kHz	09 / 2010	21	?	
VLF	F6AGR	À la découverte des fréquences très basses	02 / 2010	28	?	
VLF	F2IJ	Antenne cadre pour VLF	03 / 2009	18	?	
VLF	DJ2LE - F6BWO	Premiers pas à l'écoute des grandes ondes	11 / 2005	47	?	4063 ko
VLF	F6AGR	Il était une fois SAQ	11 / 2005	44	?	2073 ko
VLF	DL6AKC	Le dernier alternateur haute fréquence Alexanderson	10 / 2002	23	?	
VLF	HAM 11/76	Convertisseur pour l'écoute des grandes ondes -AR	01 / 1977	35	?	
VLF	QST 9/68	Convertisseur 28/5-1000Khz -AR	12 / 1968	844	?	

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