



LE TRAFIC EME

.PRÉSENTATION GÉNÉRALE
.LE PROJET A F6KRRK

Par Matthieu F4BUC
et Bruno F1MPQ



PLAN DE LA PRÉSENTATION

- Les grands principes de l'EME
 - La propagation
 - Les enjeux techniques
 - L'équipement nécessaire

- Rétrospective du projet EME à F6KRK
 - Genèse du projet, premiers résultats

- Présentation du système 2017
 - Conception du système
 - Premiers QSO
 - Démonstration virtuelle, écoute de signaux typiques

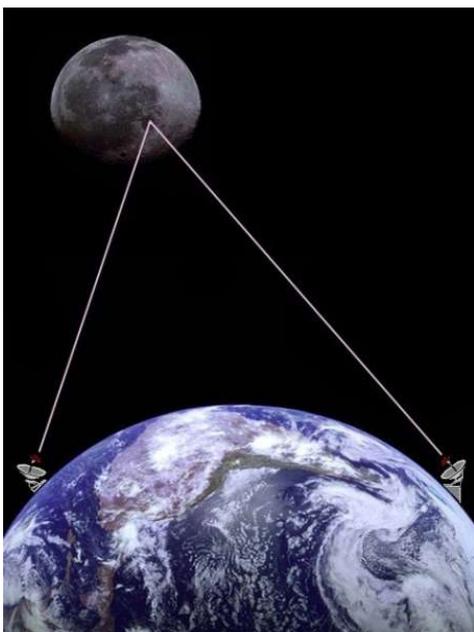
- Suite du projet – Nouvelle parabole 2018
 - Evolutions, nouveaux résultats



PRÉSENTATION DE L'EME

EME signifie « Earth-Moon-Earth » c'est-à-dire « **Terre – Lune –Terre** ».

Le principe consiste à utiliser la Lune comme réflecteur pour établir des liaisons radio. Ce mode a été expérimenté dès les années 50 par les amateurs. Premier QSO sur 1296MHz en 1962 (1). C'est en fait l'application du principe du radar dit « bi-statique ».



Quelques chiffres

- ❑ Loin : La Lune est éloignée de la surface de la Terre à une distance moyenne de 380 000 km
- ❑ Grand : Diamètre de 3500km représentant une surface visible de $\approx 9,5$ millions de km^2
- ❑ Peu réfléchissant : La surface du sol lunaire ne réfléchit que 7% de la puissance incidente (mauvais pouvoir réflecteur)

(1) Voir : <http://www.ok2kkw.com/eme1960/eme1960eng.htm>



PRÉSENTATION DE L'EME

Le « challenge »

La distance totale du trajet aller-retour de 760000km cause des pertes très importantes dans le bilan de liaison ainsi que le mauvais pouvoir réfléchissant de la Lune. Le bilan de liaison est celui du radar c'est-à-dire en $1/d^4$ alors qu'en espace libre c'est $1/d^2$. (d=distance)

Exemple : à 1296MHz la perte de propagation est de **271dB**. (pour établir le bilan de liaison total il faut ajouter le gain de l'antenne RX et TX)

Mais « la Nature est bien faite » car il s'en faut de peu pour que nous ne puissions établir des contacts avec des moyens amateurs!

En effet, avec des gains d'antenne, puissances et facteurs de bruit « abordables » pour l'amateur nous arrivons à des bilans de liaison tout juste suffisants pour établir des liaisons.

Pour notre station : **250W émis** -> le signal de l'écho reçu est de -156dBm soit (environ) **1/10 millions de milliardièmes d'un mW** !

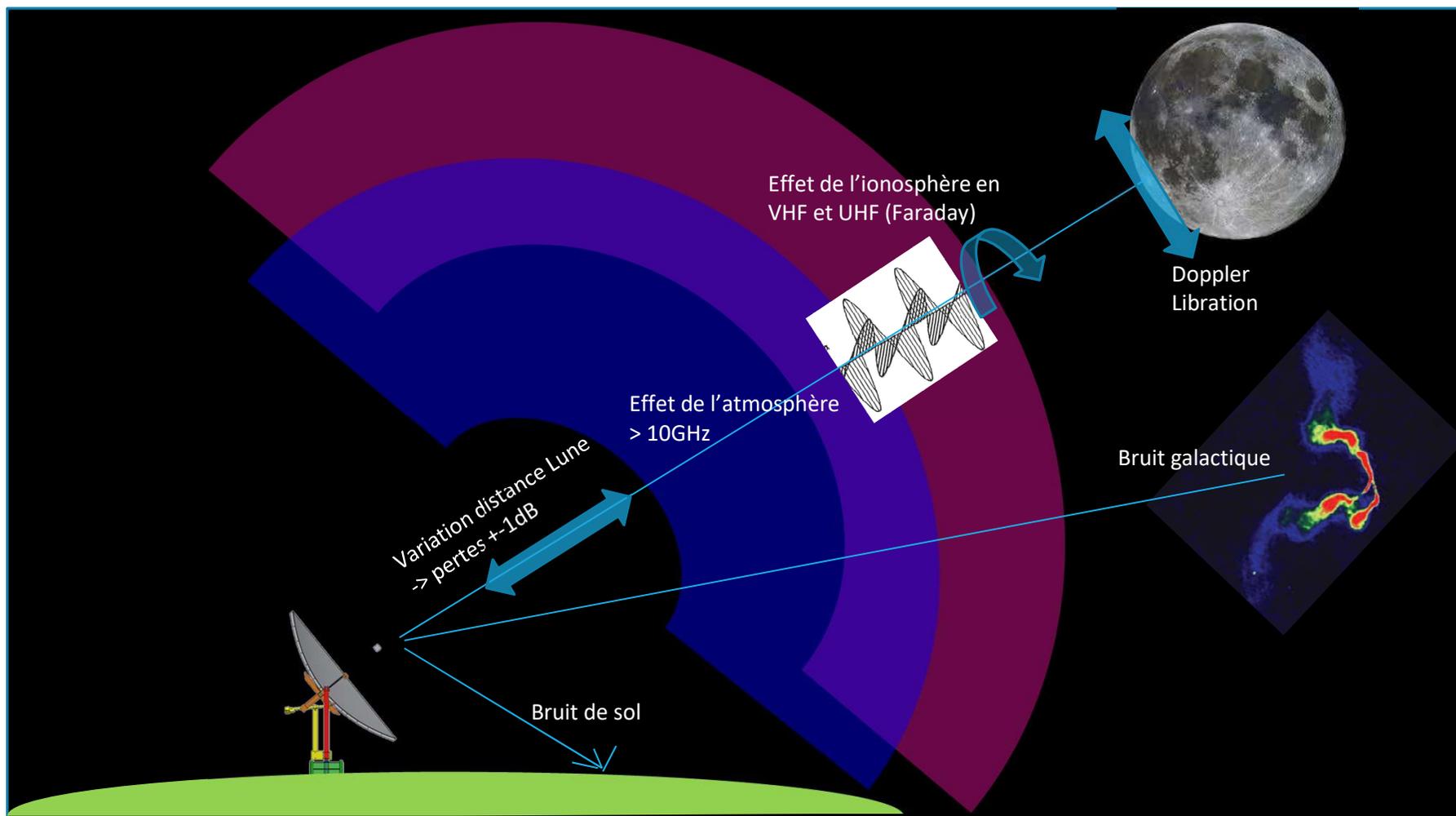
L'EME est donc un mode qui reste dans la spécialité des THF et dans la catégorie des petits signaux.

On en a peut être moins l'impression aujourd'hui avec les modes numériques mais **le trafic EME reste toujours un « challenge »**.



PRÉSENTATION DE L'EME

Caractéristiques détaillées du milieu de propagation

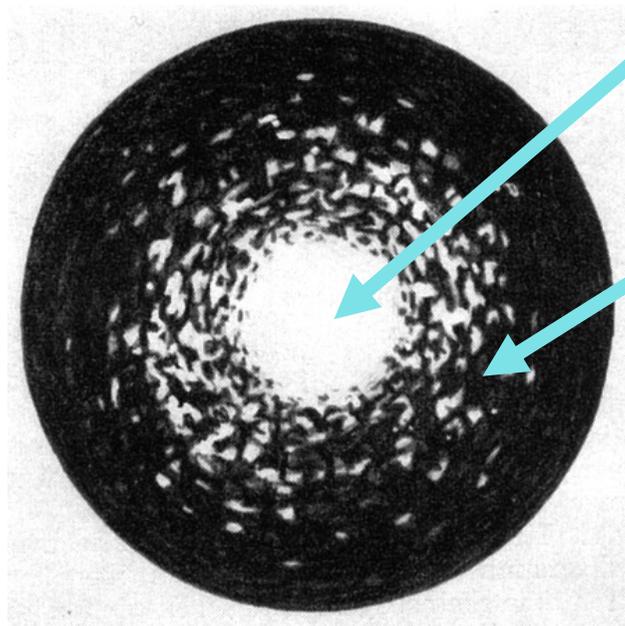




PRÉSENTATION DE L'EME

Caractéristique de la réflexion radio sur la lune

Le signal EME est faible mais aussi déformé. Au cours d'un QSO ce qui est le plus pénalisant n'est pas la faiblesse du signal mais la déformation du signal. Par la géométrie de la réflexion le signal réfléchi est déjà naturellement déformé:

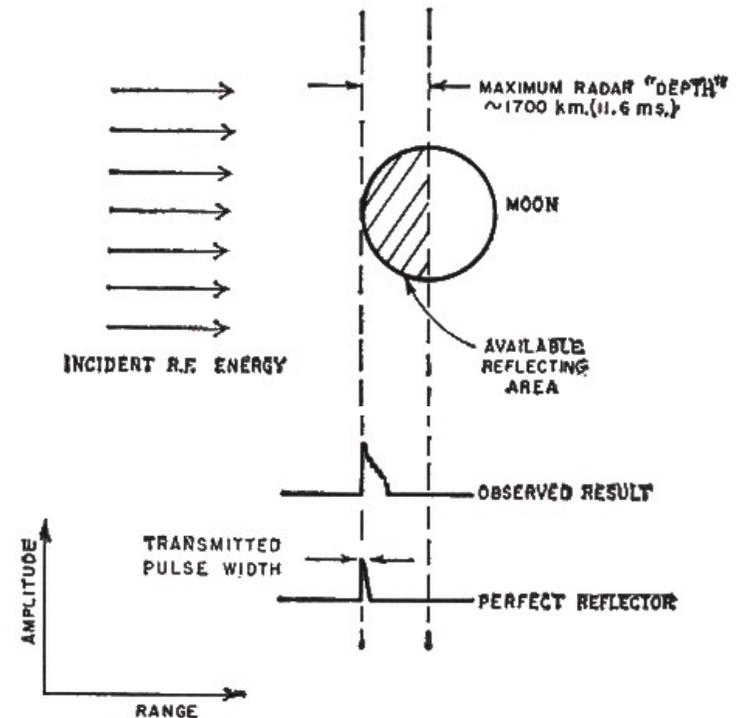


Point brillant, zone de réflexion principale.

Zones de réflexions secondaires plus éloignées jusqu'à 1700km.

Le signal est légèrement étalé dans le temps

Apparence de la Lune aux ondes radiofréquences.

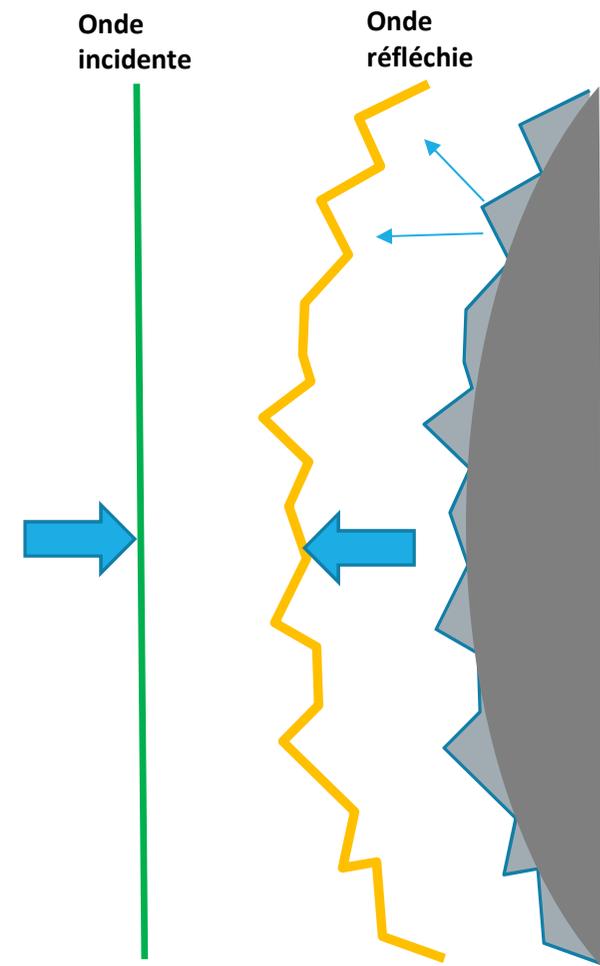
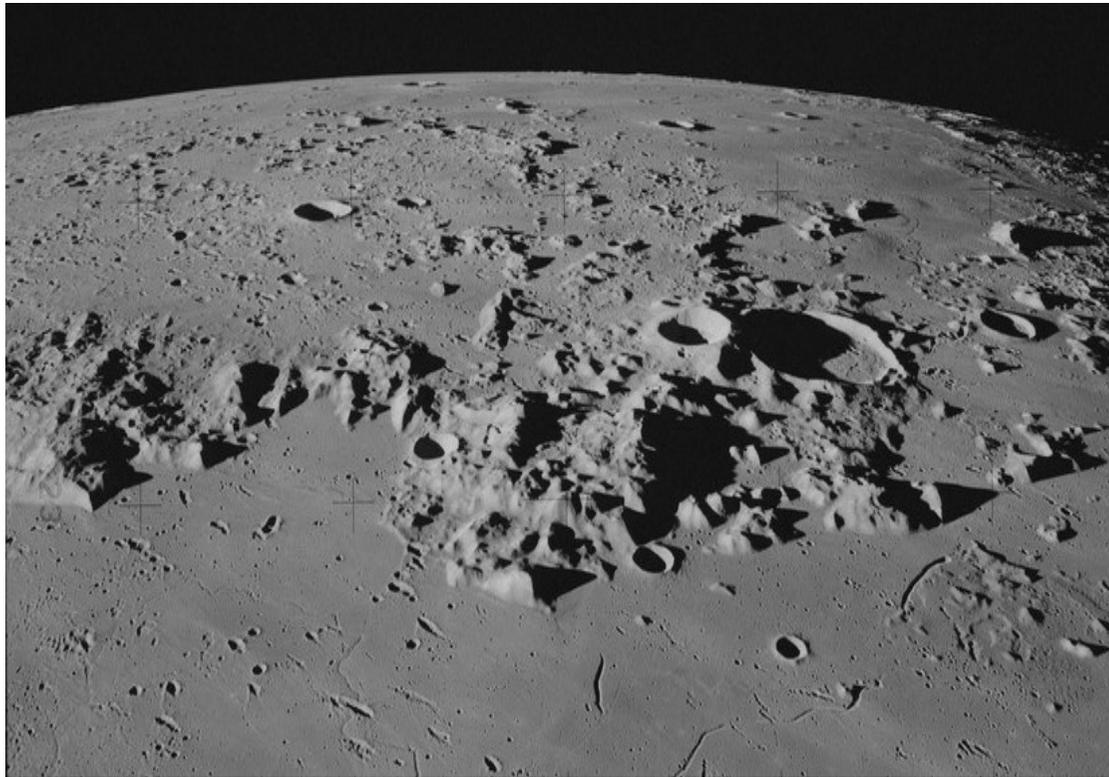




PRÉSENTATION DE L'EME

Effet du relief de Lune

➤ Nous sommes bien loin du réflecteur idéal !



L'onde réfléchie est constituée de beaucoup de composantes de phases et d'amplitudes différentes. Une petite différence du relief peut entraîner une grande variation du signal.



PRÉSENTATION DE L'EME

La libration

Tout cela n'est pas statique mais est affecté de variations (fading profond et rapide) liées au mouvement relatif de la Lune avec l'observateur (la surface terrestre). Ce mouvement est du reste assez complexe et son intensité varie selon les jours et au cours d'un même passage. Illustration du phénomène de libration:



Effet « boule de discothèque ».



Apparence de la Lune vue d'un observateur terrestre au cours d'une phase complète .

Entraine des évanouissements du signal rapides et profonds ainsi qu'un étalement spectral. 8



PRÉSENTATION DE L'EME

Pour vous mettre dans le bain : écoute d'un signal typique en EME



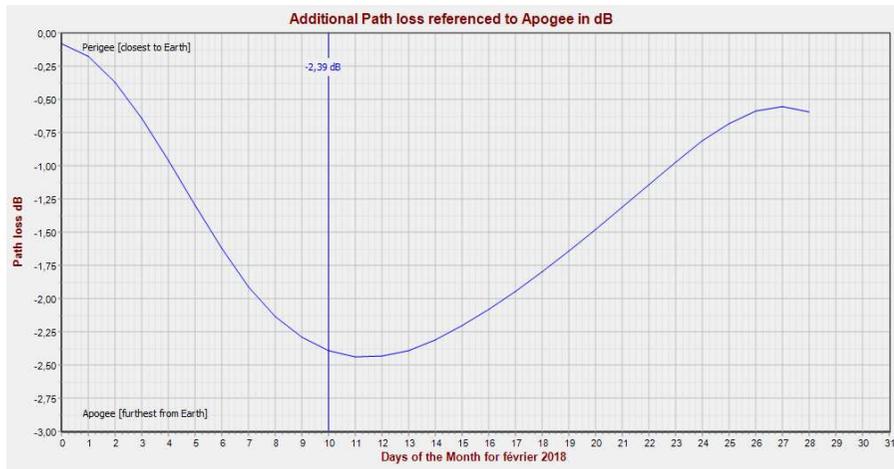
Magique non ??



PRÉSENTATION DE L'EME

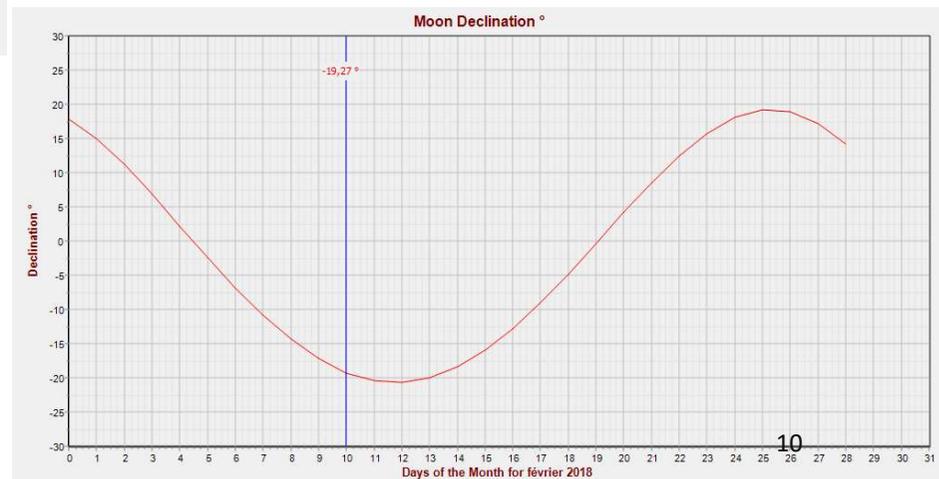
Prédiction des conditions

Les conditions sont prédictibles. Exemple d'utilisation du logiciel EME Planner de VK3UM:



Sur un mois on regarde l'évolution des pertes (« path loss ») liées à la distance de la Lune. La dégradation peut aller jusqu'à -2,5dB pour l'apogée.

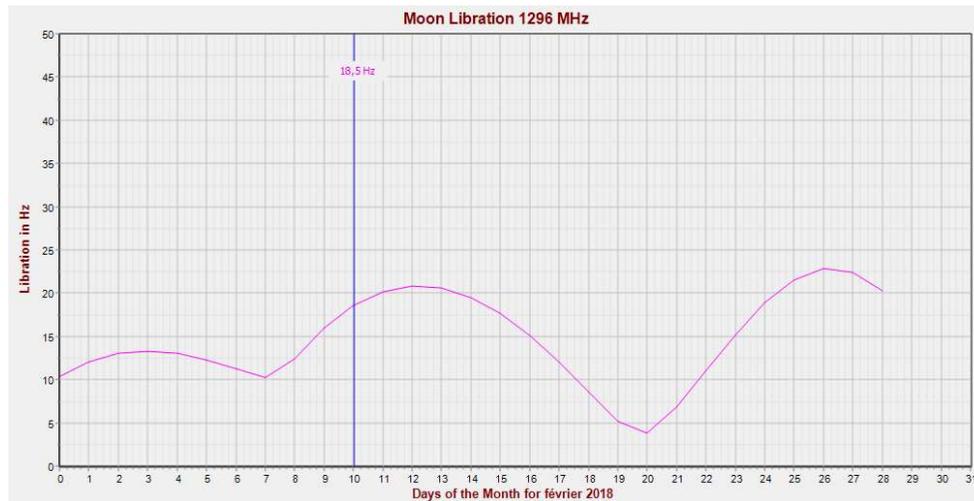
On regarde aussi la déclinaison. Plus elle est élevée à l'apogée mieux c'est car l'élévation est alors plus importante durant le passage et l'antenne « regarde » moins le bruit du sol et les obstacles.





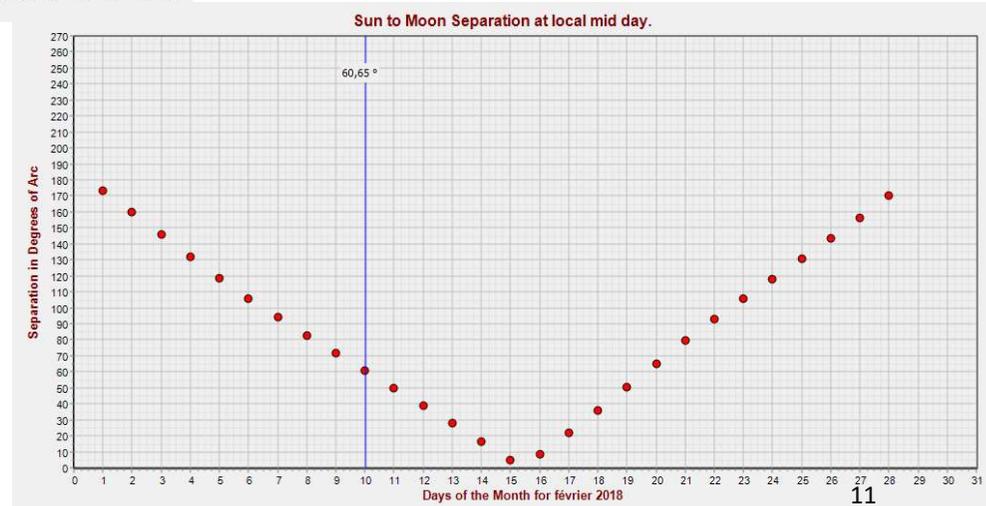
PRÉSENTATION DE L'EME

Prédiction des conditions. Suite :



On regarde aussi les prédictions de la libration (étalement doppler). Plus elle est faible mieux c'est car les signaux seront moins déformés.

Aussi la séparation angulaire entre le Soleil et la Lune. Si la séparation est faible alors on récupère trop de bruit solaire.

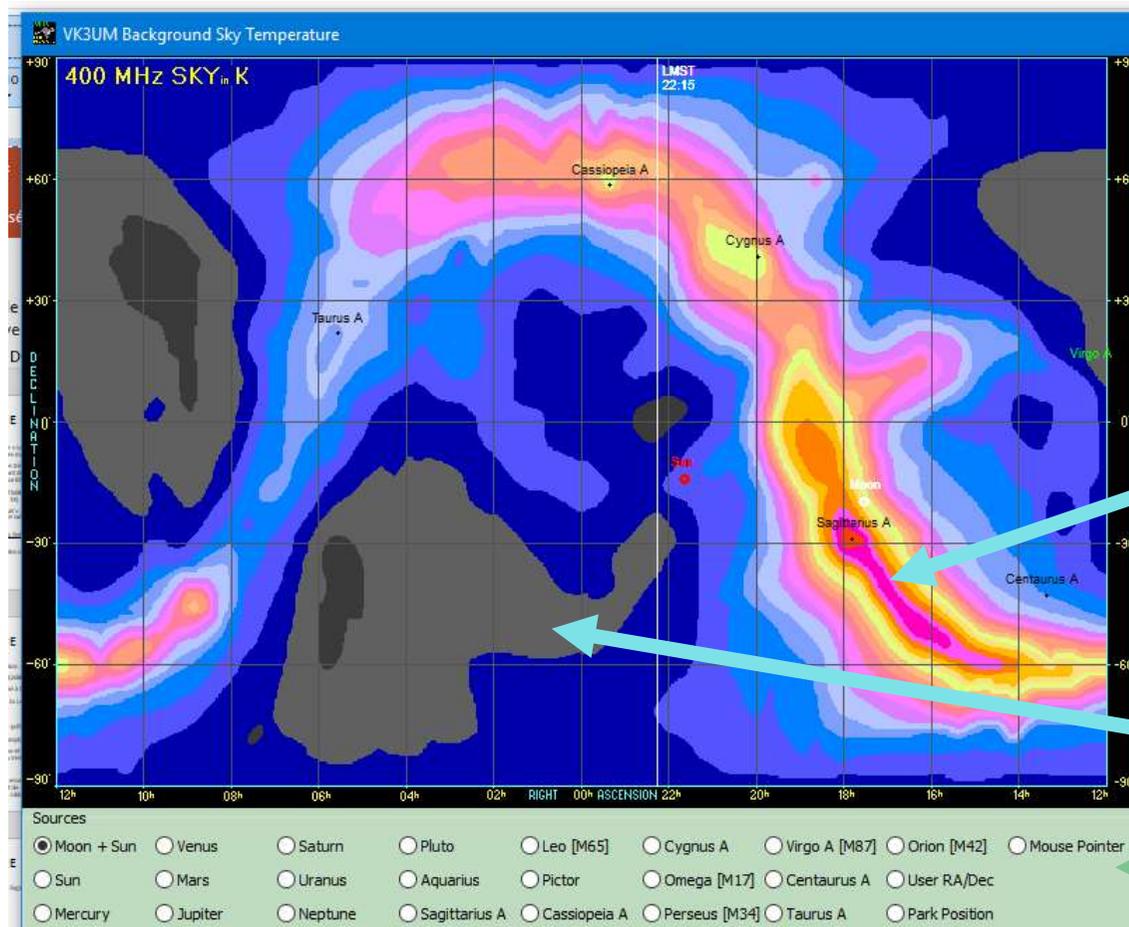




PRÉSENTATION DE L'EME

Le bruit galactique

Selon les passages, la Lune peut se trouver dans des zones du ciel calmes ou bruyantes.



Pour les bandes VHF et UHF surtout on regarde le bruit du ciel qui dépend de la position de la Lune par rapport aux zones « bruyantes » comme le plan de la galaxie (Voie Lactée).

Zone de bruit très élevé

Zone très calme

Pour les stations très sensibles il est possible de détecter le bruit de certaines radiosources....

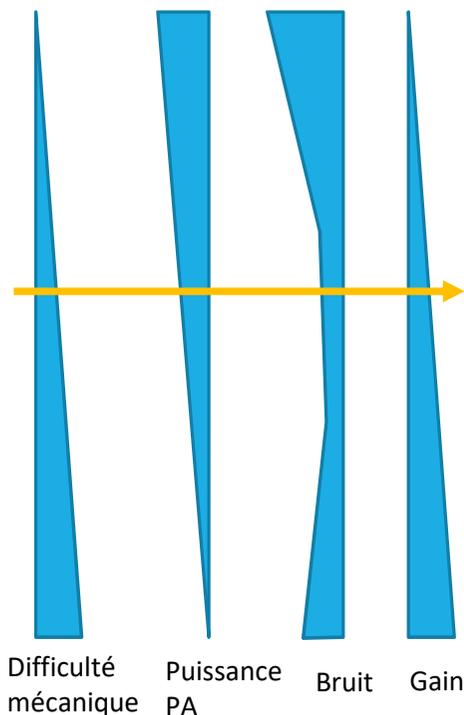


PRÉSENTATION DE L'EME

Les caractéristiques selon les bandes

L'EME est un mode utilisable en principe sur toutes les bandes de fréquences (50MHz à 76GHz) mais il est destiné plutôt aux bandes THF car il est nécessaire de disposer d'antennes à très fort gain et d'un bruit de ciel faible.

L'optimum est vers les bandes 1296MHz / 2320MHz.



Schématiquement :

- **Bandes VHF/UHF** : antennes à gain modéré / haute puissance facile / température de bruit du ciel notable / effet Faraday
- **Bandes SHF** (1296/2320MHz) : antennes à fort gain/ bruit de ciel très faible / puissance encore facile / précision de pointage gérable
→ [Bande idéale](#)
- **Bandes hyper** (5,7Ghz /10 GHz) : antennes à fort gain / bruit de fond très faible / élargissement spectral notable / précision de pointage difficile
- **A partir de 24 GHz** : antennes fort gain / difficulté de pointage antenne et sur la Lune elle-même / pertes par absorption atmosphérique



PRÉSENTATION DE L'EME

Orientation pour le projet EME à F6KRK

Pour notre projet EME nous avons donc choisit la bande 1296MHz.

Enjeux sur la conception des équipements sur cette bande

Pour un trafic convenable sur 1296MHz il faut disposer :

- d'une antenne « performante », le minimum étant une parabole de 2 à 3m de diamètre.
- un système de pointage précis automatique
- un logiciel de calcul du doppler (doppler +/-3kHz max)
- une bonne stabilité en fréquence

➤ Partie RX:

Une chaine de réception très faible bruit. Facteur de bruit classe 0,2-0,3dB.

Un moyen de surveiller les signaux sur le bande EME : récepteur SDR

➤ Partie TX :

Disposer d'une puissance d'émission QRO de la classe 200W pour les modes CW et moins pour les modes numériques (50-100W).

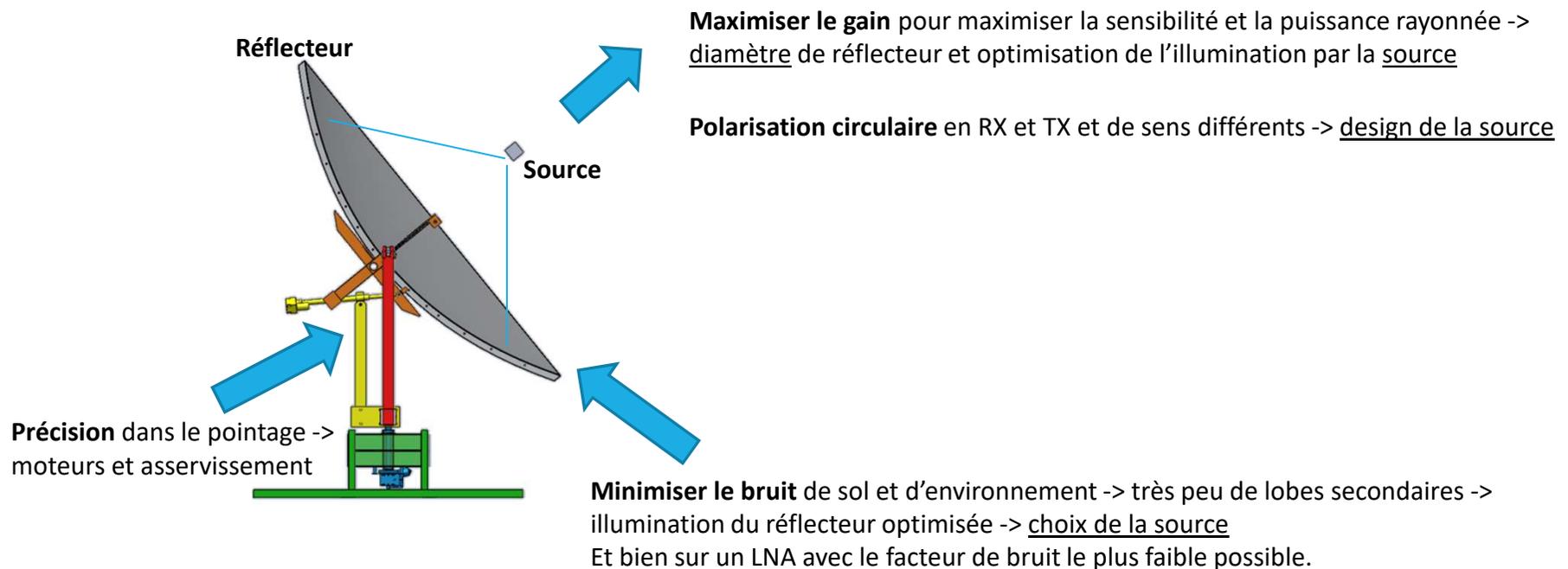


PRÉSENTATION DE L'EME

Focus sur la conception d'une antenne de station EME à 1296Mhz

Les exigences sont les mêmes que pour la conception d'une station de radioastronomie.

Il faut une antenne ayant à la fois un gain élevé et un bruit très faible.





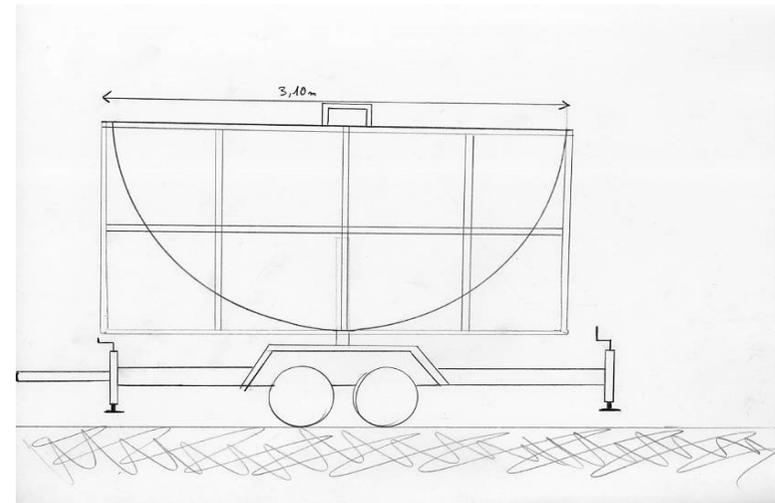
RÉTROSPECTIVE DU PROJET F6KRK

La genèse du projet

L'élément « déclencheur » a été le don du CEA d'une parabole de 3m en 2012.

Un projet EME s'est naturellement construit à partir de ce moment.

Le projet initial consistait à rendre la station mobile en installant l'ensemble sur une remorque (objectif pédagogique, faire du /P etc..) .



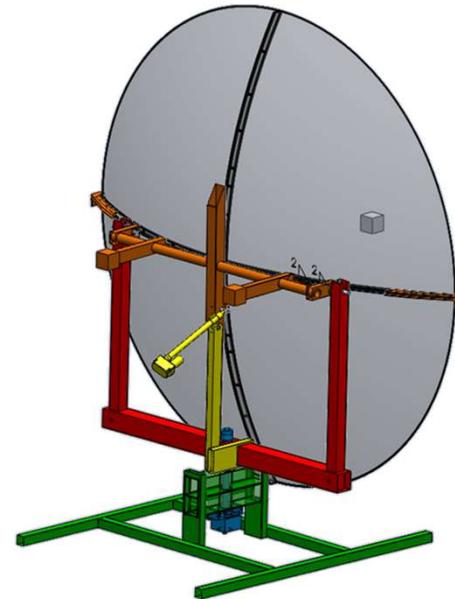
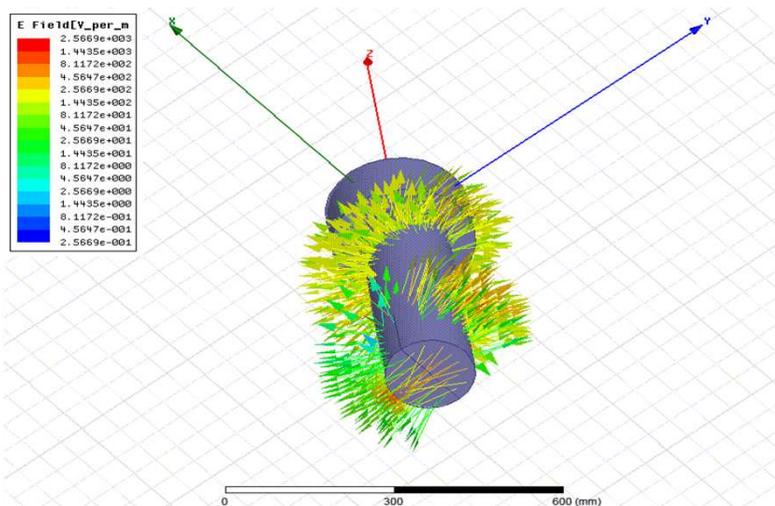


RÉTROSPECTIVE DU PROJET F6KRK

Collaboration avec l'IUT

En 2013 nous avons initié deux projets scolaires à l'IUT de Ville d'Avray. Deux groupes d'élèves ont travaillé sur :

- un système de motorisation de la parabole
- la source de la parabole





RÉTROSPECTIVE DU PROJET F6KRRK

Bilan

Le système de motorisation ne s'est pas avéré pratique à mettre en œuvre. Le challenge était assez difficile vu nos exigences.

Le projet de la source a été très bien mené et encadré et les résultats ont fait l'objet d'une publication dans QEX en 2015 (revue technique américaine). Ref. : 3D Simulation of a Feed Horn for a Parabolic Antenna Using Circular Polarization (Daout, Grassin, Henaux, Holtzmer, Janon, Paupert, Phelipon) Sep./Oct. 2015

L'exemplaire a été conçu sur 2320MHz et conservé par l'IUT.

Sur le plan pédagogique et relationnel cette coopération a été positive par contre il faudra que nous soyons plus vigilant sur le suivi et la définition de l'attendu des travaux.



RÉTROSPECTIVE DU PROJET F6KRK

Première mise en œuvre de la station

En fin de compte nous avons réalisé nous même notre source et une opportunité s'est présentée avec la récupération d'une parabole de 2m de diamètre et de son système de motorisation complet (merci TDF!).

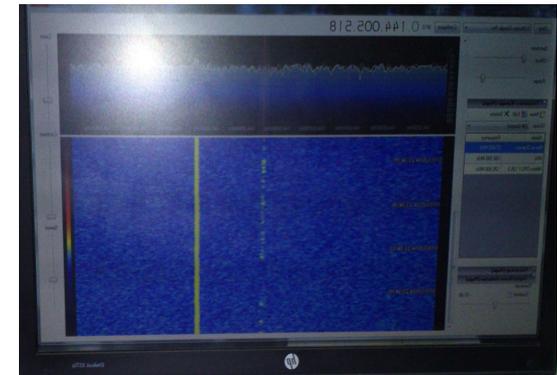
Nous sommes parti sur cette nouvelle base en 2014. Le gros du travail a consisté à adapter le pilotage de type « azimut sur élévation » à des données de pointage habituelles de type élévation sur azimut.



Premier essai de réception le 7 mars 2014. Entendu le CQ de N4PZ en cw décodable à l'oreille.

Déecté et visible le signal de ONOEME (1296,000). Très faible à l'écoute (indécodable).

Source ring feed + LNA DJ9BV + TVT + SDR funcube



Ces premiers essais nous ont motivé à poursuivre l'aventure!



PRÉSENTATION DU SYSTÈME 2017

Mi-2017 le système EME se compose des éléments suivants:

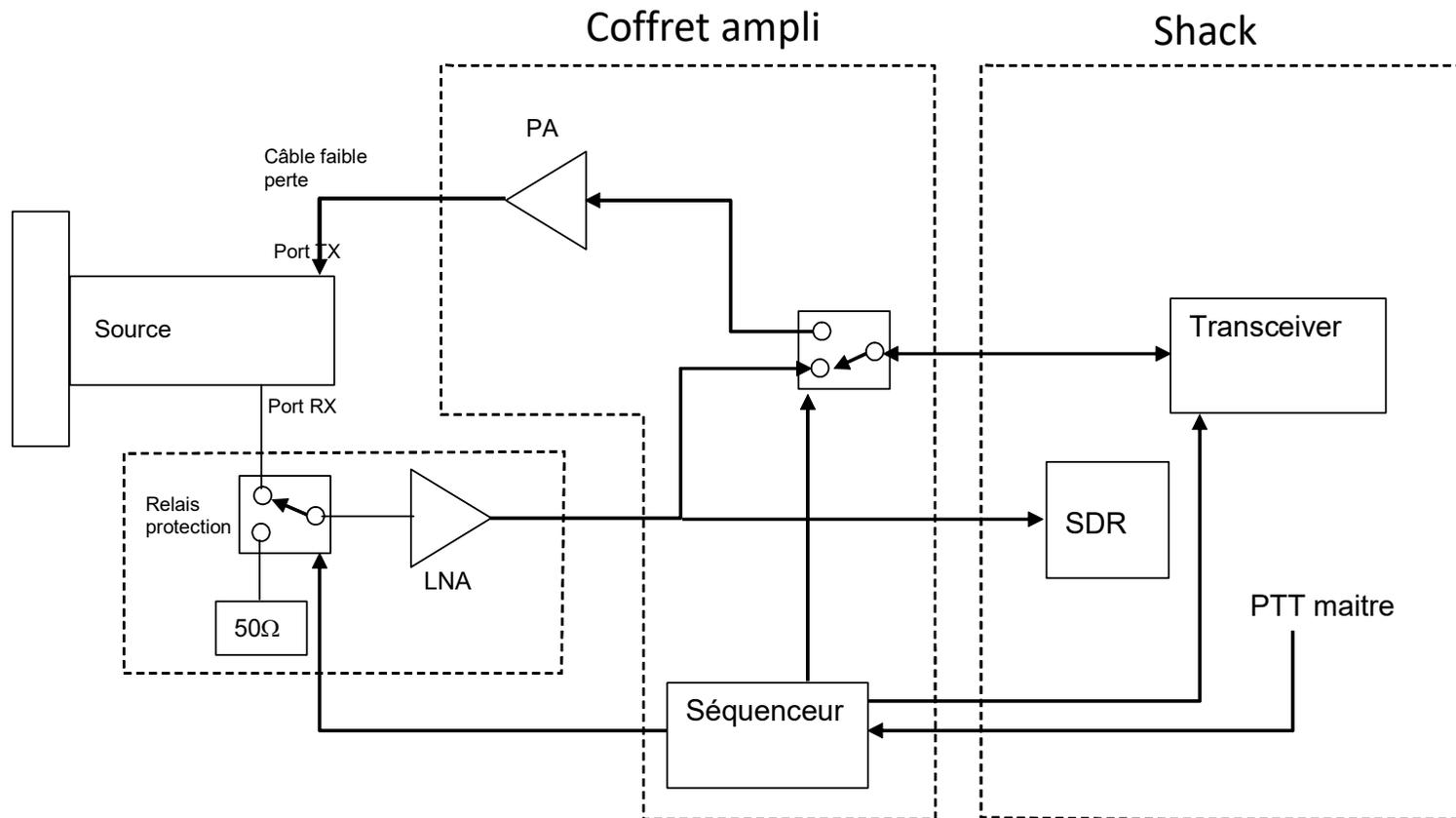
- Parabole de 2m (f/d 0,37)
- Source rectangulaire à polariseur Septum (design OK1DFC)
- LNA de design G4DDK (NF < 0,3dB, G=35dB)
- Motorisation de type azimut sur élévation et son interface spécifique programmé sur Arduino
- Amplificateur de 250W disposé sous la parabole
- Récepteur SDR (SDRPlay)
- Logiciels : Tracking F1EHN, HDSDR pour le SDR
- Transceiver IC-910

... et évidemment la Lune quand elle est visible !



PRÉSENTATION DU SYSTÈME 2017

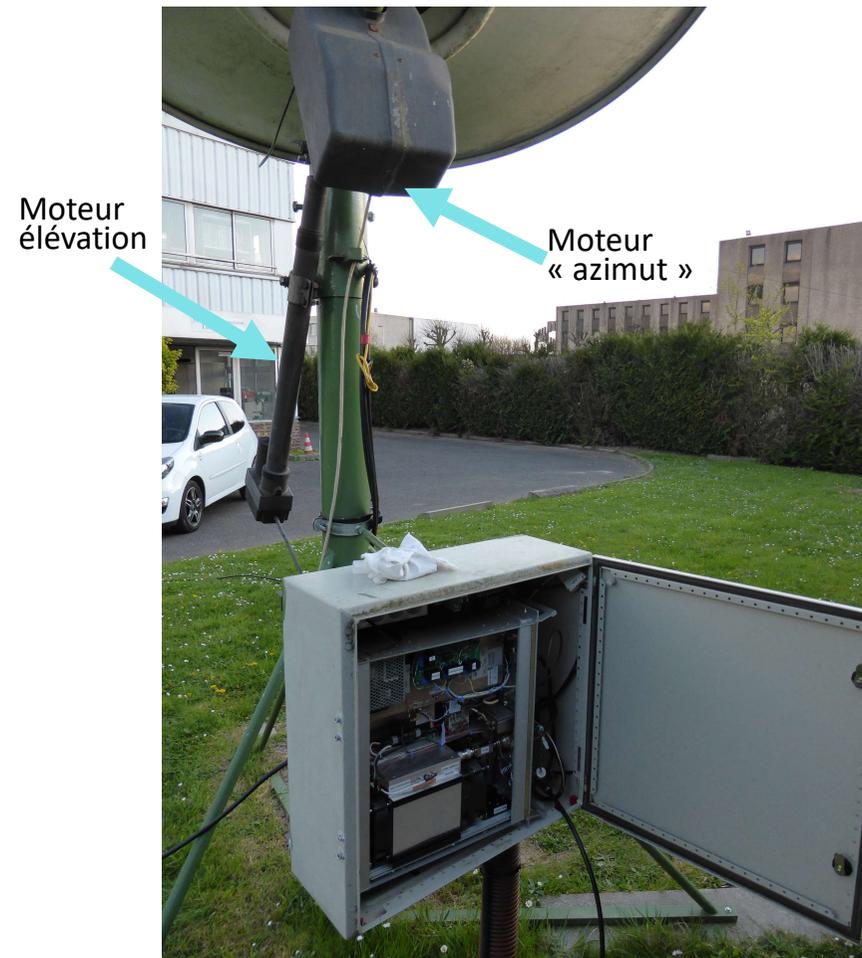
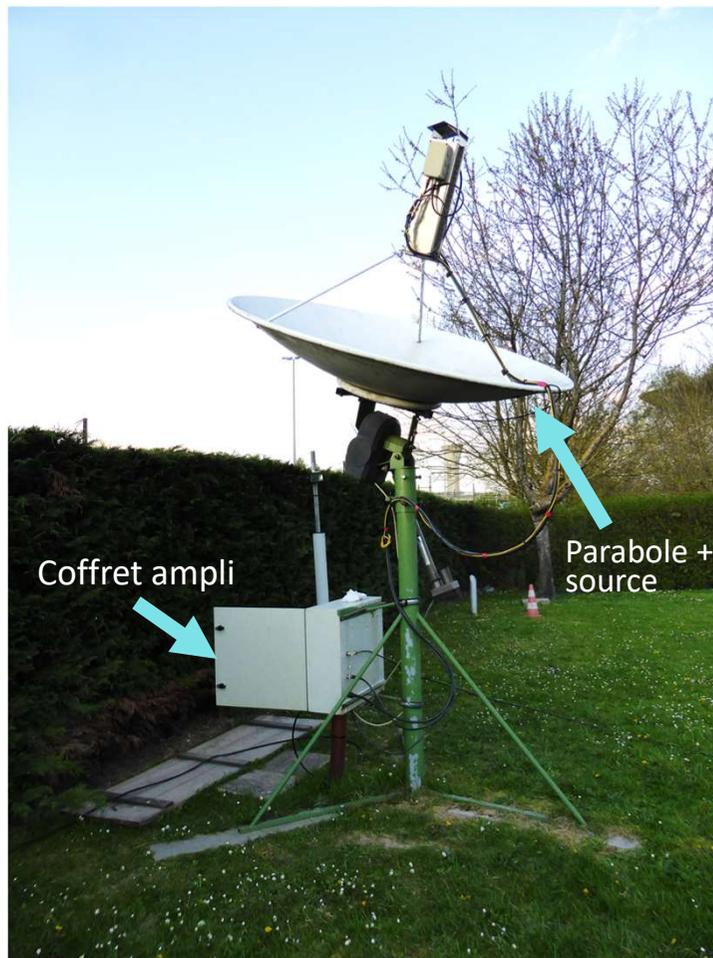
Schéma de principe de la station





PRÉSENTATION DU SYSTÈME 2017

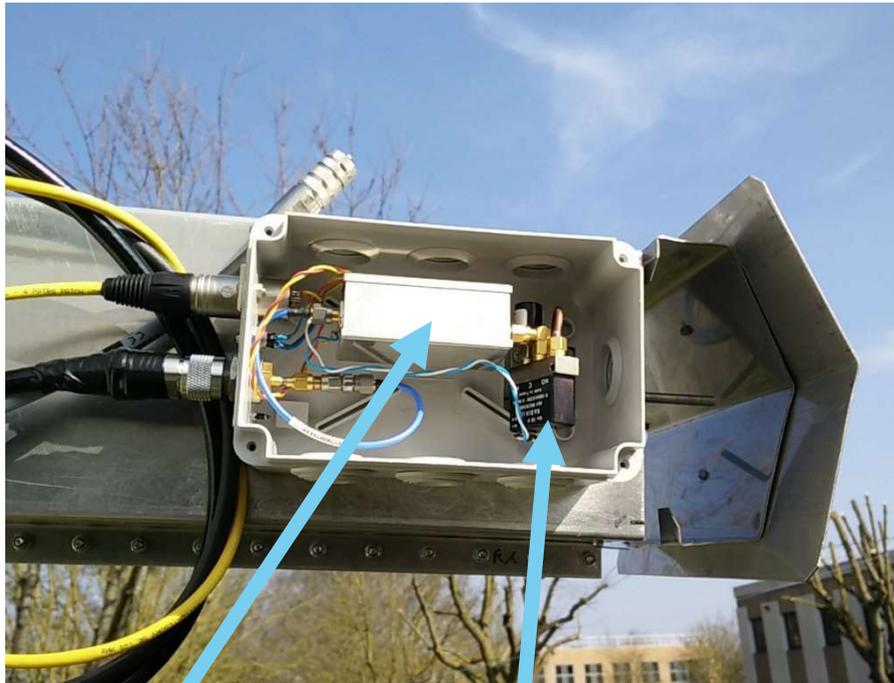
Quelques photos de l'antenne





PRÉSENTATION DU SYSTÈME 2017

La source et le LNA



LNA
(design G4DDK)

Relais
d'isolation +
charge 50Ω



Boitier LNA

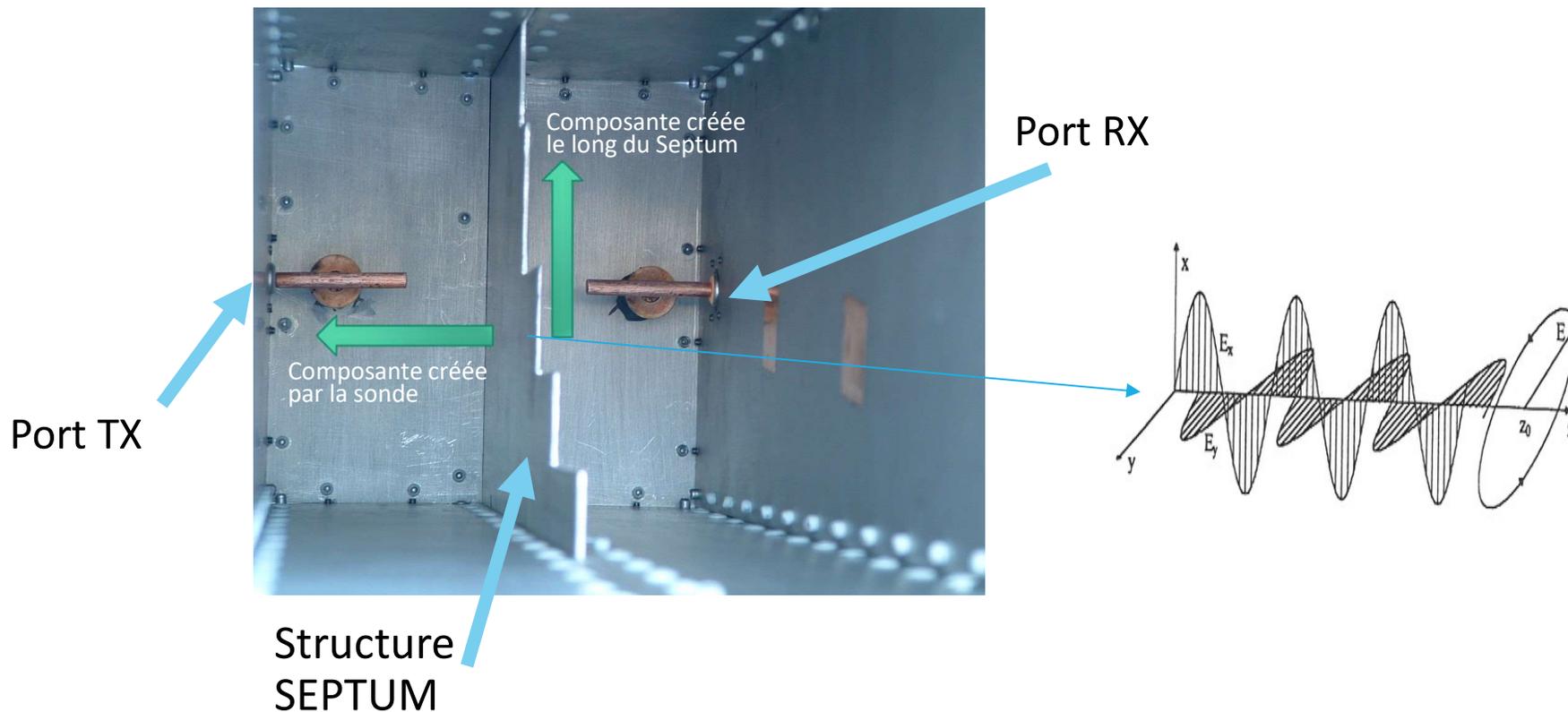
Port TX



PRÉSENTATION DU SYSTÈME 2017

Quelques précisions sur le polariseur de type « SEPTUM »

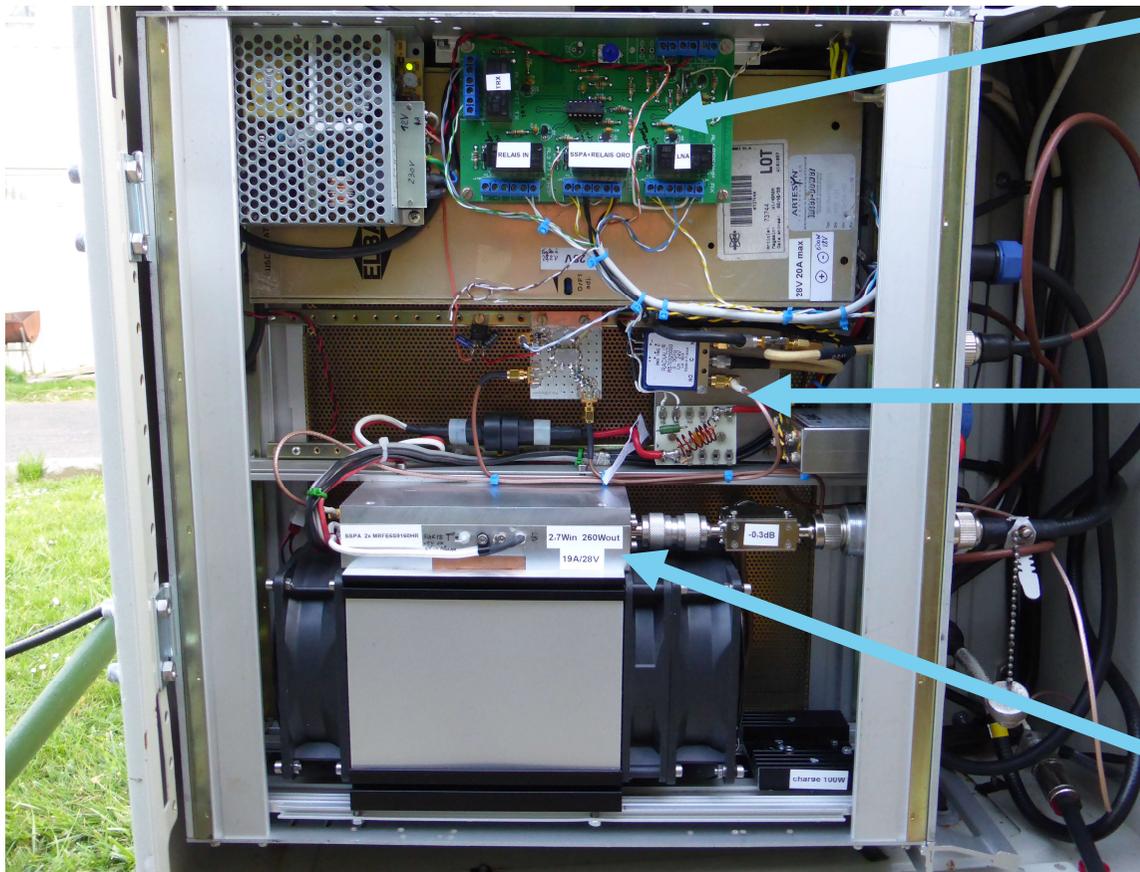
Le « septum » est une structure générant une onde qui lui est parallèle et qui est déphasée de 90° par rapport à l'onde incidente => Création d'une polarisation circulaire.





PRÉSENTATION DU SYSTÈME 2017

L'ampli de puissance



Séquenceur

Relais d'entrée

Mesure Pout

Module de puissance
(3W in -> 260W out)

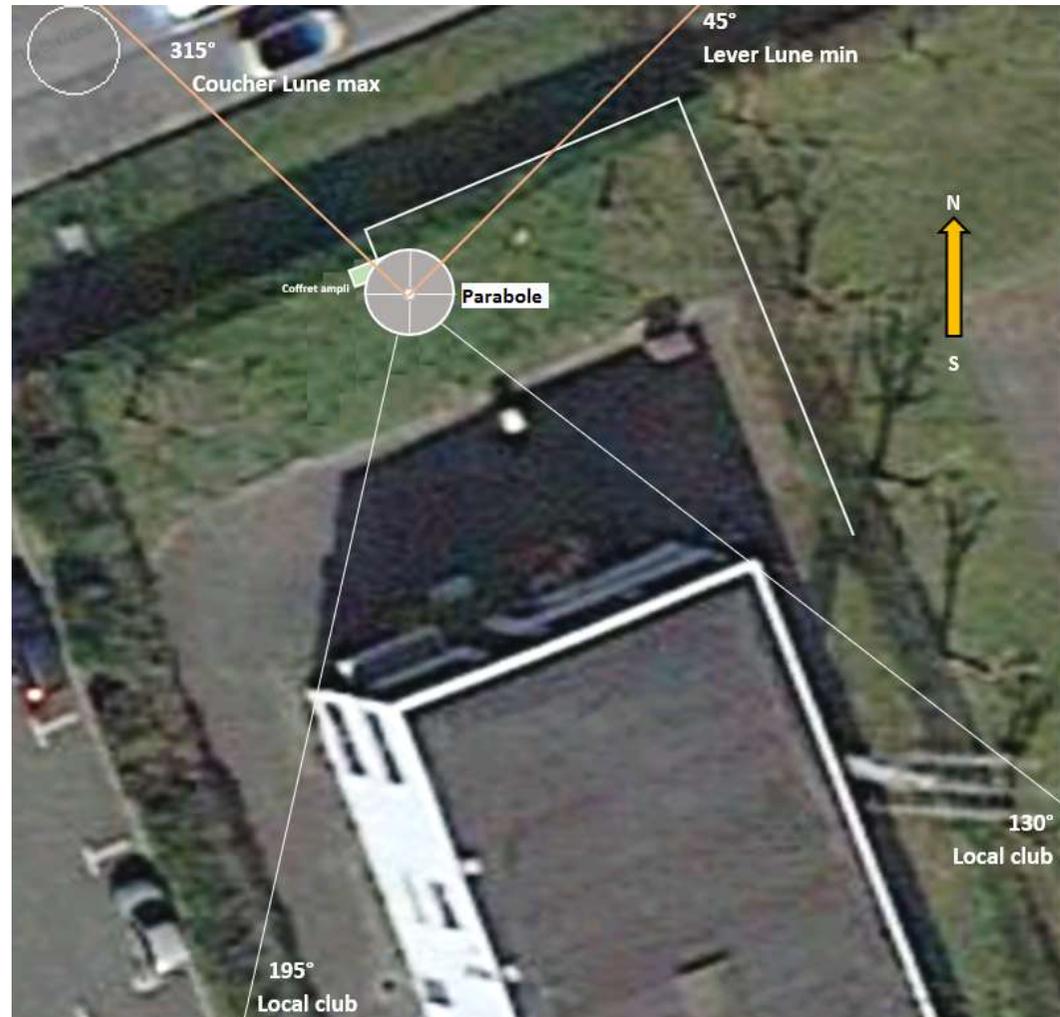


PRÉSENTATION DU SYSTÈME 2017

Emplacement

L'emplacement de la parabole est un compromis entre le dégagement et la longueur des câbles (~70m) allant au shack.

Nous avons les chances de disposer d'un local permettant l'installation d'une telle antenne!





PRÉSENTATION DU SYSTÈME 2017

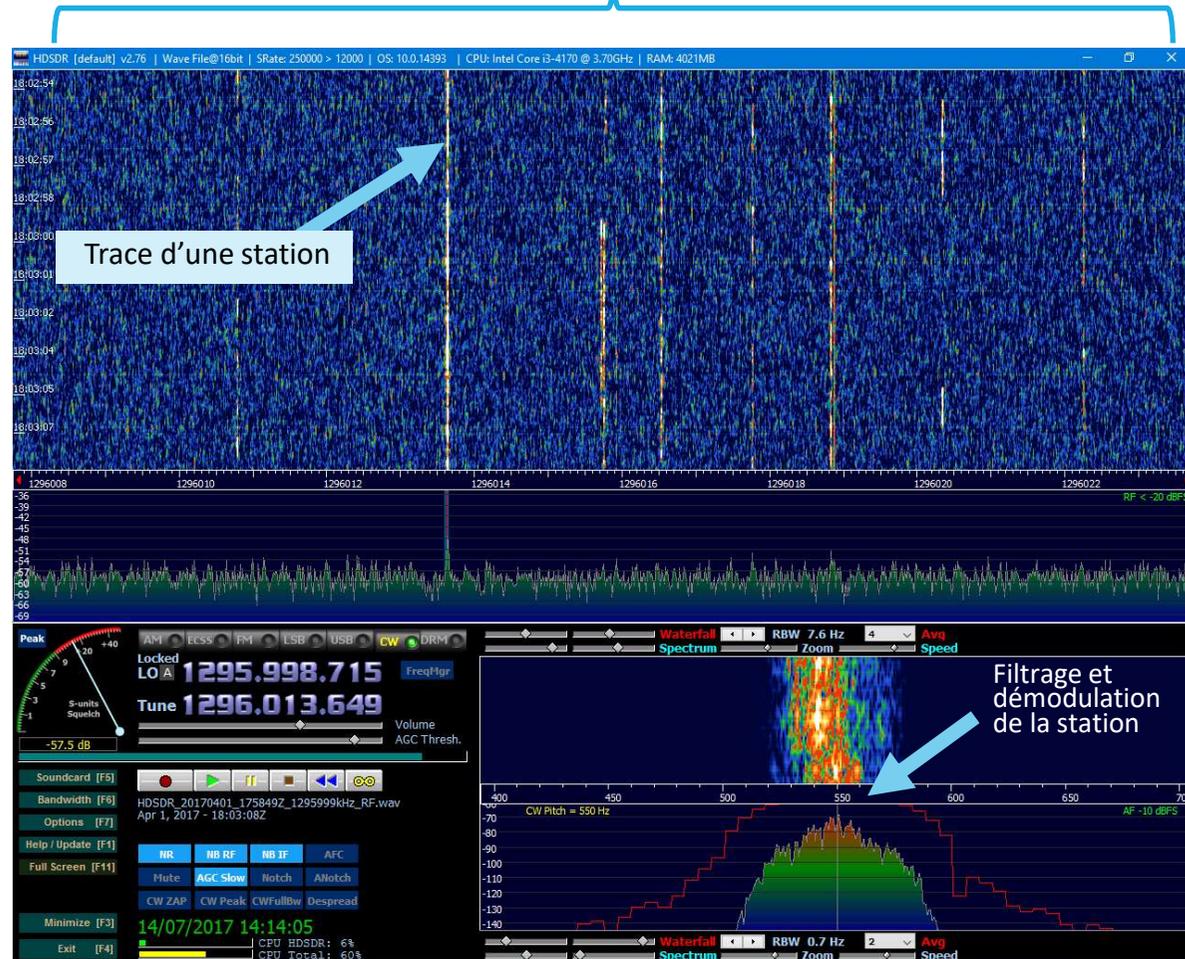
Moyens utilisés en réception

Utilisation du SDR en parallèle avec le transceiver IC910.

SDR -> Avantage de permettre la recherche des stations par visualisation de la bande sur spectrogramme + écoute avec jeu de filtres avancés

TRX -> Emission et écoute des stations

Vue d'ensemble de la bande





PREMIER QSO EME DE F6KRK

Les premiers QSO

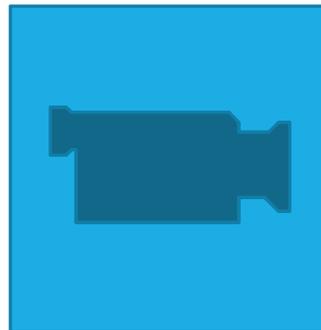
12 Mars 2016

Le LOG :

Date	Heure	Indicatif	Bande	Mode	RST envoyé	RST reçu	QTH	QTH-Locator	Distance	Commentaires
12/03/2016	17:20	UA4HTS	23cm	CW	RO	000		LO43MO	3258	EME
12/03/2016	16:32	HB9Q	23cm	CW	519	529		JN47CG	488	EME
12/03/2016	16:18	I1NDP	23cm	CW	519	449		JN45AL	583	EME

First one →

La vidéo : (10 min)

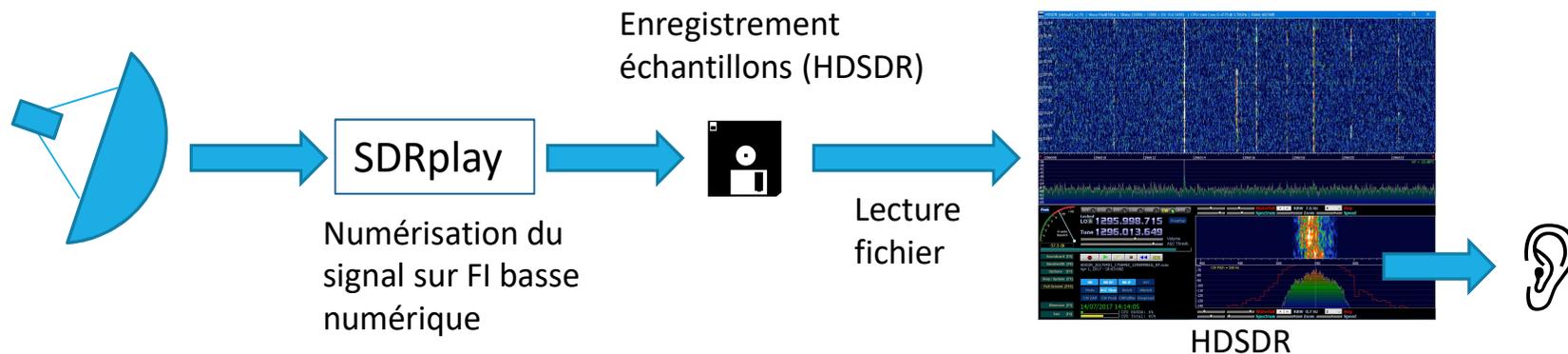




DÉMONSTRATION VIRTUELLE

Maintenant à **vous** de travailler!

Nous allons utiliser de façon virtuelle la station EME en se basant sur un enregistrement du signal RF. Les paramètres de réglage de HSDR sont reproduits. C'est exactement comme si nous étions devant la station.



Le jeu consiste à vous faire entendre des **vrais** signaux EME démodulés en temps réel et à vous de deviner les indicatifs.

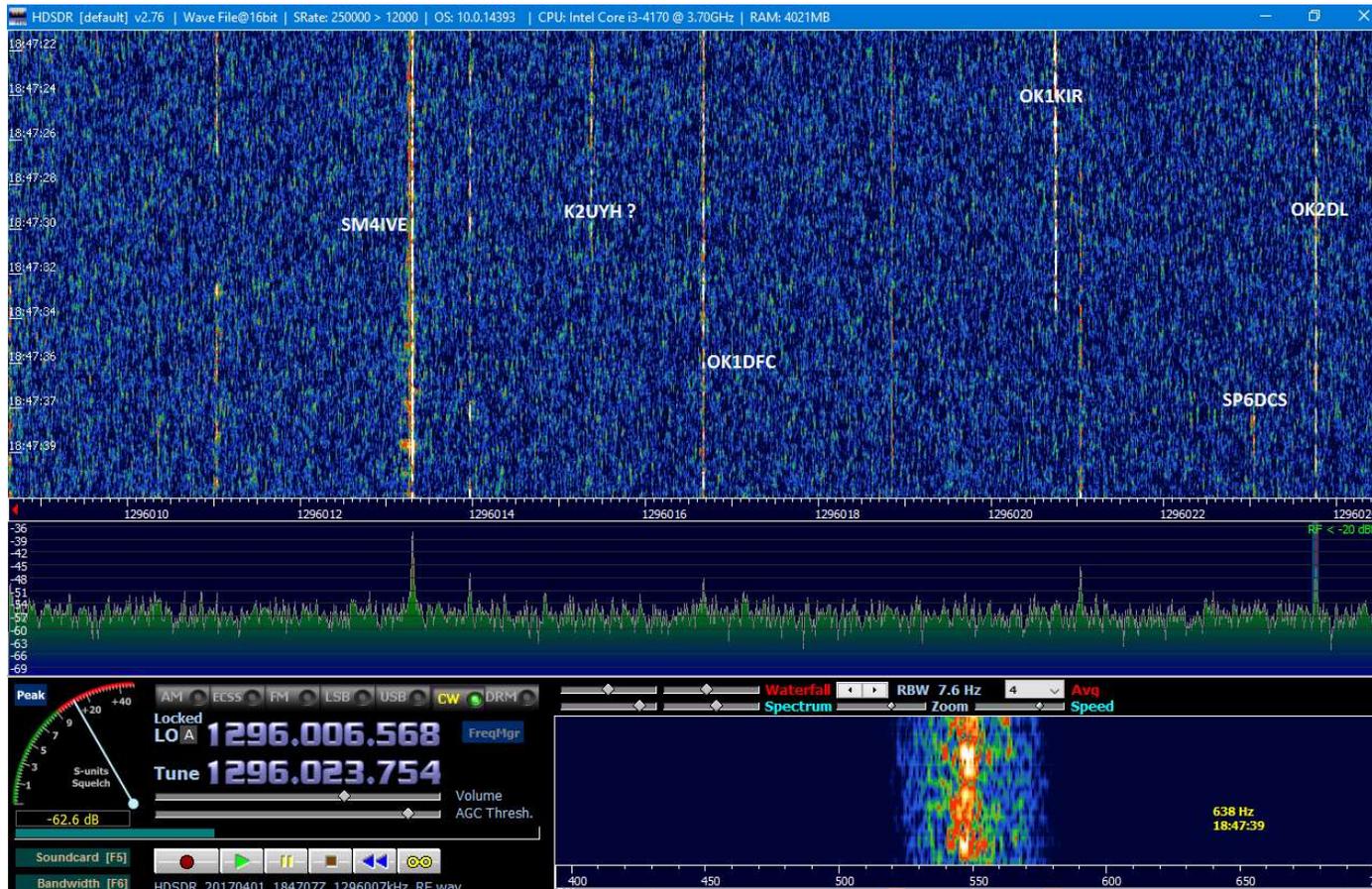
Rassurez-vous, avec de l'entraînement on finit par y arriver.

L'EME est l'école de la patience et de la persévérance. Mais quelle magie!



DÉMONSTRATION VIRTUELLE

Corrigé (partiel)





SUITE DU PROJET

Rappel de l'objectif initial du projet

Pour rappel l'objectif initial était d'utiliser une parabole de 3m, celle du CEA mais elle s'est avérée trop lourde pour l'utiliser avec la motorisation de la parabole 2m. Il nous a donc fallu repartir à la recherche d'une parabole plus légère.

En octobre 2017 nous avons récupéré une telle parabole associée en plus à tout son système de motorisation. (Système de DL1HZ).

Le système qui sera opérationnel en 2018 sera en fait une évolution essentiellement mécanique du système 2017, l'électronique restant la même.

Nous ne présenterons donc ici que le nouveau système d'antenne.

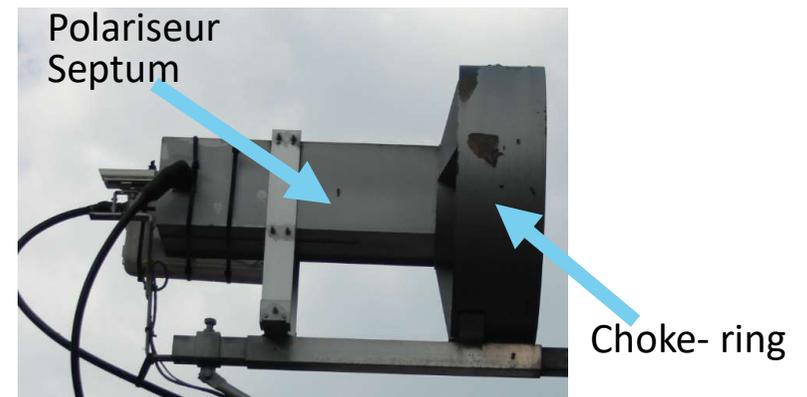
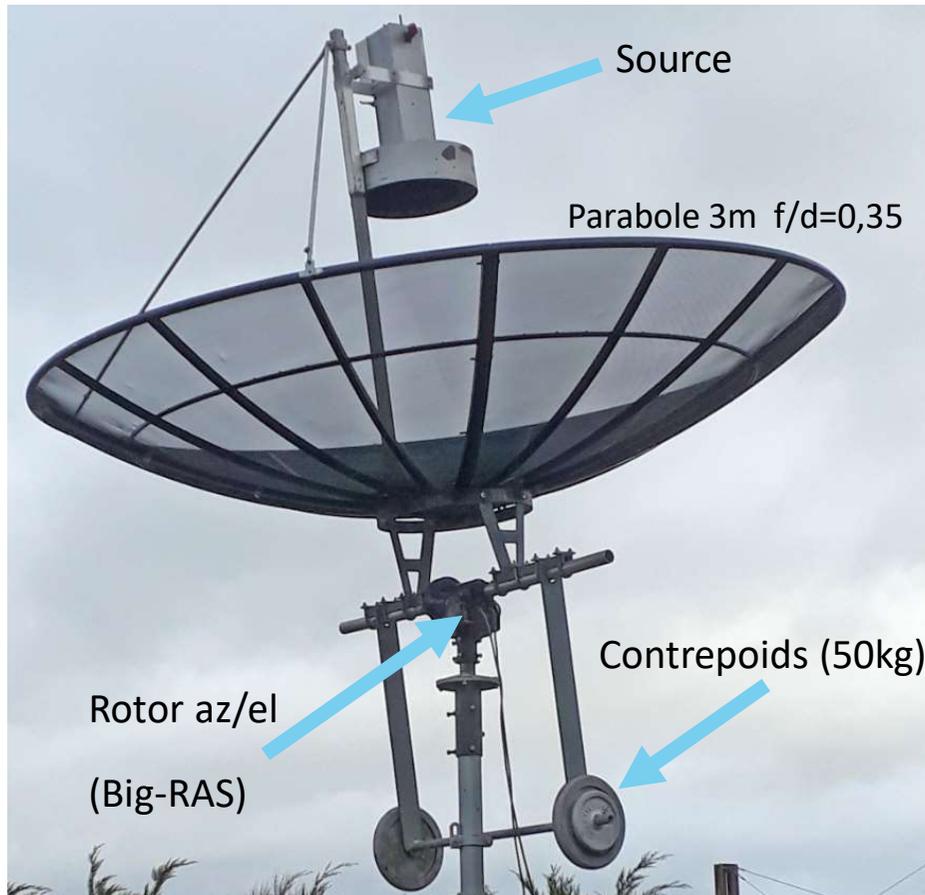
En résumé ce qui a évolué :

- Parabole : type TVRO (f/d 0,35) en alu et source Septum améliorée à « choke ring »
- Motorisation : rotor big-RAS de SPID azimuth/élévation
- Support : mat de 3m de hauteur.



LA NOUVELLE PARABOLE 2018

Ensemble antenne



LNA + relais d'isolation





LA NOUVELLE PARABOLE 2018

Performances attendues

Par rapport au système précédent nous aurons:

- Un gain plus important (+3dB) du fait de passer de 2m à 3m
- Un rendement d'illumination meilleur et une température de bruit d'antenne (spill-over) plus faible grâce au choke-ring de la source (+1dB)
- Une précision de pointage garantie à 1° grâce au nouveau rotor
- Un dégagement de la parabole meilleur grâce au nouveau mat plus haut

L'avancement du projet est régulièrement posté sur le blog F6KRK.

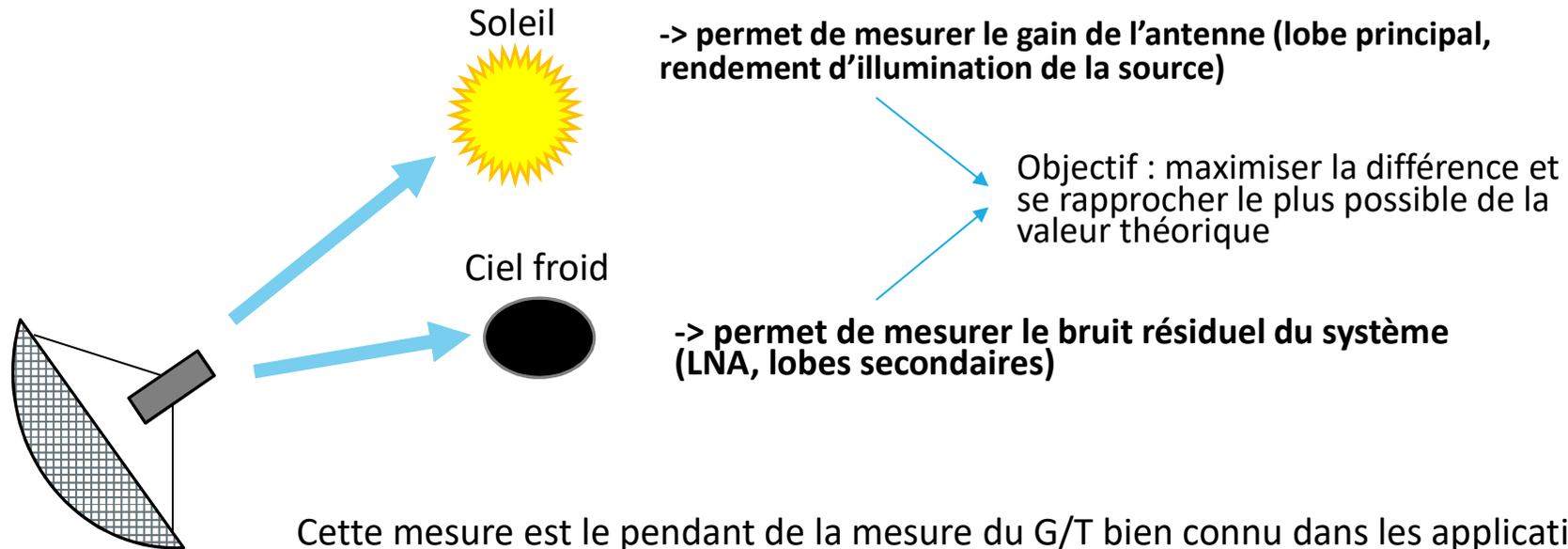


LA NOUVELLE PARABOLE 2018

Premières mesures sur le système : Mesures soleil / ciel froid

Principe : mesurer la différence de niveau de bruit reçue entre le soleil et le ciel froid. Le soleil est utilisé comme source de bruit. La confrontation entre la mesure et le calcul théorique permet de connaître l'état du système. Cette mesure sert aussi à l'optimisation.

Il ne suffit pas d'avoir un gain important, il faut aussi un système à faible bruit (antenne + LNA).





LA NOUVELLE PARABOLE 2018

.. et déjà des premiers résultats encourageants!

Mesure de performances :

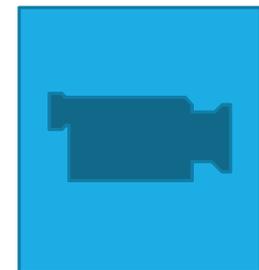
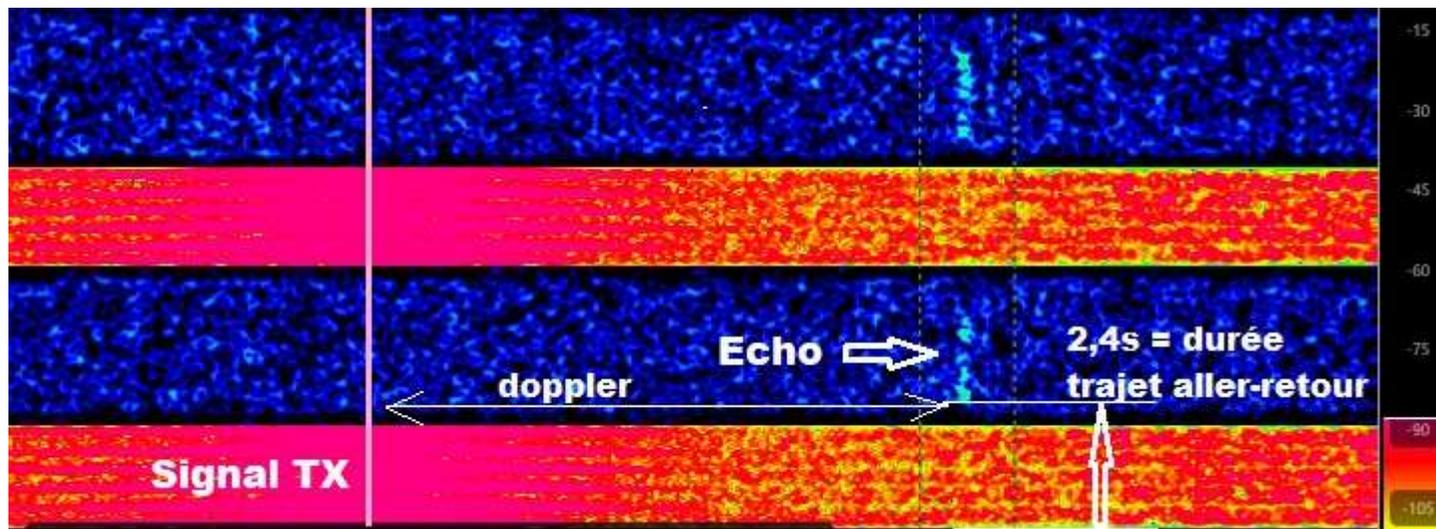
Pour un SFU (Solar Flux Unit) de 78 (@10,7cm)

- Premières mesures (soleil / ciel froid) : 12dB / 13dB attendus
- Premières mesures (sol / ciel froid) : 7dB / 7,5dB attendus



Validation des performances

.. Et des échos !!



A composite image showing the Earth on the left and the Moon on the right against a black background. The Earth is shown as a curved horizon with blue oceans and white clouds. The Moon is shown as a full, grey sphere with visible craters and maria.

Merci pour votre attention.

73's de F6KRK