



RADIOASTRONOMIE

Eclipse partielle de Soleil du 20 Mars 2015

Observations et résultats (F6KSX – AAV)

Jean-Jacques MAINTOUX – F1EHN

Avec la coopération de Joachim DF3GJ

Dernière mise à jour : 30 Avril 2015

Eclipse partielle de Soleil du 20 Mars 2015

Observation et résultats

- La station de mesure F6KSX - AAV
- Justification des résultats attendus
- L'éclipse partielle - Observations
- Résultats et commentaires
- Simulation
- Conclusion
 - Références

La station de mesure F6KSX - AAV

- Antenne parabolique diamètre 3.3m – Polarisation linéaire verticale
- Bande de fréquence : 21cm (bande radioastronomie)
- Température de bruit système : 60 K
- Numérisation FI 60 MHz / B=2,5 MHz
- Visualisation temps réel via Funcube et Spectravue



Visualisation temps réel et
Traitement temps différé

GSP - Datation

Acquisition de données
et poursuite angulaire
automatique

OL - Réception

Interface tourelle



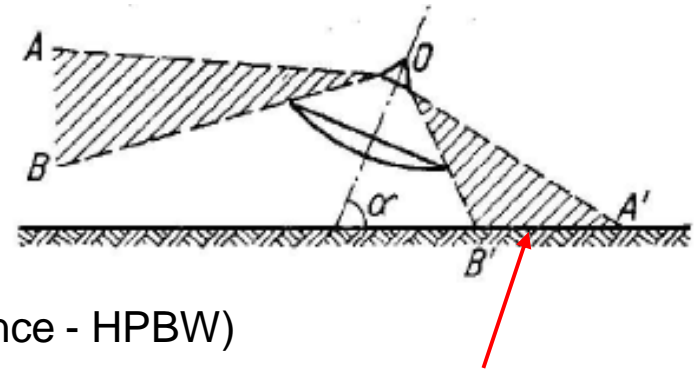
Justification des mesures

Soit T = Température, k = cste Boltzmann, $cs \Rightarrow$ ciel froid, $sun \Rightarrow$ soleil, $sys \Rightarrow$ system, $F=1420$ MHz, longueur d'onde $\lambda = c/F \Rightarrow \lambda=0.211m$, A_{eff} = Aire efficace, Bw = Bande passante.

■ STATION 21cm :

□ Antenne @21cm

- $D=3.3m$, Gain = 31dBi $\Rightarrow G=1260$
- Aire efficace : $A_{eff} = G \cdot \lambda^2 / 4\pi = 4,46 \text{ m}^2$
- Diagramme : Ouverture = $4,4^\circ$ (à mi-puissance - HPBW)
- $T_{ant_cs} = 15K$ ($T_{ciel} \sim 5K$, $T_{lobes} = 10K$ estimés d'après mesures (spillover))



□ Récepteur

- Pertes : L_r = Pertes en réception = 0,1 dB $\Rightarrow L_r = 1,023$
- Température de bruit : $T_r = 34K$ (NF = 0,48 dB).
- $Bw = 2.5$ MHz (pour garantir une meilleure résolution de mesure)

□ Système

- $T_{sys_cs} = T_{ant_cs} + (L_r - 1) \cdot 290K + L_r T_r$ (pointé sur ciel froid @ $\sim 5K$)
 - ✓ **$T_{sys_cs} = 57 \text{ K}$** (cs = Cold sky / Ciel froid proche pôles galactiques)

T_{ant} \Rightarrow Température d'antenne, T_{sys} \Rightarrow Température Système, Bw \Rightarrow bande passante

Justification des mesures

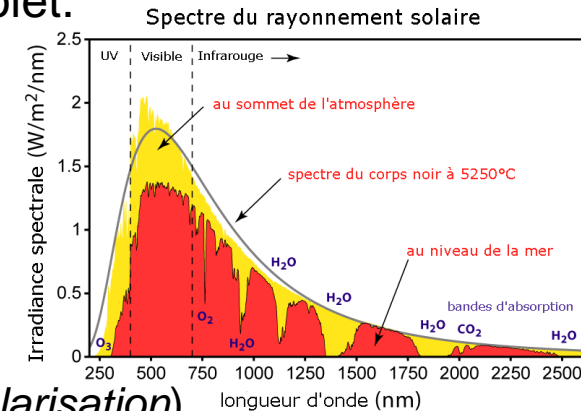
- Fréquence : 1422 MHz (hors rayonnement H1)
 - Ici on s'intéresse au rayonnement thermique du soleil (gaz ionisé à forte température et rayonnement type corps noir)
 - Le rayonnement radio est une infime partie du rayonnement solaire principalement centré entre infra-rouge et ultra-violet.
 - http://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement_solaire

■ Soleil

- Flux @ 1415 MHz : 85 sfu
 - d'après observatoire San Vito (soit $85 \cdot 10^{-22} \text{ W/m}^2/\text{Hz}$)

■ Niveau reçu (prévision)

- $T_{\text{ant_sun}} = \text{Flux} \cdot A_{\text{eff}} / (2 \cdot k) = 1374\text{K}$ (pour une polarisation)
- La mesure de signal reçu est de la forme $(S+N)/N$ avec
 - $S = k \cdot T_{\text{ant_sun}} \cdot Bw$ **Bandes de fréquence Bw identique**
 - $N = k \cdot T_{\text{sys_cs}} \cdot Bw$ **pour les 2 mesures. Bw = 2,5 MHz**
 - Excès de bruit solaire = $(T_{\text{ant_sun}} / T_{\text{sys_cs}}) + 1 = 25$ **soit Y = 25 ou 14 dB**



Ce facteur est communément appelé facteur Y. Ici, il s'agit de relevé l'écart (ou ratio) entre 2 pointages de l'antenne en direction d'une zone « froide » du ciel puis en direction du soleil (hors éclipse).

L'éclipse partielle de soleil

- Dans l'Essonne, cette éclipse était partielle avec une météo bouchée ne permettant aucune observation optique. Suivi via Internet (Pic du Midi),
- Les enregistrements ont débuté 08:19:00 UTC. A notre grande surprise l'éclipse radio était débutée contrairement aux prédictions (voir résultats). L'élévation du soleil était à 22° pour un azimut de 118° .
- Le maximum n'a pas été marqué non plus (voir résultats)
- Les enregistrements ont été interrompus à la fin de l'éclipse radio vers 11:00 UTC. L'élévation du soleil était proche de 40° pour un azimut de 160° .
- Visibilité de l'éclipse en fonction de la position géographique d'observation.

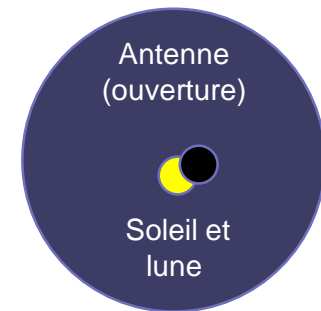
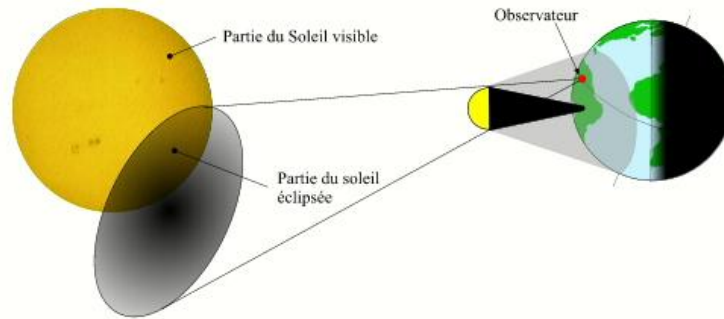


*Ce que l'on n'a pas vu
(en heure locale)*



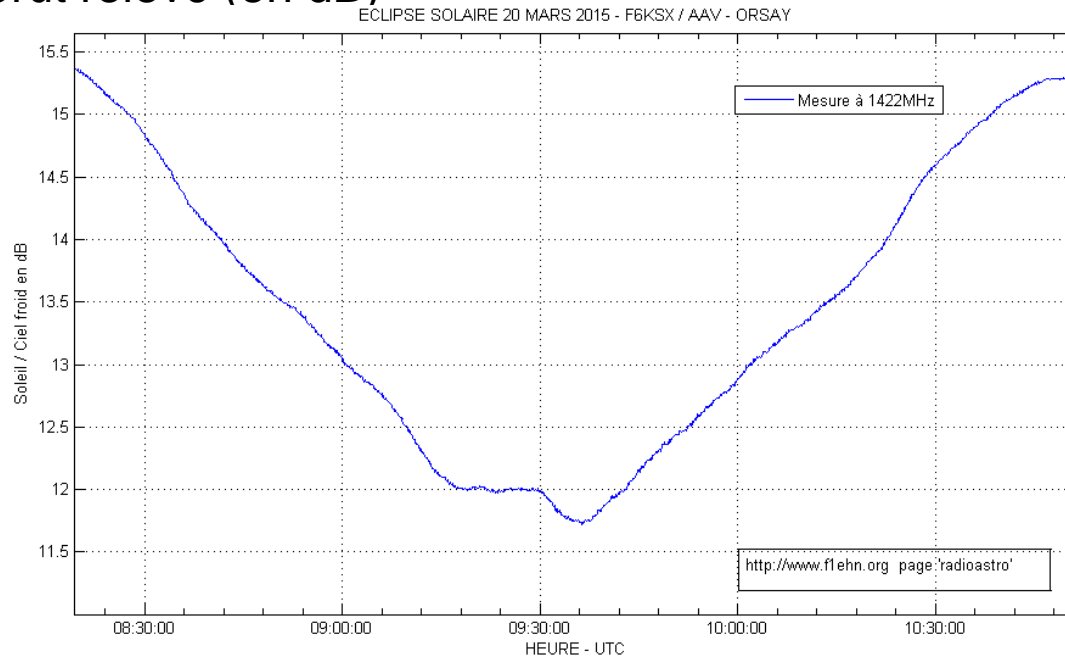
Résultats bruts

- Durant l'éclipse, le flux solaire est intercepté par la lune. Ici, la température de la lune est négligeable (angulairement faible par rapport à l'ouverture d'antenne et toujours présente dans le lobe)



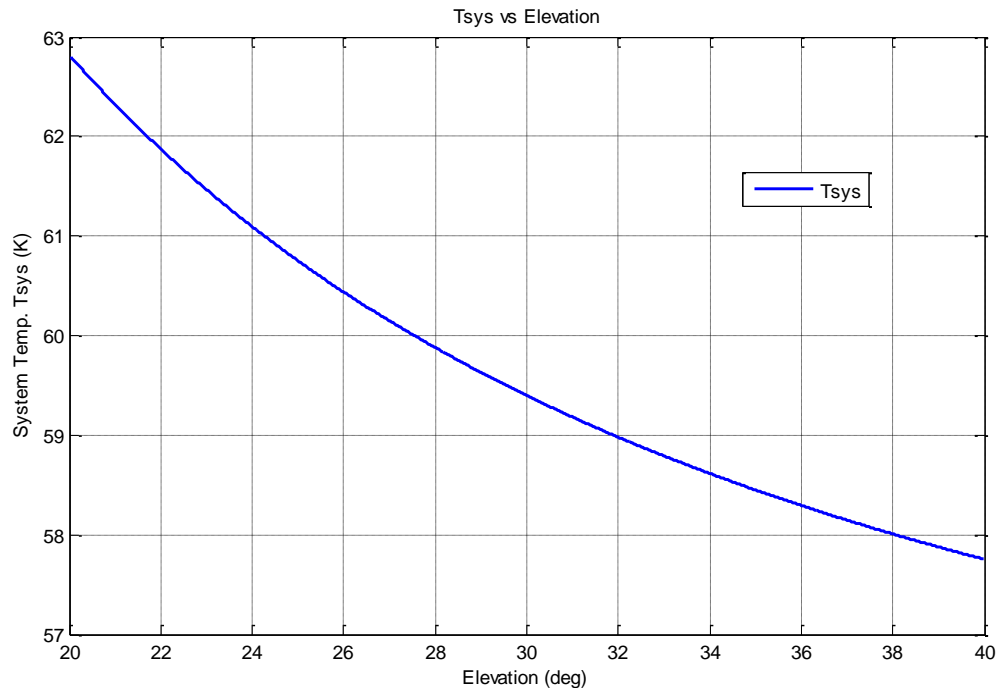
La position d'antenne est asservie sur la position du soleil (poursuite automatique)

- Facteur Y brut relevé (en dB)



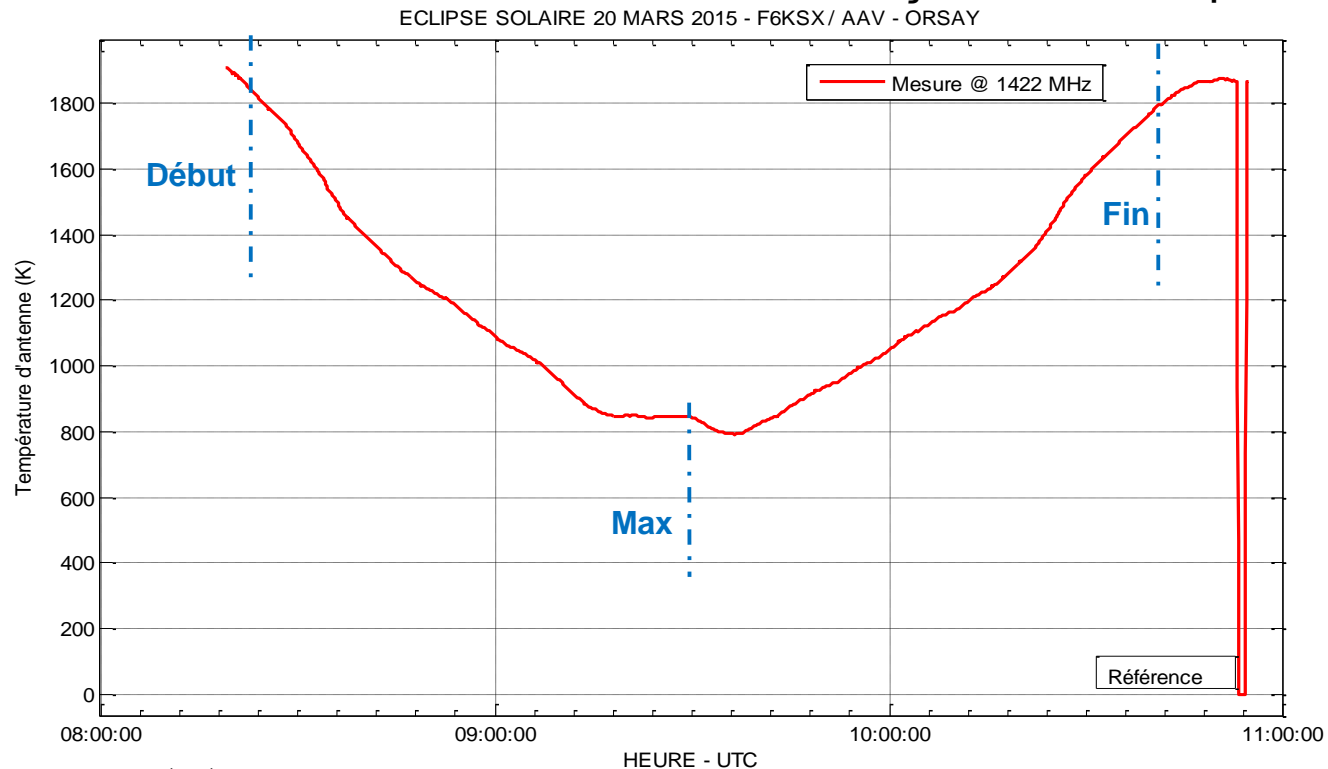
Résultats bruts

- Température de bruit Système (T_{sys})
 - L'éclipse a débuté à faible élévation. La température système de la station est alors plus élevée, cette augmentation étant principalement liée aux lobes secondaires d'antennes pointant vers le sol, les arbres et habitations environnantes.
 - La figure ci-dessous montre la température Système en fonction de l'élévation. Le relevé effectué est corrigé grâce au niveau de référence effectué sur ciel « froid » en dehors du soleil.
 - La perte de sensibilité amenée par T_{sys} plus élevée est compensée.



Résultats et commentaires

- La courbe ci-dessous montre la température d'antenne déduite du facteur Y et de la Température système en inversant la formule de prédiction du facteur Y. Elle révèle la variation du flux solaire reçu durant l'éclipse.

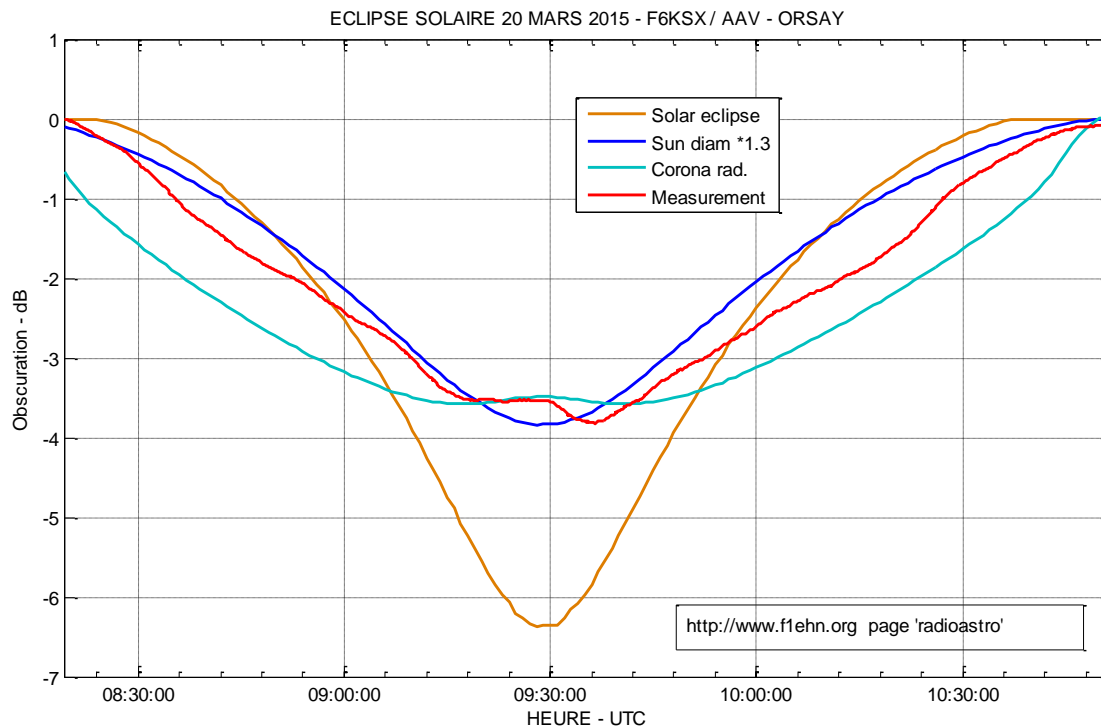


- Premiers constats :

- ❑ L'éclipse radio est plus large que l'éclipse optique dont les repères sont donnés
- ❑ Le creux (maximum de l'éclipse) n'est pas marqué et est moins profond que celui attendu (57% au lieu de 79% d'occultation)
- ❑ La température d'antenne est plus élevée que celle attendue
- ❑ La courbe n'est pas uniforme et comporte de nombreuses déformations sur ses flancs

Résultats et commentaires

- L'éclipse radio plus longue et moins « profonde » que l'éclipse optique:
 - ❑ En effet le soleil à 21cm peut être considéré comme plus « gros ». Sa couronne s'étend bien au-delà de son diamètre visible et c'est elle qui génère les rayonnements les plus importants à ces fréquences là.
 - ❑ Le creux en est donc moins profond car la lune ne peut alors pas éclipser totalement cette couronne.
 - ❑ La courbe ci-dessous montre 3 simulations, pour l'optique (Solar) ou pour les fréquences plus élevées (>10GHz), avec un soleil plus gros et ensuite avec un rayonnement « annulaire » de la couronne et comparés à la mesure.



On peut constater qu'aucune des 3 simulations ne correspond à l'observation. L'observation se situe entre le rayonnement annulaire (ici est trop prononcé) et le rayonnement d'un soleil de plus gros diamètre.

De plus l'observation présente une dissymétrie au moment du maximum ainsi que des déformations dans ses flancs

Résultats et commentaires

- ❑ La température d'antenne est plus élevée que celle attendue
- ❑ La courbe relevée n'est pas uniforme et comporte de nombreuses déformations sur ses flancs :
- ❑ L'origine pourrait être commune à ces 2 observations. La présence de sources rayonnantes, elles-mêmes éclipsées à certains instants par la lune pourraient provoquer ces déformations (voir simulations) et élévation de température.
- ❑ La courbe ci-dessous montre le facteur Y en dB référencé à la valeur maximum. Cette courbe permet de repérer les différentes déformations constatées et compare les résultats par rapport à ceux de la station DL0SHF et analyses de DF3GJ.

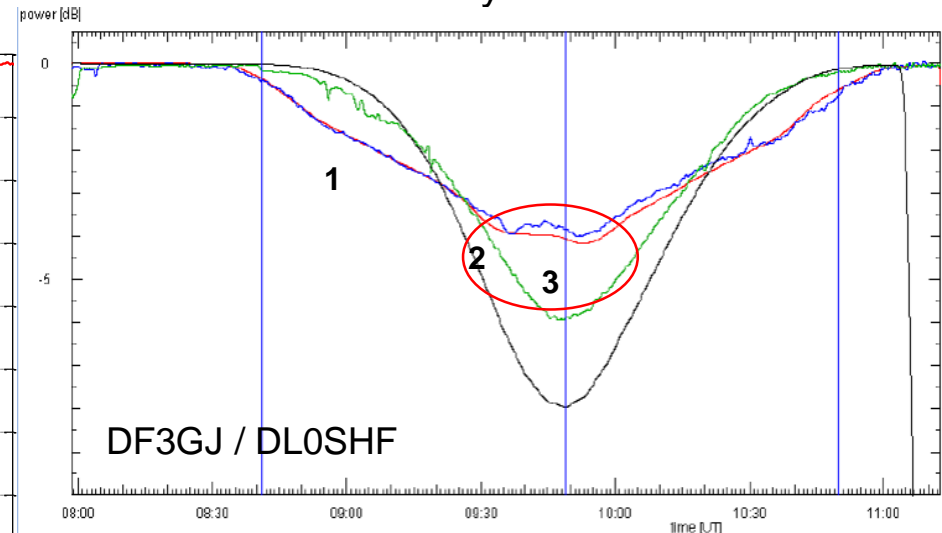
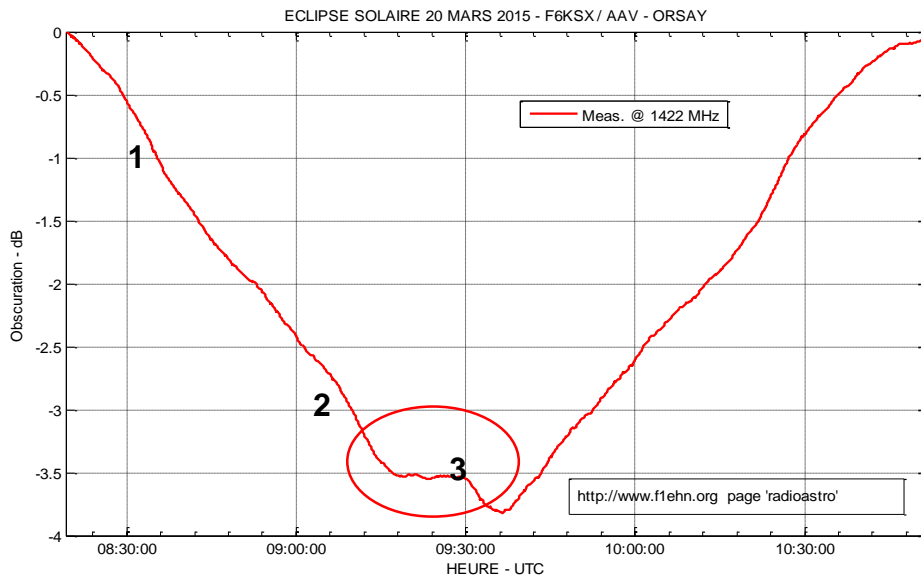
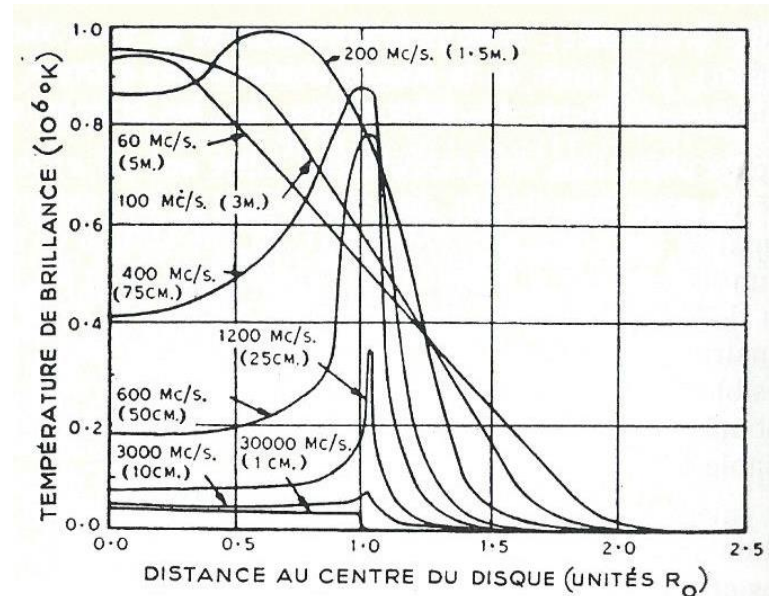
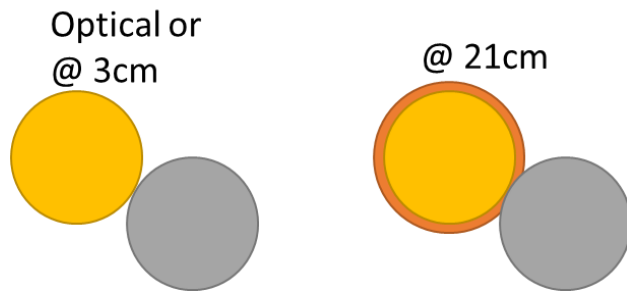


Fig. 6 The relative powers during the eclipse. The vertical blue lines mark (from left) the first contact predicted of the optical eclipse, maximum obscuration, and last contact. The colours are the same as in the corresponding figures of the raw data: red (1.3 GHz), blue (2.3 GHz), green (8.2 GHz), black (10 GHz).

Il apparait que les 2 stations, malgré leur distance et un maximum décalé temporellement, révèlent le même phénomène. Ce résultat n'est donc pas du, ni à une mauvaise mesure, ni à un phénomène local. L'observation est donc correcte. Les repères 1 à 3 seront utilisés par la suite pour repérer ces instants d'éclipse.

Simulations

- Le résultat de mesure est intermédiaire entre la simulation faite avec un soleil de diamètre supérieur et le modèle considérant un rayonnement de la couronne extérieure représentée par un anneau.
- Le modèle réel est plus complexe (voir ci-dessous – Reference Coutrez) et le soleil est très actif et son comportement est complexe.
- Par la suite, la simulation prend en compte un diamètre extérieur de la couronne égal à 1,2 fois le diamètre nominal.
- Le rayonnement thermique du soleil est également pris en compte.

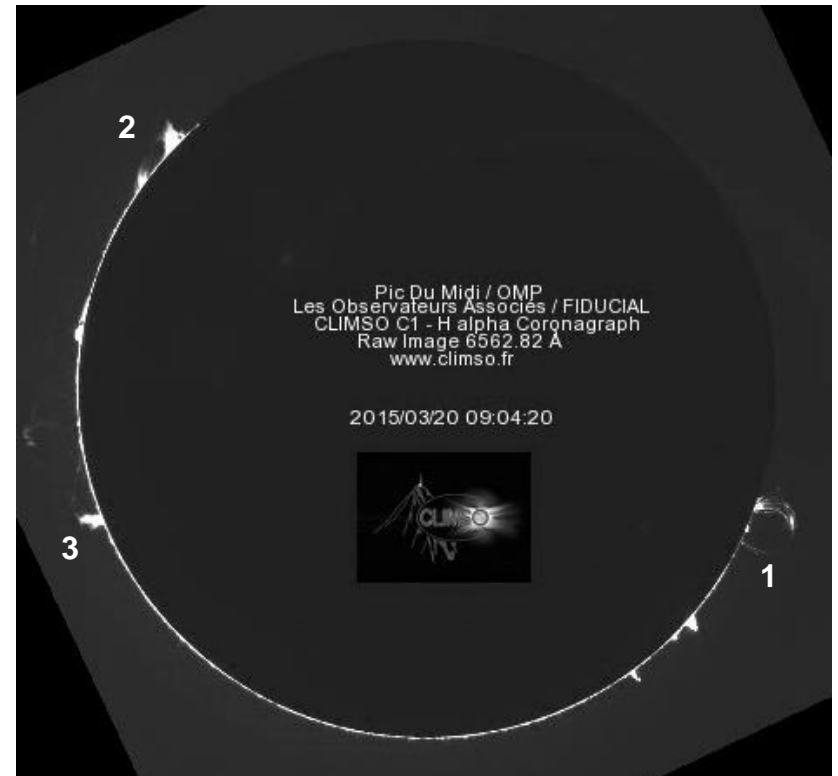


Observations

- D'autres observations sont considérées afin de conforter la conclusion de la présence de plusieurs sources rayonnantes complémentaires.
- Grâce à la base de données BASS2000, des vidéos Halfa de Climso sont utilisées pour révéler certaines zones d'éruption correspondant aux repères 1 à 3
- Zoom sur repère 2

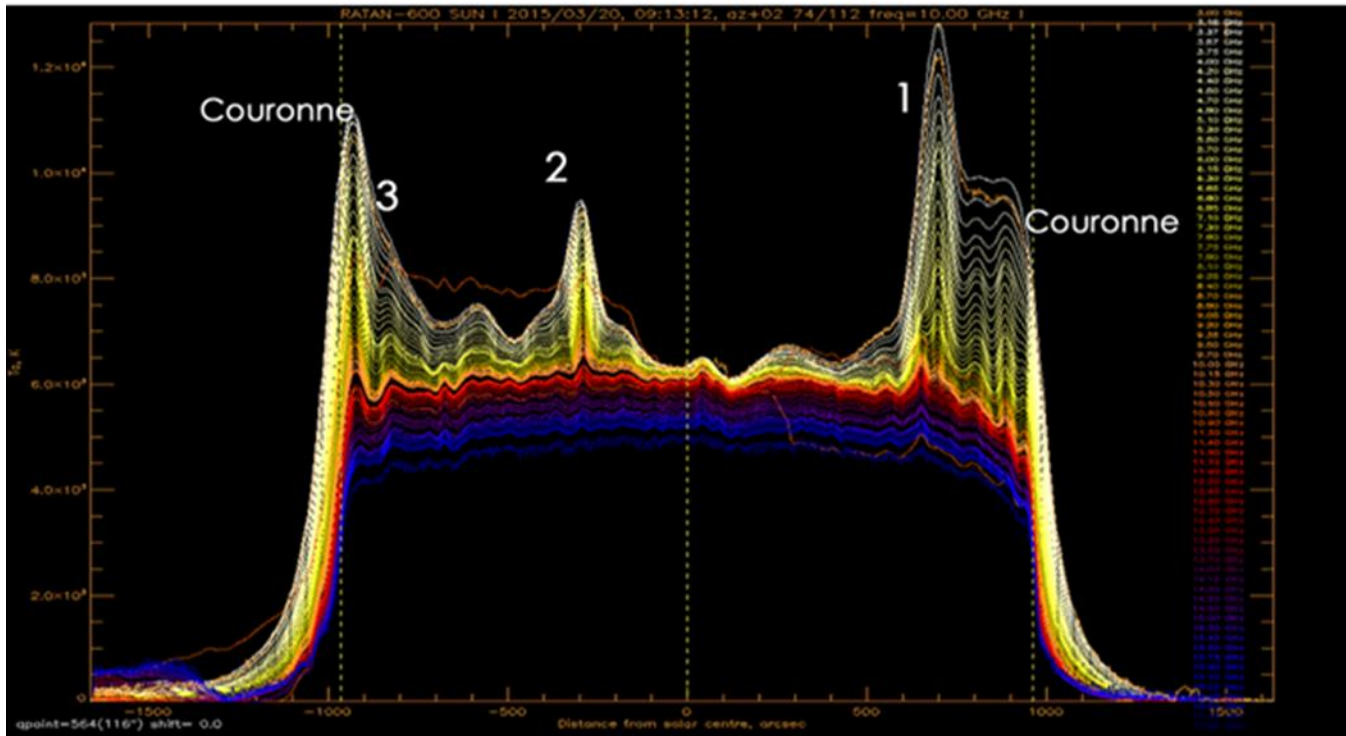


- Zoom sur repère 3



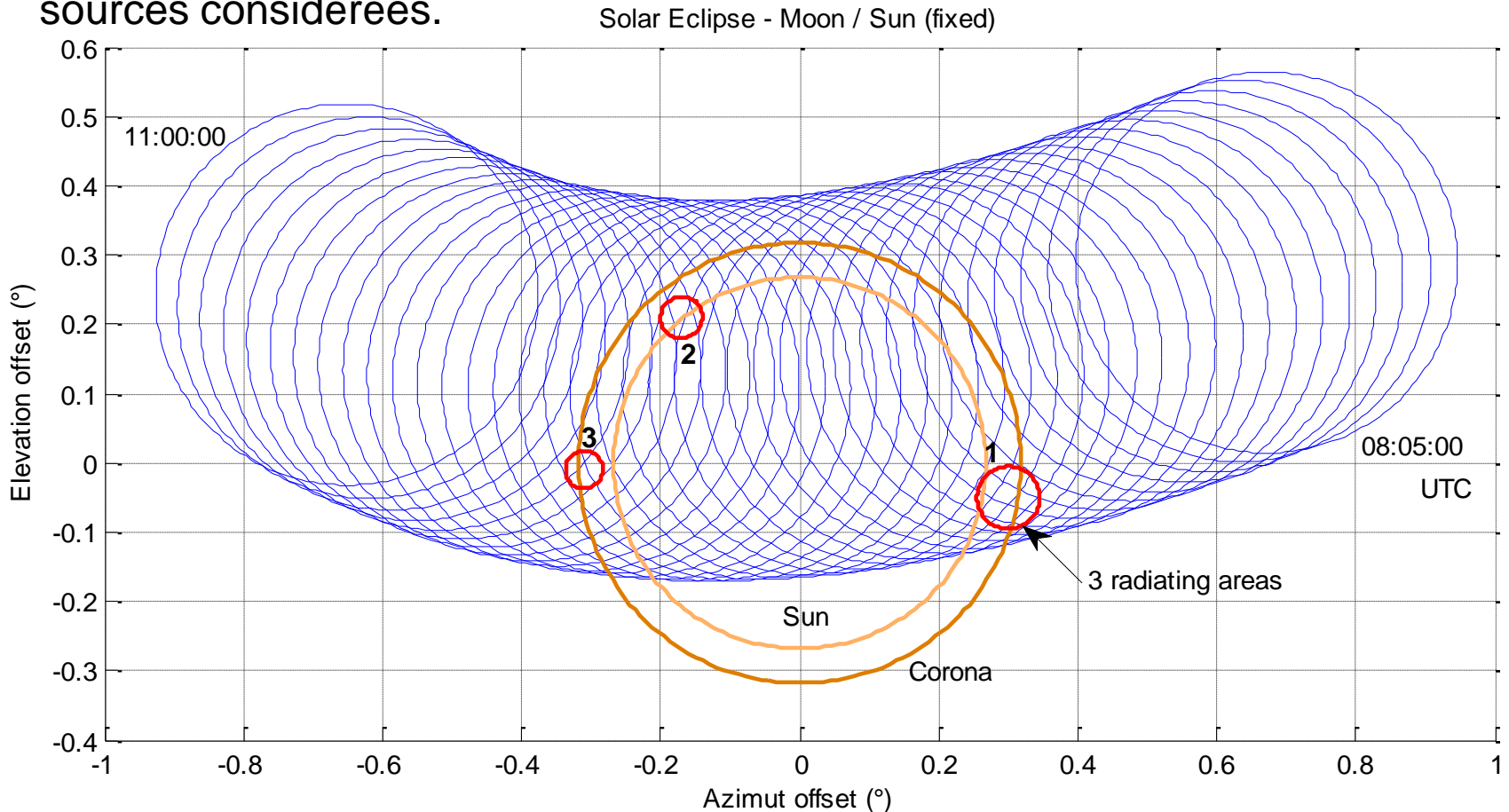
Observations

- D'autres observations sont considérées afin de conforter la conclusion de la présence de plusieurs sources rayonnantes complémentaires.
- Le radiotélescope RATAN-600 est utilisé pour « imager » le soleil en radio. Il fournit des relevés entre 3GHz et 24 GHz (10 à 1,25 cm).
- L'image ci-dessous est extraite de l'observation de l'éclipse par RATAN-600. L'éclipse étant moins prononcée à cet emplacement, cela donne des indications complémentaires sur la position des sources. 1 n'y est pas éclipsé et 2 le sera totalement par exemple. Voir référence.



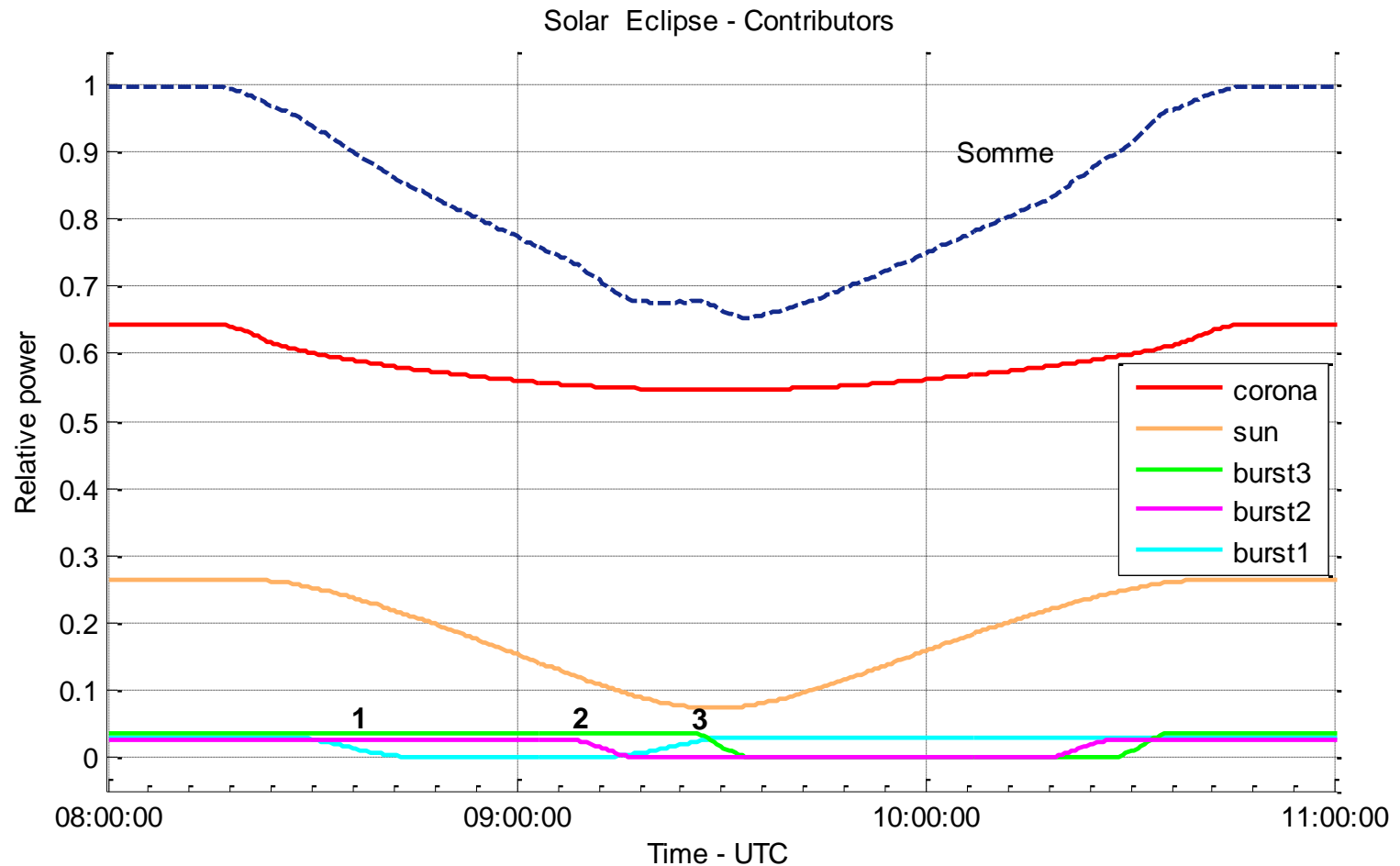
Simulations

- Ces analyses d'observations ont pris beaucoup de temps et les principales conclusions sont présentées. A partir de ces analyses, des simulations à 1, 2 ou 3 sources ont été effectuées. On constate sur les différentes observations qu'il faudrait considérer plus de sources, la surface du soleil étant très complexe. Mais il faudrait des modèles plus précis également.
- La figure ci-dessous montre le déroulement de l'éclipse et la position des 3 sources considérées.



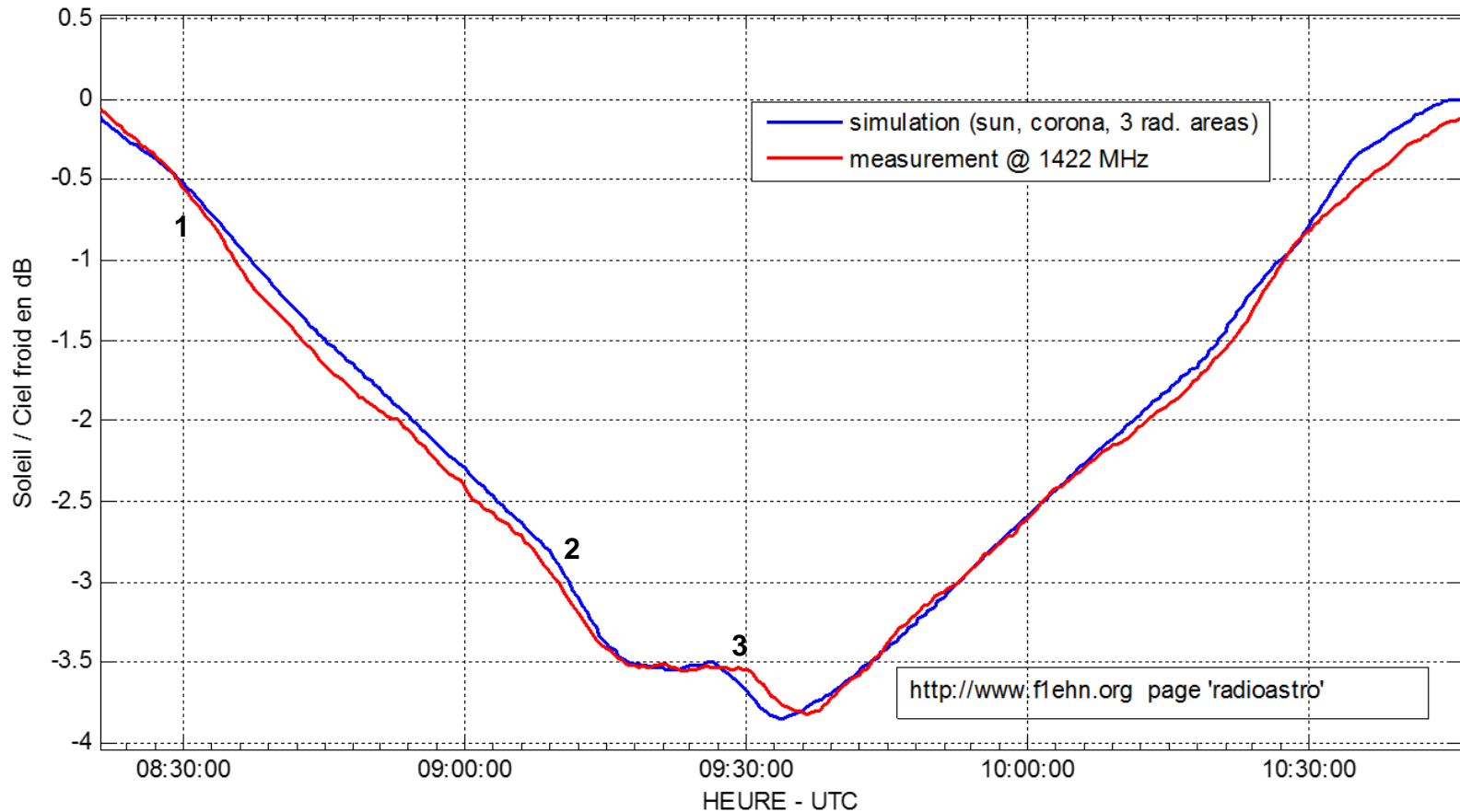
Simulations

- La simulation effectuée est décomposée en différents contributeurs.
- La figure ci-dessous montre la contribution de chaque élément pour la solution présentée à la page précédente.



Simulations

- Des simulations mettant en jeu 1, 2 ou 3 sources ont été effectuées. 3 sources permettent d'arriver au résultat présenté ci-dessous. Le nombre de paramètres est important (température, position et dimensions des sources rayonnantes, dimensions de la couronne et température de la couronne et du soleil) et ils sont détaillés en fin de présentation.
- La figure ci-dessous compare le résultat de la simulation à celui de la mesure effectuée. ECLIPSE SOLAIRE 20 MARS 2015 - F6KSX / AAV - ORSAY



Conclusions

- A l'origine, lors des préparations, cette mesure semblait relativement simple et facile à appréhender.
- Dès les 1^{ers} instants de mesure, tout a montré l'inverse. L'éclipse a débuté plus tôt, la courbe relevée n'était pas monotone, le maximum n'était pas à l'instant prévu et le signal reçu était plus puissant que celui attendu.
- Nous avons assisté à une observation complexe qui reflète bien la complexité du soleil.
- Les analyses rendues possibles grâce à d'autres observations dont celles de Joachim DF3GJ (DL0SHF) ont permis de mieux comprendre le phénomène observé au travers de nombreux échanges. Nous avons pu ainsi élaborer des rapports différents mais débouchant sur des conclusions très proches.
- Les simulations effectuées n'ont pour but que de permettre d'expliquer l'observation effectuée mais elles ne peuvent être considérées comme un résultat final et exact. Pour cela, il faudrait plus d'informations et d'observations. Le soleil est une zone très active et les zones rayonnantes considérées peuvent être plus nombreuses, de formes différentes et évoluer au cours de la durée d'observation longue par rapport à certains phénomènes (type éruption).

Conclusions

- Pour certaines stations, le fait d'avoir une ouverture d'antenne plus étroite modifie l'observation (atténuation de sources rayonnantes proches de la périphérie du soleil) et donc les résultats peuvent être différents.
- Les différents supports ou éléments utilisés sont cités en référence (voir pages suivantes).
- Malheureusement, il sera difficile de reproduire une telle expérience dans le futur ou il faudra déplacer l'antenne. Toutefois, cela montre que l'observation du soleil apporte toujours de nouvelles surprises mais il faut des observations continues, stables et bien calibrées ainsi que beaucoup de temps d'analyse pour pouvoir révéler toute cette complexité. C'est la difficulté de l'exercice de la Radioastronomie.
- Merci aux membres de l'AAV qui ont participé à cette expérience ainsi qu'à J-P F1OI et aux contacts de l'OBSPM pour les différents échanges.

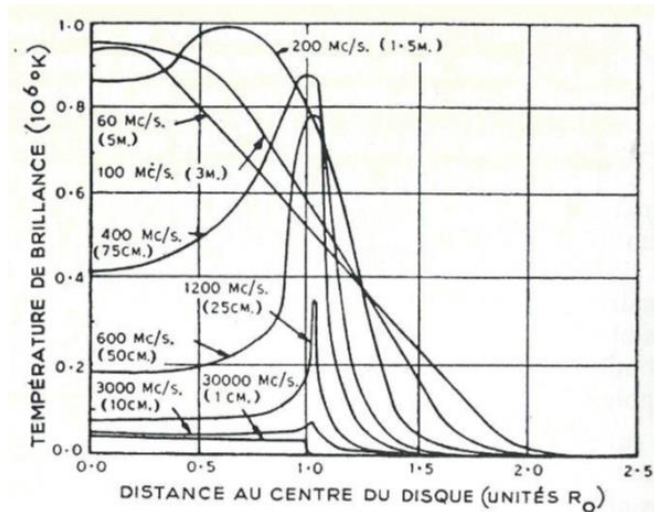
References

- Soleil – Wikipedia : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Soleil>
- Joachim Köppen DF3GJ / DL0SHF
 - Simulation tool : <http://sat-sh.lernnetz.de/applets/RadioEclipse/index.html>
 - DL0SHF : <http://sat-sh.lernnetz.de/indexEE.html>
 - Observation : <http://sat-sh.lernnetz.de/pdf/Eclipse2015.pdf>
 - Analyses : <http://sat-sh.lernnetz.de/pdf/EclipseAnalysis.pdf>
- CLIMSO :
 - Imagerie solaire
 - <http://climso.fr/fr/>
- Observatoire de Paris
 - Basse de données
 - BASS2000
 - <http://bass2000.obspm.fr/home.php>
 - vidéo
 - ftp://ftpbass2000.obspm.fr/pub/climso/film/1503/imoa_video_512_00C1_20150320.mpg
 - ftp://ftpbass2000.obspm.fr/pub/climso/film/1503/imoa_video_512_00L1_20150320.mpg
- RATAN-600
 - <http://www.sao.ru/Doc-en/SciNews/2015/eclipse2015/>
 - <http://www.sao.ru/>
- Tracking (Antenne et données de simulation)
 - EME System
 - <http://www.f1ehn.org>

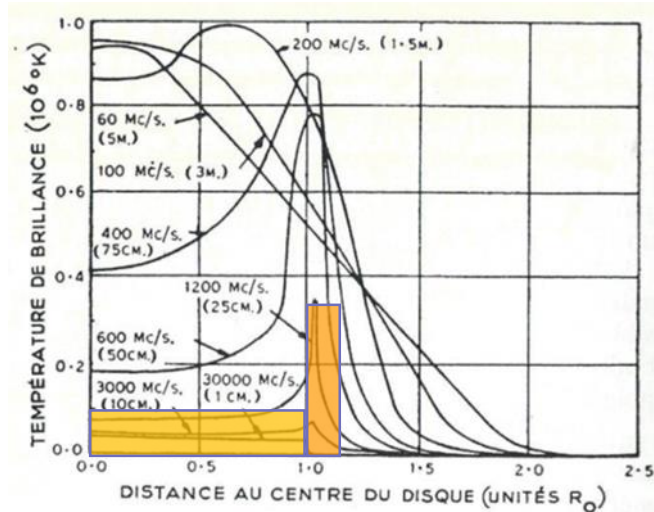
References

- Coutrez – Radioastronomie

- Température de brillance solaire à diverses fréquences



- Simulations – Modèle utilisé / valeurs numériques

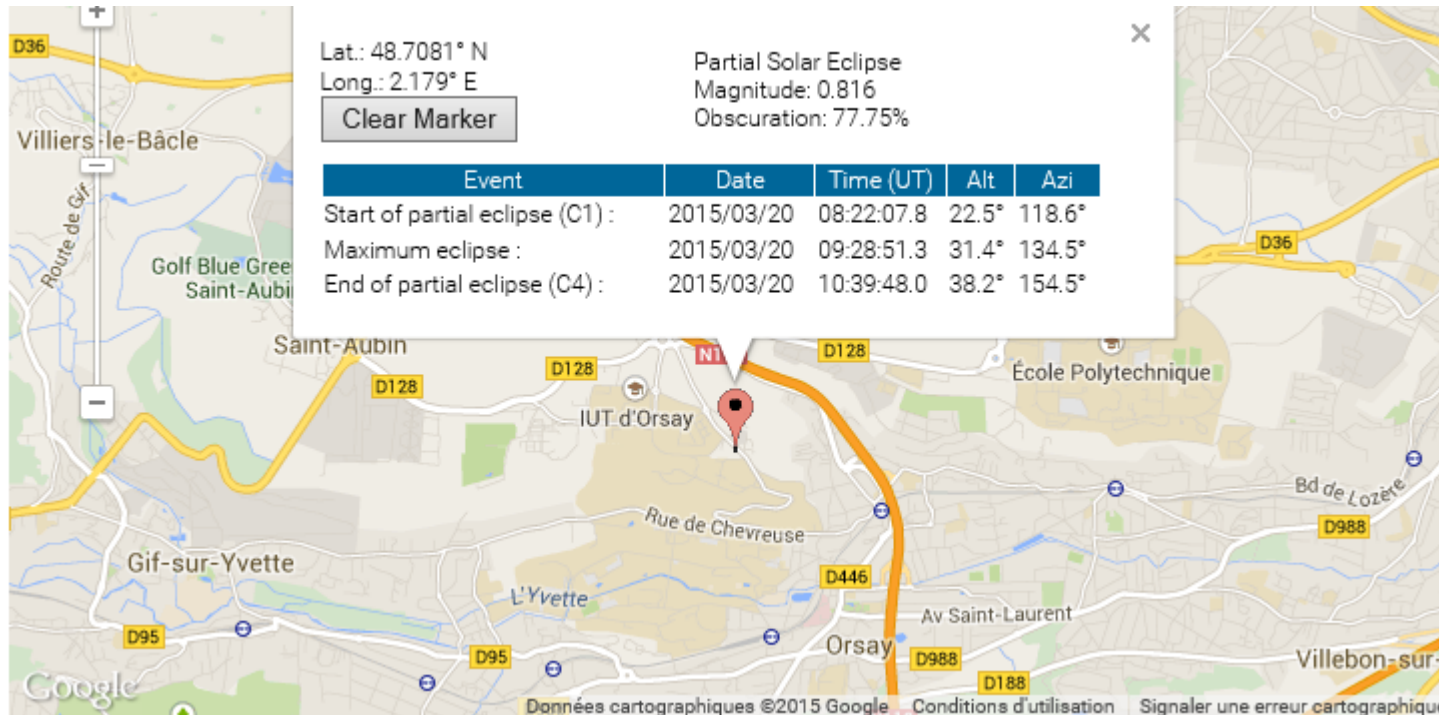


Moon radius : 0.275°
 Sun corona outer radius : 0.325° (1.2 * sun rad.)
 Sun corona inner radius : 0.263°

Burst n°	Radius	Azim offset	Elev offset
1	0,045	+ 0,30	-0,05
2	0,030	- 0,17	+0,21
3	0,027	- 0,31	-0,01

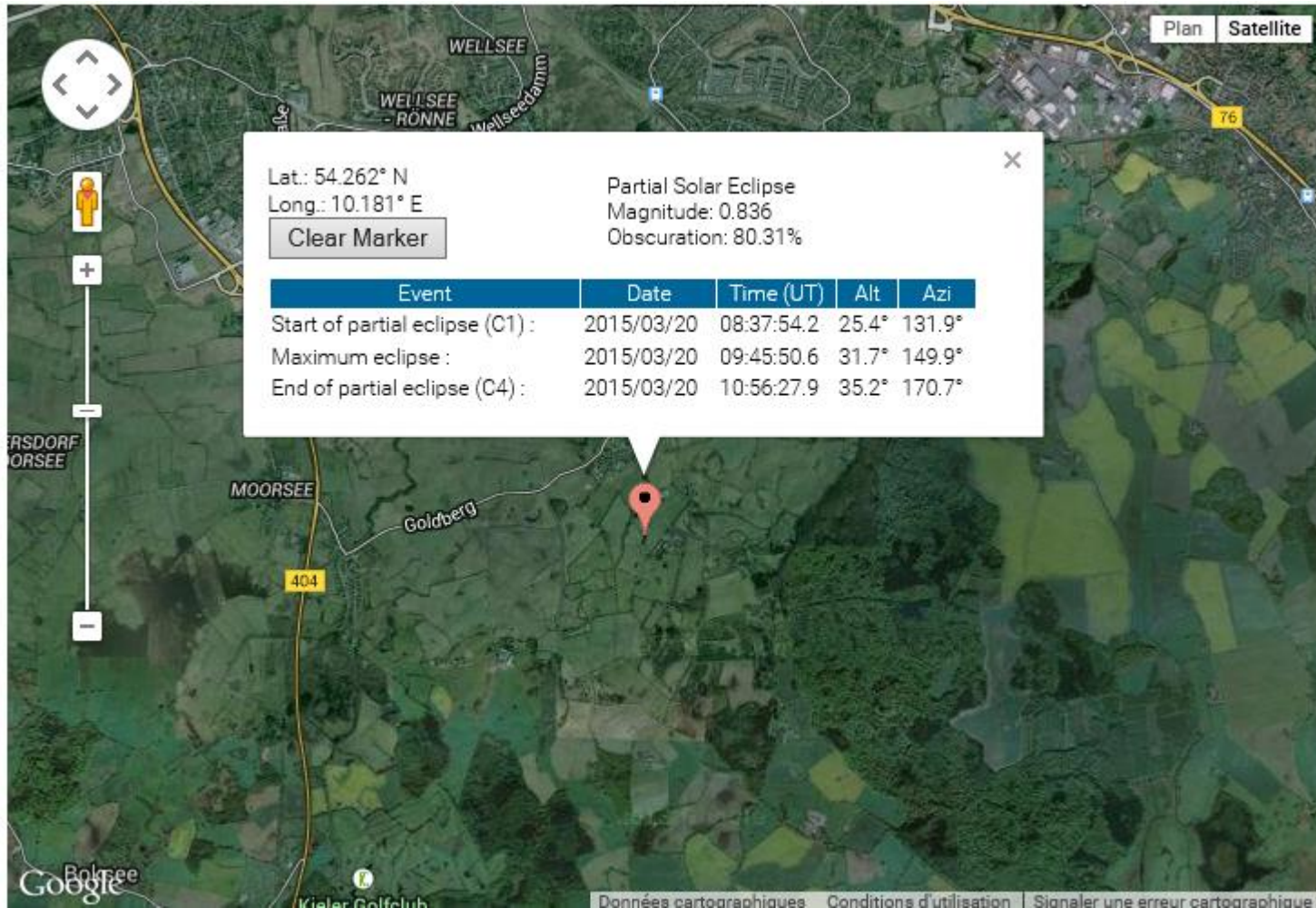
References

- eclipse magnitude - Eclipse magnitude is the fraction of the Sun's diameter occulted by the Moon. It is strictly a ratio of diameters and should not be confused with eclipse obscuration, which is a measure of the Sun's surface area occulted by the Moon. Eclipse magnitude may be expressed as either a percentage or a decimal fraction (e.g., 50% or 0.50). By convention, its value is given at the instant of greatest eclipse.
- eclipse obscuration - Eclipse obscuration is the fraction of the Sun's area occulted by the Moon. It should not be confused with eclipse magnitude, which is the fraction of the Sun's diameter occulted by the Moon. Eclipse obscuration may be expressed as either a percentage or a decimal fraction (e.g., 50% or 0.50).
- <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEgoogle/SEgoogle2001/SE2015Mar20Tgoogle.html>



References

- DL0SHF



References

- RATAN-600

