

Observations de l'atmosphère profonde de Saturne avec LOFAR

Régis Courtin (LESIA), Daniel Gautier (LESIA)
Julien Girard (LESIA), Philippe Zarka (LESIA)
Jean-Mathias Griessmeier (LPC2E)



12
Stations

LOFAR

LOFAR est un nouveau radiotélescope européen pour les basses fréquences opérant dans les bandes 10-80 MHz (LBA) et 110-250 MHz (HBA)

Références :

Zarka (2010), *L'astronomie* 124, 16-20

Grießmeier, Tagger, Zarka et la collaboration LOFAR (2011), *Comptes Rendus Physique* 13, 23-27



La station LOFAR de Nançay

LE RADIOTÉSCOPE INTERFEROMÉTRIQUE LOFAR

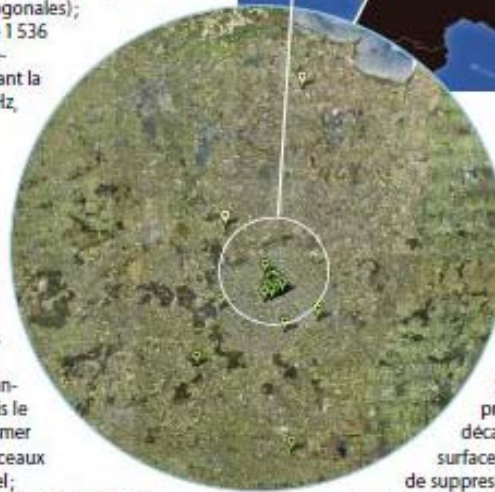
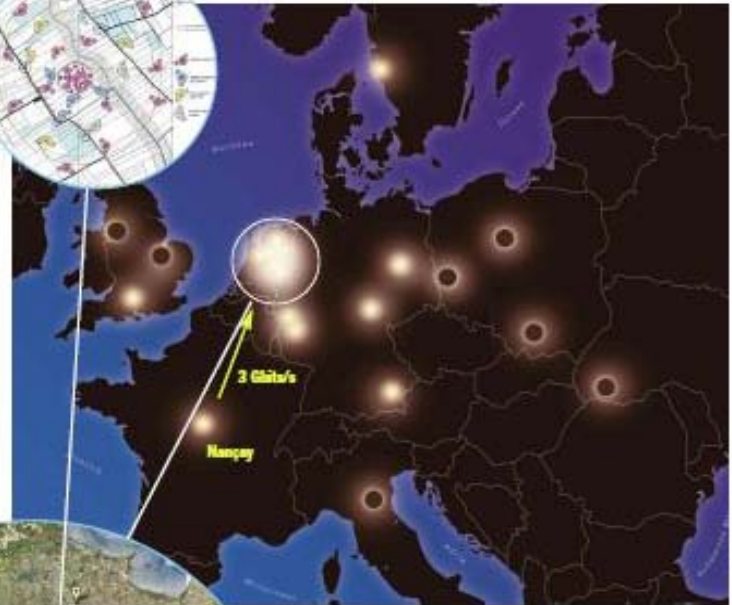
LOFAR est un interféromètre, c'est-à-dire un ensemble de grandes antennes radio, dont la combinaison 2 à 2 des signaux reçus permet de reconstituer des images du ciel radio basses fréquences. Une de ses originalités vient du fait que chacune de ces grandes antennes – appelées « stations » – est elle-même un ensemble d'antennes élémentaires combinées pour former l'équivalent d'une grande antenne unique. Une station LOFAR est constituée :

- d'un ensemble de 96 antennes BF, couvrant la gamme 30-80 MHz (avec possibilité d'observer jusqu'à 10 MHz mais avec une sensibilité réduite), formée chacune de 2 dipôles « en V inversé » croisés, de manière à être sensibles à 2 polarisations linéaires orthogonales des ondes reçues (sachant que toute onde peut se décomposer sur la base de 2 polarisations linéaires orthogonales);

- d'un ensemble de 1 536 antennes hautes fréquences (HF) couvrant la gamme 110-250 MHz, soit 96 groupes de 16 dipôles croisés plus petits que les précédents;

- d'un ensemble de 96 paires de récepteurs radio numériques, échantillonnant le signal des antennes à environ 200 MHz (200 millions d'échantillons/seconde) puis le combinant pour former un ou plusieurs faisceaux simultanés sur le ciel;
- enfin, d'une liaison internet par fibre optique de débit supérieur à 3 Gbits/seconde, destinée à transporter le signal de chaque station vers Groningen (Pays-Bas), où se trouve l'ordinateur central qui va combiner les signaux de toutes les stations.

Après recombinaison par le superordinateur central, les données d'observations sont entreposées sur les disques durs d'une « grappe » de calcul de l'institut ASTRON (Pays-Bas), où seront construites les images et autres produits finaux d'observation, et où seront effectuées les premières analyses.



Ces dernières sont cruciales pour obtenir des images d'une grande finesse (résolution). Au total, ce sont près de 50 000 antennes (dipôles croisés) qui sont déployées pour former une surface collectrice plus de 20 fois supérieure à celle des instruments BF de génération précédente comme le réseau décimétrique de Nançay. Cette surface, couplée à des algorithmes de suppression « au vol » des parasites radio, confère à LOFAR une sensibilité 10 à

100 fois supérieure à celle des instruments existants, tandis que sa répartition sur des échelles supérieures à 1 000 km fait que les images formées par LOFAR seront 10 à 100 fois plus sensibles et précises que ce que l'on a fait jusqu'ici dans la gamme de fréquences de 30 à 250 MHz. De plus, cette finesse d'image sera obtenue dans un grand champ de vue instantané (plusieurs degrés), avec accès à la polarisation complète des ondes reçues.

1. Les stations de LOFAR à 3 échelles : cœur, Pays-Bas et Europe. Les stations marquées par un disque sombre sur la carte ne sont pas (encore) construites. (courtesy: GLOW & ASTRON)

Zarka (2010) *L'astronomie* 124

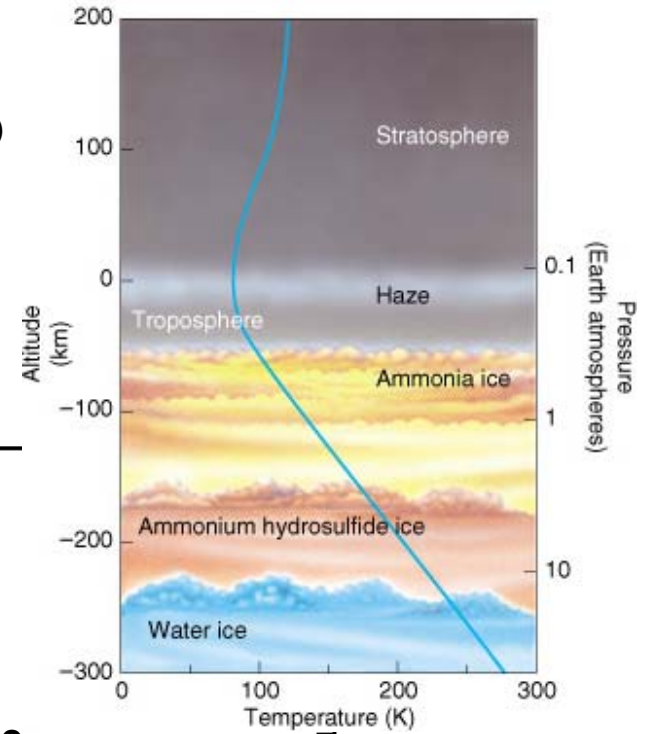
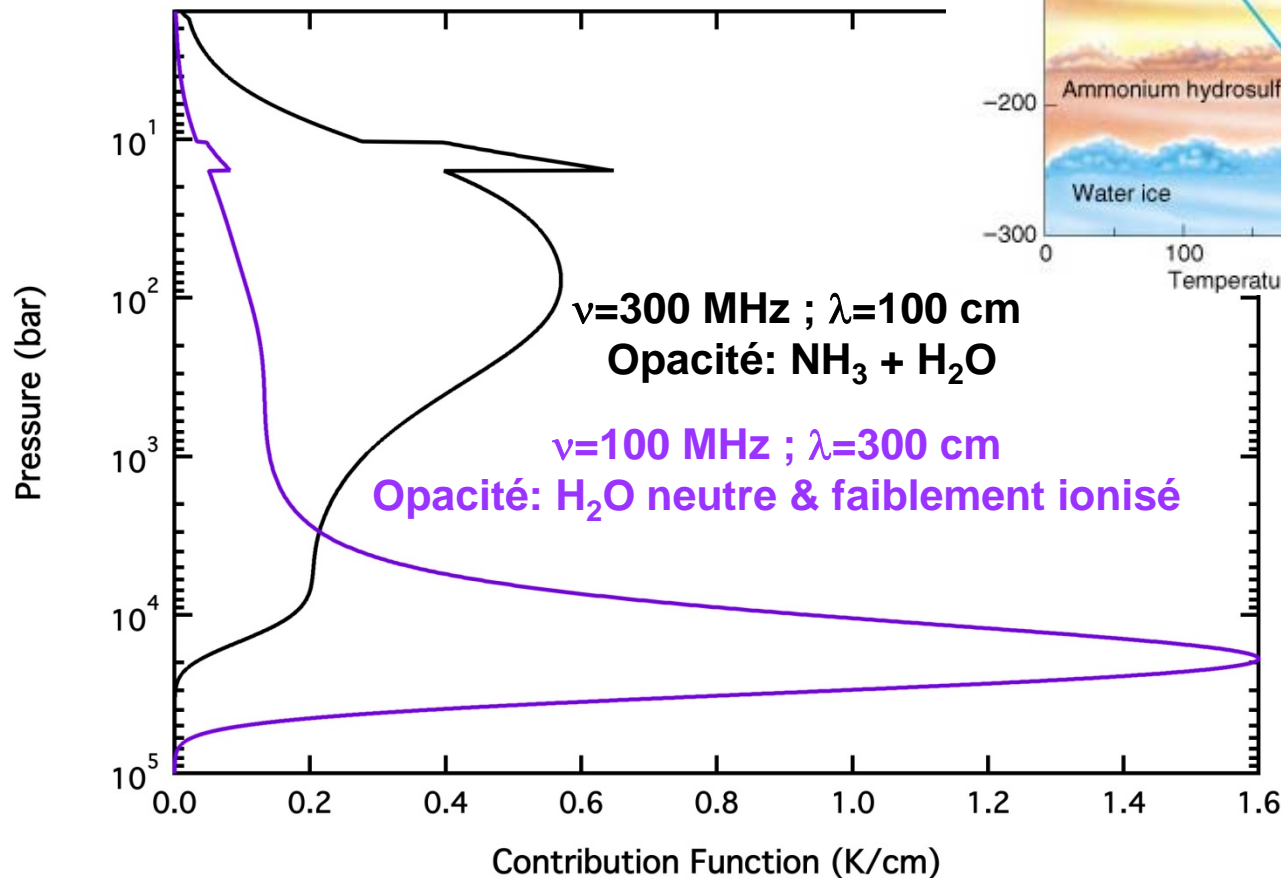
Objectifs scientifiques



- Déterminer l'abondance de H_2O dans la troposphère profonde (vers 20 kbar) et le rapport élémentaire O/H
- Mieux contraindre les modèles de structure interne en déterminant la contribution de H_2O à l'abondance des éléments lourds (z)
- Vérifier la prédiction d'un niveau négligeable d'émission synchrotron due aux électrons magnétosphériques
- Tester l'existence d'une zone faiblement ionisée pour H_2O aux pressions supérieures à 30 kbar

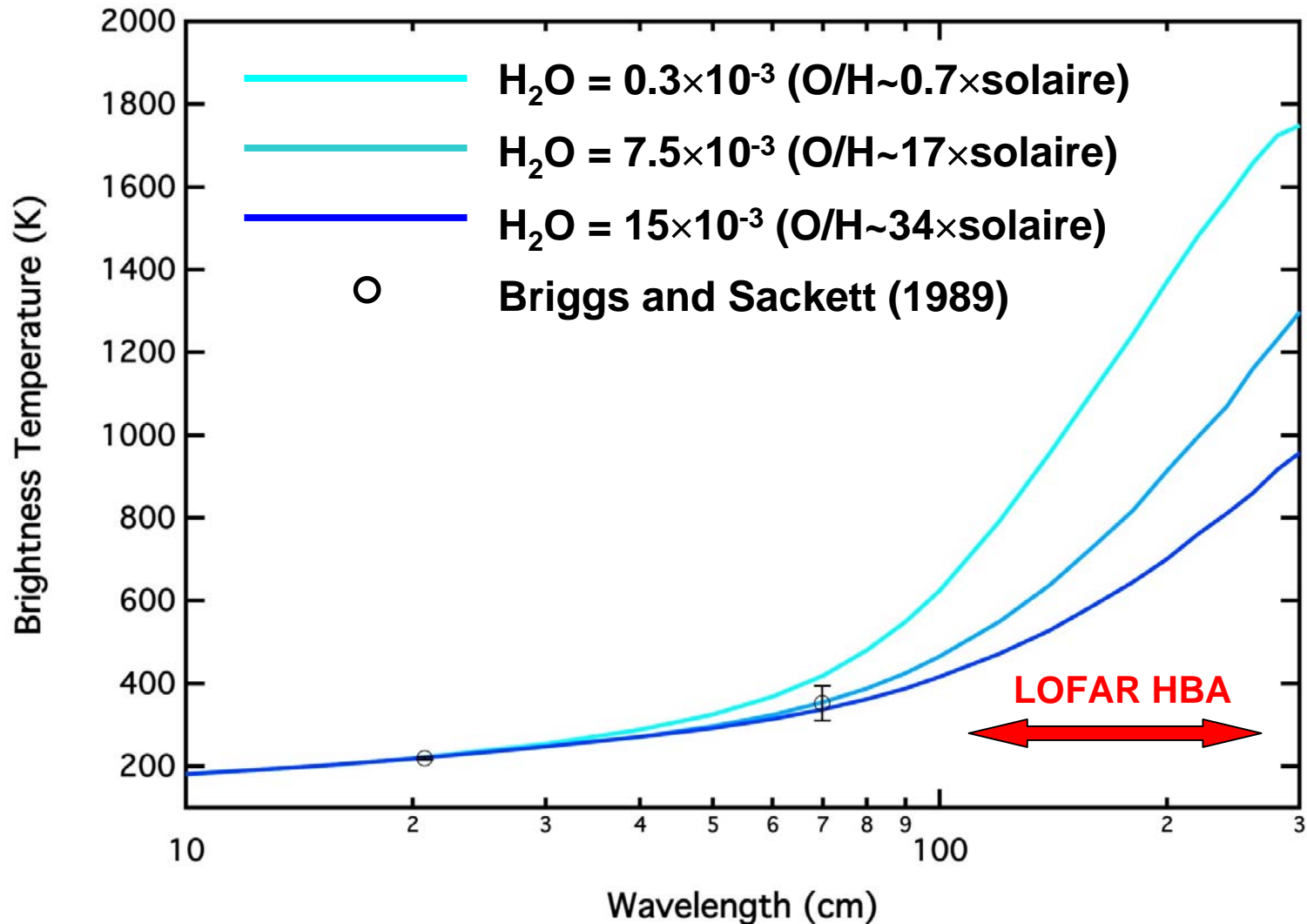
Les observations LOFAR / HBA permettront de sonder l'atmosphère profonde de Saturne entre 0.1 et 20 kbar et de déterminer l'abondance de H₂O au-dessous de son niveau de condensation.

La détermination de O/H est primordiale pour la modélisation de la structure interne de Saturne et a des implications cosmogoniques importantes.

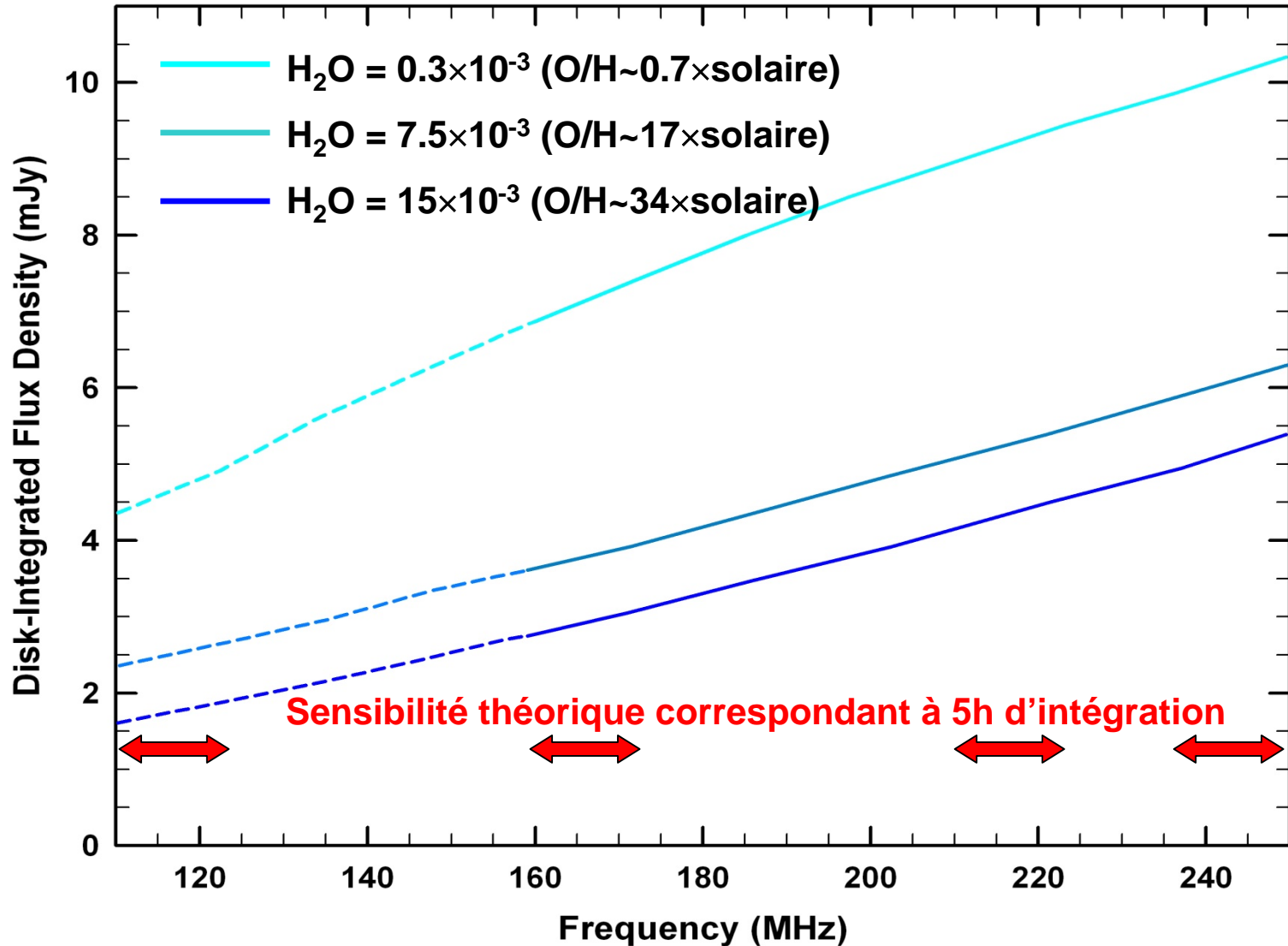


Spectre thermique de Saturne attendu entre 10 et 300 cm en fonction de l'abondance de H₂O

LOFAR / HBA opère dans la gamme 120 – 270 cm où l'opacité est dominée par celle de H₂O



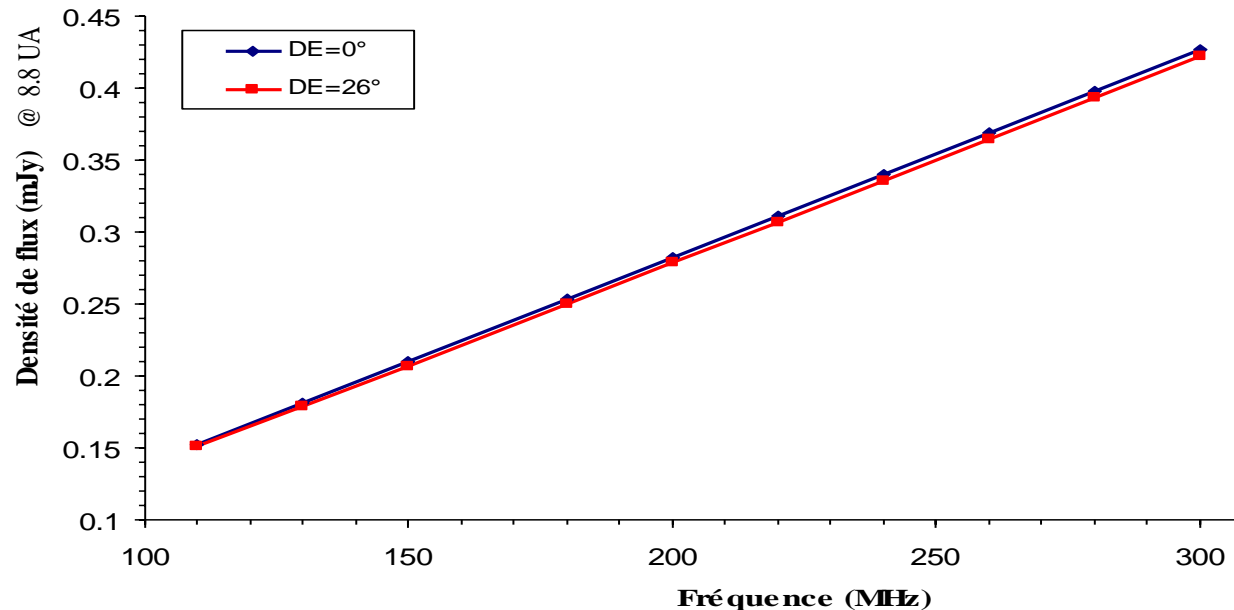
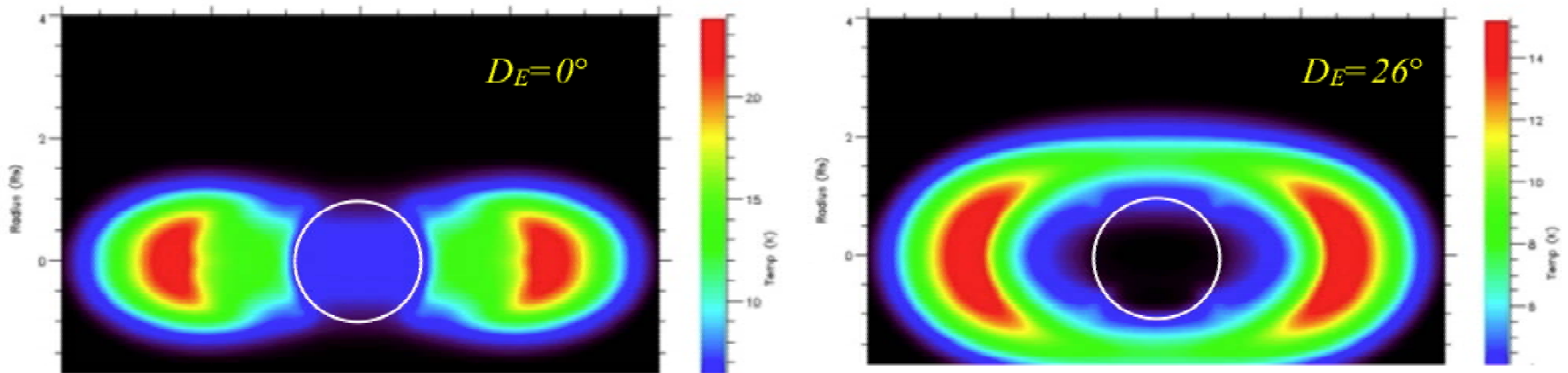
Signal attendu dans les 4 bandes LOFAR / HBA sélectionnées



Modélisation de l'émission synchrotron des électrons magnétosphériques dans la bande de fréquences LOFAR / HBA

d'après le modèle Salammbô développé à l'ONERA-Toulouse

(Lorenzato, Sicard & Bourdarie, Journal of Geophysical Research 117, A08214, 2012)



Conclusions



- un bon rapport signal/bruit est attendu au moins dans 3 des bandes définies pour l'observation : 160-172 MHz, 210-222 MHz, 238-250 MHz
- la mesure dans la bande 110-122 MHz permettra de tester l'existence de la zone faiblement ionisée pour H₂O
- une précision de 10% sur le flux devrait permettre de distinguer entre des distributions de H₂O "sous-solaire" and "super-solaire"
- la précision de la détermination du rapport O/H dépendra surtout de la qualité du traitement d'image et de l'étalonnage absolu