

## EISCAT 3D : une nouvelle génération de radars ionosphériques

## EISCAT 3D: a next generation of ionospheric radars

Frédéric Pitout

Laboratoire de Planétologie de Grenoble, France ; [frederic.pitout@obs.ujf-grenoble.fr](mailto:frederic.pitout@obs.ujf-grenoble.fr)

## Résumé

Les radars à diffusion incohérente EISCAT utilisés pour l'observation de l'ionosphère aurorale commencent à atteindre leurs limites tant techniquement que scientifiquement. Pour progresser de manière significative dans les domaines de l'électrodynamique et thermodynamique ionosphériques, nous avons besoin d'instruments aux performances plus actuelles. Nous travaillons à un nouveau système de radars, EISCAT 3D, qui sera basé sur une technologie différente et nous apportera des observations d'une qualité accrue tant sur les résolutions temporelle et spatiales que sur les capacités de sondage avec l'accès à la 3D.

Mots-clefs : ionosphère polaire ; instrumentation et observations

## Abstract

The EISCAT incoherent scatter radars have been used successfully for 30 years to observe the auroral ionosphere but we know reach their limits, both technically and scientifically. In order to progress significantly in the fields of auroral electro- and thermodynamics, we need a higher-performance instrument. We are working on a new radar system, EISCAT 3D, based on the different technology: the phased array technique. This will allow us to obtain better time and spatial resolutions as well as new 3D sounding capabilities.

Keywords: polar ionosphere ; instrumentation and observations

## Introduction

L'association scientifique EISCAT (European Incoherent SCATter) qui était constituée à l'origine de pays européens (Allemagne, Finlande, France, Norvège, Royaume-Uni, Suède), mais depuis étendue au Japon et à la Chine, exploite un réseau de radars à diffusion incohérente qui comprend 6 radars en Scandinavie continentale et sur l'île du Spitzberg.

Le principe de fonctionnement des radars EISCAT est basé sur la théorie de la diffusion incohérente. Le signal radio émis (domaine UHF ou VHF) est rétrodiffusé par les électrons libres du milieu. Ce signal reçu, qui présente la forme caractéristique en double bosses (voir Figure 1), porte les caractéristiques du milieu ionosphériques.

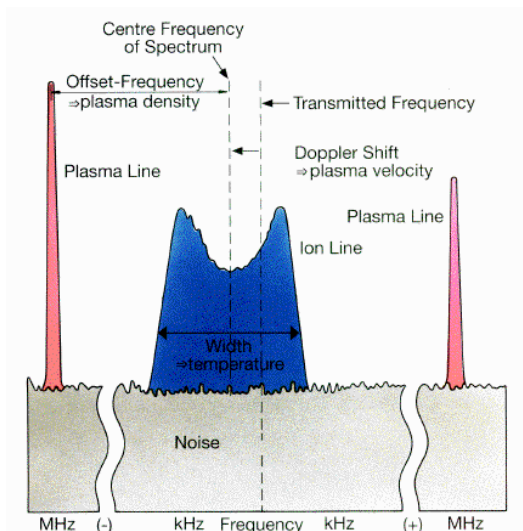


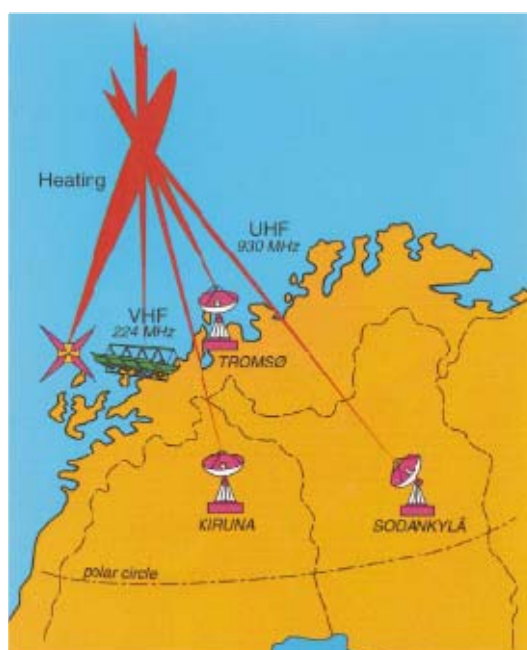
Figure 1: spectre du signal reçu par rétrodiffusion incohérente.

De l'analyse des données brutes, nous pouvons déduire les principaux paramètres ionosphériques, à savoir la concentration électronique  $N_e$ , la température électronique  $T_e$ , la température ionique  $T_i$  et la vitesse ionique le long de la ligne de visée. Le domaine de sondage se situe entre 90 et 800km environ. Nous accédons donc essentiellement aux régions E et F de l'ionosphère aurorale ou polaire selon les radars utilisés.

Ces radars ont largement contribué à nos connaissances de l'ionosphère aurorale, ainsi qu'aux couplages avec les régions connexes (atmosphère neutre, magnétosphère). Après près de 30 ans de bons et loyaux services, le système tristatique de radars dit TKS (pour Tromsø, Kiruna, Sodankylä) installé en Scandinavie continentale, s'apprête à subir une profonde mise à jour.

## 1. Vers de nouveaux objectifs scientifiques

Initialement, le système tristatique TKS de radars EISCAT (Figure 2) fut conçu pour la recherche dans le domaine de l'électrodynamique aurorale d'où un réseau de radars installé dans l'ovale auroral. Il émet dans le domaine UHF et est opérationnel depuis 1981.



**Figure 2:** carte montrant l'emplacement du système UHF tristatique (dit TKS), du radar VHF et de l'installation de chauffage ionosphérique.

Par la suite, les objectifs scientifiques se sont progressivement élargis avec l'étude de l'ionosphère polaire et des couplages vent solaire-magnétosphère-ionosphère avec les radars ESR (EISCAT Svalbard Radars) installés au Spitzberg.

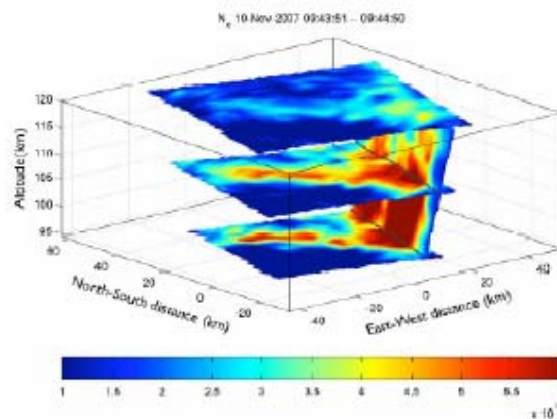
Aujourd'hui, les objectifs scientifiques se diversifient et font apparaître des besoins nouveaux, parmi lesquelles nous pouvons citer la physique ionosphérique à plus petites échelles temporelles et spatiales, l'observation de couches atmosphériques plus basses, la surveillance de météores et débris spatiaux, etc.

Les installations actuelles sont incapables de répondre à ces nouvelles attentes ; les résolutions temporelle et spatiale sont insuffisantes, les capacités sont bien en deçà des radars les plus modernes (on ne peut plus lutter techniquement contre la dernière génération de radars MISR américains). La construction de nouveaux radars aux performances accrues devient impérieuse.

## 2. Vers une nouvelle technologie

Le cahier des charges qui nous permettra d'atteindre nos objectifs scientifiques est le suivant :

- la résolution spatiale le long du faisceau est actuellement de 300m au mieux (quelques km dans la plupart des modes) ; nous souhaitons descendre en dessous des 100m.
- la résolution spatiale en travers du faisceau est actuellement aussi de l'ordre du km ; nous voulons réduire la taille du faisceau à quelques dizaines de mètres typiquement.
- la résolution temporelle actuelle, définie par la post-intégration, est de manière routinière 1 minute même si nous pouvons descendre à quelques secondes au prix d'un signal fort bruité. Notre objectif est d'avoir des mesures à moins d'une seconde avec un bon rapport signal sur bruit.
- la possibilité de faire des mesure 3D (3 composantes de la vitesse ionique et donc du champ électrique) à plusieurs altitudes simultanément contre une seule altitude actuellement. Cela implique plusieurs directions de réception pour les stations réceptrices.
- la possibilité de faire des sondages volumétriques (Figure 3), ce qui passe par la capacité d'émettre plusieurs faisceaux à la fois.



**Figure 3:** sondage volumétrique; exemple de ce à quoi pourrait ressembler les futures données d'EISCAT 3D.

Le projet EISCAT 3D, tel que l'a fait ressortir l'étude de faisabilité (*design study*) financé dans le cadre de FP6, sera basé sur la technologie dite de réseau phasé (*phased array*). Les lourdes et encombrantes paraboles actuelles seront remplacées par des milliers de petites antennes (de type Yagi, Figure 4) interconnectées. L'orientation des faisceaux se fera numériquement par l'électronique, il n'y aura plus de parties mobiles.



**Figure 4:** exemple d'élément de type Yagi retenu pour la construction d'EISCAT 3D

La Figure 5 montre comment les éléments seront regroupés. 7 yagis constitueront en noir un sous-groupe de forme hexagonale (avec un au centre), chaque-sous groupe faisant parti d'un groupe de 7 (en rose), eux-mêmes

faisant parti d'un super-groupe de 7, etc. L'émetteur d'EISCAT 3D comprendra plusieurs dizaines de milliers d'éléments.

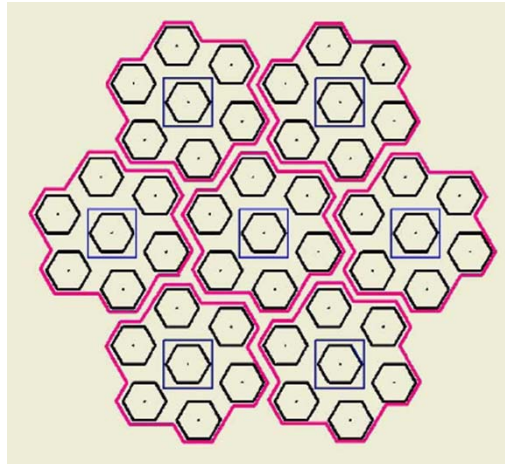


Figure 5: exemple de radar comprenant  $7 \times 7 = 49$  yagis.

EISCAT 3D comprendra un émetteur-récepteur ainsi que, dans la configuration actuellement prévue, 4 stations latérales de réception (Figure 3). Les stations réceptrices les plus éloignées de l'émetteur seront dédiées à l'observation de la haute ionosphère (région F) alors que les stations les plus proches seront plus aptes à observer la basse ionosphère et atmosphère.



Figure 6: Sites envisagés pour l'installation d'EISCAT 3D. Un émetteur/récepteur à Tromsø (ou Andøya) en Norvège et 4 stations réceptrices latérales en Finlande, Norvège et Suède.

Après une étude de faisabilité achevée en 2009 au cours de laquelle un prototype de récepteur a été construit et testé avec l'antenne VHF de Tromsø comme émetteur, une demande de financement de phase préparatoire a été soumise dans le cadre de FP7 pour une construction espérée à l'horizon 2013-2015.

### 3. Implication française

Nous avons été sollicités par le consortium EISCAT 3D pour participer à la phase préparatoire qui doit normalement débiter en 2010. Bien que la France ne fasse plus partie intégrante de l'association EISCAT, ni du consortium EISCAT 3D, nous avons conservé une bonne expertise scientifique en physique, observations et modélisation ionosphériques.

Nous allons donc participer au *work package* intitulé « *Science planning and user engagement* » dont le rôle est multiple :

- définir des objectifs scientifiques précis et le cas échéant proposer des protocoles expérimentaux adaptés.
- identifier les applications possibles dans d'autres domaines (sciences atmosphériques, débris spatiaux, etc.) et identifier les utilisateurs potentiels.
- faire le lien avec la communauté des modélisateurs afin d'adapter les données/produits aux besoins de chacun.

Deux laboratoires français sont d'ores et déjà impliqués : le Laboratoire de Planétologie de Grenoble et le Centre d'Étude Spatiale des Rayonnements de Toulouse.

### Conclusion

EISCAT 3D est un formidable défi scientifique et technologique. EISCAT 3D aura des résolutions temporelle et spatiale bien meilleures que le système actuel (un facteur 10 gagné environ donnant accès à la microphysique ionosphérique), des possibilités de sondage volumétrique rendues possible par l'émission simultanée de plusieurs faisceaux. Enfin, nous aurons aussi accès aux profils en altitude de grandeurs vectorielles (vitesse, champ électrique). Mais ce ne sont pas seulement de meilleures résolutions spatiale et temporelle mais toute notre façon de voir et penser l'ionosphère et les couplages avec les régions connexes qui sera remise en cause (aspect 3D, nouvelles formes de visualisation, etc.). Les capacités du projet sont telles qu'il va pouvoir s'ouvrir à bien d'autres communautés scientifiques (atmosphère, positionnement de satellites, surveillance de débris, ...). Par son expérience, la France a toute sa place dans ce projet. Nous comptons bien y jouer tout notre rôle.