l'Observatoire de Paris | LESIA

Characterizing the Ionosphere with a Radio receiver on a CUbe Sat

ESEP

PSL RESEARCH UNIVERSITY

cnes

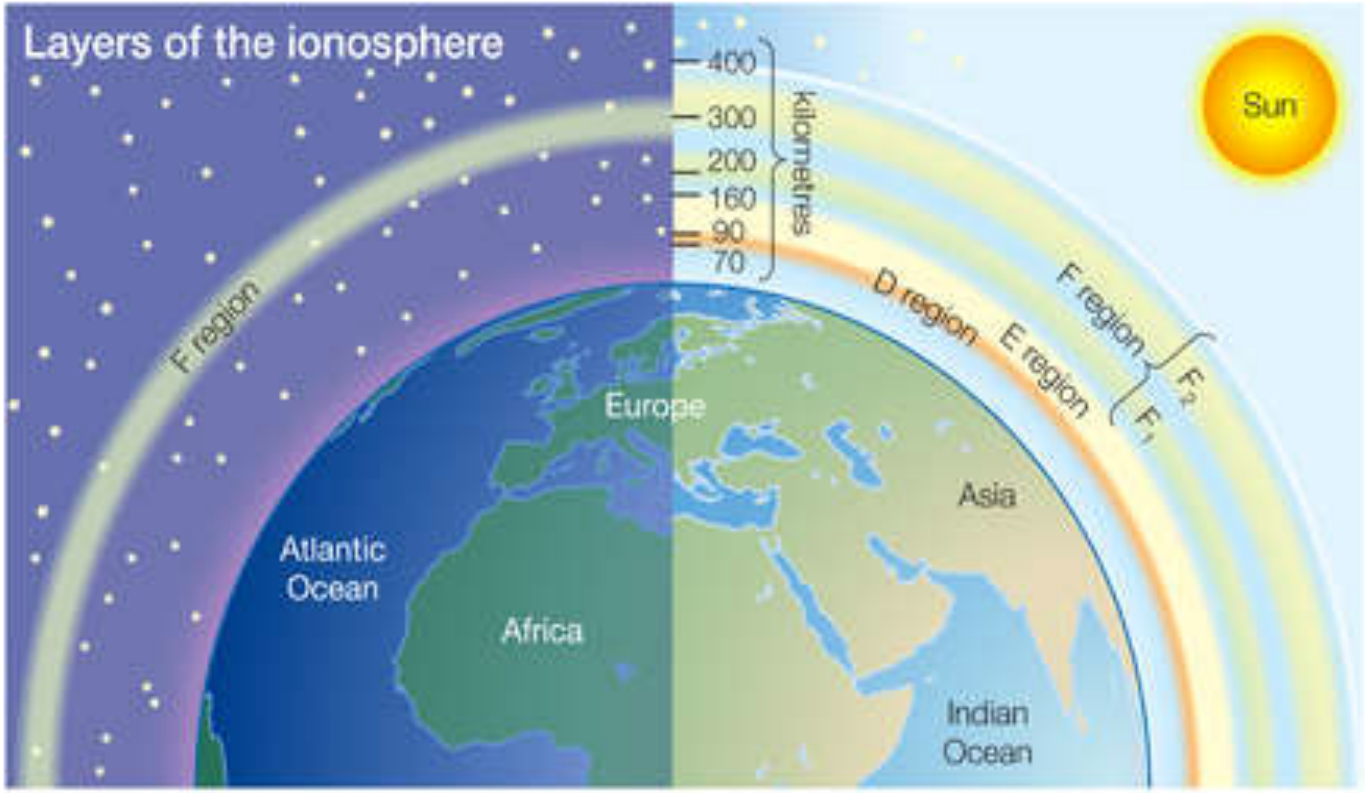
TELECOM ParisTech

UPMC SORBONNE UNIVERSITÉS

Bref historique du projet CIRCUS

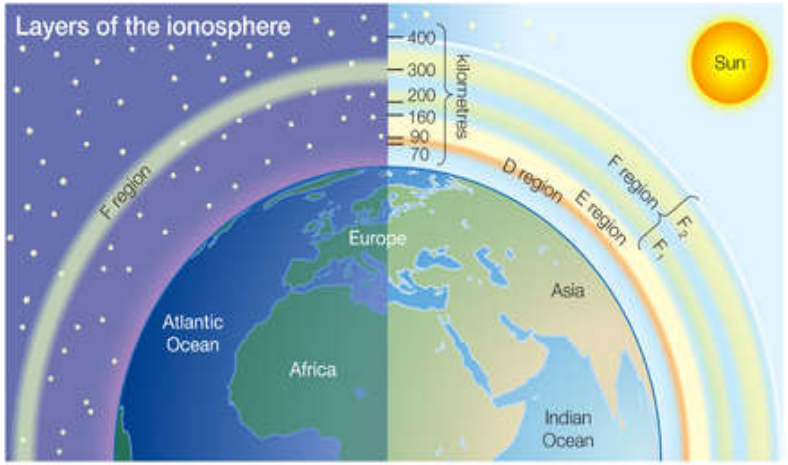
- Janvier 2013 : Démarrage de la collaboration LESIA / Telecom-ParisTech sur le développement du récepteur radio numérique « STAR »
- Juin 2013 : Proposition de CIRCUS dans le cadre du campus spatial UPMC
- Janvier 2014 : Début du stage de Yosra Gargouri sur le récepteur STAR et son implémentation dans CIRCUS
- Avril 2014 : Début du stage de Julie Orzekowska : Design préliminaire (Phase 0/A) de la plateforme CIRCUS
- Mai 2014 : Réponse à l'appel à idée nano-satellites ESEP, sélection dans le cadre du campus spatial CERES
- Octobre 2014 : Poursuite de la phase A à travers les projets nano-satellites étudiants des M2 OSAE et SysCom, et du stage de Mathilde Dupard.

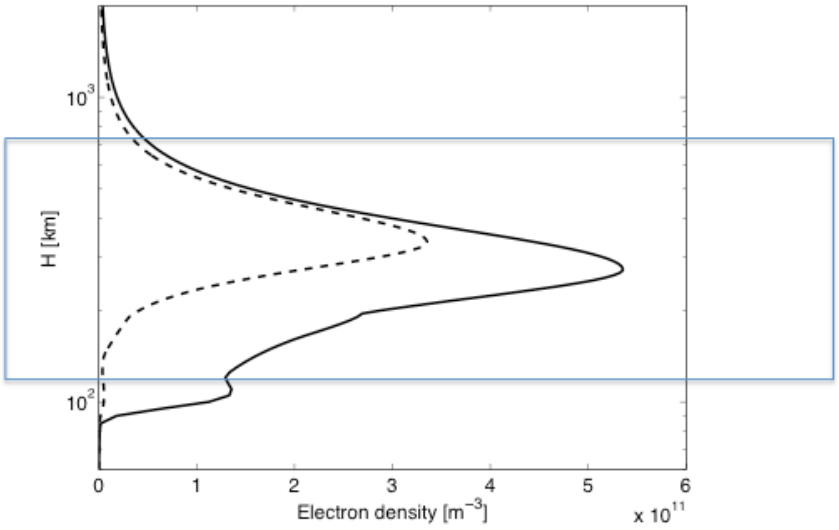
L'ionosphère terrestre : le plasma astrophysique le plus proche de nous



Un gaz (la haute atmosphère) ionisée par le rayonnement solaire côté jour, totalement ou partiellement recombiné côté nuit

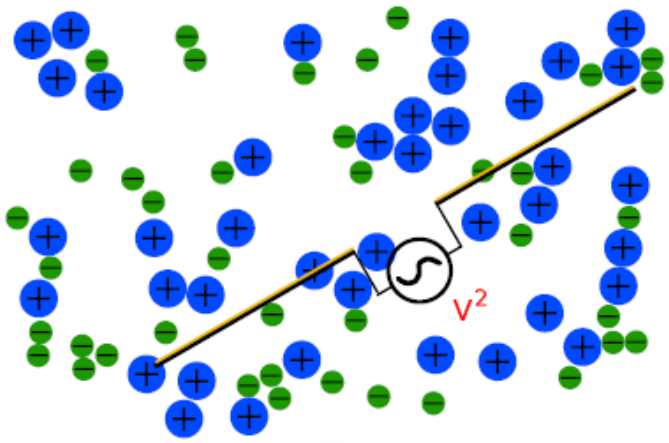
Objectifs et spécifications scientifiques

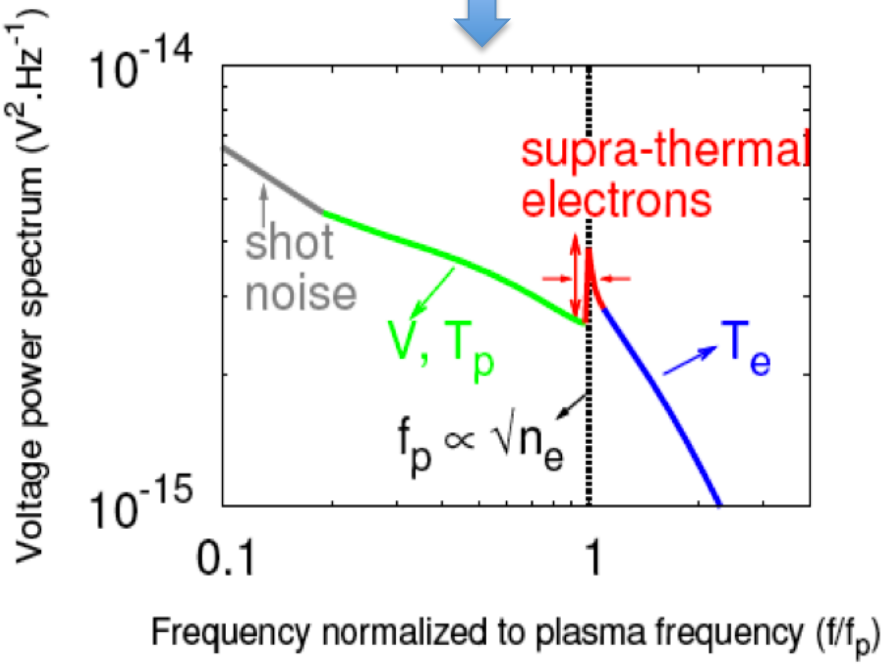




- Etude *in-situ* du plasma ionosphérique à haute résolution temporelle grâce à la méthode de spectroscopie du bruit thermique (mesure de la densité et température des électrons)
- Etude in-situ de la turbulence et des ondes plasma ionosphérique
- Pour cela, embarquer sur un CubeSat un récepteur radio et un dipôle électrique
- Orbite polaire d'altitude 300-600 km
- Paramètres électroniques ionosphériques typiques à cette altitude : $n_e \approx 10^6$ cm^{-3} et $T_e \approx 1300$ K
- Fréquence plasma : $f_p \approx 5$ - 10 MHz (gamme de fréquence du récepteur qq kHz-100MHz)
- Longueur de Debye : $L_D \approx 1$ mm (antennes fines)

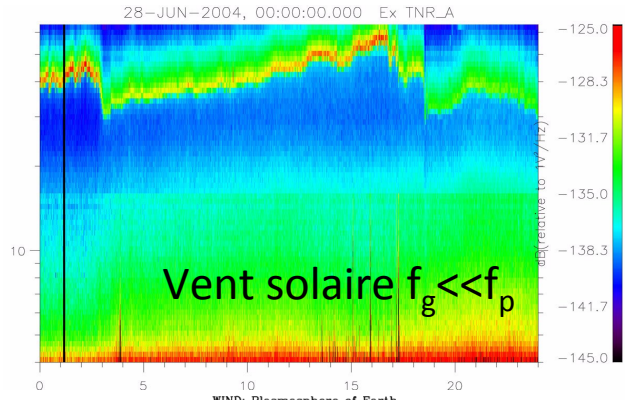
La spectroscopie du bruit thermique

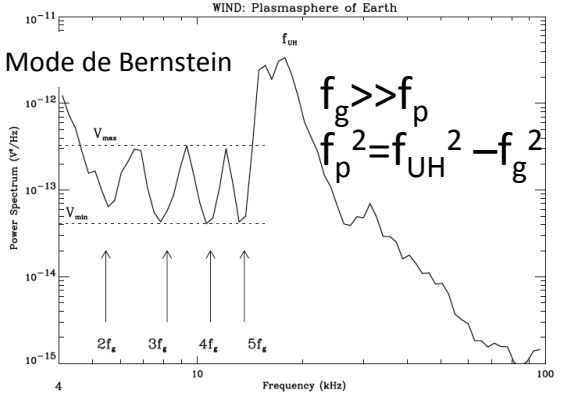


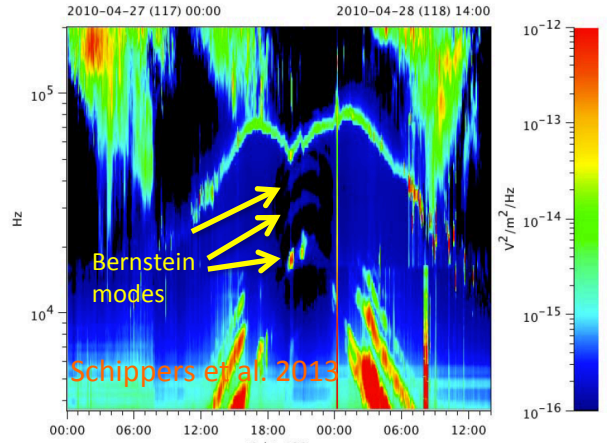


- Mesure des fluctuations électrostatiques dues au mouvement thermique des charges dans le plasma
- Le spectre de ces fluctuations nous renseigne sur la densité et la température électroniques locales
- Permet la réalisation de mesures à très haute cadence (une mesure toutes les 1 ms, voir moins ?) → accès aux petites échelles (quelques mètres).
- Technique très peu gourmande en termes de puissance, masse, besoin en télémétrie.
- Technique peu sensible à l'orientation des antennes (pas de contrôle d'attitude précis requis)

Objectifs scientifiques secondaires







- Etude in-situ des ondes plasma, et du ratio d'électrons énergétiques au niveau des ovales auroraux.
- Etude du champ magnétique (observation du bruit thermique dans les modes électrostatiques dits « de Bernstein »)
- Etudes du rayonnement impulsionnel très large bande associé aux éclairs d'orage.
- Mesures de fluctuations de densité en utilisant la variation temporelle du potentiel flottant du CubeSat.
- Signaux électromagnétiques haute-fréquence d'origine Jovienne et Solaires.
- Signaux électromagnétiques associés à des phénomènes atmosphériques (SPRITE, ELVE, …)

Collaborations scientifiques, stages de recherche étudiants …

Héritage des missions EIDI

La fusée Dragon sur son pas de tir

- **EIDI :** Etude de l'Impédance d'un Dipôle dans l'Ionosphère (1969-1971).
- Antennes : L=2m, a=0.35cm

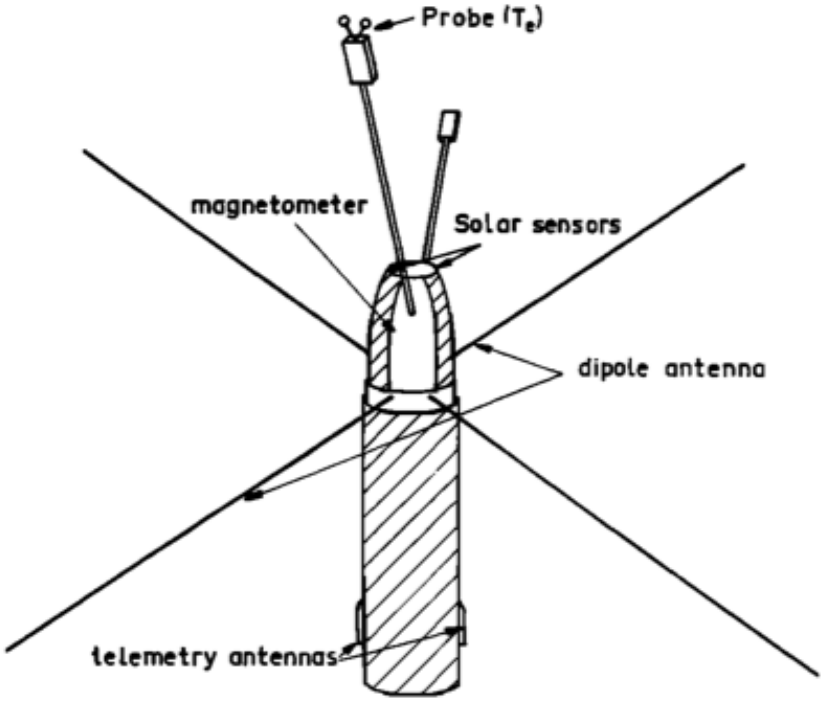
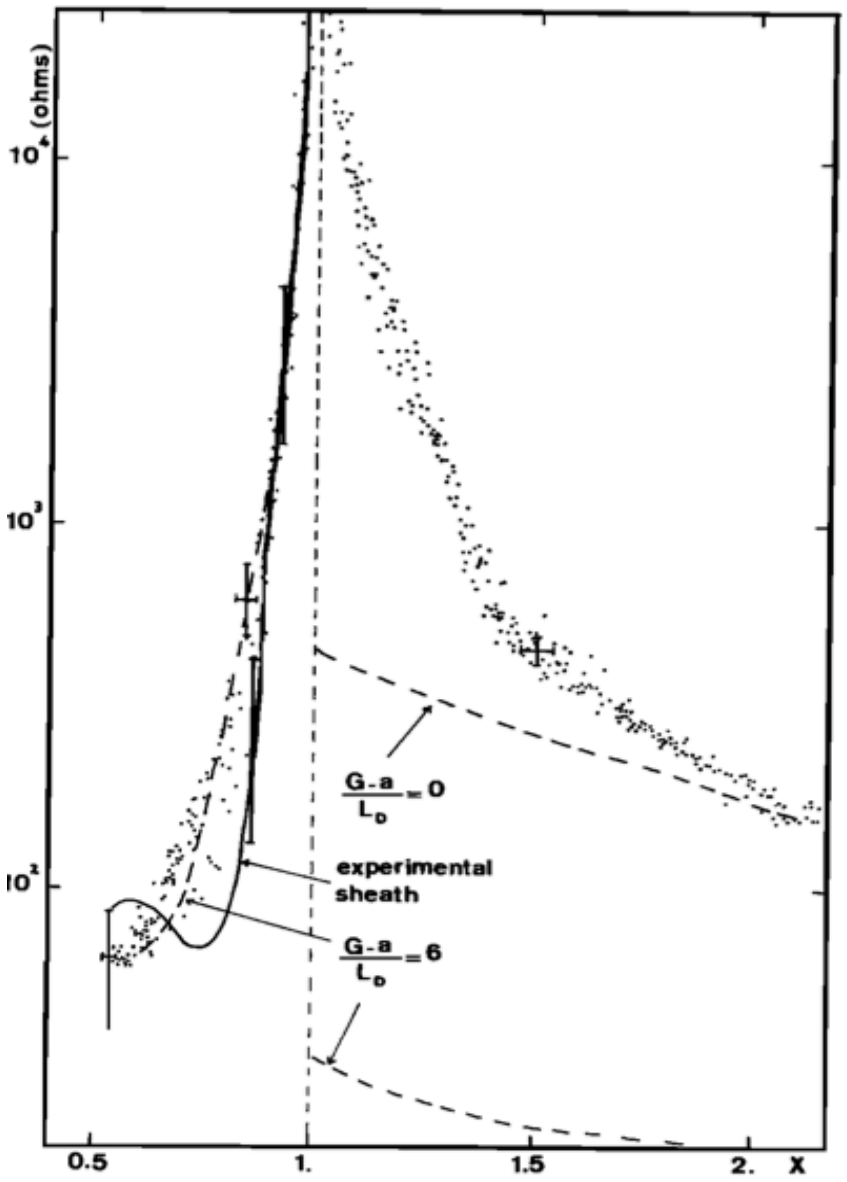


Fig. 1. Simplified diagram of the payload.

Héritage des missions EIDI



<u>Mesure de l'impédance pour deux fréquences d'excitation :</u>

f = 4,48 MHz et f = 6,09 MHz

$V^2(f) = 4kT\ Re\ Z(f)$

<u>Les résultats montrent</u> :

1) La possibilité de réaliser des mesures ionosphériques (Ne, Te, ν_{en} ?) par spectroscopie du bruit thermique

2) L'effet non-négligeable de la gaine d'ion autour des antennes

1ère base de travail pour la définition de la mission CIRCUS

Stages/projets étudiants

- Projets nanosatellites étudiants UPMC
  - *Etat de l'art des différents systèmes et solutions employées dans le domaine nano-satellite.*

- Stage de 6 mois de Yosra Gargouri (Télécom-ParisTech)
  - *Dimensionnement du récepteur radio STAR, développement d'algorithmes de traitement du signal radio embarqués.*

- Stage de 6 mois de Julie Orzekowska (LESIA)
  - *Design préliminaire, premiers budgets de masse et puissance réalisés sur la base de composants « sur étagère ».*

- Projets nanosatellites étudiants OSAE et UPMC
  - *2 binômes OSAE (Systèmes d'antennes de mesure + étude thermique)*
  - *1 binôme UPMC (Bilan de Liaison)*

- Stage de 6 mois de Mathilde Dupard (Télécom-ParisTech)
  - *Design FPGA "DPU CIRCUS" (traitement des données STAR)*

- Journée CIRCUS le 28 octobre 2014, dans le but de déterminer l'avenir du projet
  - *Objectif : finalisation de l'étude de faisabilité et présentation au CNES dans le cadre de Janus entre mi-2015 et fin 2015 : propositions de stages de 6 mois pour deux ou trois stagiaires dans le but de réaliser cette phase.*

Résumé

- Concept de mission très compatible CubeSat
  - *faible masse, puissance, télémétrie… requises*
  - *Peu de contraintes pour l'orbite et la stabilisation du nanosatellite*

- Objectifs scientifiques
  - *mesure du bruit thermique dans un environnement de haute densité, $f_p \approx 5$ - 10 MHz*
  - *étude in-situ de la turbulence ionosphérique jusqu'à >1kHz : validation des techniques de "tracking de la raie plasma"*

- Accompagnement et validation du développement d'un nouveau récepteur radio numérique au LESIA
  - *Utilité pour la préparation de missions futures décidées (Solar Probe Plus, JUICE)*
  - *Préparation des réponses aux futurs appels d'offre ESA*

- Projet Collaboratif et fédérateur
  - *Formation des étudiants par et pour la recherche et les techniques du spatial*
  - *Collaboration CERES, Telecom ParisTech, UPMC*