



**L'inconnue Ionosphère dans l'équation de la géolocalisation :  
problématique de la réduction**  
*The unknown Ionosphere in positioning equation: how to solve it*

---

**Pierre-Louis BLELLY<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP),  
[pierre-louis.blelly@irap.omp.eu](mailto:pierre-louis.blelly@irap.omp.eu)*

---

*Mots clés (en français et en anglais) : Ionosphère, modélisation numérique, assimilation de données.*

---


**Présentation en session plénière / Plenary session communication**

**Résumé / Abstract**

Le positionnement GPS a été très tôt confronté au problème constitué par les couches ionosphériques et l'a contourné en utilisant soit un système bi-fréquence, soit un système monofréquence et un modèle basique de l'ionosphère, afin de déterminer le TEC associé à l'ionosphère. Cette approche a permis de développer des systèmes performants qui, de fait, souffrent du défaut originel, à savoir une faible connaissance de l'ionosphère, qui peut être circonvenue pour les conditions « normales » d'évolution de l'ionosphère. Or, l'ionosphère présente très souvent un comportement « anormal » lié aux couplages entre le Soleil et l'environnement terrestre. En conséquence, quelle que soient leurs performances, ces systèmes ont un plafond de verre concernant leur niveau de disponibilité, qu'il ne sera pas possible de franchir tant que l'inconnue ionosphère ne sera pas correctement prise en compte dans l'équation GPS, que ce soit en terme de caractérisation du milieu ou en terme de prévision d'évolution du milieu. L'objet de cette présentation est donc en premier lieu de sensibiliser la communauté du positionnement à la problématique ionosphérique, liée fondamentalement au caractère plasma du milieu, placé dans un environnement fortement magnétisé et réactif (chimiquement), et qui est marquée par une forte dynamique temporelle et spatiale. Ensuite, nous montrerons que le comportement, parfois chaotique, de ce milieu ionisé peut néanmoins être assez bien appréhendé et que les efforts de modélisation de cette dynamique menés par la communauté permettent de mieux caractériser la structure ionosphérique observée, en fournissant des paramètres clés pour l'expliquer. Enfin, le développement d'outils de modélisation contrôlés par ces paramètres, eux-mêmes contraints par les mesures temps réel actuellement disponibles, constitue une perspective pertinente pour une prise en compte adaptée de l'ionosphère, qui permettra de lever cette inconnue ionosphérique dans l'équation GPS.


## The unknown “Ionosphere” in positioning equation: how to solve it

Pierre-Louis BLELLY  
IRAP




## OUTLINE

- Structure of the ionosphere
- Dynamics
- Couplings in the MIT system
- Connection with scintillations
- Conclusion



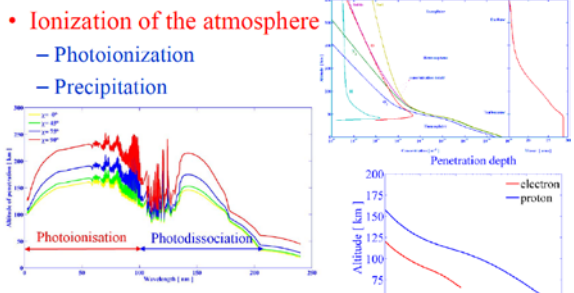
## Structure

- Production
- Chemistry
- Vertical structure




## Production

- Ionization of the atmosphere
  - Photoionization
  - Precipitation

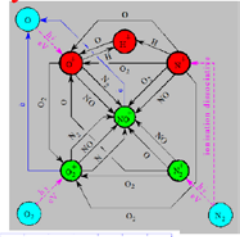
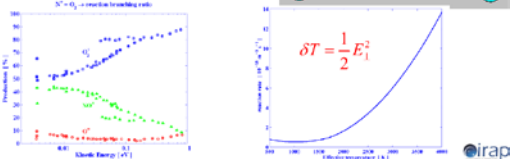
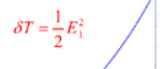



- Primary species:  $O_2^+, N_2^+, O^+, H^+$



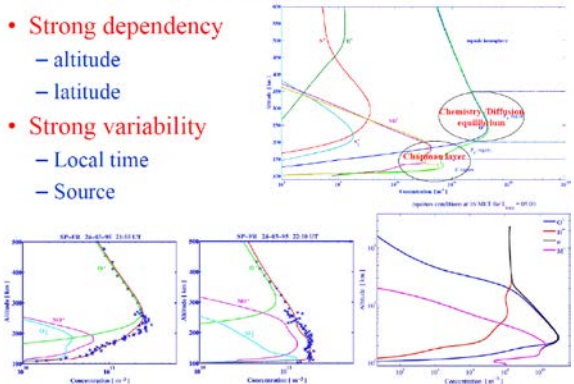

## Chemistry

- Complex chemistry
- Highly variable with energy
  - Reaction rates
  - Products
- Alteration of initial structure
- Secondary species :  $NO^+$


## Vertical structure

- Strong dependency
  - altitude
  - latitude
- Strong variability
  - Local time
  - Source

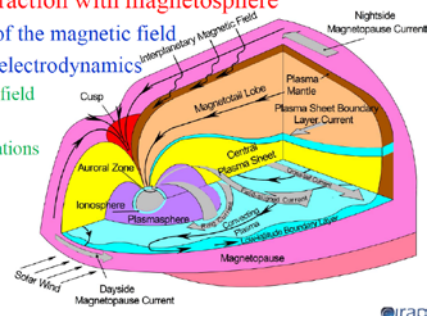

## Dynamics

- Magnetospheric system
- Electrodynamics system
- Impact on the ionosphere

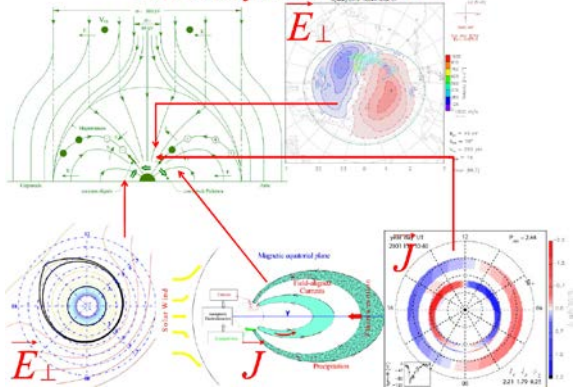


## Dynamics

- Control by the solar wind
- Strong interaction with magnetosphere
  - Key role of the magnetic field
  - Complex electrodynamic
    - Electric field
    - Current
    - precipitations

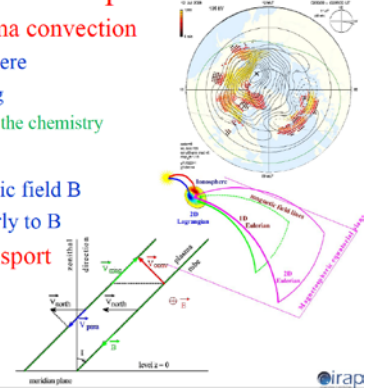



### Electrodynamics system



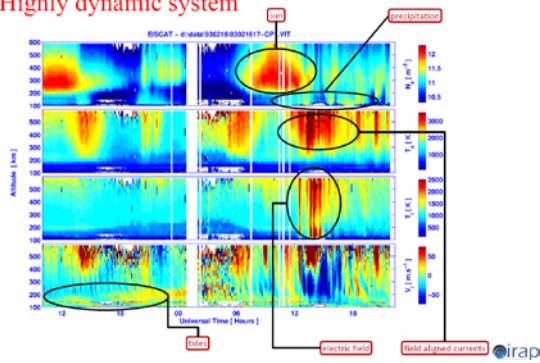
### Impact at ionospheric level

- Ionospheric plasma convection
  - Drag on atmosphere
  - Frictional heating
    - Enhancement of the chemistry
- Splitted motion
  - 1D along magnetic field B
  - 2D perpendicularly to B
- Field aligned transport



### Full combination

- Highly dynamic system

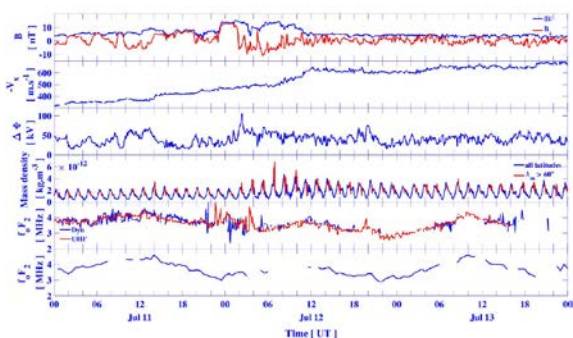


### Couplings in MIT

- High speed stream
- Chemistry
- Vertical structure

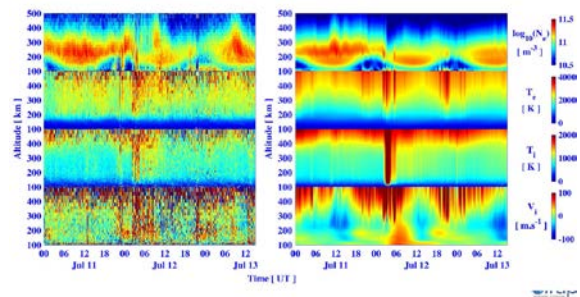
### High speed stream

- Solar wind control



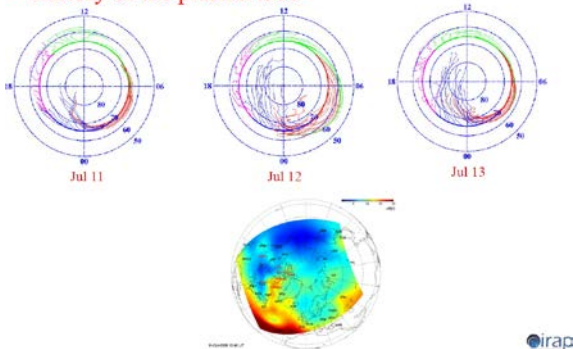
### Response of the ionosphere

- Low solar activity:  $F_{10.7} = 68$
- Disappearance of the  $F_2$  layer



### Importance of the convection

- History of the plasma tube

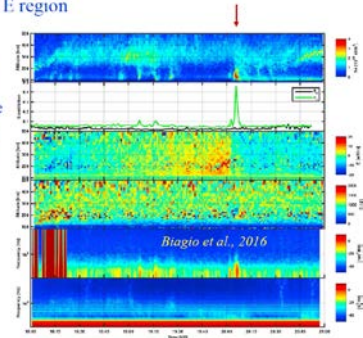


### Connection with scintillations

- Ionospheric structure
- Large scale irregularities
- Magnetospheric activity

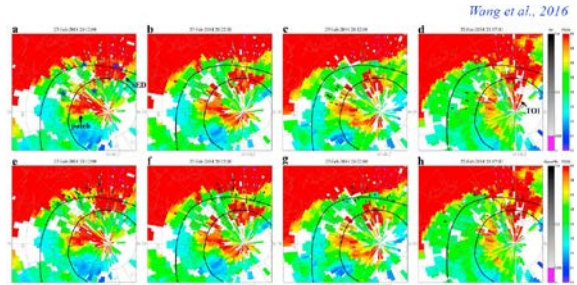
## Ionospheric structure

- Large scale ionization structures
  - Enhancement of the E region
  - Substorm onset
  - Vertical extension
  - No cascade to smaller
  - Phase without amplitude
  - Recombination rate
  - Plasma instability



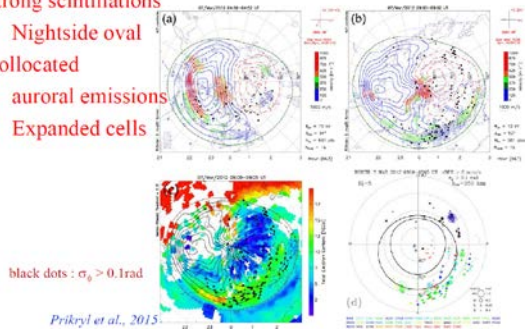
## Large scale irregularities

- Effect of the convection
  - Plasma patches over the polar cap



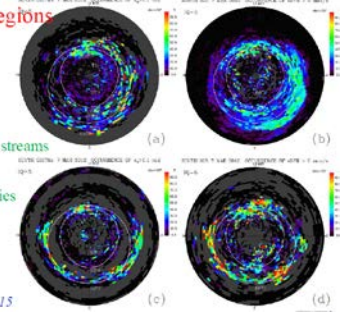
## Magnetospheric activity

- Geomagnetic storm
- Strong scintillations
  - Nightside oval
- Collocated
  - auroral emissions
  - Expanded cells



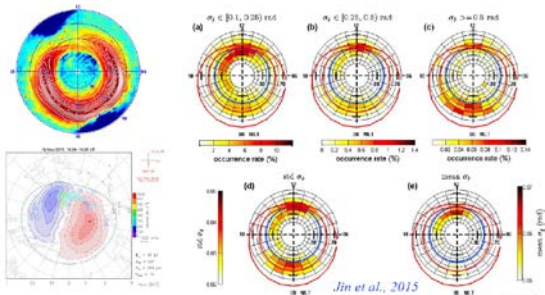
## Magnetospheric activity

- Impact in both hemisphere
- Collocated with auroral oval
- Enhanced in specific regions
  - Cusp
  - TOI
    - Tongue of ionization
  - SAPs
    - Subauroral polarization streams
  - SEDs
    - Storms enhanced densities
  - AURO
    - Auroral oval



## Auroral oval

- Scintillation occurrence level
  - Mainly noon and midnight sectors



## Conclusion

- Highly dynamical system
  - Strong couplings
    - Electrodynamics
    - Chemistry
    - Precipitation
- Scintillations
  - Plasma instabilities
    - Magnetic field
    - electrodynamics
  - Ionospheric irregularities
    - Convection
    - plasma transport over large distances
  - Precipitation
    - Cusp
    - Density enhancement
- Strong modelling effort
  - Better understanding of couplings intrication
  - Provides global conditions for scintillations
  - Ability to simulate some irregularities
- Efforts to combine scintillation measurement and magnetospheric activity
- Extension towards equatorial region
  - Same medium
  - Different magnetic and electrodynamics configuration
  - Other instabilities