

A detailed illustration of the Cassini spacecraft in orbit around Saturn. The spacecraft is shown in the foreground, with its large white dish antenna and various instruments visible. Saturn is in the background, showing its characteristic rings and a bright sun in the upper left corner. The scene is set against a starry space background.

L'énigme de la rotation de Saturne

Philippe Zarka

LESIA, CNRS - Observatoire de Paris, Meudon, France
philippe.zarka@obspm.fr

- La rotation des planètes
- Les émissions radio « aurorales » des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation « radio » de Saturne
- Qu'est-ce qui « tourne » ?
- La rotation variable de Saturne
- La rotation double de Saturne ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Prélude à la suite ...

- La rotation des planètes
- Les émissions radio « aurorales » des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation « radio » de Saturne
- Qu'est-ce qui « tourne » ?
- La rotation variable de Saturne
- La rotation double de Saturne ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Prélude à la suite ...

La période de rotation des planètes est un paramètre fondamental en planétologie

Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides

http://www.imcce.fr/page.php?nav=fr/ephemerides/formulaire/form... Google

Meudon - Pr... Ressources Conferences ...rs - Ecoles LOFAR Cassini Missions Spatiales Bases de données >>

imcce INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES

MOTEUR DE RECHERCHE

NOUVELLES ASTRONOMIQUES

- ☐ Solstice d'été
- ☐ La direction de La Mecque grâce au Soleil
- ☐ Le vent solaire est la cause du vieillissement éclair des astéroïdes
- ☐ Soleil couchant dans l'axe du Grand Canal à

PHEMU 09

LA RECHERCHE A L'IMCCE

TELESCOPE AU COLLEGE

ASTRONOMIE POUR TOUS

BASE DE DONNEES

SITES HEBERGEES

SEMINAIRES

EXPERT

INSCRIVEZ-VOUS ...

INTRANET

PRÉSENTATION PUBLICATIONS ÉPHÉMÉRIDES PAGES DE L'OBSERVATEUR FORMATION ET STAGES

EPHEM

- Publications officielles
- Autres publications
- Notes scientifiques
- Colloques et symposium
- Articles et communications
- Thèses et habilitations
- Service édition

navigation...

Ephémérides pour l'observation physique des corps du système solaire

Pour observer de la Terre à un instant donné des points situés à la surface d'un astre du système solaire, il est nécessaire de déterminer certaines quantités liées à sa rotation ainsi qu'à l'aspect de son disque apparent. C'est le but des éphémérides pour l'observation physique des corps du système solaire.

Vous pouvez effectuer le calcul pour tout corps du système solaire et pour une ou plusieurs dates réparties sur un intervalle dont vous indiquerez la date initiale, le nombre de dates et le pas de calcul. Les échelles de temps disponibles sont le Temps terrestre (TT) et le Temps universel coordonné (UTC).

Usage Sources Définitions Paramètres Modèles de surface Crédit Copyright

Formulaire d'interrogation

bas de page

► Choix du corps

Soleil

Planètes:

- Mercure
- Vénus
- Mars
- Jupiter
- Saturne
- Uranus
- Neptune
- Pluton

Satellites naturels:

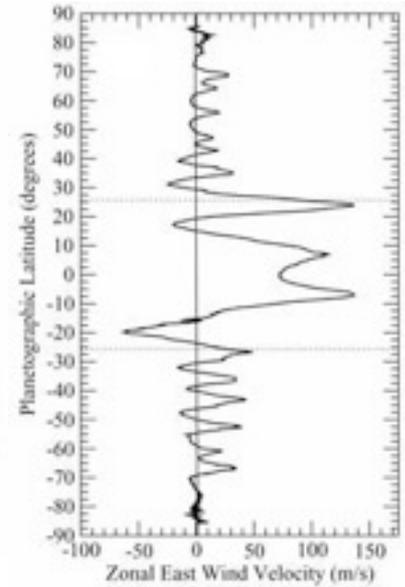
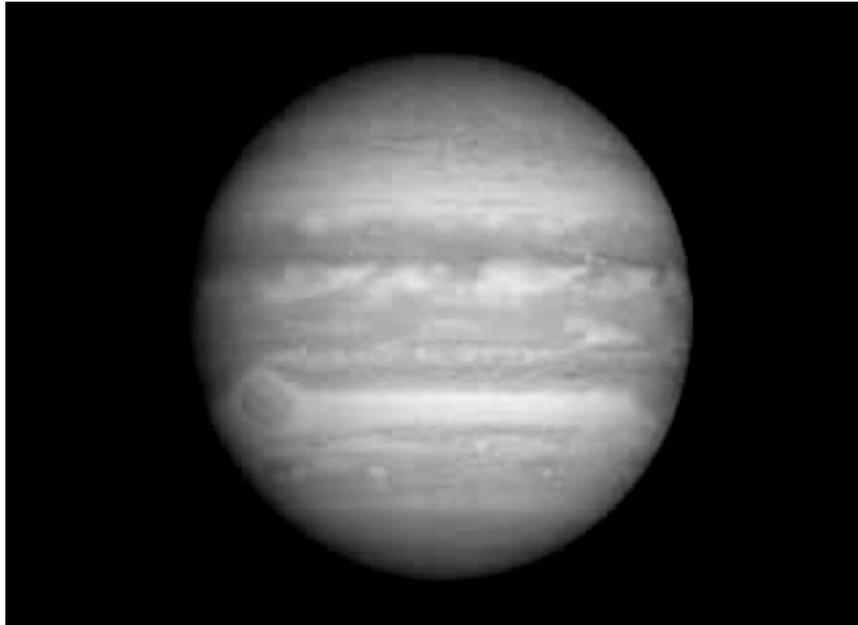
- Lune
- Ganymede (J-3)
- Dione (S-4)
- Miranda (U-5)
- Phobos (M-1)
- Callisto
- Rhea (S-5)
- Ariel (U-1)
- Deimos (M-2)
- Mimas (S-1)
- Titan (S-6)
- Umbriel (U-2)
- Io (J-1)
- Encelade (S-2)
- Hyperion (S-7)
- Titania (J-1)

© 2009, Institut de Mécanique Céleste Tous droits réservés

Rotation interne : des enjeux importants

- Vitesse des vents
- Structure interne (répartition radiale et azimuthale des masses, interprétation des données gravitationnelles)
 - Transition H_2 moléculaire/métallique (planètes géantes)
 - Modèles de formation
- Forme de la planète (géoïde)
- Système de référence de longitudes
 - Fusion de données spatiales (ex: données magnétiques pour Saturne avec Pioneer, Voyager, Cassini...)

La rotation planétaire mesurée en Visible est imprécise





- Solstice d'été
- La direction de La Mecque grâce au Soleil
- Le vent solaire est la cause du vieillissement éclair des astéroïdes
- Soleil couchant dans l'axe

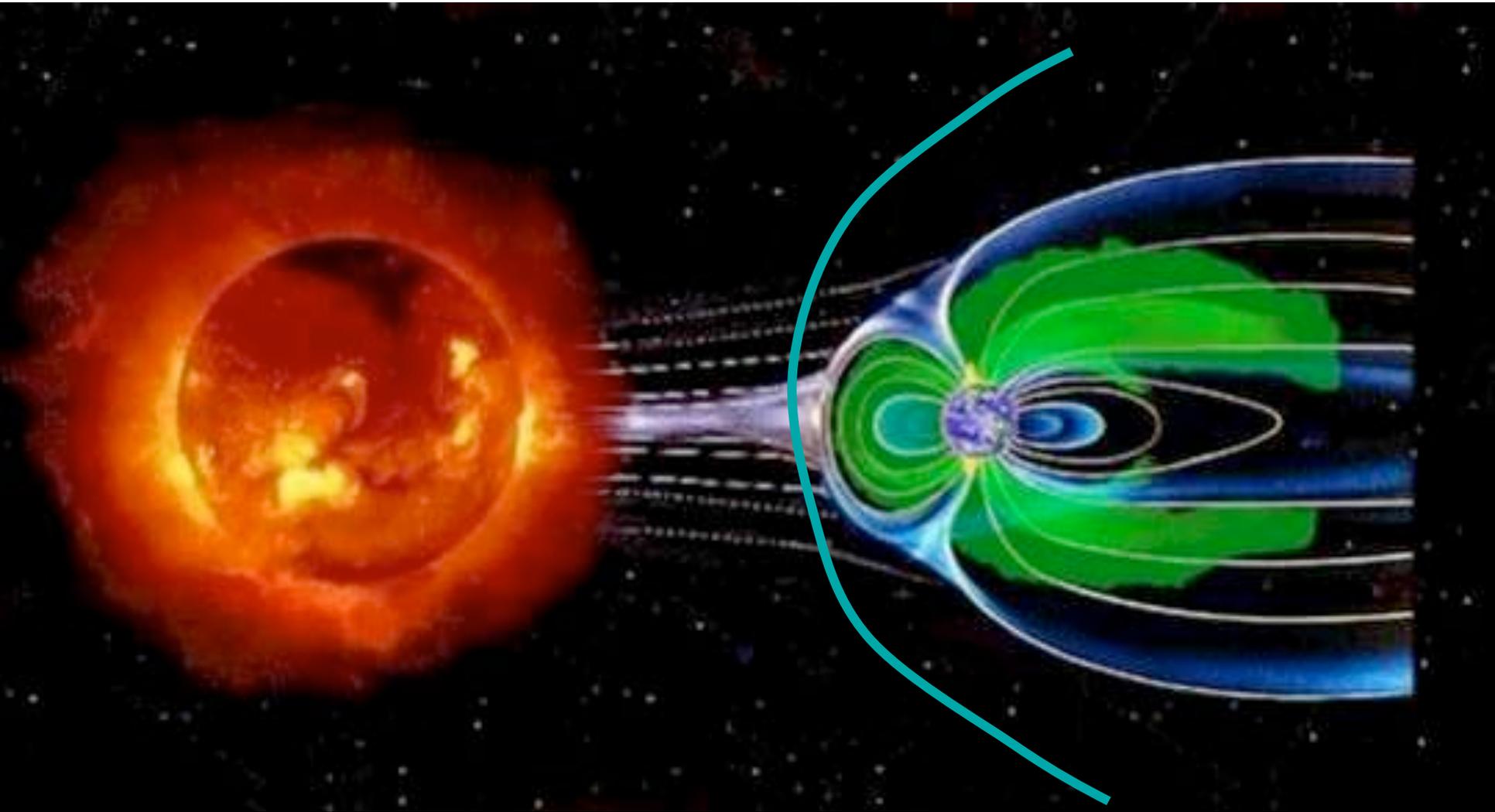
- ▷ Publications officielles
- ▷ Autres publications
- ▷ Notes scientifiques
- ▷ Colloques et symposium
- ▷ Articles et communications
- ▷ Thèses et habilitations
- ▷ Service édition

Ephémérides pour l'observation physique des corps du système solaire

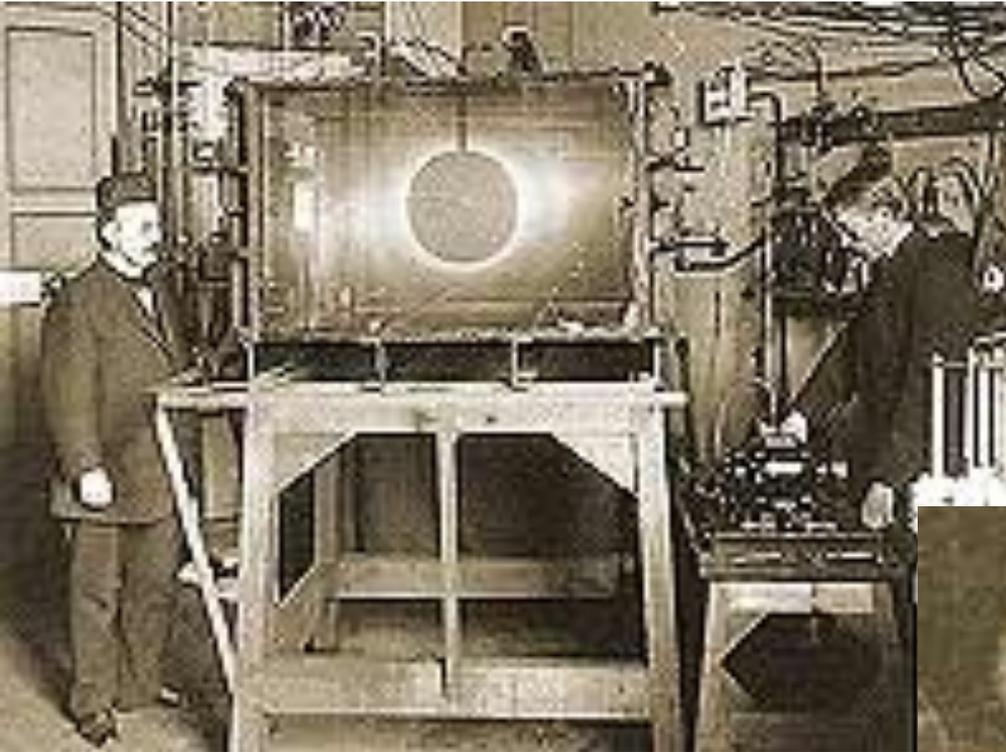
Pour les planètes géantes, il existe plusieurs systèmes de mesures de longitude, chacun correspondant à différentes vitesses angulaires de rotation de l'astre. Ainsi, sur Jupiter, on distingue 3 systèmes usuellement dénommés systèmes I, II et III. Le premier est défini à partir de la rotation moyenne de l'atmosphère équatoriale de la planète. Le système II est défini à partir de la rotation moyenne des atmosphères nord (composante sud de la bande équatoriale nord) et sud (composante nord de la bande équatoriale sud) de Jupiter. Enfin, le système III est défini à partir de la rotation du champ magnétique de la planète. Sur Saturne, seuls les systèmes I et III sont définis. Cependant, le système I étant trop mal déterminé, il n'est pas recommandé par l'UAI et n'est pas pris pour référence lors des calculs. De la même manière, pour Uranus et Neptune, seuls les calculs se rapportant au système III sont à envisager. Pour Pluton, le méridien origine est défini comme étant le méridien sous Charon.

- La rotation des planètes
- Les émissions radio « aurorales » des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation « radio » de Saturne
- Qu'est-ce qui « tourne » ?
- La rotation variable de Saturne
- La rotation double de Saturne ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Prélude à la suite ...

Magnétosphères planétaires



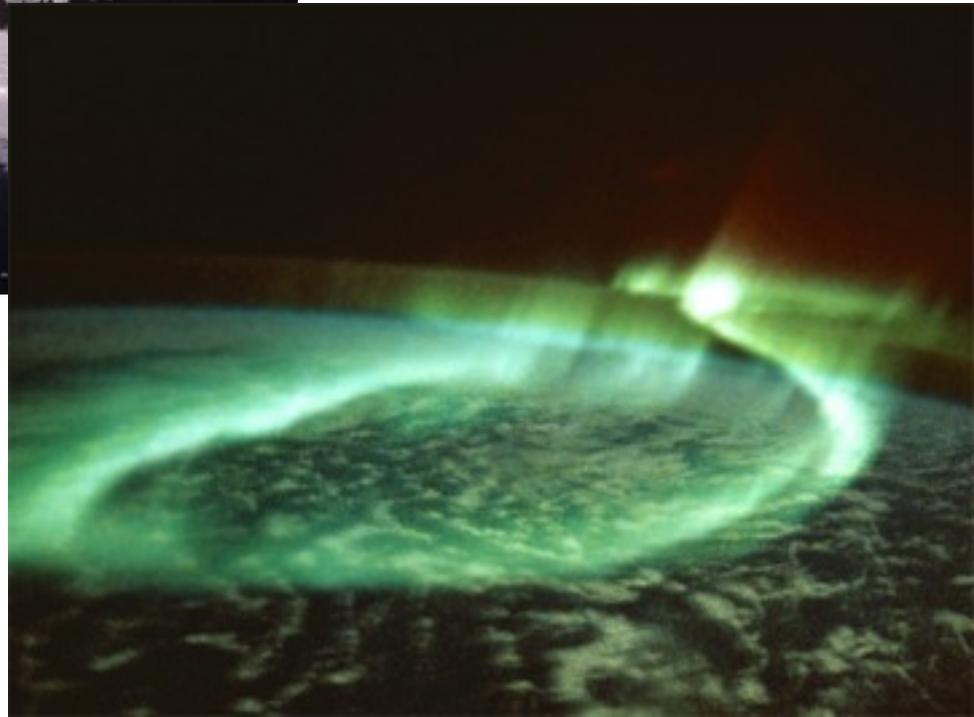
Électrons accélérés → émissions aurorales ...



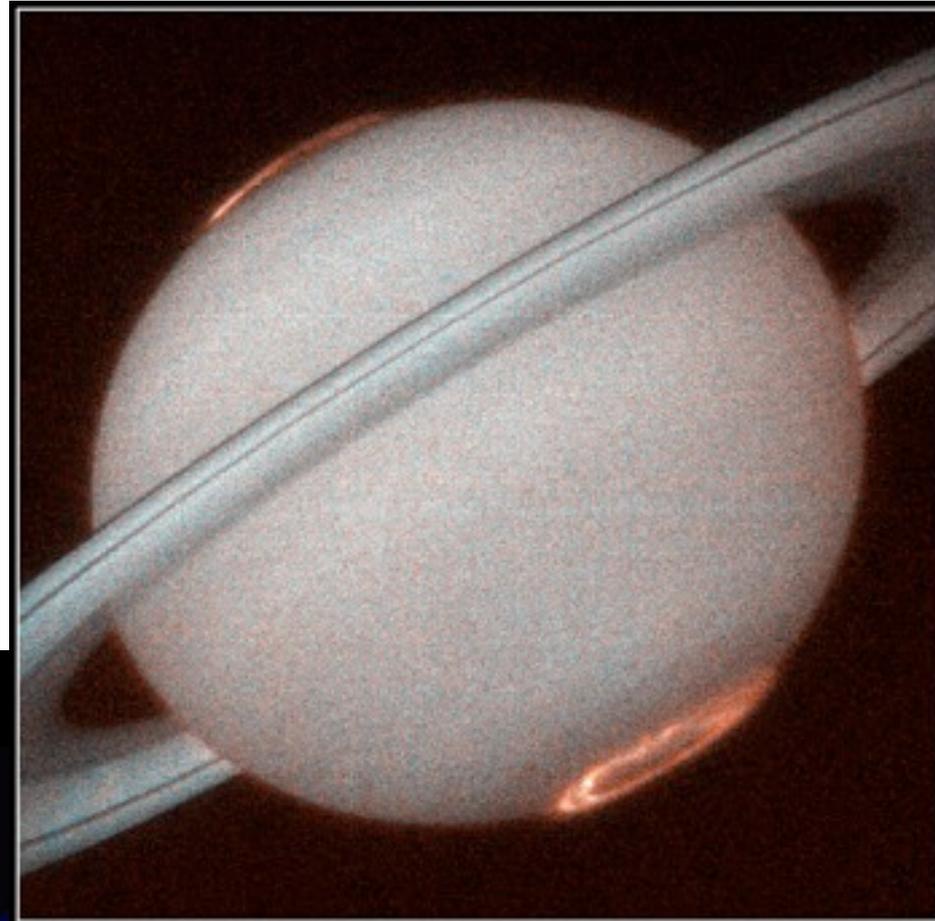
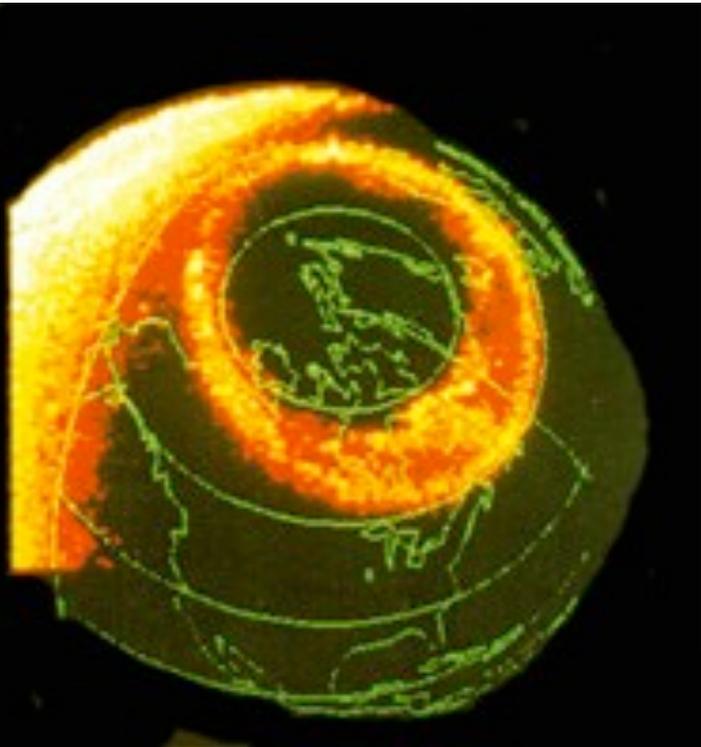
La « Terella » de Birkeland [1910]



Visible ...



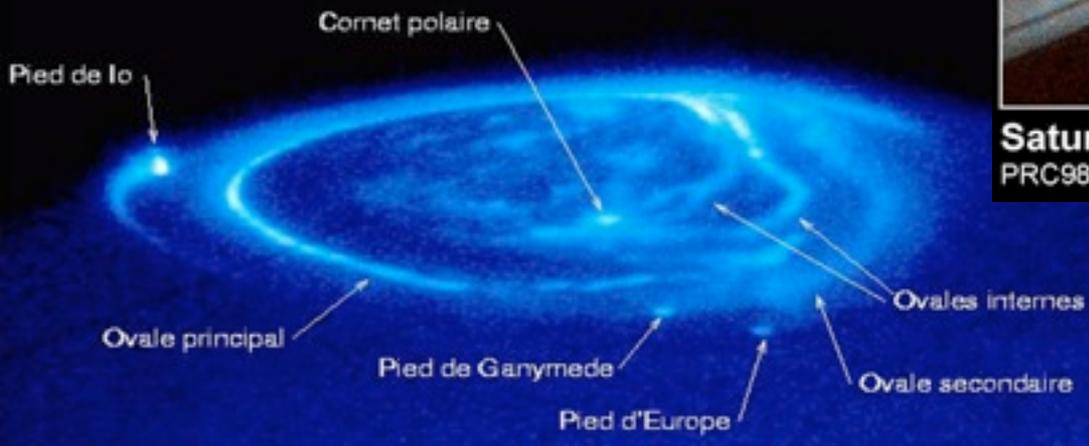
UV ...



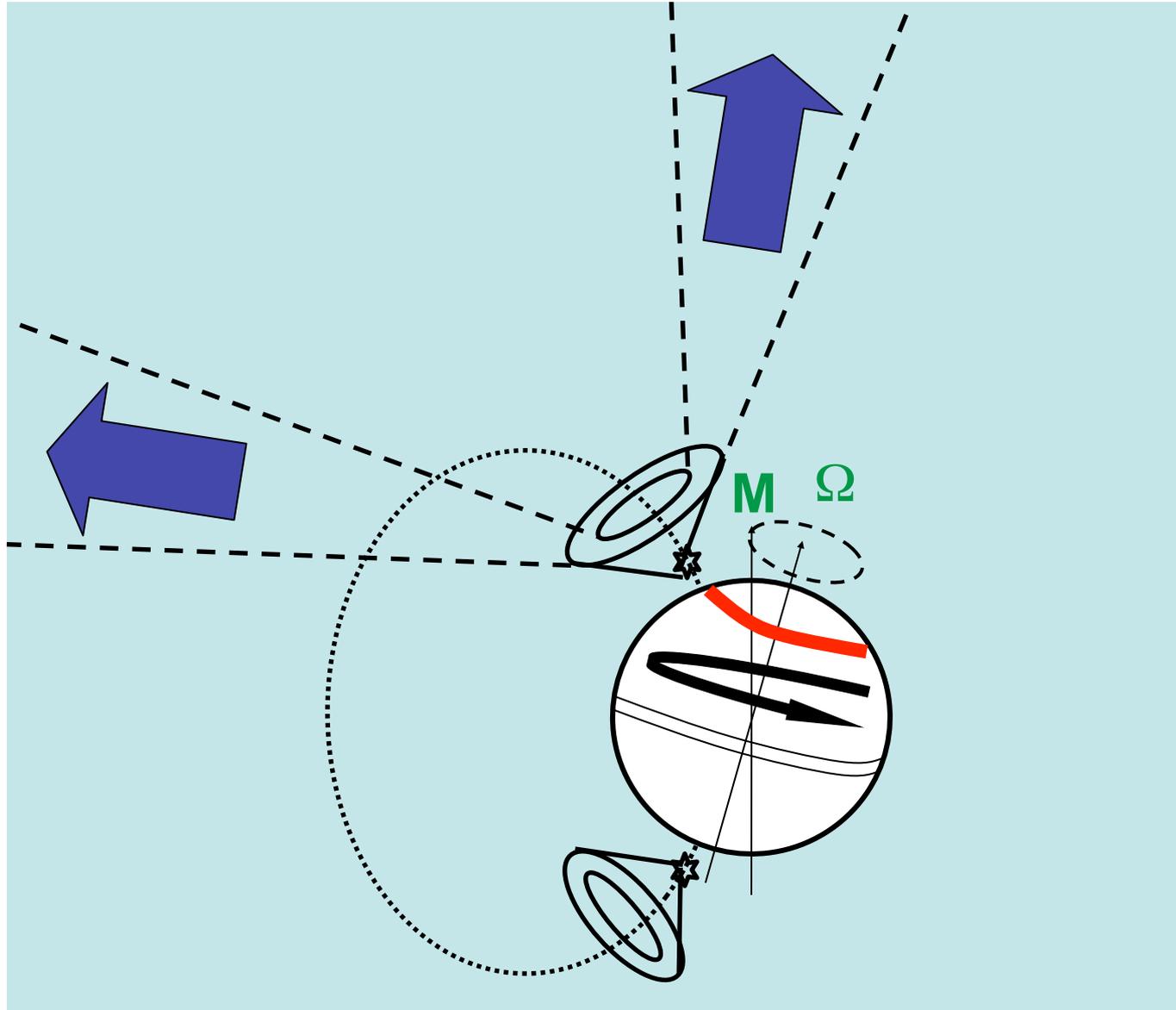
Saturn Aurora

PRC98-05 • ST Sci OPO • January 7, 1998 • J. Trauger (JPL) and NASA

HST • STIS

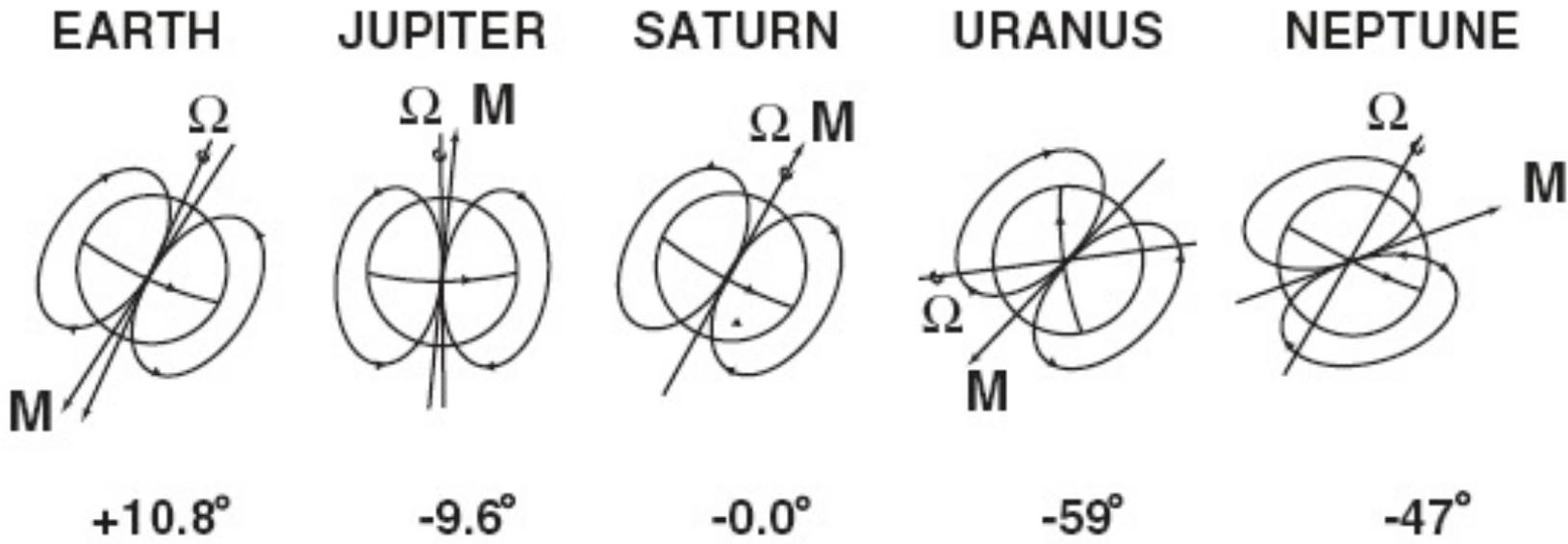


et Radio



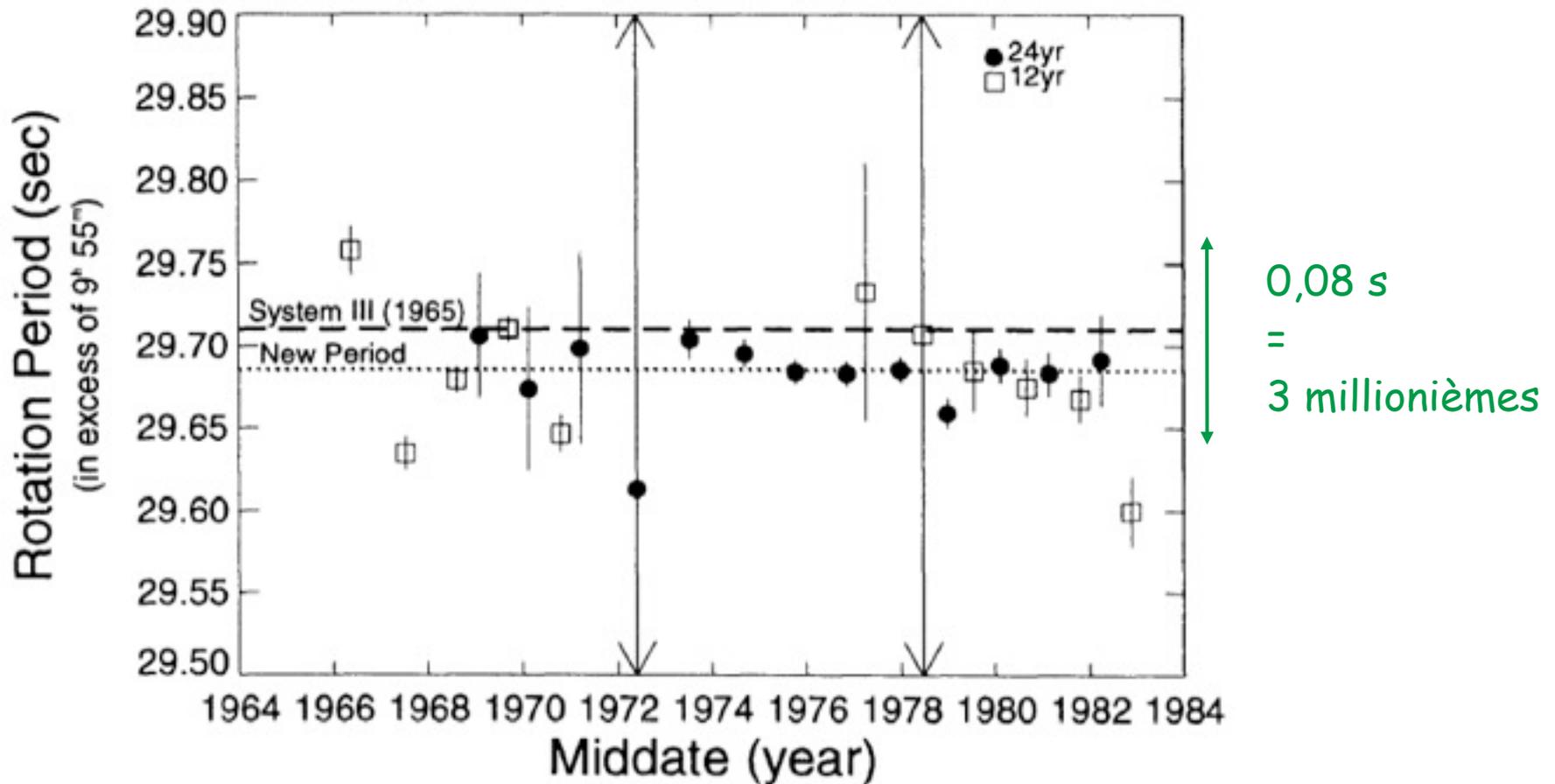
Modulation rotationnelle en radio : ingrédients

- Rotation
- Emissions anisotropes
- M incliné par rapport à Ω ?



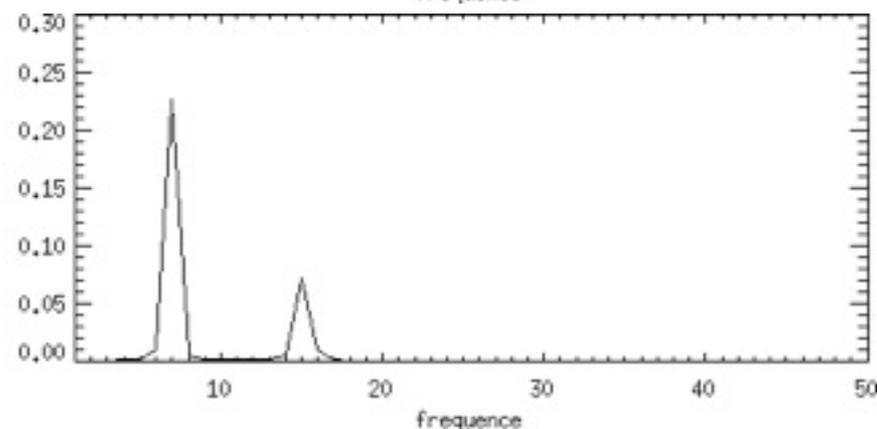
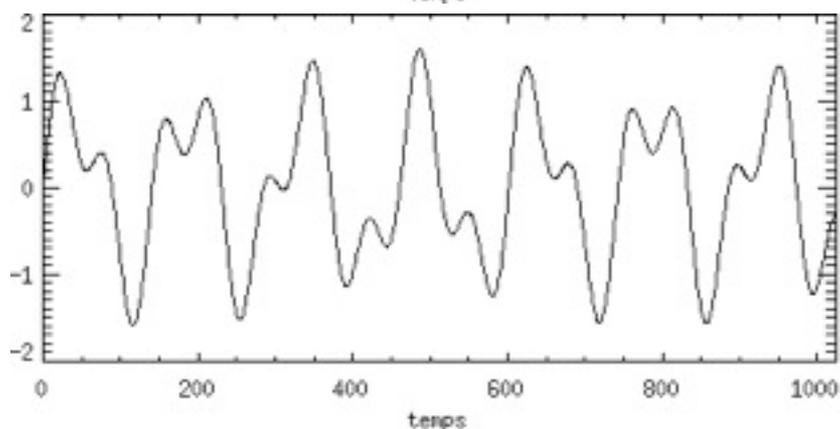
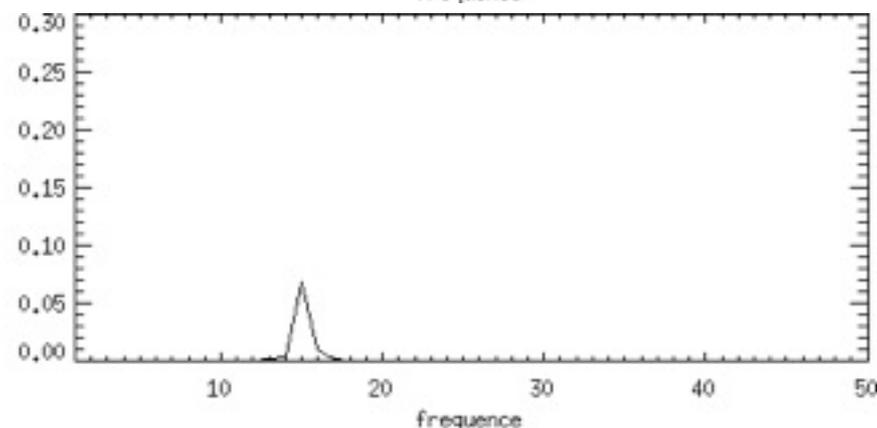
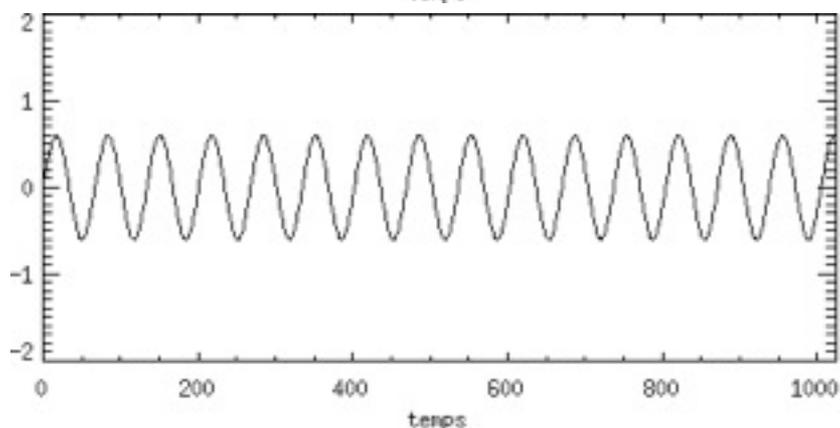
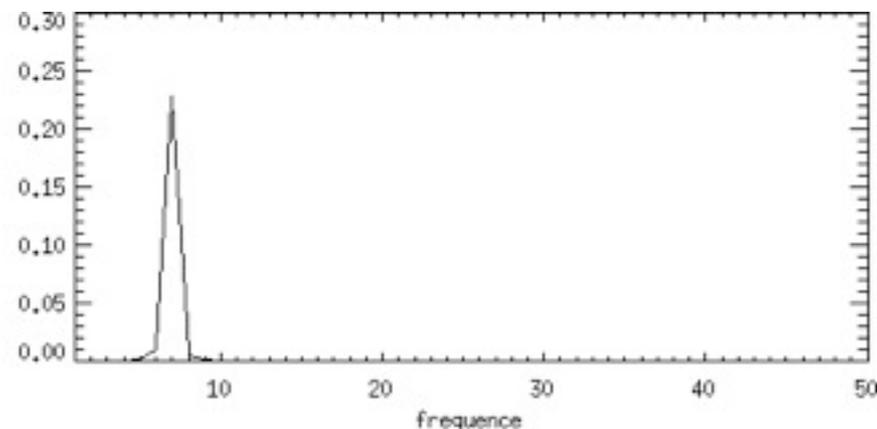
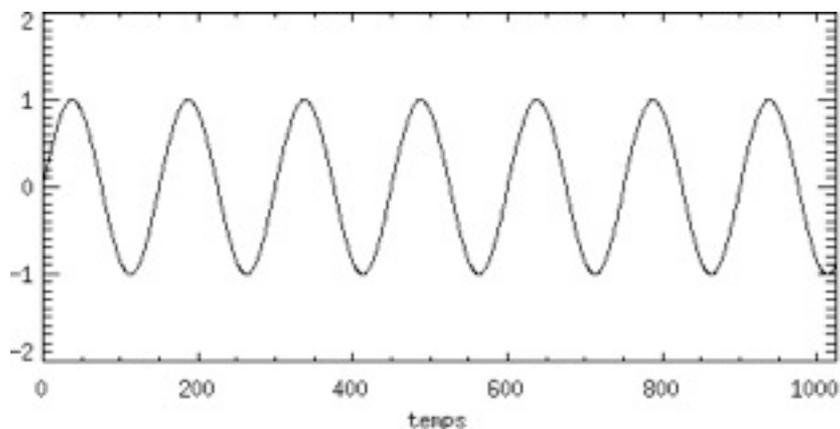
Rotation de Jupiter

- Analyse de 24 ans d'observations radio à partir du sol
⇒ Période = 9h 55m 29,685s ± 0,04s



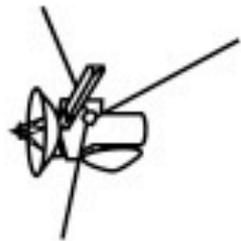
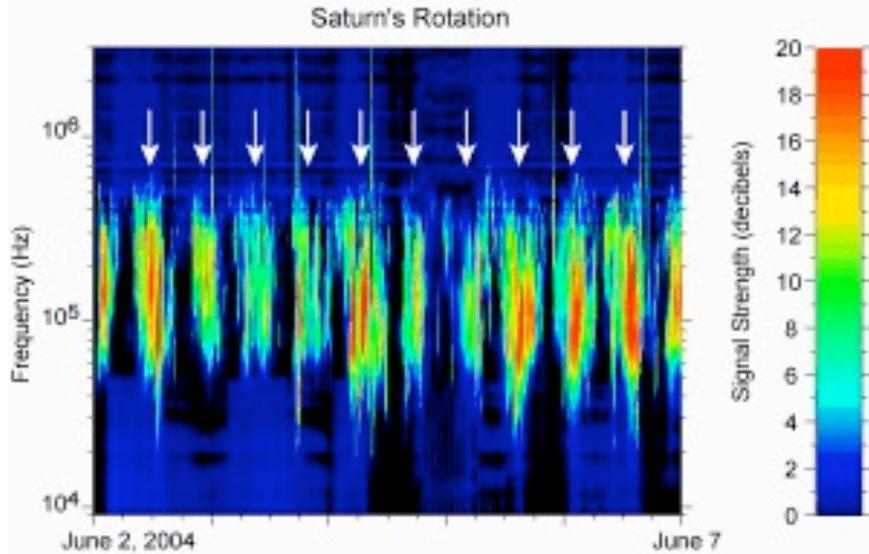
- La rotation des planètes
- Les émissions radio « aurorales » des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation « radio » de Saturne
- Qu'est-ce qui « tourne » ?
- La rotation variable de Saturne
- La rotation double de Saturne ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Prélude à la suite ...

Phénomène Mesure

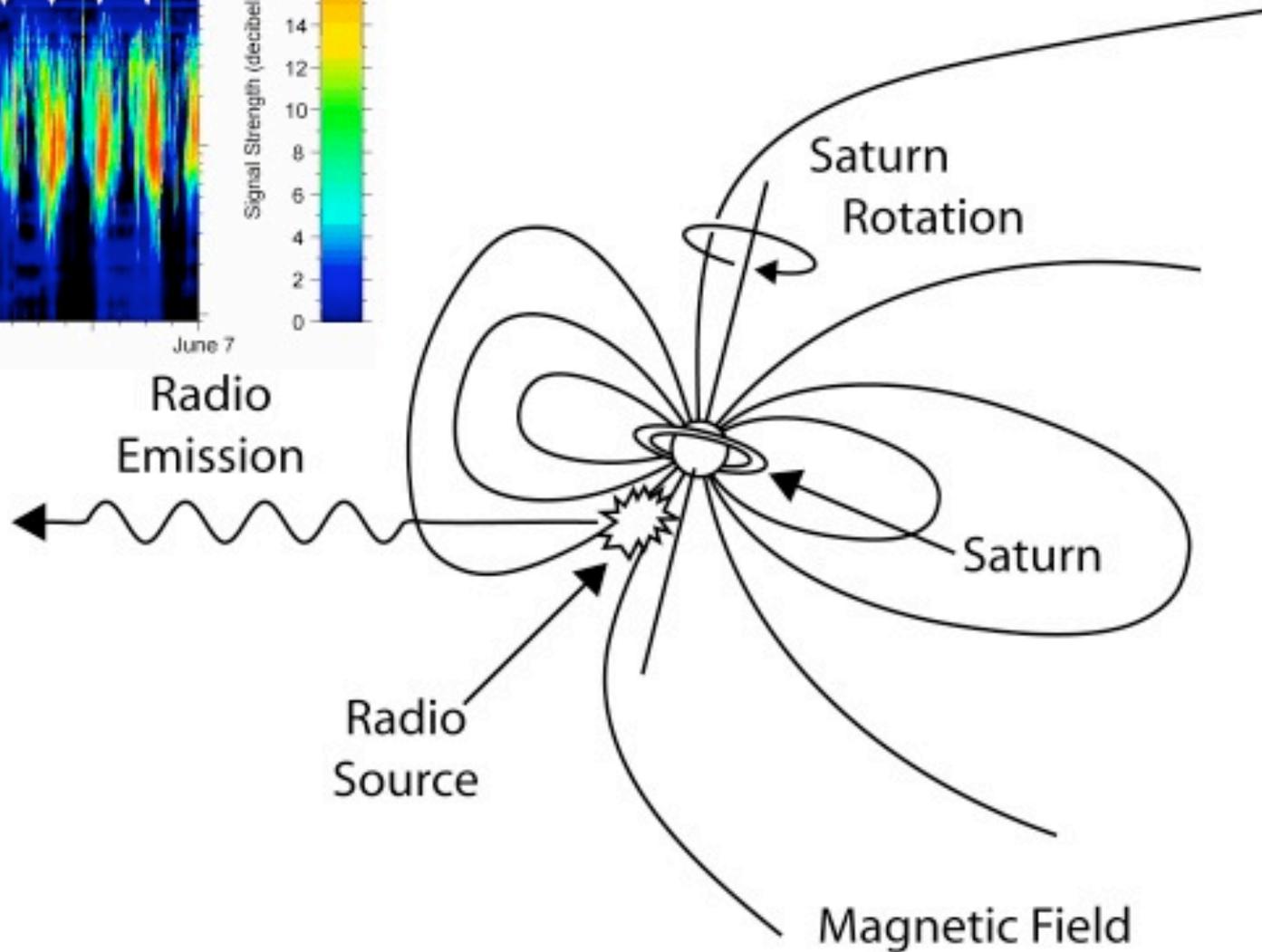


- La rotation des planètes
- Les émissions radio « aurorales » des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation « radio » de Saturne
- Qu'est-ce qui « tourne » ?
- La rotation variable de Saturne
- La rotation double de Saturne ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Prélude à la suite ...

Variation périodique des émissions radio

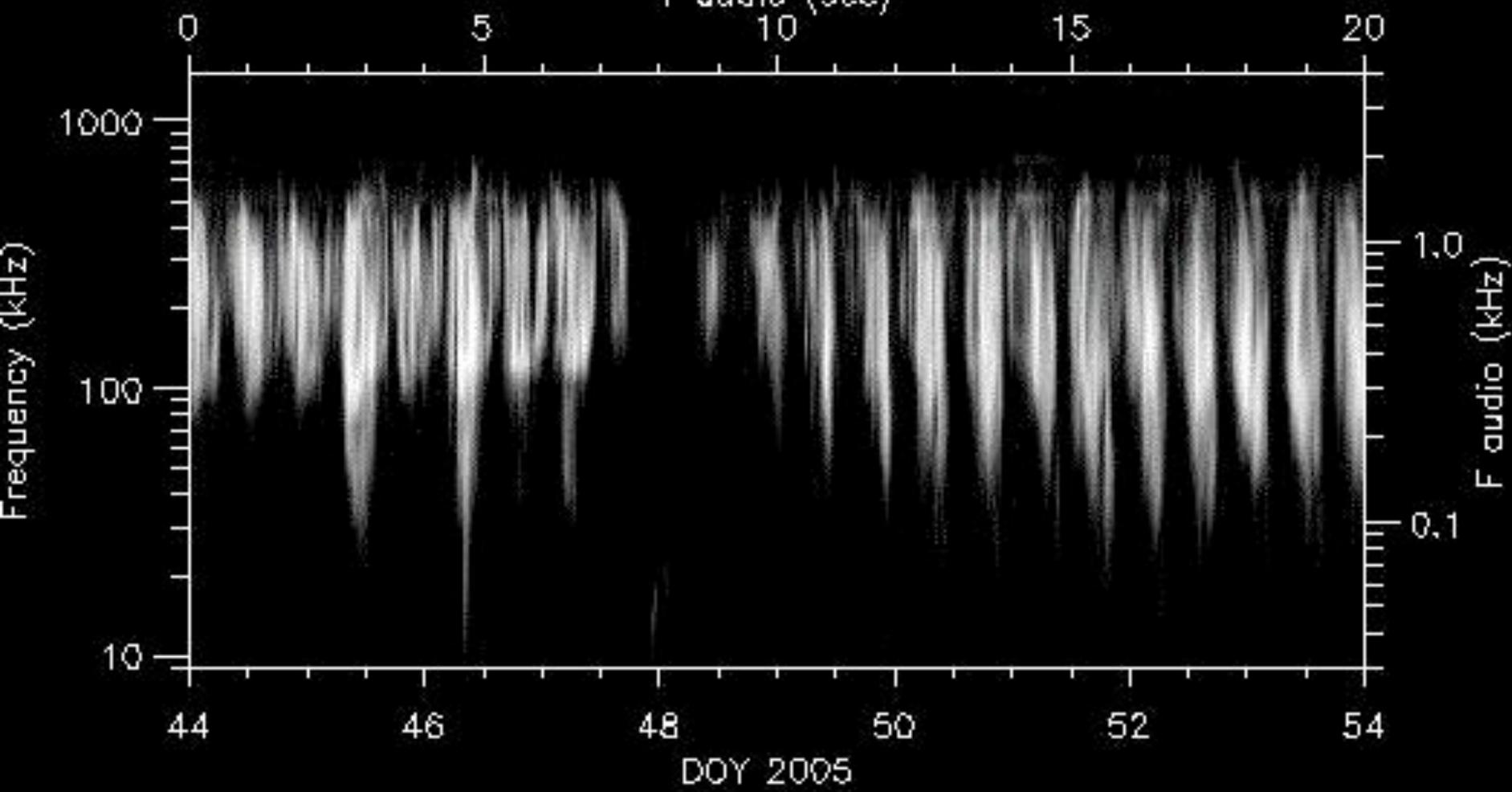


Cassini



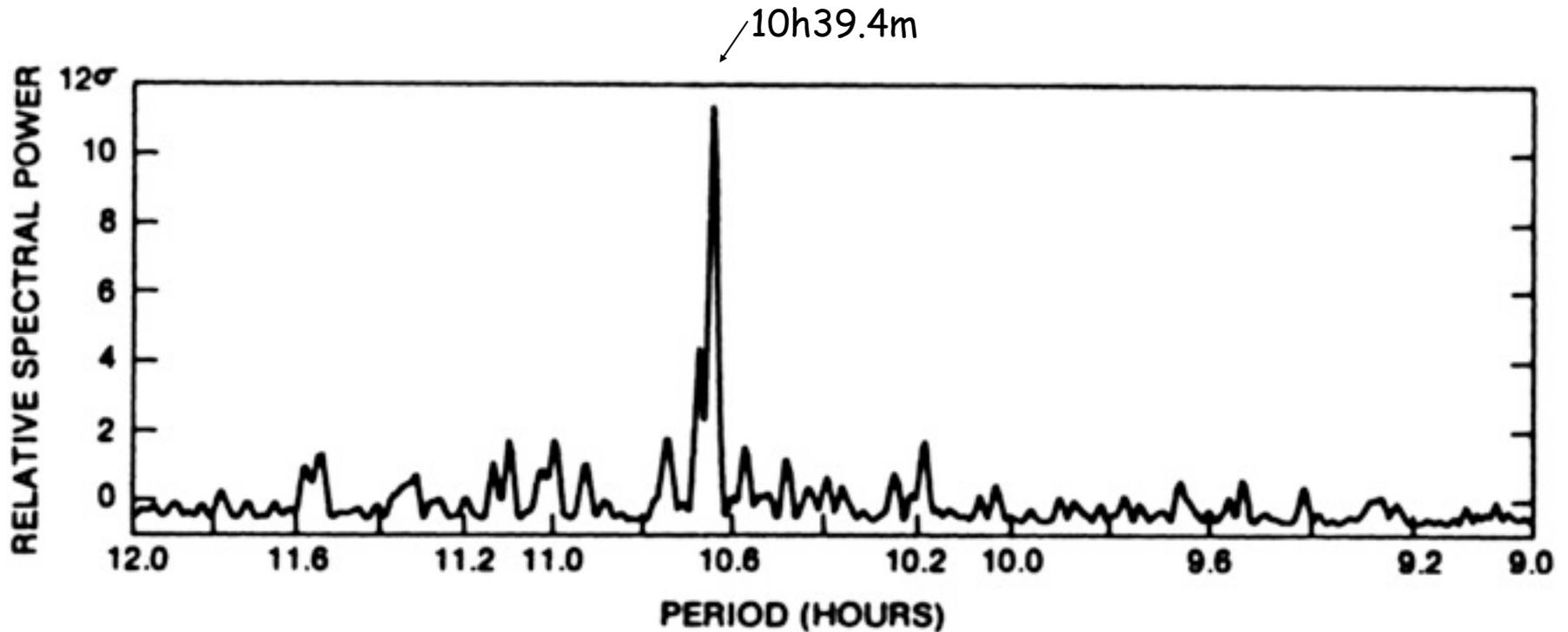
Saturn Clock

T audio (sec)



Rotation de Saturne

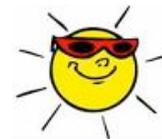
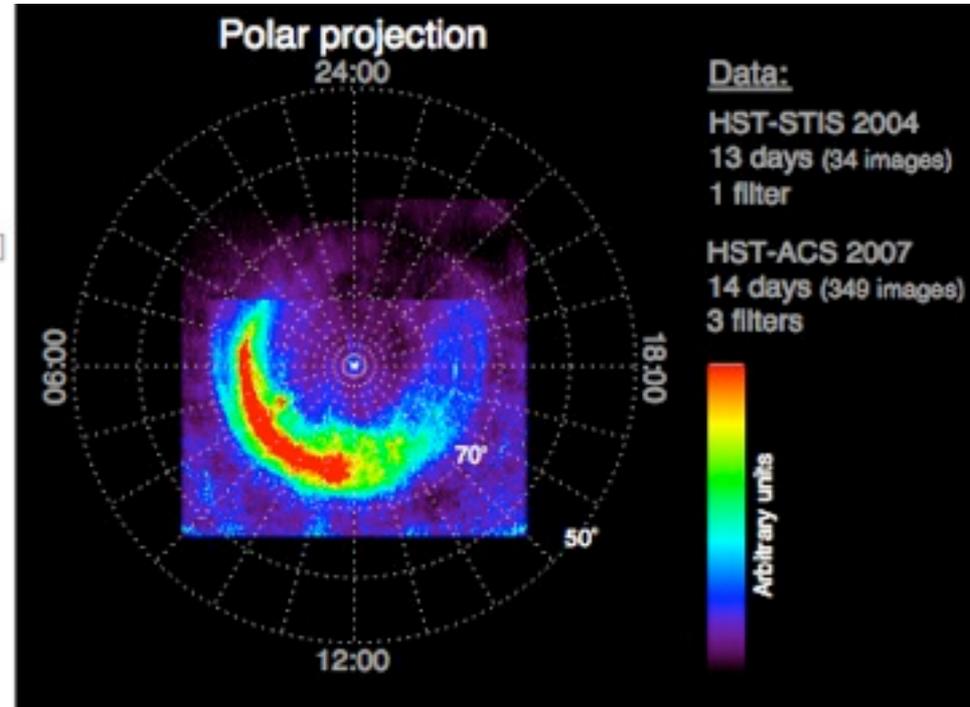
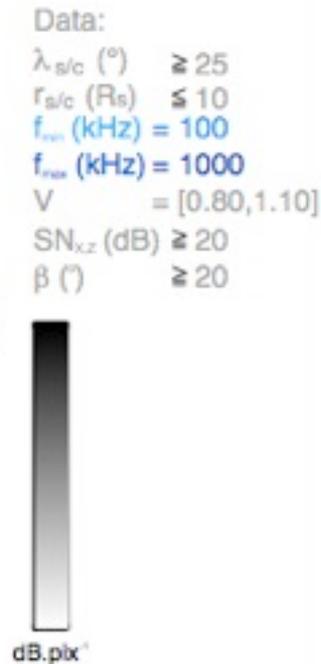
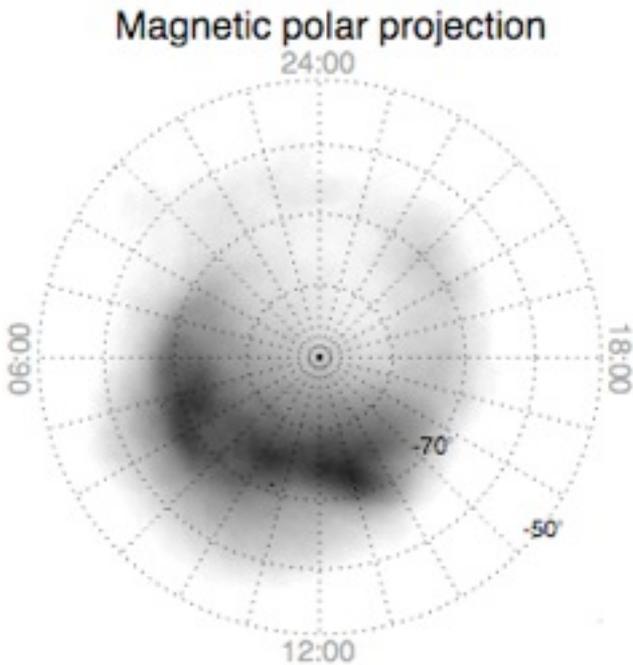
- Analyse de 267 jours d'observations par Voyager 1
⇒ $P_{SKR} = 10\text{h } 39\text{m } 24\text{s} \pm 7\text{s}$ (~2 dix-millièmes)



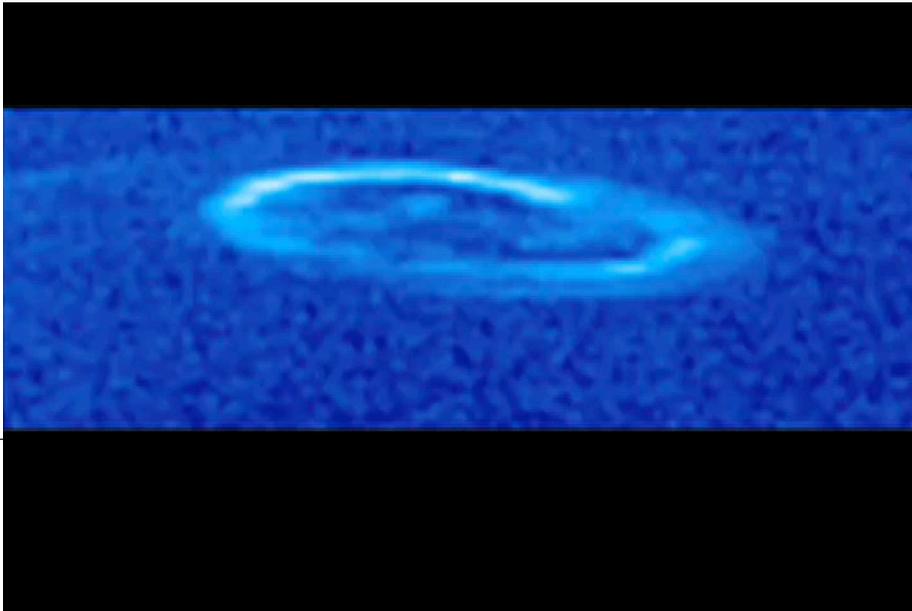
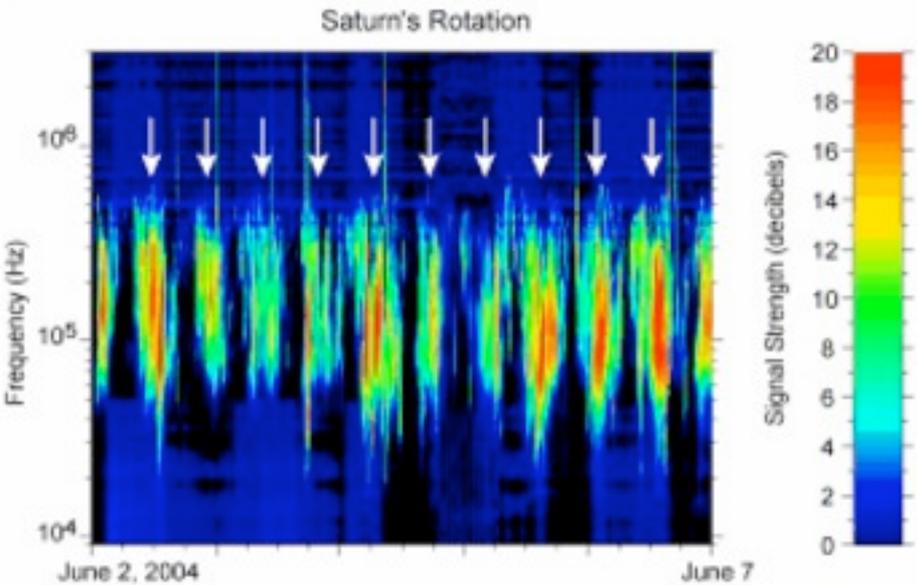
Diab!e ! Voyons
cela de plus pr!es ...



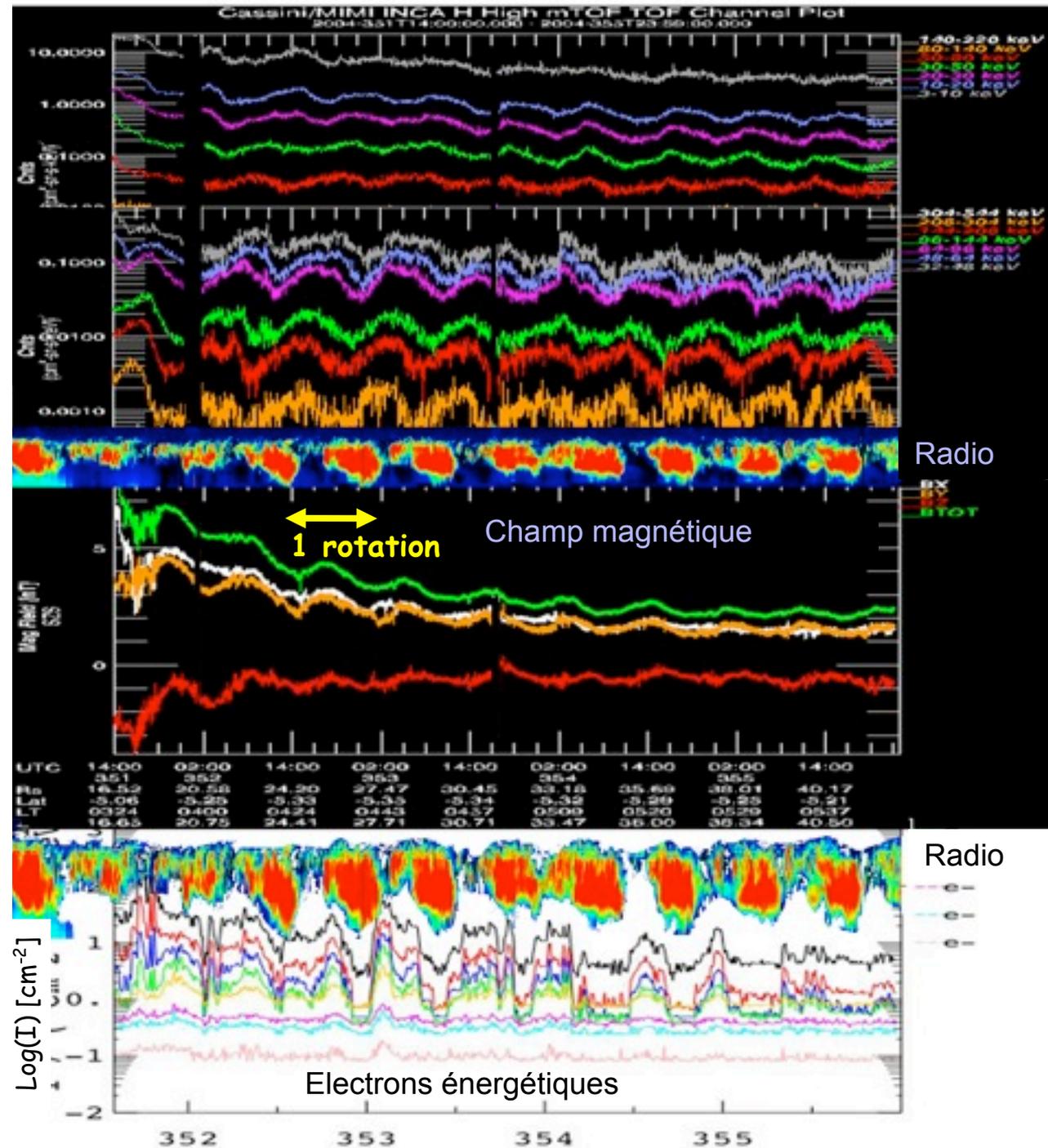
Les émissions aurores radio (et UV) sont « à l'ordre zéro » fixes par rapport à la direction du Soleil



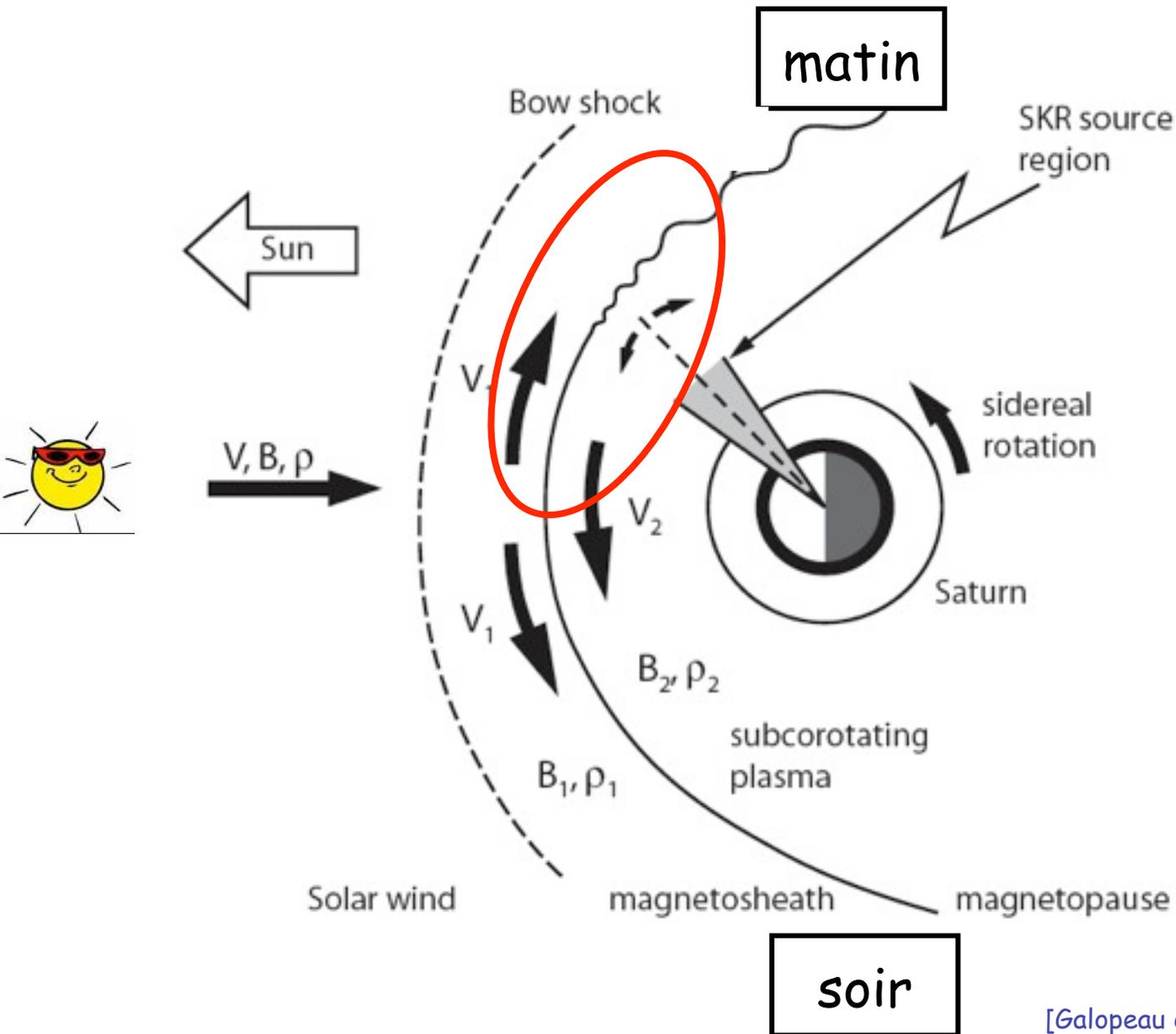
Leur modulation est « stroboscopique »



Tout tourne dans la magnétosphère de Saturne !

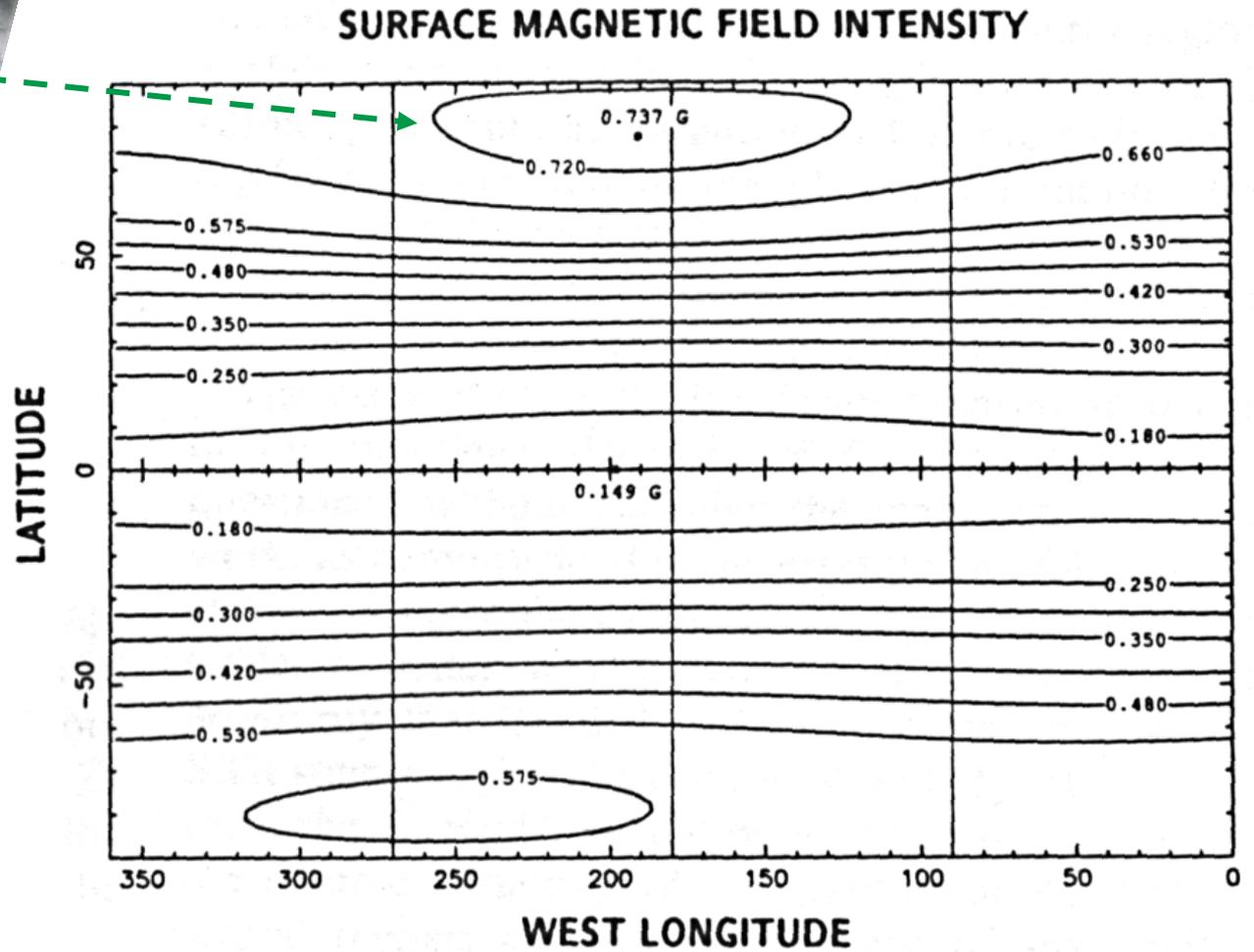


Une explication possible des sources côté « matin »



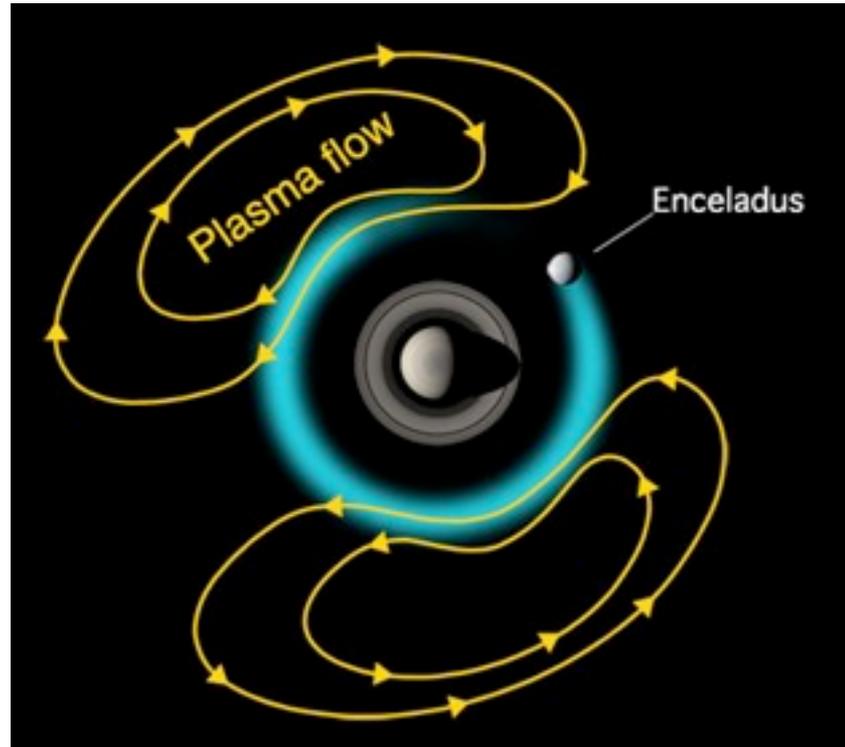
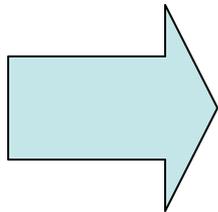
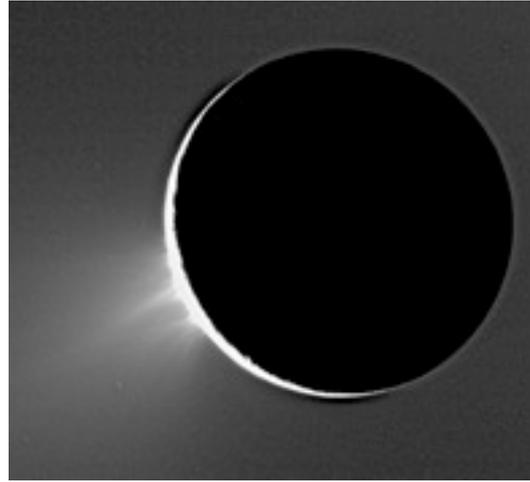
- La rotation des planètes
- Les émissions radio « aurorales » des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation « radio » de Saturne
- Qu'est-ce qui « tourne » ?
- La rotation variable de Saturne
- La rotation double de Saturne ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Prélude à la suite ...

Une « anomalie » magnétique ?



[Galopeau & Zarka, 1992]

Un flot de plasma venant d'Encelade ?

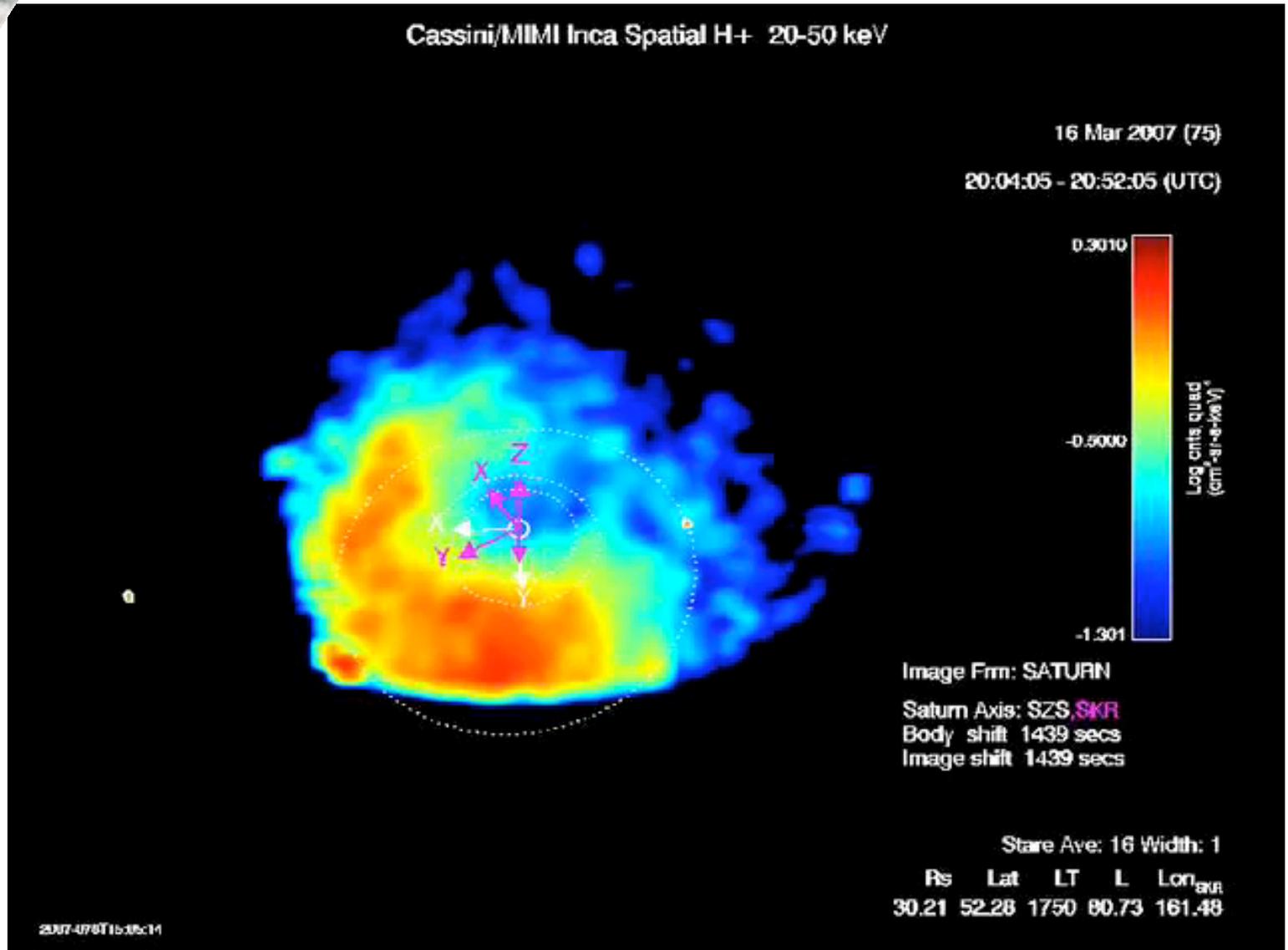


[Gurnett et al., 2007]

Un système de courants ?



Hum, hum...



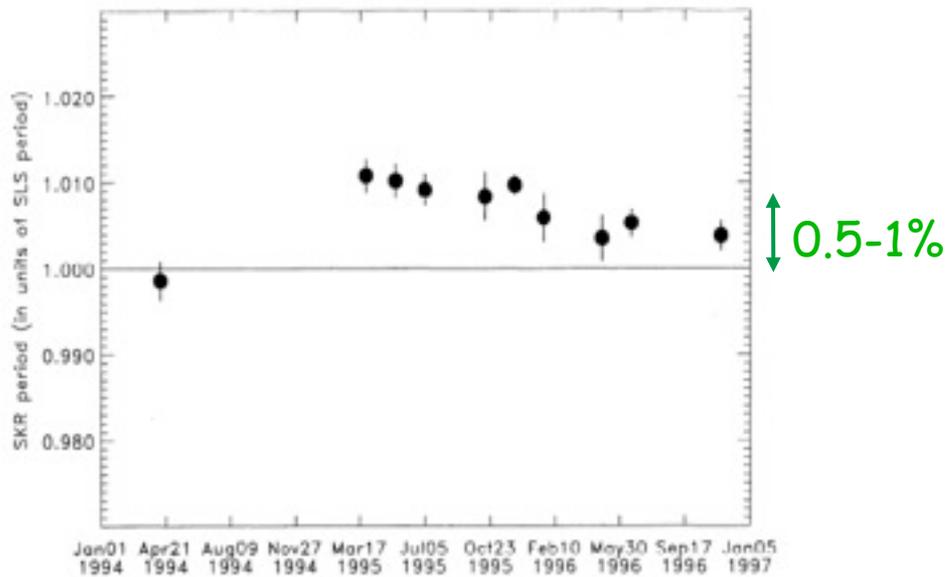
- La rotation des planètes
- Les émissions radio « aurorales » des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation « radio » de Saturne
- Qu'est-ce qui « tourne » ?
- **La rotation variable de Saturne**
- La rotation double de Saturne ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Prélude à la suite ...



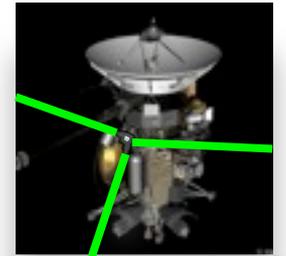
La période radio variable de Saturne



Ulysses

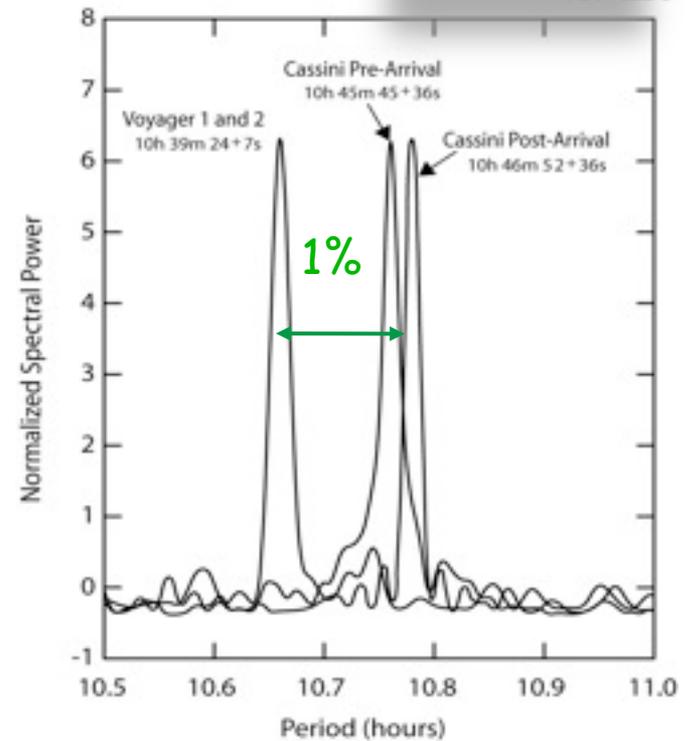


[Galopeau & Lecacheux, 2000]



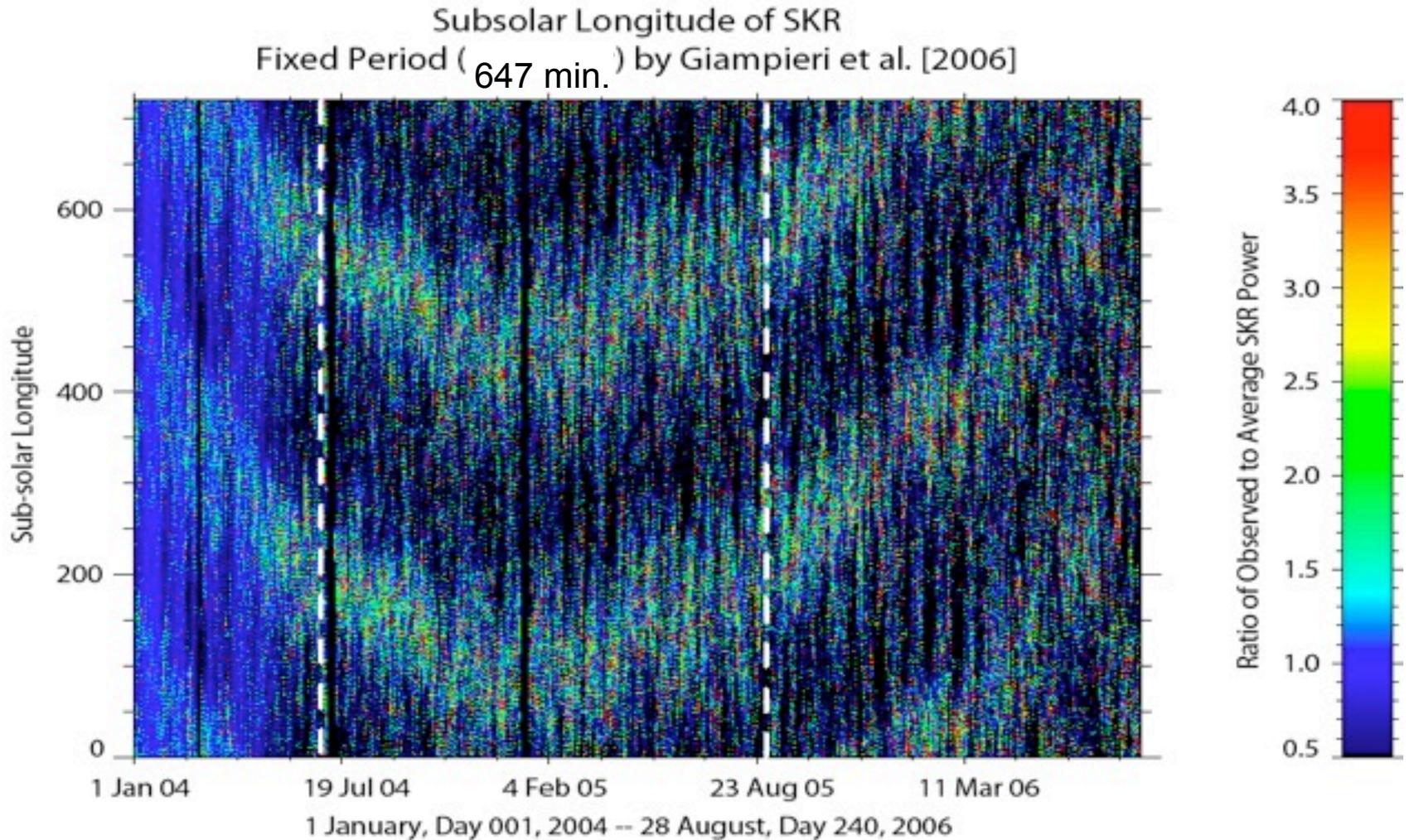
A-D04-222-8

Cassini



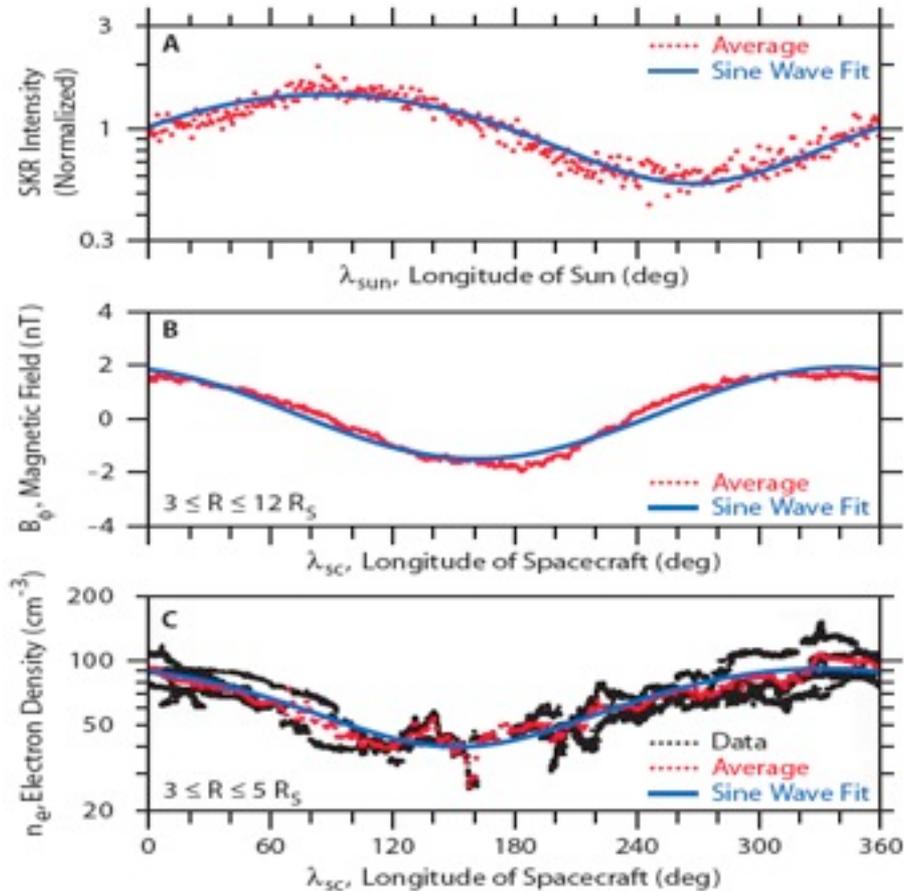
[Gurnett et al., 2005]

La période radio variable de Saturne



[Kurth et al., 2007]

Des variations similaires pour ...



Les émissions radio

Le champ magnétique

La densité du plasma ?

+ les aurores UV ?

+ la position de la magnétopause ?

+ les courants ?

+ les particules énergétiques ?

[Gurnett et al., 2007]

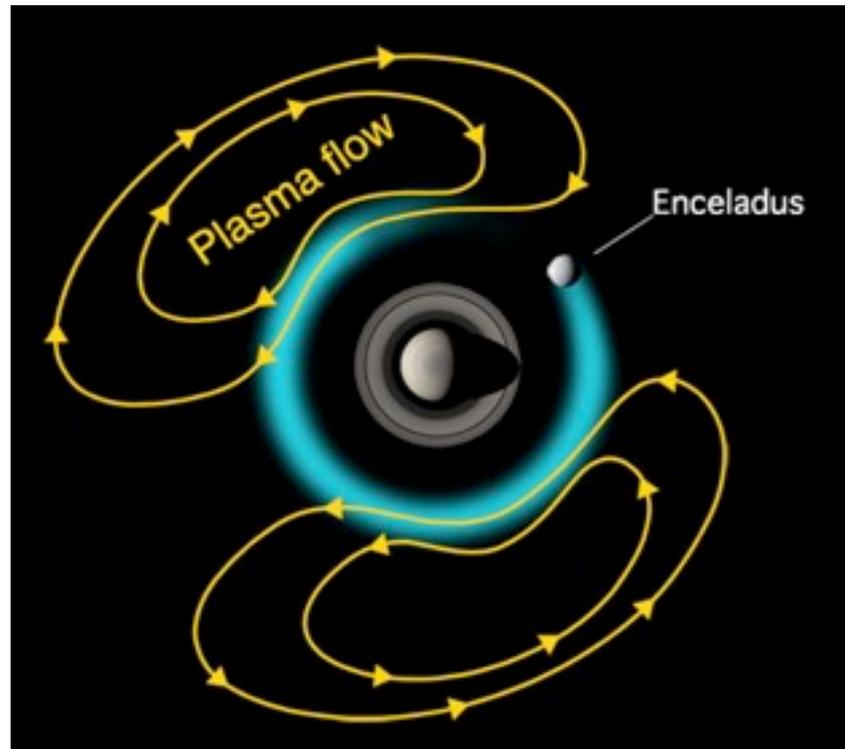
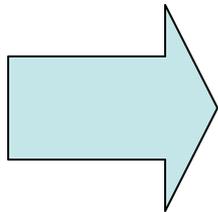
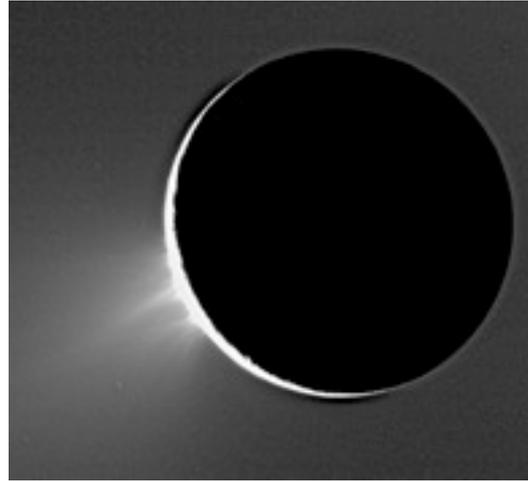
Le mystère s'épaissit ...

- Origine ?

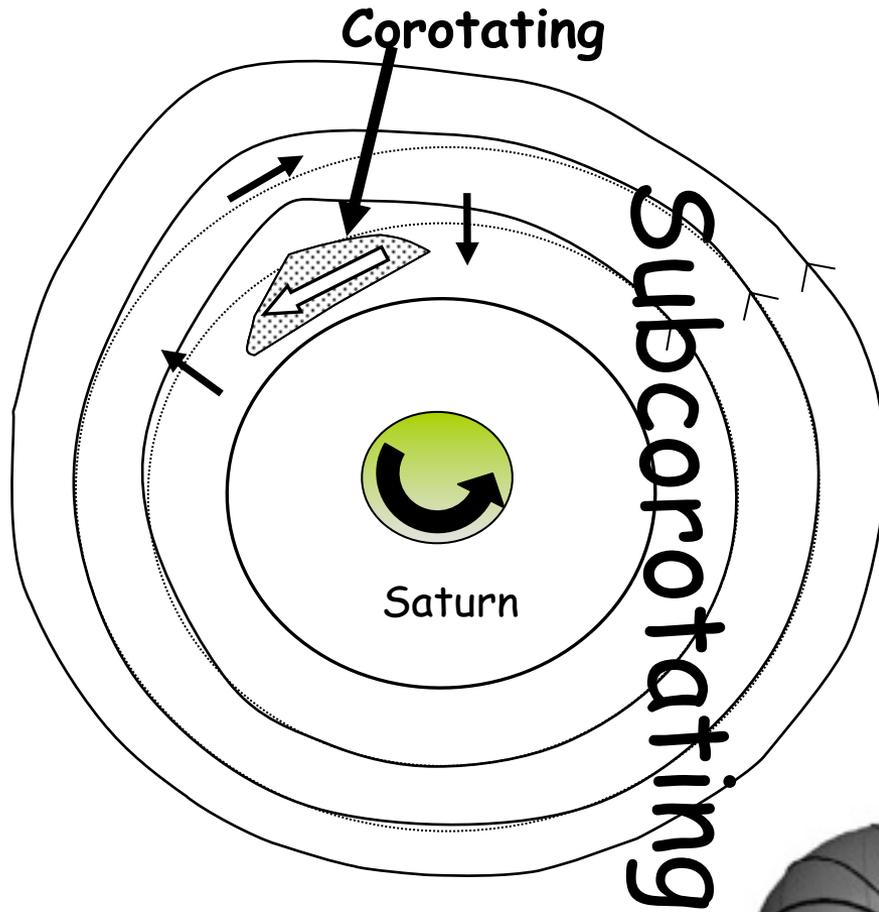
→ pas de changement de la rotation vraie de Saturne !



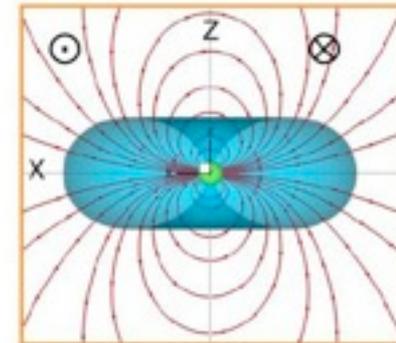
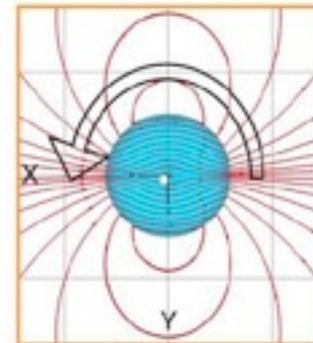
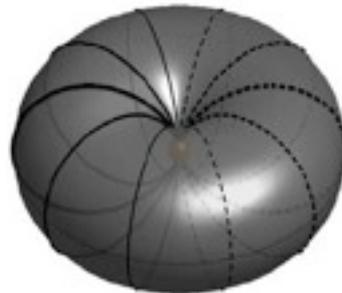
Origine : un flot variable provenant d'Encelade ?



Origine : une « came » magnétique
due à des courants (variables) en rotation ?

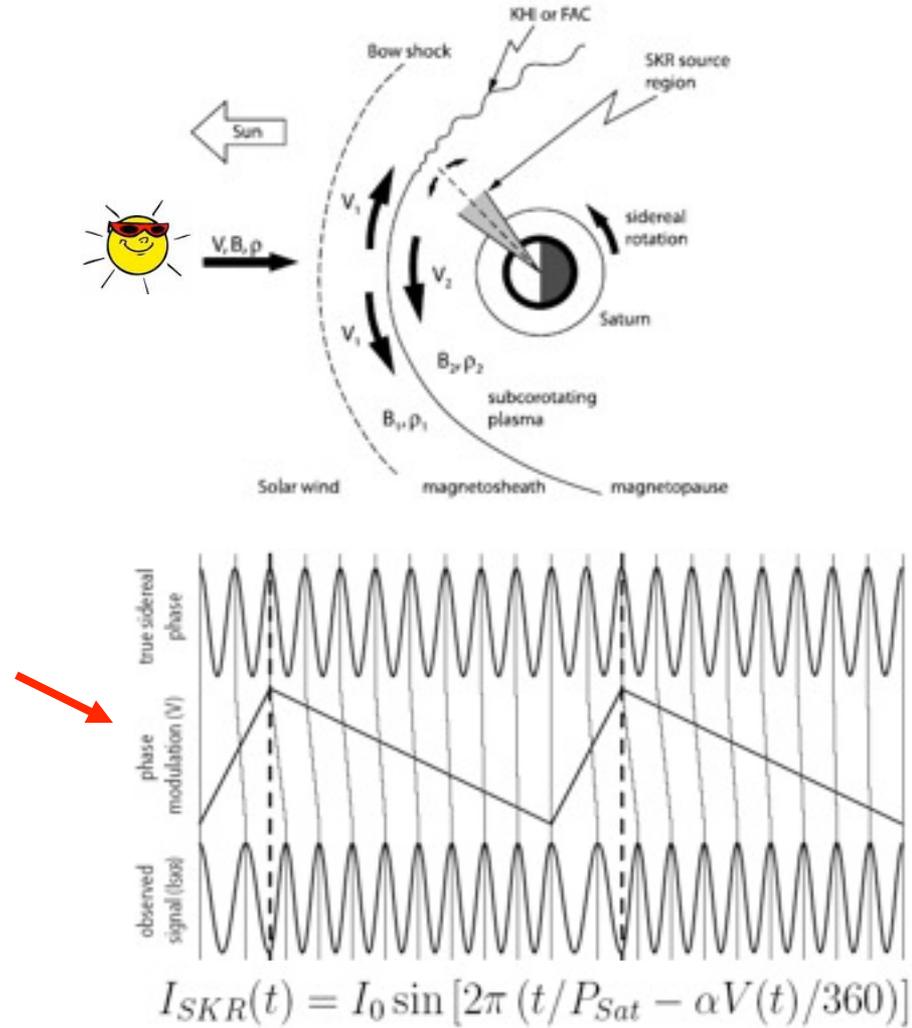
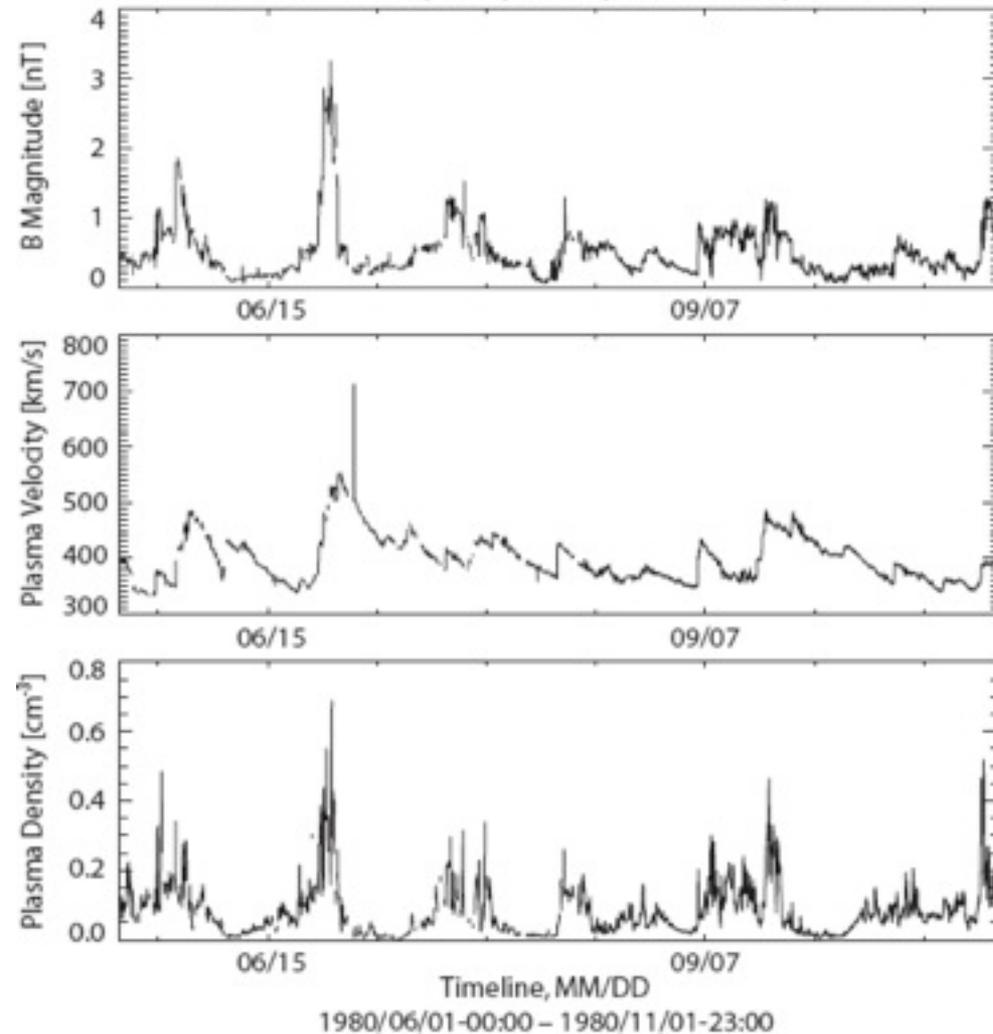


[Southwood & Kivelson, 2007]

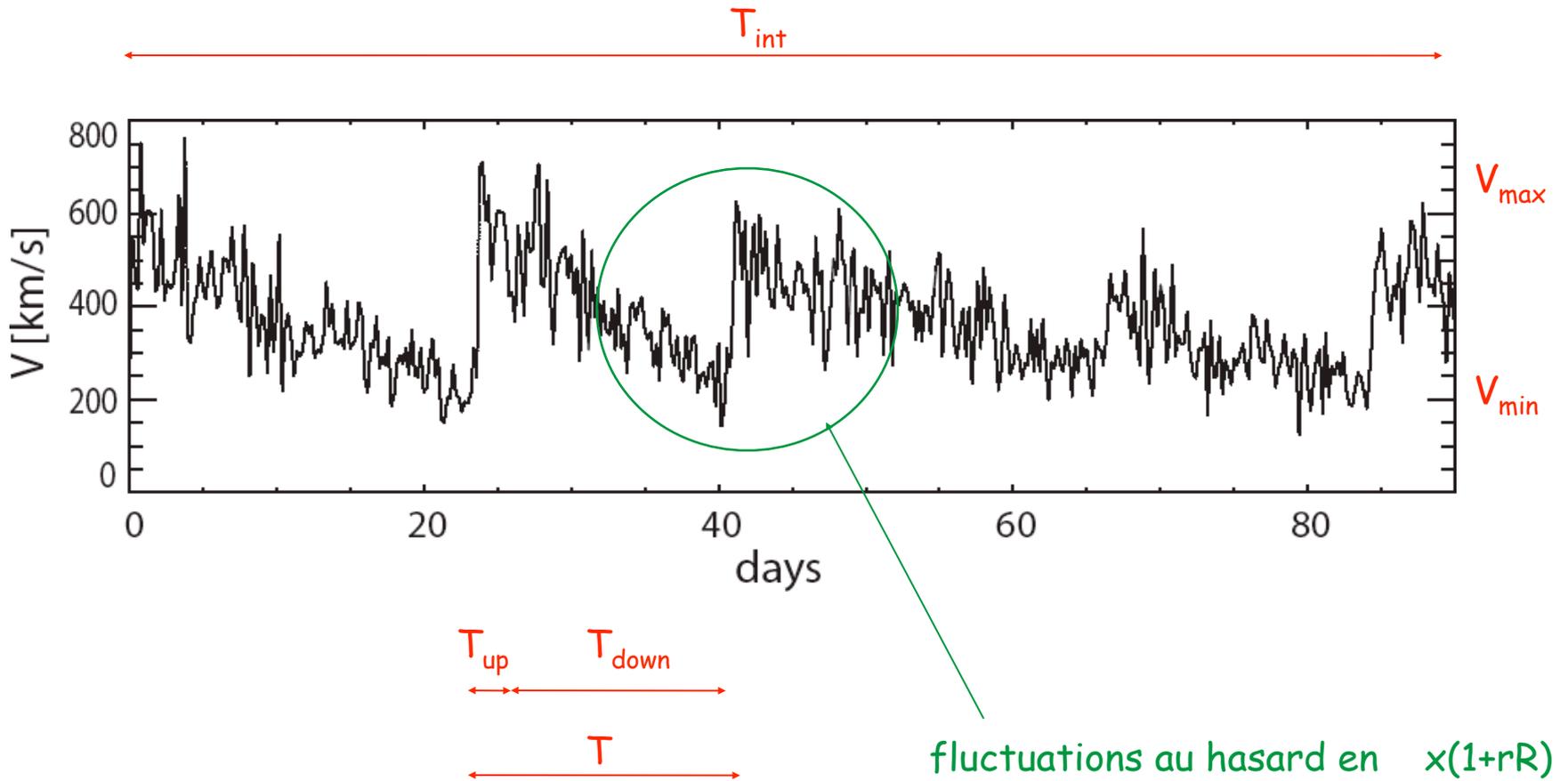


Une explication possible de la période radio variable

VOYAGER-1 Hourly Interplanetary Parameters by COHOWeb

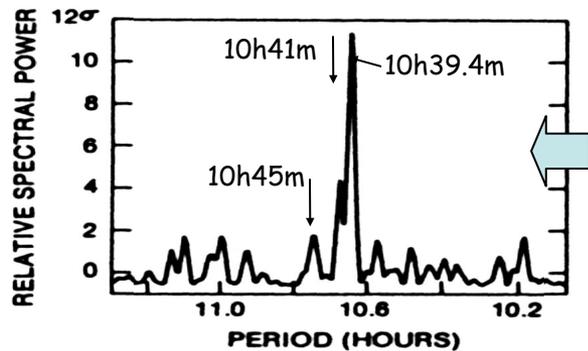
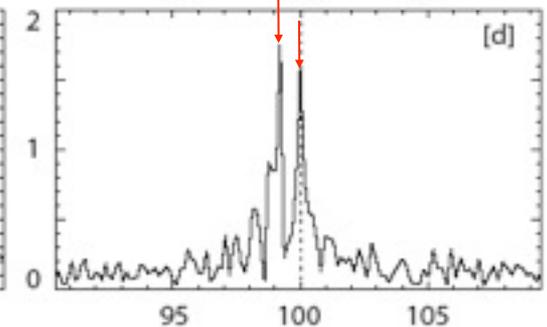
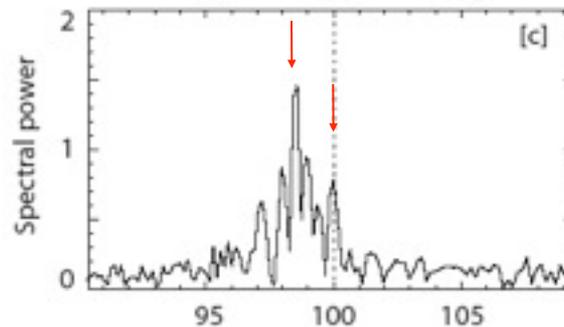
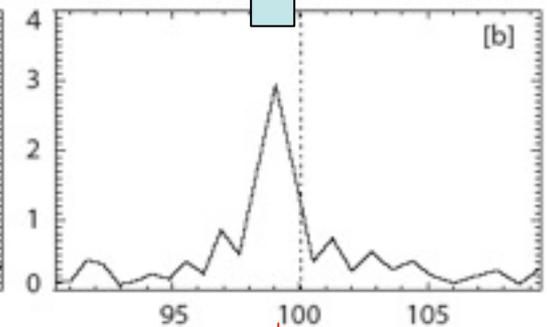
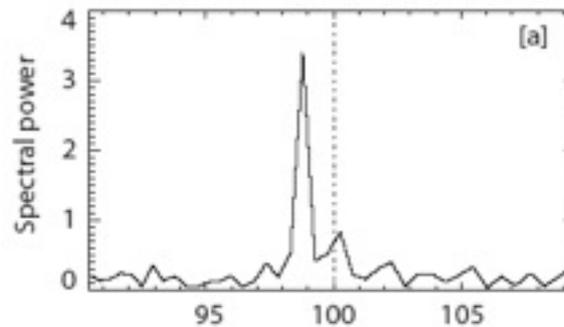
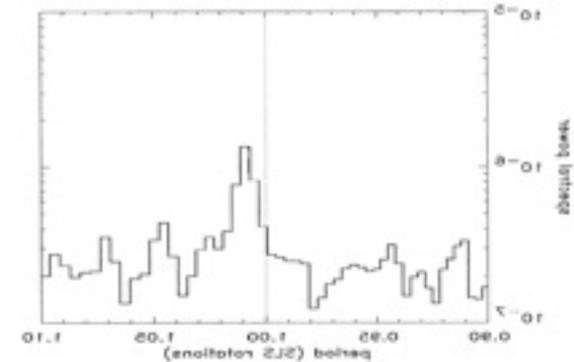


Modèle de Vitesse du Vent Solaire ...



... et de la période variable résultante

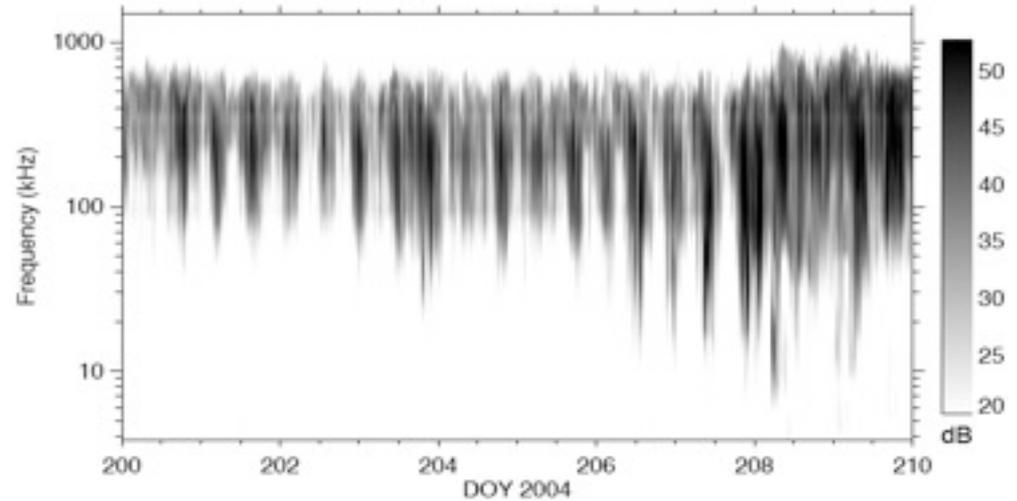
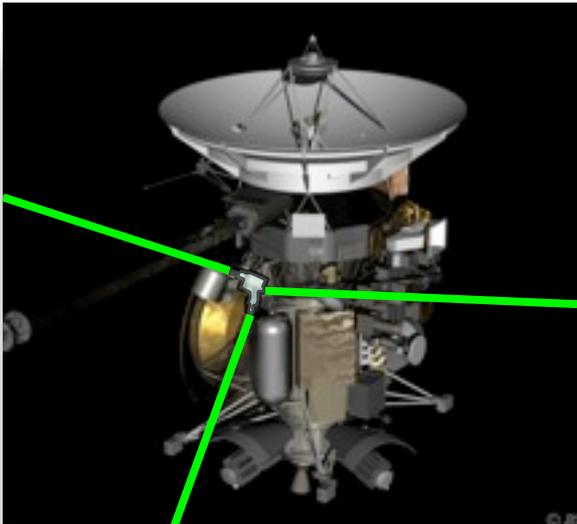
	T_{int}	T	α	R	P_{SKR}/P_{Sat}
[a]	90	26	0.5	0.2	0.987
[b]	60	26	0.4	0.2	0.993
[c]	270	26	0.6	0.2	0.985
[d]	270	26	0.6	0.2	0.991



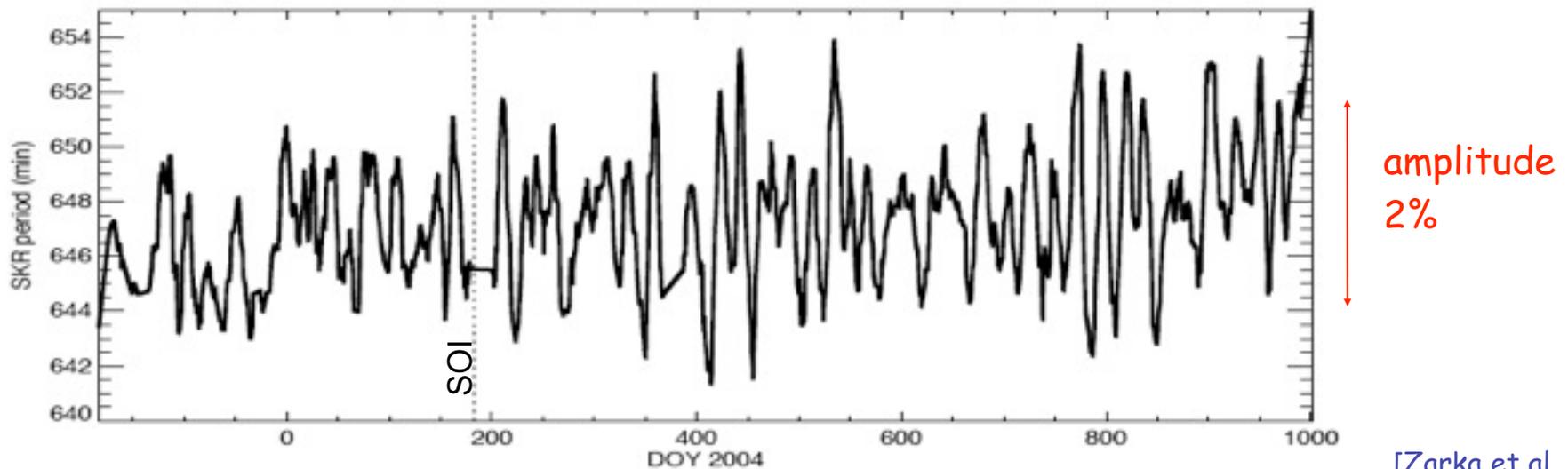
Mais ce n'est pas
tout !



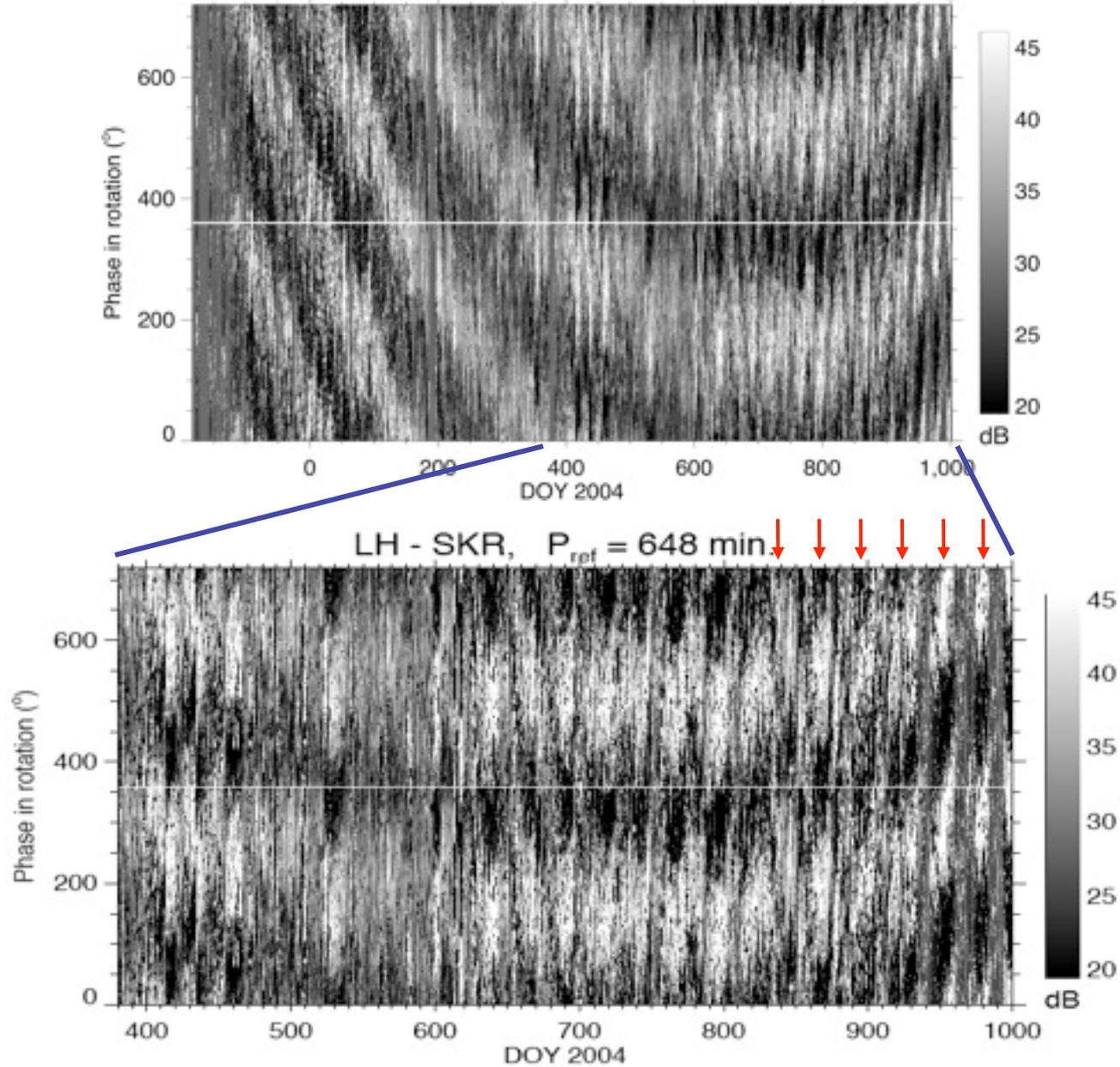
Analyse de + de 3 ans d'observations radio de Cassini



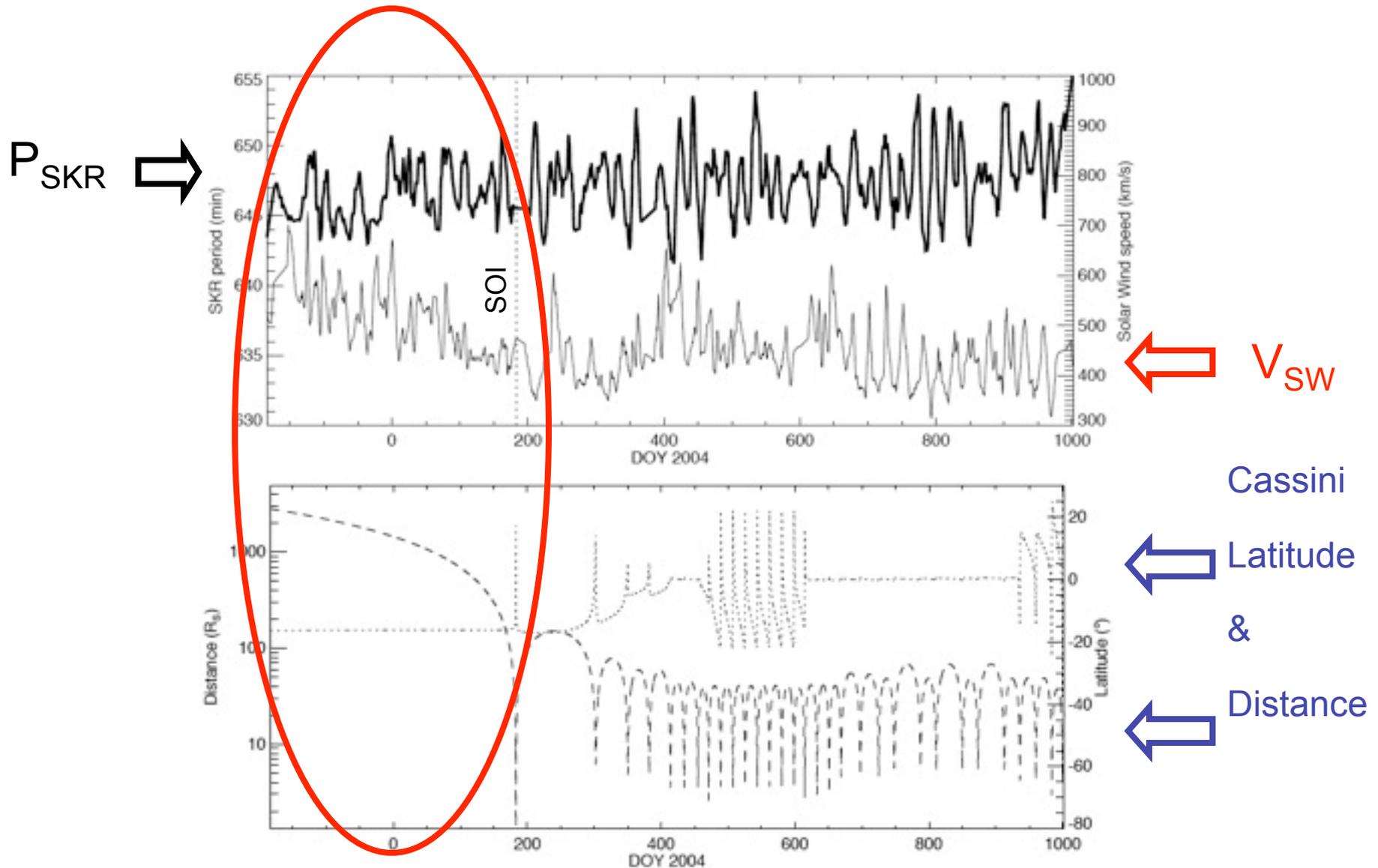
- Variations « rapides » de la période ?



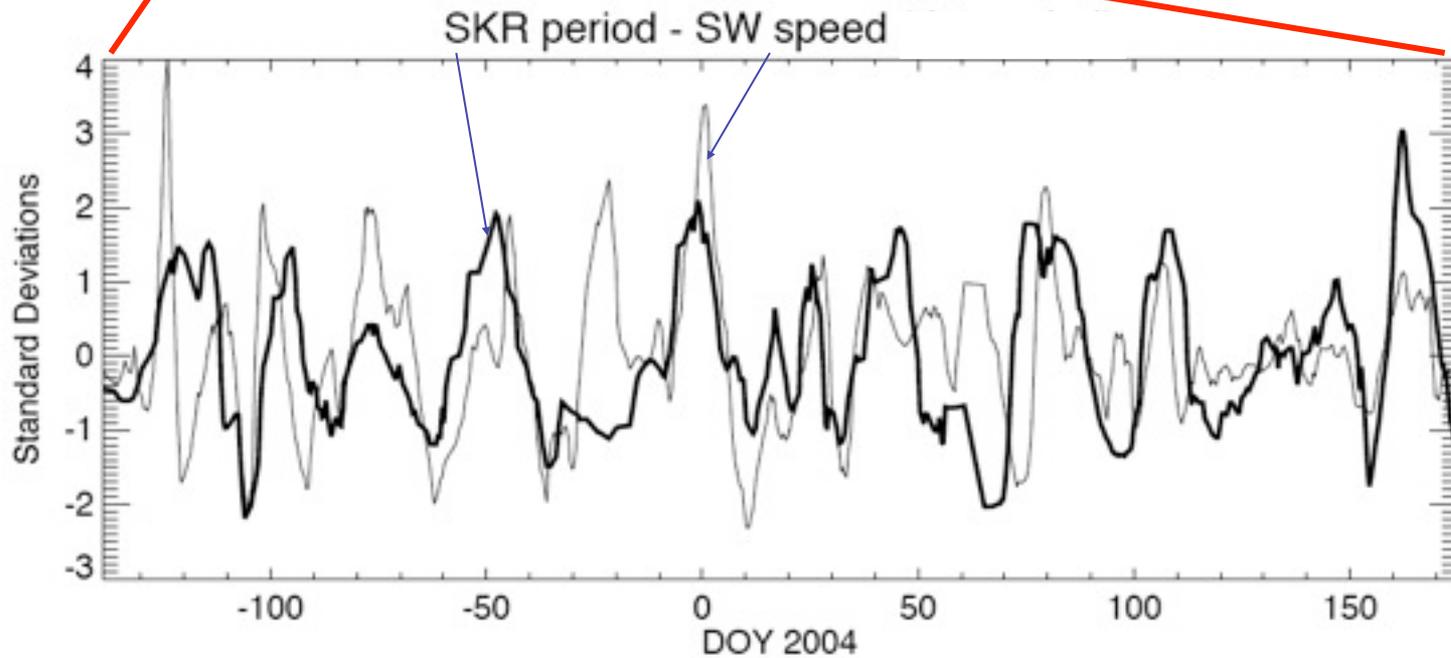
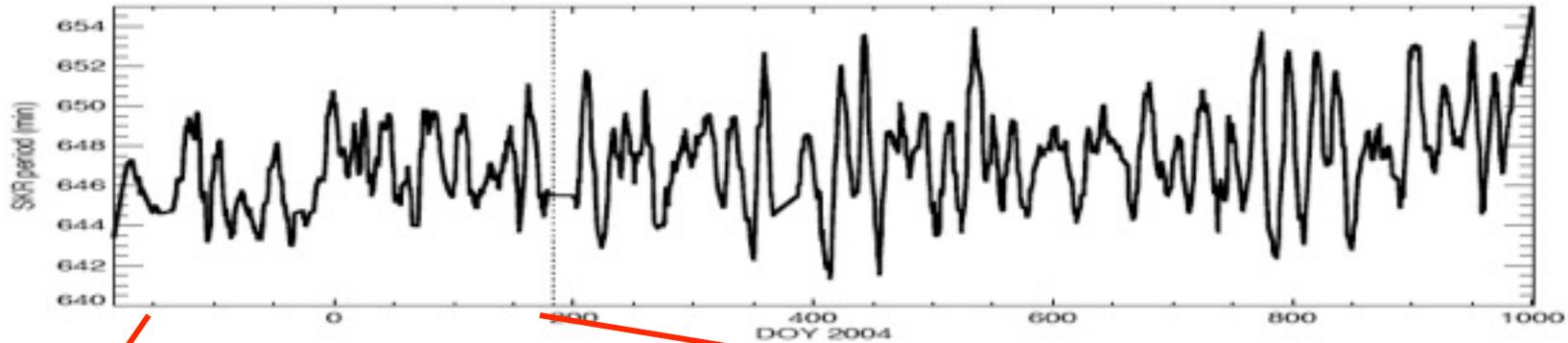
Oscillations de la période radio à 20-30 jours



Origine de ces oscillations ?



→ Relation entre Période radio et Vitesse du vent solaire

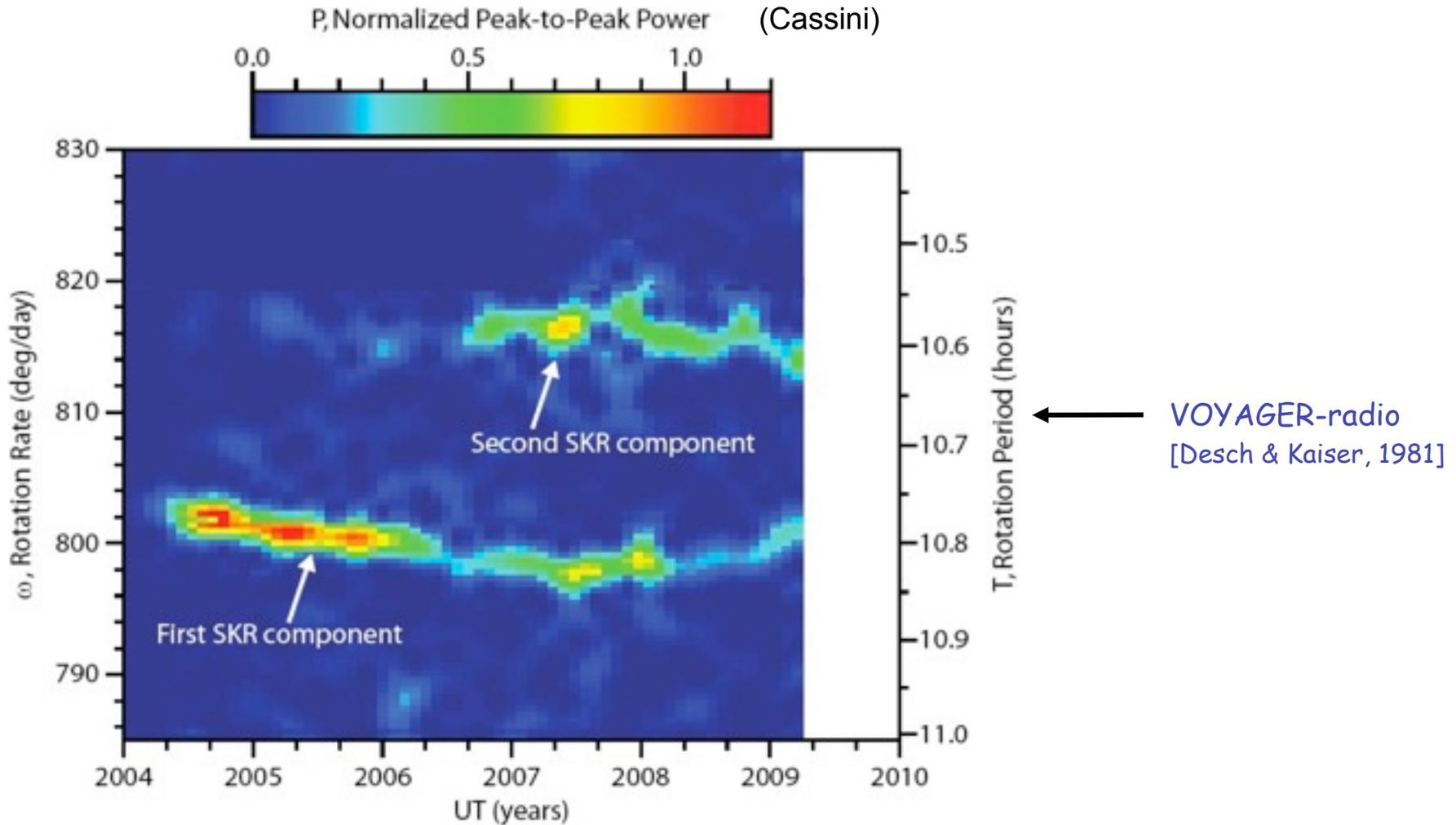


corrélation > 40%

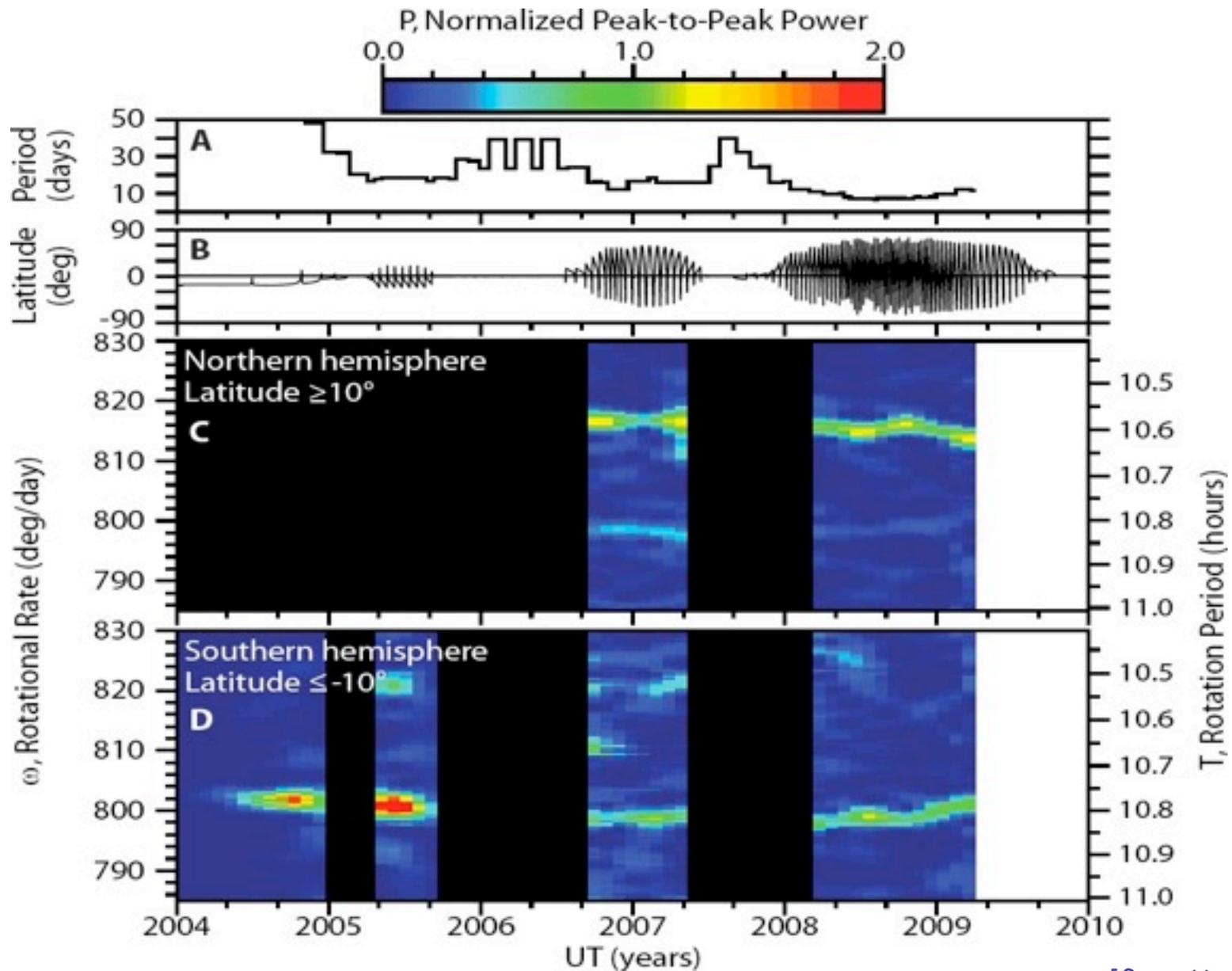
confiance=100%

- La rotation des planètes
- Les émissions radio « aurorales » des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation « radio » de Saturne
- Qu'est-ce qui « tourne » ?
- La rotation variable de Saturne
- La rotation double de Saturne ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Prélude à la suite ...

Deux périodes pour l'émission radio ...

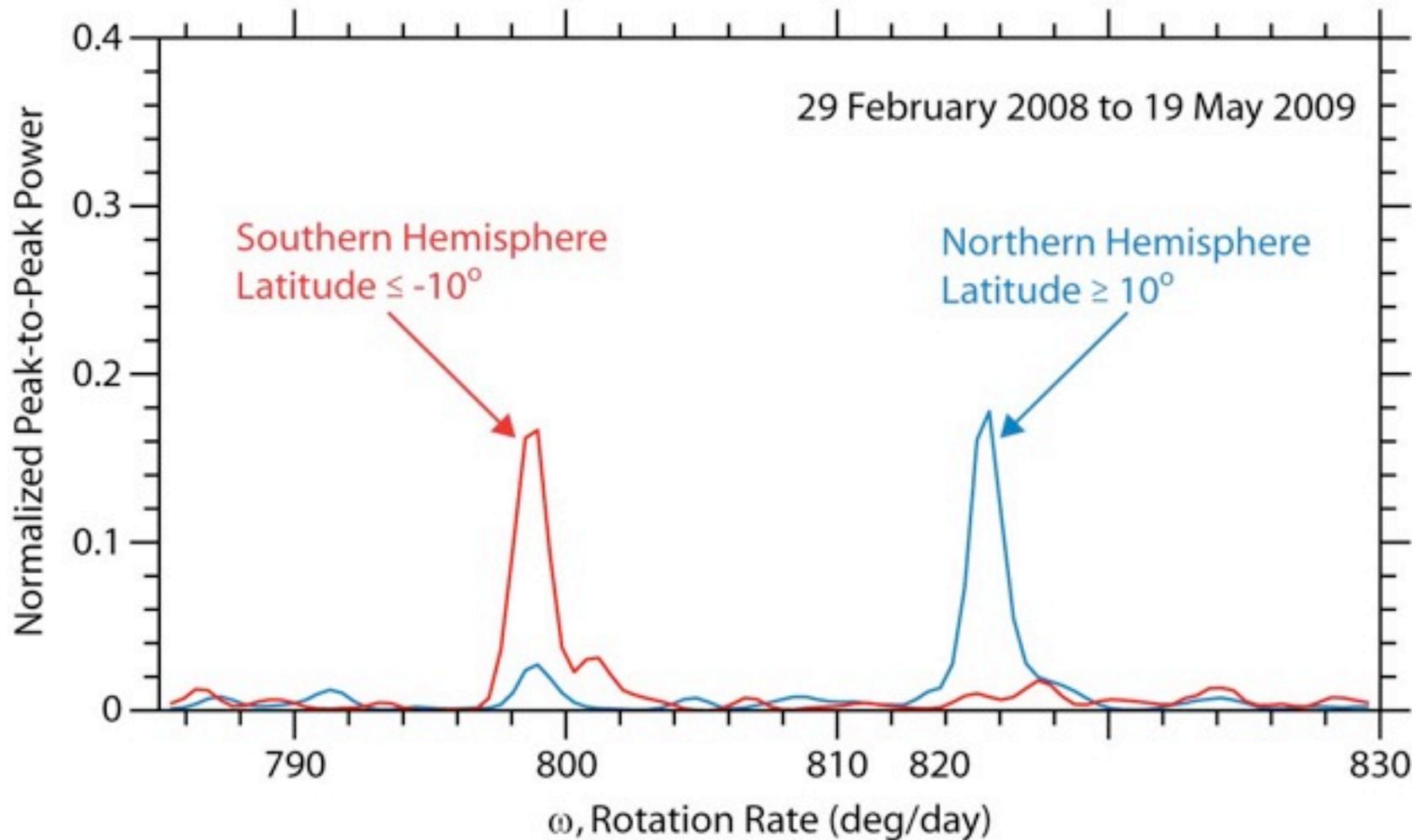


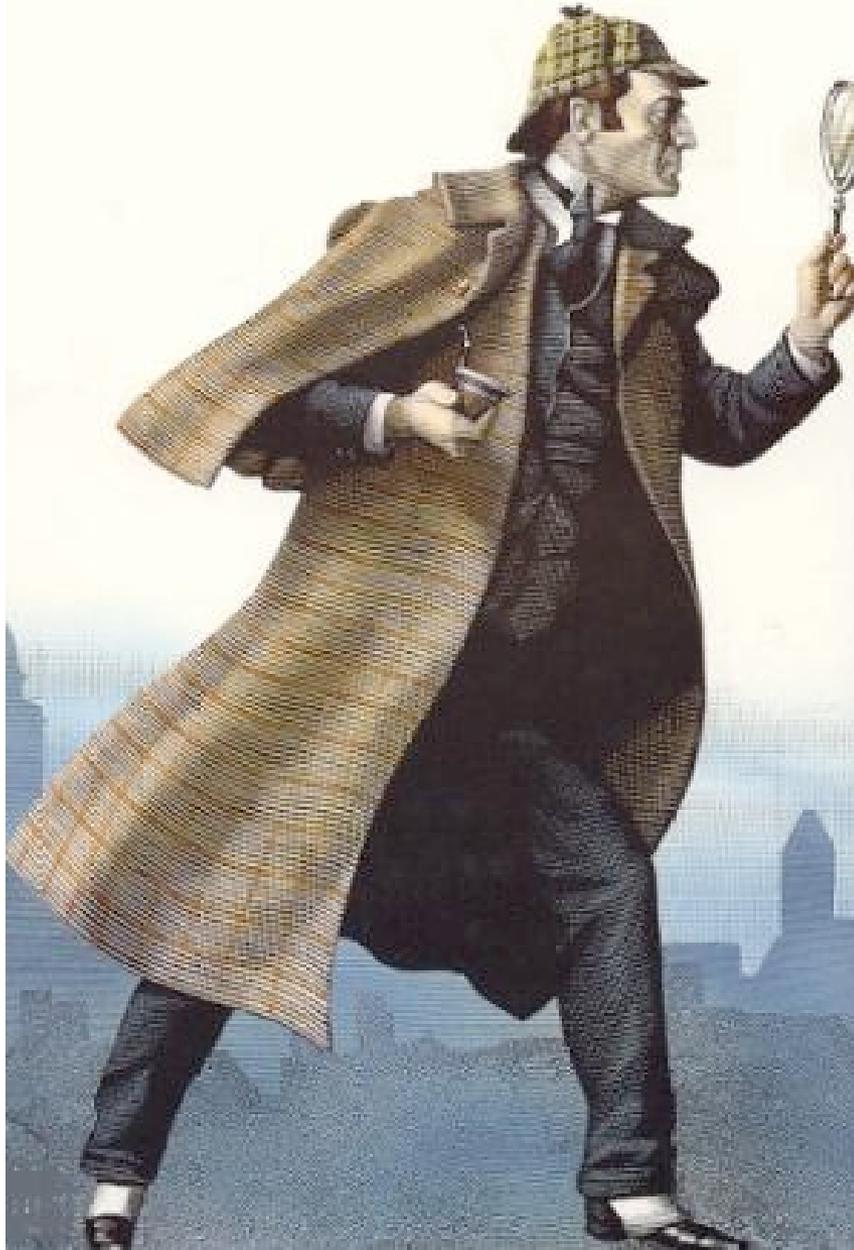
Une pour chaque hémisphère



Une pour chaque hémisphère

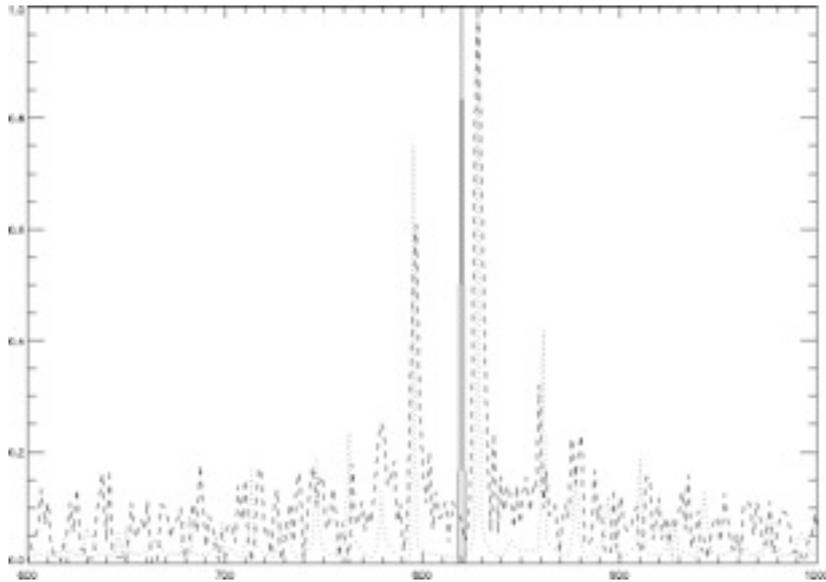
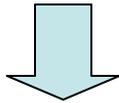
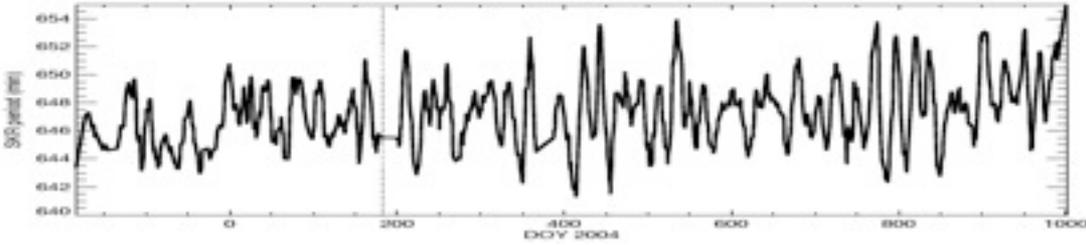
A-D09-065-2



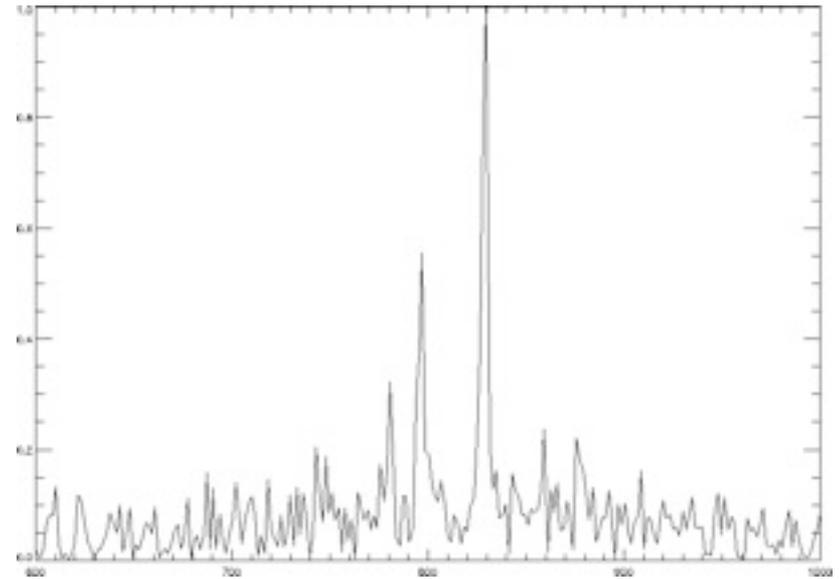


C'en est trop !
j'abandonne ...

Origine : une période oscillante ?

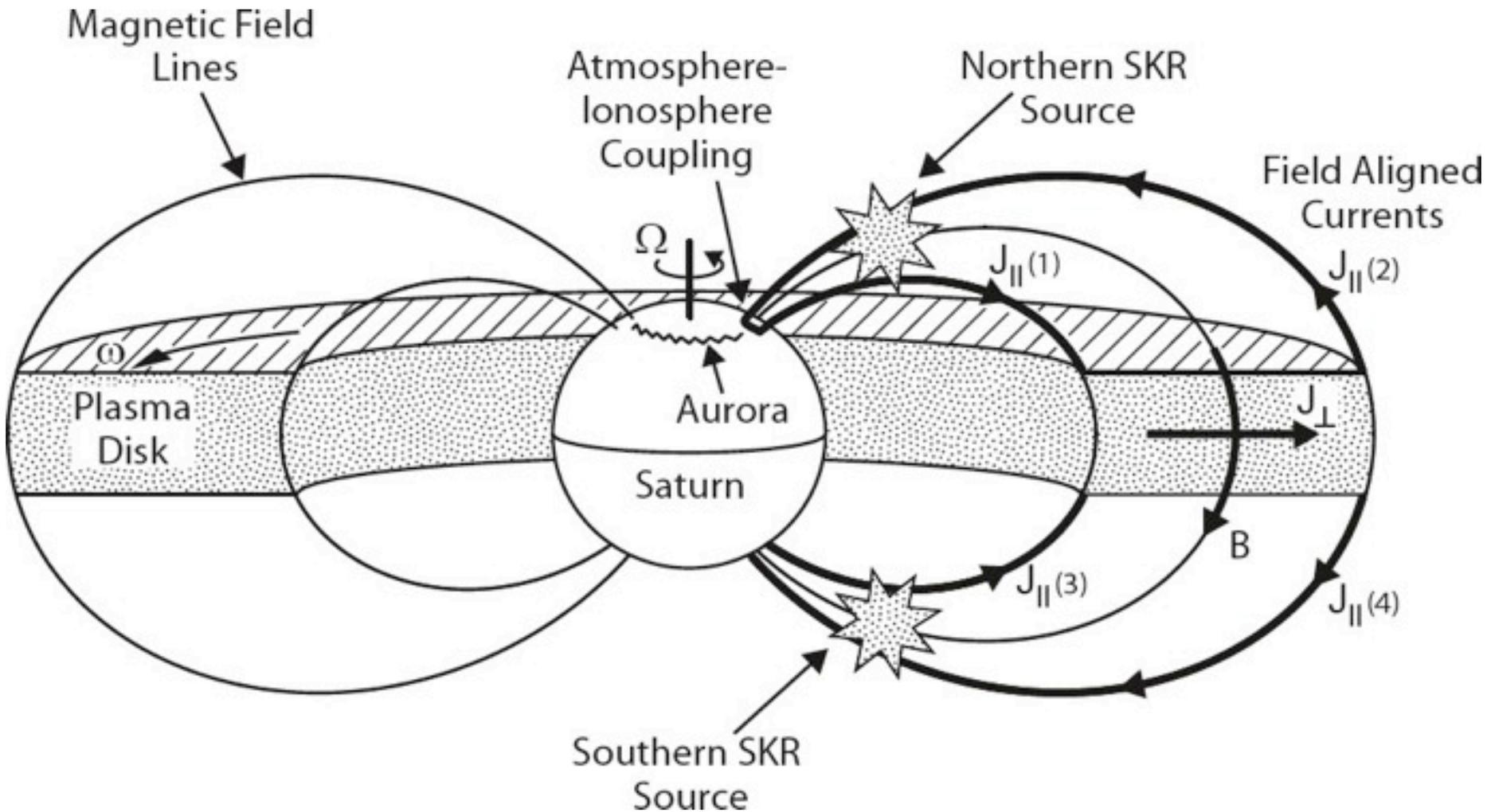


P_{Saturne}



P_{Radio}

Origine : un système de courants asymétrique ?



- La rotation des planètes
- Les émissions radio « aurorales » des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation « radio » de Saturne
- Qu'est-ce qui « tourne » ?
- La rotation variable de Saturne
- La rotation double de Saturne ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Prélude à la suite ...

Une tentative de détermination « non magnétosphérique » ...

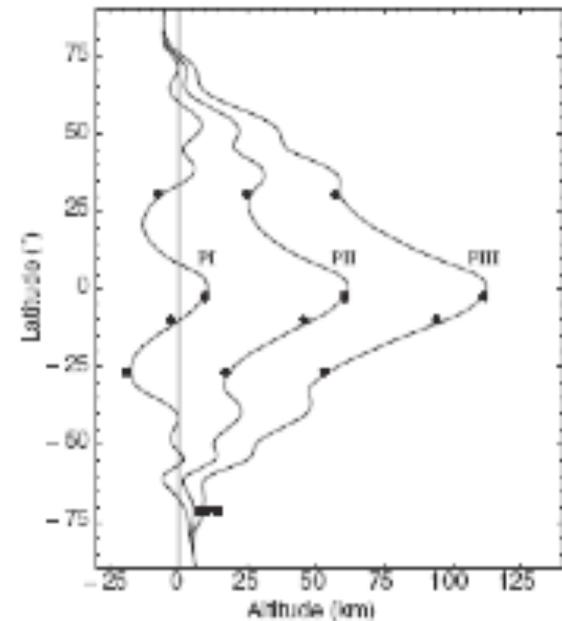
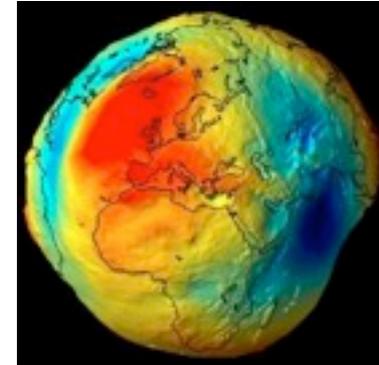
- Mesures :

- ✓ moments gravitationnels
- ✓ vitesse des vents à 100 mbar (nuages)
- ✓ rayon planétaire

→ Géoïde dépendant de la vitesse de rotation

- Equilibre de l'atmosphère ($F_{\text{centrifuge}} + F_{\text{coriolis}}$)
→ élévation des isobares / géoïde

- Minimisation de l'énergie des vents
→ $P = 10\text{h } 32\text{m } 35\text{s}$



... et sa critique

- Mais :

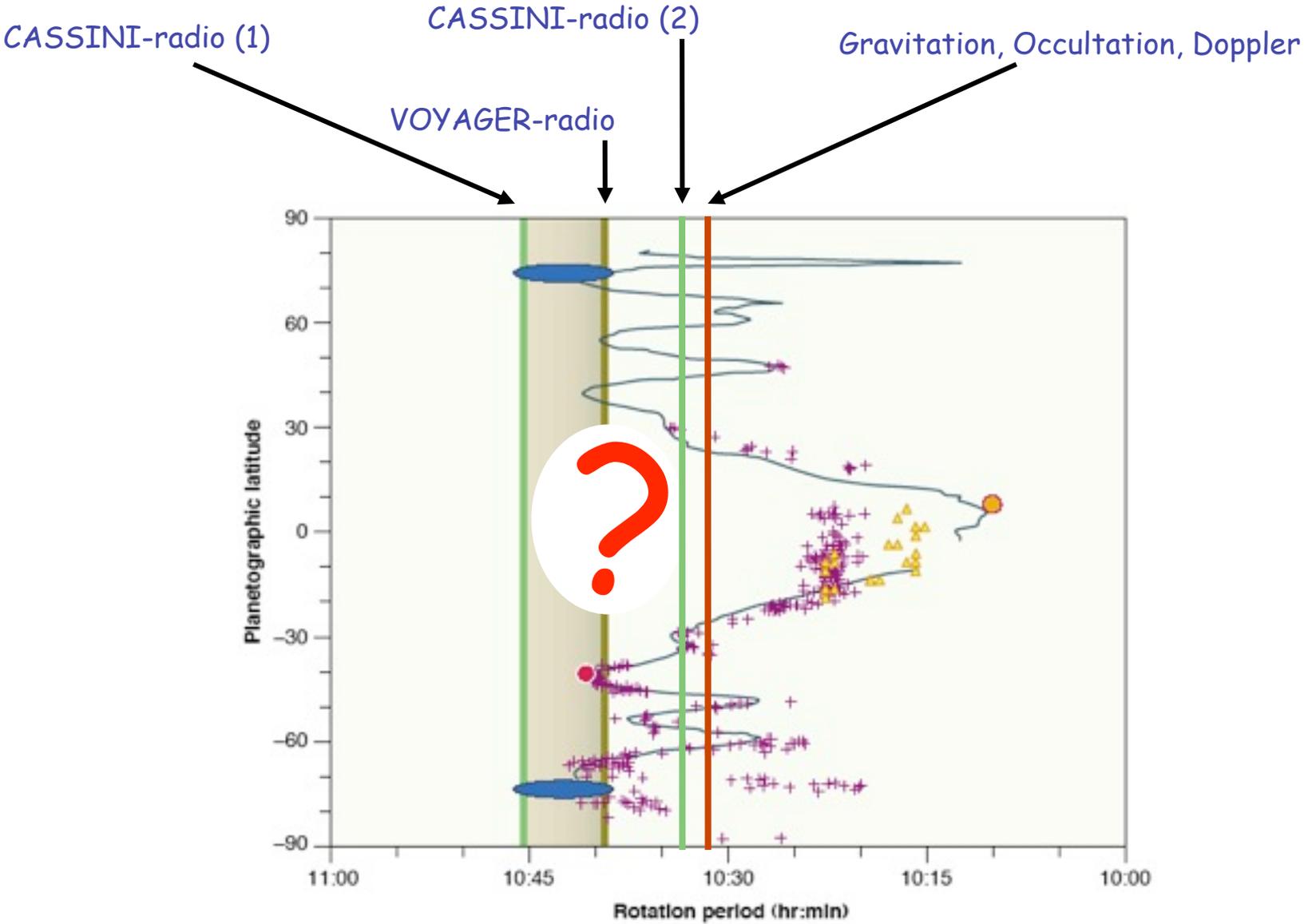
- ✓ les moments gravitationnels sondent les 20% les plus externes de la sphère planétaire
- ✓ les nuages, à ~500 mbar, tracent-ils vraiment le vent à 100 mbar

→ 2 hypothèses sous-jacentes

- ✓ la coquille externe tourne à la période de rotation interne (du cœur ?)
- ✓ le vent est uniforme dans la haute atmosphère

- En imposant à la rotation « interne » d'être égale en moyenne à celle des nuages, où est la contrainte sur la rotation interne ?

Quelle est la vitesse des vents atmosphériques ?

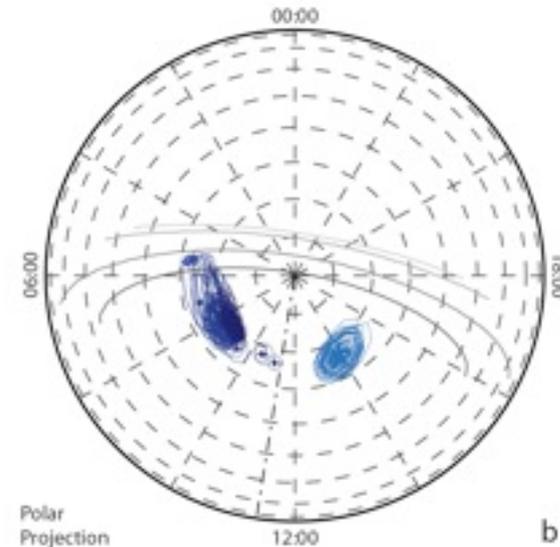
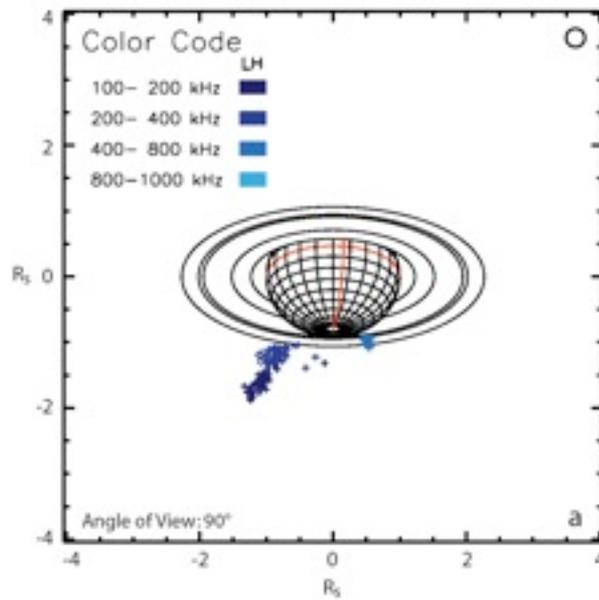
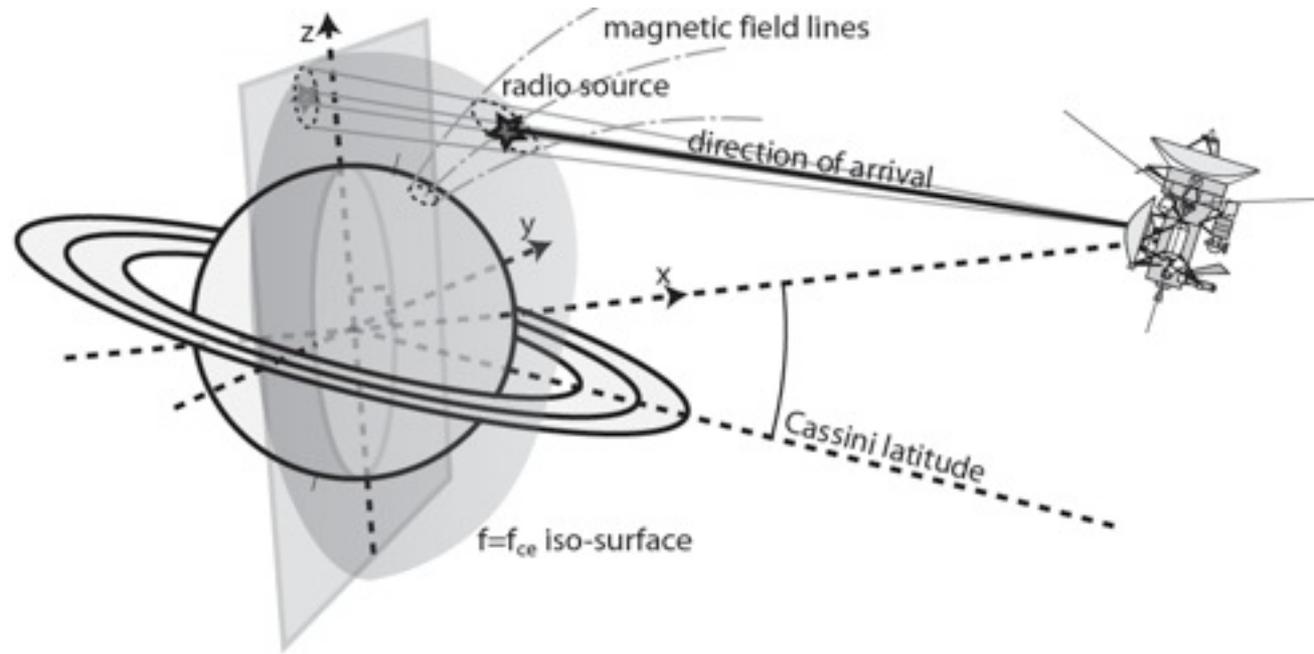


Y a-t-il UNE période de rotation interne de Saturne ?

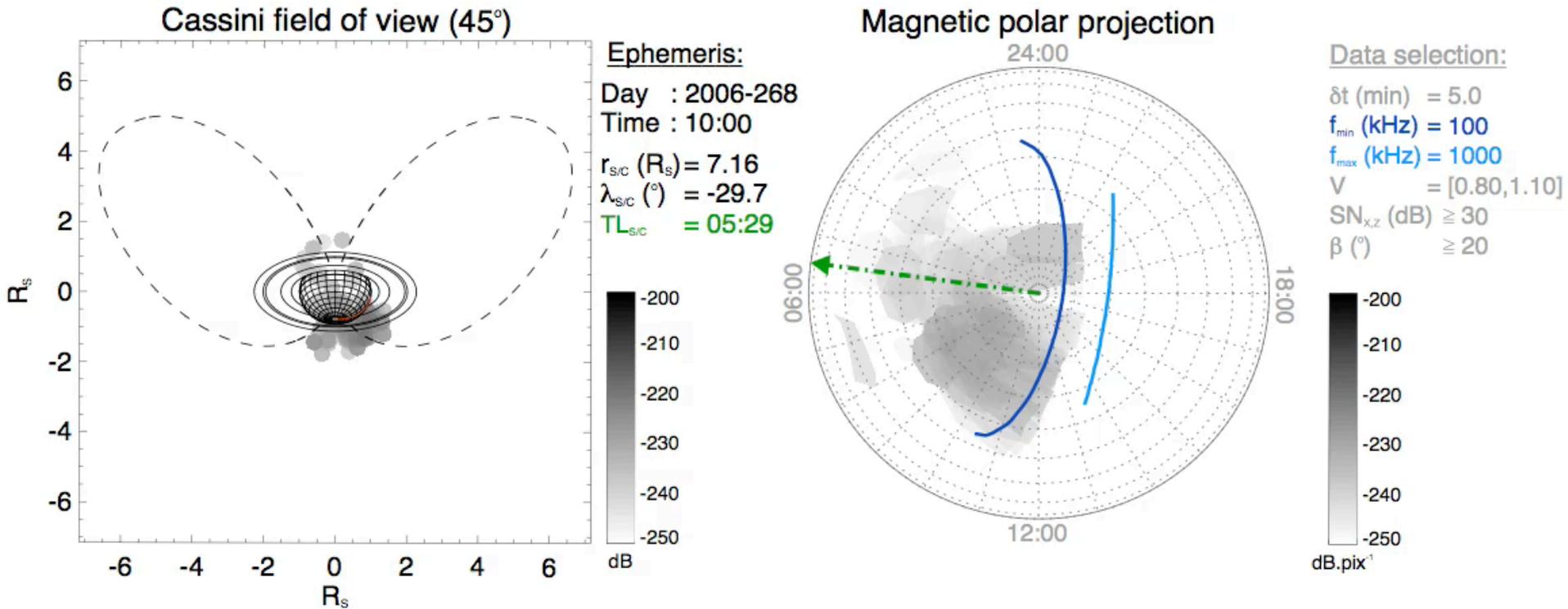
- Rotation différentielle fonction de la profondeur ?
- Rotation différentielle fonction de la latitude ?

- La rotation des planètes
- Les émissions radio « aurorales » des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation « radio » de Saturne
- Qu'est-ce qui « tourne » ?
- La rotation variable de Saturne
- La rotation double de Saturne ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Prélude à la suite ...

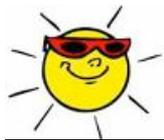
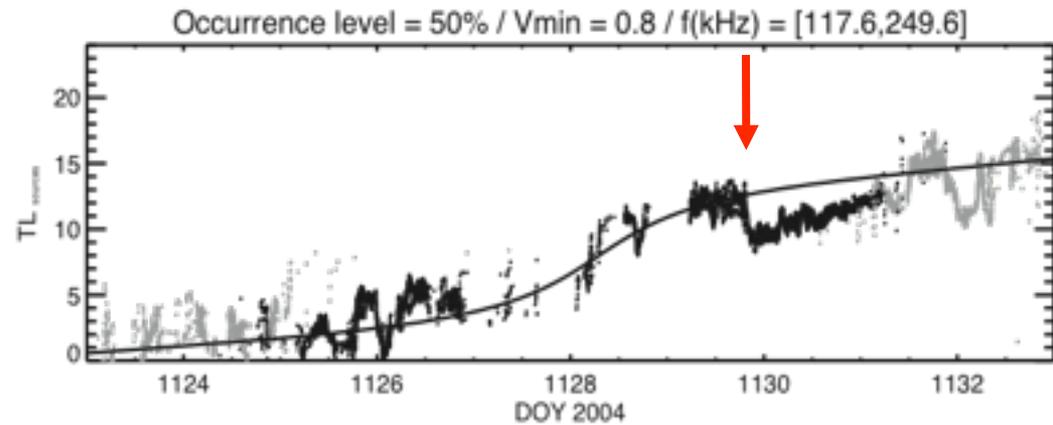
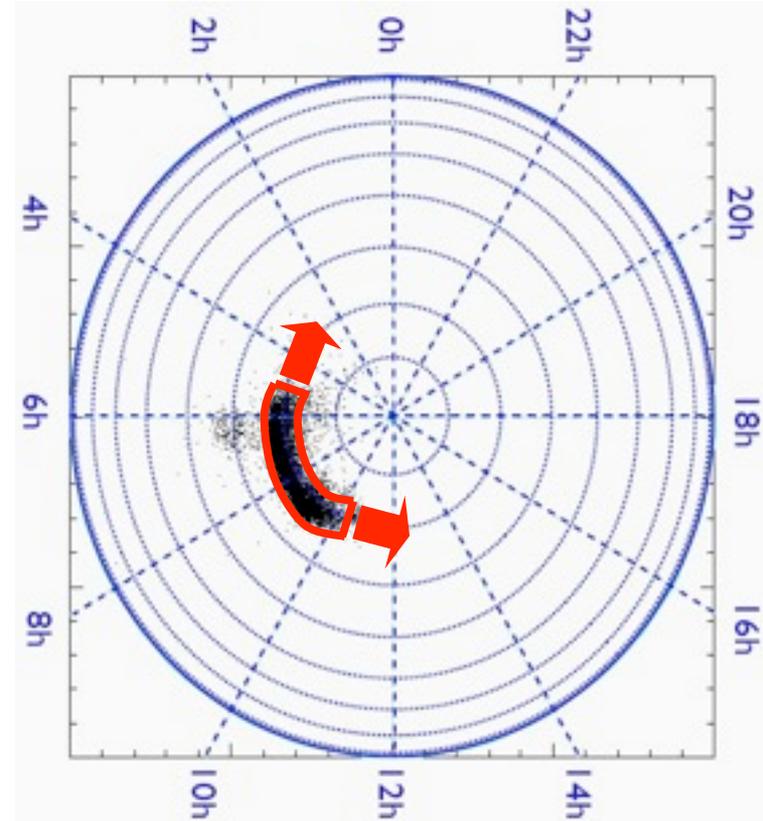
Imagerie 2D & 3D des radiosources avec Cassini



Imagerie 2D & 3D des radiosources avec Cassini

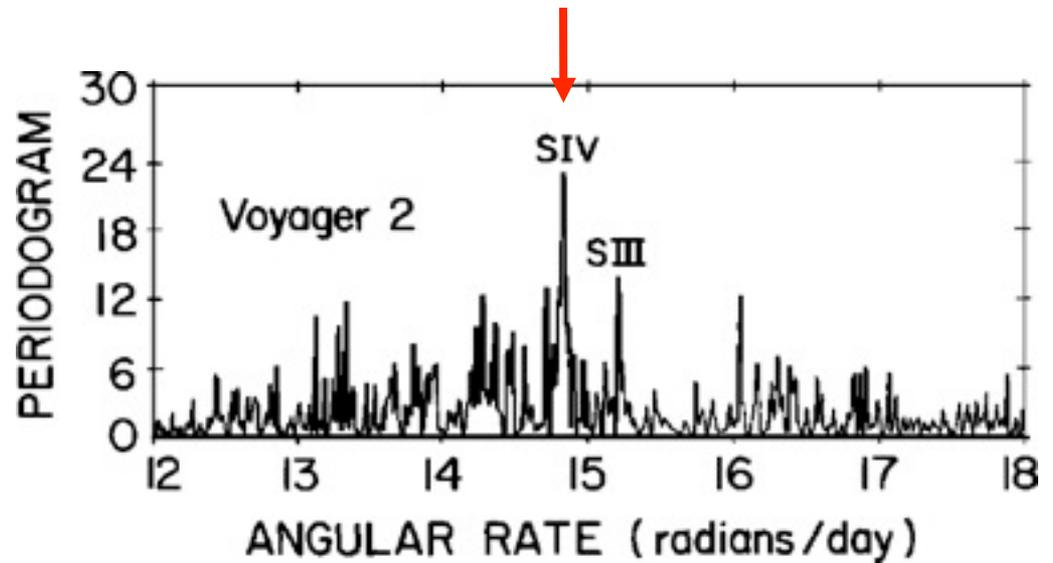


Analyse des mouvements des radiosources



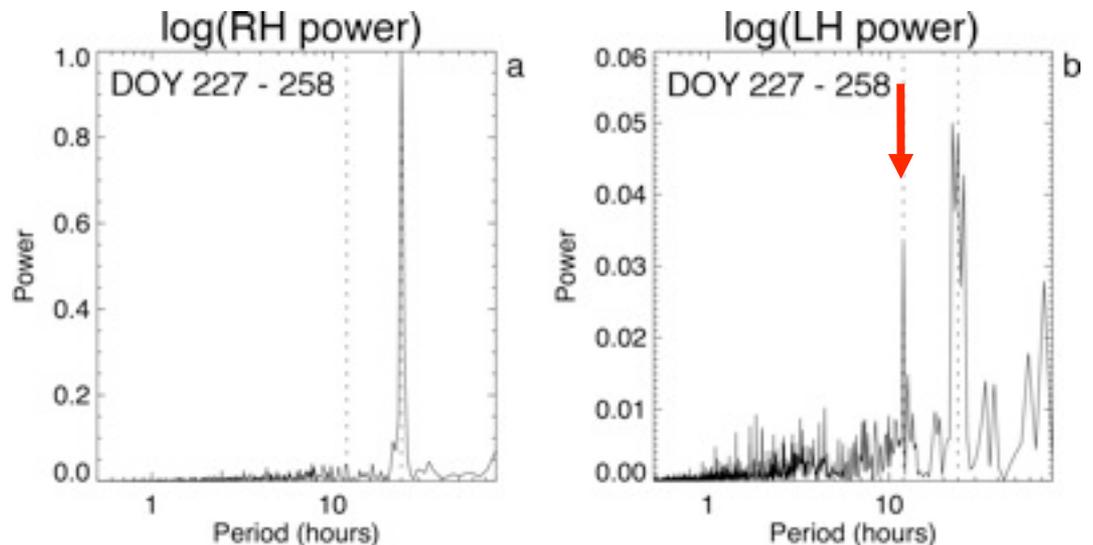
Existe-t-il des fluctuations de période similaires

sur Jupiter ?



(Yang et al., 1991)

sur la Terre ?



(Lamy et al., 2009b)

A suivre ...

