

L'énigme de la période radio variable de Saturne

Philippe Zarka

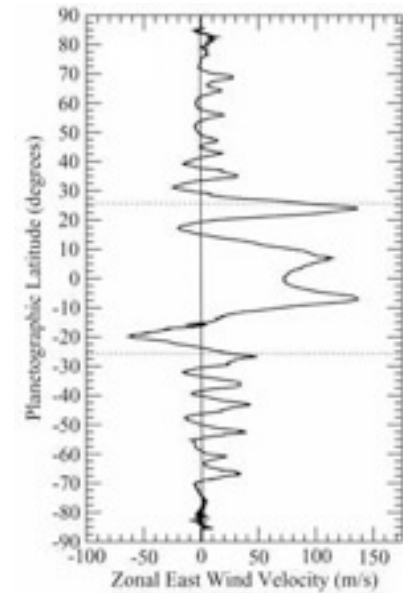
LESIA, CNRS - Observatoire de Paris, Meudon, France
philippe.zarka@obspm.fr

- La rotation des planètes
- Les émissions radio des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation de Saturne mesurée en radio
- La période radio variable de Saturne
- Pourquoi ça varie ?
- Comment ça marche ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Et après ...

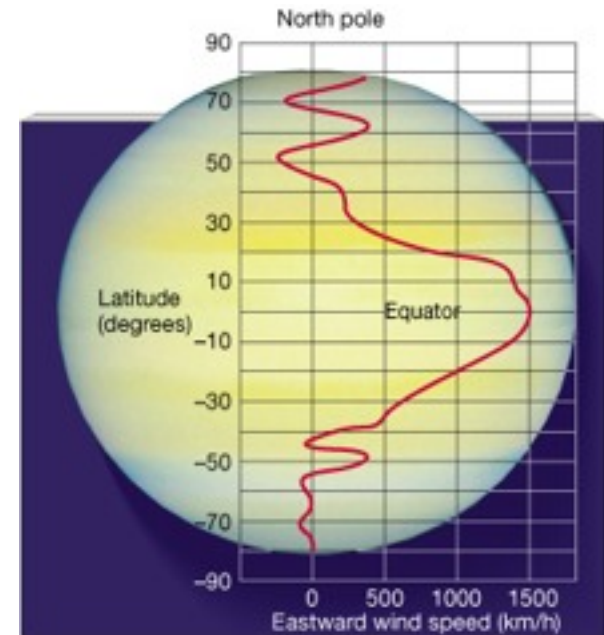
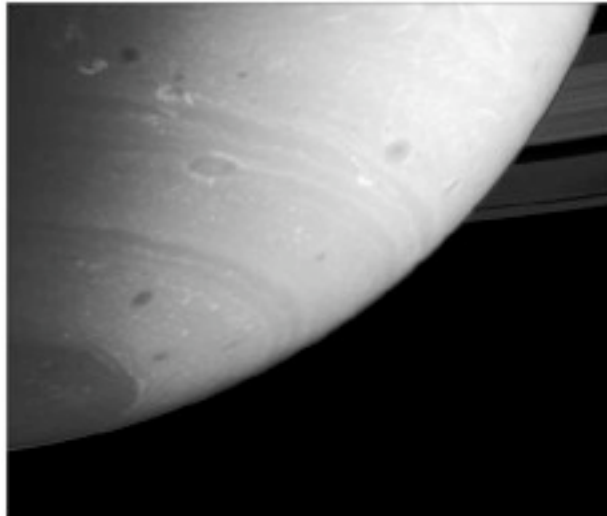
- La rotation des planètes
- Les émissions radio des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation de Saturne mesurée en radio
- La période radio variable de Saturne
- Pourquoi ça varie ?
- Comment ça marche ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Et après ...

La rotation planétaire mesurée en Visible est imprécise

Jupiter



Saturne

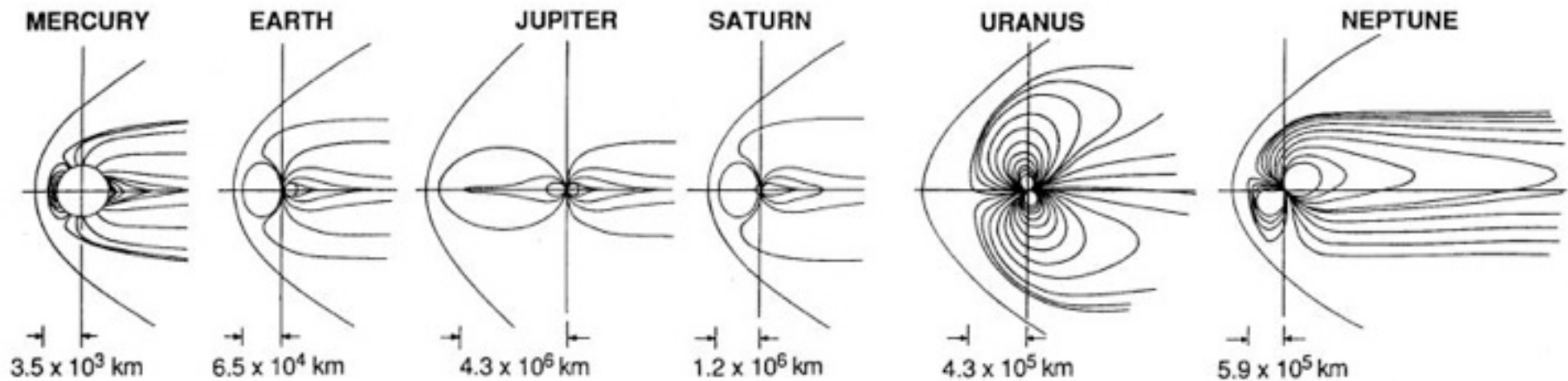
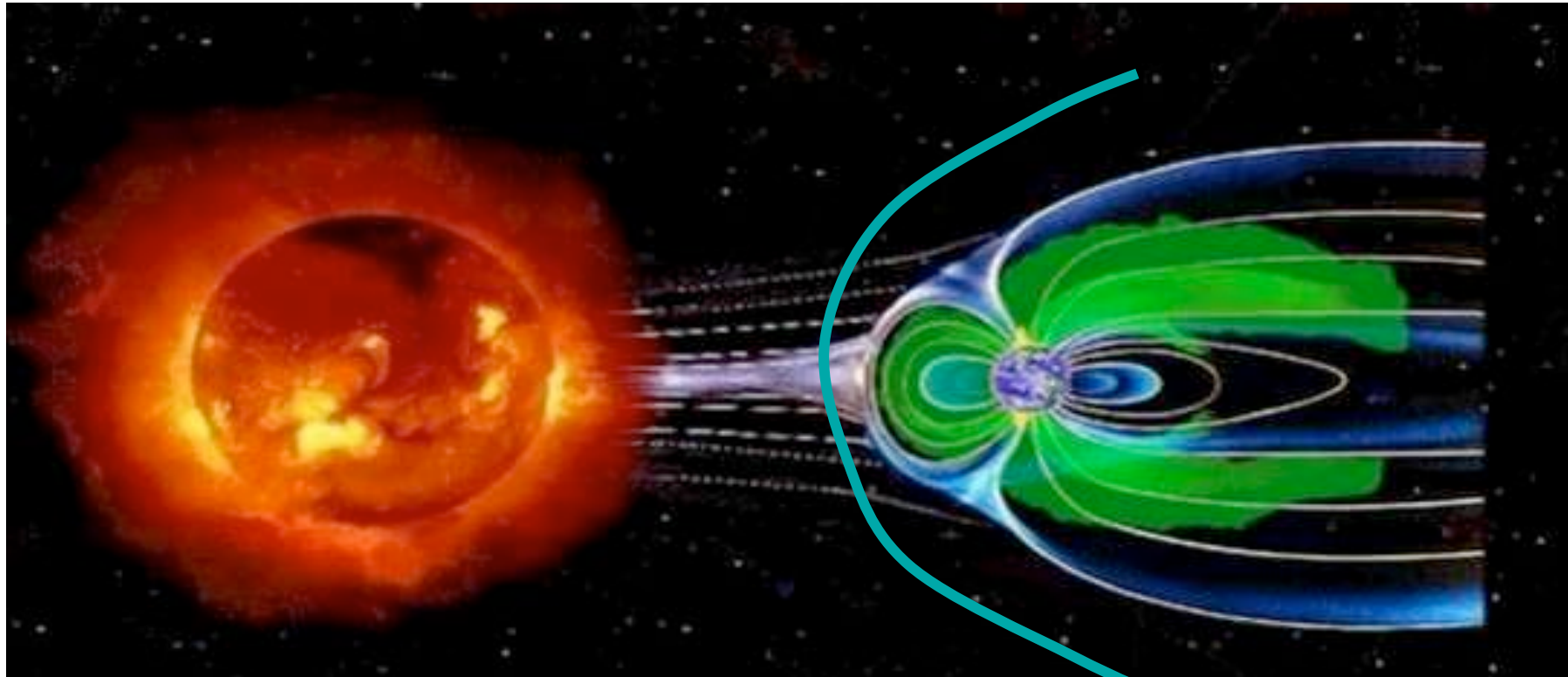


Enjeux de la mesure de la rotation planétaire (interne)

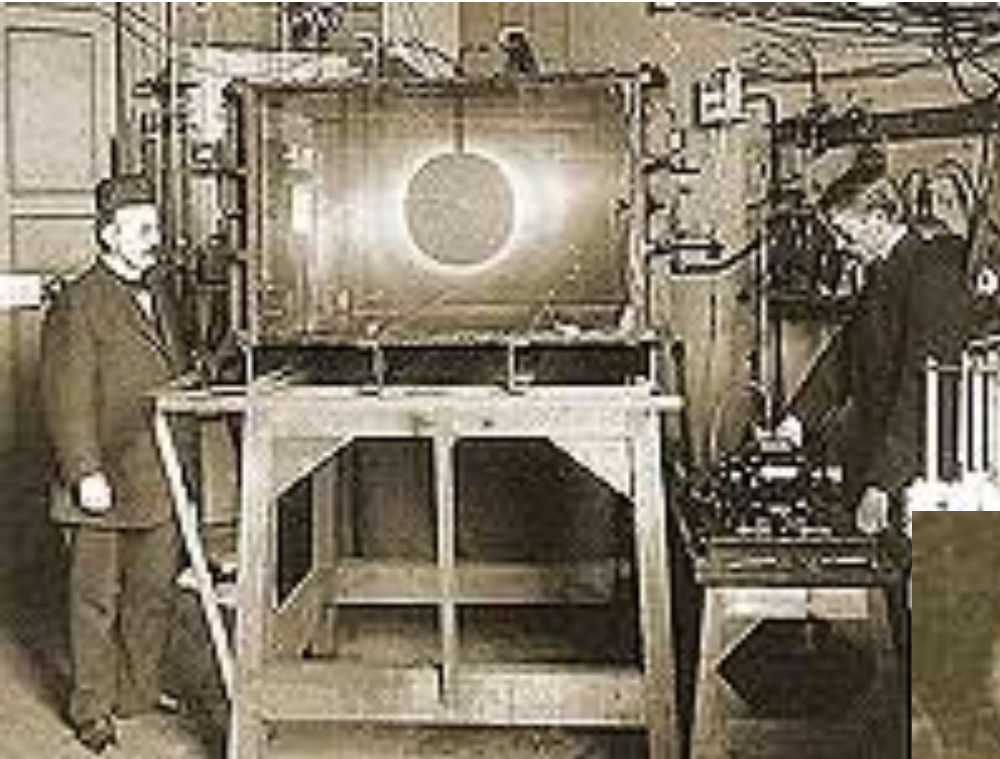
- Vitesse des vents
- Structure interne
- Modèles de formation
- Forme de la planète
- Système de référence de longitudes

- La rotation des planètes
- Les émissions radio des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation de Saturne mesurée en radio
- La période radio variable de Saturne
- Pourquoi ça varie ?
- Comment ça marche ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Et après ...

Magnétosphères planétaires



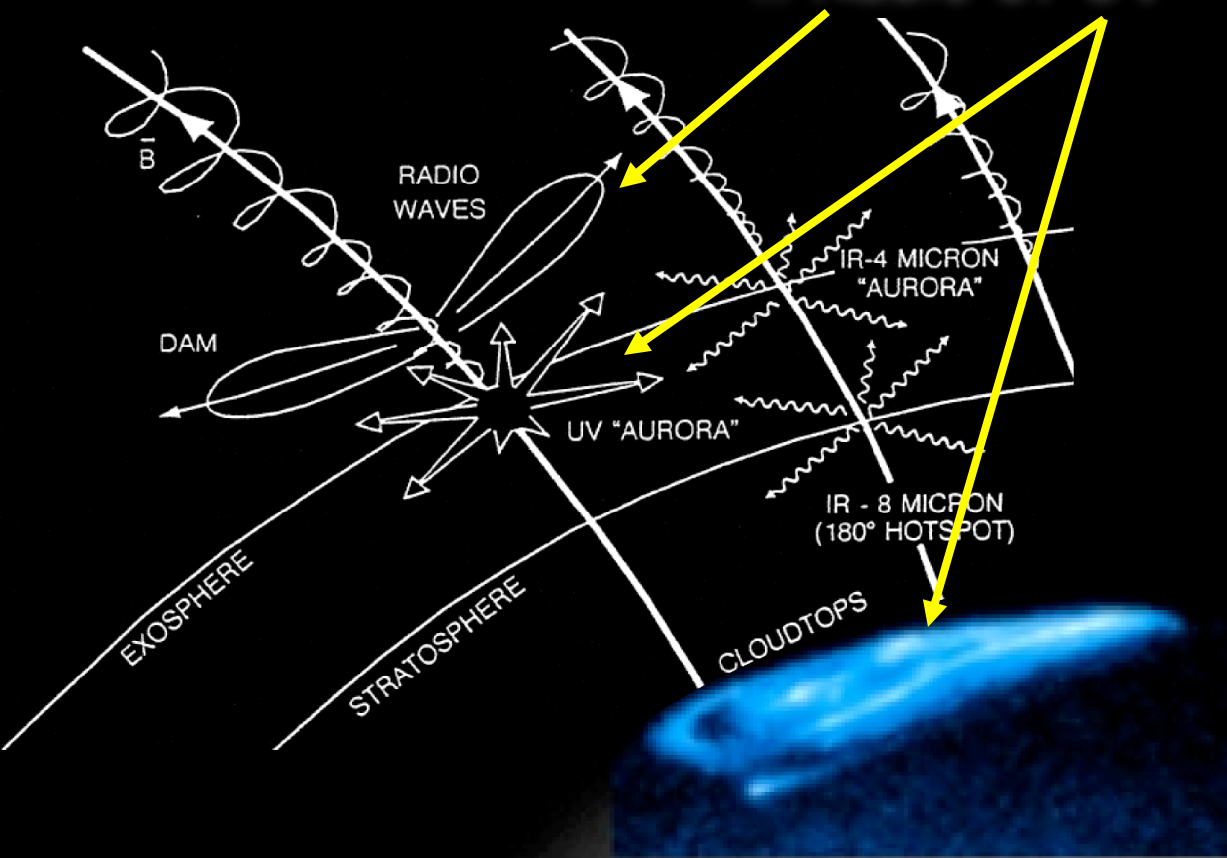
Électrons accélérés → émissions aurorales ...



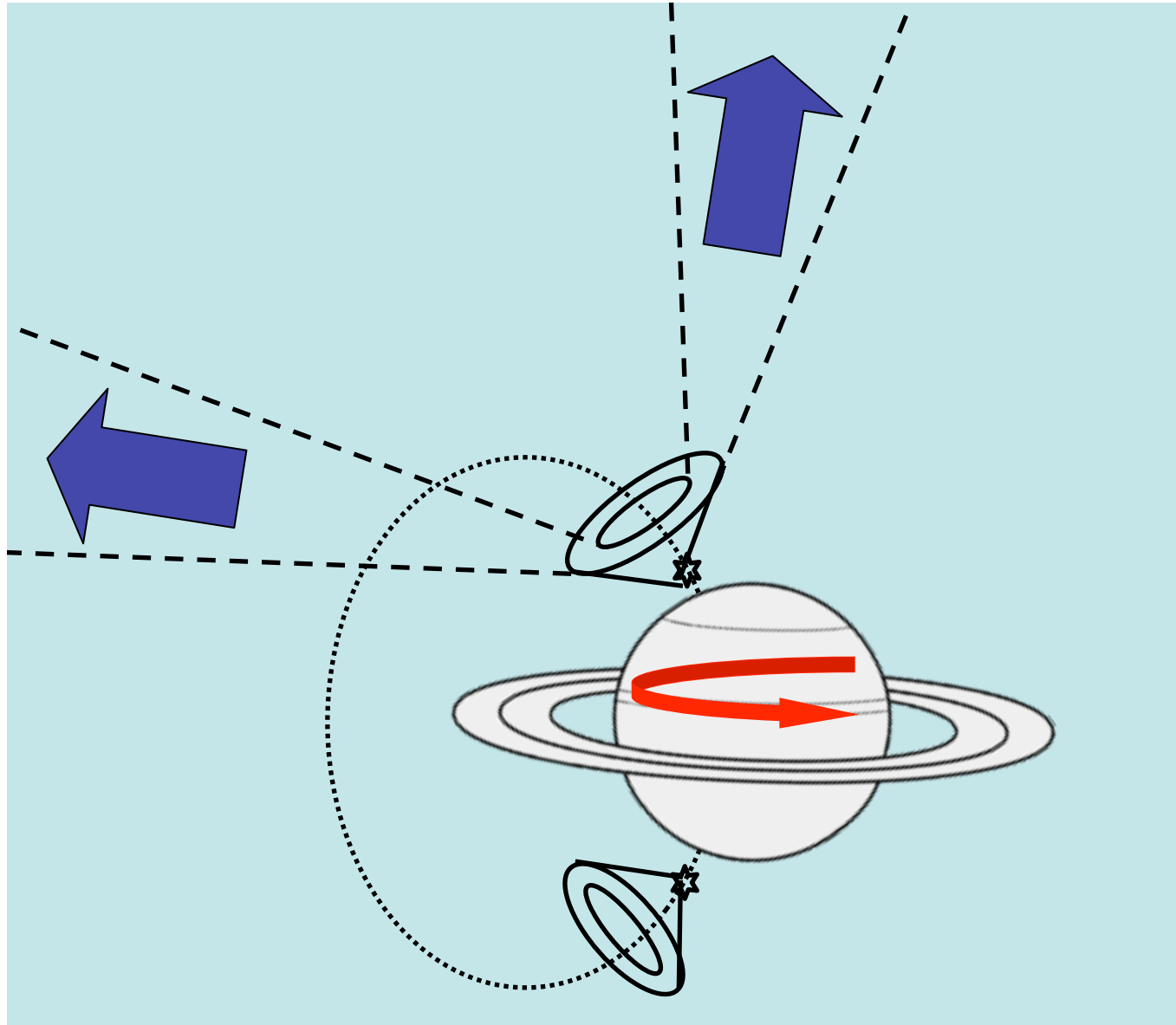
La « Terella » de Birkeland [1910]



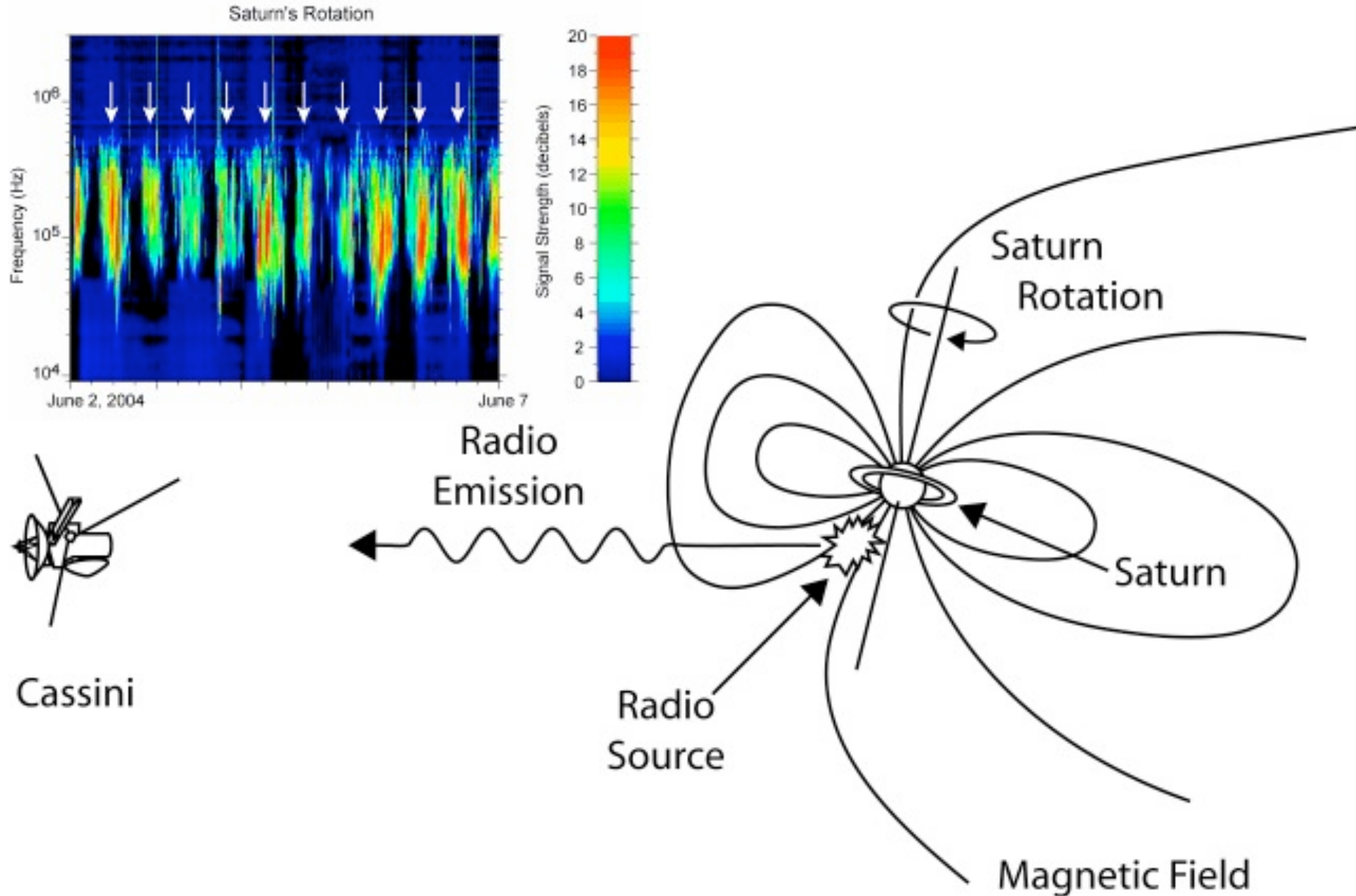
... Radio et UV



Rotation du (des) faisceau(x) Radio ...

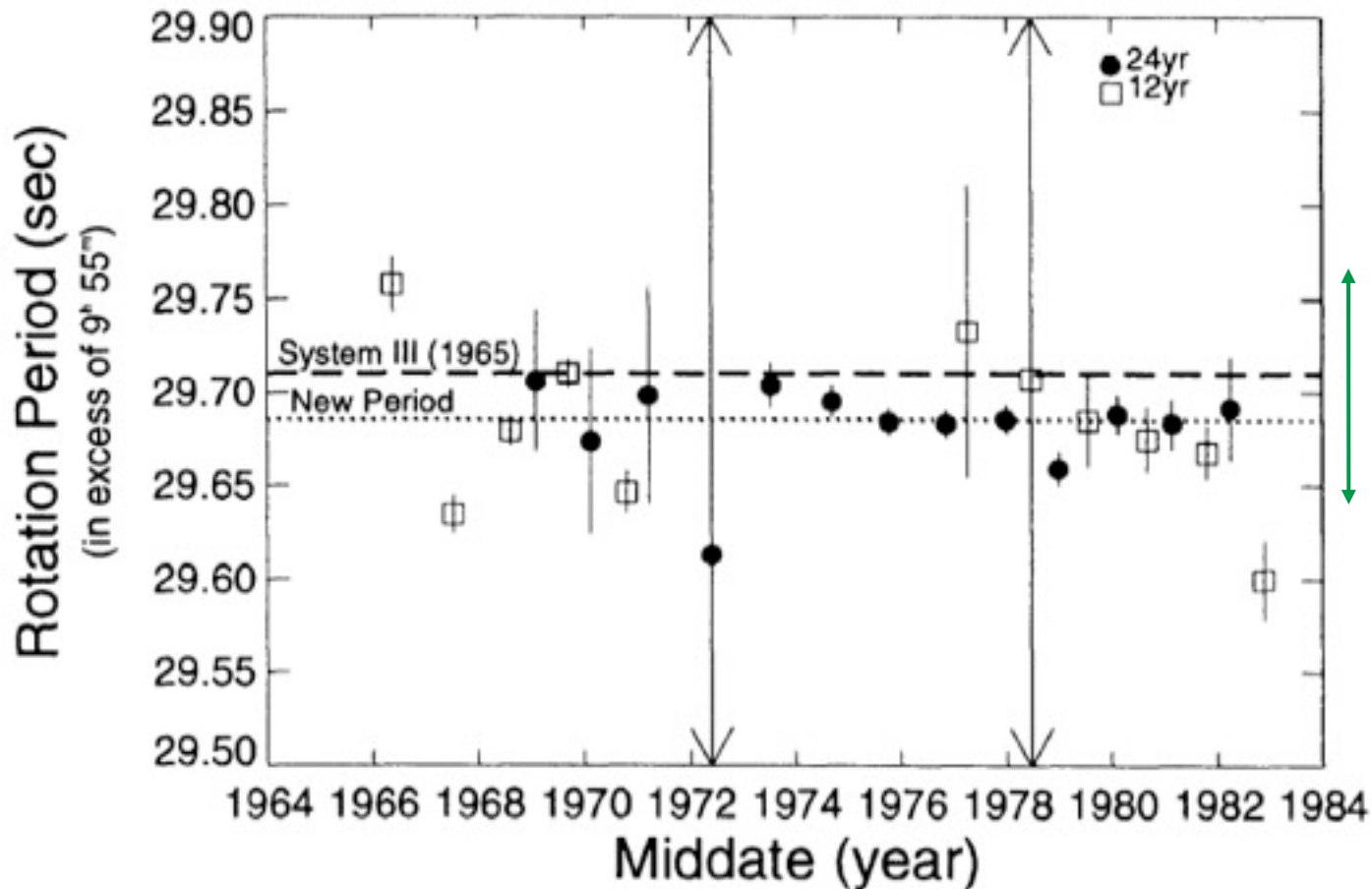


→ Variation périodique des émissions radio



Rotation de Jupiter

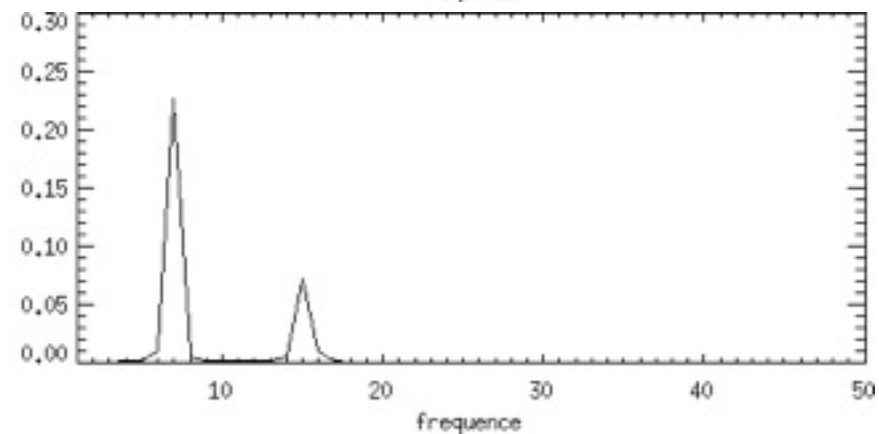
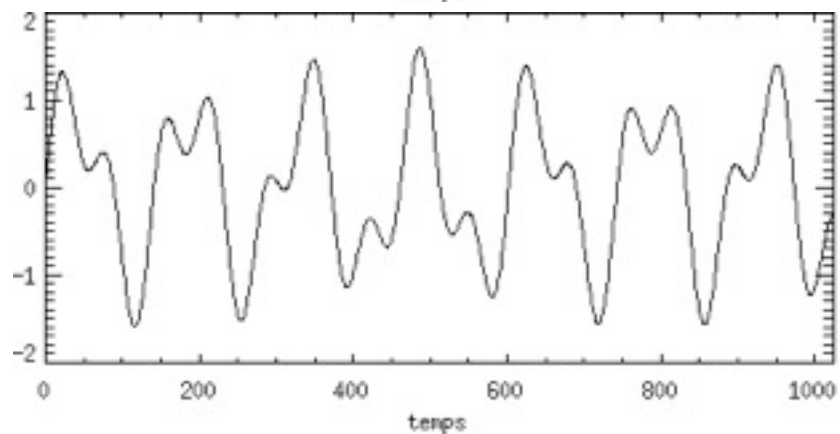
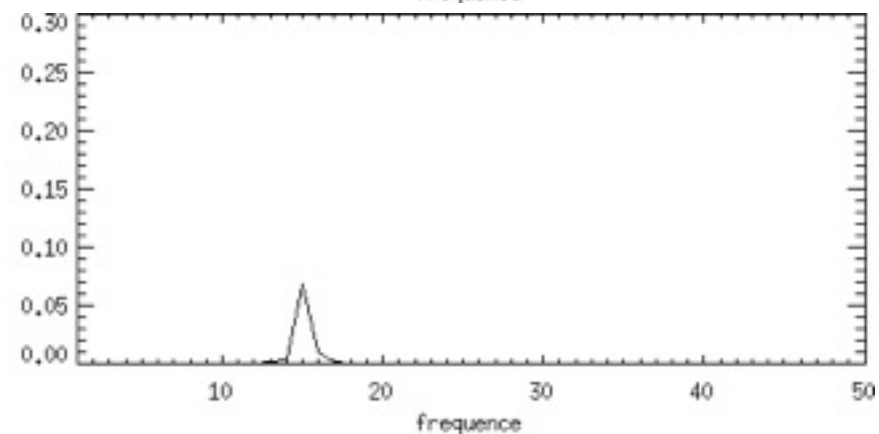
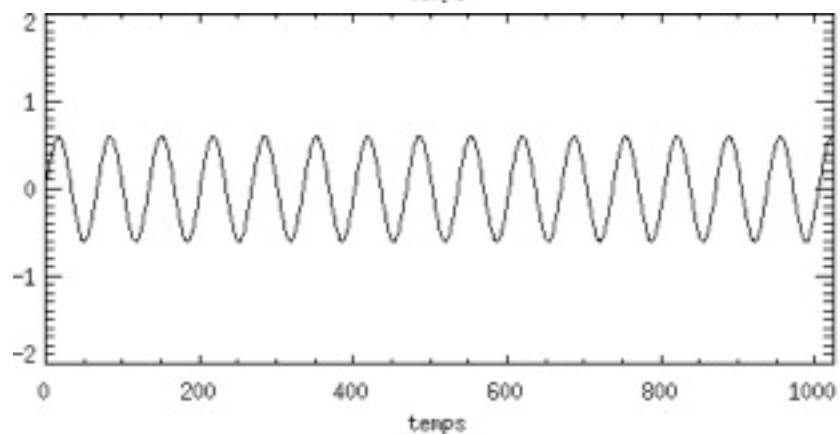
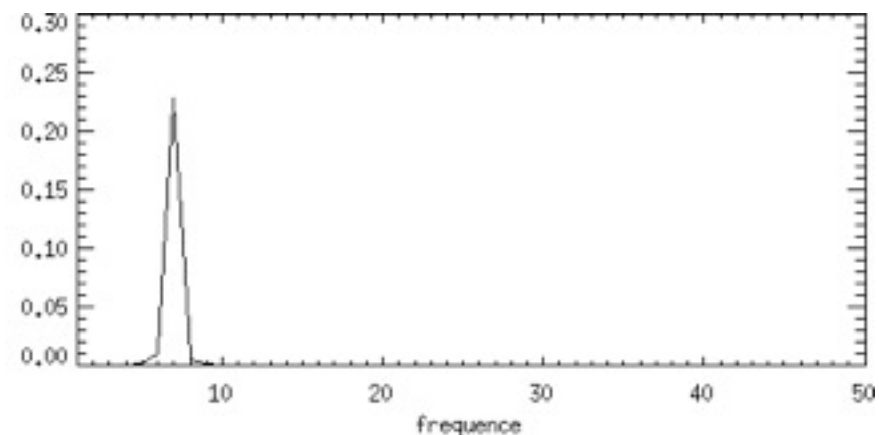
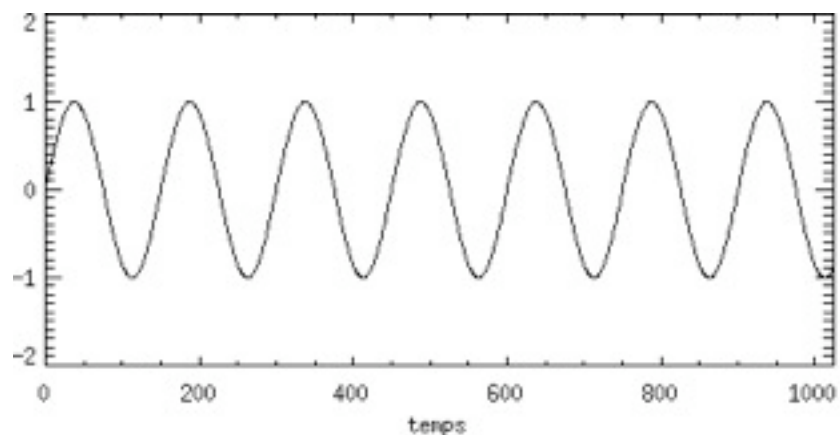
- Analyse de 24 ans d'observations radio à partir du sol
⇒ Période = 9h 55m 29,685s ± 0,04s



0,08 s
=
3 millionièmes

- La rotation des planètes
- Les émissions radio des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation de Saturne mesurée en radio
- La période radio variable de Saturne
- Pourquoi ça varie ?
- Comment ça marche ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Et après ...

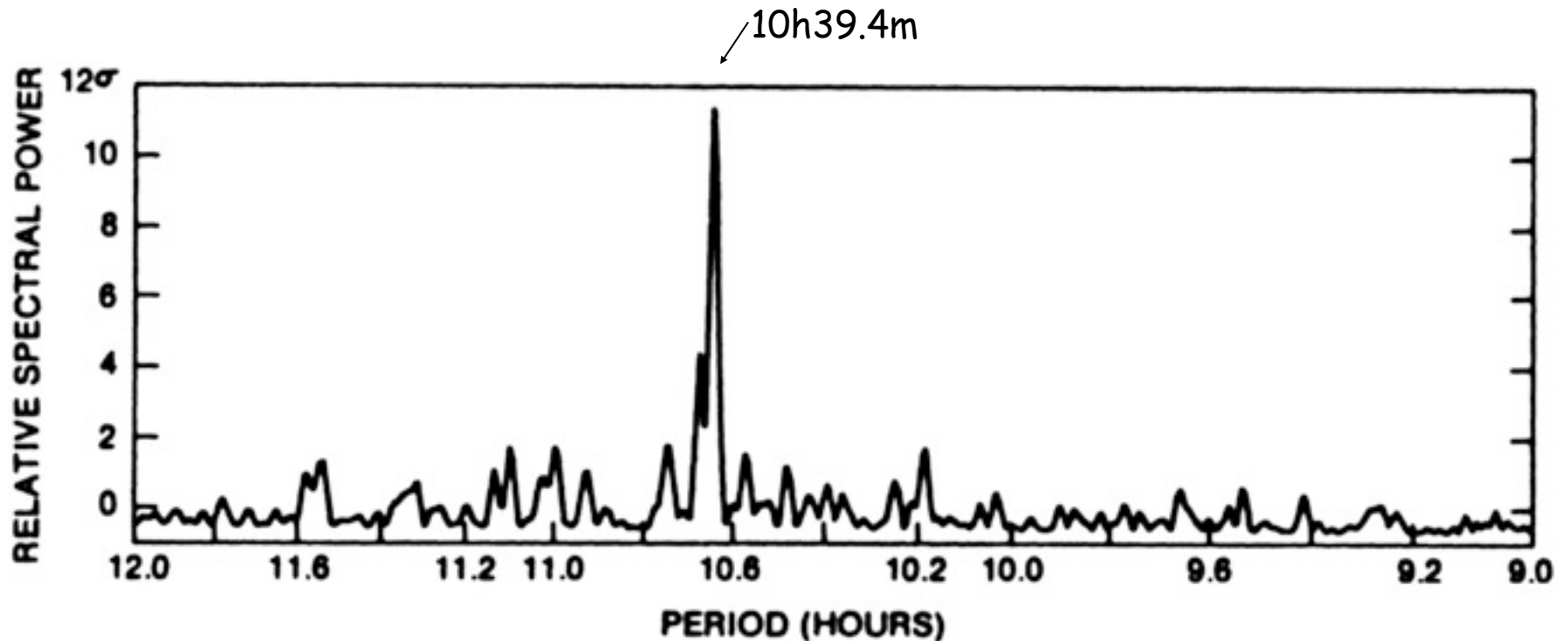
Phénomène Mesure



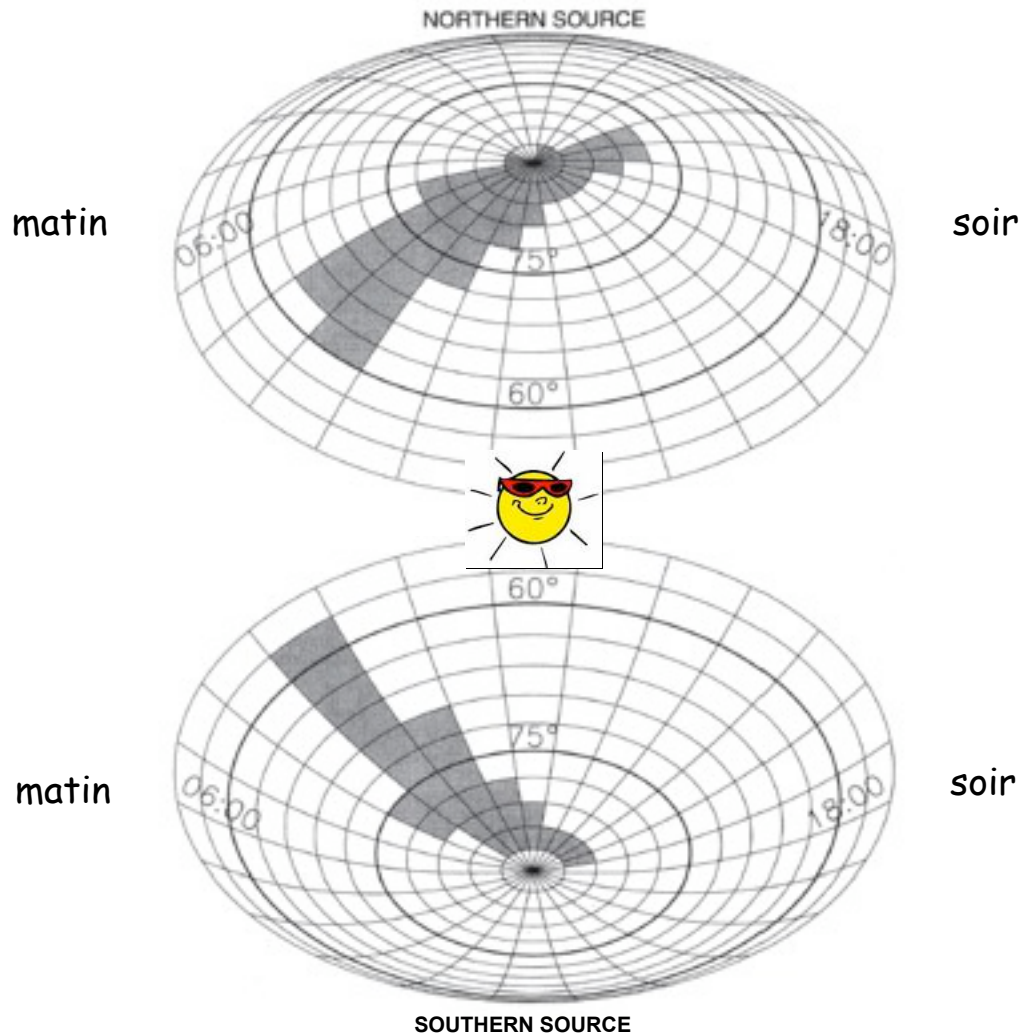
- La rotation des planètes
- Les émissions radio des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation de Saturne mesurée en radio
- La période radio variable de Saturne
- Pourquoi ça varie ?
- Comment ça marche ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Et après ...

Rotation de Saturne

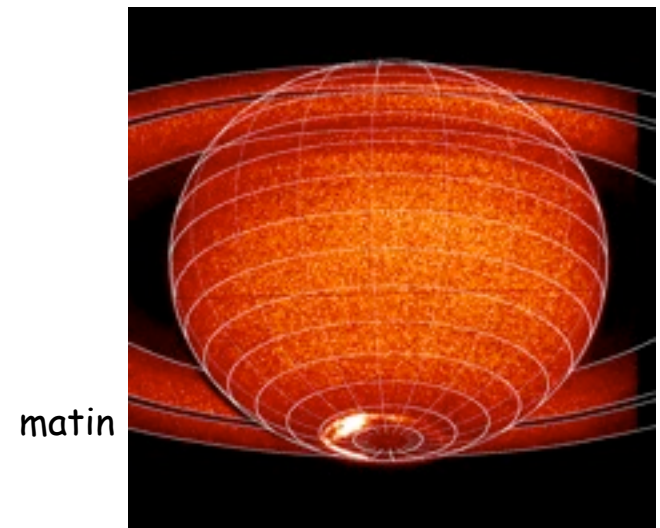
- Analyse de 267 jours d'observations par Voyager 1
⇒ $P_{SKR} = 10\text{h } 39\text{m } 24\text{s} \pm 7\text{s}$ (~2 dix-millièmes)



Les sources aurorales Radio (et UV) de Saturne sont fixes dans l'espace

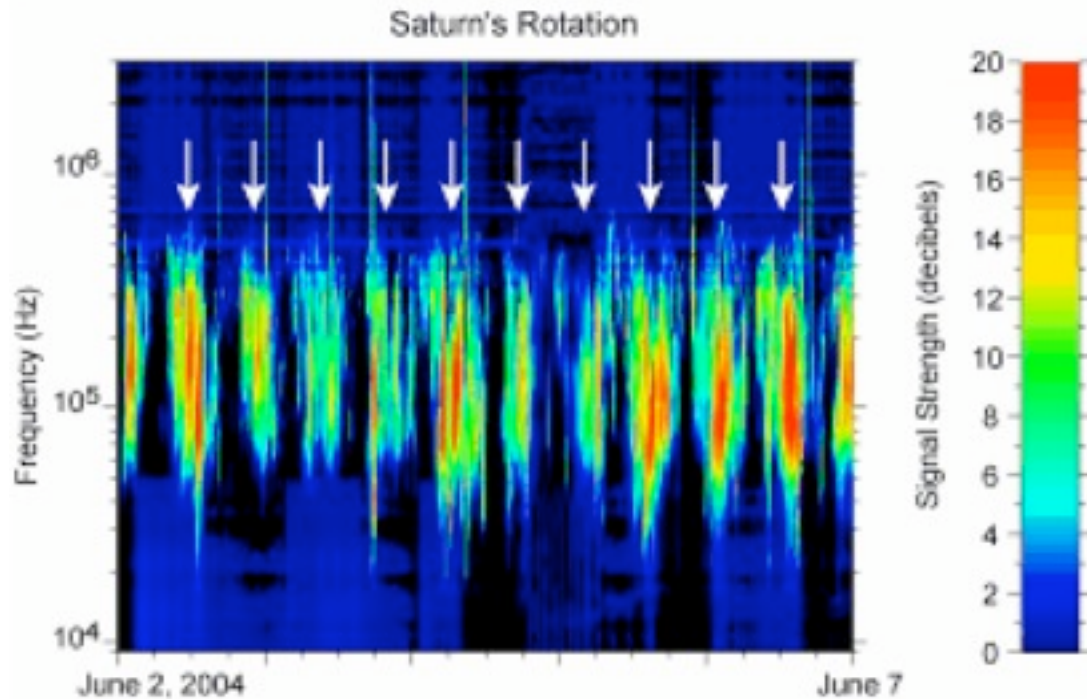


[Galopeau, Zarka, LeQuéau, 1995]

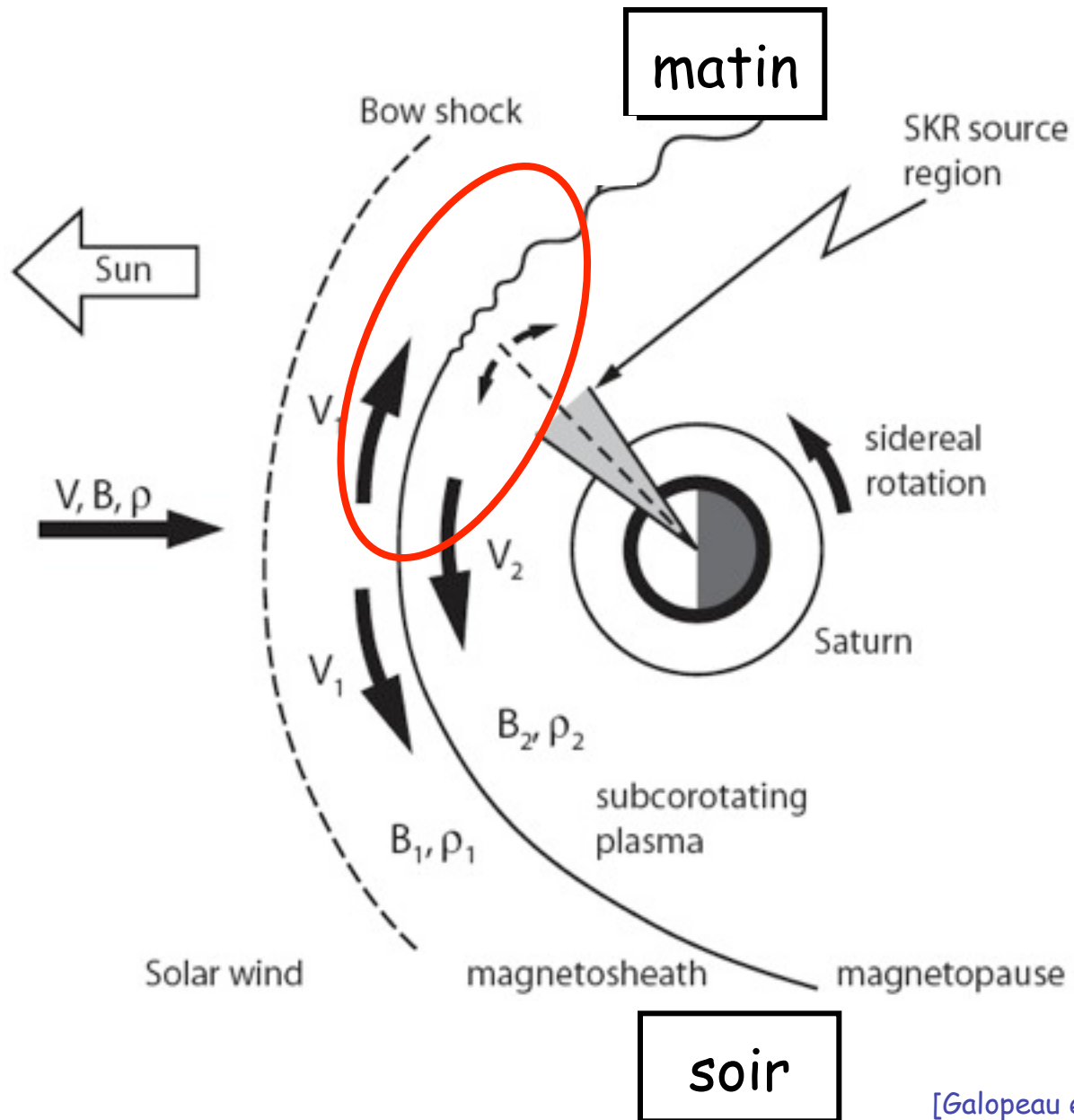


[Prangé et al., 2004]

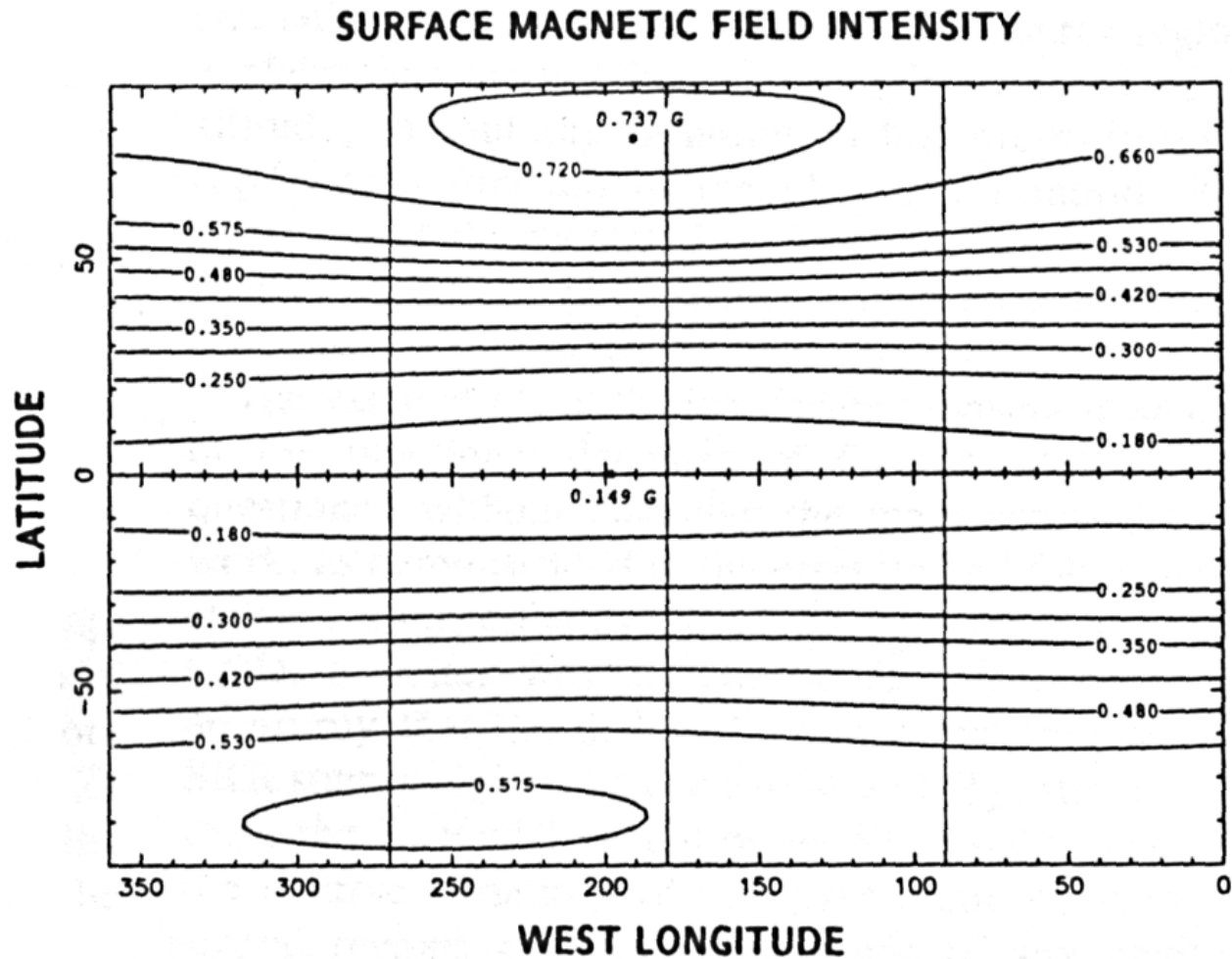
→ La modulation des émissions radio est
« stroboscopique »



Source des émissions côté « matin »

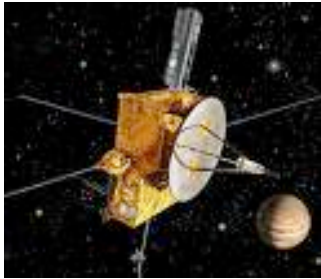


+ « anomalie » magnétique en rotation

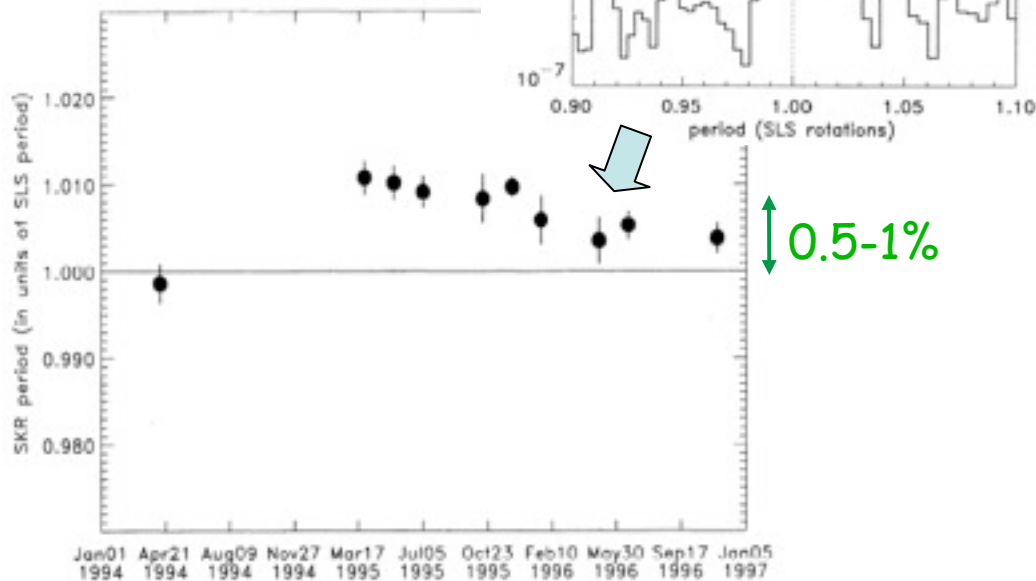


- La rotation des planètes
- Les émissions radio des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation de Saturne mesurée en radio
- La période radio variable de Saturne
- Pourquoi ça varie ?
- Comment ça marche ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Et après ...

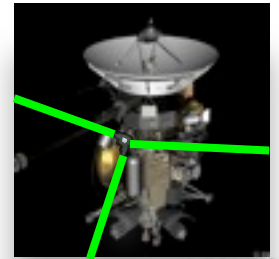
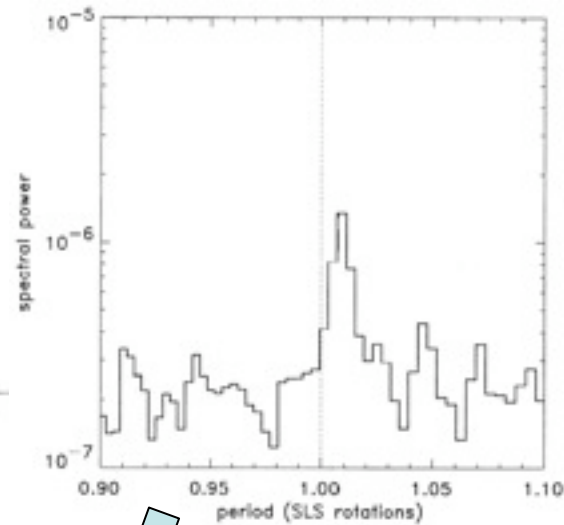
La période radio variable de Saturne



Ulysses

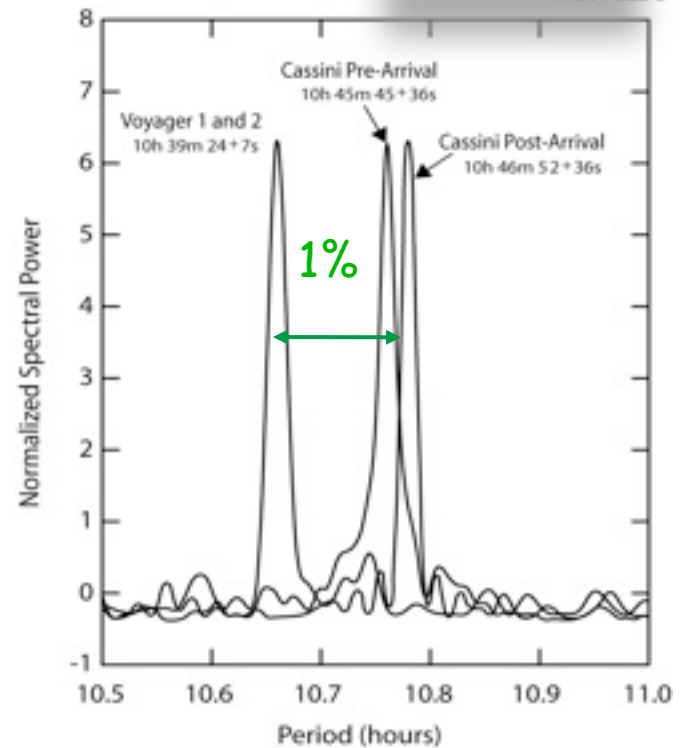


[Galopeau & Lecacheux, 2000]



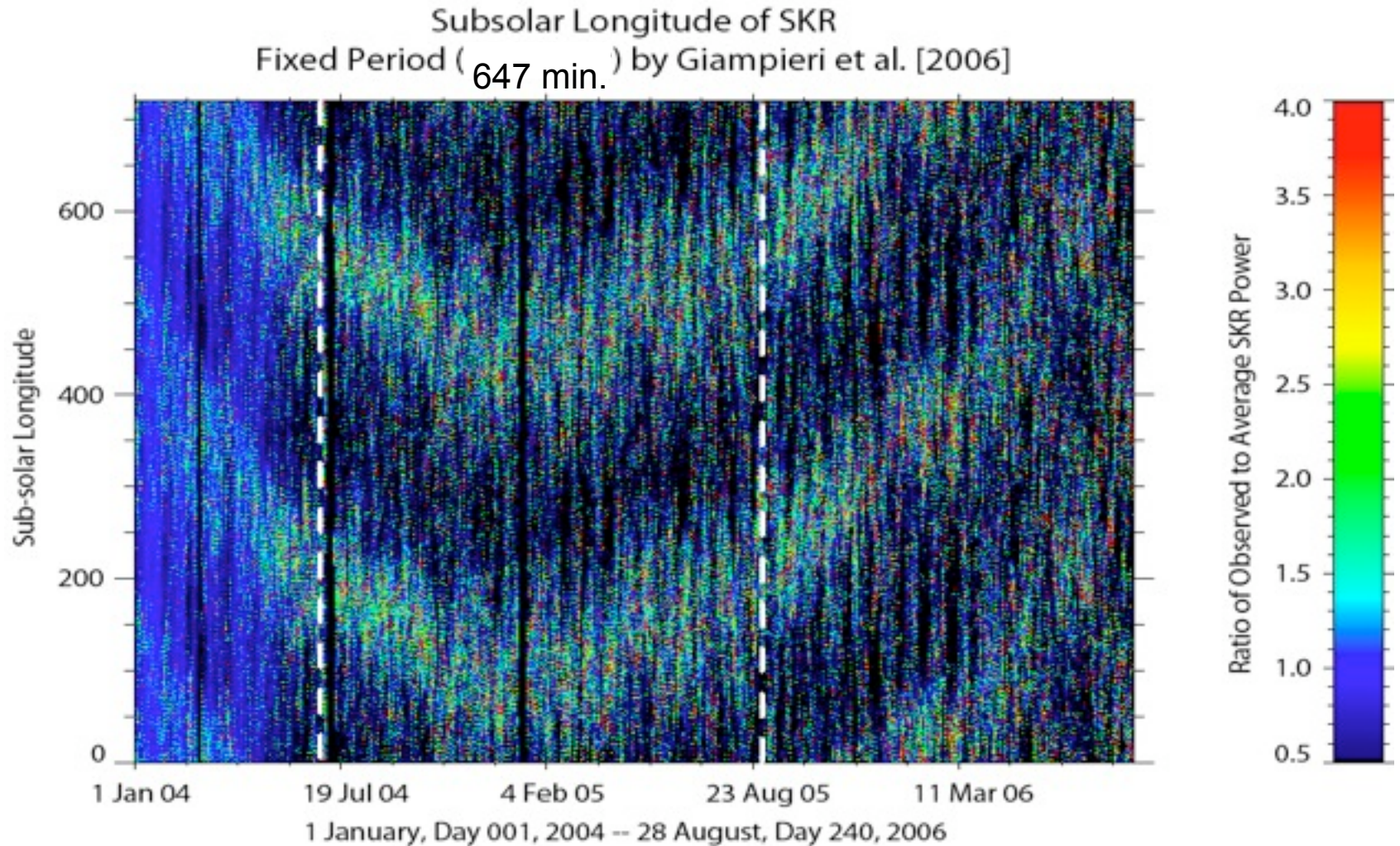
A-D04-222-8

Cassini



[Gurnett et al., 2005]

La période radio variable de Saturne



[Kurth et al., 2007]

Des variations similaires pour ...

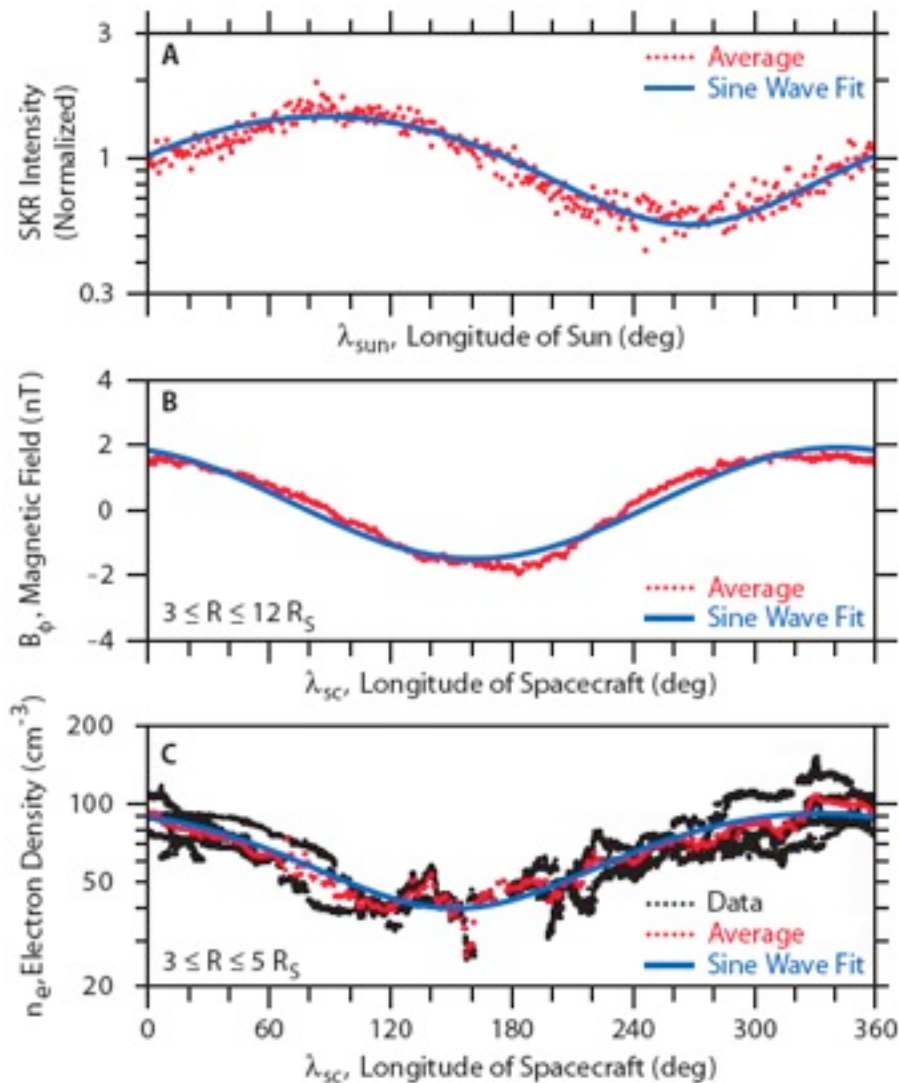
Les émissions radio

Le champ magnétique

La densité du plasma ?

+ les aurores UV ?

+ la position de la magnétopause ?



Variation de période énorme → une énigme !

- Origine ?

→ pas de changement de la rotation vraie de Saturne !

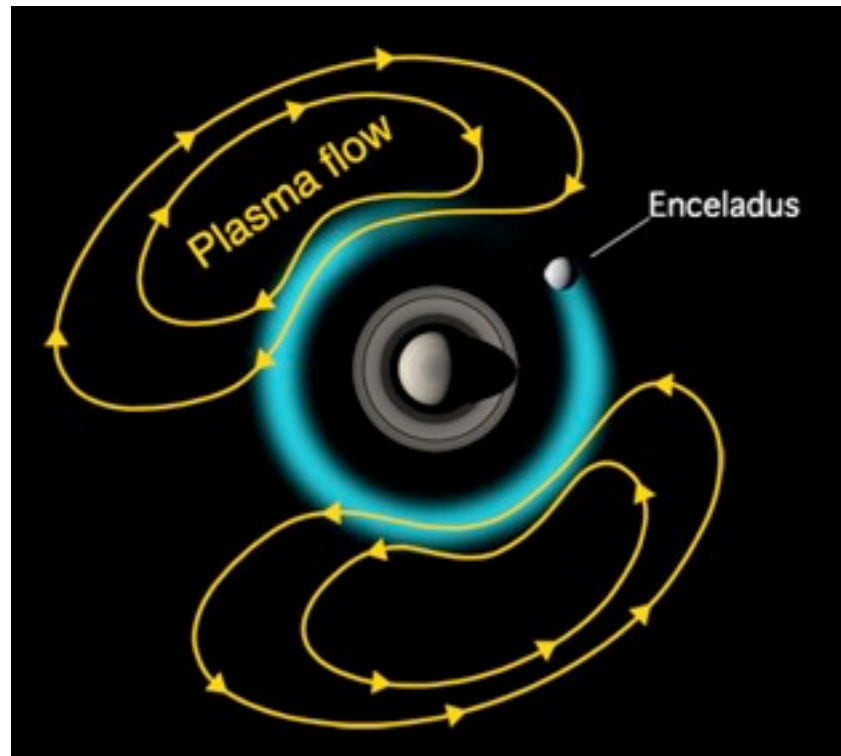
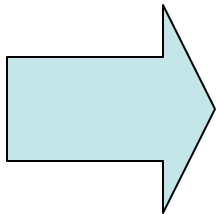
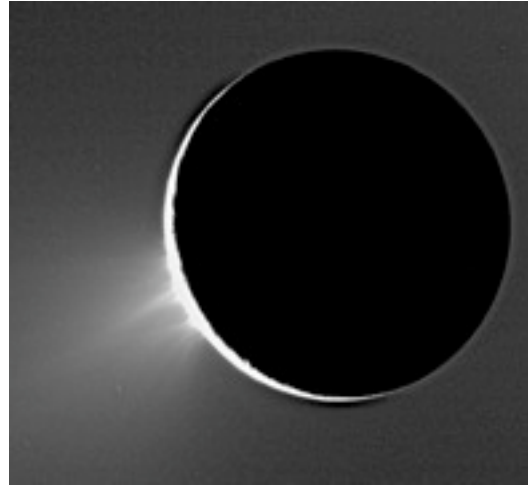


- Période interne vraie ?

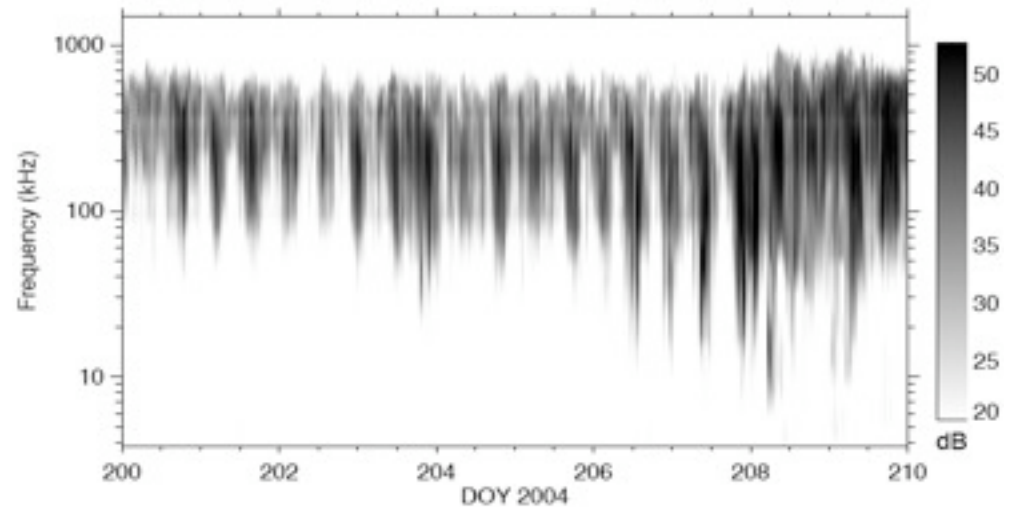
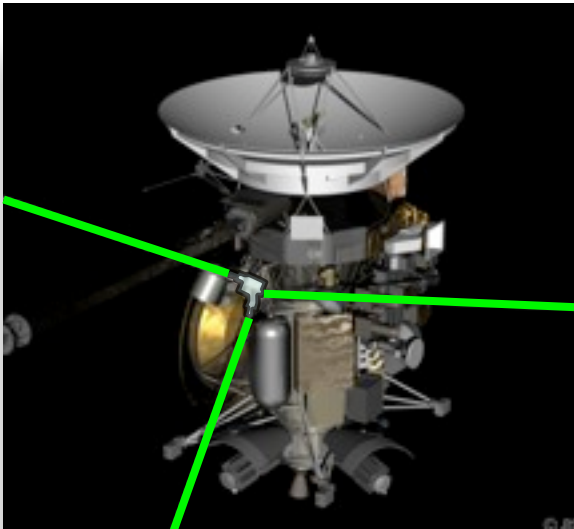
- Différences Voyager - Cassini ?

- La rotation des planètes
- Les émissions radio des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation de Saturne mesurée en radio
- La période radio variable de Saturne
- Pourquoi ça varie ?
- Comment ça marche ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Et après ...

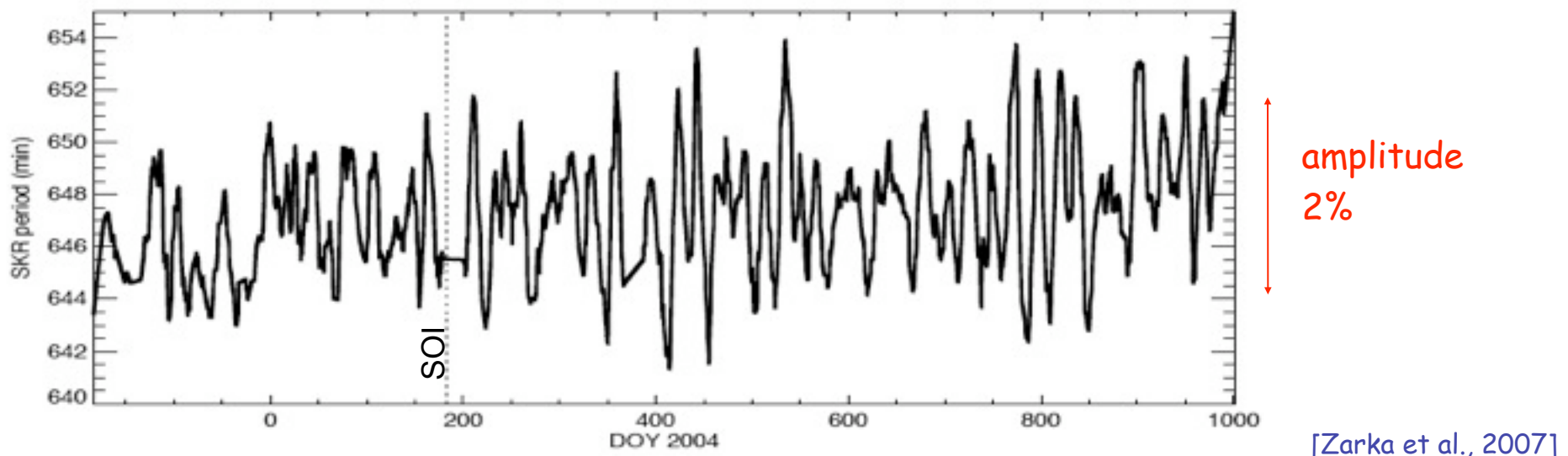
Origine interne ? Encelade ?



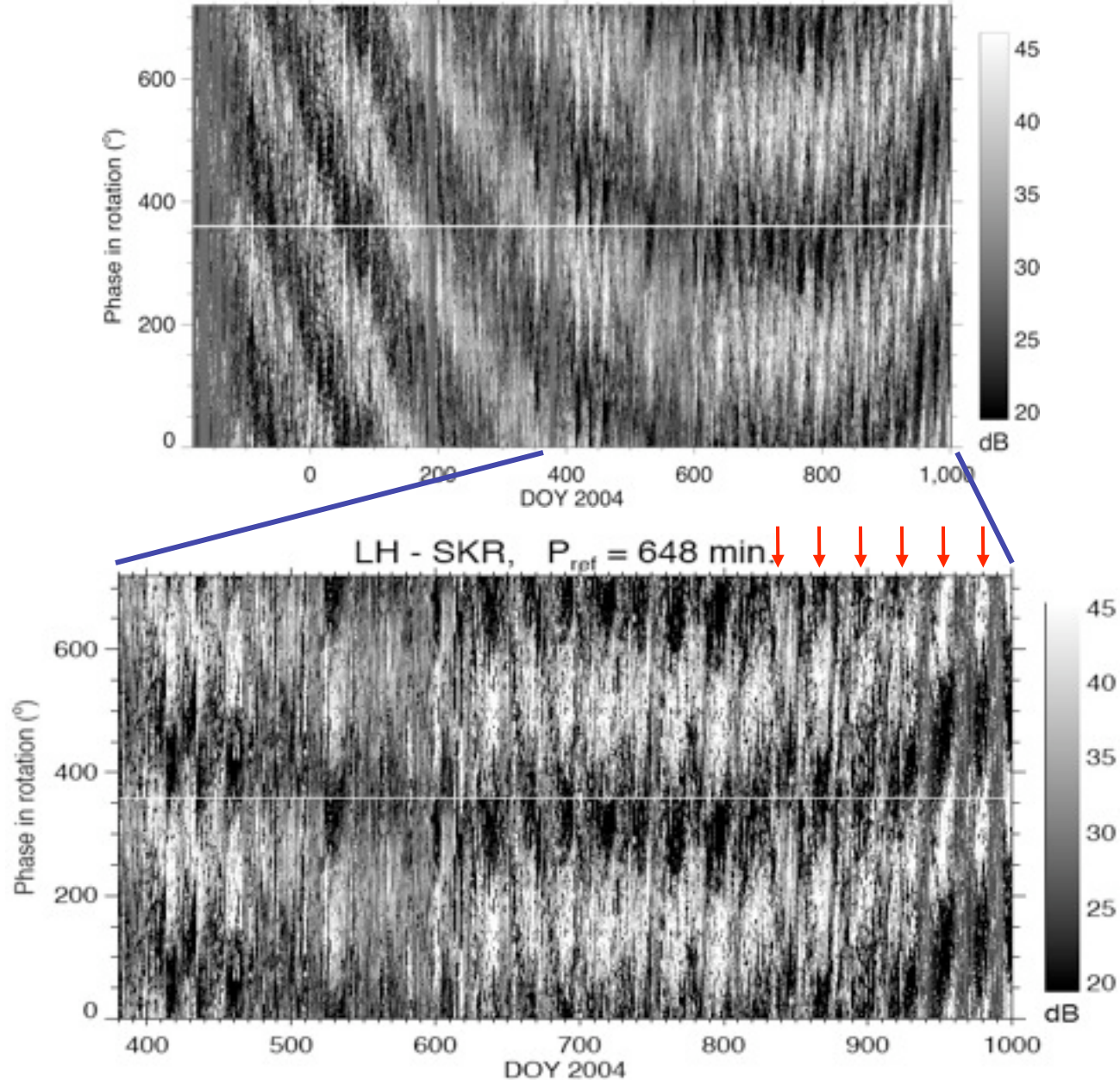
Analyse de + de 3 ans d'observations radio de Cassini



- Variations « rapides » de la période ?

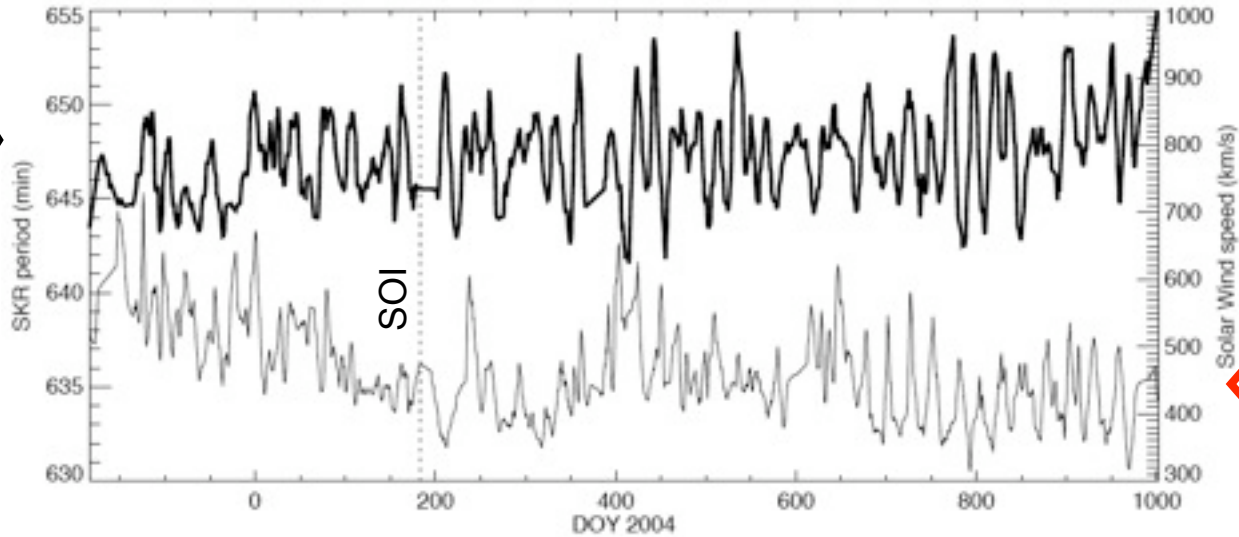


Oscillations de la période radio à 20-30 jours

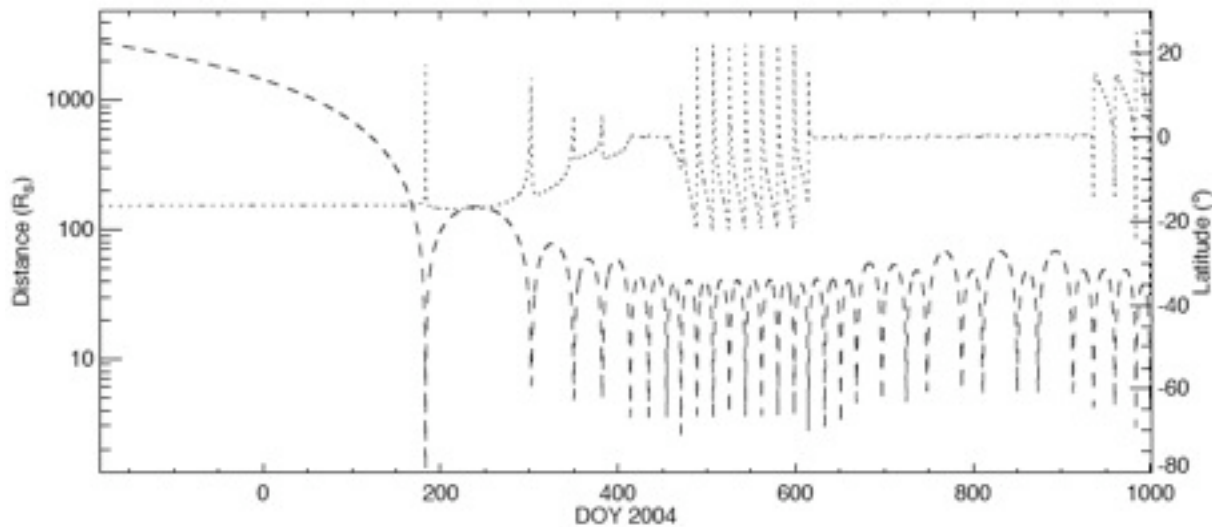


Origine de ces oscillations ?

P_{SKR}



V_{SW}
(projection
ballistique
depuis Wind)

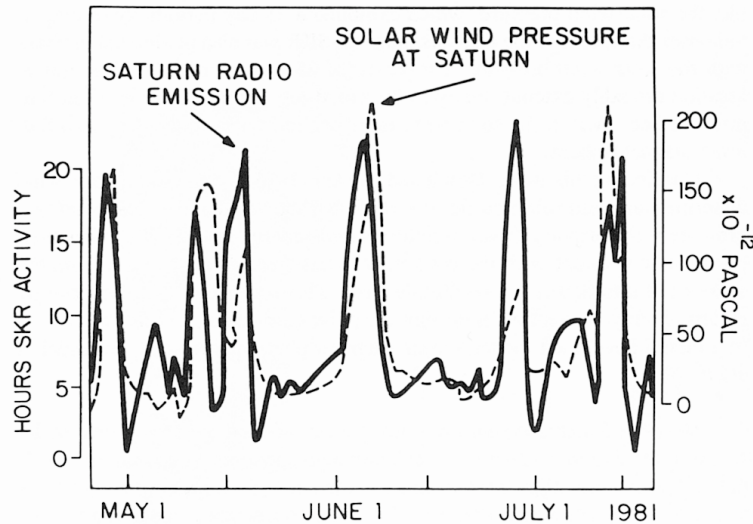


Latitude

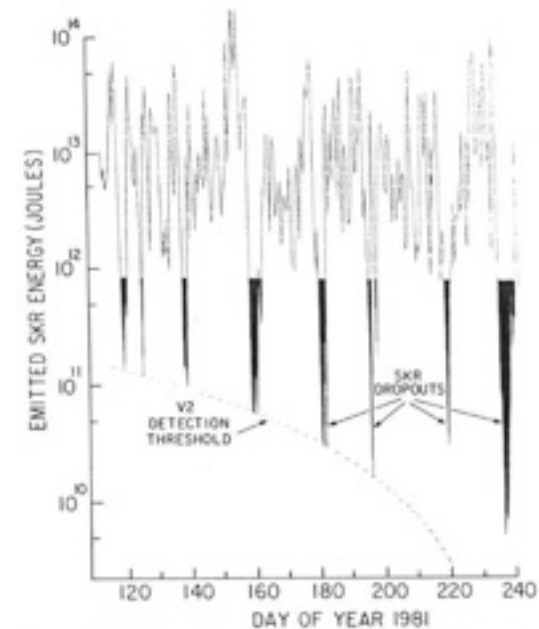
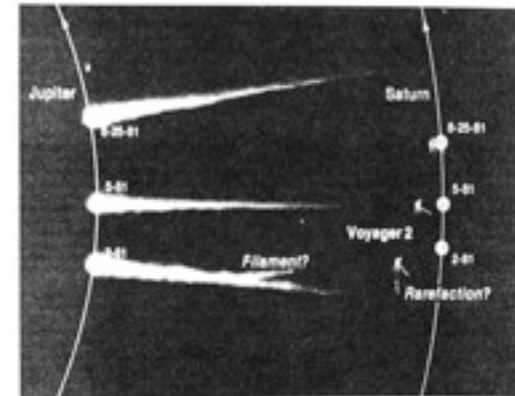
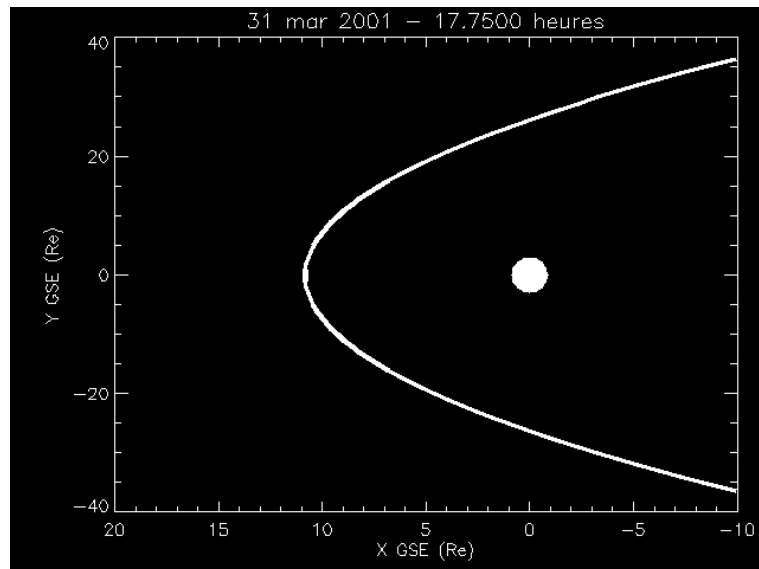
&

Distance
de Cassini

Influence connue du Vent Solaire sur l'intensité radio

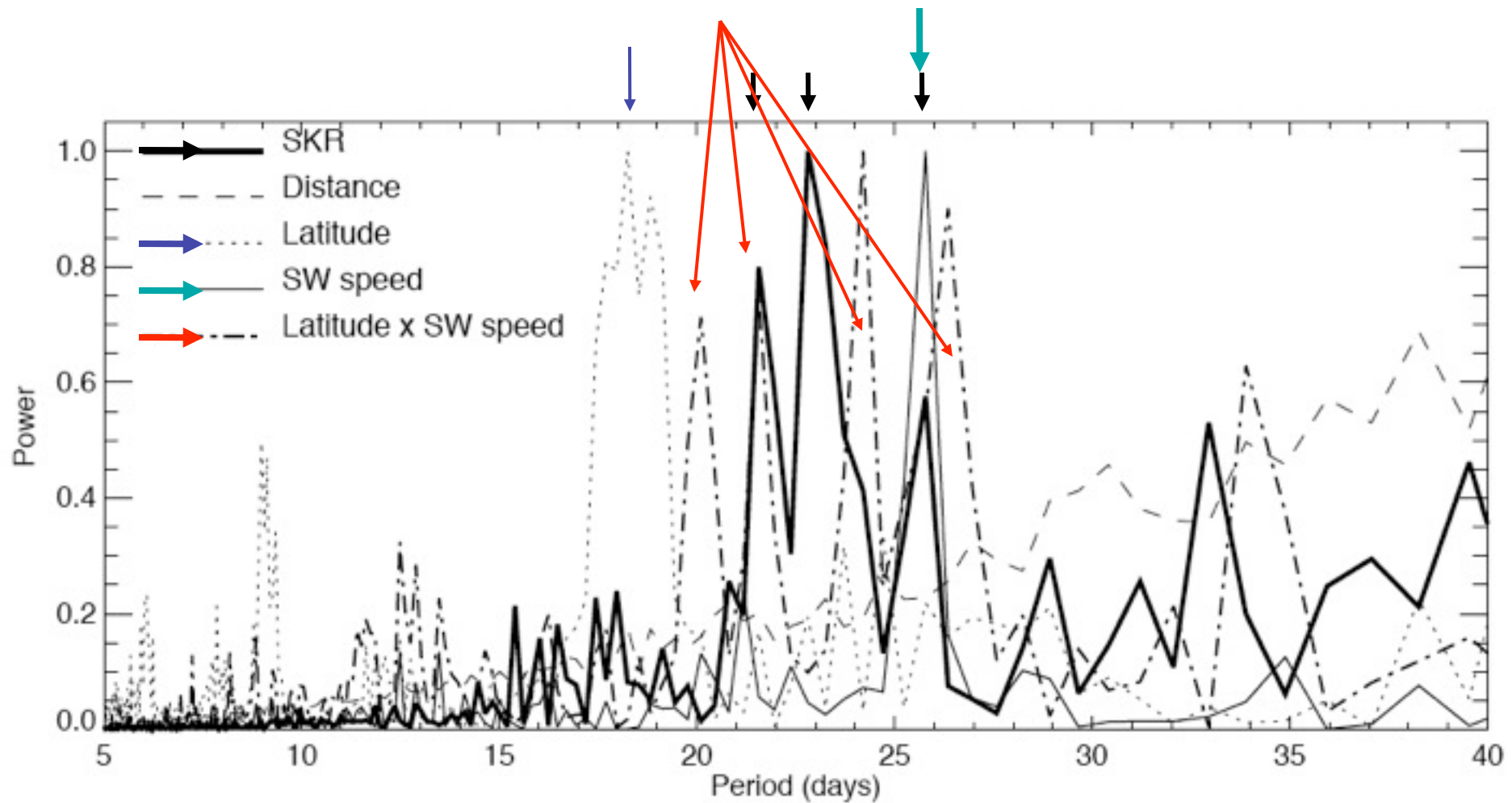


[Desch, 1982 ; Desch & Rucker, 1983]

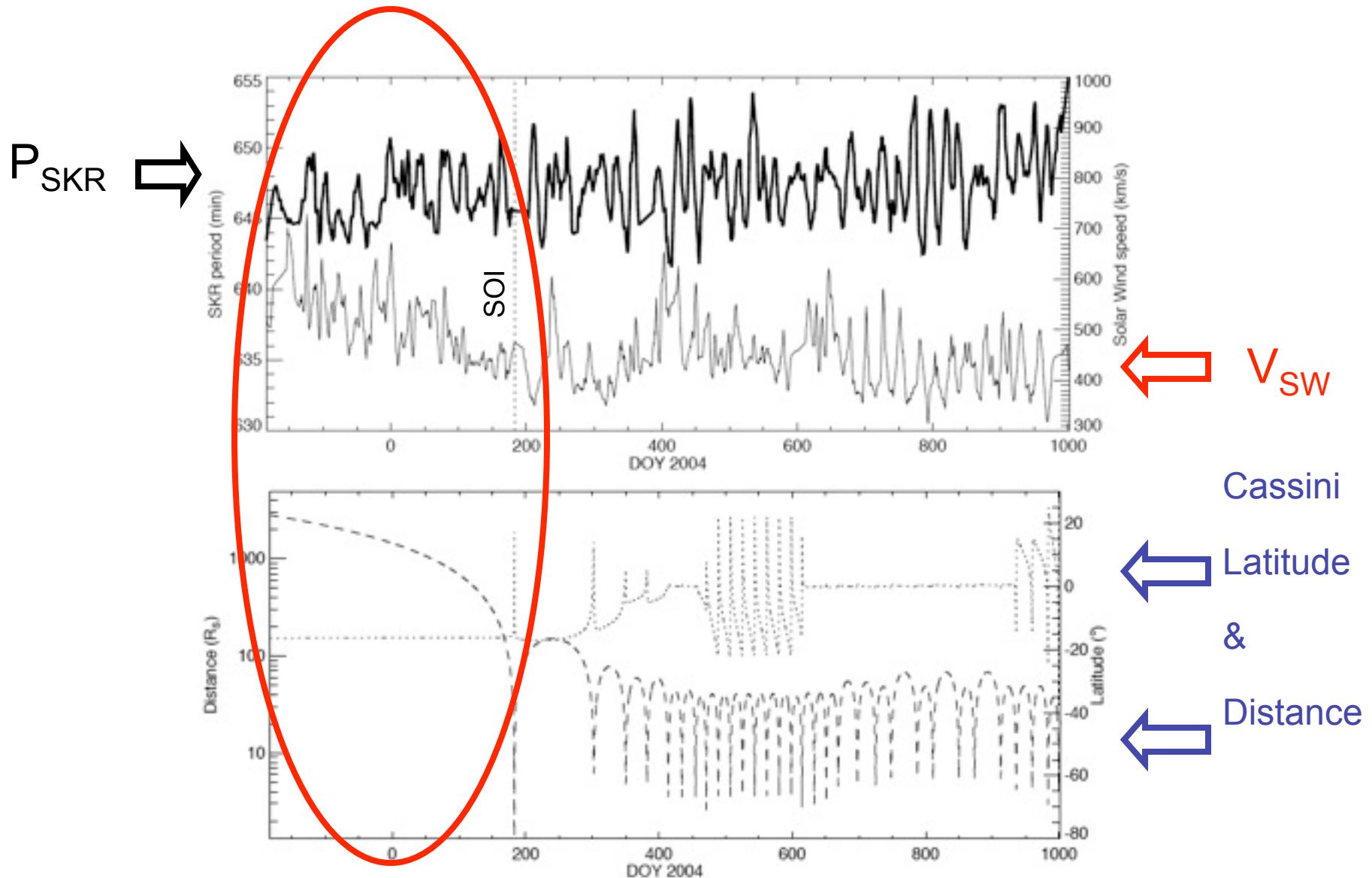


[Desch, 1983]

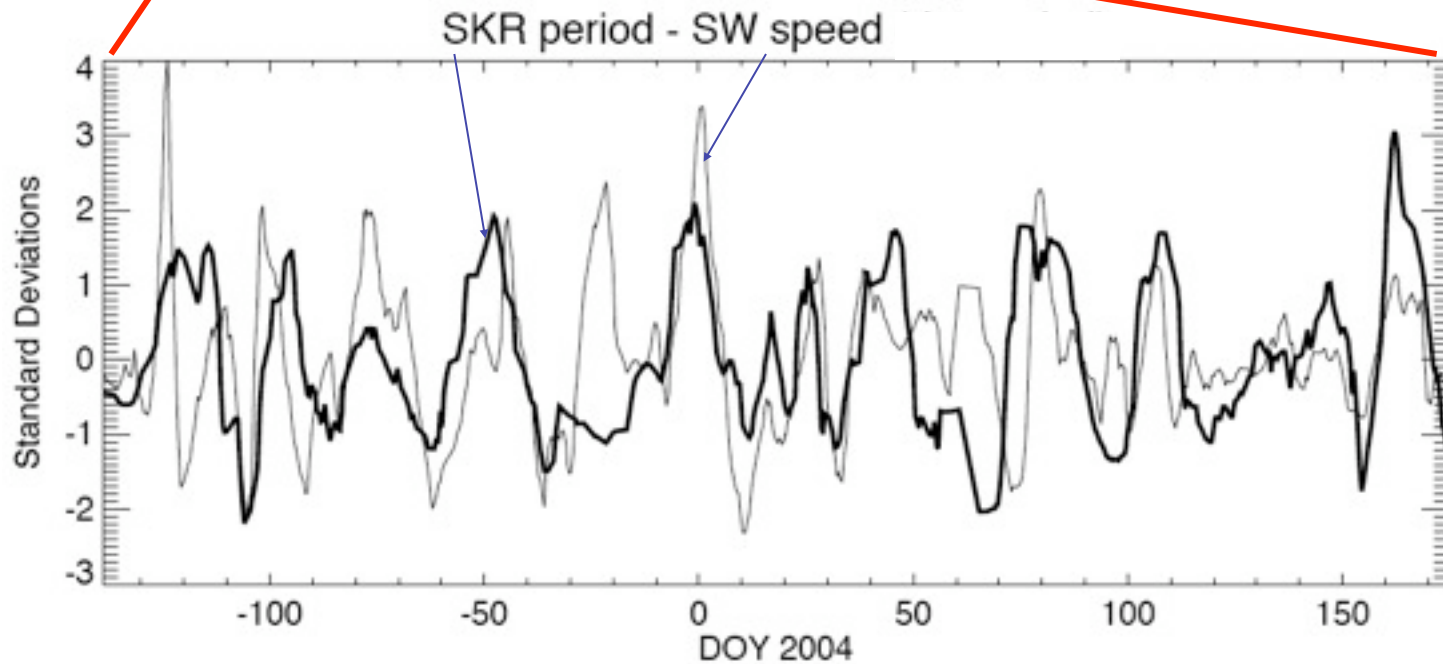
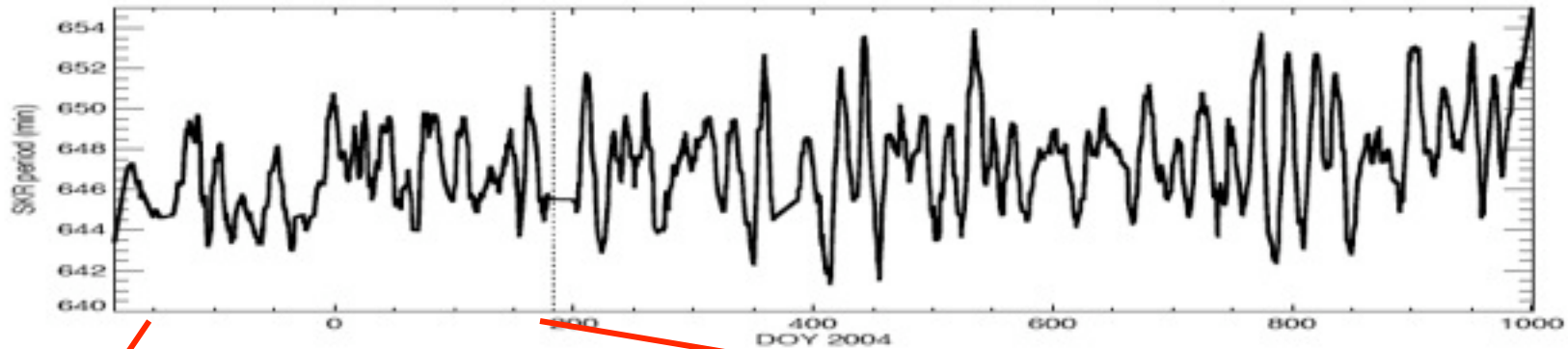
Période radio variable : Vent Solaire & Visibilité ?



Confirmation : trajectoire d'approche de Cassini



→ Relation entre Période radio et Vitesse du vent solaire

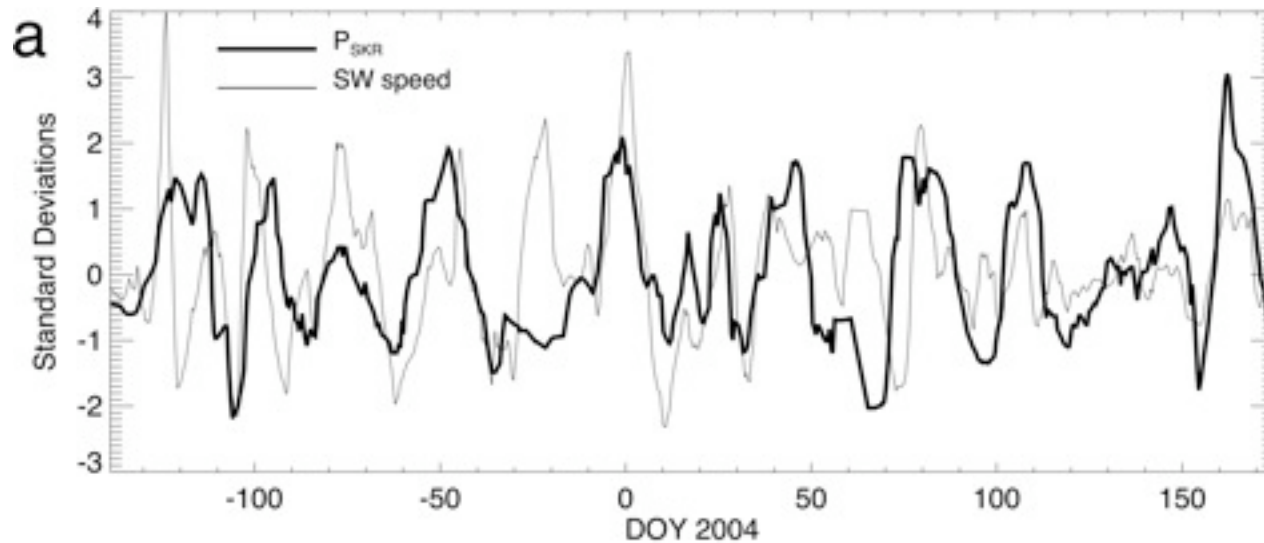


corrélation > 40%

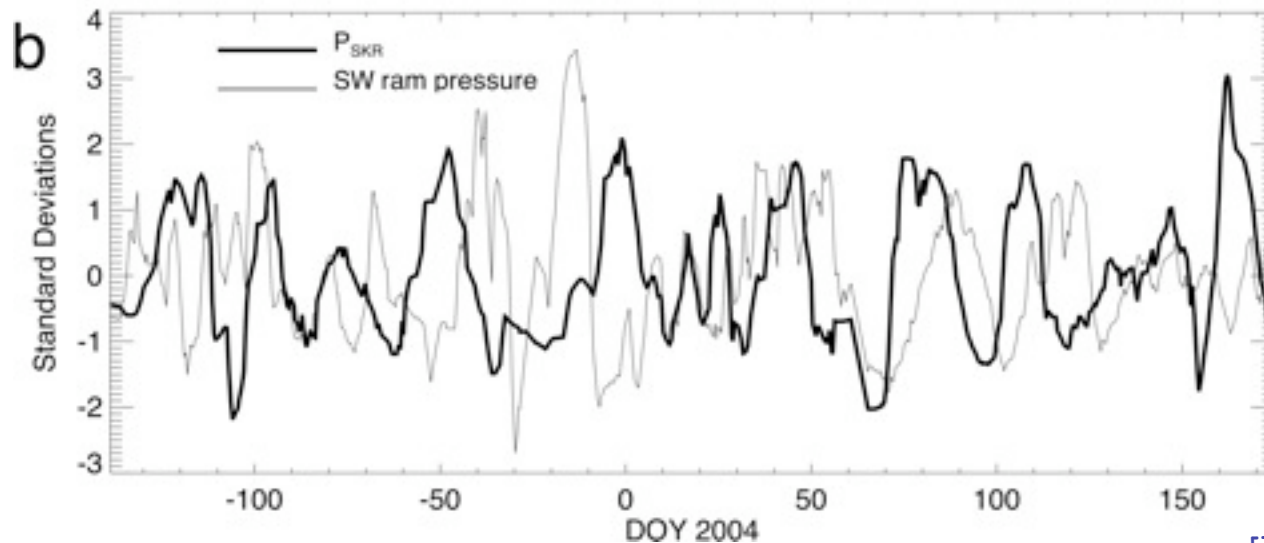
confiance=100%

→ Origine externe !

→ Rôle particulier de la vitesse



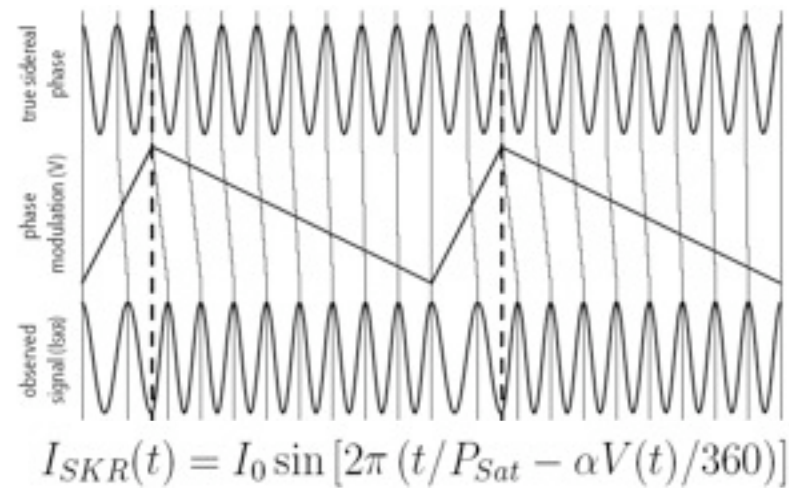
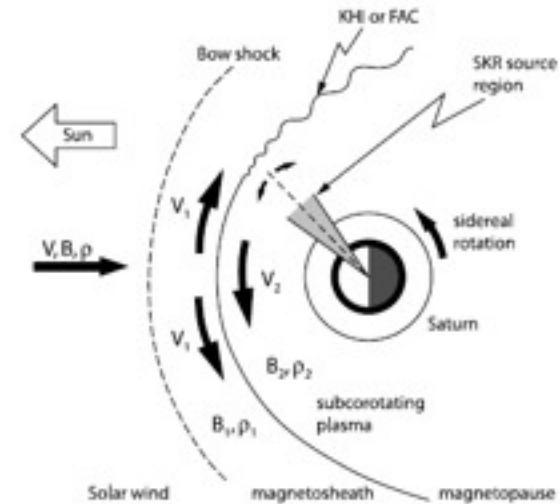
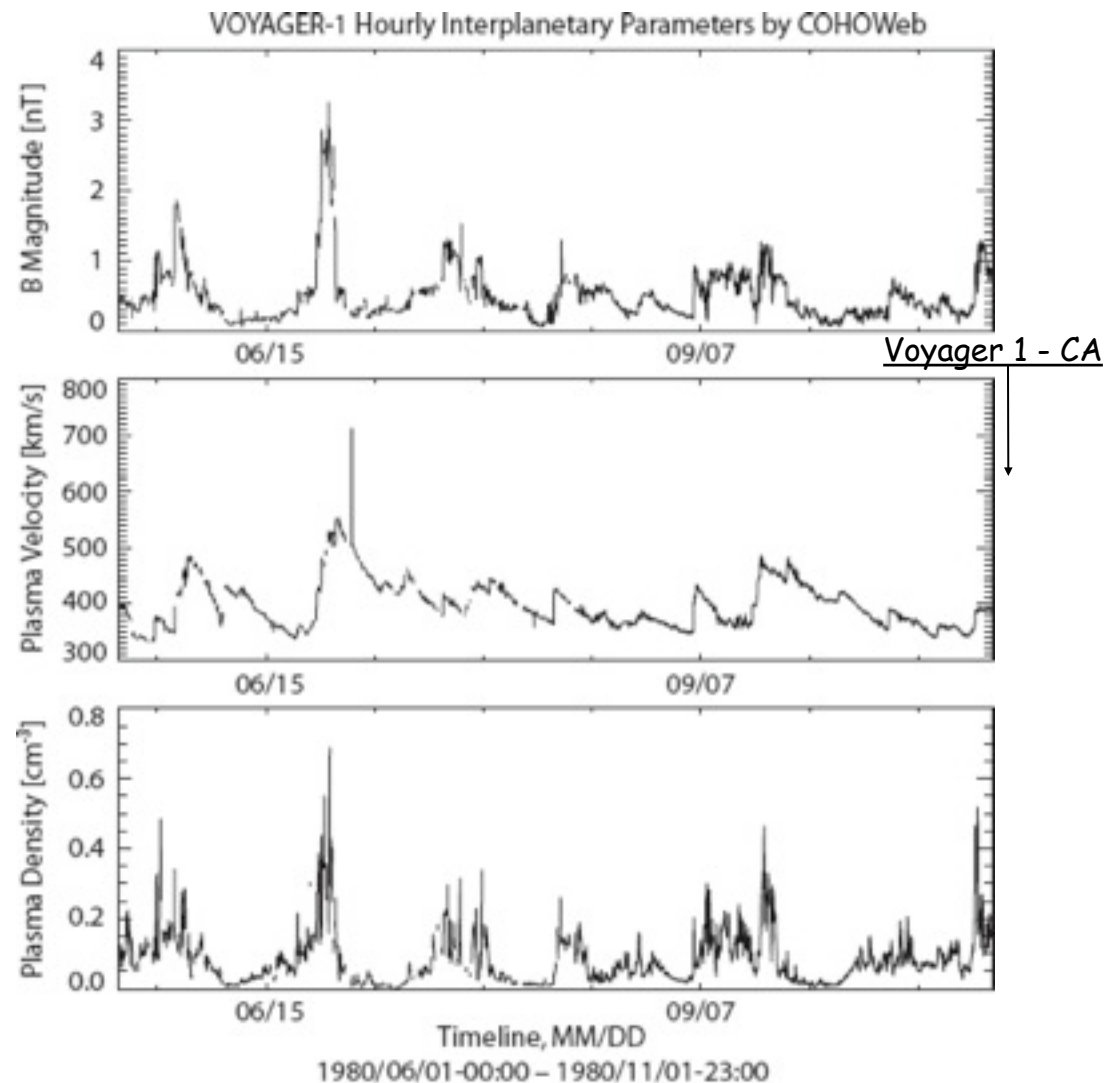
$C > 40\%$



$C \sim -10\%$

- La rotation des planètes
- Les émissions radio des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation de Saturne mesurée en radio
- La période radio variable de Saturne
- Pourquoi ça varie ?
- Comment ça marche ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Et après ...

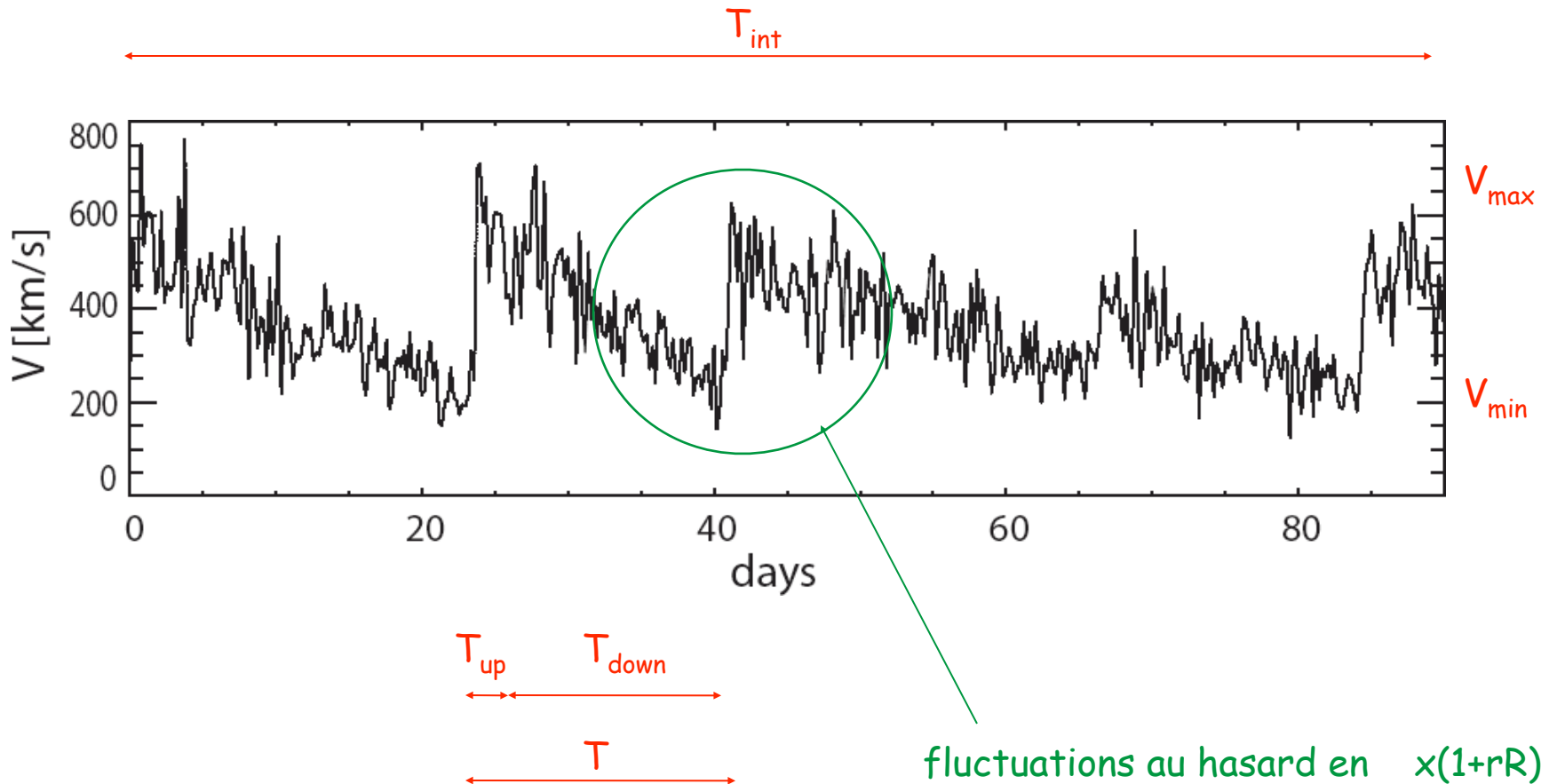
Explication (possible) de la période radio variable de Saturne



$$I_{SKR}(t) = I_0 \sin [2\pi (t/P_{Sat} - \alpha V(t)/360)]$$

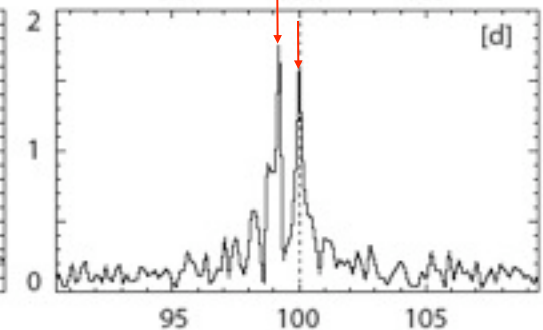
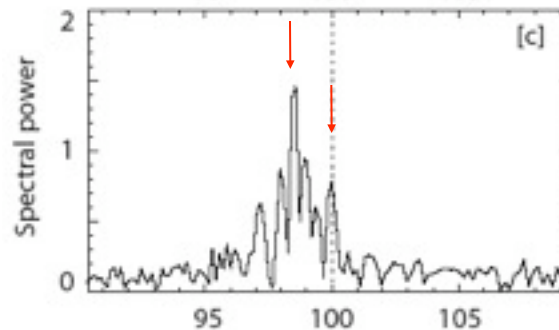
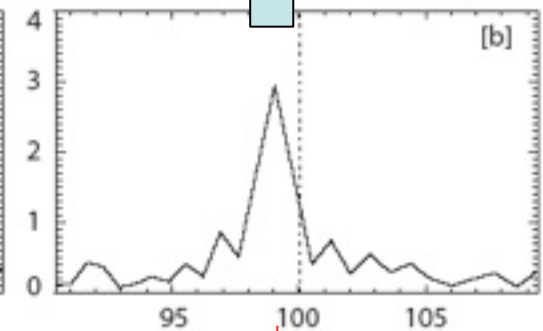
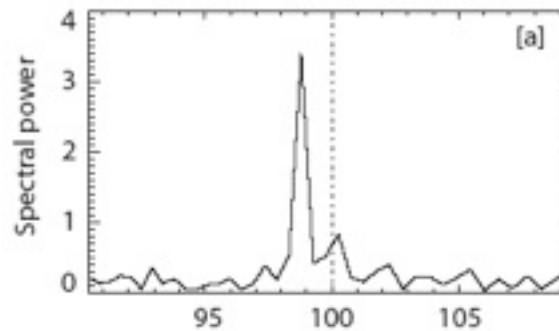
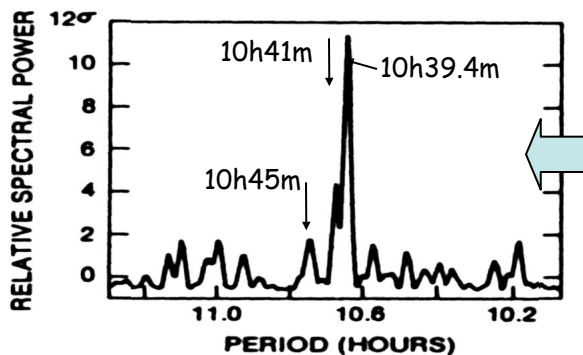
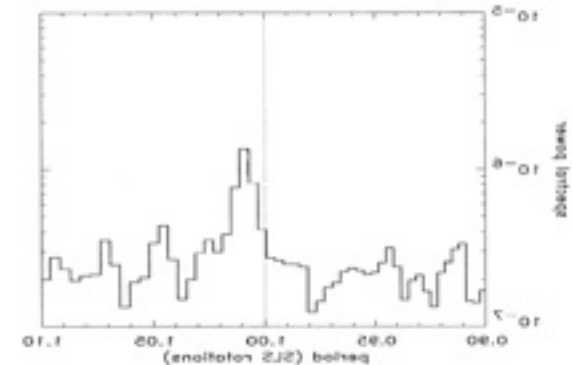
[Cecconi & Zarka, 2005]

Modèle de Vitesse du Vent Solaire ...

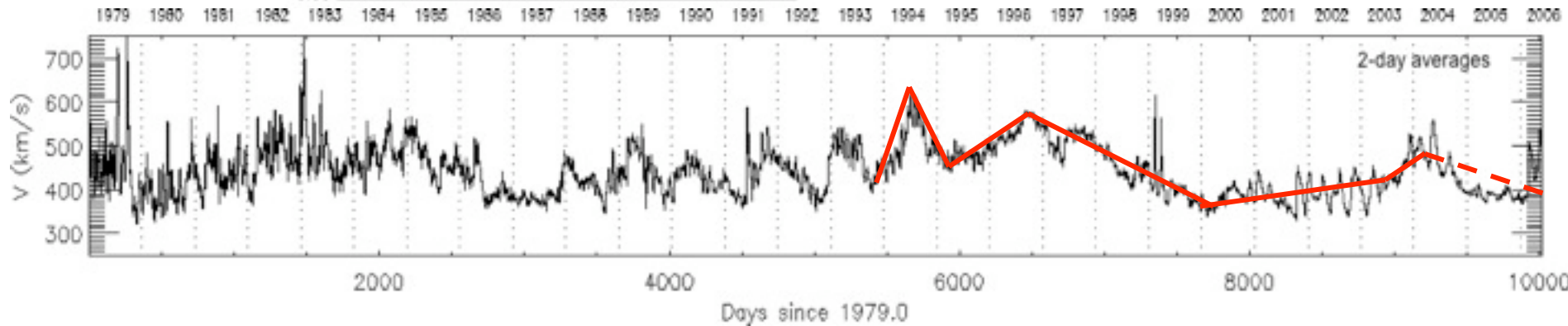
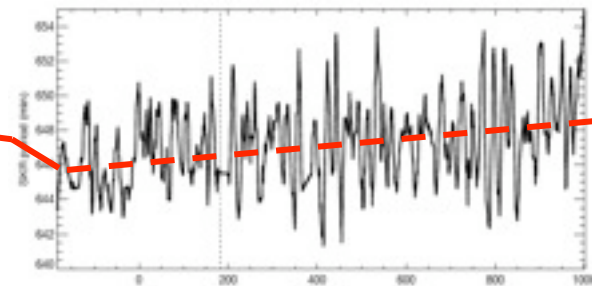
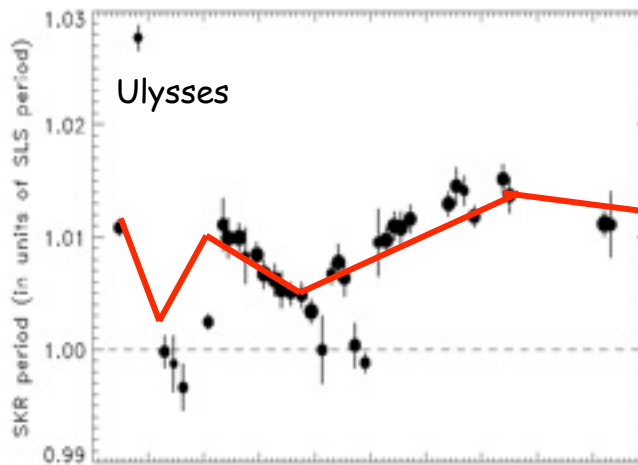
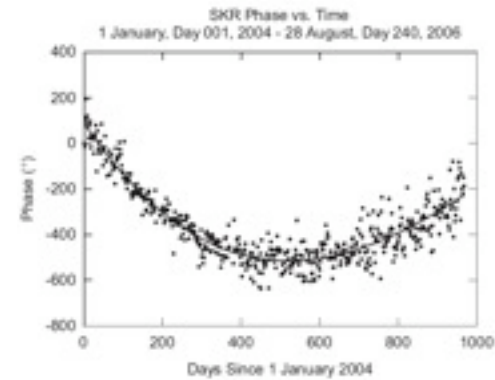
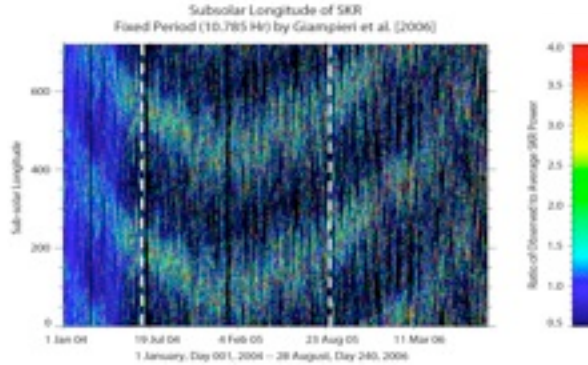


... et de la période variable résultante

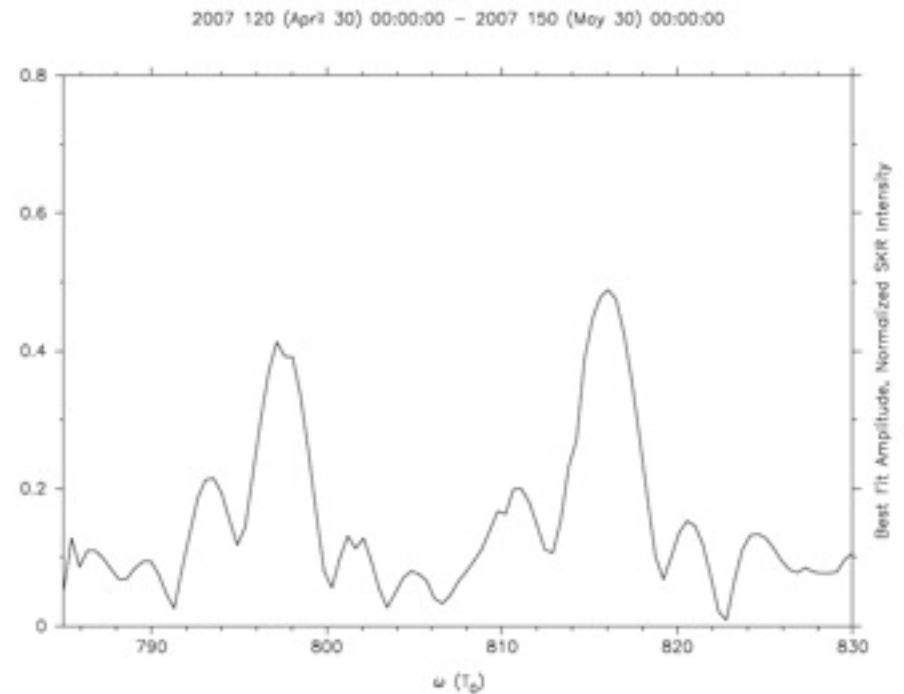
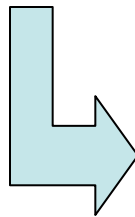
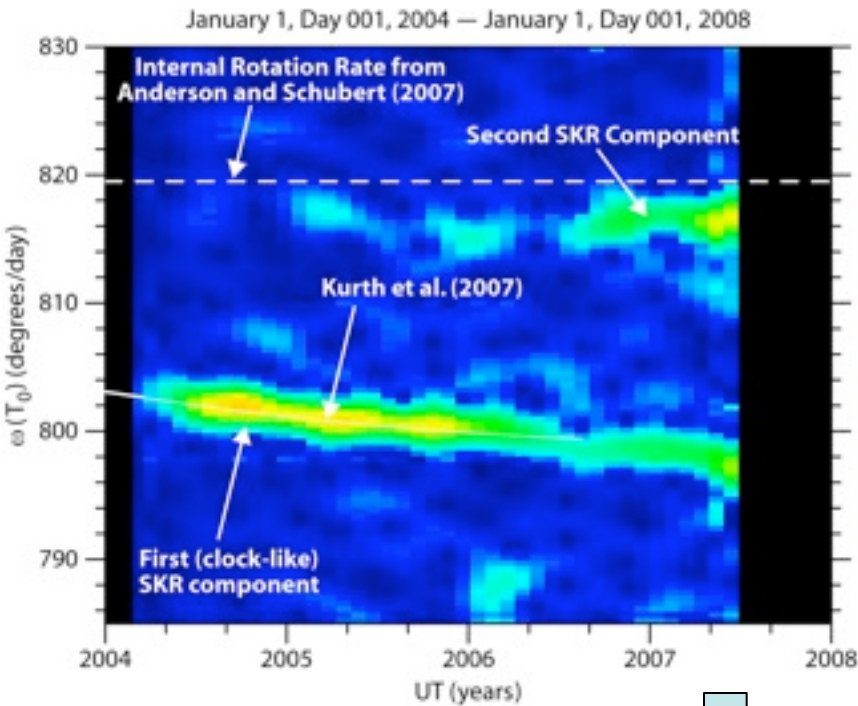
	T_{int}	T	α	R	$P_{\text{SKR}}/P_{\text{Sat}}$
[a]	90	26	0.5	0.2	0.987
[b]	60	26	0.4	0.2	0.993
[c]	270	26	0.6	0.2	0.985
[d]	270	26	0.6	0.2	0.991



Variations à long terme ?

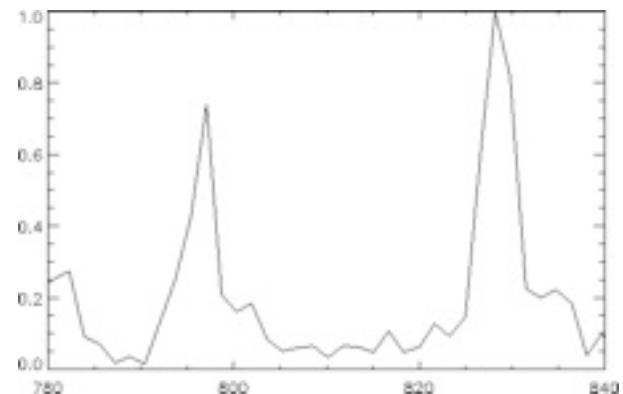
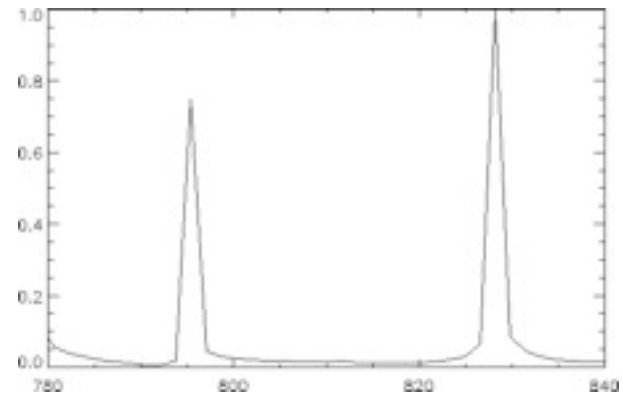
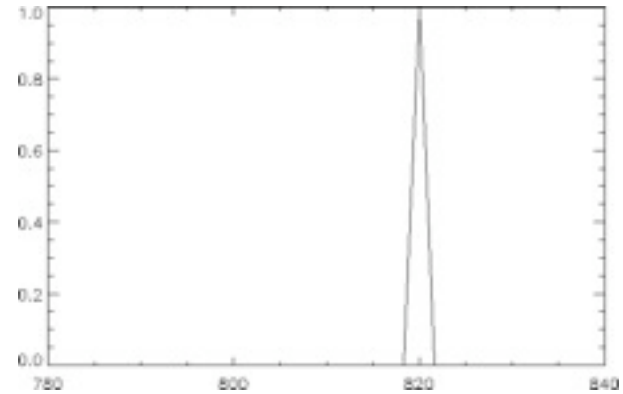
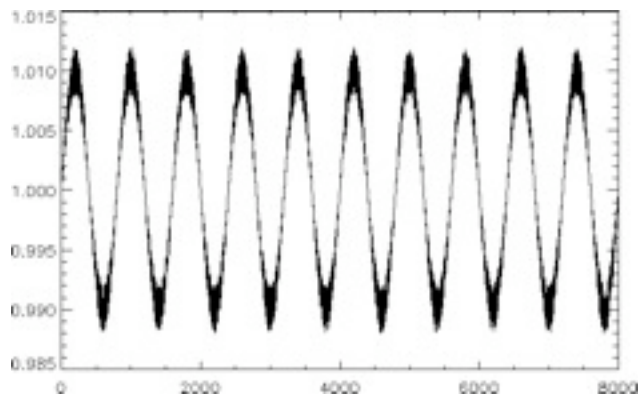
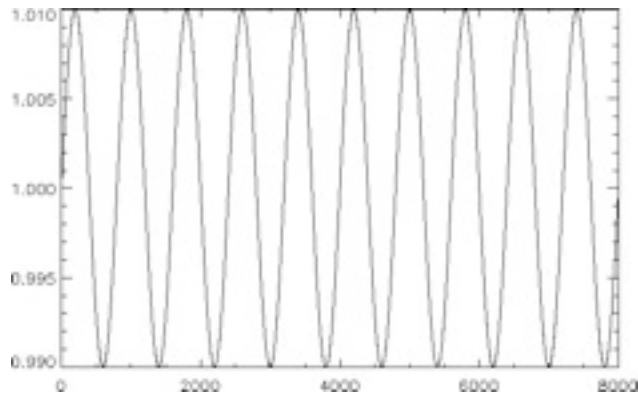
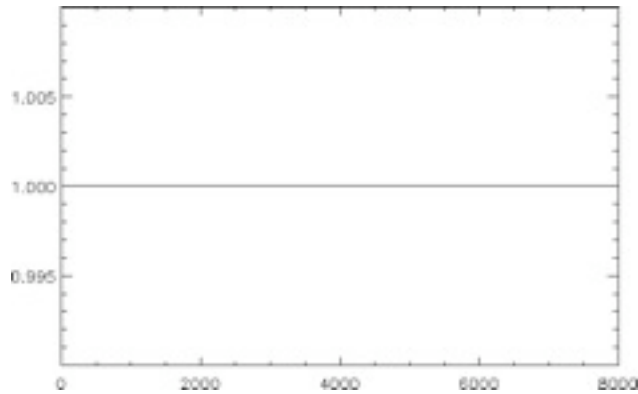


Dernier résultat de Cassini : 2 périodes radio ?



Peut-être dues à une période oscillante !

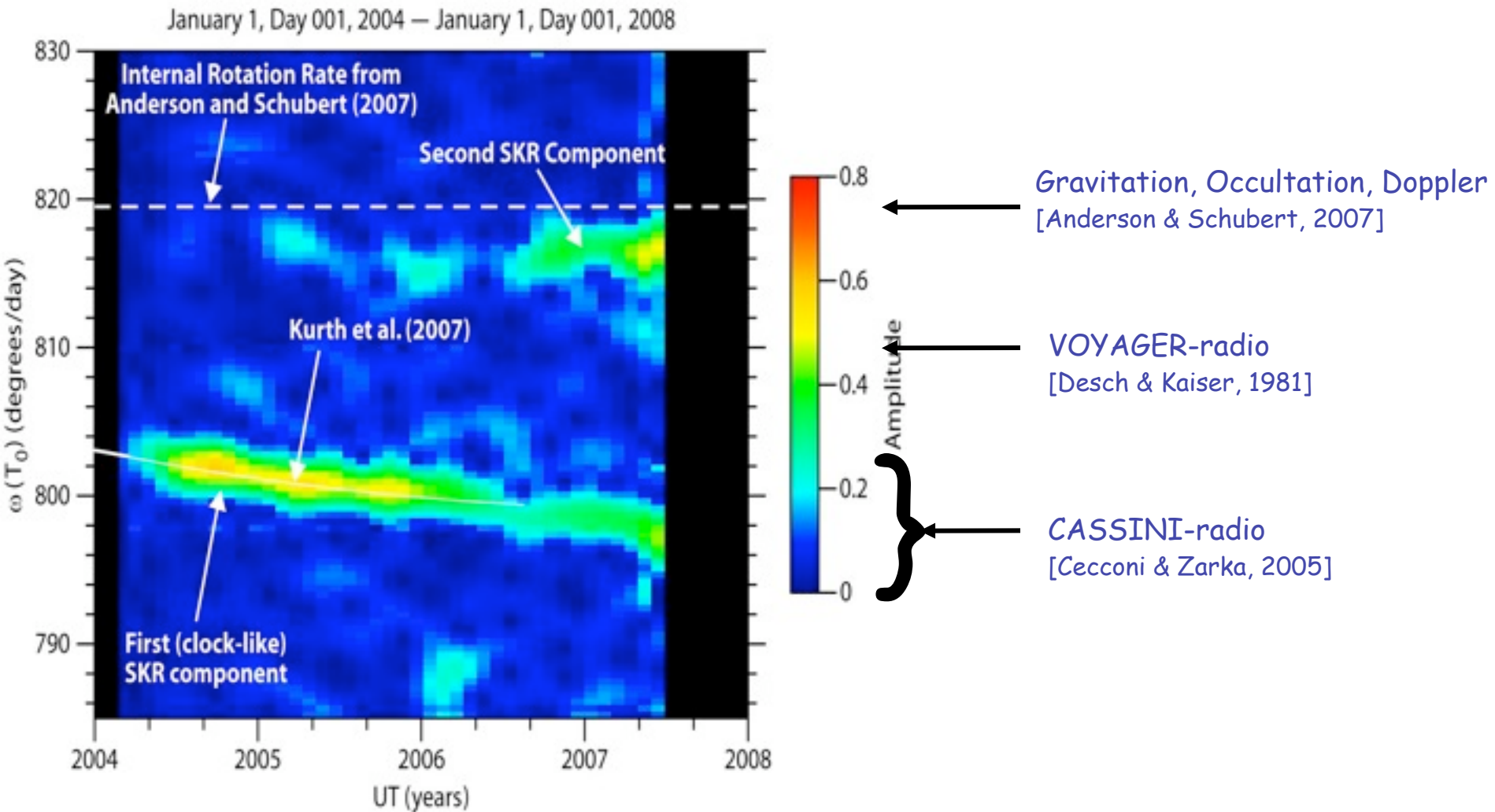
Période
réelle



Période
mesurée

- La rotation des planètes
- Les émissions radio des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation de Saturne mesurée en radio
- La période radio variable de Saturne
- Pourquoi ça varie ?
- Comment ça marche ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Et après ...

Période de rotation interne de Saturne ? ...

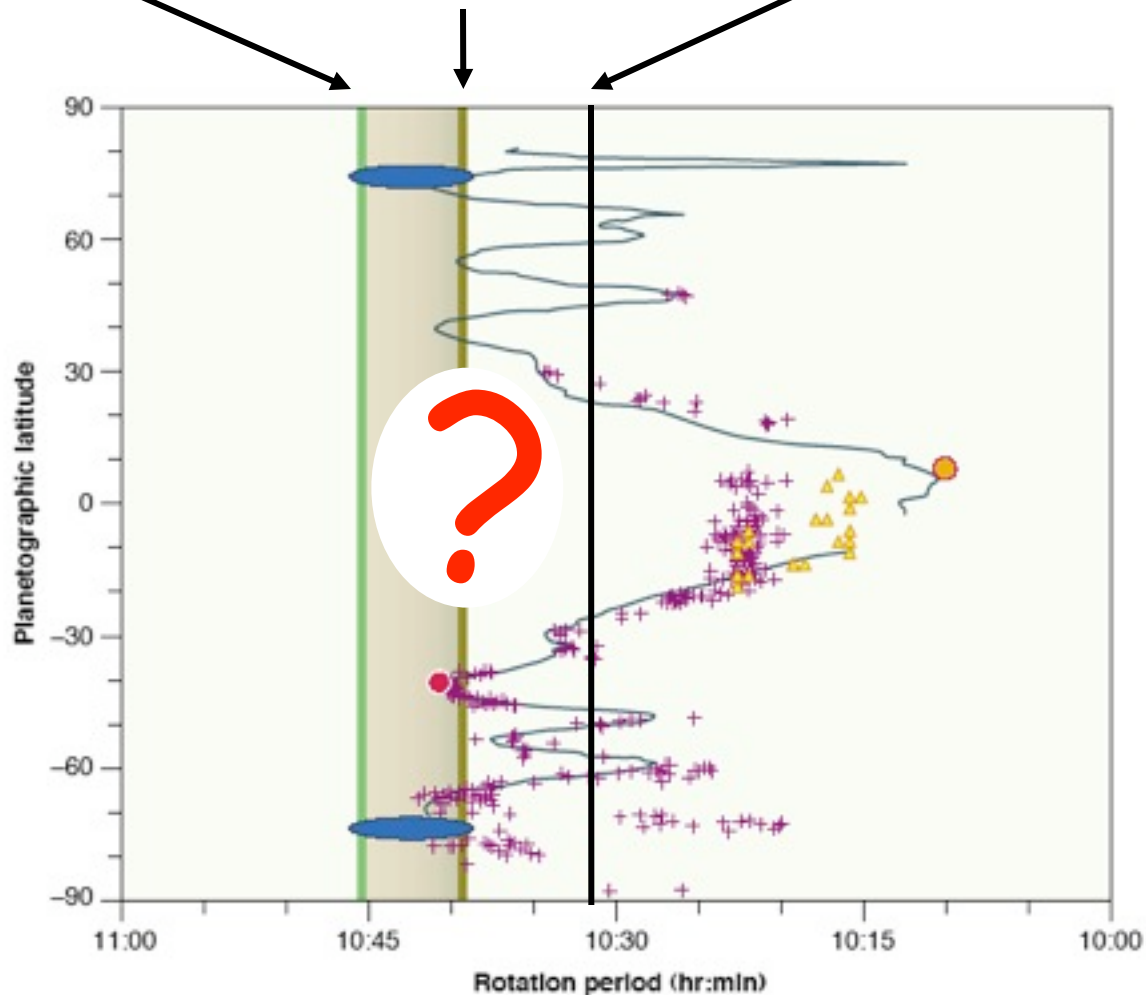


... et vitesse des vents atmosphériques

CASSINI-radio
[Cecconi & Zarka, 2005]

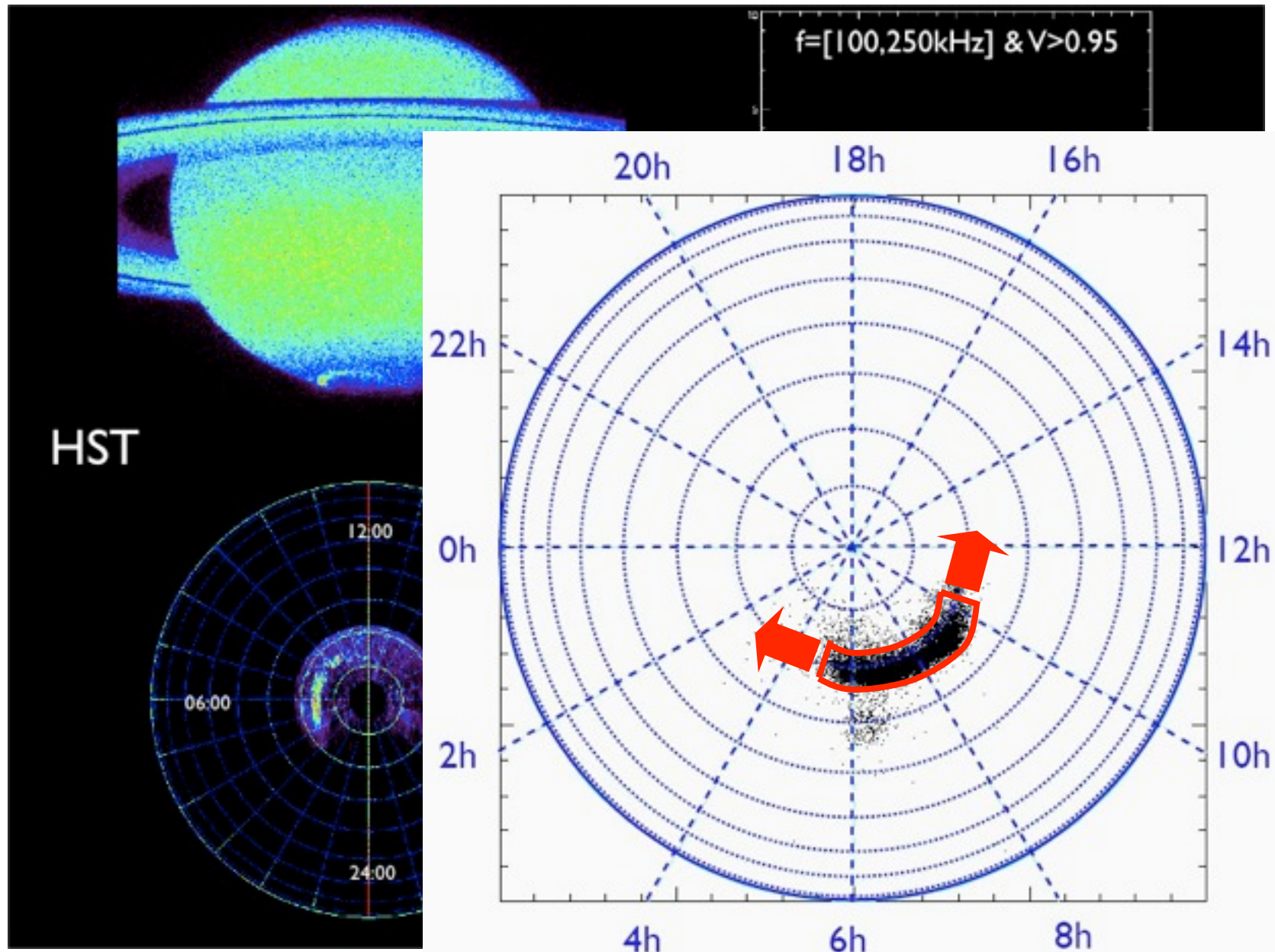
VOYAGER-radio
[Desch & Kaiser, 1981]

Gravitation, Occultation, Doppler
[Anderson & Schubert, 2007]

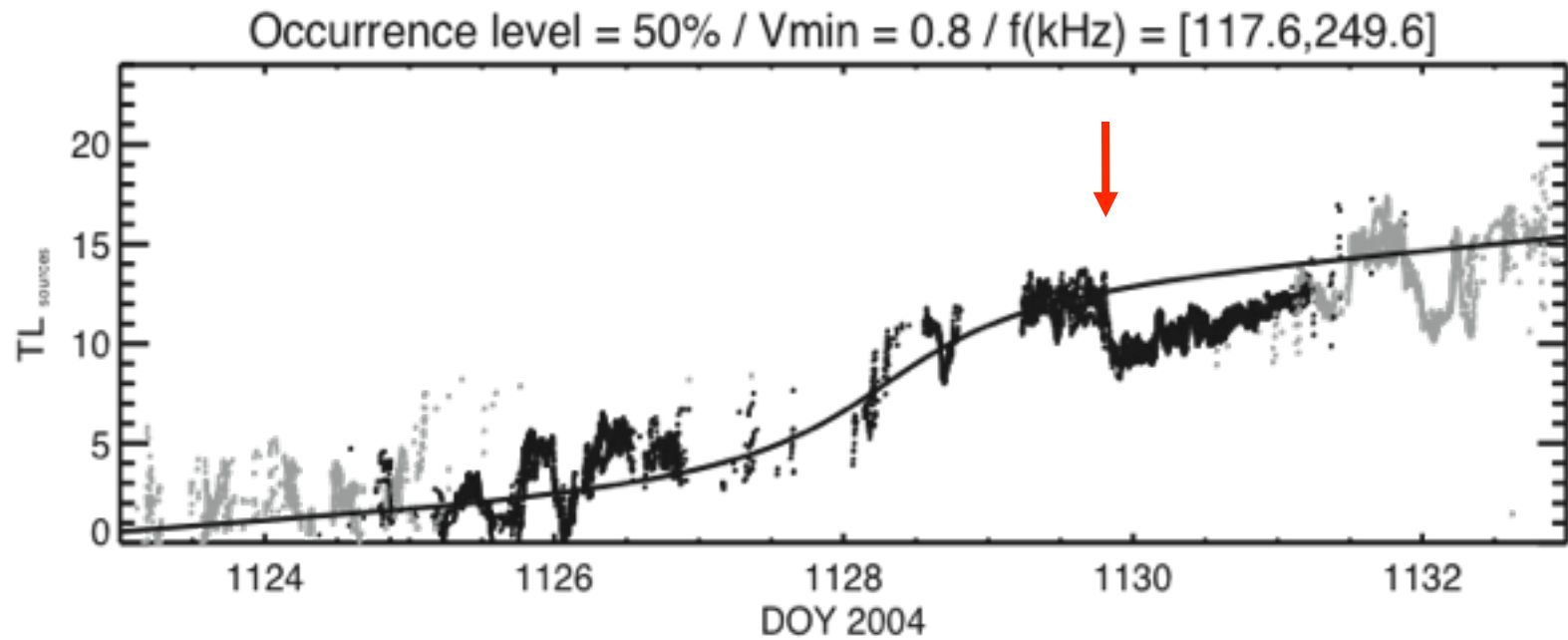


- La rotation des planètes
- Les émissions radio des planètes
- Comment mesure-t-on une période ?
- La rotation de Saturne mesurée en radio
- La période radio variable de Saturne
- Pourquoi ça varie ?
- Comment ça marche ?
- Alors, quelle période pour Saturne ?
- Et après ...

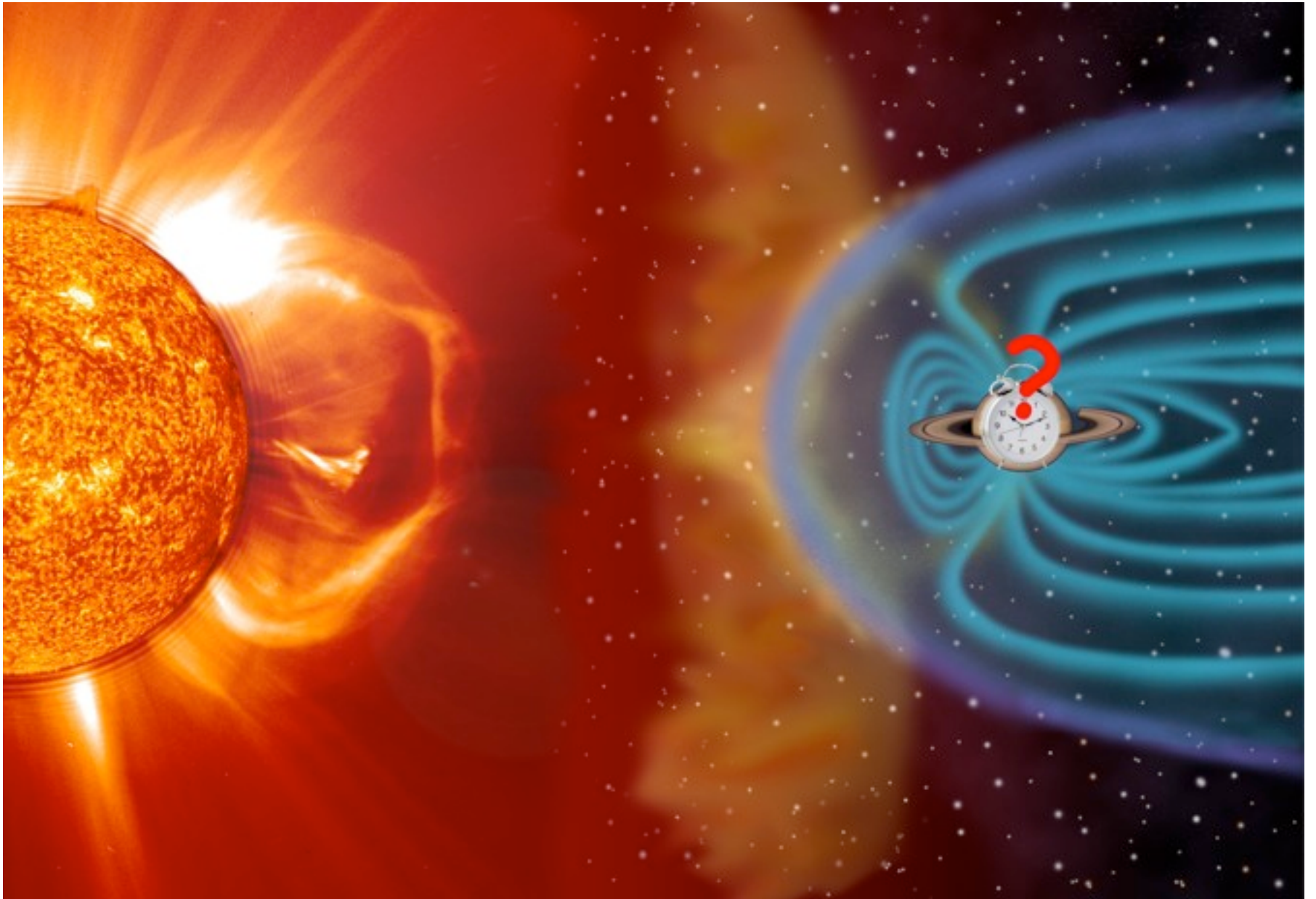
Une réponse à l'étude ...



Une réponse à l'étude ...



A suivre ...



Références :

- P. Zarka, L. Lamy, B. Cecconi, R. Prangé & H. O. Rucker,
Solar Wind modulation of Saturn's radio clock,
Nature, in press, 2007.
- B. Cecconi & P. Zarka,
Model of a variable radio period for Saturn,
J. Geophys. Res. 110, A12203, 2005.