

Mesures radio spatiales

Antennes, récepteurs, contraintes, goniopolarimétrie

B. Cecconi

LESIA, Observatoire de Paris, France

PLAN

Introduction

Antennes

Récepteurs – Mesures

Goniopolarimétrie

Quelques Résultats

Concours

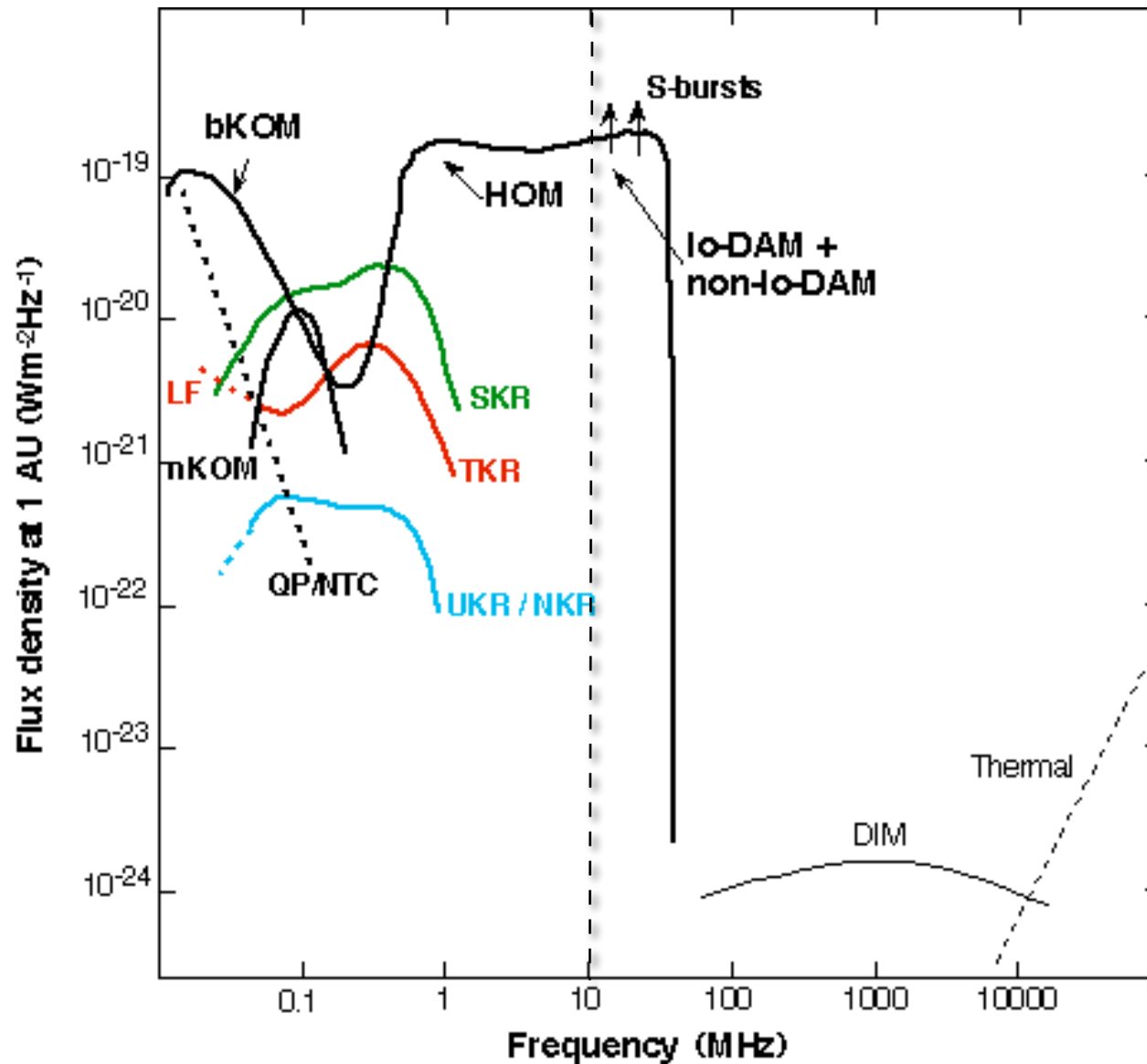
Introduction

Gamme de fréquence de la Radio-Astronomie BF

sub-millimétrique	100 μm	3 THz	
millimétrique	1 mm	300 GHz	EHF
centimétrique	1 cm	30 GHz	SHF
décimétrique	10 cm	3 GHz	UHF
métrique	1 m	300 MHz	VHF
décamétrique	10 m	30 MHz	HF
hectométrique	100 m	3 MHz	MF
kilométrique	1 km	300 kHz	LF
	10 km	30 kHz	VLF
	100 km	3 kHz	ULF
	1000 km	300 Hz	

Introduction

Emissions radio planétaires observées à l'aide de récepteurs radio spatiaux

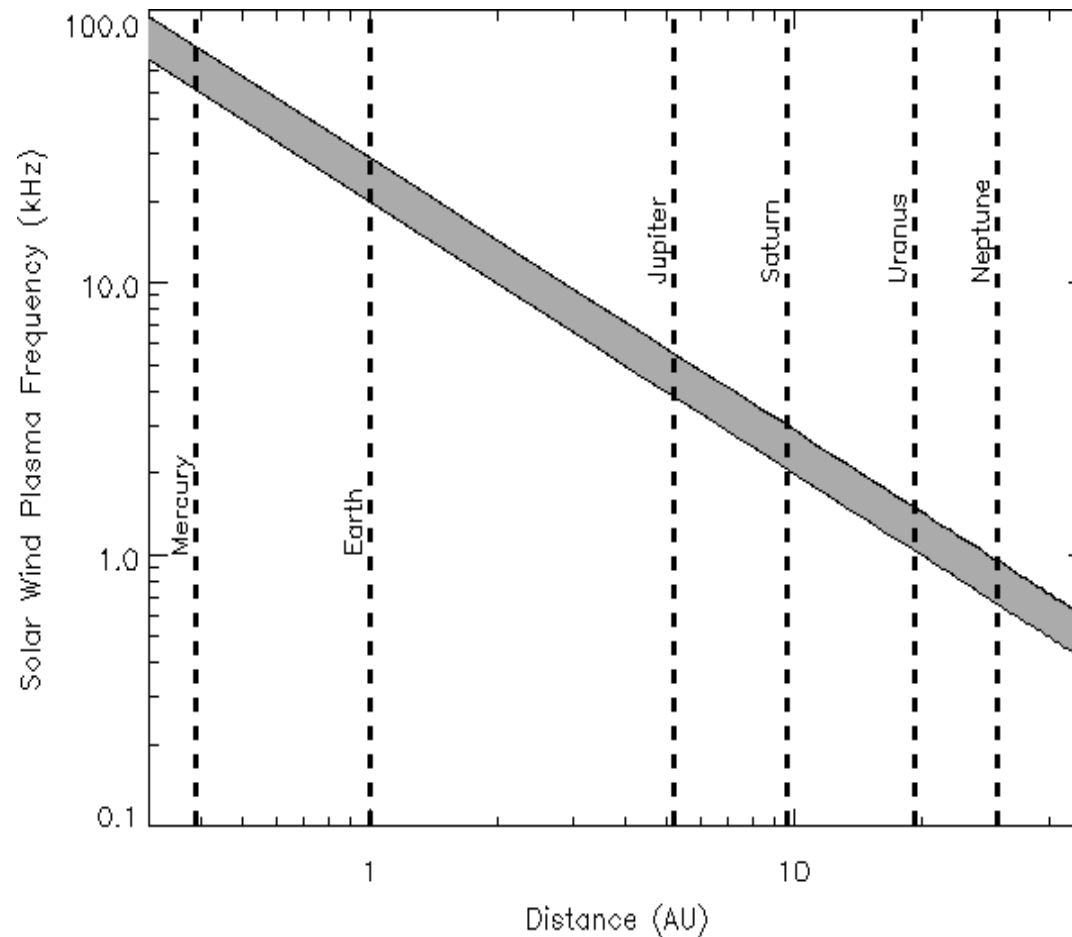


Introduction

Fréquences Limites d'observations

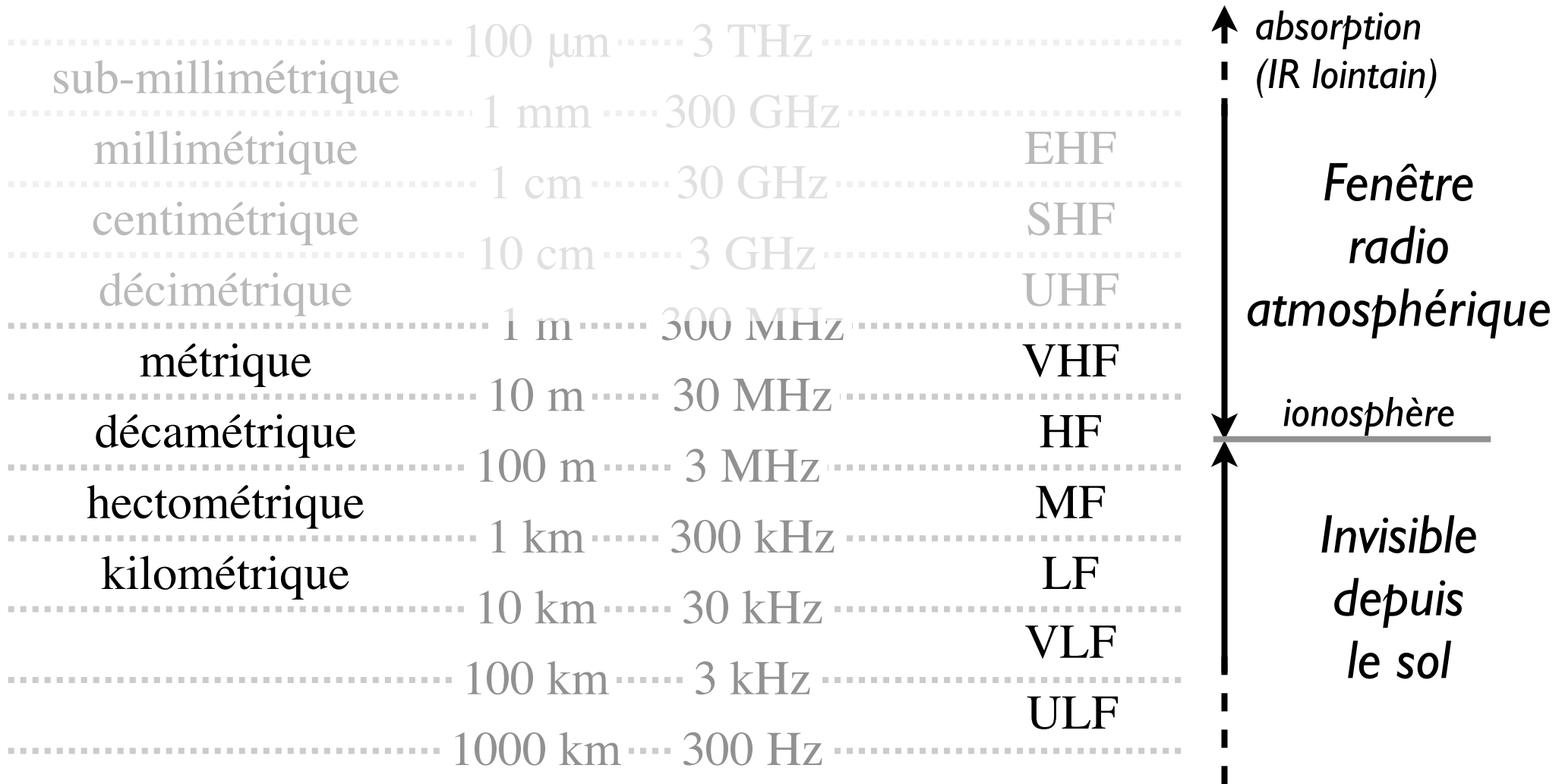
La propagation n'est possible que pour $f \geq f_{pe}/\cos\theta$

- Ionosphère terrestre → réflexion en dessous de $f_{pe-max} \sim 10$ MHz
- Vent Solaire → quelques kHz aux planètes externes (~ 100 kHz for Mercury)



Introduction

Gamme de fréquence de la Radio-Astronomie BF (suite)



limite BF pour observations spatiales = $f_{\text{plasma locale}}$

PLAN

Introduction

Antennes

Récepteurs – Mesures

Goniopolarimétrie

Quelques Résultats

Concours

Observations radio spatiales

contraintes pour les antennes:

faible encombrement au lancement

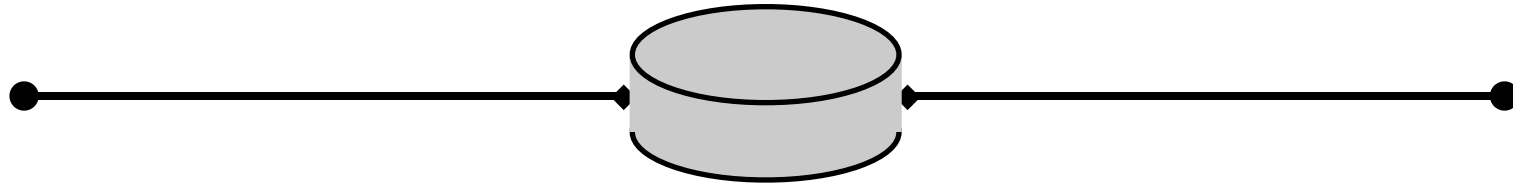
faible masse

déploiement aisé

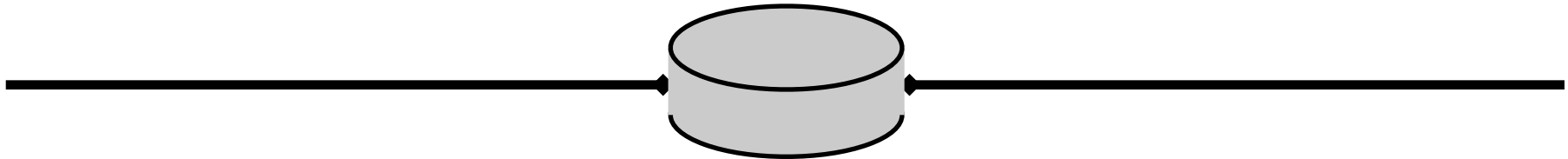
Observations radio spatiales

⇒ deux types d'antennes utilisés :

Boules (*Cluster, Geotail...*) pour $f \lesssim 3$ kHz



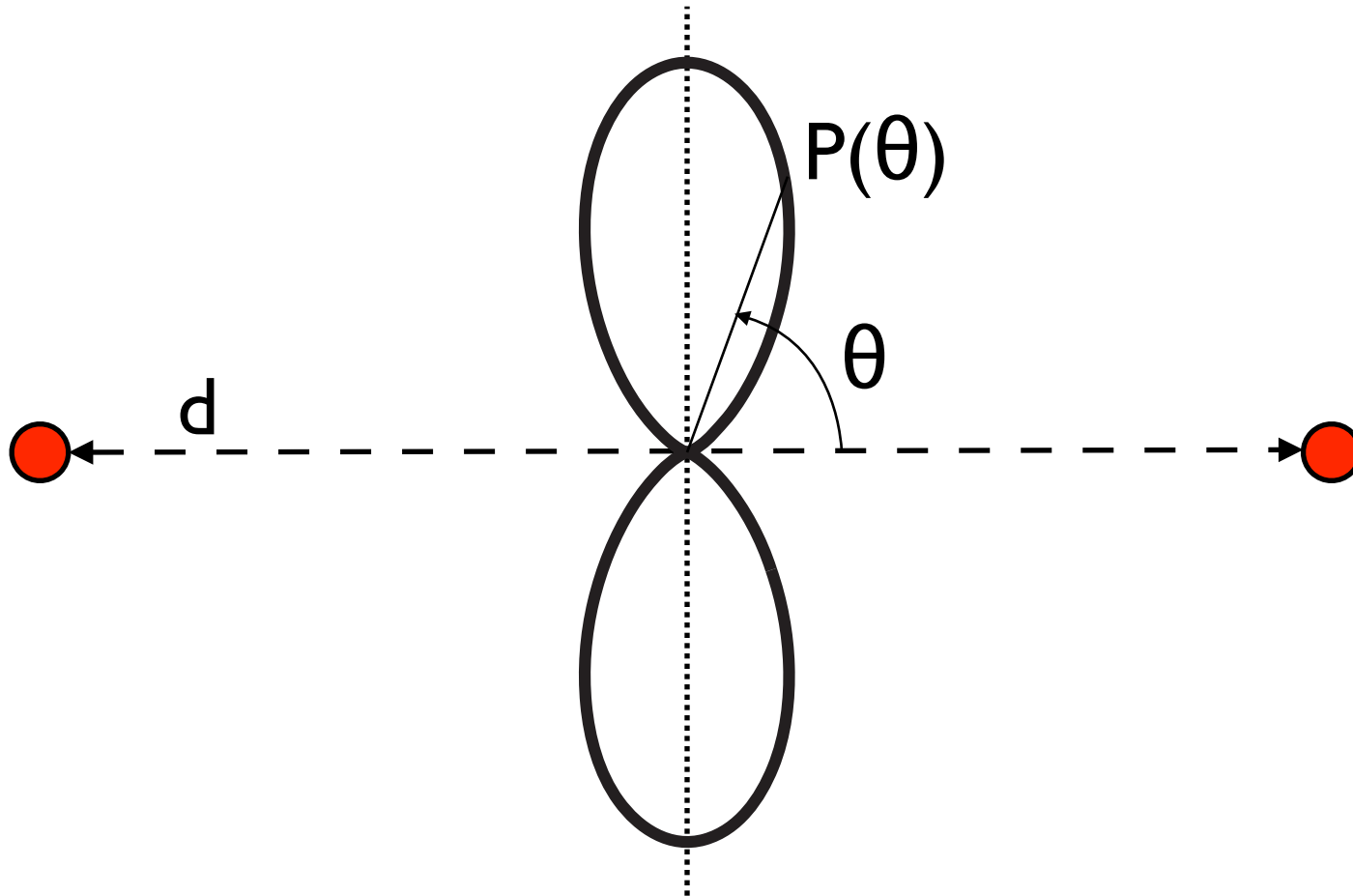
Tubes ou fils (*Wind, Ulysses, Cassini, STEREO...*) $f \gtrsim 3$ kHz



Antennes radio Spatiales

diagramme de rayonnement de 2 sphères

(\Leftrightarrow interféromètre à 2 antennes !)

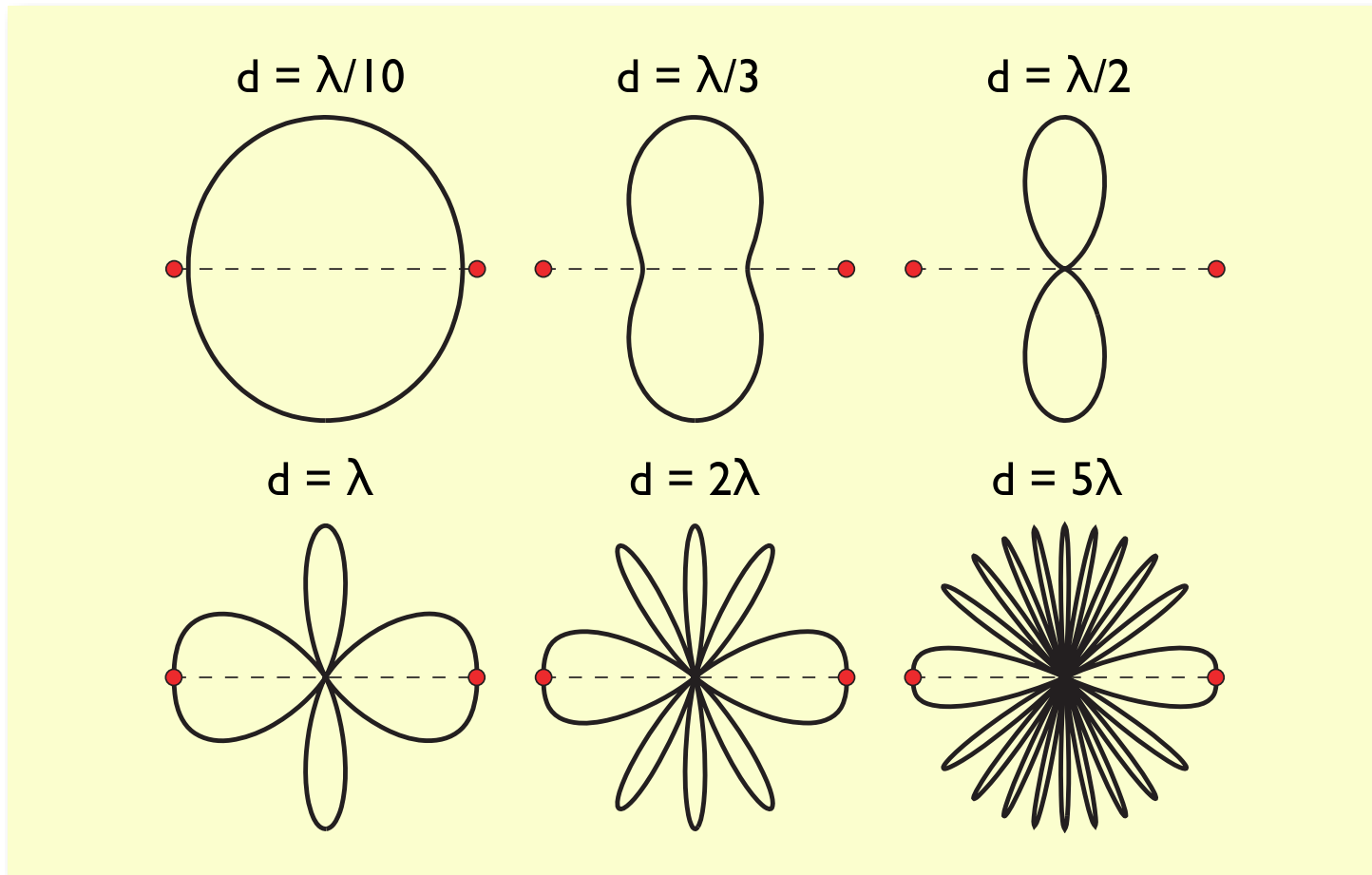


$$P(\theta) \propto \cos^2 \left(\pi d \cos \theta / \lambda \right)$$

Antennes radio Spatiales

diagramme de rayonnement de 2 sphères

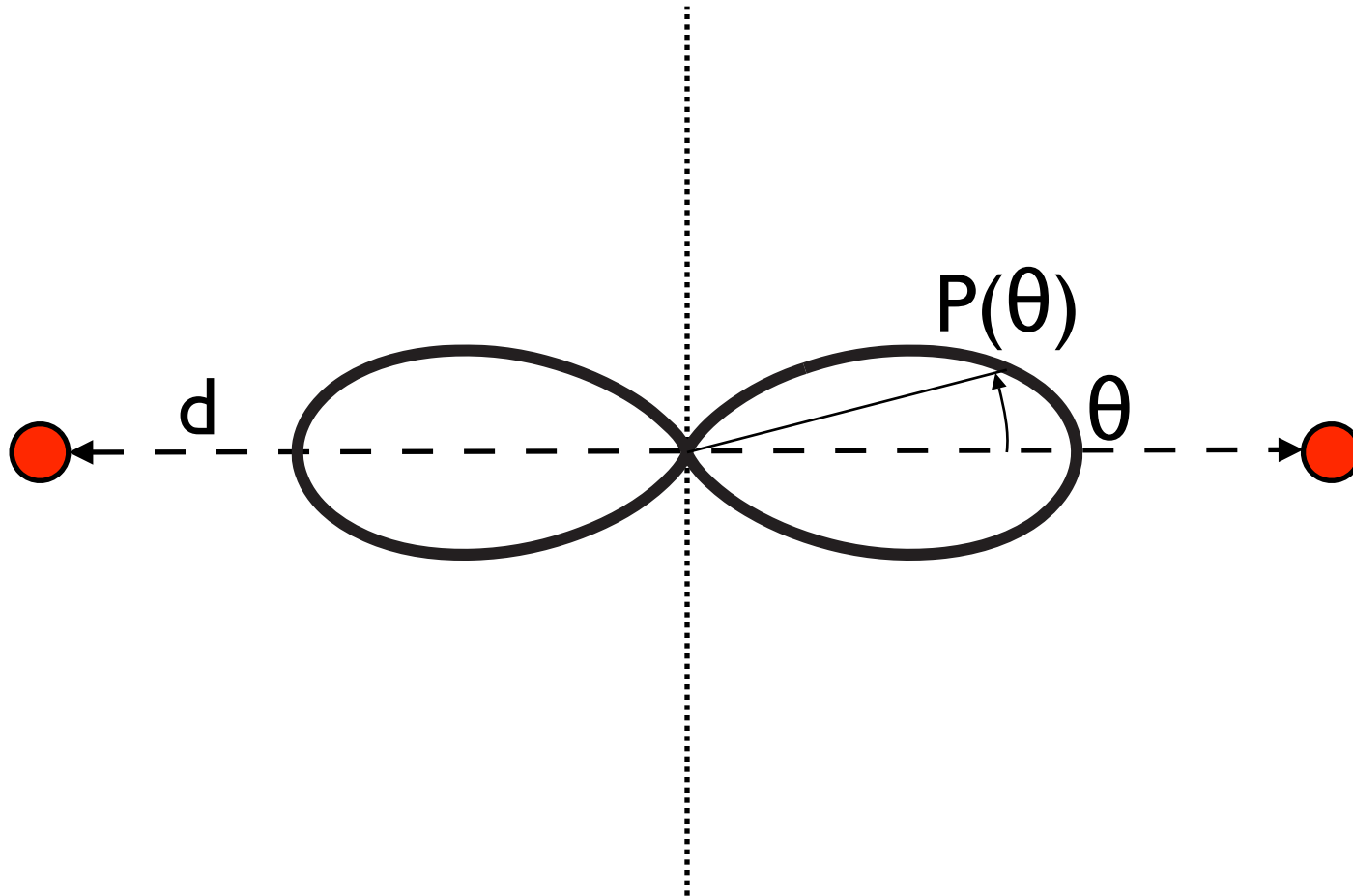
$$P(\theta) \propto \cos^2 \left(\pi d \cos\theta / \lambda \right)$$



$$P(\theta) \propto \cos^2 \left(\pi/2 \cos\theta \right) \text{ pour } d = \lambda/2$$

Antennes radio Spatiales

*diagramme de rayonnement de 2 sphères
en opposition de phase*



$$P(\theta) \propto \sin^2 \left(\pi d \cos \theta / \lambda \right)$$

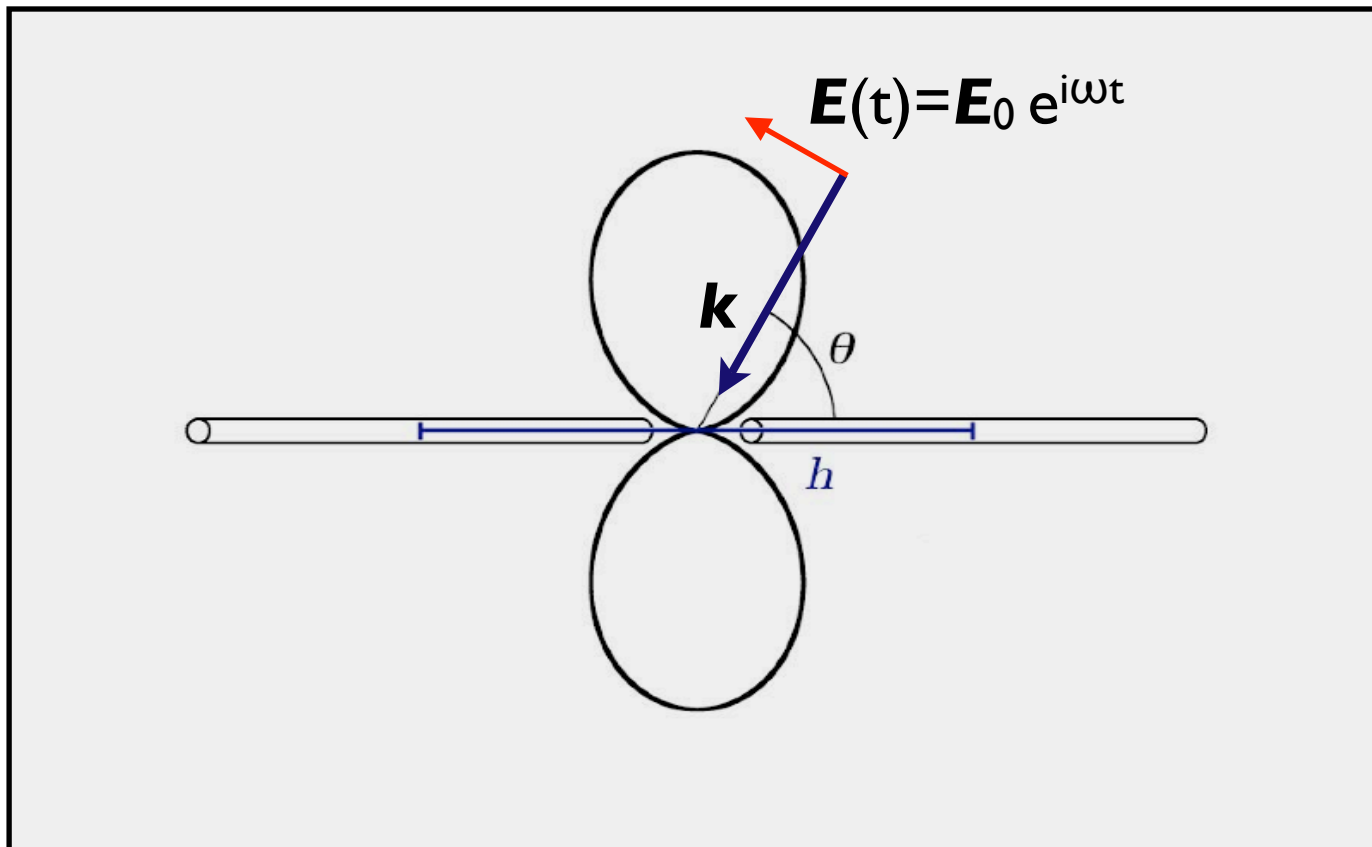
Antennes radio Spatiales

diagramme de rayonnement d'une antenne dipolaire

hypothèse antenne courte ($h \ll \lambda$)

$$V = \langle \mathbf{h} \cdot \mathbf{E}(t) \rangle = \mathbf{h} \cdot \mathbf{E}_0 \sin\theta$$

$$\Rightarrow P(\theta) \propto \sin^2\theta$$



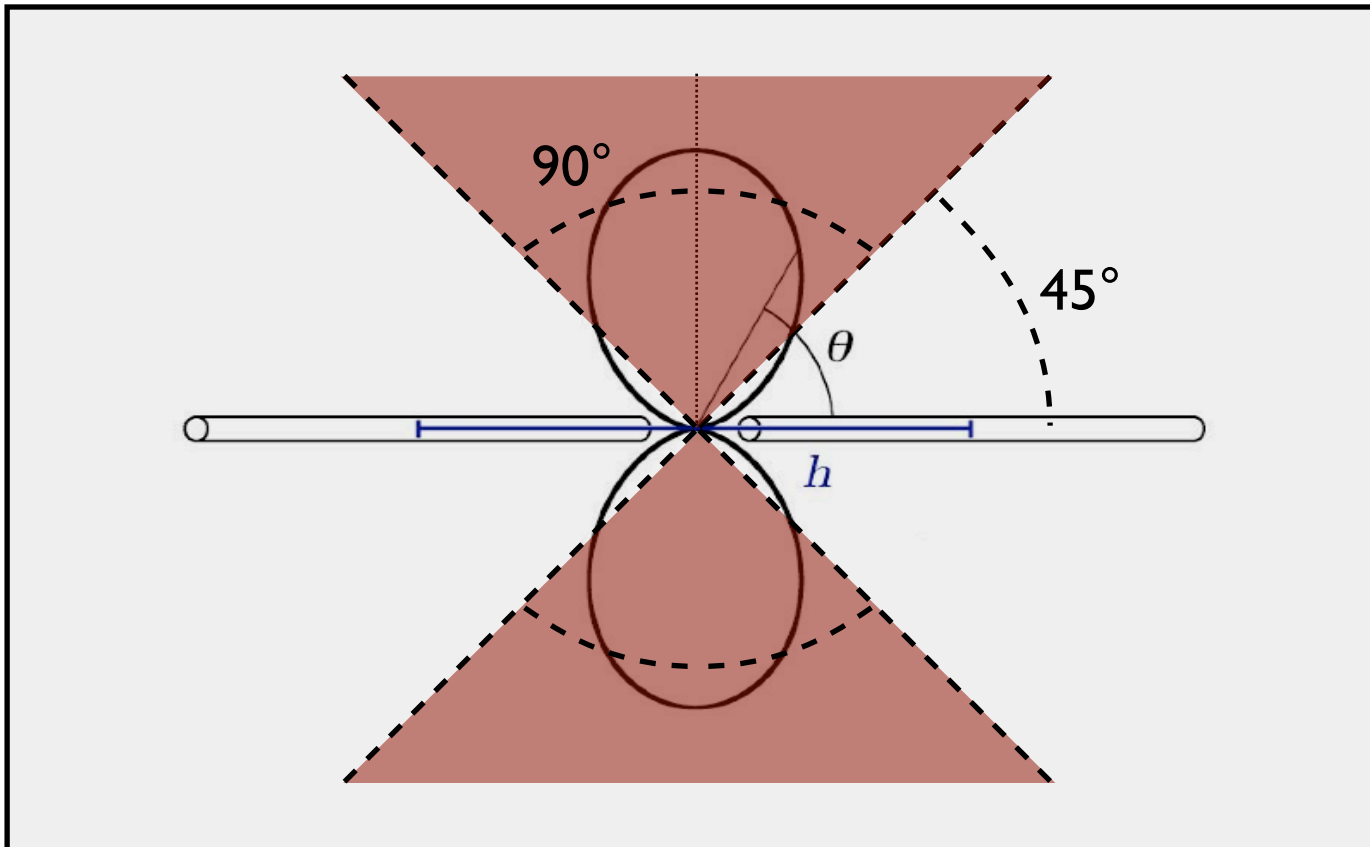
Antennes radio Spatiales

diagramme de rayonnement d'une antenne dipolaire

$$P = P_{\max}/2 \text{ à } \theta = 45^\circ$$

\Rightarrow ouverture à 3dB = 90°

Lobe principal : $\Omega = 8\pi/3$ sr

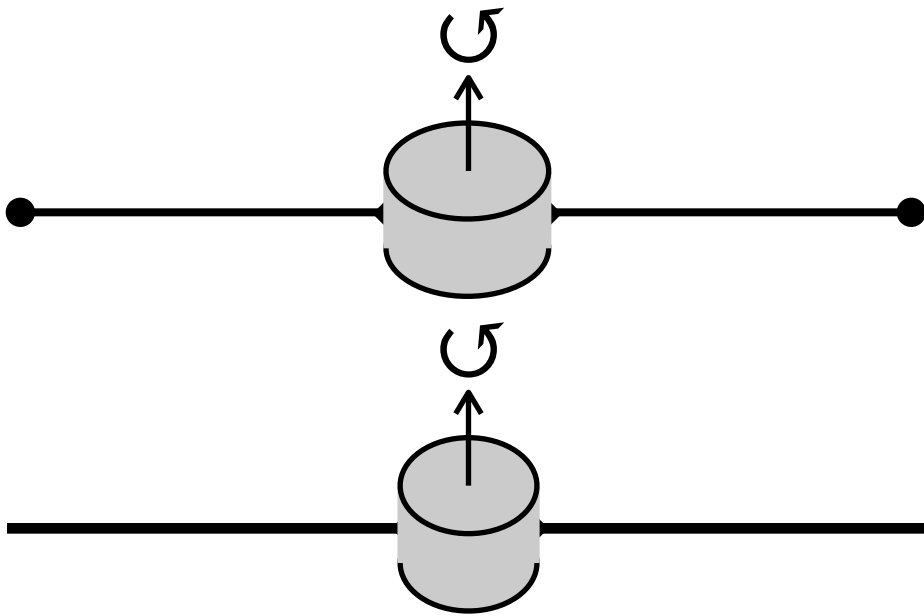


Antennes radio Spatiales

Configurations d'antennes

Satellites tournants
(boules ou fils)
 $h=20$ à 50 m

dipoles

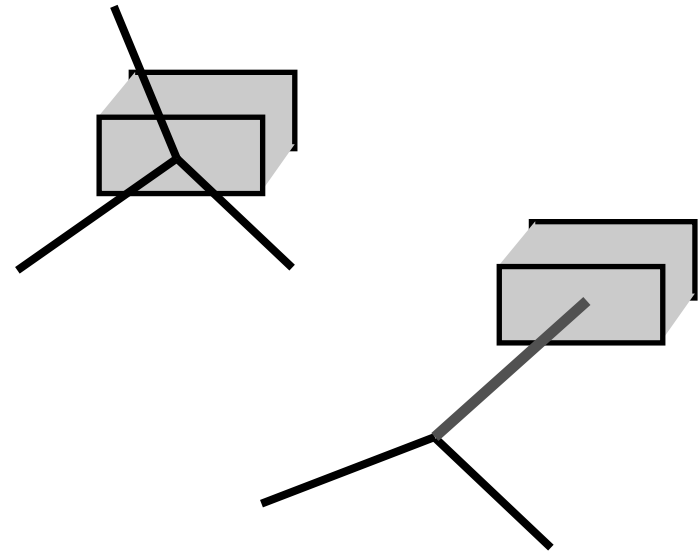


[Wind, Ulysses, Cluster...]

Satellites stabilisé 3 axes
(tubes)
 $h=6$ à 10 m

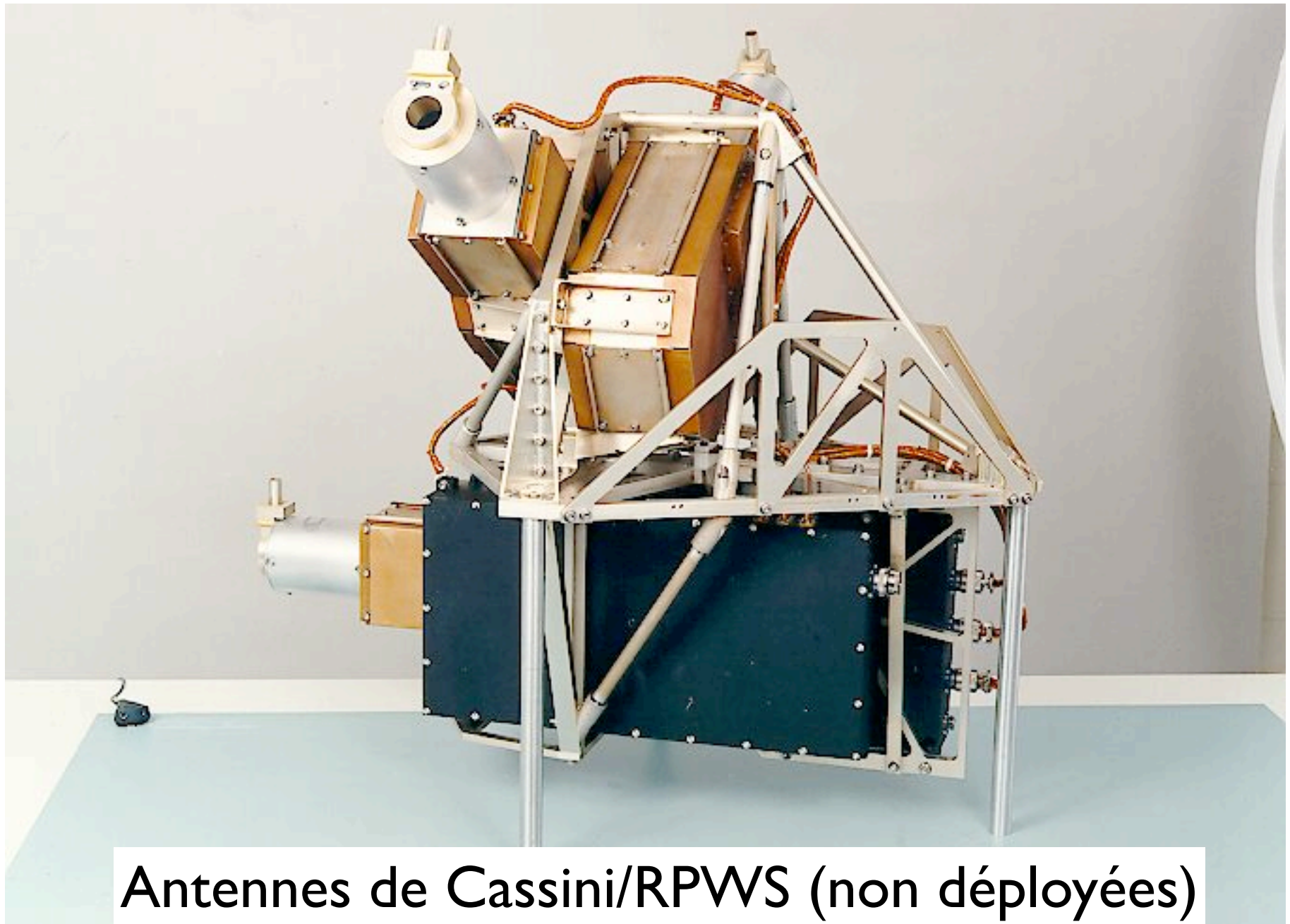
monopoles

(monopole+satellite ~ dipole)



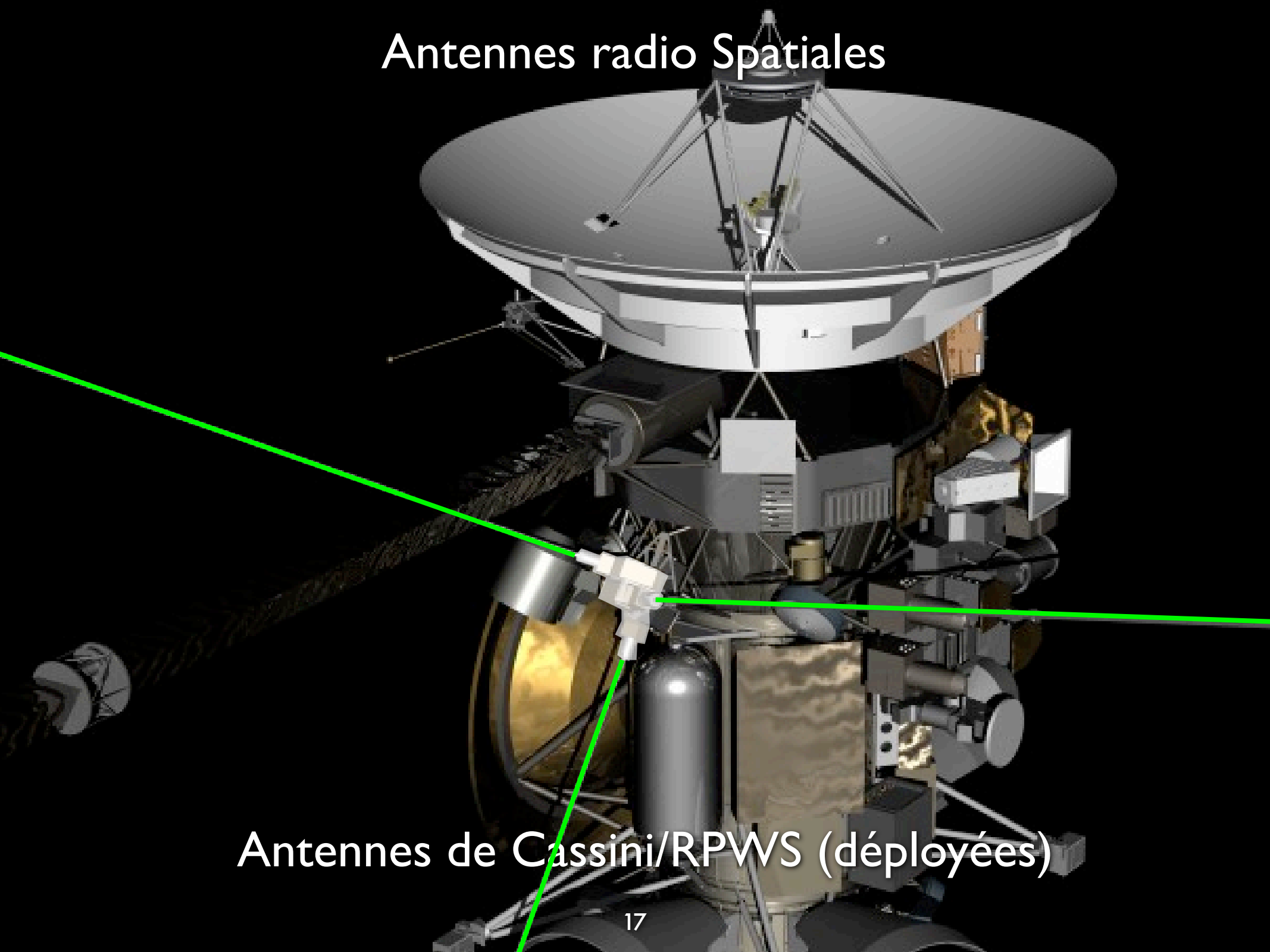
[Voyager, Galileo, Cassini, STEREO...]

Antennes radio Spatiales



Antennes de Cassini/RPWS (non déployées)

Antennes radio Spatiales



Antennes de Cassini/RPWS (déployées)

PLAN

Introduction

Antennes

Récepteurs – Mesures

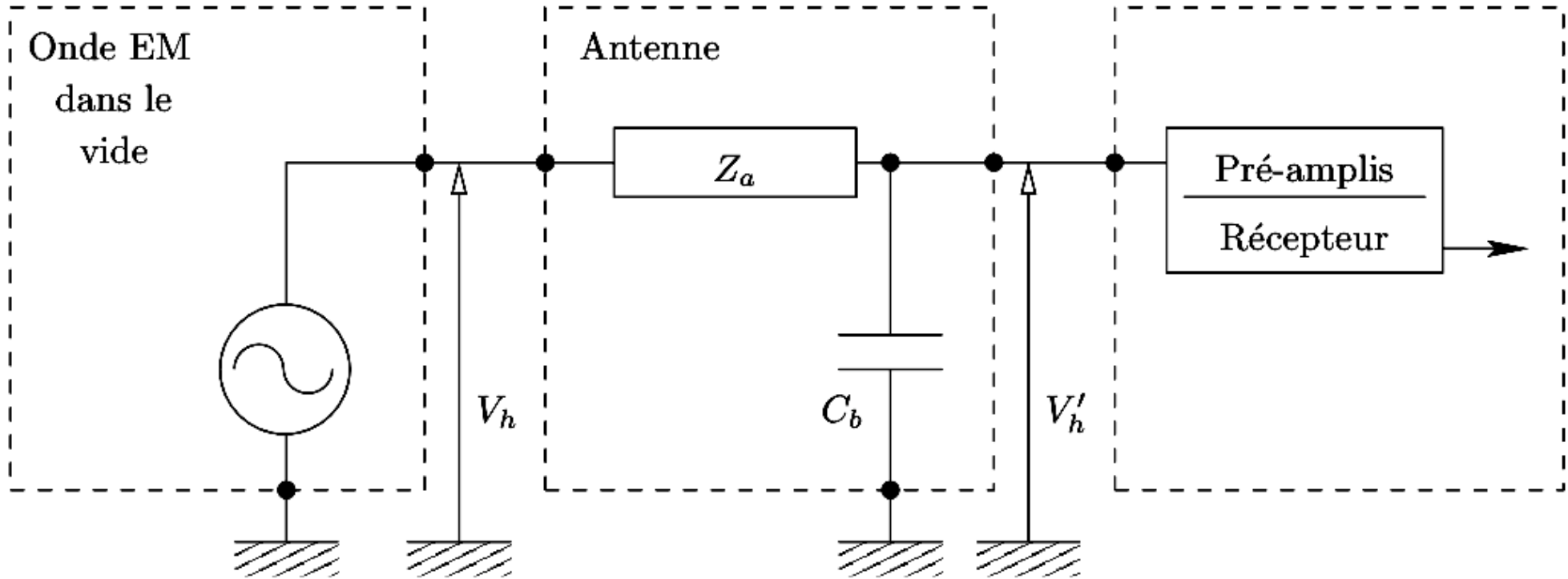
Goniopolarimétrie

Quelques Résultats

Concours

Récepteurs – Mesures

Schéma équivalent d'une antenne électrique dans le vide

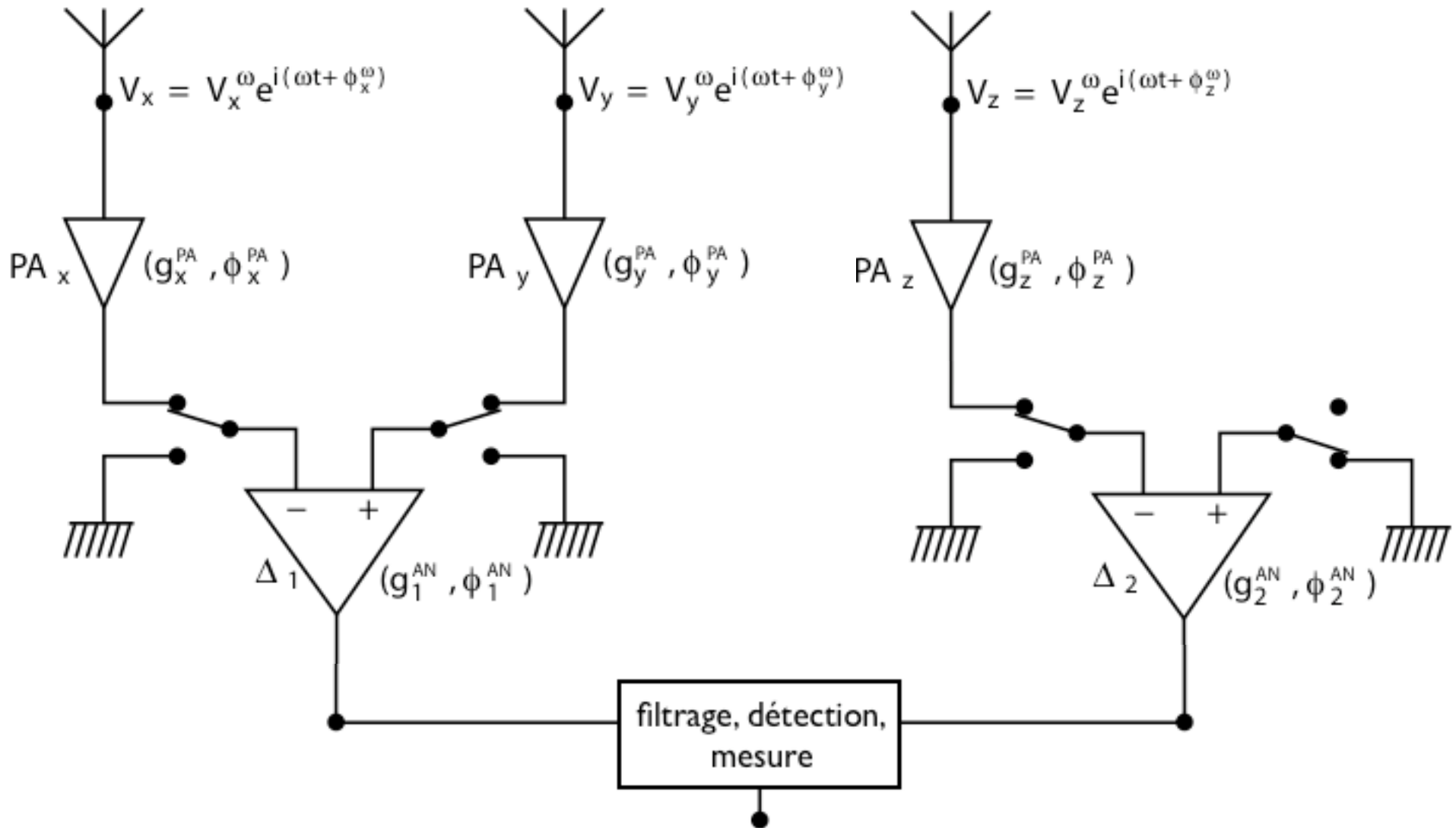


différence de potentiel à l'entrée du récepteur :

$$V'_h = V_h \frac{C_a}{C_a + C_b}$$

Récepteurs – Mesures

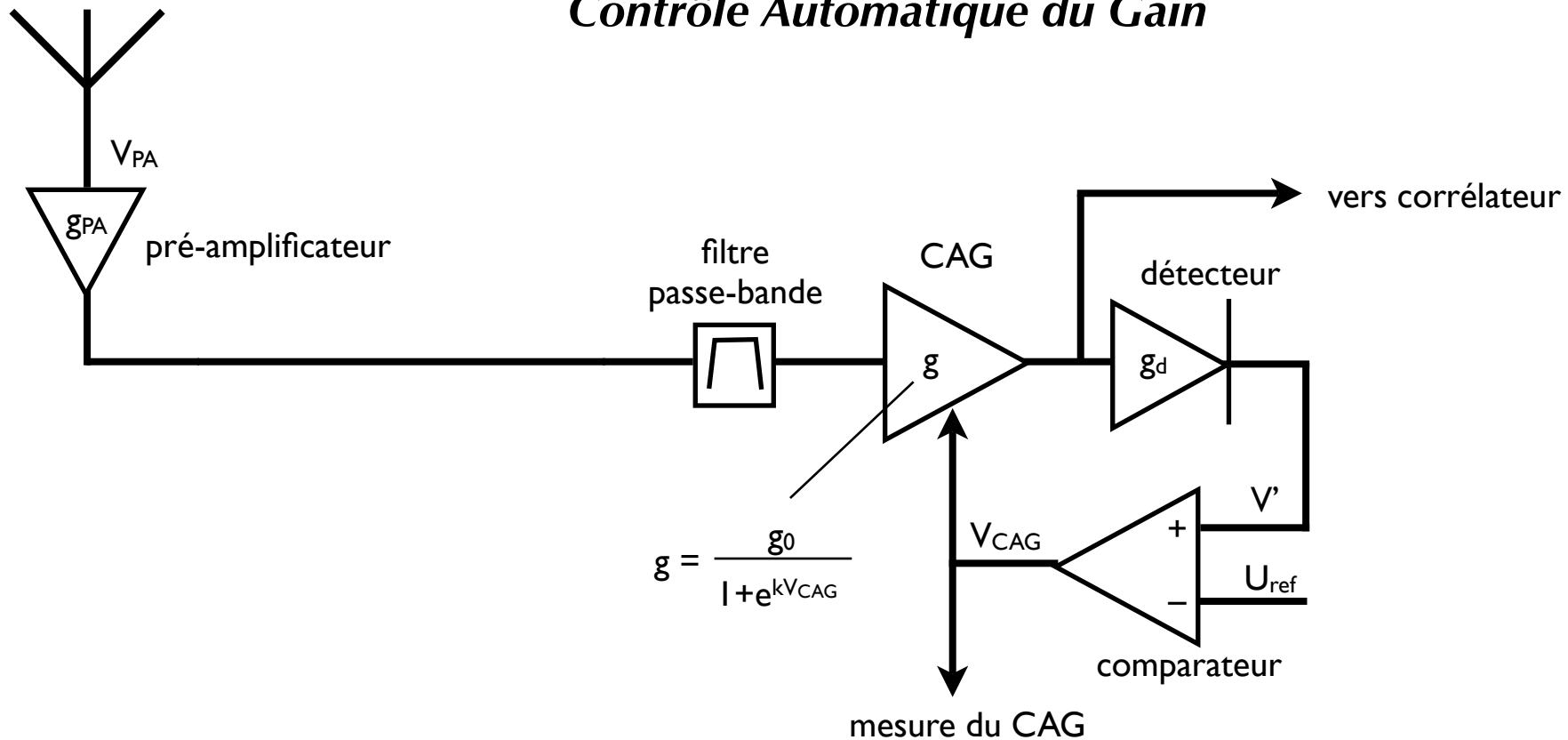
schéma simplifié d'un récepteur multicanal



Récepteurs – Mesures

Filtrage, détection, mesure

Contrôle Automatique du Gain



Le comparateur sort V_{CAG} tel que $V' = U_{ref}$

$$V' = g_{PA} \frac{g_0}{1 + e^{kV_{CAG}}} g_d V_{PA} = U_{ref} \Rightarrow V_{CAG} = \frac{1}{k} \log \left(\frac{V_{PA}}{V_0} - 1 \right) \quad \text{Fonction de transfert}$$

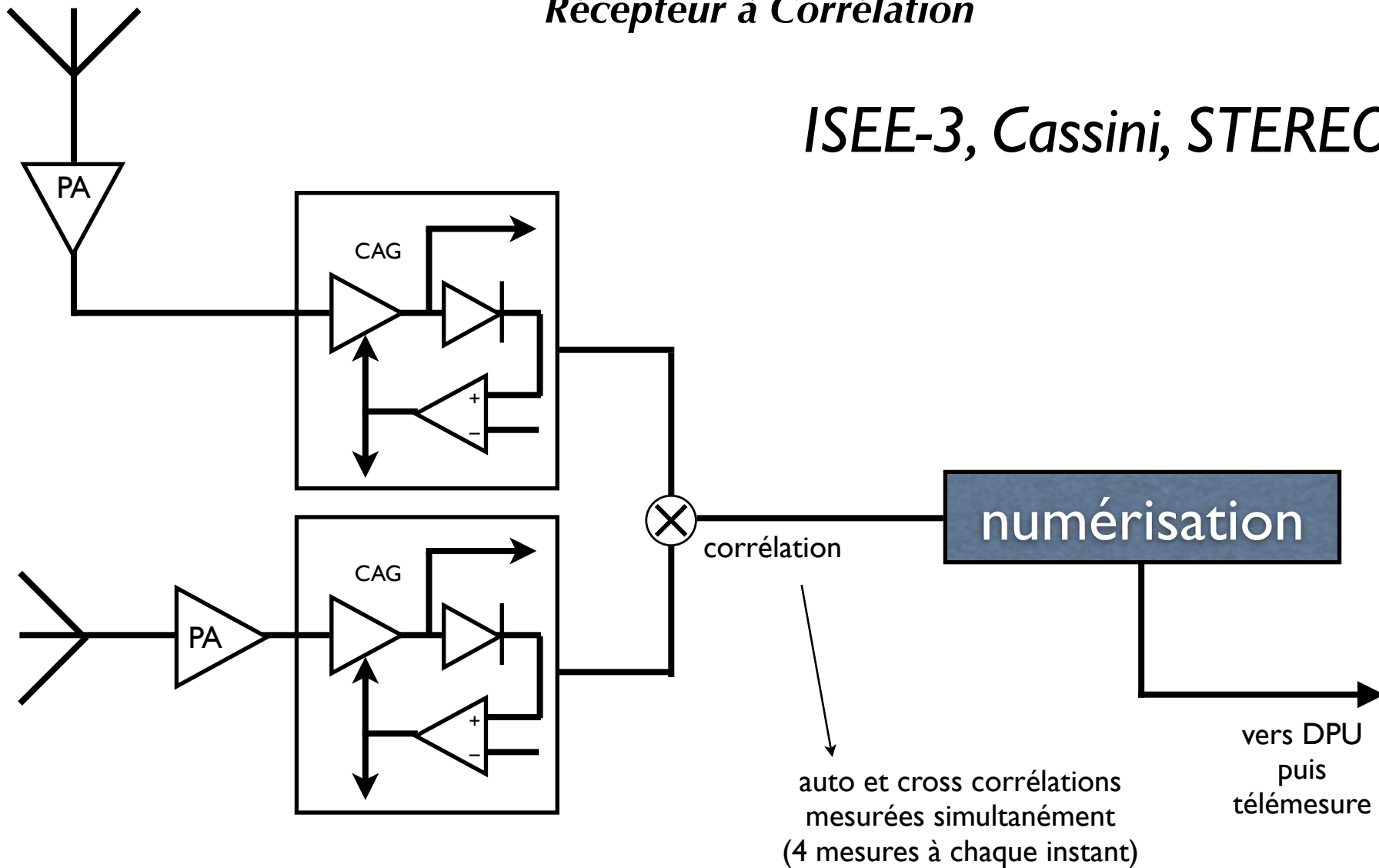
$$\text{avec } V_0 = \frac{U_{ref}}{g_{PA} g_0 g_d}$$

Récepteurs – Mesures

Filtrage, détection, mesure

Récepteur à Corrélation

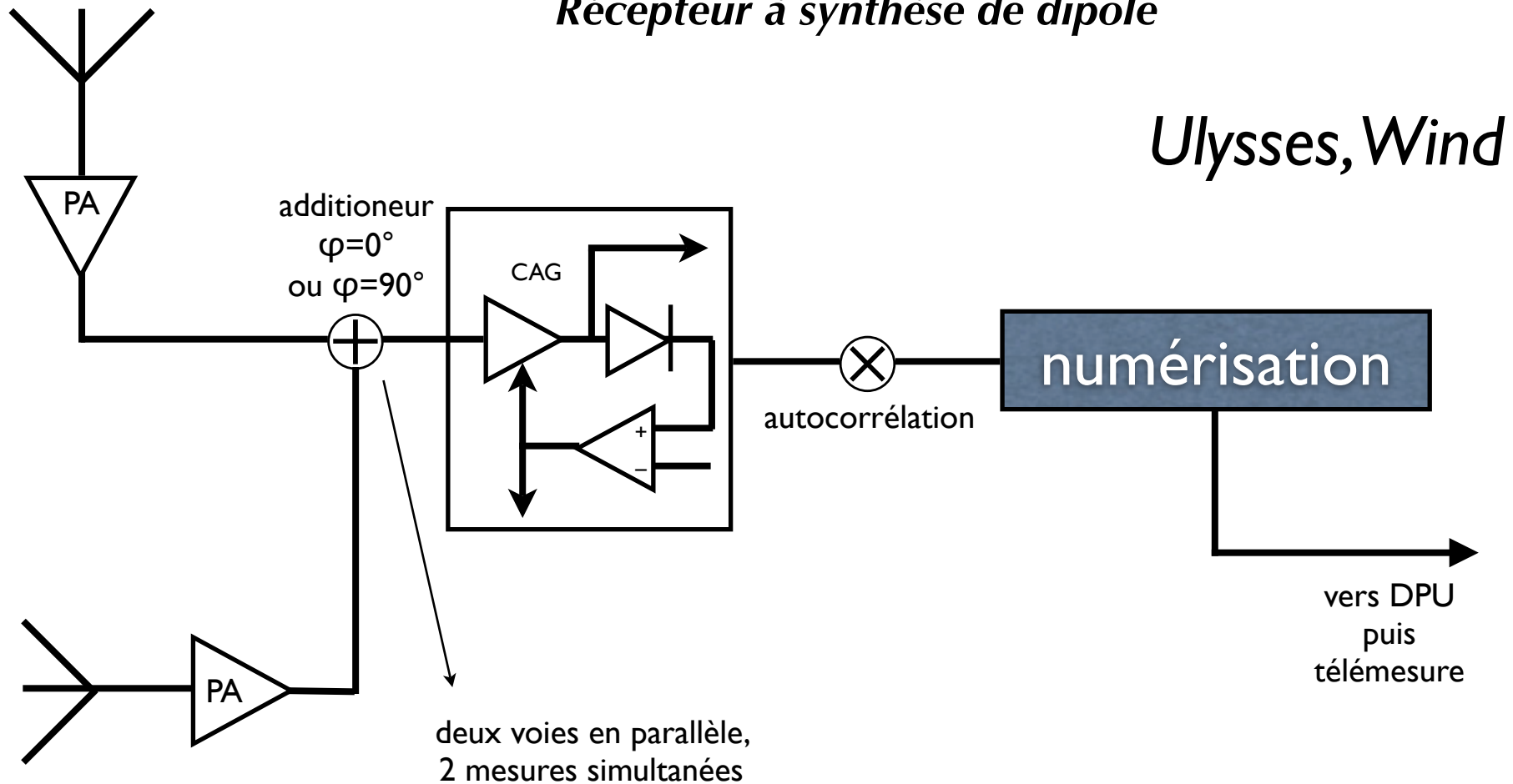
ISEE-3, Cassini, STEREO



Récepteurs – Mesures

Filtrage, détection, mesure

Récepteur à synthèse de dipole



Récepteurs – Mesures

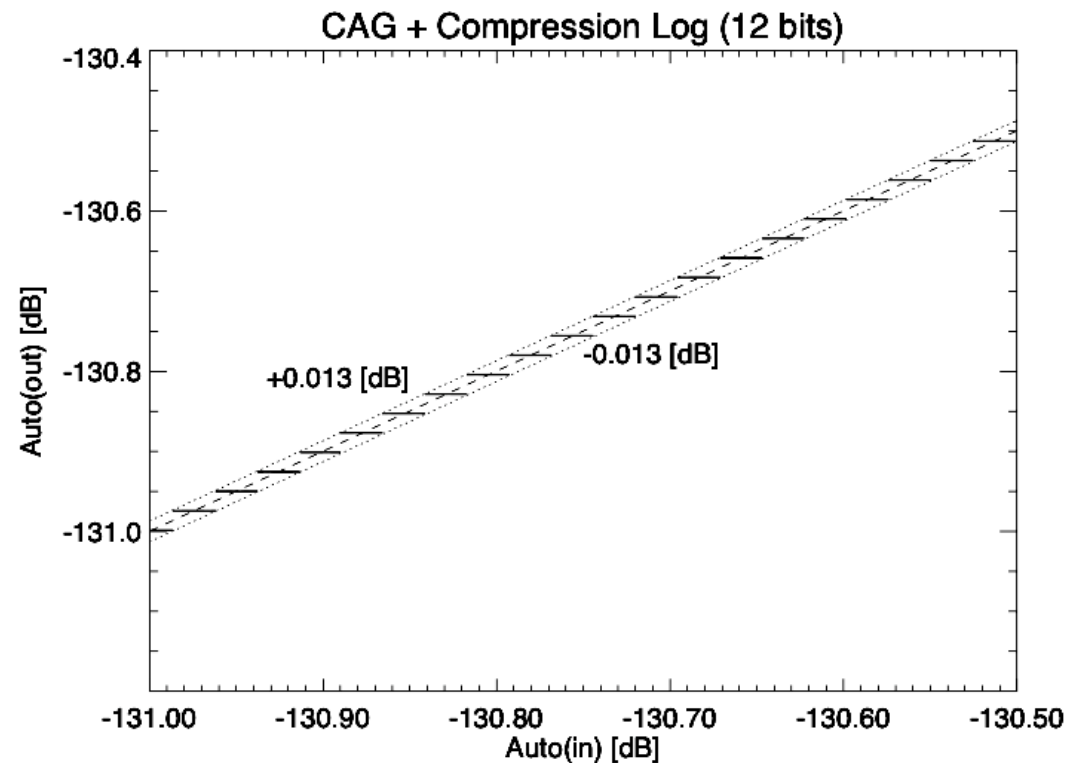
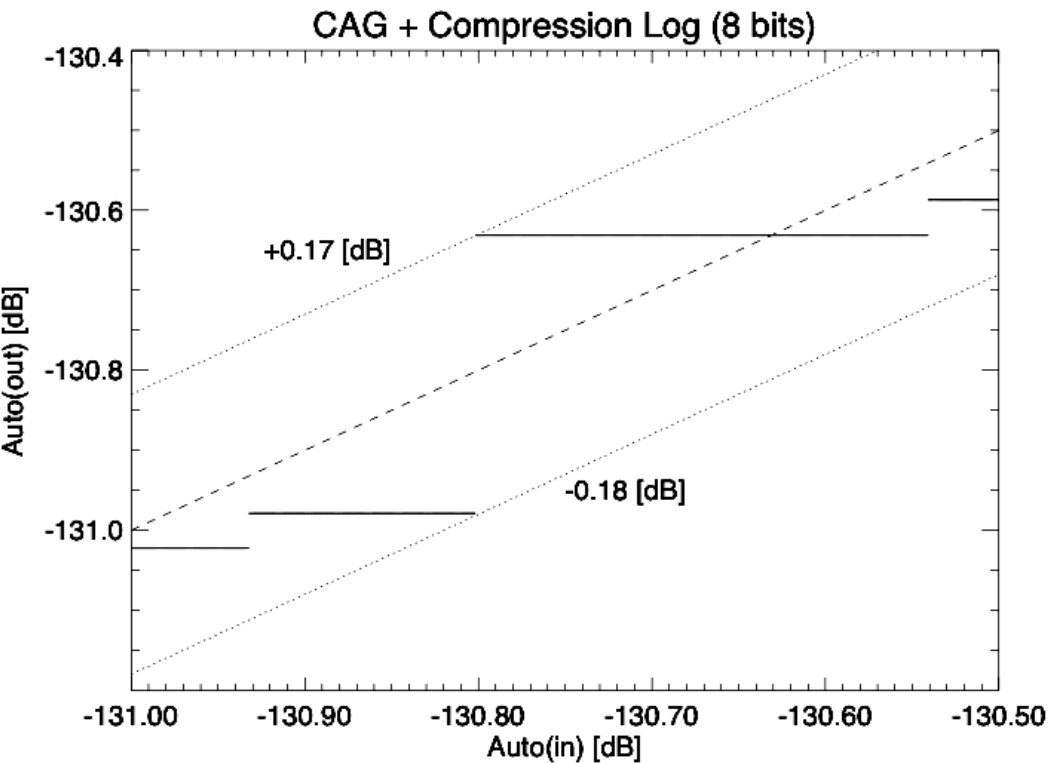
Numérisation

Numérisation des CAG

- numérisation linéaire sur 2^n niveaux ($n=8$ pour Wind, Cassini; $n=12$ pour STEREO) mais avec fonction de transfert avec profil logarithmique (“loi log”).

Numérisation des corrélations (via analyse numérique à bord : FFT, ondelettes...)

- numérisation en flottants (mantisse et exposant + signe pour les cross-corrélations) sur 8 bits pour Cassini/RPWS et 12 bits pour STEREO/Waves.



Récepteurs – Mesures

Puissances

Mesures :

densité spectrale de puissance P [$V^2.Hz^{-1}$] :

auto- (cross-) corrélations des tensions mesurées aux bornes des antennes

Flux reçu :

$S = E^2 / (Z_0 b)$ [$W.m^{-2}.Hz^{-1}$] (où b =bande passante d'observation)

$$= V^2 / (Z_0 b h^2)$$

Sensibilité des observations :

$$\sqrt{S_{\min}} / (Z_0 h^2) = V / b^{1/2} \quad [V.Hz^{-1/2}]$$

caractérise la sensibilité des récepteurs radio embarqués

actuellement : ~ 5 à 10 nV.Hz^{-1/2} (récepteur du LESIA)

d'où : $S_{\min} \sim 1.5$ à 6×10^{-22} W.m⁻².Hz⁻¹ avec $h \sim 20$ m

c'est le seuil de détection effectif si $f \lesssim 1$ MHz

si $f \gtrsim 1$ MHz bruit de fond galactique dominant.

Récepteurs – Mesures

Forme d'onde

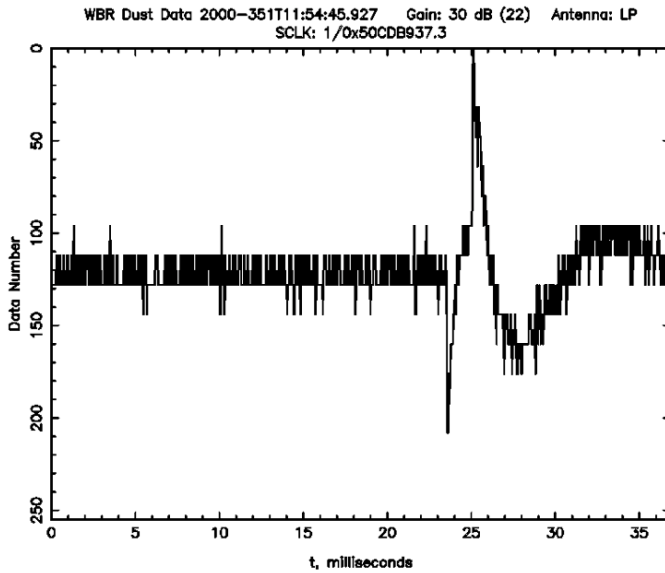
Mesures en forme d'onde :

mesure de $V(t)$ sur une durée courte ($<10s$) à haute cadence (256000 échantillons/seconde sur 12bits sur STEREO).

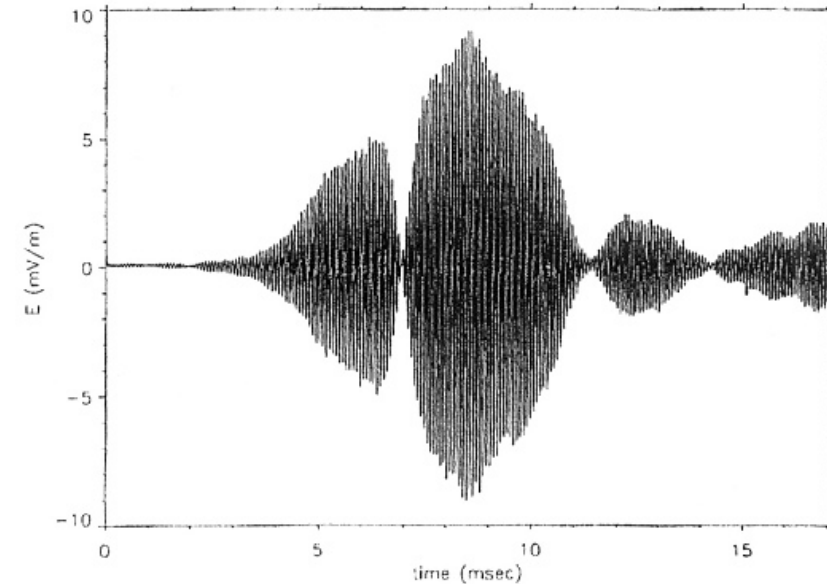
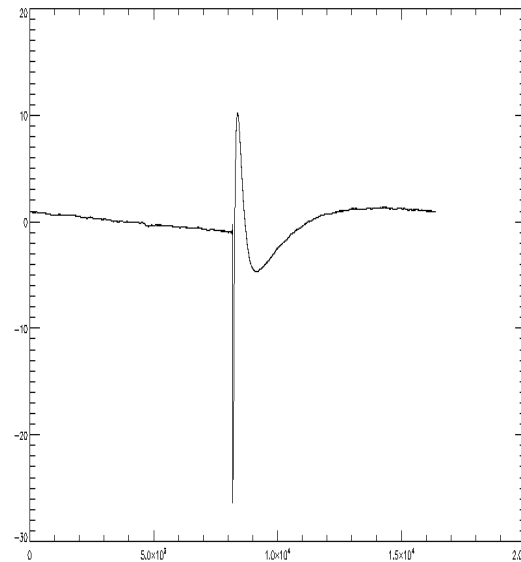
Nécessité d'un algorithme de détection pour ne garder que les événements "intéressants".

Possibilité d'hétérodynage.

Cassini/RPWS/WBR

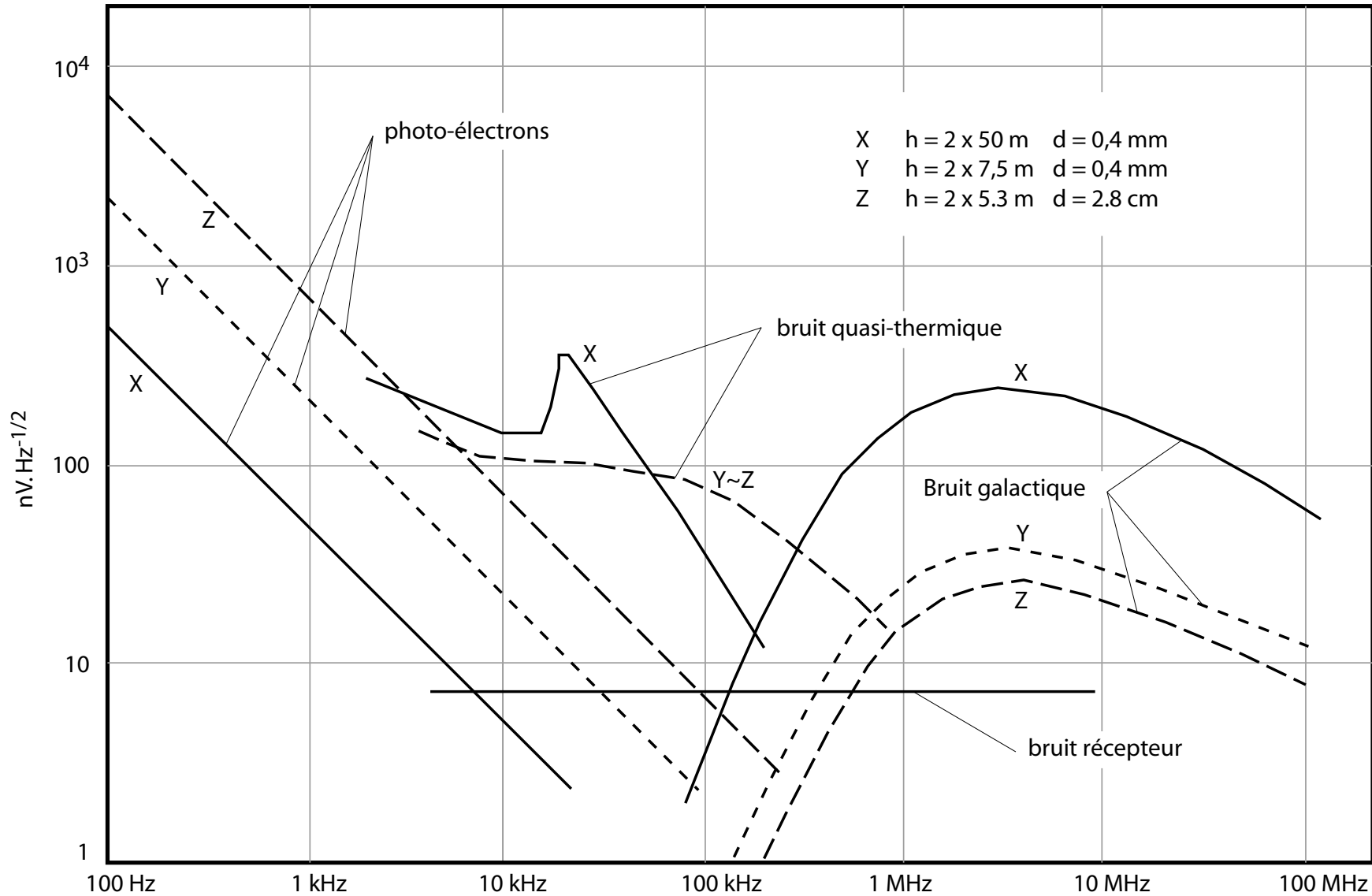


STEREO/Waves/TDS



Récepteurs – Mesures

Les différentes sources de bruit sur un récepteur radio embarqué



+ raies parasites

Récepteurs – Mesures

Contraintes Spécifiques pour les observations spatiales

Contraintes

- L_{max} *inertie, déploiement, gêne optique*
- *Masse* \leq *quelques kg*
- *Puissance consommée* \leq *quelques W*
- *Dimensions* *miniaturisations, ASIC...*
- *Dynamique* *2 étages : CAG + analyse numérique*

Sources de Bruit

- *Thermique* *agitation des électrons libres au voisinage de l'antenne*
bruit électrostatique avec un pic à f_{pe}
- *Photoélectrique* *électrons arrachés à l'antenne ou au satellite*
- *Fond galactique* *domine $f \geq 1$ MHz*
- *Parasites de bord* *convertisseurs d'alimentation*

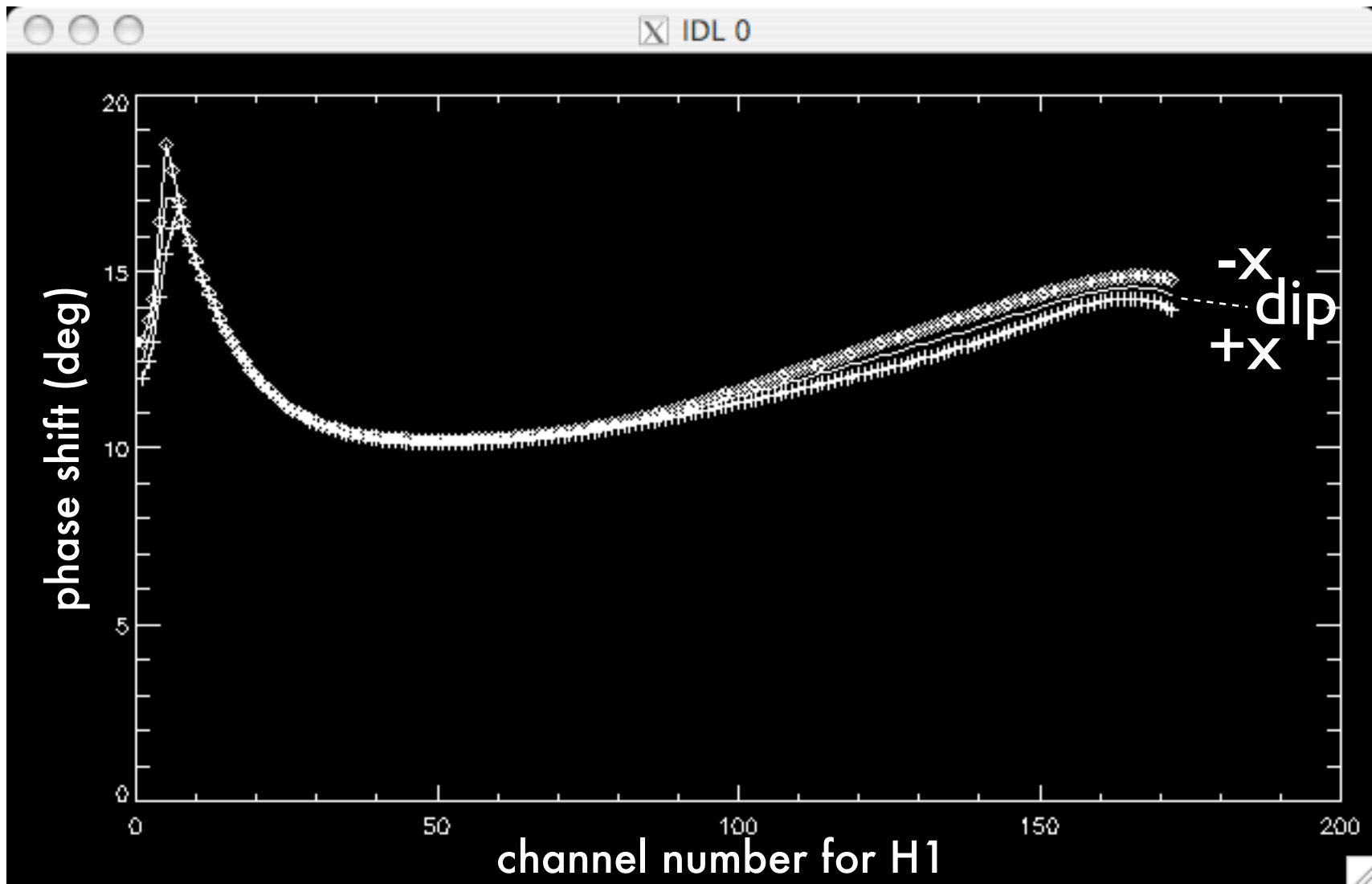
Mesure

- *Auto- et Cross-corrélations des tensions mesurées aux bornes des antennes :*
$$P_{ij} = \langle V_i V_j^* \rangle$$

Récepteurs – Mesures

Etalonnage en phase

Etalonnage en labo avec générateur de bruit (illustration Cassini/RPWS)



Récepteurs – Mesures

Etalonnage en gain

source étalon : Rayonnement BF galactique [dulk et al., 2001] ~ isotrope
connu à mieux que $\pm 50\%$ (Wind, Ulysses, ISEE-3, BIRS)

obtention du rapport $h.C_a / (C_a + C_b) \Rightarrow$ Flux

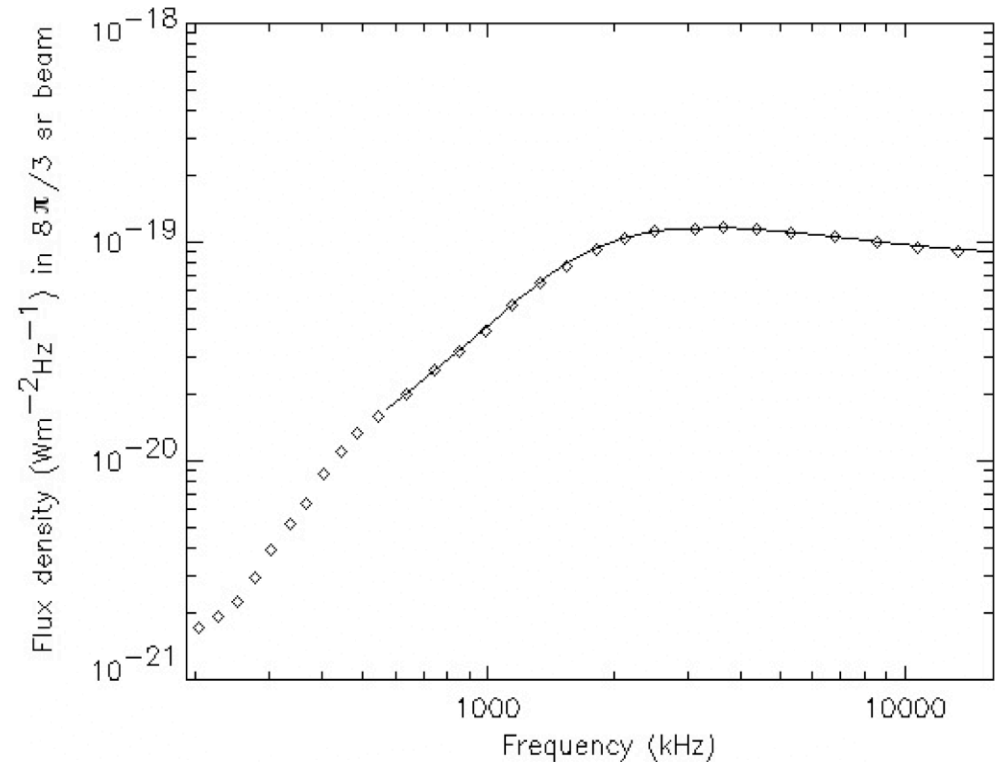
Résultats (Cassini/RPWS) :

$$h.C_a / (C_a + C_b) = 3.06 \text{ (dipôle)}$$

$$h.C_a / (C_a + C_b) = 1.68 \text{ (monopôle)}$$

d'où les paramètres :

- longueurs : $h \sim 8\text{m}$
- capacités de base ($C_b \sim 150\text{pF}$) pour une capacité d'antenne $C_a = 100\text{pF}$



PLAN

Introduction

Antennes

Récepteurs – Mesures

Goniopolarimétrie

Quelques Résultats

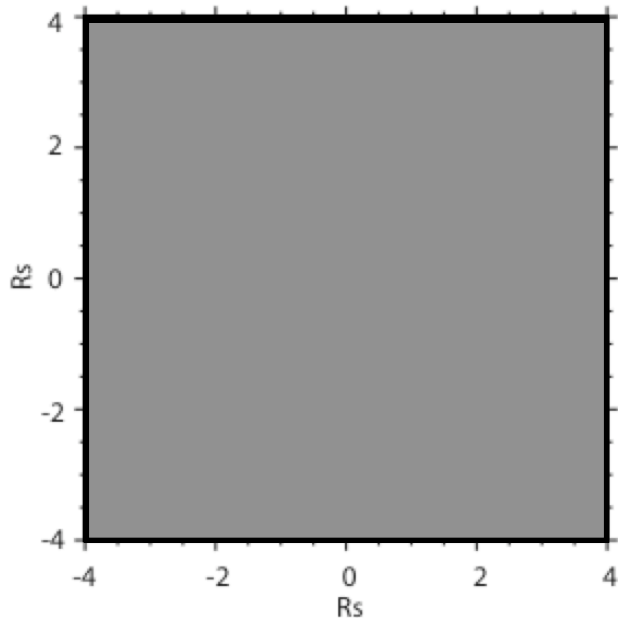
Concours

Goniopolarimétrie

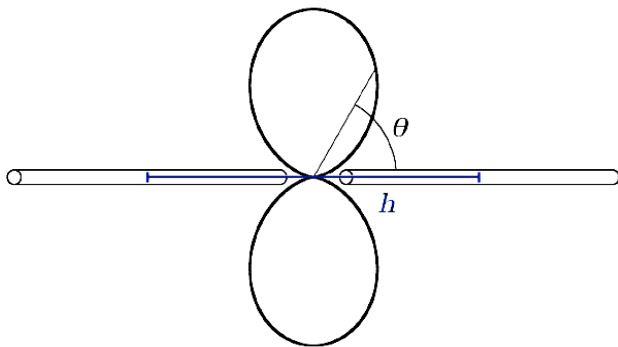
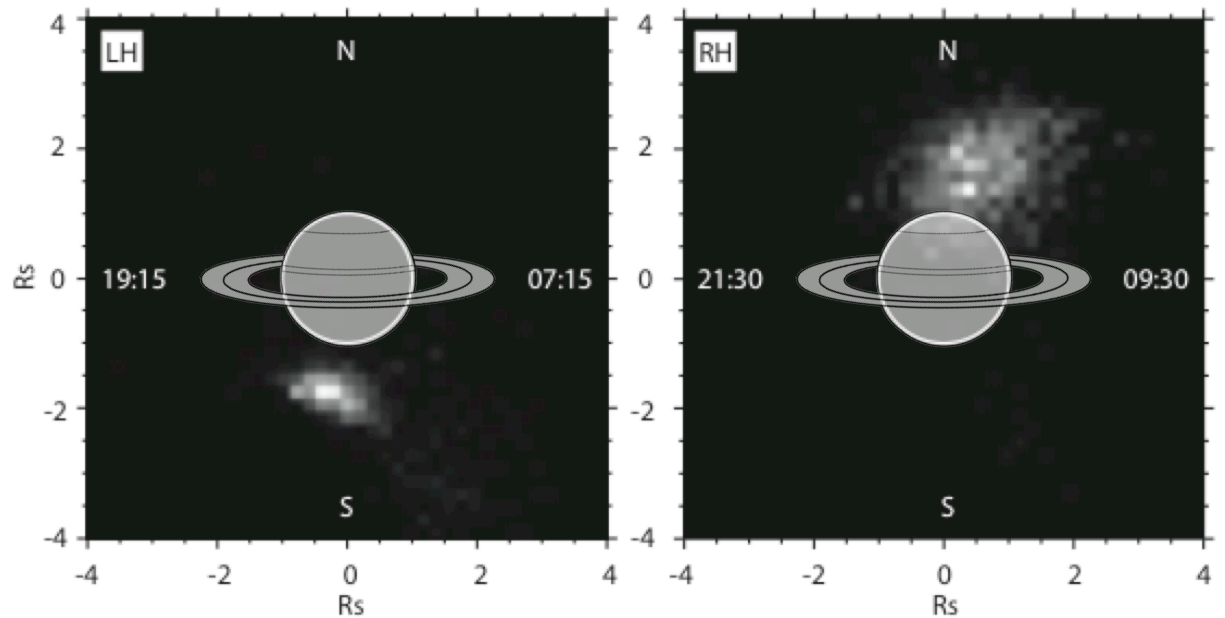
pourquoi faire ?

- λ/D à 300kHz ($\lambda \sim 1000\text{m}$) = $\sim 100^\circ$

λ/D



goniométrie (Direction-Finding) [$\sim 1^\circ$ précision]



- **Gonio-polarimétrie** (direction/
polarisation couplées)
 - ~HRA en radio
 - ~Spectro-Imageur Polarimétrique

Goniopolarimétrie

Cas de Cassini/RPWS (ou de STEREO/Waves).

- Satellite stabilisé 3 axes
- 3 antennes (monopôles)
- mesures = autocorrélations + intercorrélations.

“GP instantanée”

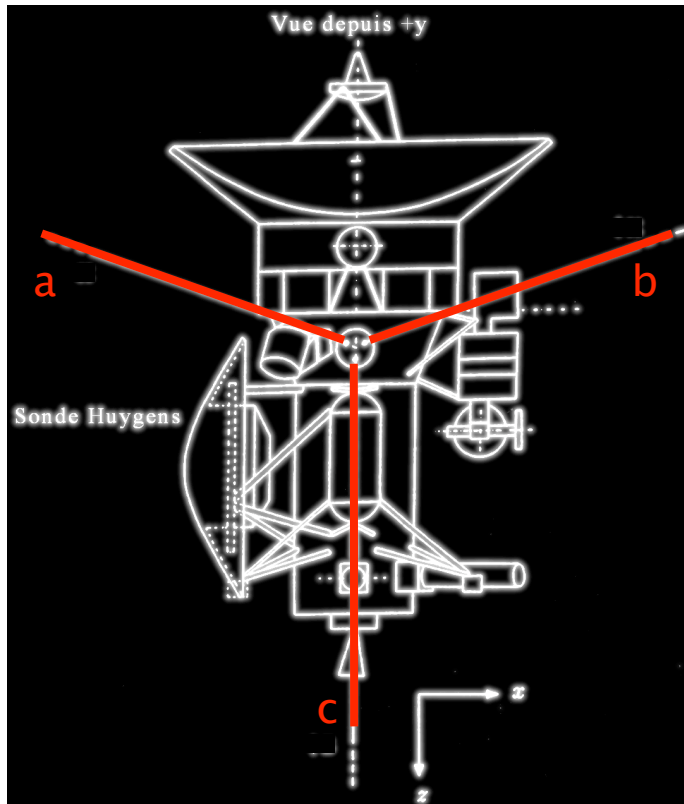
Autres systèmes Goniopolarimétriques :

- satellites tournants + corrélations
ISEE-3
- satellites tournants + sommes phasées
Wind, Ulysses, Interball

“GP par démodulation”

Goniopolarimétrie

Principes et Paramètres (Satellite stabilisé 3 axes)



7 (ou 9) Mesures :

- Autocorrélations (a, b et c) [3]
- Intercorrélations (ac et bc) [4=2x2]
- ou (ab, bc et ac) [6=3x2]

Onde électromagnétique : 6(+1) paramètres

- S : flux de Poynting (E^2/Z_0)
- Q : taux de polar. Verticale
- U : taux de polar. Horizontale
- V : taux de polar. Circulaire

• θ et ϕ : direction du vecteur d'onde

• σ : taille de la source

Mesures:

$$P_{ij} = \langle (\mathbf{h}_i \cdot \mathbf{E}) (\mathbf{h}_j \cdot \mathbf{E})^* \rangle = \langle V_i V_j^* \rangle$$

$$\begin{cases} \langle E_X \cdot E_X^* \rangle = Z_0 S (1 + Q) \\ \langle E_Y \cdot E_Y^* \rangle = Z_0 S (1 - Q) \\ \langle E_X \cdot E_Y^* \rangle = Z_0 S (U - iV) \\ \langle E_Y \cdot E_X^* \rangle = Z_0 S (U + iV) \end{cases}$$

Paramètres d'antennes (9)

- longueur h_i , direction θ_i et ϕ_i $i=[a,b,c]$

Goniopolarimétrie

Mesures

Hypothèses :

- Source unique et ponctuelle (*onde plane électromagnétique*)
- Antennes dipolaires

$$P_{ij} = \frac{Z_0 G h_i h_j S_0}{2} [(1 + Q)A_i A_j + (U - iV)A_i B_j + (U + iV)A_j B_i + (1 - Q)B_i B_j]$$

projections des antennes sur le plan d'onde

$$A_i(\theta_C, \phi_C) = -\sin \theta_i \cos \theta_C \cos(\phi_C - \phi_i) + \cos \theta_i \sin \theta_C$$

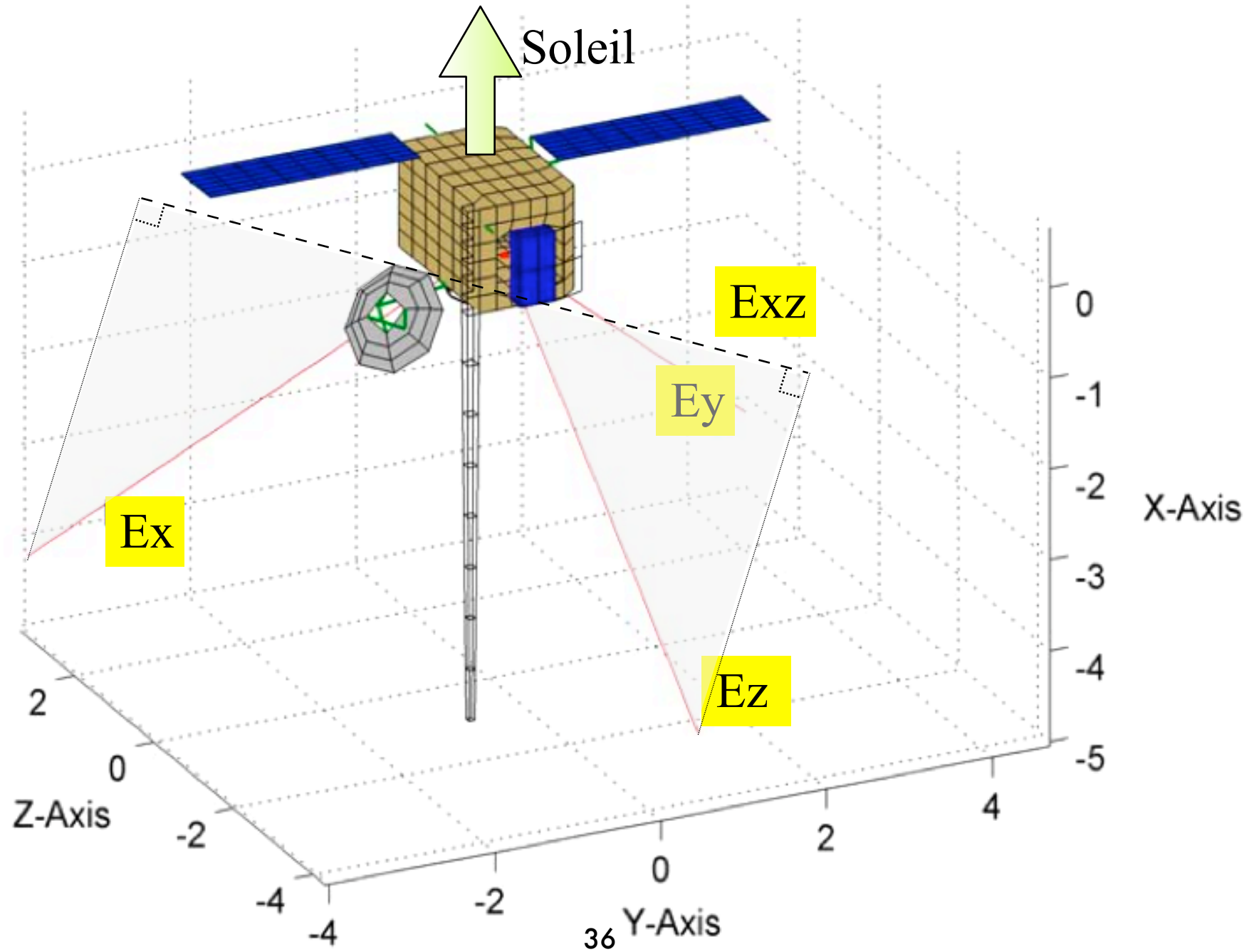
$$B_i(\theta_C, \phi_C) = -\sin \theta_i \sin(\phi_C - \phi_i)$$

Remarques

- Sh^2 : indissociable en GP
- $A_n(\theta, \varphi, \theta_n, \varphi_n), B_n(\theta, \varphi, \theta_n, \varphi_n)$ connus :
système algébrique en S, SQ, SU, SV
- si $\theta' = \pi - \theta, \varphi' = \pi + \varphi, Q' = Q, U' = -U, V' = -V$: mesures identiques
⇒ on ne peut pas dissocier la polarisation de la direction d'arrivée

Goniopolarimétrie

antennes (STEREO/Waves)



Goniopolarimétrie

Etalonnages des antennes

Paramètres

- directions
- longueurs

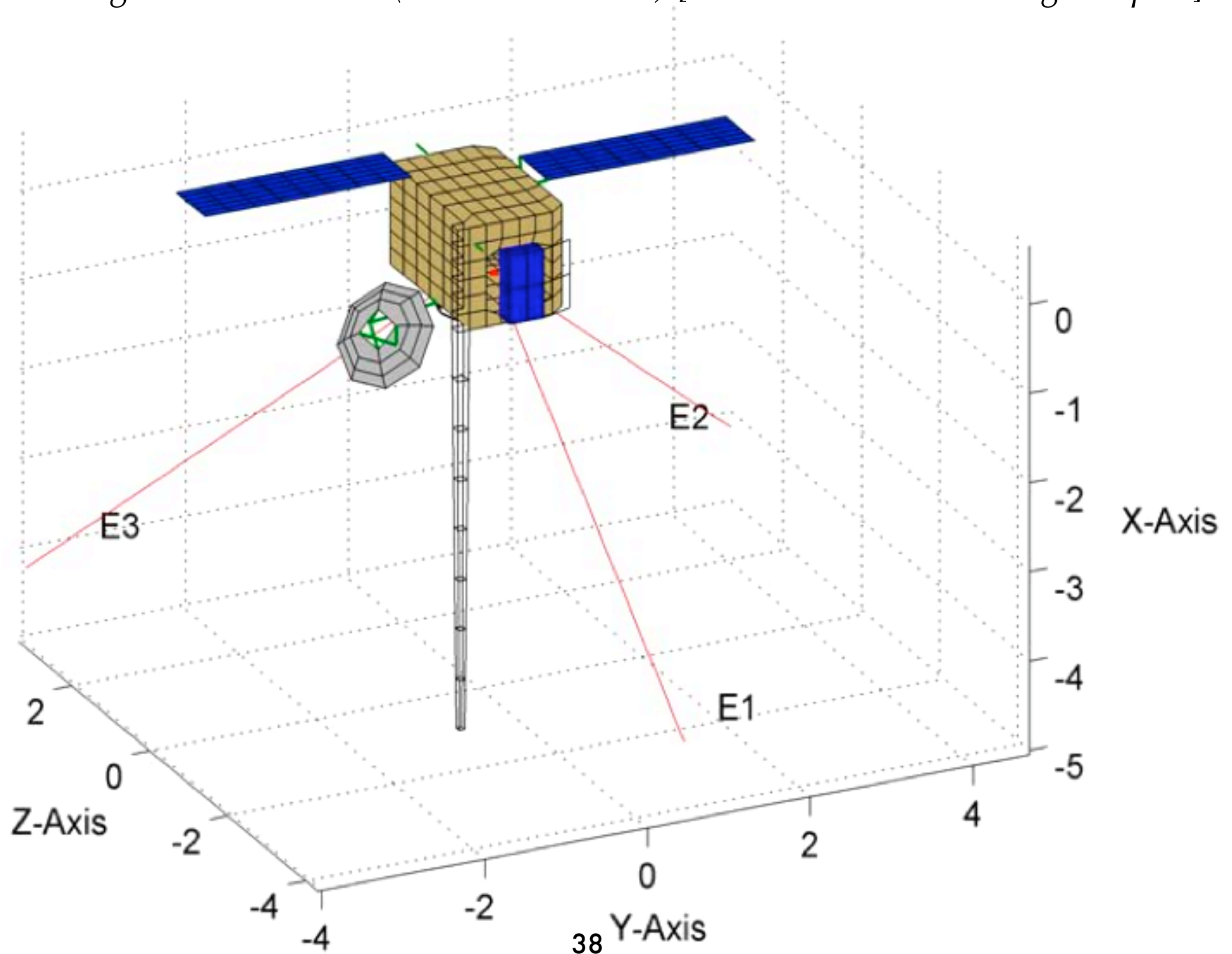
Méthodes

- *Simulations Electromagnétiques.*
- *Rhéométrie.*
- *Mesures en vol.*

il faut obtenir $\sim 1^\circ$ de précision sur les directions des antennes pour avoir 1° de précision pour la goniopolarimétrie.

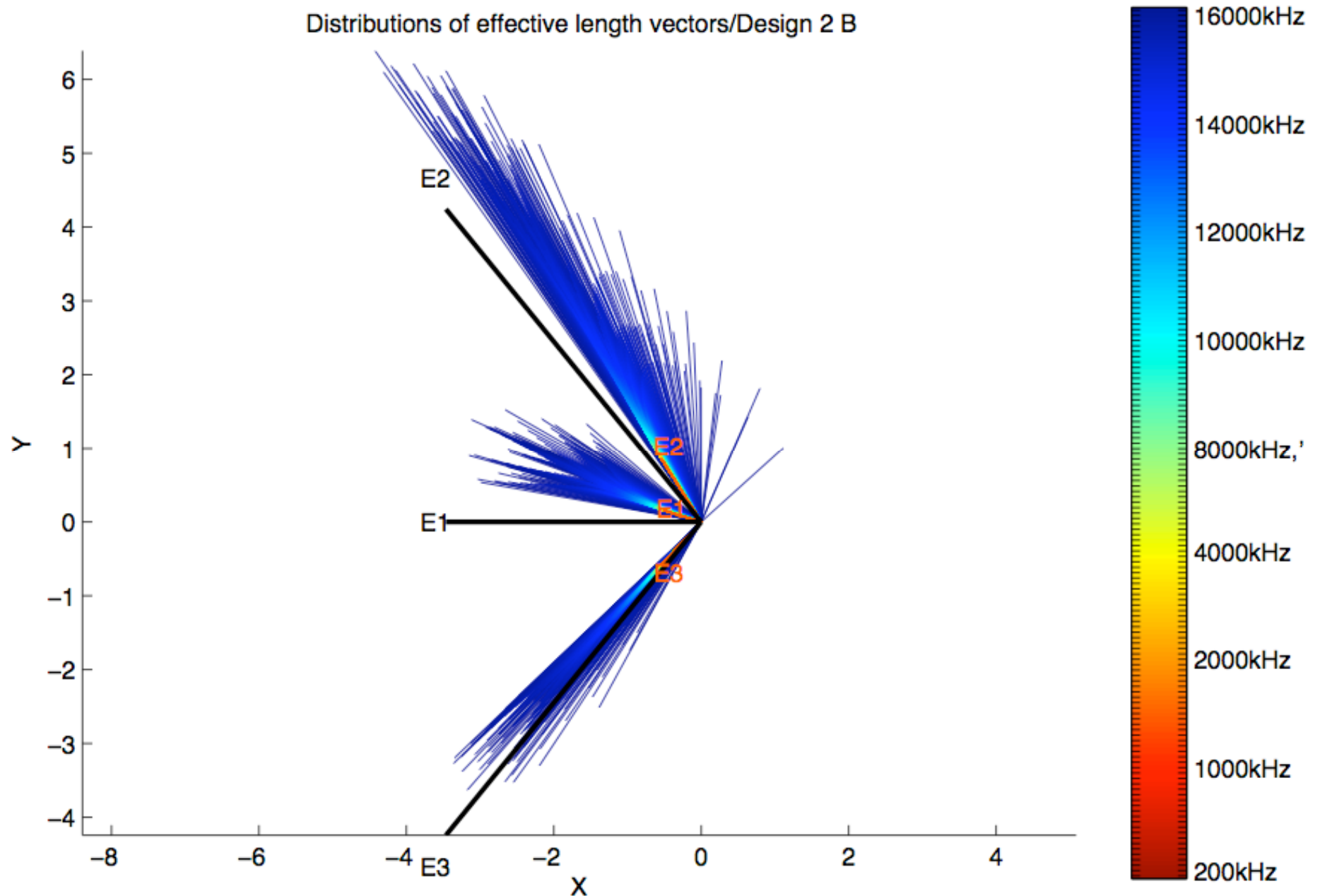
Goniopolarimétrie

Etalonnages des antennes (STEREO/Waves) [Simulations électromagnétiques]



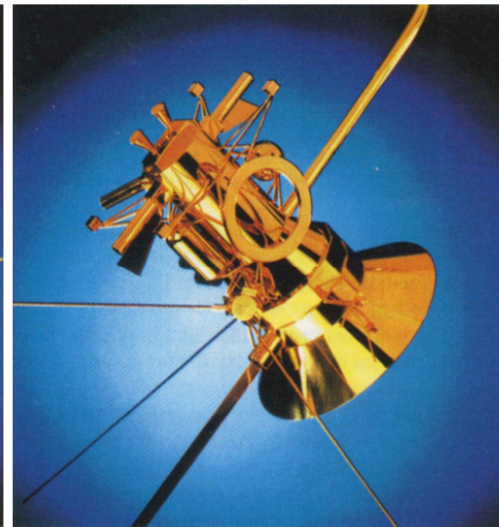
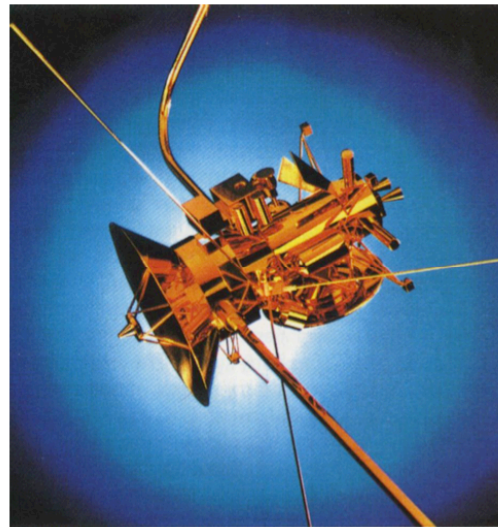
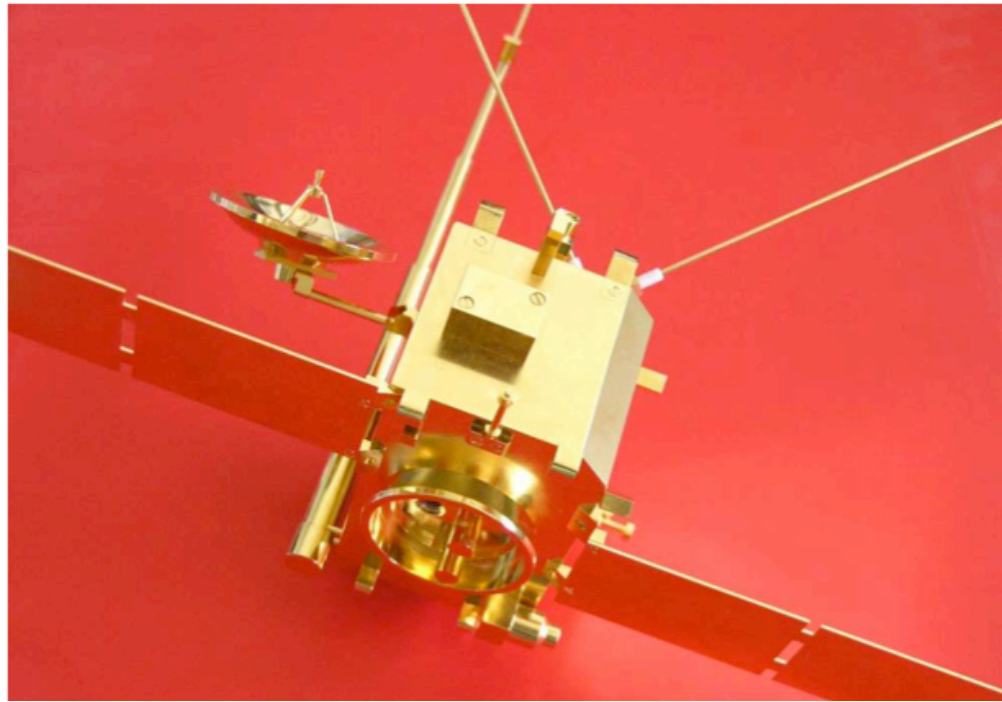
Goniopolarimétrie

Etalonnages des antennes (STEREO/Waves) [Simulations électromagnétiques]



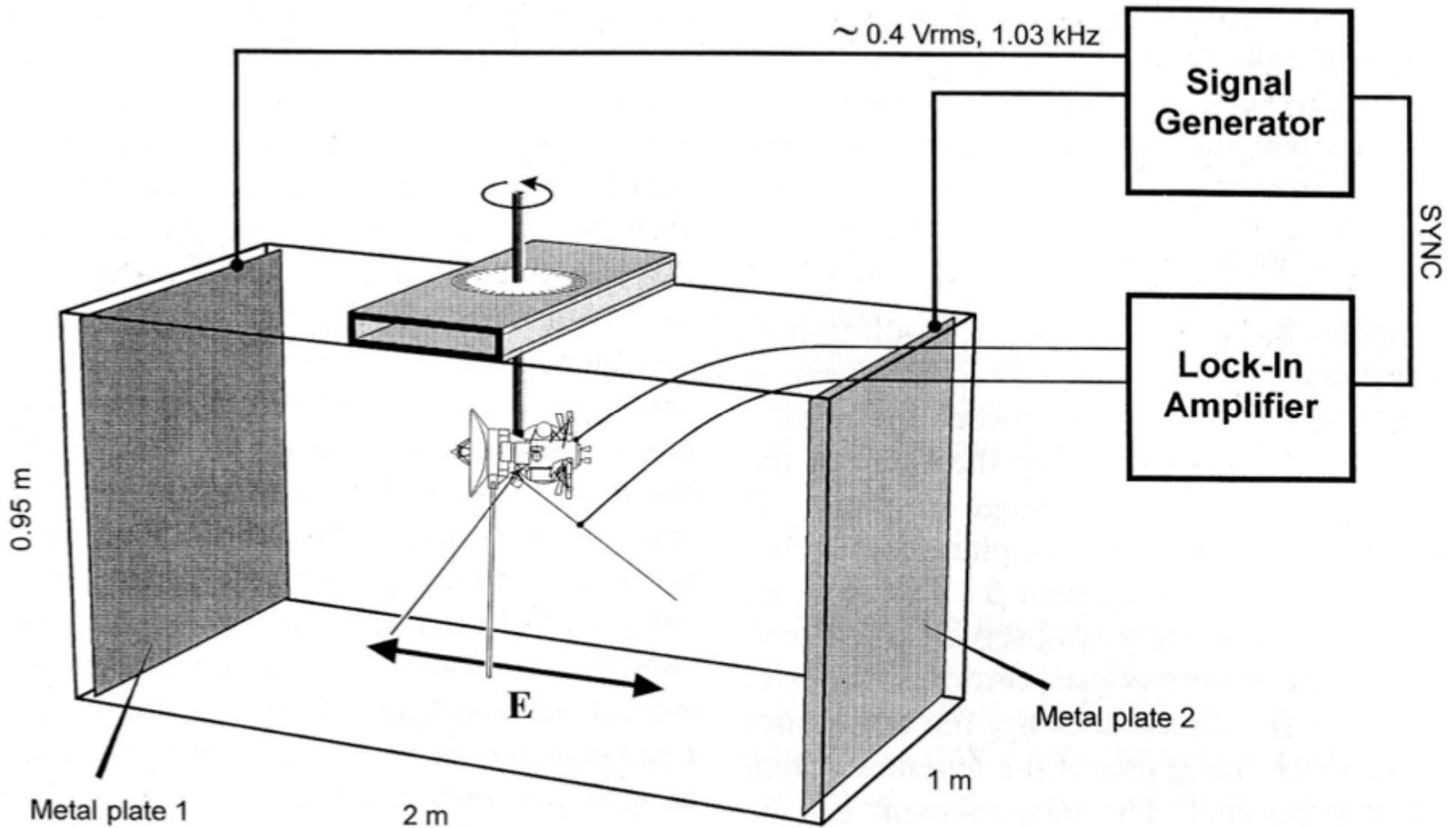
Goniopolarimétrie

Etalonnages des antennes [Rhéométrie]



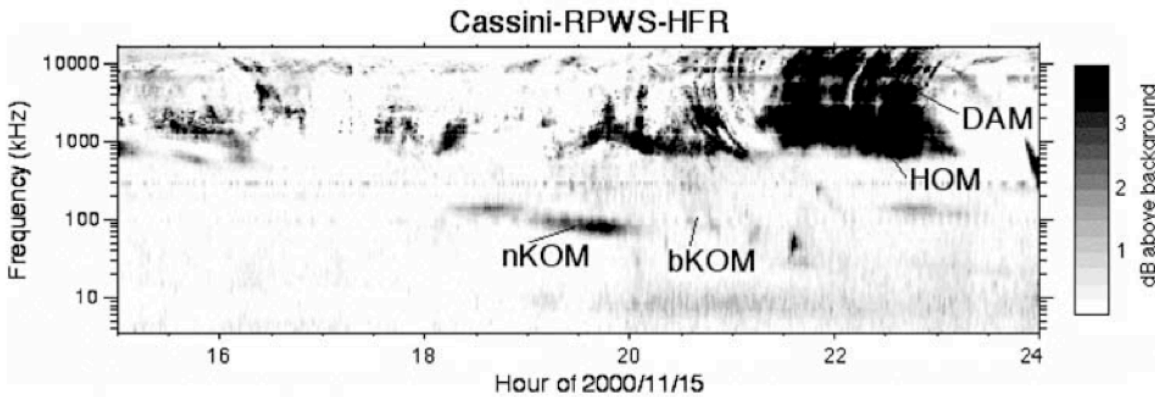
Goniopolarimétrie

Etalonnages des antennes [Rhéométrie]

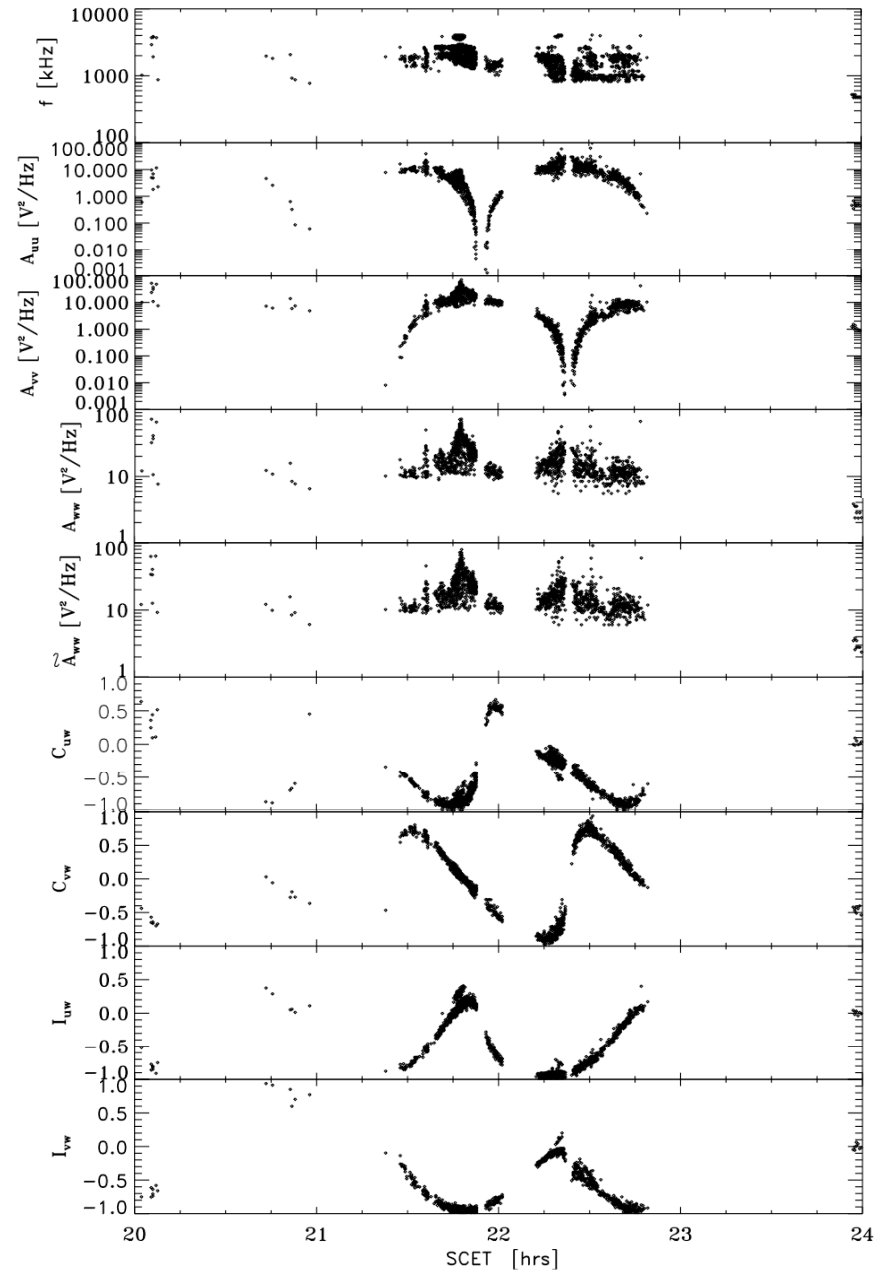
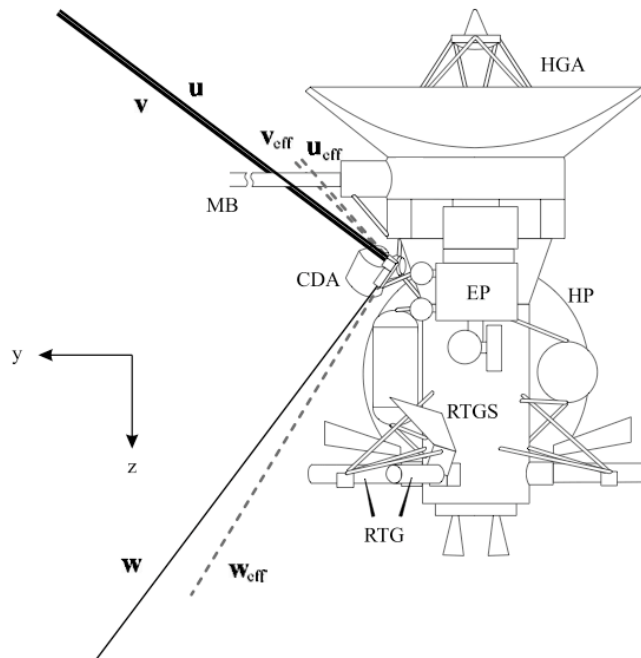


Goniopolarimétrie

Etalonnages des antennes [Etalonnage en vol]



rotation du satellite
 => modulation du signal reçu
 depuis une source connue



Goniopolarimétrie

Méthodologie (Cassini/RPWS et STEREO/Waves)

Modes de mesures

Recepteur à 2 voies, mesures instantannées :
Auto(v1), Auto(v2), Re(Cross12), Im(Cross12)

*Chaque voie peut être connectée à des monopoles
ou des dipoles (combinaison de 2 monopoles)*

(DF0)

mesure

2 antennes

(DF1)

mesure 3 antennes

(2 DF0 successives avec
changement d'antenne)

(DF2)

mesure 3 antennes

(3 DF0 successives avec
changement d'antenne)

Inversions 2 antennes (DF0)

(a)

Auto(v1)
Auto(v2)
Re(Cross12)
Im(Cross12)

→ S, V, θ , φ

(U=Q=0)

(b)

Auto(v1)
Auto(v2)
Re(Cross12)
Im(Cross12)

→ S, Q, U, V

(θ , φ connus)

Goniopolarimétrie

Méthodologie (Cassini/RPWS et STEREO/Waves)

Inversions 3 antennes (DF1)

<p>(c)</p> $ \begin{array}{l} \text{Auto}(v1) \\ \text{Auto}(v2) \\ \text{Auto}(v3) \\ \text{Re}(\text{Cross } 12) \\ \text{Im}(\text{Cross } 12) \\ \text{Re}(\text{Cross } 13) \\ \text{Im}(\text{Cross } 13) \end{array} \left \begin{array}{l} \\ \\ \\ \rightarrow S^*, Q^*, U^*, V^*, \theta, \varphi \\ \\ \\ \end{array} \right. $ <p style="text-align: center;">(V ≠ 0)</p>	<p>(d)</p> $ \begin{array}{l} \text{Auto}(v1) \\ \text{Auto}(v2) \\ \text{Auto}(v3) \\ \text{Re}(\text{Cross } 12) \\ \text{Im}(\text{Cross } 12) \\ \text{Re}(\text{Cross } 13) \\ \text{Im}(\text{Cross } 13) \end{array} \left \begin{array}{l} \\ \\ \\ \rightarrow S, V^*, \theta^*, \varphi^* \\ \\ \\ \end{array} \right. $ <p style="text-align: center;">(U = Q = 0 V quelconque)</p>
---	--

* 1 valeur pour chaque mesure instantanée DF0

Inversion 3 antennes complète (DF2)

(e)

$$\begin{array}{l}
 \text{Auto}(v1) \\
 \text{Auto}(v2) \\
 \text{Auto}(v3) \\
 \text{Re}(\text{Cross } 12) \\
 \text{Im}(\text{Cross } 12)
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{Re}(\text{Cross } 13) \\
 \text{Im}(\text{Cross } 13) \\
 \text{Re}(\text{Cross } 23) \\
 \text{Im}(\text{Cross } 23)
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l} \\ \\ \\ \rightarrow S, Q, U, V, \theta, \varphi, \sigma \\ \\ \end{array} \right.$$

(hypothèse ?)

+ taille de la source

Goniopolarimétrie

Sources d'erreur

1. **Rapport signal sur bruit**

un rapport signal sur bruit minimum de 20 à 30dB est nécessaire pour avoir une précision de 1° sur la direction d'arrivée, 10% sur les taux de polarisation et de 1dB sur les flux.

2. **Bruit de fond galactique**

Il doit être déterminé sur de longues périodes temporelles.

3. **Bruit récepteur**

bruit des préamplificateurs.

4. **Bruit de numérisation**

suivant le nombre de bits dans le signal transmis. Erreur induites dans le cas de numérisation 8 bits (Cassini): ~ bruit à 20 dB.

5. **Configuration géométrique**

La direction d'arrivée ne doit pas être proche de la direction d'une antenne.

6. **Indétermination des inversions**

suivants les inversions, certaines directions de l'espace ne peuvent pas être observées avec précision.

7. **Erreur d'étalonnage des antennes**

erreur sur direction se transmet aux mesures de direction en GP.
monopole+satellite ~ dipole

8. **Variabilité intrinsèque de la source**

mesures quasi-instantanées (variabilité entre deux mesures DF0 successive)

9. **Sources multiples**

on mesure le potentiel de l'antenne, qui résulte de la somme de tous les E présents autour du satellite.

10. **Source étendue**

hypothèse source ponctuelle

NB. on ne mesure que la direction du vecteur d'onde à l'endroit du satellite !

Goniopolarimétrie

Source étendue

Hypothèse de source ponctuelle.

$$P_{ij} = \frac{Z_0 G h_i h_j S_0}{2} [(1 + Q)A_i A_j + (U - iV)A_i B_j + (U + iV)A_j B_i + (1 - Q)B_i B_j]$$

En cas d'utilisation d'inversions sources ponctuelles : biais sur les résultats GP

Sources radio étendues : sursauts solaires de type III (20° à 50° pour $f \leq 1$ MHz) nécessaire pour STEREO/Waves.

Expressions des mesures plus complexe:

$$P_{ij} = \frac{Z_0 G h_i h_j S_0}{2} \left[(1 + Q) \left(A_i A_j \frac{\Gamma_2}{2} + C_i C_j \left(\Gamma_1 - \frac{\Gamma_2}{2} \right) \right) \right. \\ \left. + (U - iV) \left(A_i B_j \frac{\Gamma_2}{2} \right) + (U + iV) \left(A_j B_i \frac{\Gamma_2}{2} \right) \right. \\ \left. + (1 - Q) \left(A_i A_j \frac{1}{2} \left(\Gamma_1 - \Gamma_2 + \frac{\Gamma_3 + \Gamma_1}{4} \right) + B_i B_j \frac{1}{2} \right. \right. \\ \left. \left. \cdot \left(\Gamma_1 + \frac{\Gamma_3 + \Gamma_1}{4} \right) + C_i C_j \left(\frac{\Gamma_2}{2} - \frac{\Gamma_3 + \Gamma_1}{4} \right) \right) \right]$$

pour une source uniforme

$$\Gamma_1^a(\gamma) = 1, \quad \Gamma_2^a(\gamma) = 1 + \cos \gamma,$$

$$\Gamma_3^a(\gamma) = \frac{4}{3}(1 + \cos \gamma + \cos^2 \gamma) - 1$$

pour une source gaussienne

$$\Gamma_k^c(\gamma) = \frac{K_c}{1 - \cos \gamma} \int_0^{\pi/2} \exp\left(-\ln(2) \frac{\tan^2 \theta'_M}{\tan^2 \gamma}\right) \sin(k\theta'_M) d\theta'_M$$

Nouvelles inversions en cours de développement.

Goniopolarimétrie

Bibliographie

- B. Cecconi. *Étude Goniopolarimétrique des émissions radio de Jupiter et Saturne à l'aide du récepteur radio de la sonde Cassini (Goniopolarimetric study of the Jovian and Kronian radio emissions with the Cassini spacecraft radio receiver)*. Thèse de doctorat, Observatoire de Paris-Université Paris 7, Meudon, France, avril **2004**.
- B. Cecconi and P. Zarka. *Direction finding and antenna calibration through analytical inversion of radio measurements performed using a system of 2 or 3 electric dipole antennas*. Radio Sci., 40:RS3003, **2005**. 10.1029/2004RS003070.
- B. Cecconi. *Influence of an extended source on Goniopolarimetry (or Direction Finding) with Cassini and STEREO radio receivers*. Radio Sci., 42(RS2003):1–17, **2007**. 10.1029/2006RS003458.
- B. Cecconi, X. Bonnin, S. Hoang, M. Maksimovic, A. Lecacheux, and J.-L. Bougeret. *S/Waves Goniopolarimetry*. Space Sci. Rev., in press **2007**.
- J. Fainberg, S. Hoang, and R. Manning. *Measurements of Distributed Polarized Radio Sources from Spinning Spacecraft - Effect of a Tilted Axial Antenna - ISEE-3 Application and Results*. Astron. Astrophys., 153:145–150, **1985**.
- H. P. Ladreiter, P. Zarka, A. Lecacheux, W. Macher, H. O. Rucker, R. Manning, D. A. Gurnett, and W. S. Kurth. *Analysis of electromagnetic wave direction finding performed by spaceborne antennas using singular-value decomposition techniques*. Radio Sci., 30:1699–1712, **1995**.
- A. Lecacheux. *Direction Finding of a Radiosource of Unknown Polarization with Short Electric Antennas on a Spacecraft*. Astron. Astrophys., 70:701–706, **1978**.
- R. Manning and J. Fainberg. *A new method of measuring radio source parameters of a partially polarized distributed source from spacecraft observations*. Space Sci. Inst., 5:161–181, **1980**.
- M. Panchenko. *Polarimetry of auroral kilometric radiation with a triaxial nonorthogonal antenna system*. Radio Sci., 39:RS6010, **2004**.

PLAN

Introduction

Antennes

Récepteurs – Mesures

Goniopolarimétrie

Quelques Résultats

Concours

Quelques Résultats

Sondes spatiales dotées de récepteurs goniopolarimétriques

*GP par démodulation
de la rotation du satellite*

*GP instantanée
sur satellite stabilisé 3 axes*

*DE-1
ISEE-3
WIND
ULYSSES
INTERBALL*

*CASSINI
STEREO*

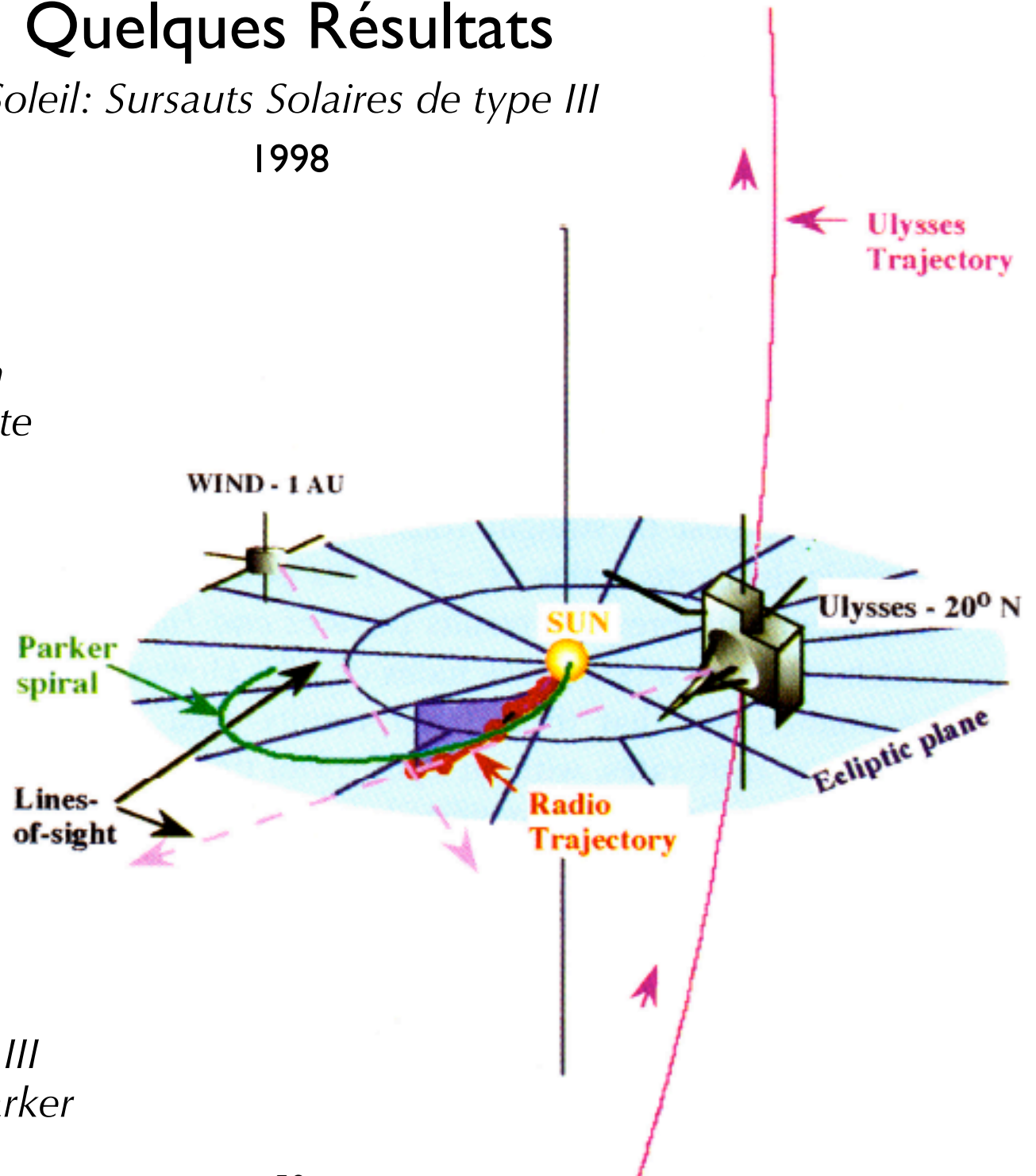
Quelques Résultats

Soleil: Sursauts Solaires de type III

1998

Ulysses+Wind

*GP par démodulation
de la rotation du satellite*

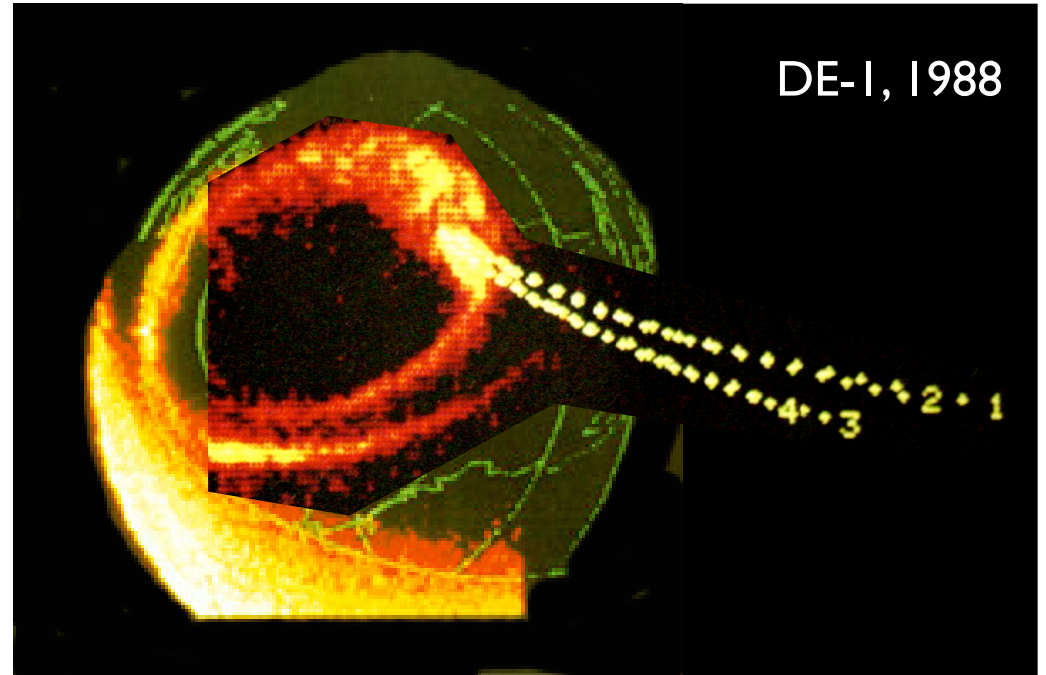
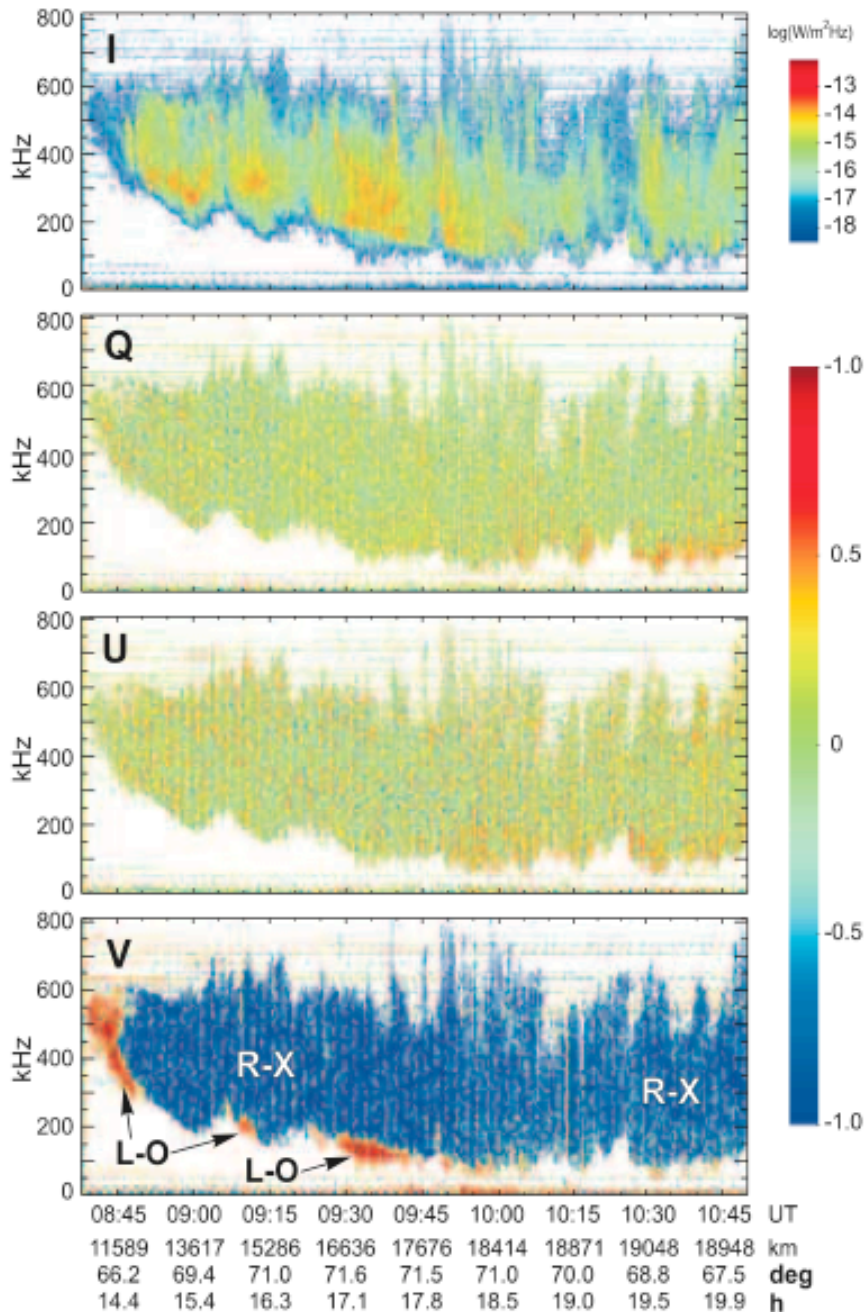


Résultat :
*émission radio de Type III
le long de la spirale de Parker*

Quelques Résultats

Terre: émissions radio aurorales

Interball-2 Polrad, 16 Nov. 1997



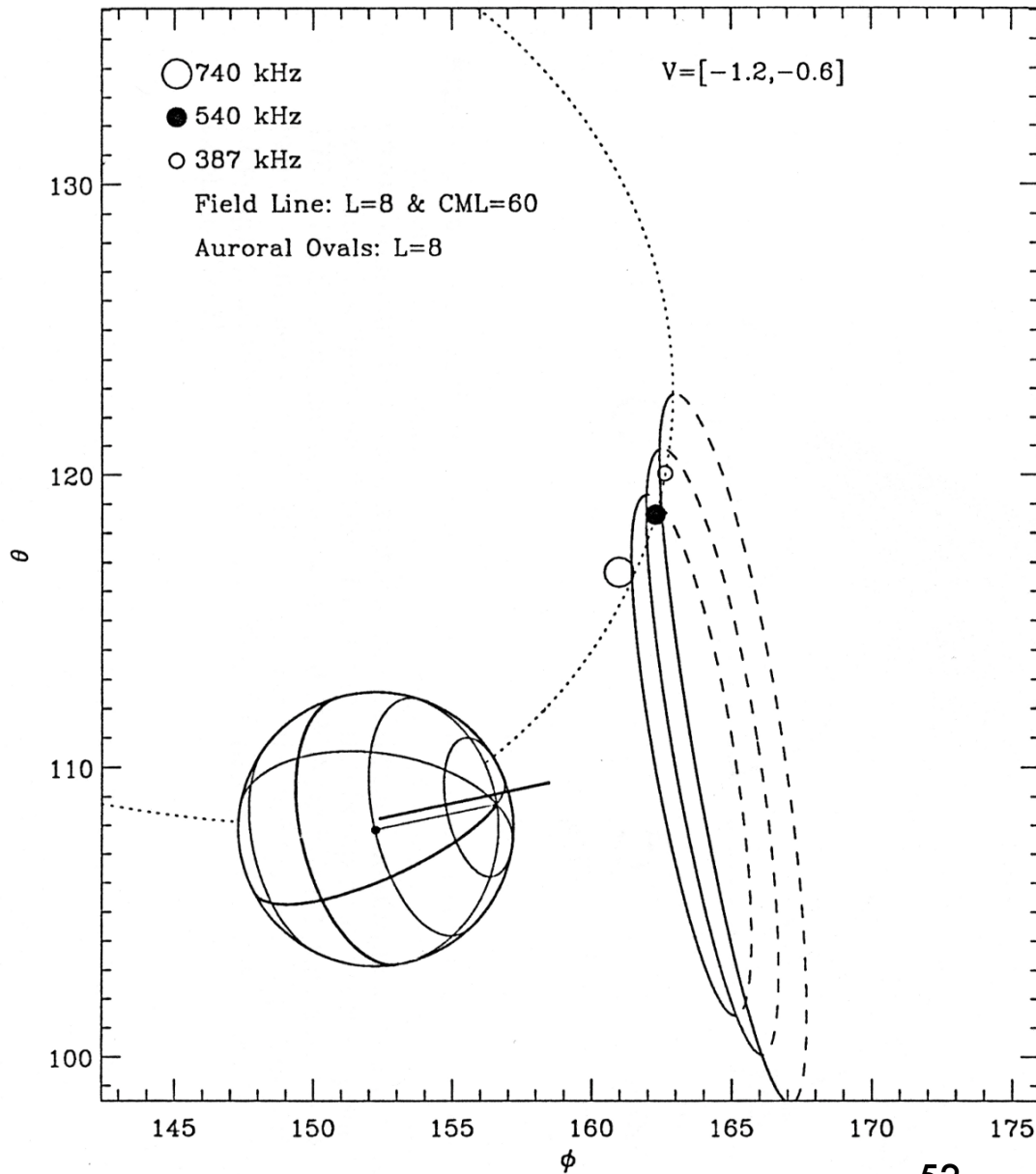
*Interball-2 / Polrad (polarisation)
DE-1 (localisation)*

*GP par démodulation
de la rotation du satellite*

Quelques Résultats

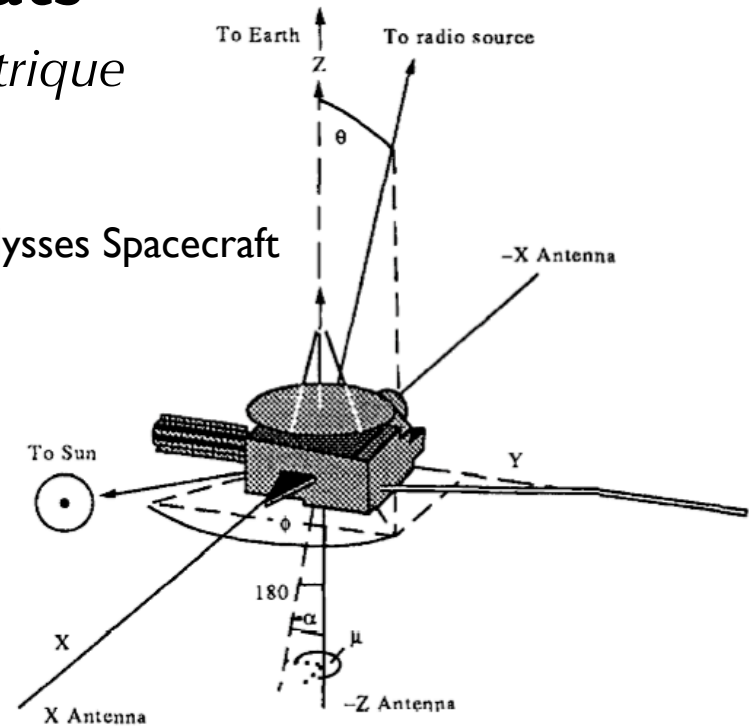
Jupiter: émissions hectométrique

1994



52

Ulysses Spacecraft



Survol de Jupiter par Ulysses

*GP par démodulation
de la rotation du satellite*

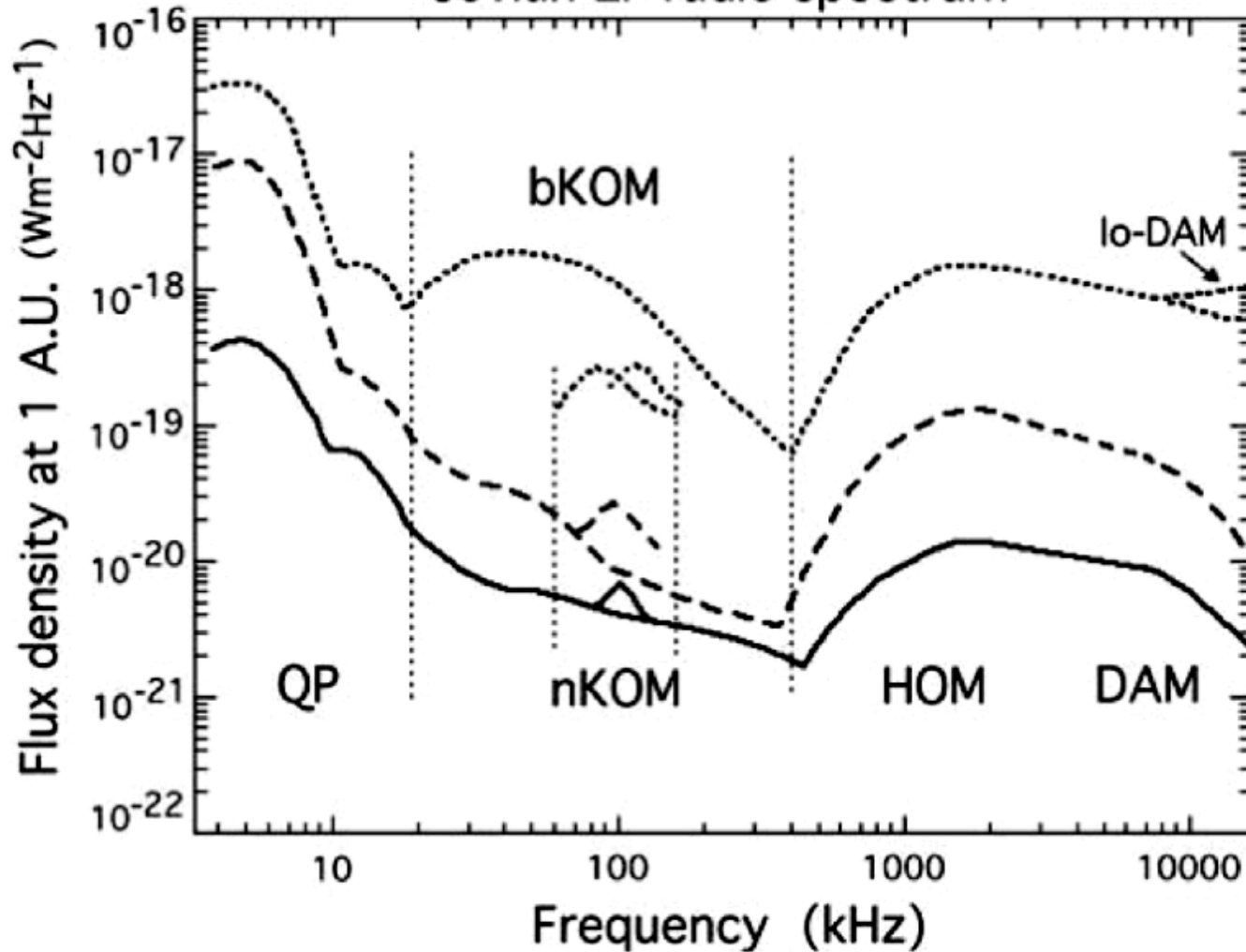
*Résultat :
émission à la fréquence
cyclotron locale*

Quelques Résultats

Jupiter: spectre radio BF

2001

Jovian LF radio spectrum



Survol de Jupiter par Cassini

(Pas de GP)

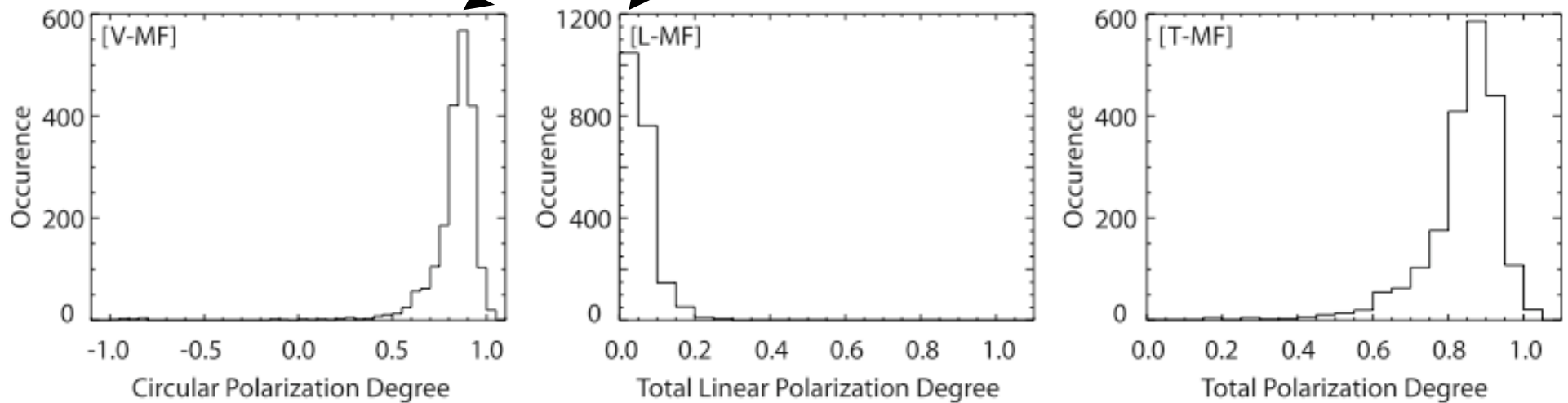
*Obtenu grâce à l'étalonnage
en flux.*

Quelques Résultats

Saturne: émissions radio kilométriques aurorales

Données : 100kHz-1MHz, début 2004 (pôle sud visible, distance à Saturne $\sim 1400 R_s$)

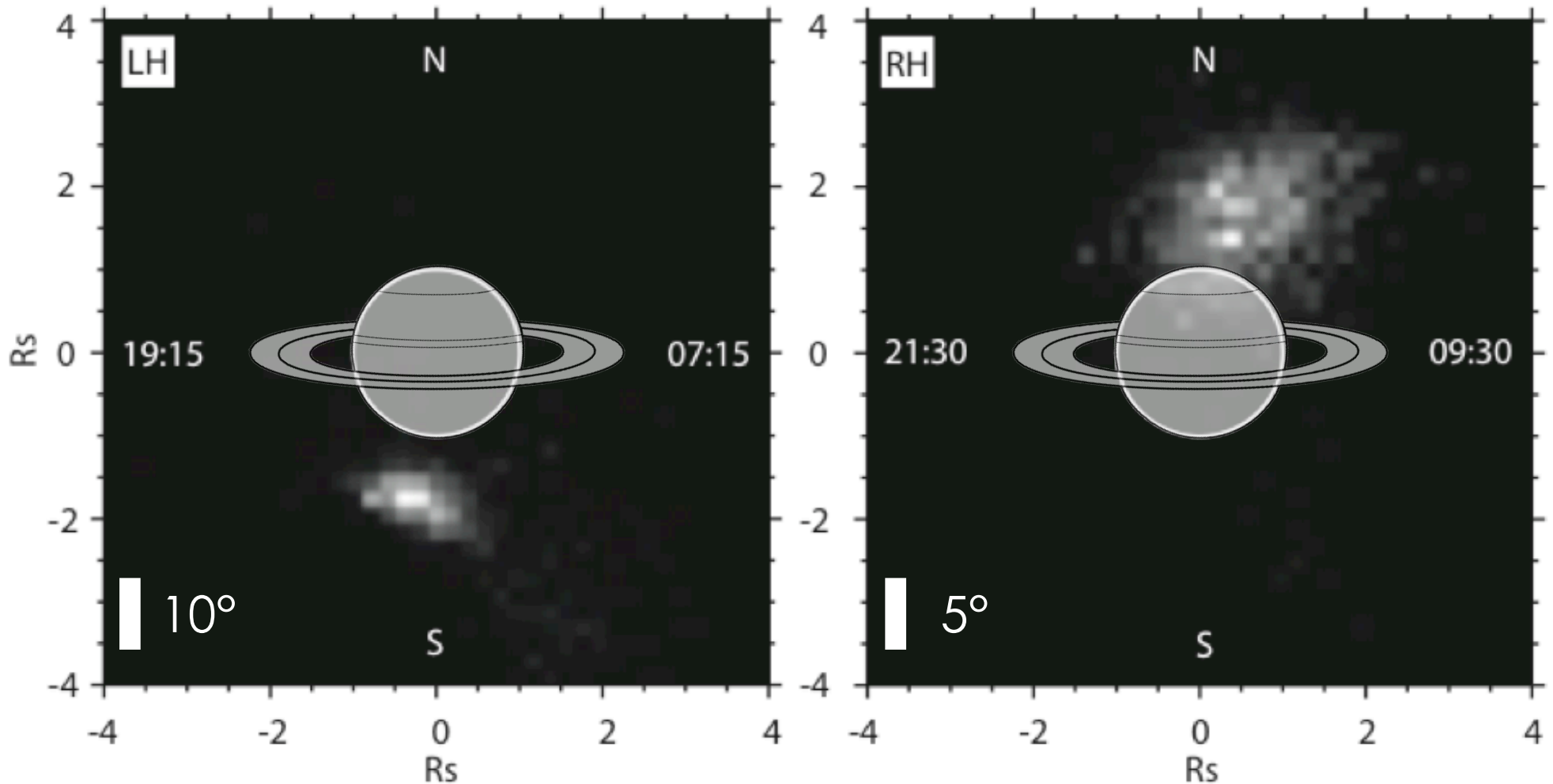
taux de polarisation circulaire : 87%
taux de polarisation linéaire : $< 2\%$
barre d'erreur sur les polarisations $\sim 10\%$



Quelques Résultats

Saturne: émissions radio kilométriques aurorales

2006

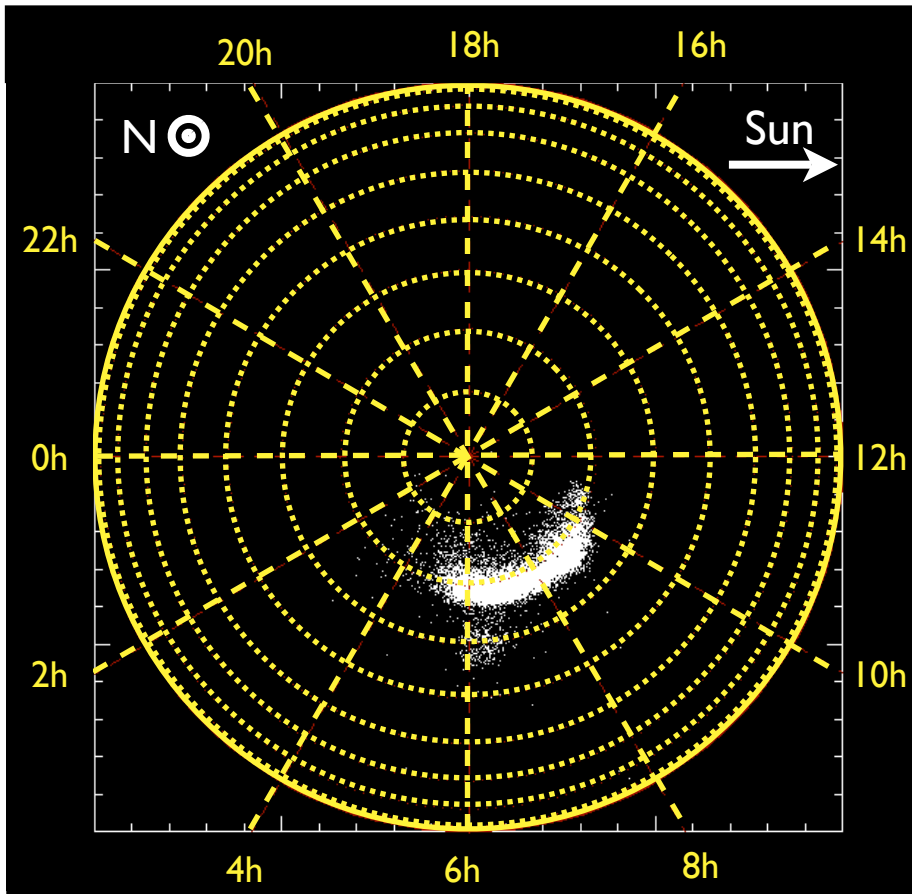


*Cassini/RPWS
GP instantanée*

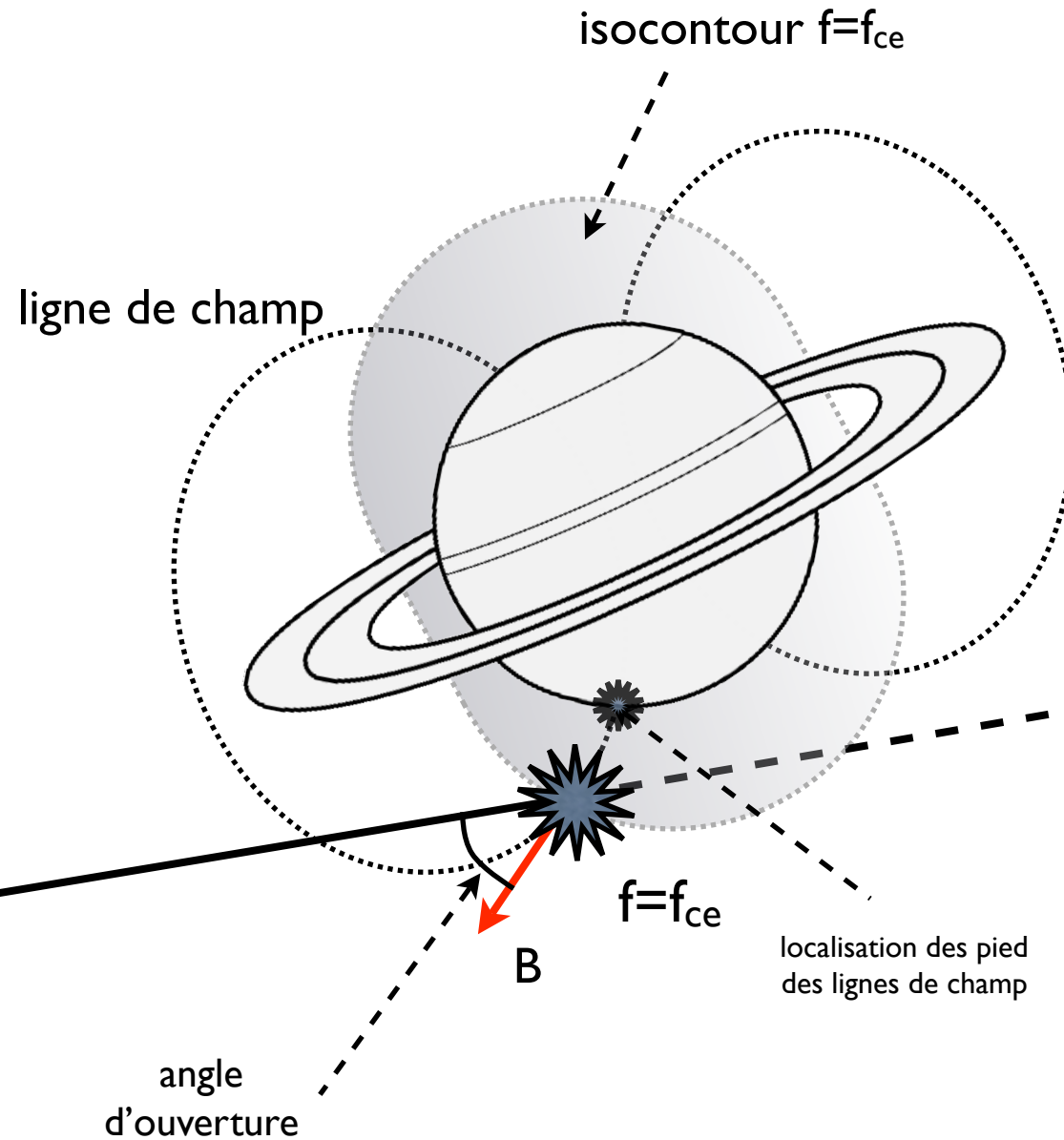
*Résultat :
émissions sur le mode X
à la fréquence cyclotron
électronique locale*

Quelques Résultats

Saturne : Localisation 3D des sources radio

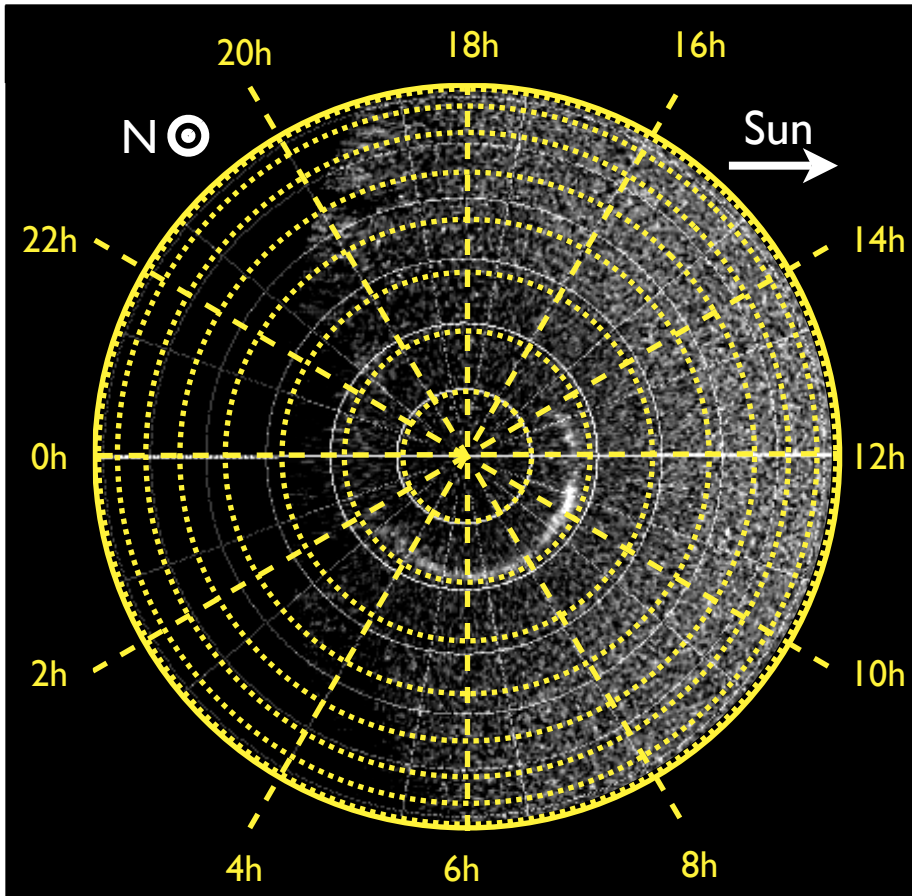


localisation radio

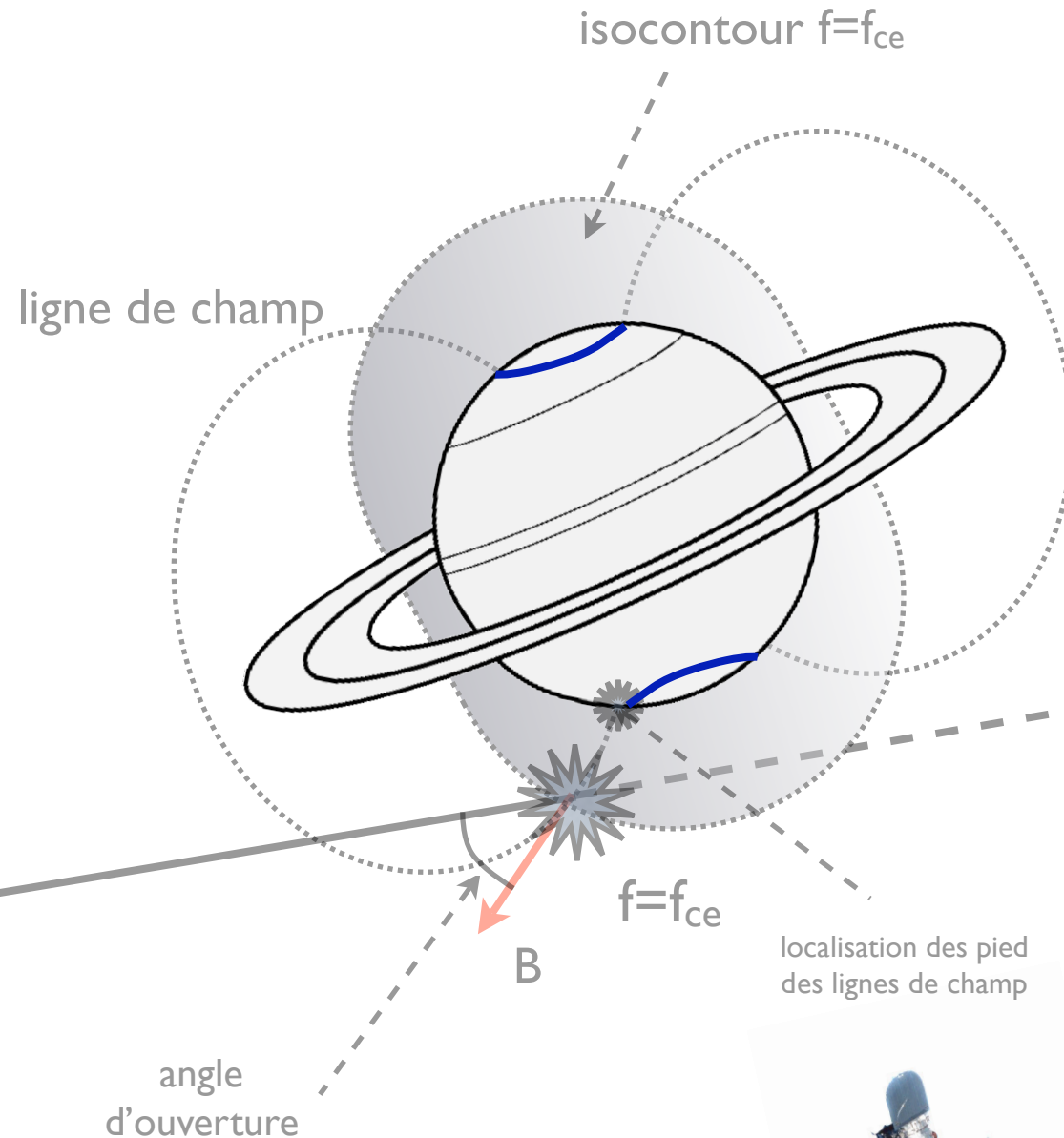


Quelques Résultats

Saturne : Localisation 3D des sources radio



carte UV (image HST)



PLAN

Introduction

Antennes

Récepteurs – Mesures

Goniopolarimétrie

Quelques Résultats

Concours

Grand Jeu-Concours

Où ranger la goniopolarimétrie ?

- imagerie classique ?*
- imagerie haute résolution angulaire ?*
- interférométrie ?*
- ailleurs... mais où ?*

