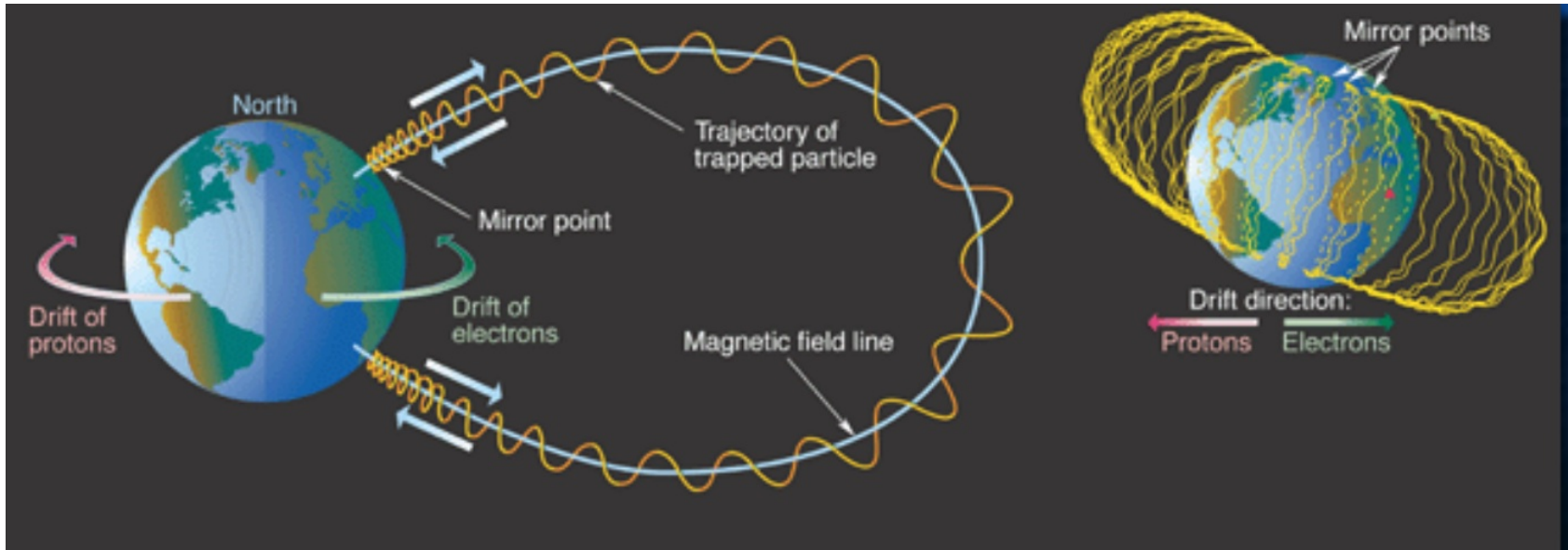


Particules chargées dans le champ géomagnétique

- ❖ Trois mouvements se superposent:
 - Mouvement de **giration** autour de la ligne de champ
 - Mouvement de **rebond** entre les deux points miroirs
 - Mouvement de **dérive** autour de la Terre dû à la courbure et au gradient du champ magnétique

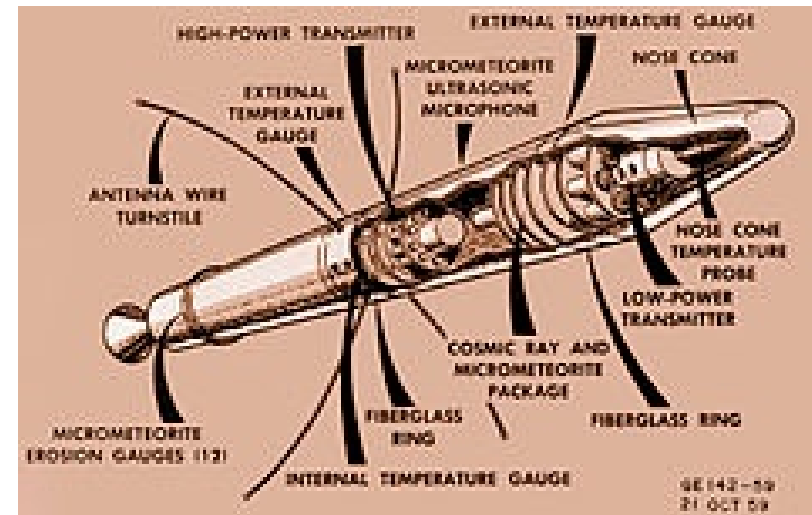
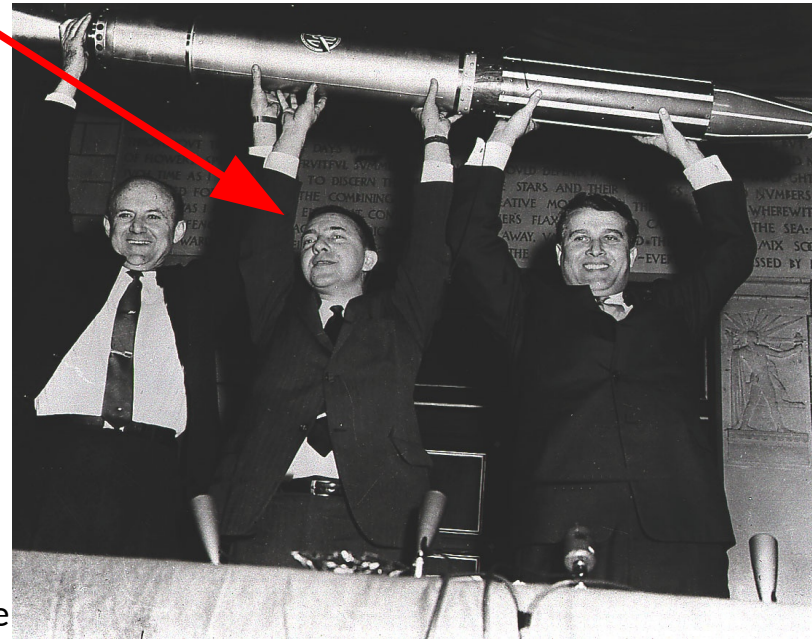


- ❖ Les trois mouvements ont des temps caractéristiques bien distincts, ce qui justifie a posteriori leur traitement séparé.

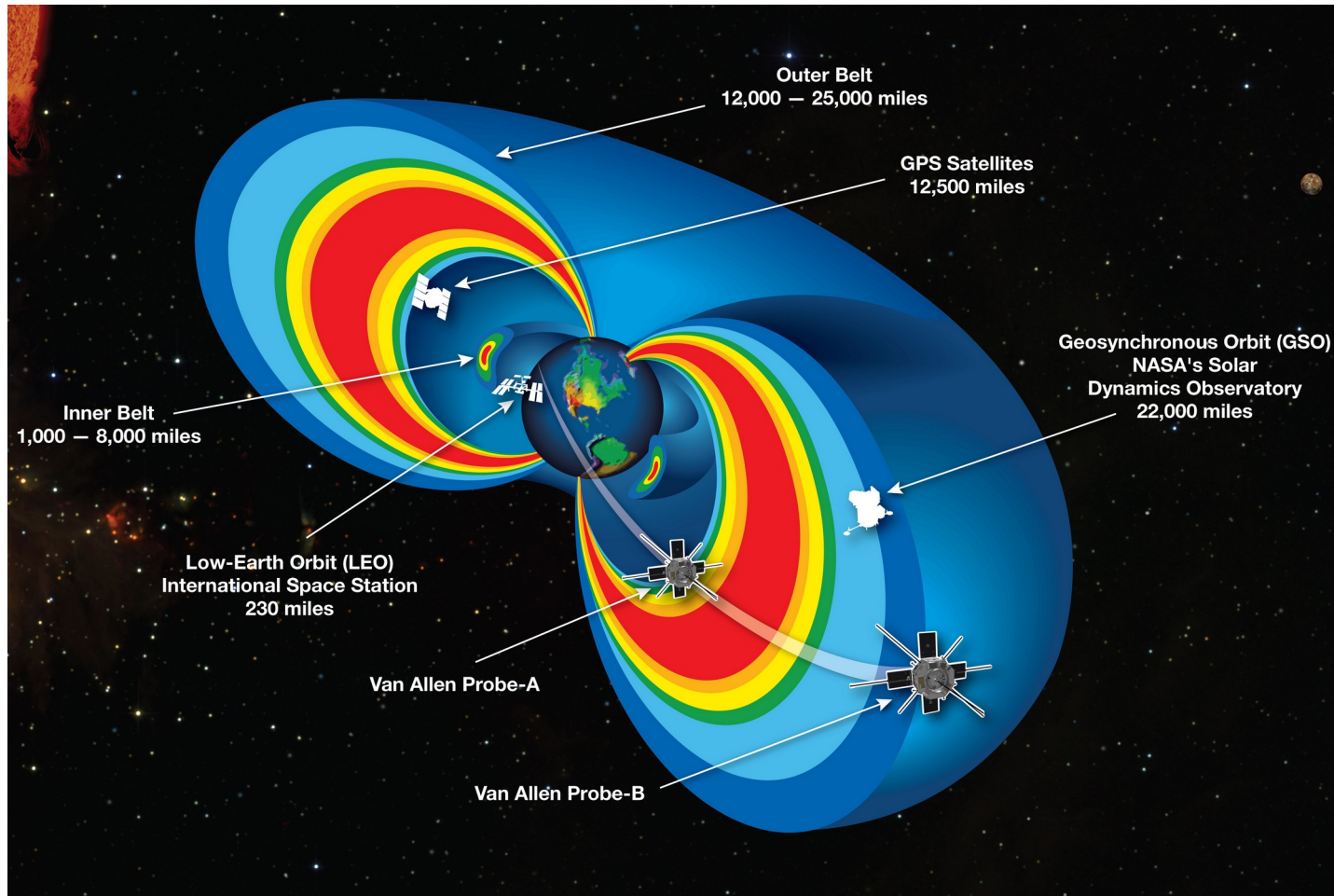
	Mvt cyclotron	Mvt rebond	Mvt dérive
Proton ($E \sim 20$ MeV) à $L = 1,5$	5 ms	0,5 s	2 min
Electron ($E \sim 20$ MeV) à $L = 1,5$	2,5 μ s	10 ms	2 min
Proton ($E \sim 20$ keV) à $L = 4$	0,1 s	1 min	9 h
Electron ($E \sim 20$ keV) à $L = 4$	50 μ s	1,5 s	9 h
Proton ($E \sim 0,6$ eV) à $L = 3$	0,1 s	2 h	45 ans !
Electron ($E \sim 0,6$ eV) à $L = 3$	50 μ s	2,5 min	45 ans !

Ceintures de Van Allen : petit historique

- **EXPLORER 1** (1958) : premier satellite américain (après Sputnik)
- Le compteur Geiger à bord détecte des particules à basse altitude (100km) mais rien à haute altitude (2000 km)
- Contraire à l'hypothèse d'une source cosmique !
- Problème : pas de bande enregistreuse et réception des données que depuis quelques stations au sol (USA)
- **EXPLORER 3** a détecté pour la première fois les ceintures de Van Allen grâce à sa bande magnétique. On découvrit alors que l'espace était peuplé de particules très énergétiques (radioactives!).
- Pour la petite histoire, Sputnik 2 avait détecté ces ceintures fin 1957 mais il se trouvait alors au-dessus de l'Australie et les Soviétiques ne l'ont pas su à l'époque (guerre froide).



Ceintures de radiation de la Terre



Credit: NASA... 1 mile = 1,6 km donc 1 RE = 4000 miles

Ceinture interne : protons énergétiques (1-50 MeV) et électrons (1-5 MeV)

Ceinture externe : électrons (~ MeV)

Ceintures de radiation = ceintures de Van Allen

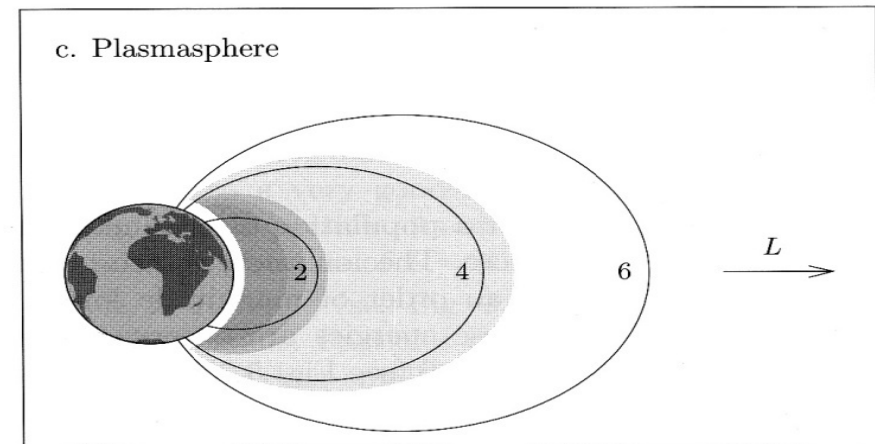
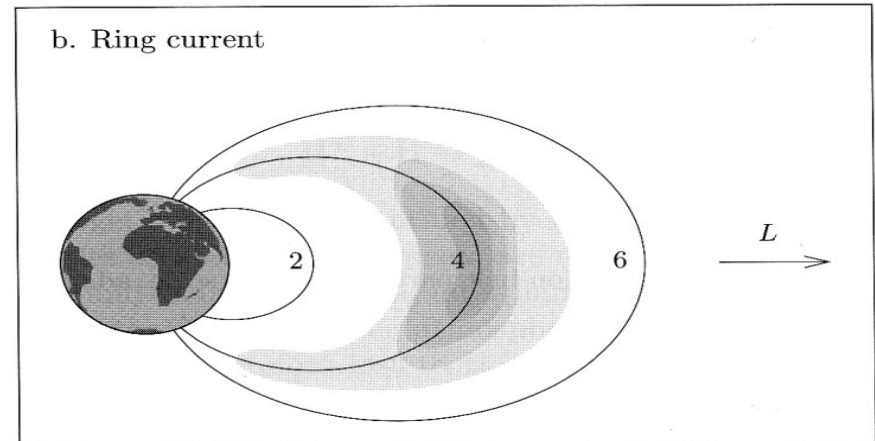
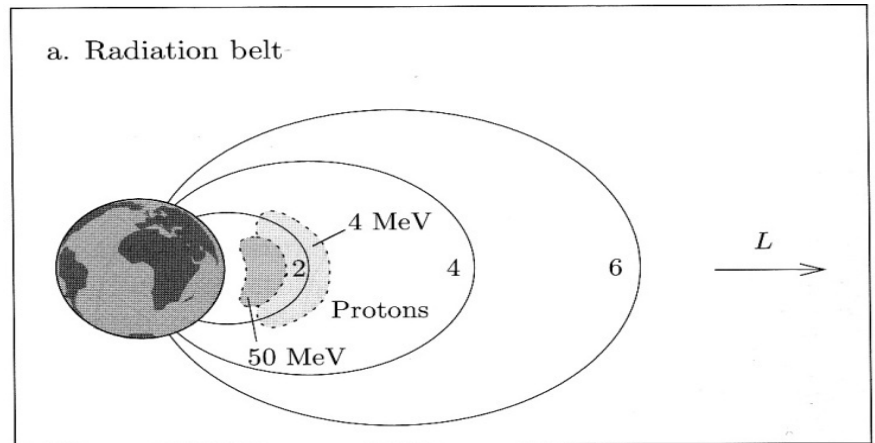
- Particules de très haute énergie (> 1 MeV)
- Position protons : $1,2 < L < 2,5$
- Source : rayonnement cosmique interagissant avec les neutrons de l'atmosphère (CRAND)
- Pertes : collisions (rares), anomalie sud-atlantique
- Grande stabilité de la ceinture interne (durée de vie > 1 année)
- Plus grande variabilité de la ceinture externe due à l'activité solaire

Courant annulaire

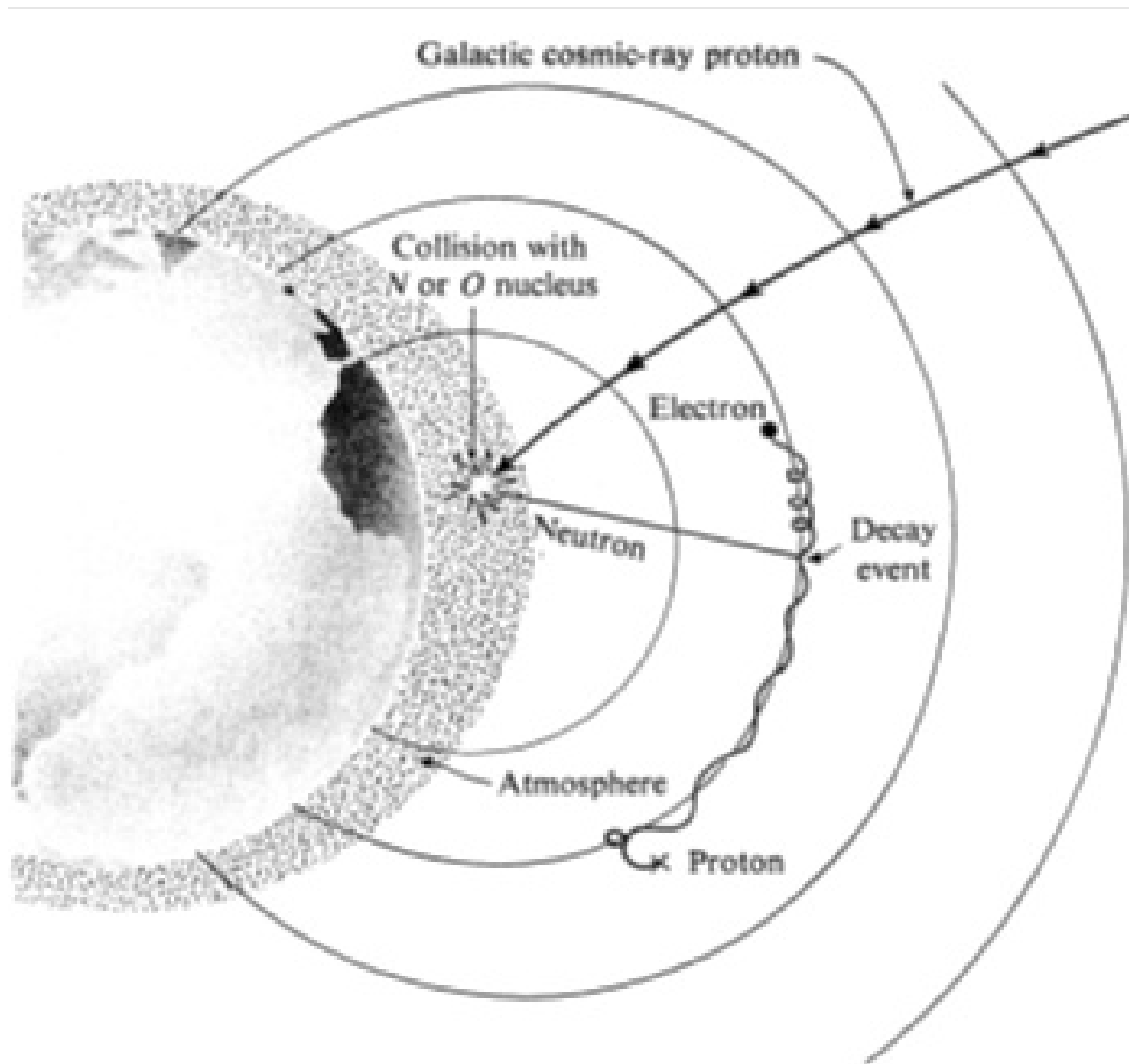
- Particules de moyenne énergie (1 – 200 keV)
- Position : $3 < L < 6$
- Source : ionosphère, feuillet de plasma
- Pertes : échange de charge avec H
- Forte variabilité lors des « orages » magnétiques

Plasmasphère

- Particules de basse énergie ($\lesssim 1$ eV)
- Densité ionique $\sim 10 - 1000 \text{ cm}^{-3}$
- Position : $1 < L < 5$ en condition calme
- Source : continuité de l'ionosphère
- En **corotation avec la Terre (champ électrique)**
- **Pas de mouvement complet de rebond / dérive**
- Limite extérieure abrupte = plasmopause



CRAND mechanism : Cosmic Ray Albedo Neutron Decay



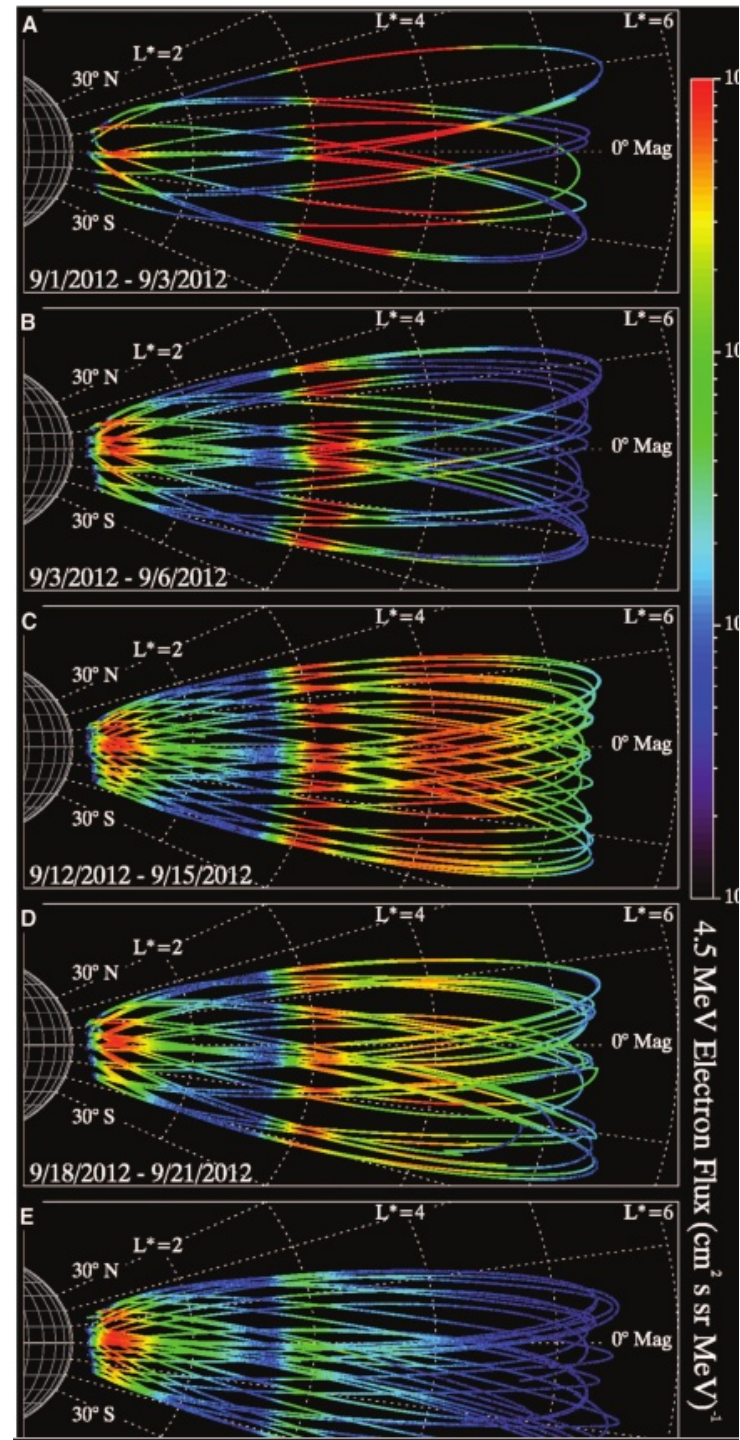
Van Allen probes (septembre 2012)

Flux d'électrons de 4,5-5 MeV mesurés pendant de courts intervalles de temps le long de l'orbite des sondes.

Au début : deux ceintures bien distinctes

Vers le 12/9 une **troisième ceinture** d'électrons se forme à $L \sim 3$: première fois que l'on observait un tel phénomène !

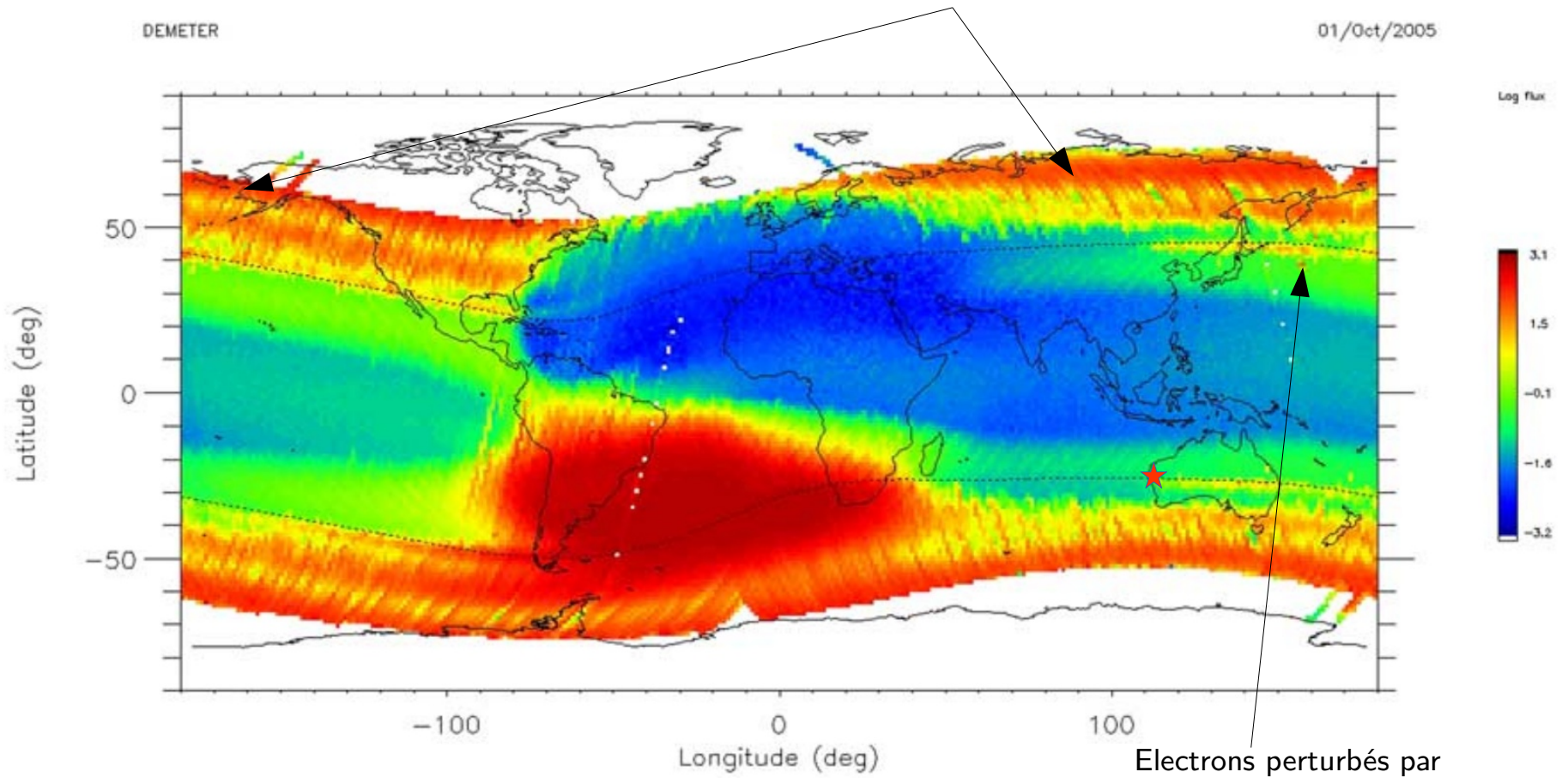
Fin septembre : toute la ceinture externe et cette troisième ceinture ont été vidées par un orage magnétique.



Flux d'électrons d'E = 200keV mesurés par le satellite DEMETER entre 2004 et 2006 à 700 km d'altitude

Sauvaud et al., GRL 2008

Précipitations aurorales : les électrons viennent du feuillet de plasma



Anomalie sud-atlantique : rapprochement des ceintures

Electrons perturbés par l'émetteur australien dérivant vers l'est

Plasmasphère

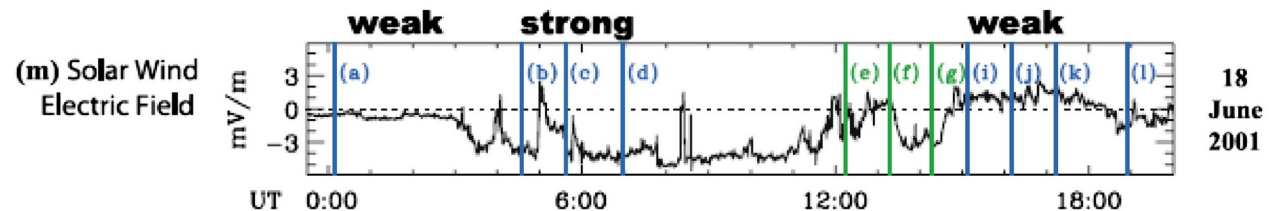
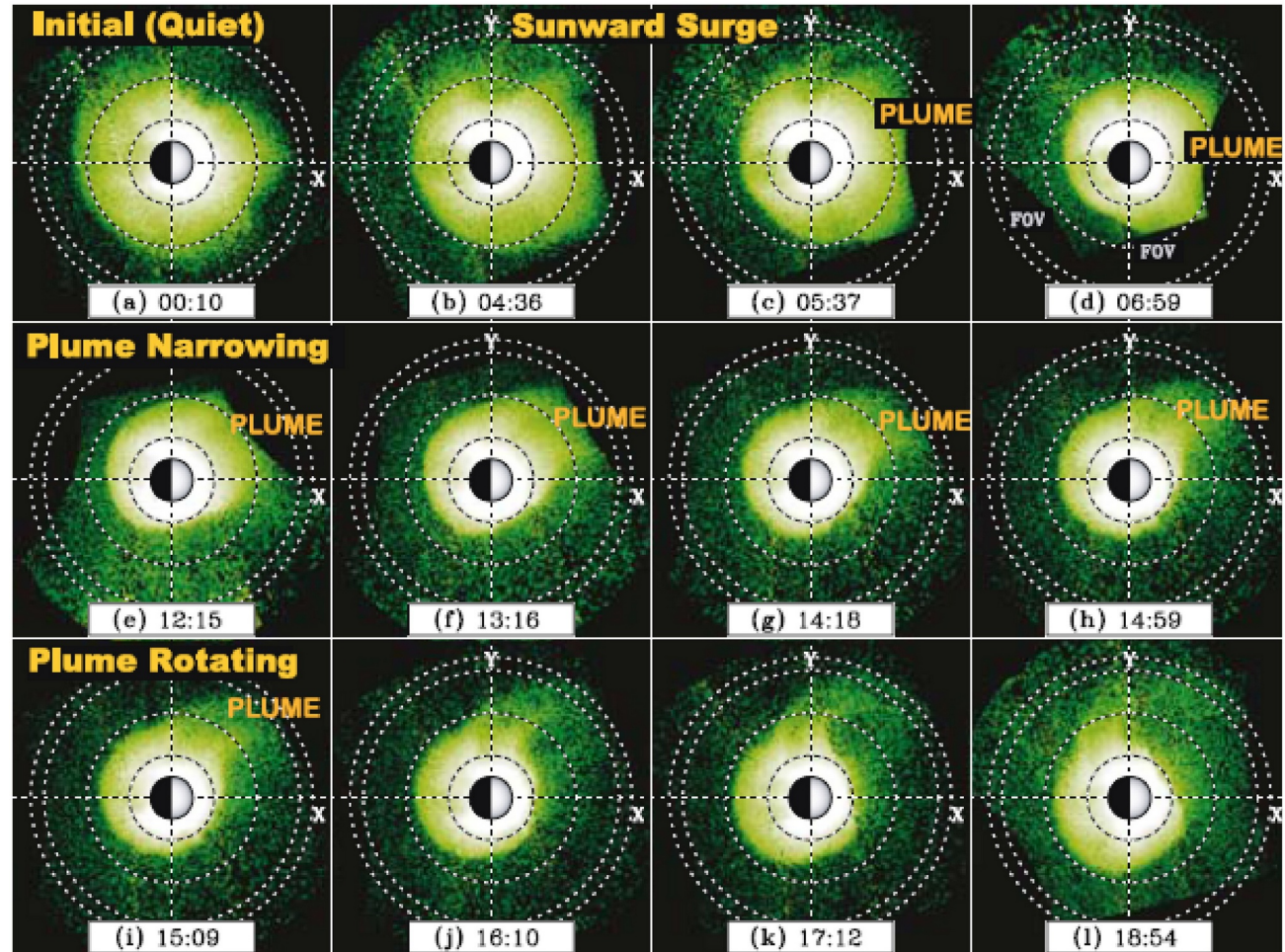
Goldstein and Sandel, 2005

Visualisation de la raie UV (30,4 nm) diffusée par l'ion He^+ présent en petites quantités dans la plasmasphère.

Observations faites par le satellite IMAGE le 18/06/2001 en relation avec le champ électrique dans le vent solaire

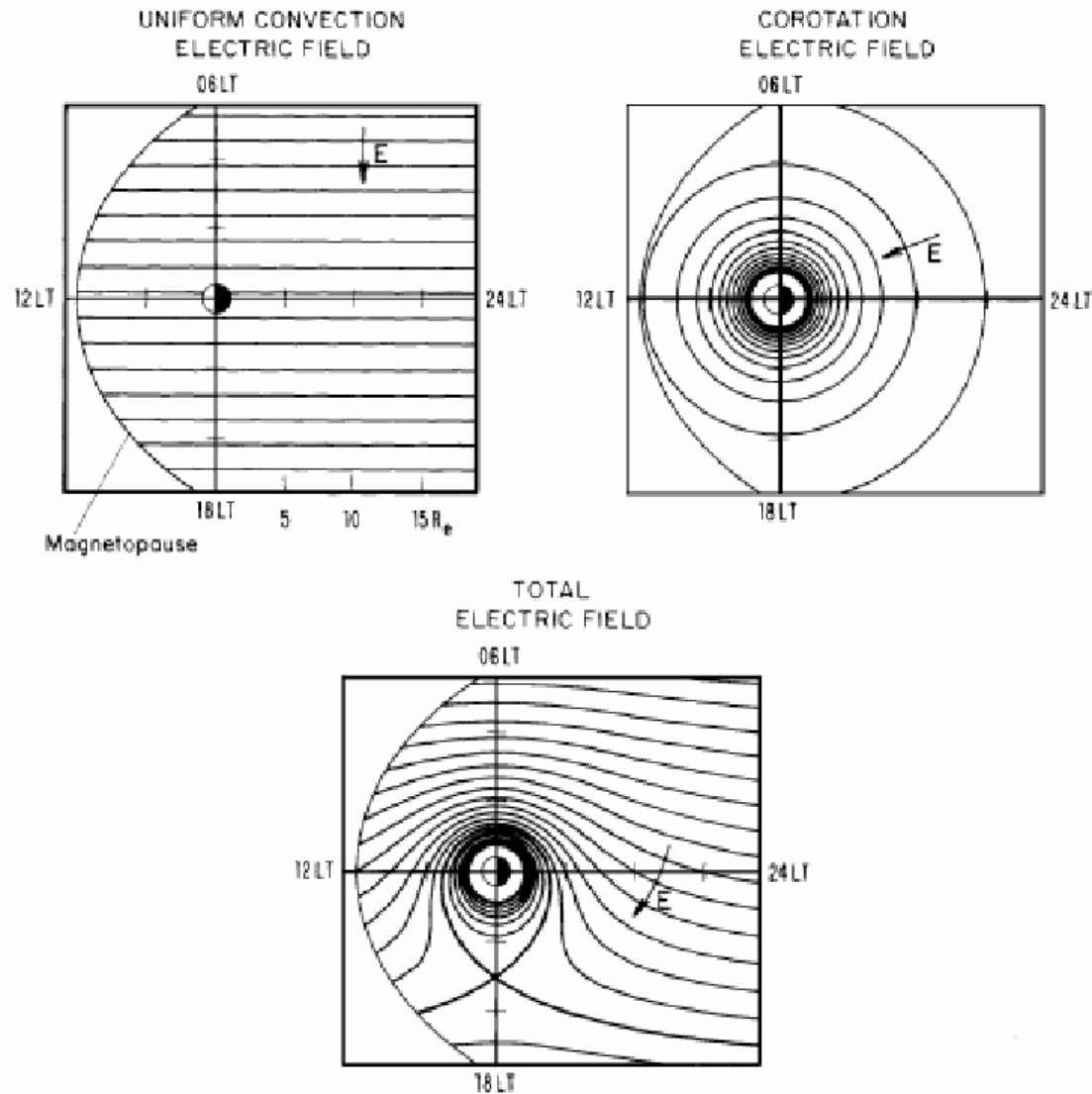
Les cercles pointillés sont à 2, 4, 6 et 6,6 R_E

Lors des périodes où le champ électrique du vent solaire s'intensifie (en valeur absolue), La plasmasphère se contracte côté nuit et s'élargit côté jour en un panache (plume) qui s'affine côté soir.



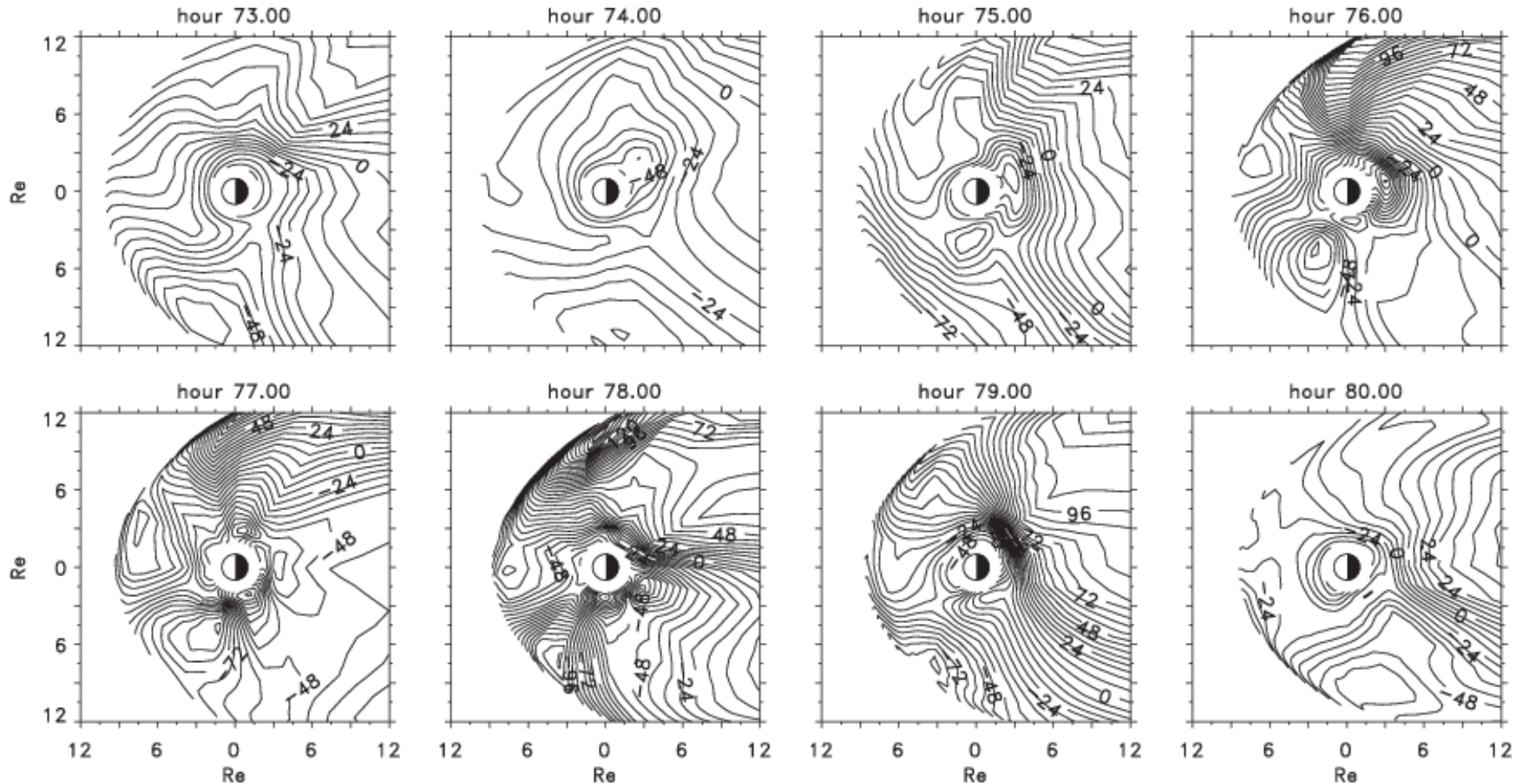
Plasmaphère : convection du plasma froid due à la dérive électrique

Rappel : dans \mathbf{E} et \mathbf{B} croisés, le centre-guide dérive avec la vitesse $\mathbf{v}_E = \mathbf{E} \times \mathbf{B} / B^2$



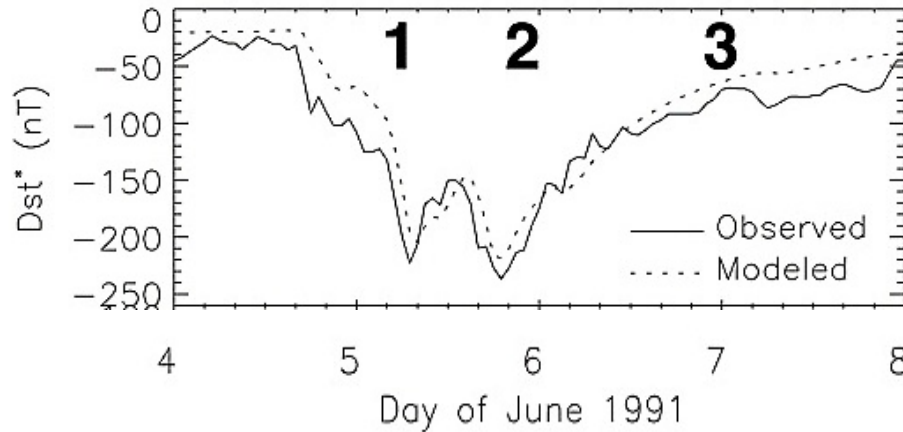
En réalité, la convection magnétosphérique peut être beaucoup plus compliquée si on prend en compte les dérives de gradient, de courbure, de non uniformité du champ électrique etc.

AMIE Potentials

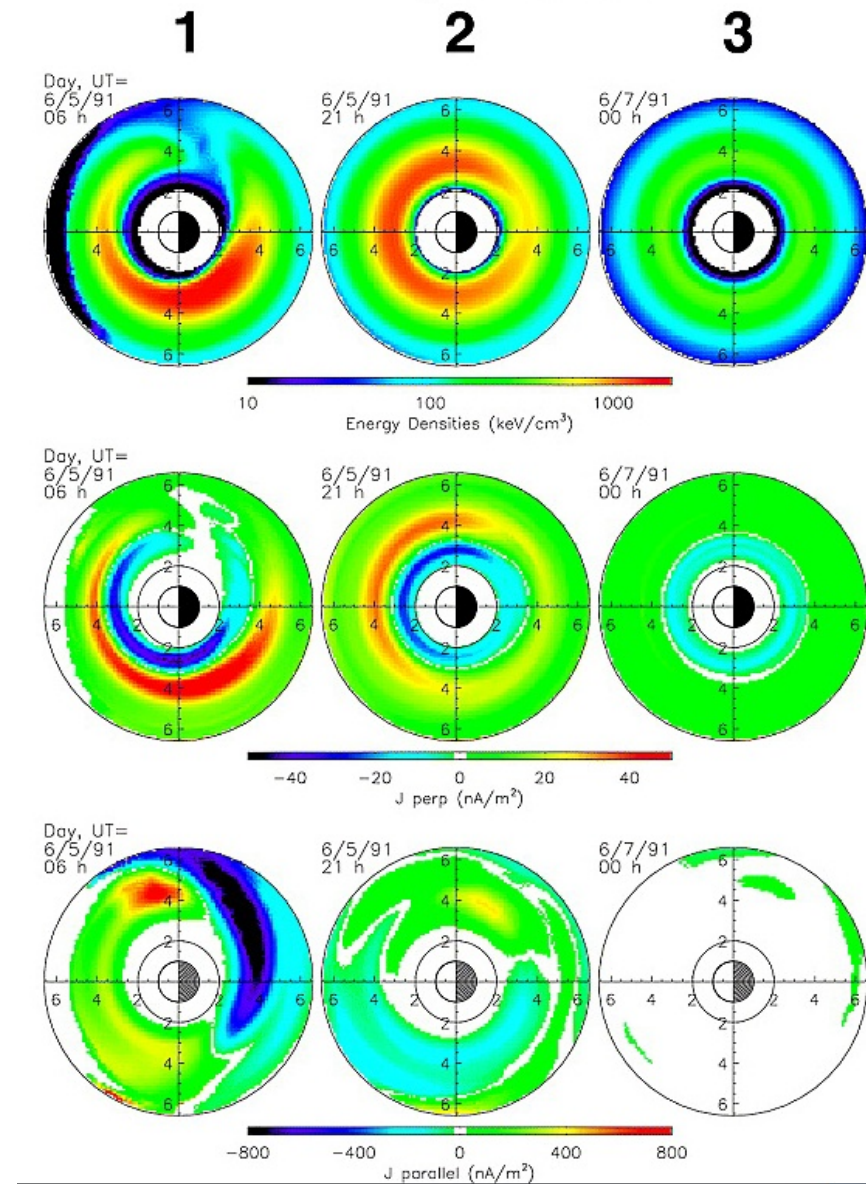


Courant annulaire : dynamique très complexe et encore mal comprise

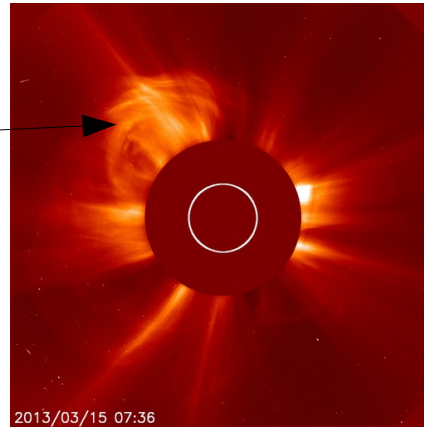
Un moyen de connaître son intensité et de mesurer son effet sur le champ magnétique équatorial en 4 stations différentes
→ indice Dst



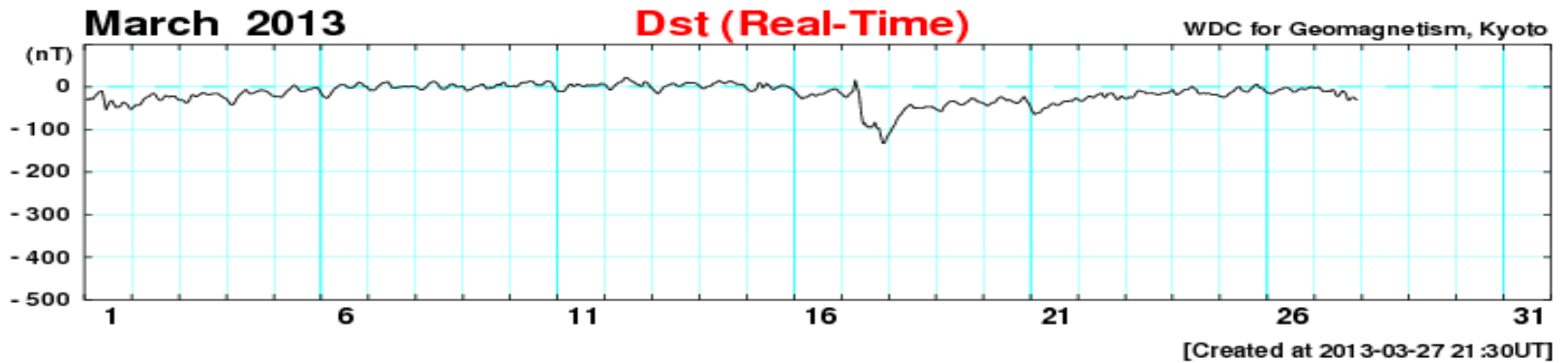
Un DST négatif élevé > -300 nT est la signature d'un intense orage magnétique



CME partie le 15 mars 2013



2 jours plus tard sur Terre :



Conséquence :

Nuit du 17 mars 2013 : un festival d'aurores dans le ciel islandais



Incidence des orages magnétiques sur la vie quotidienne : météo de l'espace

