

Livraison des données S300/UBF des satellites GEOS

Ainsi que des données du magnétomètre,
positions et données auxiliaires

Patrick Robert, ScientiDev,

Version 2.0 du 13/10/2019

Avant propos

Cette version 2. est destinée aux utilisateurs du CDPP. Les données ont été initialement délivrées au CDPP au format RFF [2], format ASCII utilisé par les commandes RCL [3] qui ont été utilisées notamment pour calibrer les formes d'ondes UBF. La description des ces données dans le format RFF a été faite dans la version 1 de ce document. Dans la mesure où le CDPP délivre ces données au format CDF, les méta-data des fichier initiaux RFF ont été converties en leur équivalent CDF et la première version de ce document a été modifiée en conséquence. Merci à Hacene SI HADJ MOHAND qu a effectué ce travail de conversion.

Table des matières

1. Sauvegarde, décommutation, calibration.....	6
A) Décommutation des données brutes UBF.....	6
• Données UBF de style VecTime Level 1 (VTL1).....	6
B) Forme d'ondes UBF calibrées, format VTL2.....	6
C) Données du magnétomètre.....	7
D) Données de position et données auxiliaires.....	7
2. Validation des données.....	8
A) Vérification de l'interpolation des angles d'Euler dans les VTL1.....	8
B) Spectrogrammes à partir des formes d'ondes calibrées VTL2.....	9
• GEOS-1 / 31 mai 1977.....	10
• GEOS-1 / 13 juillet 1979.....	11
• GEOS-1 / 26 septembre 1977.....	12
• GEOS-1 / 2 Janvier 1978.....	13
• GEOS-2 / 01-12-1978.....	14
• GEOS-2 / 4-03-1979.....	15
• GEOS-2 / 16-05-1979.....	16
• GEOS-2 / 21-08-1979.....	17
C) Comparaison avec le magnétomètre.....	18
• GEOS-1 / 31 mai 1977.....	19
• GEOS-1 / 13 juillet 1977.....	20
• GEOS-2 / 1er décembre 1978.....	21
• GEOS-2 / 16 mai 1979.....	22
3. Annexe.....	23
A) Rappel de la définition du repère VDH.....	23
B) Définition du repère SRV.....	23
C) Définition des angles d'Euler et matrices de passage VDH-SRV.....	24
• Définition des angles d'Euler.....	24
• Matrices de rotation.....	24
• Passage des données UBF calibrées en repère tournant au repère SRV.....	25
• Passage des données du magnétomètre au repère SRV.....	25
4. Références.....	26

Livraison des données S300/UBF des satellites GEOS

Ainsi que des données du magnétomètre, positions et données auxiliaires

Patrick Robert, *ScientiDev*, Version 2.0, 13/10/2018

1. Sauvegarde, décommutation, calibration

A) Décommutation des données brutes UBF

Le programme de lecture et décommutation des fichiers binaires CDC 60 bits archivés au CNES a été porté sous Linux, avec l'aide du document de référence de l'ESOC JA/JA/11 [1]. L'exploitation a été faite sous Linux avec l'écriture de scripts shell automatisant toutes les procédures. L'exploitation est terminée, et les fichiers ont été livrés au CDPP. Les données se présentent sous la forme décrite ci-après.

1. Données UBF de style VecTime Level 1 (VTL1)

Les fichiers VTL1 "VecTime Level 1" au format CDF contiennent les variables suivantes (Cf GEOS1_ULF_VTL1.skt, GEOS2_ULF_VTL1.skt) :

Méta données :

- Anomalie (0-2)
- Low Speed Format
- Fréquence de spin (Hz),
- Angles d'Euler (E1, E2, E3 en degrés)
- Sens de rotation du satellite (électron ou proton)
- Status indiquant si le bloc est interpolé ou non (0=interpolé)
- Le spin phase (degrés) dans le repère satellite.

Les données :

- 3 valeurs Bx, By, Bz
- 3 gains adaptatifs Gx, Gy, Gz de valeur 5, 25 ou 125
- 2 valeurs des signaux "despin" Dx, Dy qui correspondent à la rotation du champ magnétique continu et qui sont retirées analogiquement du signal brut avant numérisation [1].

Notons que la conversion en Volt se fait par les formules:

$$B_x(V) = -(B_x \cdot 5.1/255. - 2.5)/G_x \text{ et } D_x(V) = (D_x \cdot 5.1/255. - 2.5)/10.$$

B) Forme d'ondes UBF calibrées, format VTL2

Le programme de calibration continue des formes d'ondes mis au point pour les données CLUSTER/STAFF-SC a été adapté aux données GEOS/S300. Ce programme traite les fichiers VTL1 et produit les VTL2, c'est à dire des vecteurs datés en nT.

Les métas données contiennent les mêmes renseignements que les VTL1. Les données elles-mêmes se composent également des mêmes variables que les VTL1, mais elles sont données en nT (Cf. GEOS1_ULF_VTL2.skt, GEOS2_ULF_VTL2.skt).

Le repère SRV dans lequel les données sont produites est appelé ainsi par rapport au repère SR2 de CLUSTER, appelé "Spin Reference 2". Dans le repère SRV l'axe Z est aligné avec l'axe de spin, tandis que X est dans le plan du méridien géographique (H,V) du repère VDH (voir annexe). Lorsque l'axe de spin est proche de H (comme pour GEOS-2), alors X est proche de V. Ce repère correspond aussi au repère satellite fixe, avec X dans une direction constante.

Il est déduit du repère satellite tournant SR par une rotation d'angle E1 (premier angle d'Euler). C'est donc un repère fixe à l'échelle du temps de rotation, et qui ne mélange pas les composantes tournantes X et Y de la composante fixe Z (axe de spin).

C) Données du magnétomètre

Ces données ont été également décommutées à partir des fichiers binaires CDC 60 bits. Pour GEOS-1 elles sont fournies avec une résolution temporelle de 64 LSF soit **88,064** secondes. Pour GEOS-2, la résolution est meilleure, soit 16 LSF et **22,016** secondes.

Elles sont fournies sous la forme de fichiers CDF de type VTL2. Les métas données contiennent les mêmes renseignements que les VTL1 et VTL2 UBF. Les données elles-mêmes contiennent les trois composantes du champ magnétique Bx, By, Bz en nT dans le repère VDH (Cf. GEOS1_MAG_VTL2.skt, GEOS2_MAG_VTL2.skt).

D) Données de position et données auxiliaires

Comme pour les données du magnétomètre, ces données sont fournies sous la forme de fichiers CDF de type VTL2.

Le méta données :

- Low Speed Format,
- right ascension and declination of the spin axis in S/C system,
- Cartesian coordinates of the spin axis SpinX, SpinY, SpinZ in VDH,
- Cartesian coordinates of the sun direction from Earth center in VDH,
- Angle (Earth-Spacecraft, Earth-Sun direction). All angles in degrees.

Les données :

- Position : Latitude (degré), Longitude (degré) et Distance(Km) données dans le repère GEO (Geocentric equatorial coord)

2. Validation des données

A) Vérification de l'interpolation des angles d'Euler dans les VTL1

La figure 1 ci-dessous représente le tracé de la fréquence de spin et des angles d'Euler issus des VTL1, et donc des angles interpolés entre les blocs des WFL1, pour toute la durée de vie de chacun des deux satellites. Avant de fournir ces figures compressées en temps, un zoom sur différentes parties a été fait afin de s'assurer que les angles d'Euler varient bien continûment, en particulier au moment des passages à zéro et à 360, qui nécessitent une attention particulière pour l'interpolation autour de ces valeurs, notamment pour le premier angle qui varie vite à l'échelle de la période de spin, alors que les deux autres varient lentement.

Sur les figures du bas, on peut remarquer que le deuxième angle d'Euler, qui représente l'angle entre l'axe de spin et le vecteur H du VDH, est proche soit de zéro soit de 180°, qui correspond au sens de rotation du satellite (électron ou proton). En effet, plusieurs fois durant leur durée de vie, les satellites ont été renversés "tête en bas" ou "tête en haut".

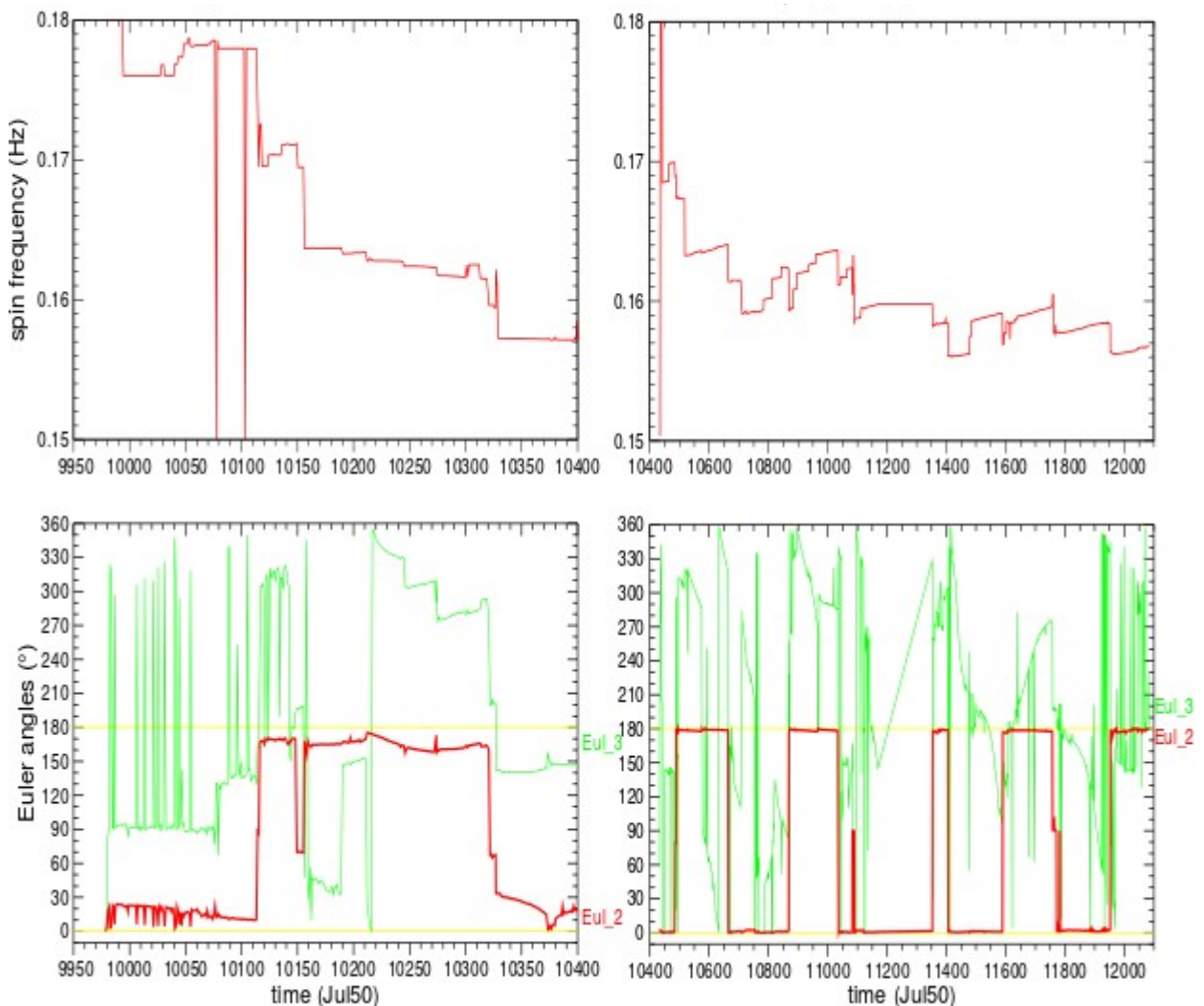


Figure 1 : Variation de la fréquence de spin et des angles d'Euler sur GEOS-1 et GEOS-2

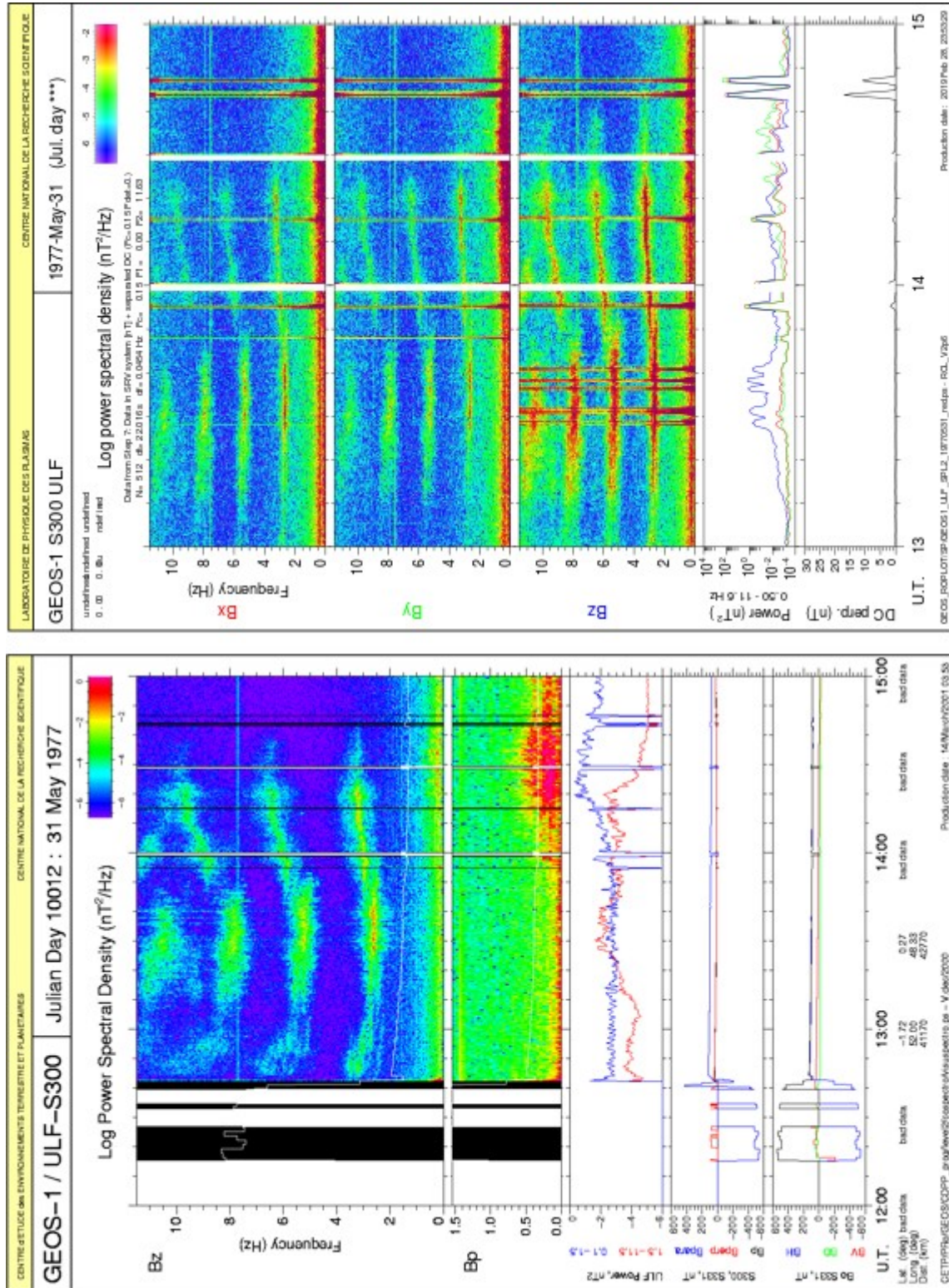
B) Spectrogrammes à partir des formes d'ondes calibrées VTL2

Les spectrogrammes des formes d'ondes calibrées ont été produits grâce au logiciel RCL [3]. Ils sont comparés ici avec les spectrogrammes fait lors du dépouillement initial, lui-même fait à partir des données VTL1 auxquelles la fonction de transfert a été appliquée dans l'espace des fréquences. Ces spectrogrammes sont disponibles sur le site de *ScientiDev* (<http://www.scientidev.fr/>) à l'adresse suivante:

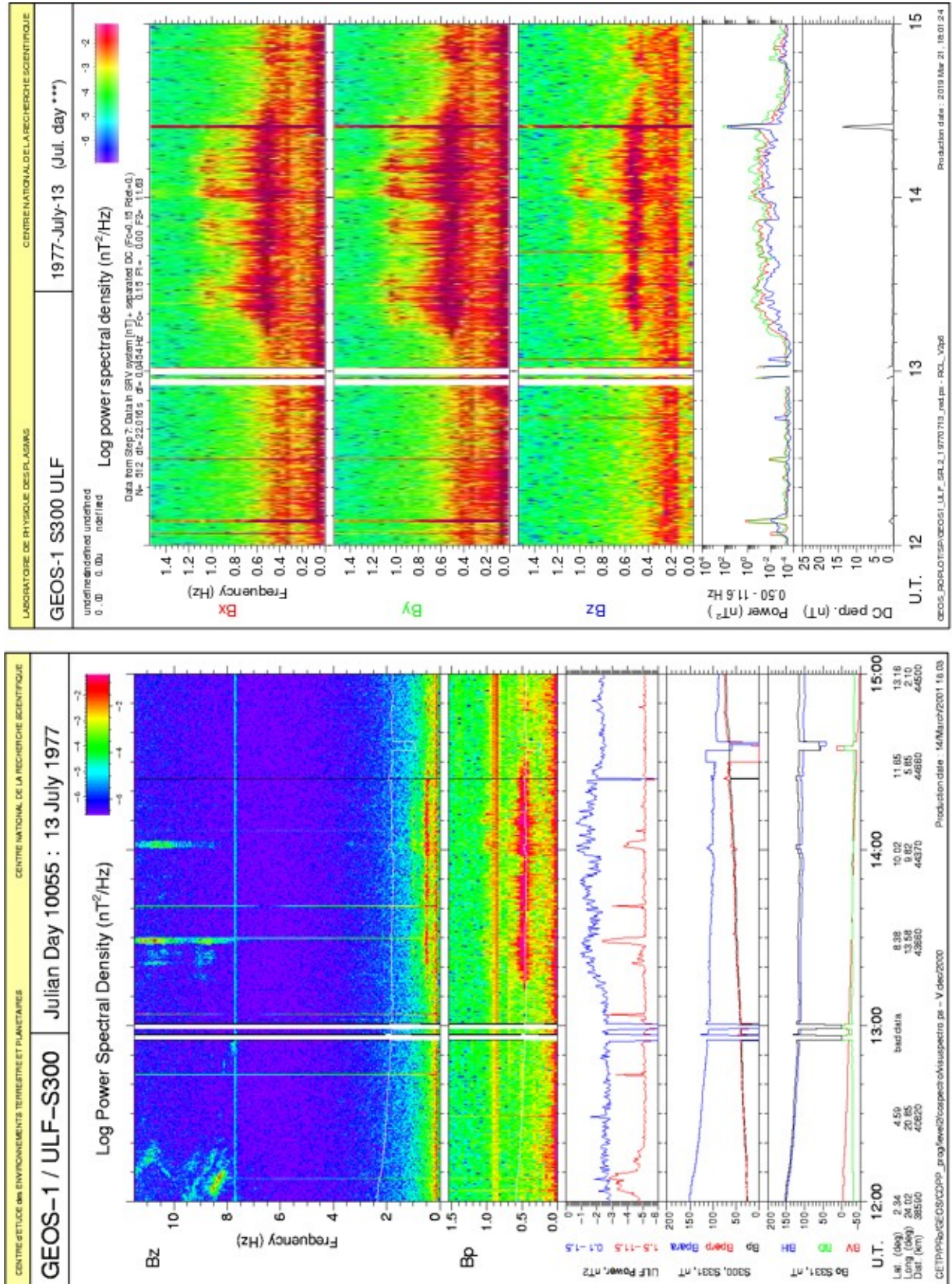
http://www.scientidev.fr/C5L1_BD_GEO.php?arg=fr

Pour la validation, 4 cas de GEOS-1 et 4 autres de GEOS-2 ont été examinés (figures GEOS -1 et GEOS-2 suivantes). Dans tous les cas les événements sont retrouvés, au bon temps et avec les bonnes amplitudes, avec les mêmes trous de données, bien que la calibration des formes d'ondes "élargissent" un peu les trous de données, dans la mesure où elle consiste à calibrer une fenêtre glissante de VTL1.

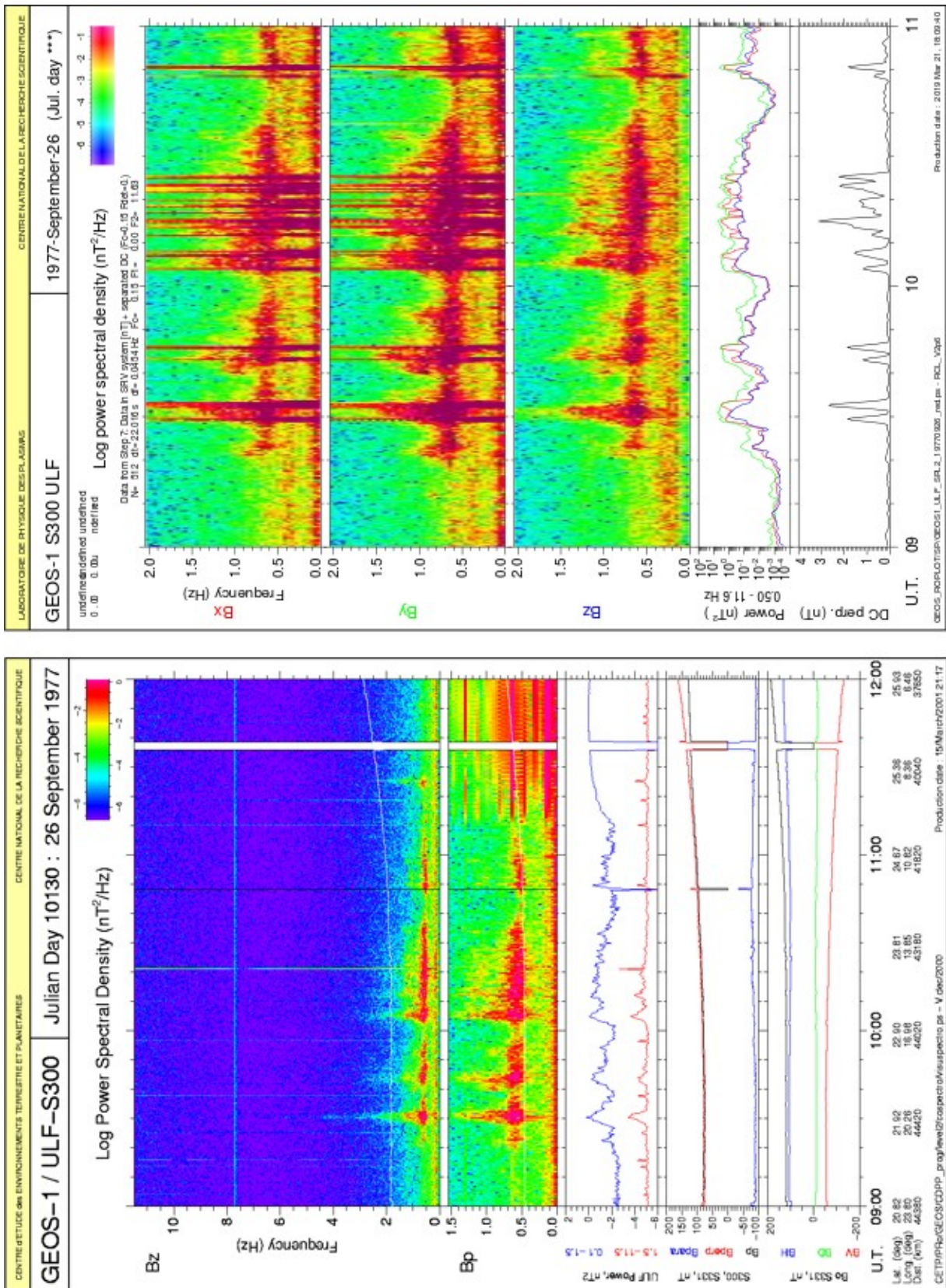
1. GEOS-1 / 31 mai 1977



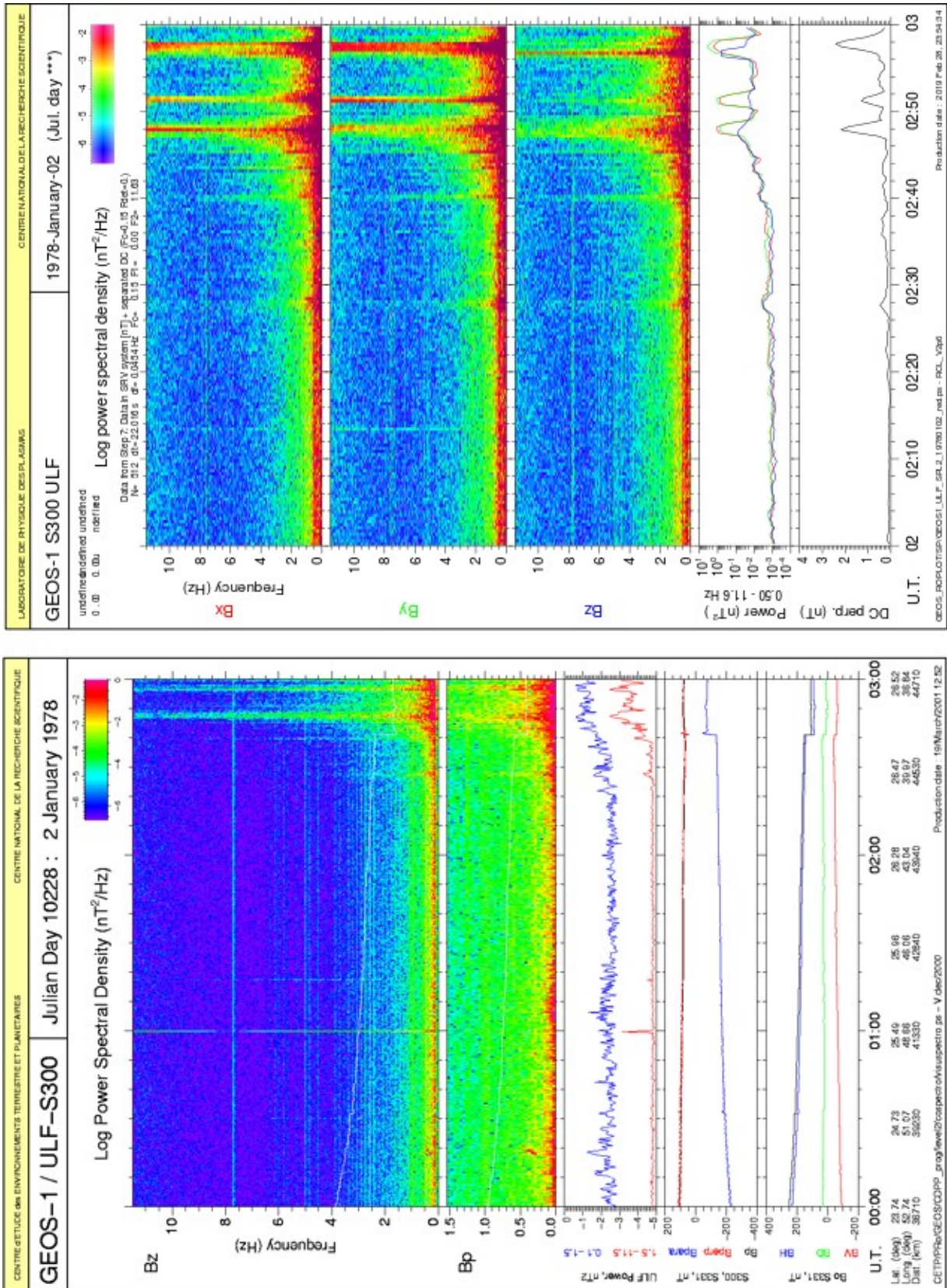
2. GEOS-1 / 13 juillet 1979



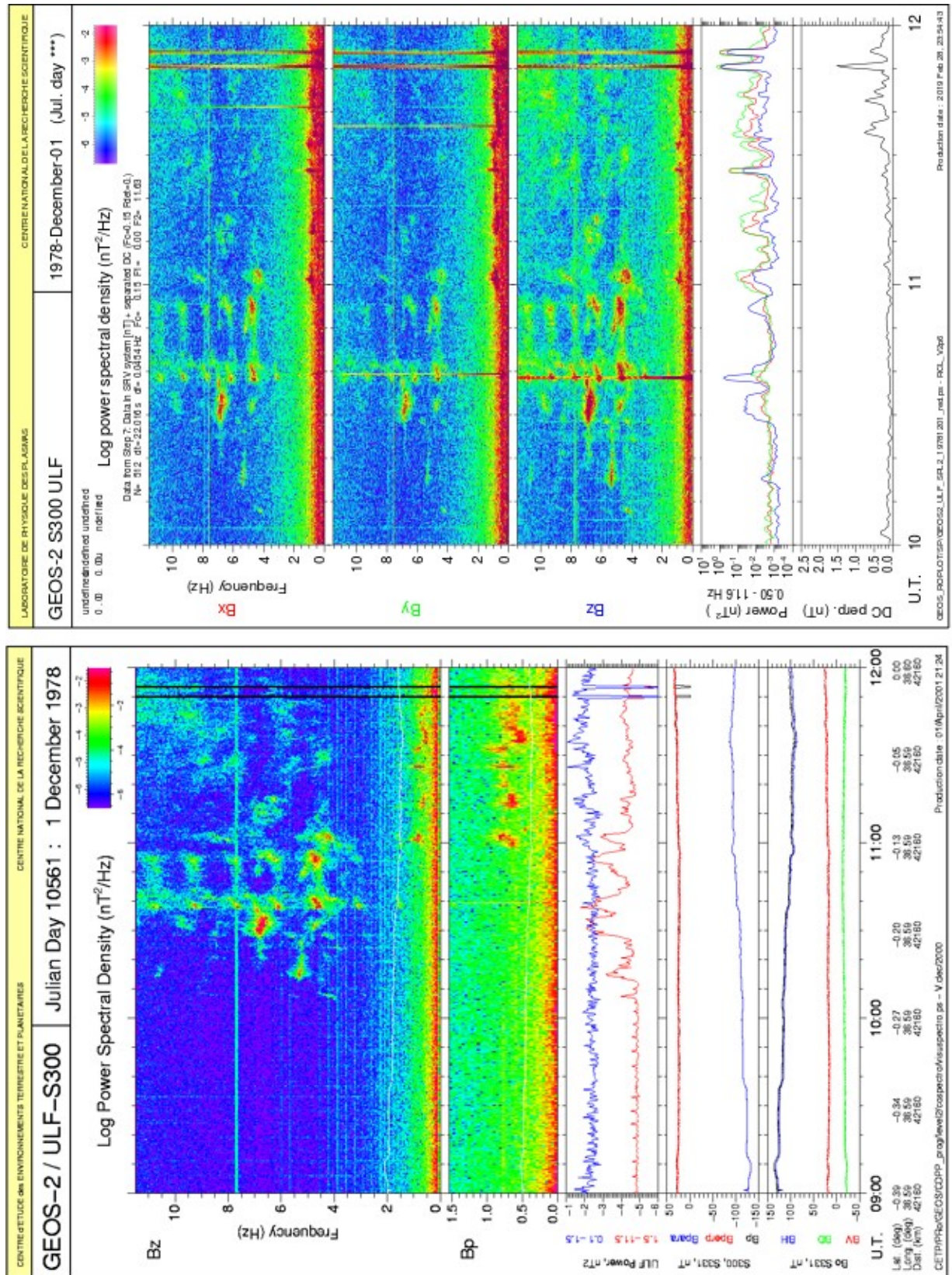
3. GEOS-1 / 26 septembre 1977



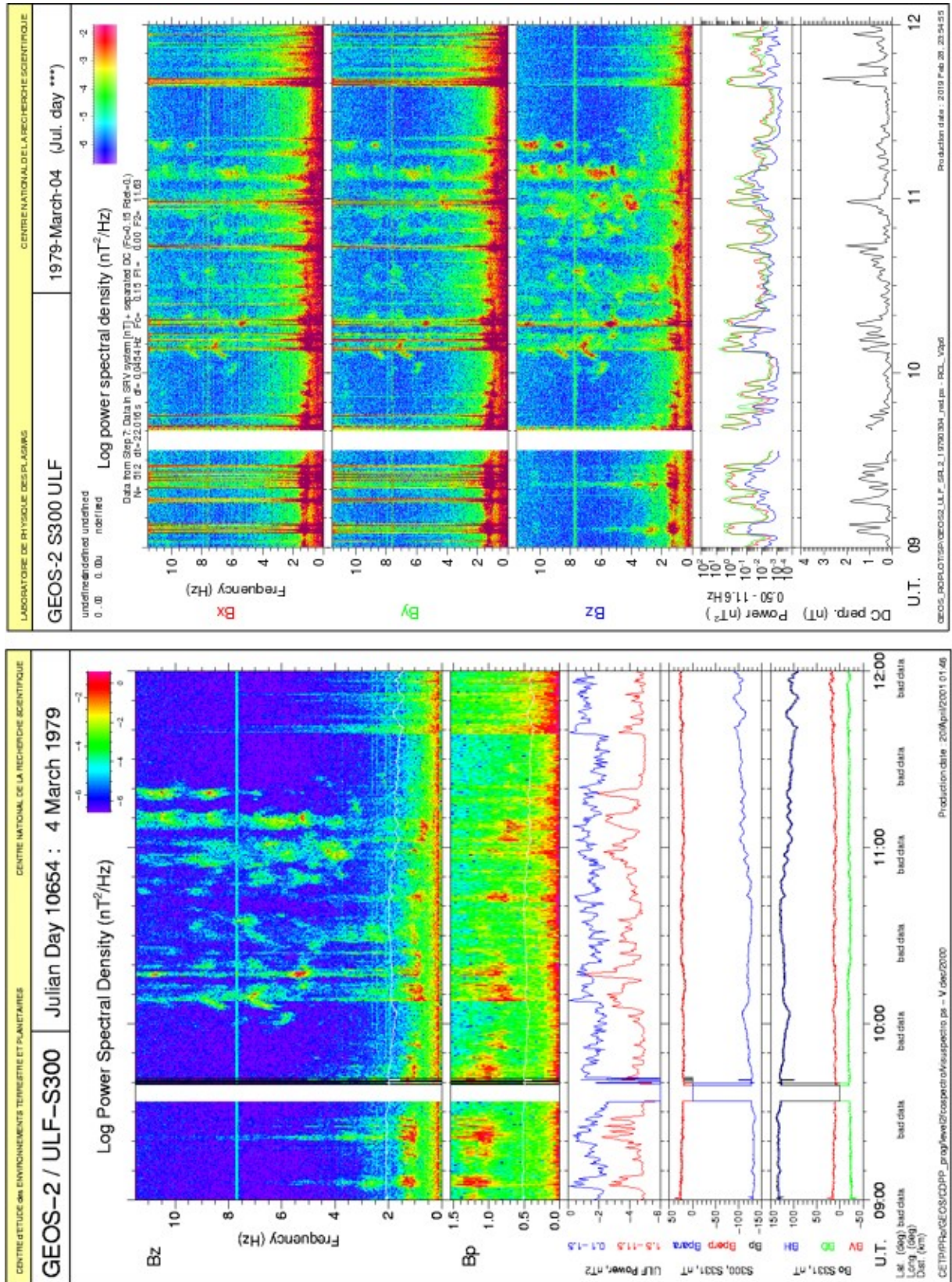
4. GEOS-1 / 2 Janvier 1978



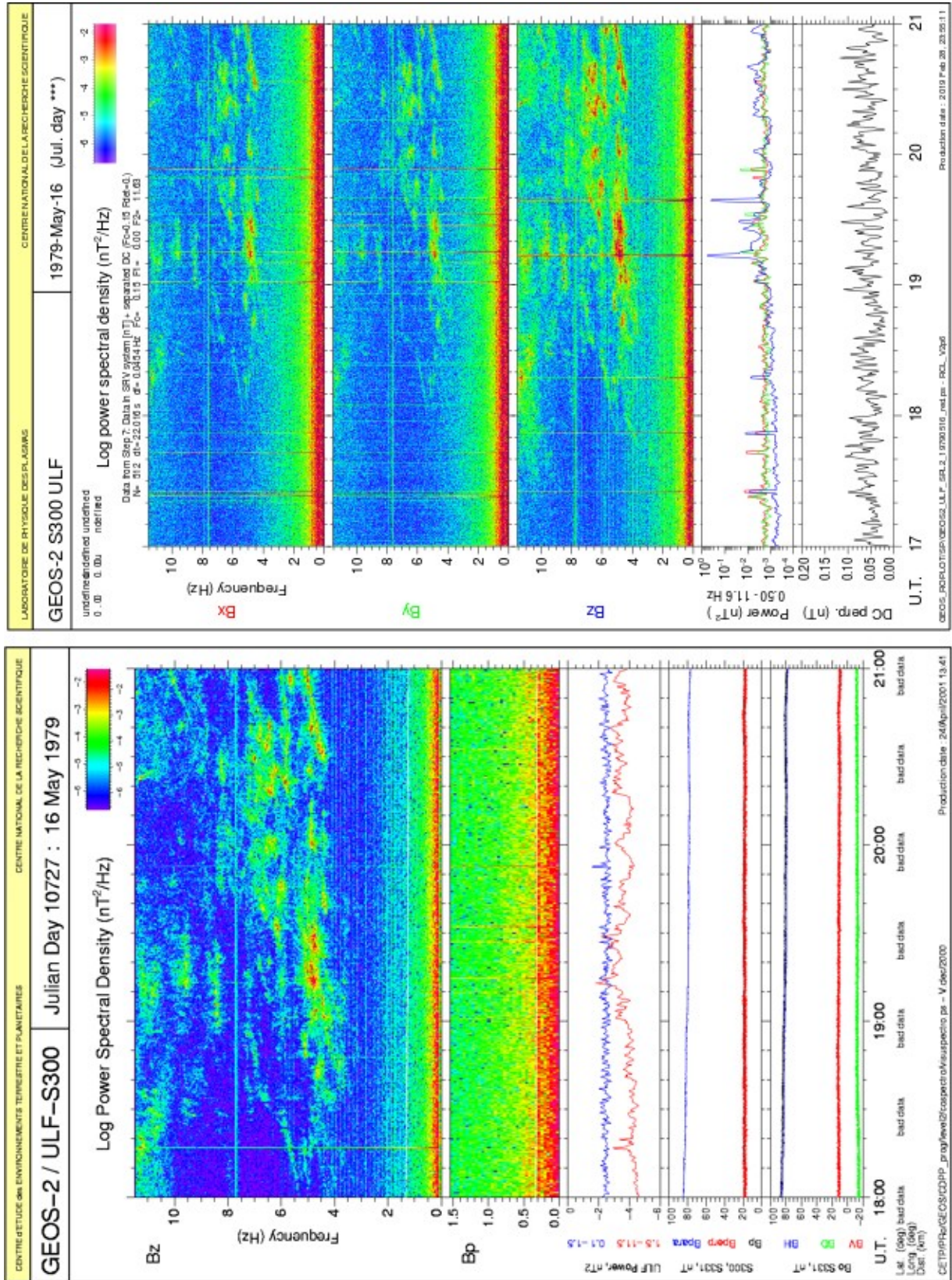
5. GEOS-2 / 01-12-1978



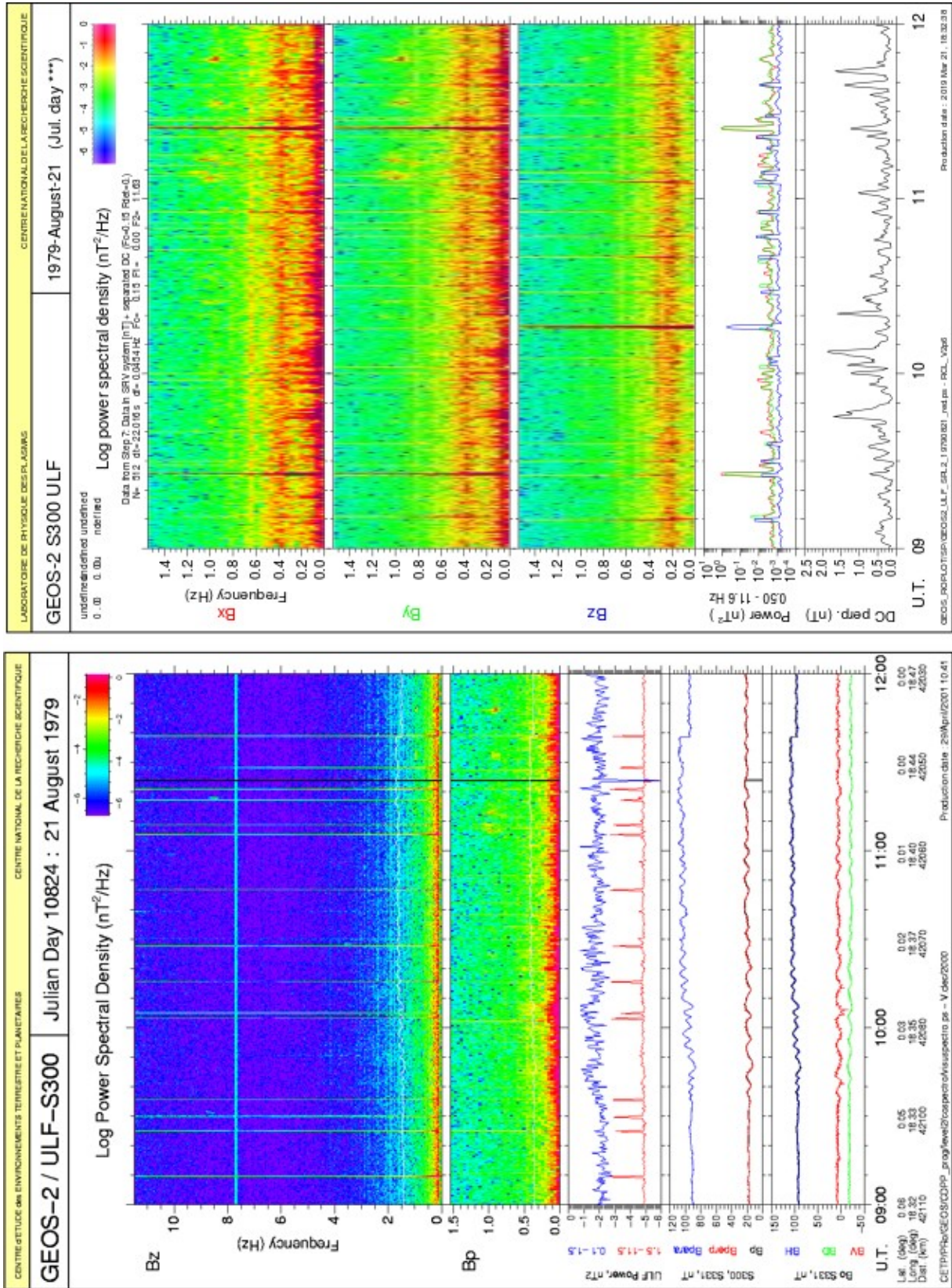
6. GEOS-2 / 4-03-1979



7. GEOS-2 / 16-05-1979



8. GEOS-2 / 21-08-1979



C) Comparaison avec le magnétomètre

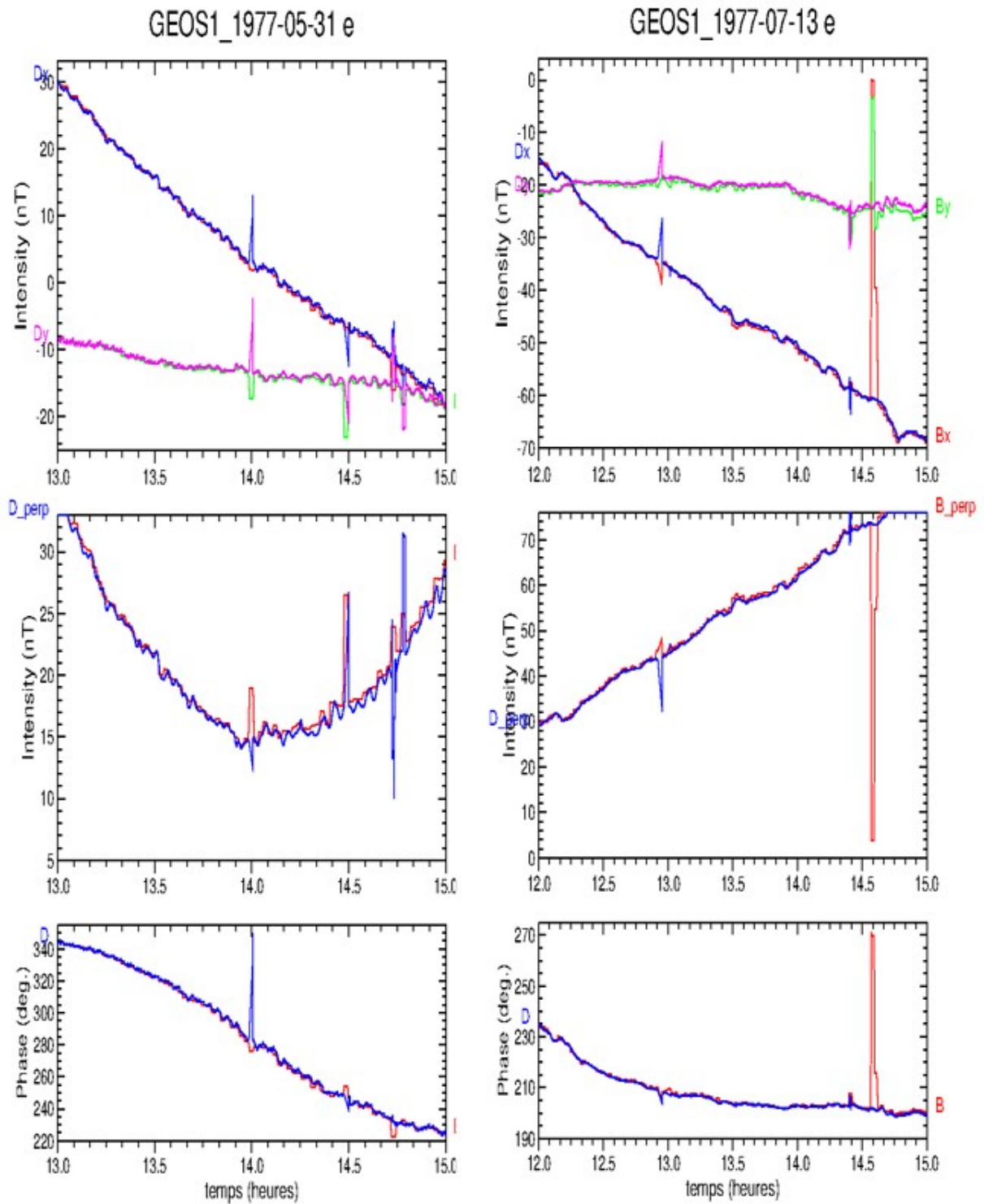
Les deux voies « Despin » des formes d'ondes calibrées correspondent à la mesure du champ magnétique continu [2]. On peut donc, en mettant les données du magnétomètre dans le même repère SRV où sont mesurées les deux composantes D_x et D_y par le search-coil effectuer une comparaison entre les deux instruments.

Le problème le plus délicat dans l'estimation des composantes D_x et D_y est la correction de la phase lors de la calibration. C'est pourquoi on a comparé non seulement D_x , D_y avec B_x , B_y mais également l'intensité du champ perpendiculaire (à l'axe de spin) et sa direction dans le plan X-Y.

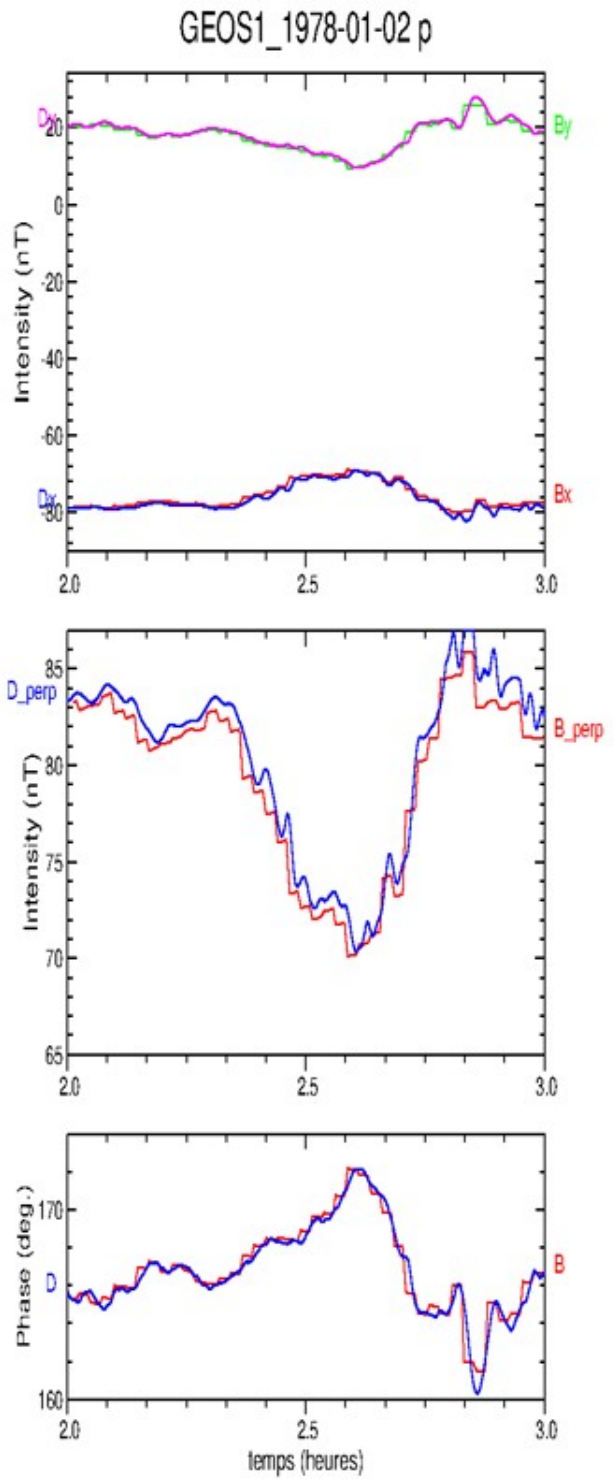
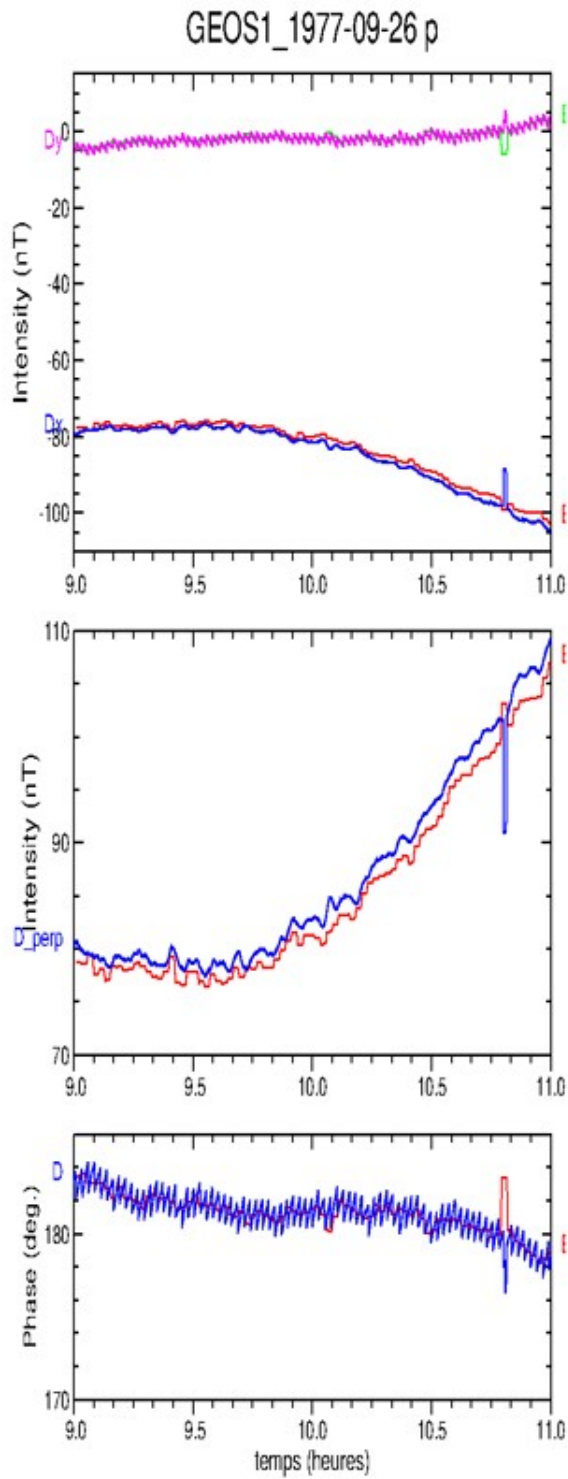
Comme on le verra dans les tracés qui suivent, l'accord est généralement très bon en ce qui concerne l'intensité du champ perpendiculaire, les différences se portant plutôt sur la direction du champ.

La comparaison a été faite sur 2 cas de GEOS-1 et 2 cas de GEOS-2. Il faut noter que pour les deux satellites, après un certain temps de bon fonctionnement, les magnétomètres ont présentés de graves problèmes, comme on peut l'observer sur les cas étudiés ci-dessous.

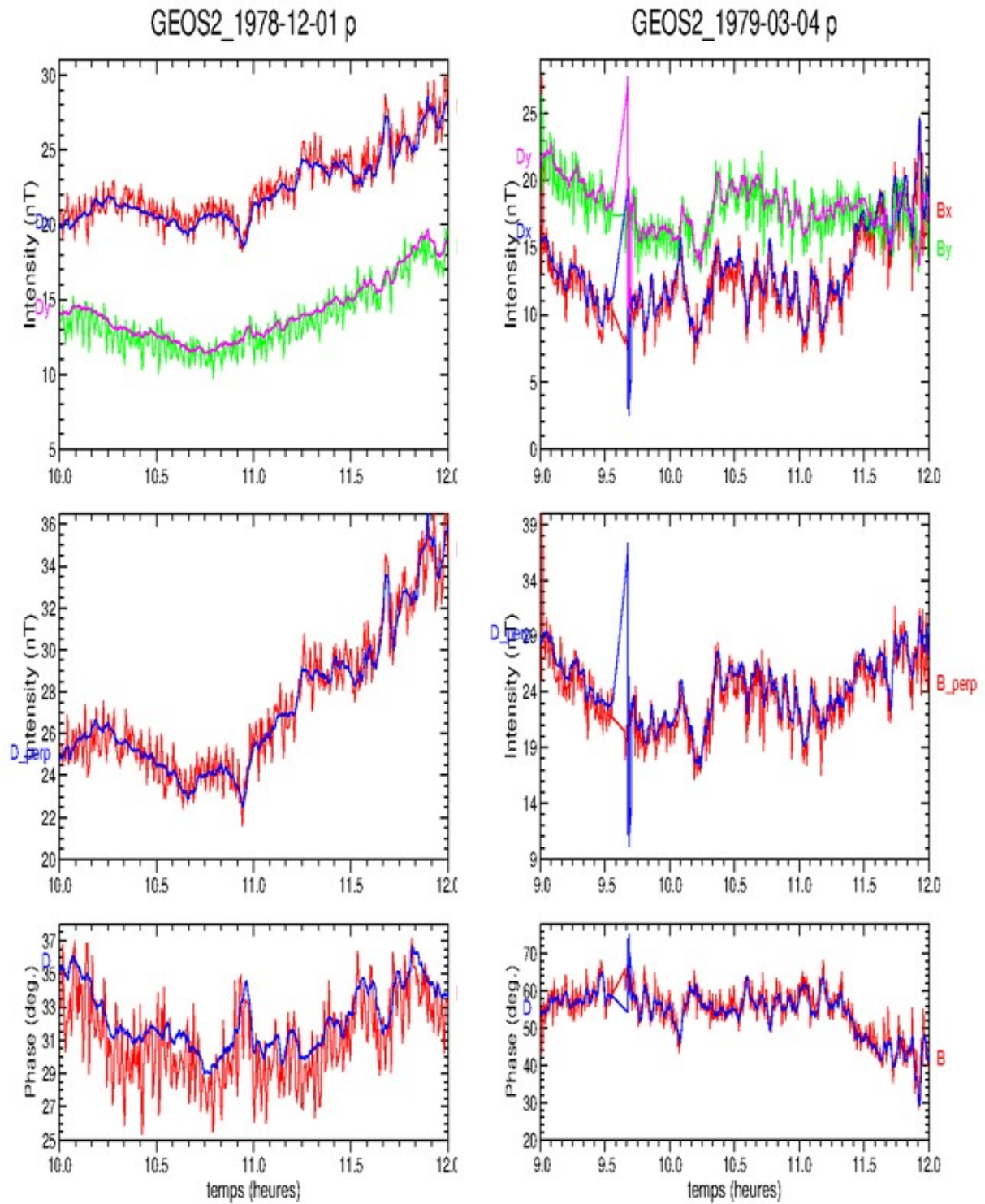
1. GEOS-1 / 31 mai 1977



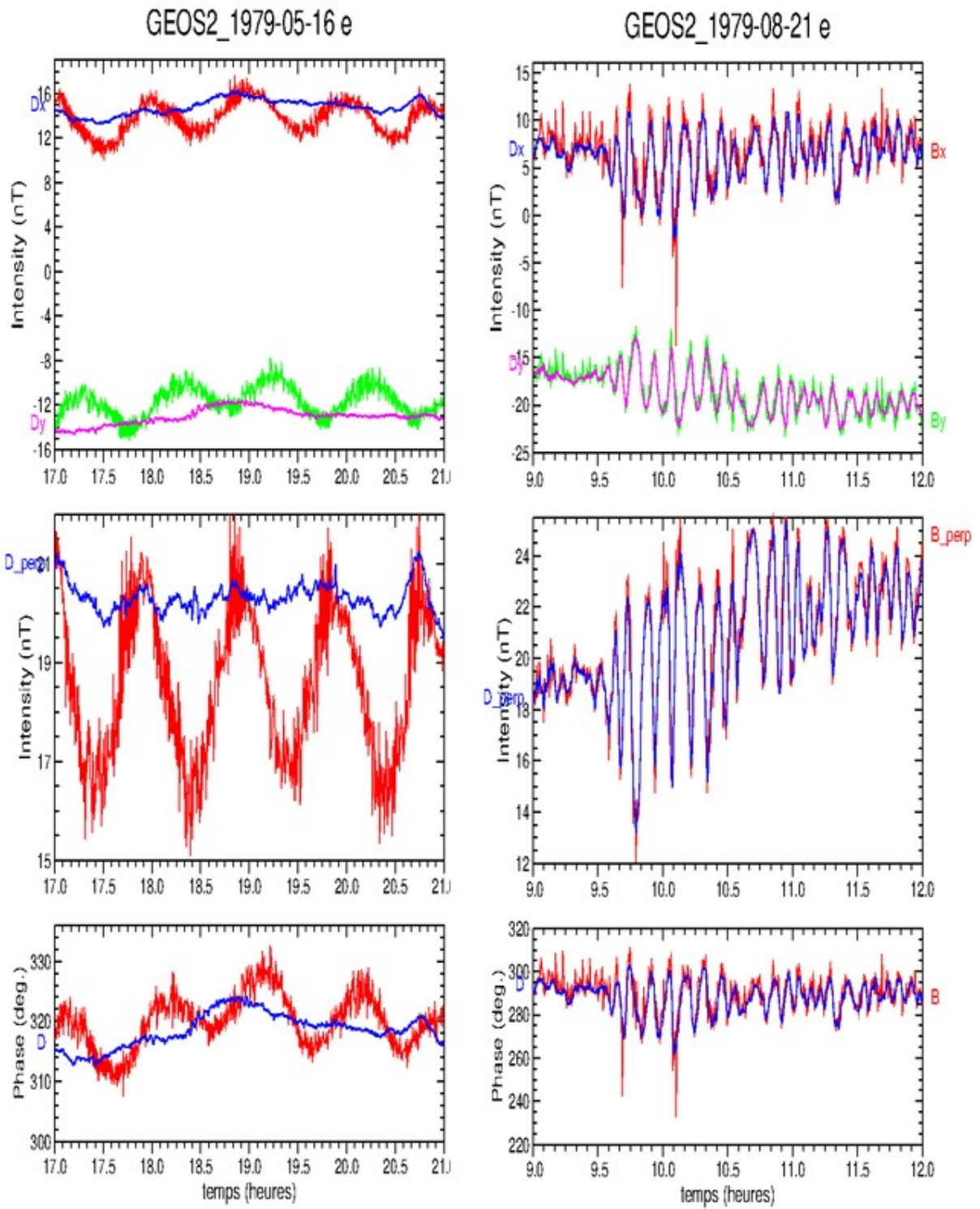
2. GEOS-1 / 13 juillet 1977



3. GEOS-2 / 1er décembre 1978

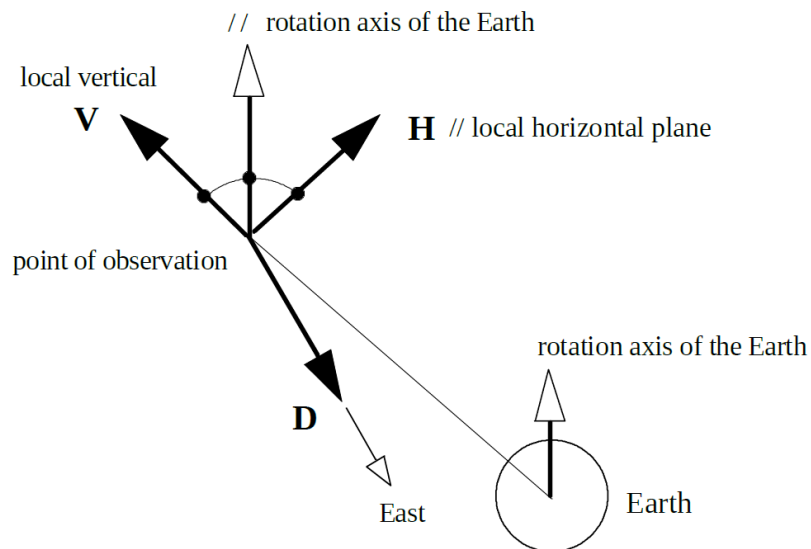


4. GEOS-2 / 16 mai 1979

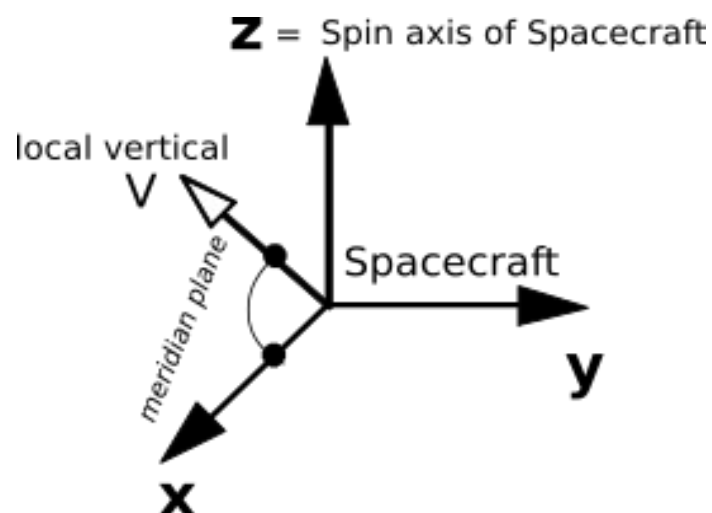


3. Annexe

A) Rappel de la définition du repère VDH



B) Définition du repère SRV

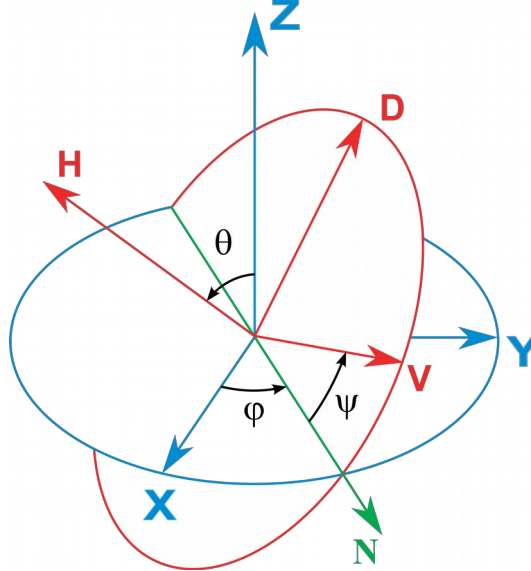


Dans le repère SRV l'axe Z est aligné avec l'axe de spin, tandis que X est dans le plan du méridien géographique (H,V) du repère VDH

C) Définition des angles d'Euler et matrices de passage VDH-SRV

1. Définition des angles d'Euler

Les angles d'Euler permettent le calcul du passage entre le repère des antennes tournantes et le repère VDH de référence. Ils sont définis selon le schéma ci-dessous :



Le repère VDH est le système fixe, dans lequel on définit le système en rotation XYZ au moyen des 3 angles d'Euler : φ est la précession, θ la nutation et ψ la rotation propre, encore appelée giration.

2. Matrices de rotation

Le passage du repère XYZ au repère VDH se fait au moyen de 3 rotations :

- une rotation A autour de Z (axe de spin) et d'angle φ amène X sur l'axe des nœuds N, soit X'
- une rotation B autour de N et d'angle θ amène Z sur H, soit Z'
- une rotation C autour de Z' et d'angle ψ amène X' sur V

La matrice de passage du XYZ à VDH est donc le produit $R=CBA$ suivant :

$$R = \begin{pmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

et sous forme développée A

$$La \quad R = \begin{pmatrix} \cos \psi \cos \varphi - \sin \psi \cos \theta \sin \varphi & -\cos \psi \sin \varphi - \sin \psi \cos \theta \cos \varphi & \sin \psi \sin \theta \\ \sin \psi \cos \varphi + \cos \psi \cos \theta \sin \varphi & -\sin \psi \sin \varphi + \cos \psi \cos \theta \cos \varphi & -\cos \psi \sin \theta \\ \sin \theta \sin \varphi & \sin \theta \cos \varphi & \cos \theta \end{pmatrix}$$

matrice inverse est $R^{-1}=A^{-1}B^{-1}C^{-1}$ et l'inverse de chacune des matrice se calcule simplement en changeant le signe de l'angle. Mais il est beaucoup plus simple de prendre directement la matrice transposée.

3. Passage des données UBF calibrées en repère tournant au repère SRV

La rotation A précédente autour de Z et d'angle φ amène X sur l'axe des nœuds N. Pour que le nouvel axe X soit dans le plan du méridien géographique, soit le plan (V,H), il faut appliquer une seconde rotation toujours autour de l'axe de spin Z, et d'un angle ρ à calculer.

Pour calculer ρ , on calcule la projection de l'axe V dans le repère NY'Z, on applique donc au vecteur V le produit de matrice $B^{-1}C^{-1}$. Le calcul donne pour cette projection V' le résultat suivant :

$$\begin{aligned}V'_x &= \cos\psi \\V'_y &= -\cos\theta \sin\psi \\V'_z &= \sin\theta \sin\psi\end{aligned}$$

Et on déduit l'angle de rotation ρ par :

$$\begin{aligned}\sin\rho &= -\cos\theta \sin\psi \\ \cos\rho &= \cos\psi\end{aligned}$$

4. Passage des données du magnétomètre au repère SRV

Ce passage se fait simplement en appliquant les rotations suivantes :

- une première rotation autour de H et d'angle ψ amène V sur l'axe des nœuds N,
- une seconde rotation autour de N et d'angle θ amène H sur Z qui est l'axe de spin.
- une troisième rotation autour de Z (spin) et d'angle ρ amène X dans le plan méridien VH

Cette transformation a été utilisée pour faire les comparaisons entre les composantes perpendiculaires du champs continu mesuré par les search-coil et les mesures du magnétomètre.

5.

4. Références

- [1] GEOS data processing - Specification of experimenter's tapes.
ESOC JA/JA/11 28/12/1976

- [2] The Roproc File Format - A dedicated file format for vectorial data processing.
By Patrick Robert, CNRS/CETP, Version 2.3, April 2015

ftp://ftp.lpp.polytechnique.fr/robert/keep/Biblio_et_CV/Working_documents/2015_Robert_The_Roproc_File_Format_V2p3.pdf

- [3] Les commandes RCL pour le traitement de masse des données de CLUSTER/STAFF-SC
Par Patrick Robert, CNRS/LPP, V3.0, 2015-04-16

ftp://ftp.lpp.polytechnique.fr/robert/keep/Biblio_et_CV/Working_documents/2015_Robert_Les_commandes_RCL_V3p0.pdf

- [4] Measurement by the S300 experiment of two composants of the DC magnetic field,
DTCRPE, Patrick Robert, CRPE, CNET/ETE, 1979

ftp://ftp.lpp.polytechnique.fr/robert/keep/Biblio_et_CV/Working_documents/1979_Robert_DTCRPE_Measurement_by_S300_of_2_comp_DC_field.pdf