

Utilisation du GNSS au Vietnam

Dr. Minh LE HUY

Directeur de Recherche

INSTITUT DE GÉOPHYSIQUES

ACADEMIE DES SCIENCES ET DES
TECHNOLOGIES DU VIETNAM

Ihminhigp@gmail.com, Ihminh@igp.vast.vn

Conakry, Octobre 2024

PLAN

- Réseau de GPS au Vietnam
- Études de l'ionosphère
- Études du mouvement de la croûte terrestre
- Études de la vapeur d'eau de la troposphère

Stations GNSS

Depuis 2005: PHUT,
HUES, HOCM
(IMTA, UR1, CETP, France)

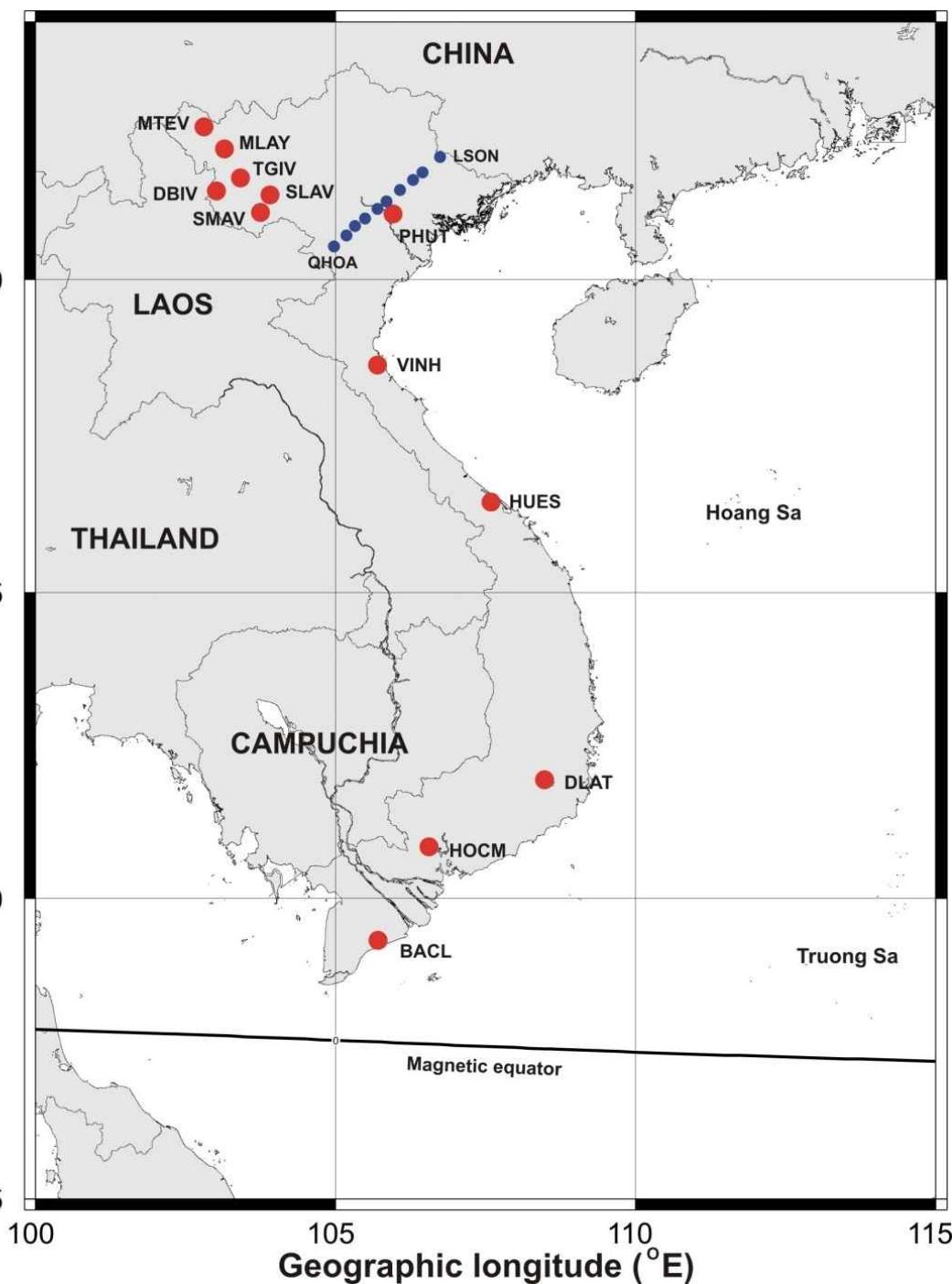
Depuis Mai 2015:
HOCM → BACL

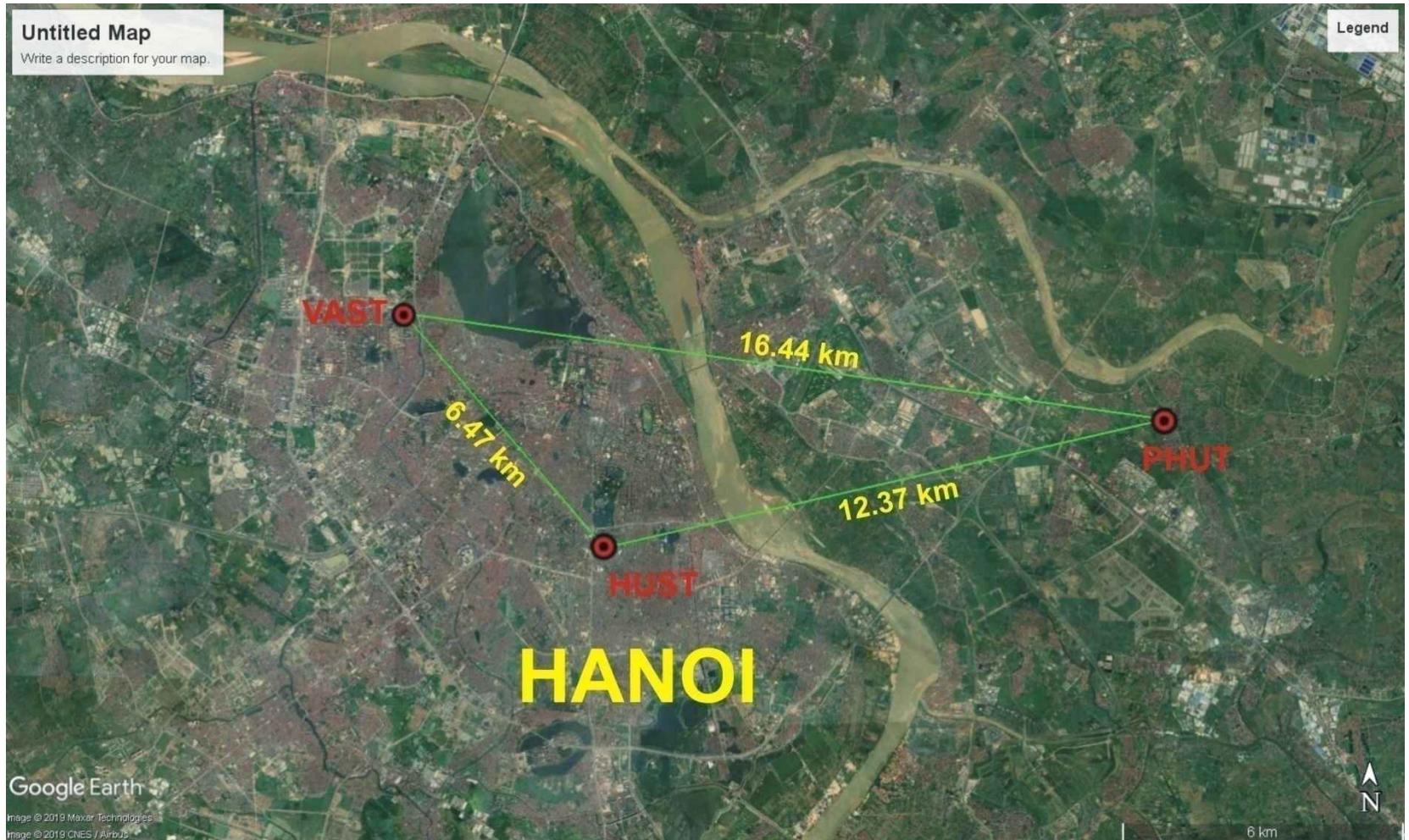
2009-2020: SMAV, SLAV,
TGIV DBIV, MLAY, MTEV
(NTU, Taiwan)

Depuis Sep. 2011: VINH

Depuis Oct. 2014: DLAT
(JAXA, Japon)

Depuis Oct. 2017: 10 stations
QHOA → LSON
(SINICA, Taiwan)





Depuis Feb. 2019 en coopération avec ENRI (Electronic Navigation Research Institute, Japan), PHUT, VAST et HUST (NAVIS centre), petit réseau pour la surveillance de l'ionosphère afin de concevoir un système d'augmentation au sol - GBAS pour l'approche et l'atterrissage de précision pour l'aviation civile à l'aéroport international de Noibai, Hanoi. Les distances entre les stations sont de 6.47 km au 16.44 km.

STATIONS GNSS AU VIETNAM ET DANS LES PAYS VOISINS

2005, 3 stations: PHUT, HUES, HOCM

2009, 6 stations: MTEV, MLAY, DBIV
TGIV, SLAV, SMAV

Sep. 2011: VINH

Oct. 2014: DLAT

Oct. 2017: 10 Stations: QHOA-LSON

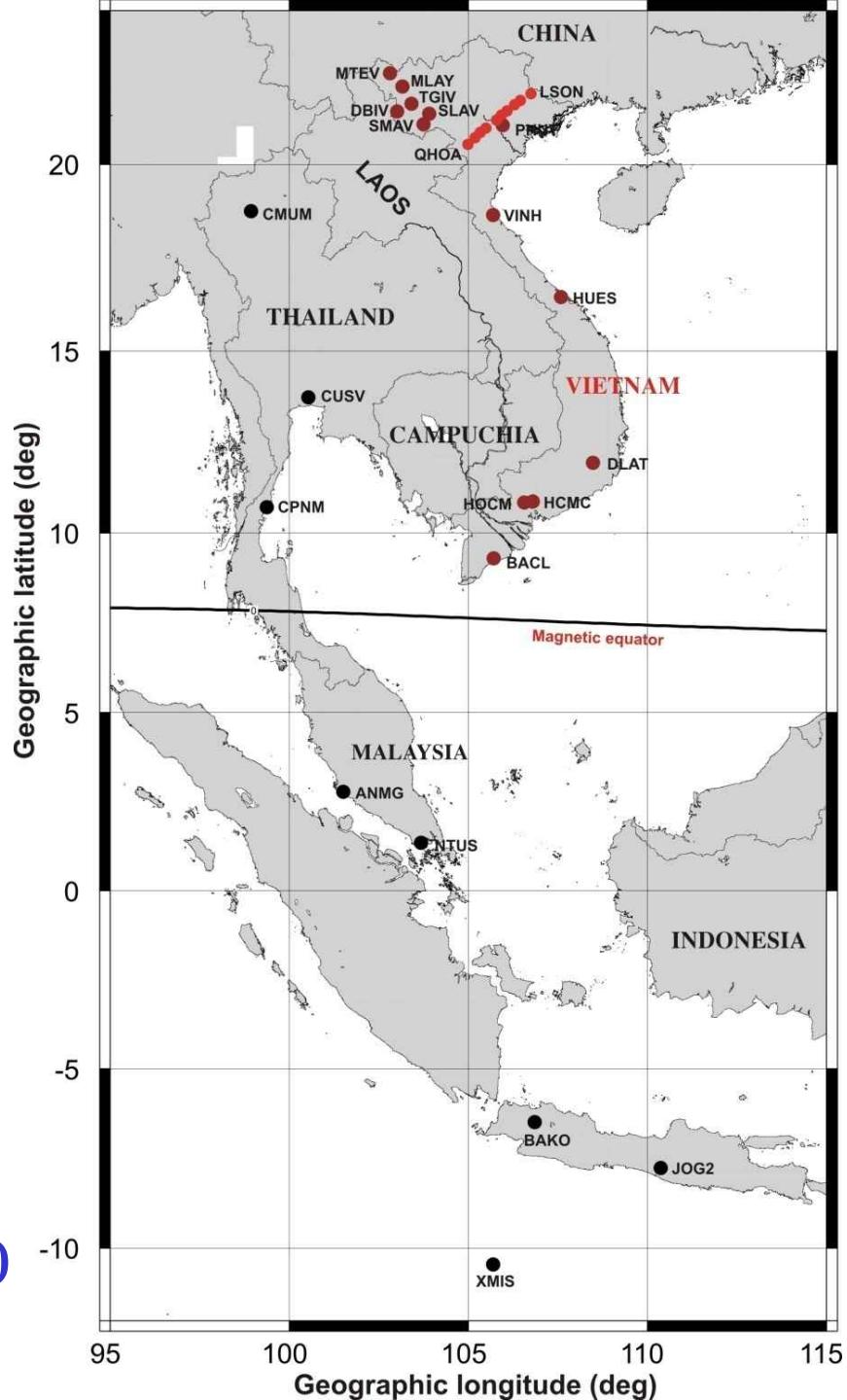
Feb. 2019: 2 stations

Stations IGS :

Au Nord: CMUM, CUSV, CPNM

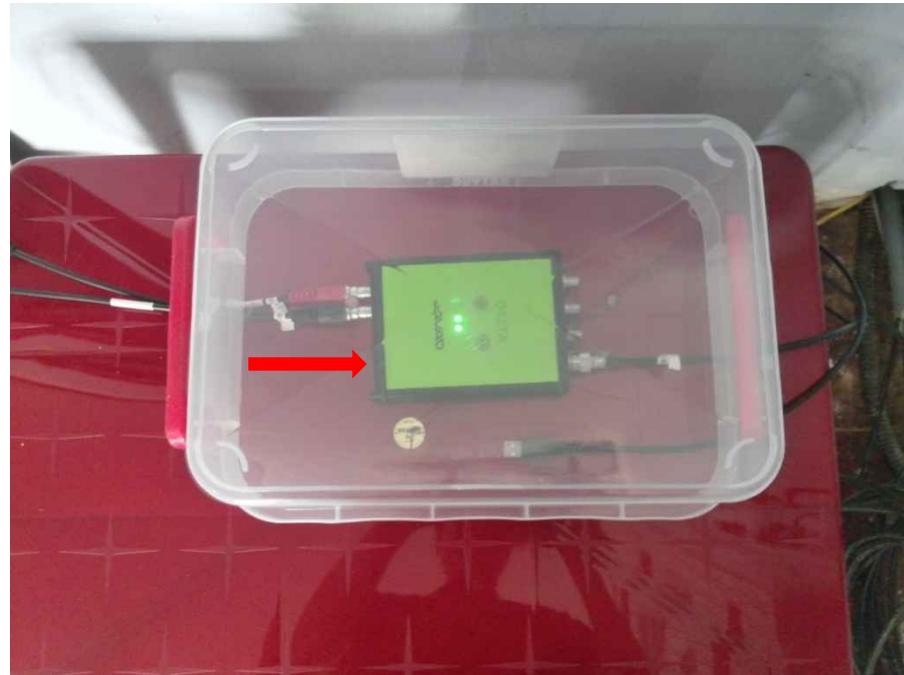
Au Sud: ANMG, NTUS, BAKO,
JOG2, XMIS

Stations autour de $\sim 105^{\circ}$ E (TL = TU+7)

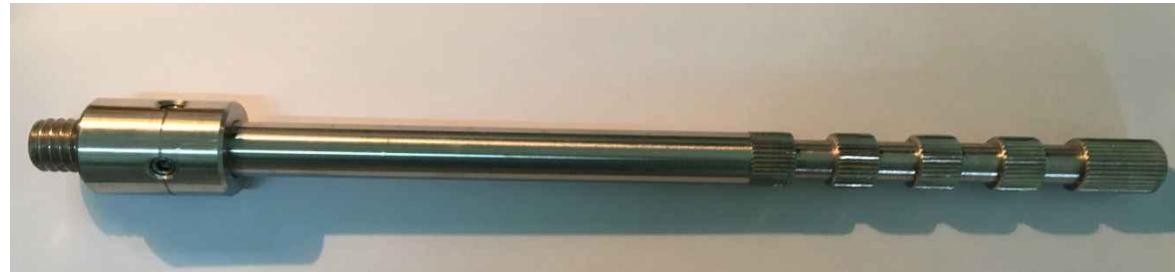


Station DLAT

Javad Delta G3T; Trimble NetR9; COR5700.



Trépied



Études de l'ionosphère

Calcul du Contenu Total en Electron (TEC)

Equations pour les observations de pseudoranges

$$p_{1j}^i = s_{0j}^i + d_{ion1j}^i + d_{tropj}^i + c(\tau^i - \tau_j) + b_{p1}^i + b_{p1j} + m_1^p + \varepsilon_1^p \quad (1)$$

$$p_{2j}^i = s_{0j}^i + d_{ion2j}^i + d_{tropj}^i + c(\tau^i - \tau_j) + b_{p2}^i + b_{p2j} + m_2^p + \varepsilon_2^p \quad (1')$$

Equations pour les observations de phase

$$L_{1j}^i = s_{0j}^i - d_{ion1j}^i + d_{tropj}^i + c(\tau^i - \tau_j) + b_{\phi 1}^i + \lambda_1 N_{1j}^i + m_1^\phi + \varepsilon_1^\phi \quad (2)$$

$$L_{2j}^i = s_{0j}^i - d_{ion2j}^i + d_{tropj}^i + c(\tau^i - \tau_j) + b_{\phi 2}^i + \lambda_2 N_{2j}^i + m_2^\phi + \varepsilon_2^\phi \quad (2')$$

i: satellite ; j: récepteur, $f_1 = 1575.42$ MHz, $f_2 = 1227.60$ MHz

p_1, p_2, L_1, L_2 pseudoranges et carrier phase observations pour f_1 & f_2

s_0 : distance réelle entre le récepteur et le satellite

d_{ion}, d_{trop} : délais de l'ionosphère et la troposphère

c: vitesse de la lumière dans le vide; τ : dérive horloge

b: biais du satellite ou récepteur ; λ : longueur d'onde,

N: Cste d'ambiguité (nb entier), m: effet de trajets multiples, ε : bruit

Formule d'Appleton

Relation entre d_{ion} et STEC

$$d_{ion} = S^l - S_0 = \int_{R_x}^{T_x} \left(\frac{1}{n} - 1 \right) dl = \frac{40.3}{f^2} \int_{R_x}^{T_x} N dl = \frac{40.3}{f^2} STEC$$

S^l et S_0 : distances apparente et réelle entre satellite et récepteur

n : indice de réfraction, N : densité électronique

Calcul du STEC

Ionosphère: diffraction du signal GPS

Troposphère : simple retard, indépendent de la fréquence

(1) – (1') et (2) – (2'), nous avons: Slant TEC (STEC)

$$STEC = \frac{1}{40.3} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} (p_{2j}^i - p_{1j}^i - (b_p^i + b_{pj}^i))$$

Constantes

$$STEC = \frac{1}{40.3} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} [(L_{1j}^i - L_{2j}^i) - (b_\phi^i + b_{\phi j}^i) - (\lambda_1 N_{1j}^i - \lambda_2 N_{2j}^i)]$$

$$STEC_p = \frac{1}{40.3} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) (p_{2j}^i - p_{1j}^i)$$

Relatif et bruité
→ Valeurs peu précises

$$STEC_\phi = \frac{1}{40.3} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) (L_{1j}^i - L_{2j}^i)$$

Beaucoup plus précis mais ambigu du fait d'une présence possible de sauts de phase et phase initiale inconnue

Calcul du STEC

Pour chaque passage GPS en visibilité:

- Sauts de phase: $\text{STEC}_\phi \geq 5 \text{ TECU}$ entre 2 observations consécutives.
- STEC_p est lissé par un polynôme de degré 4.
- STEC_ϕ est comparé au STEC_p lissé pour évaluer les sauts de phase
- **IMPORTANT** : Déetecter les sauts de phase s'ils sont présents

Calcul du VTEC

- Le STEC_φ corrigé des sauts de phase est comparé au STEC issu du modèle GIM/CODG à chaque instant des mesures et chaque position IPP pour déterminer le biais total qui est la somme du biais instrumental (sat. et sta.) et de la constante initiale d'ambiguité.
- STEC_φ ajust → VTEC par le modèle monocouche (Klobuchar, 1986)

$$VTEC = STEC \cdot \cos \left[\arcsin \left(\frac{R \cos \theta}{R + h} \right) \right]$$

R=6371.2 km, h =400 km,

θ est l'angle d'élévation du satellite en degrés

ROT et ROTI

pour étudier la scintillation ionosphérique

Dérivé temporelle de $STEC_\phi$

$$ROT(t) = \frac{STEC_\phi(t + \delta t) - STEC_\phi(\delta t)}{\delta t}$$

$\delta t = 30$ s

Standard dérivation de ROT sur une période de 5 minutes

$$ROTI = \sqrt{\langle ROT^2 \rangle - \langle ROT \rangle^2}$$

**→ Logiciel de Rolland Fleury
rinex3.xxo → rinex2.xxo (par gfzrnx_2.0)**

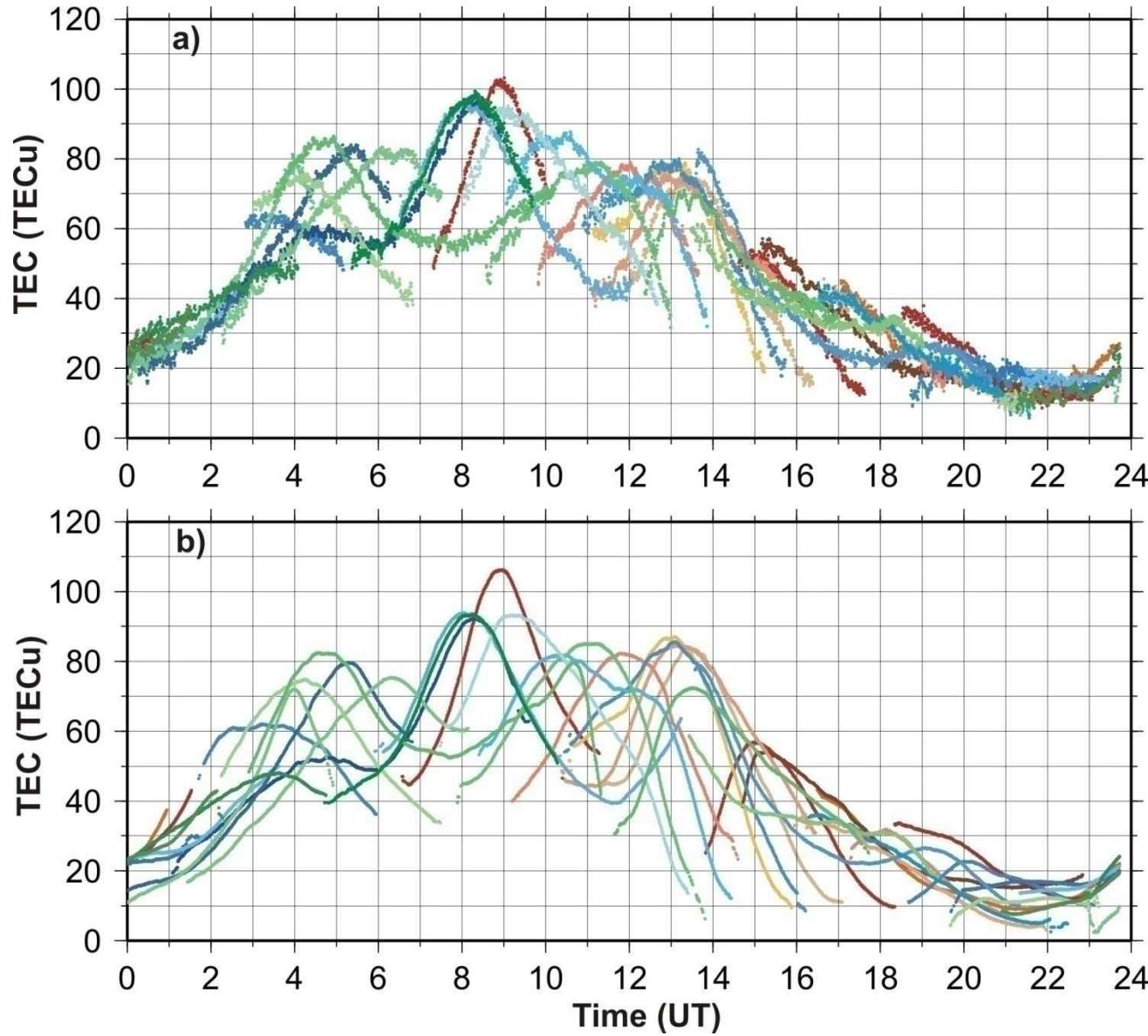
Format de sortie

The screenshot shows a Windows-style file viewer window. On the left, there's a navigation pane with a 'Directory' tab selected, showing the path [D:] DATA. Below it is a list of files: arcs_individuels.txt, atmp_01b.txt, roti4_bacl2570.txt, roti4_bacl2580.txt, roti4_bacl2590.txt, roti4_bacl2600.txt, roti4_bacl2610.txt, and roti4_bacl2620.txt. The main area displays a text file with a header and 35 data rows. The header consists of 13 columns with labels: prn, temps(s), tec_phi, tec_code, sub_lat, sub_lon, elev, VTEC, temps(s), and ind_roti. The data rows follow, each containing 13 values corresponding to the header fields. The bottom status bar indicates the file is 'roti4_areq0140.txt'.

prn	temps(s)	tec_phi	tec_code	sub_lat	sub_lon	elev	VTEC	temps(s)	ind_roti
1.00	50040.0	106.895	102.409	-10.521	285.880	25.066	50.10	-9.0	-9.000
1.00	50070.0	106.506	102.243	-10.569	285.896	25.282	50.13	-9.0	-9.000
1.00	50100.0	106.173	102.078	-10.618	285.911	25.497	50.19	-9.0	-9.000
1.00	50130.0	105.836	101.912	-10.666	285.927	25.713	50.25	-9.0	-9.000
1.00	50160.0	105.538	101.747	-10.713	285.942	25.929	50.32	-9.0	-9.000
1.00	50190.0	105.250	101.582	-10.760	285.957	26.146	50.40	-9.0	-9.000
1.00	50220.0	104.937	101.417	-10.807	285.972	26.362	50.46	-9.0	-9.000
1.00	50250.0	104.626	101.253	-10.853	285.987	26.579	50.53	-9.0	-9.000
1.00	50280.0	104.354	101.089	-10.898	286.001	26.796	50.61	-9.0	-9.000
1.00	50310.0	104.077	100.925	-10.944	286.016	27.013	50.69	-9.0	-9.000
1.00	50340.0	103.849	100.762	-10.989	286.030	27.231	50.80	-9.0	-9.000
1.00	50370.0	103.592	100.599	-11.033	286.044	27.449	50.89	-9.0	-9.000
1.00	50400.0	103.327	100.436	-11.078	286.058	27.667	50.98	-9.0	-9.000
1.00	50430.0	103.053	100.273	-11.121	286.071	27.885	51.06	-9.0	-9.000
1.00	50460.0	102.743	100.111	-11.165	286.085	28.103	51.11	-9.0	-9.000
1.00	50490.0	102.436	99.949	-11.208	286.098	28.321	51.17	-9.0	-9.000
1.00	50520.0	102.117	99.788	-11.250	286.111	28.540	51.22	-9.0	-9.000
1.00	50550.0	101.765	99.627	-11.293	286.124	28.759	51.25	-9.0	-9.000
1.00	50580.0	101.361	99.466	-11.335	286.137	28.978	51.25	-9.0	-9.000
1.00	50610.0	100.944	99.306	-11.376	286.149	29.198	51.24	-9.0	-9.000
1.00	50640.0	100.517	99.145	-11.418	286.162	29.417	51.23	-9.0	-9.000
1.00	50670.0	100.124	98.986	-11.459	286.174	29.637	51.23	-9.0	-9.000
1.00	50700.0	99.752	98.826	-11.499	286.186	29.857	51.24	-9.0	-9.000
1.00	50730.0	99.357	98.667	-11.539	286.198	30.077	51.23	50880.0	0.177
1.00	50760.0	98.995	98.509	-11.579	286.210	30.297	51.25	50910.0	0.163
1.00	50790.0	98.665	98.351	-11.619	286.221	30.518	51.28	50940.0	0.151
1.00	50820.0	98.379	98.193	-11.658	286.233	30.738	51.33	50970.0	0.144
1.00	50850.0	98.111	98.035	-11.697	286.244	30.959	51.40	51000.0	0.139
1.00	50880.0	97.854	97.878	-11.736	286.256	31.180	51.47	51030.0	0.134
1.00	50910.0	97.614	97.722	-11.774	286.267	31.401	51.54	51060.0	0.129
1.00	50940.0	97.361	97.565	-11.812	286.278	31.623	51.61	51090.0	0.116
1.00	50970.0	97.156	97.410	-11.850	286.288	31.844	51.71	51120.0	0.114
1.00	51000.0	96.927	97.254	-11.887	286.299	32.066	51.79	51150.0	0.103
1.00	51030.0	96.711	97.099	-11.924	286.310	32.288	51.88	51180.0	0.090

**TEC le 15 Mars
2015 à Phu Thuy
calculé en utilisant**
**•les mesures de
pseudorange**

**•la combinaison des
mesures de la phase
et du pseudorange**

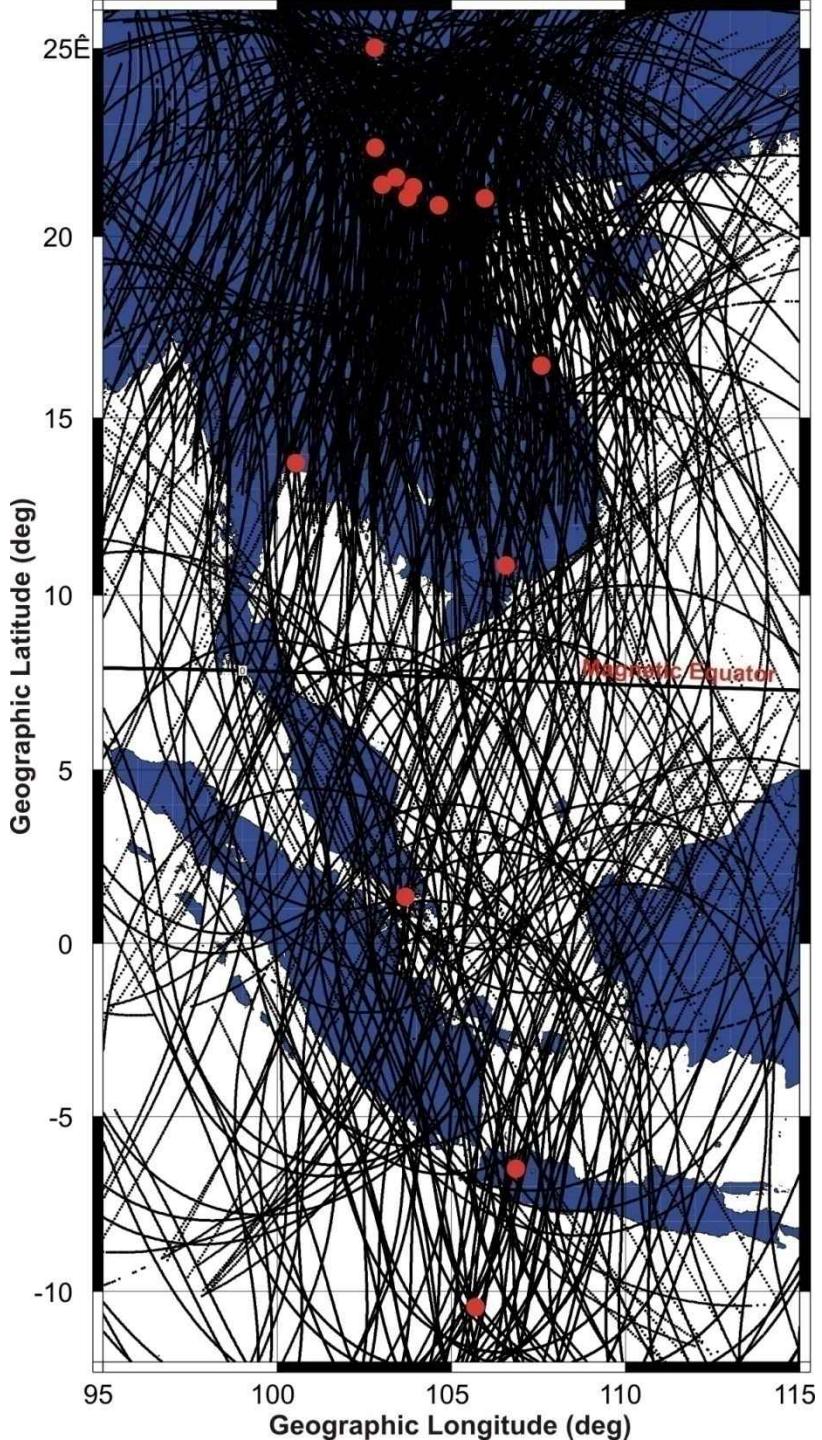


Carte temporelle-latitudinale de VTEC

- Calculer le VTEC chaque jour pour chaque station
- Filtrer le VTEC avec l'angle d'élévation $\geq 20^\circ$
- Agréger les données de VTEC filtrées à toutes les stations → Fichier de données à 3 colonnes: temps(TU), latitudes, VTEC.
- Moyenne mobile dans de fenêtres superposées de taille (1 hr*1 deg), avec le pas glissant de 0,75 hr et 0,75 deg.
- **Utiliser le software GMT pour déssiner et discréteriser la carte.**

**Traces visibles des satellites
à 400 km altitude
le 28 Oct. 2010 observés par
récepteurs GPS dans l'Asie
du Sud-Est**

**Pour faire la carte temporelle-
latitudinale de TEC, les traces
visibles des satellites de
stations doivent se
chauvaucher.**



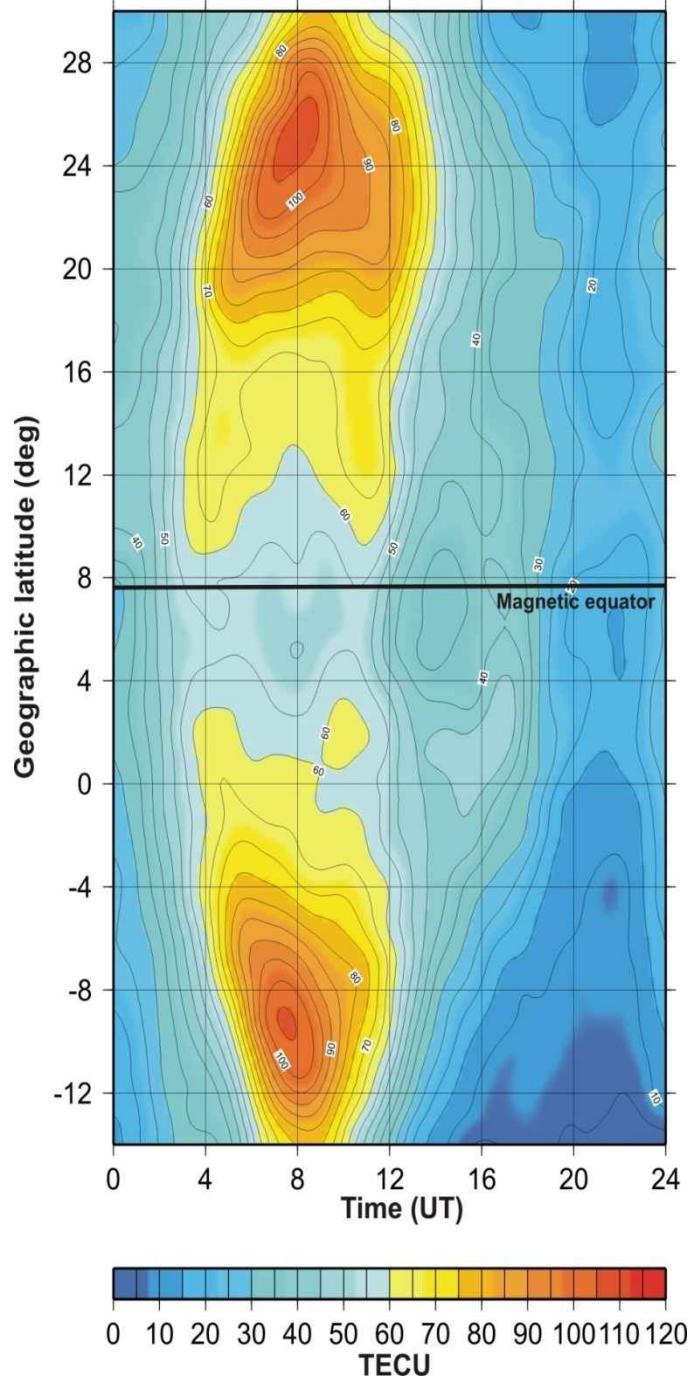
*Carte en temps et latitude du VTEC
le 29 Avril 2012 obtenues à partir
des données GPS du Vietnam et de
la région adjacente*

Structure de l'EIA avec deux crêtes

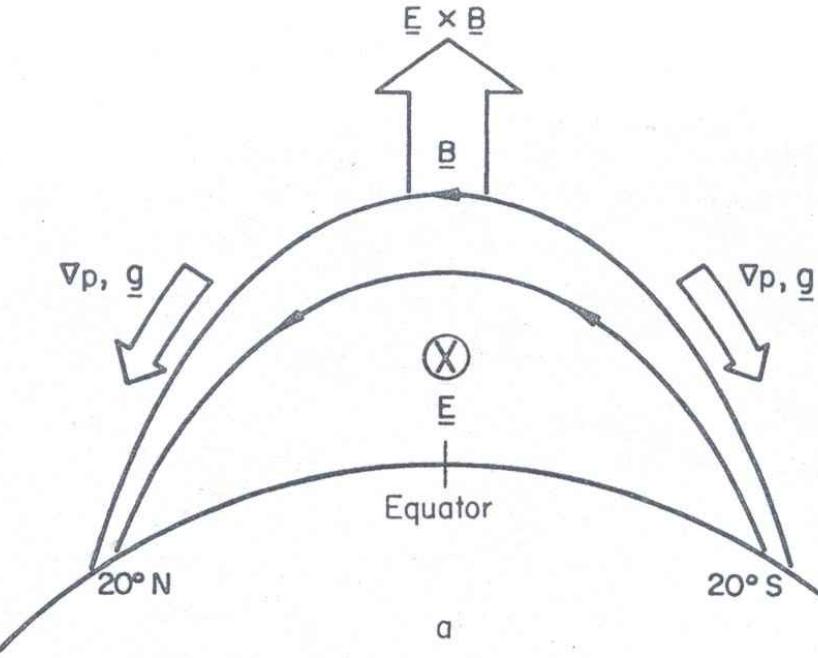
Paramètres des crêtes:

- **Amplitude de VTEC**
- **Latitude des maxima**
- **Temps d'occurrence**

**Software: Matlab + GMT
(Generic Mapping Tools)**



Fontaine Equatoriale

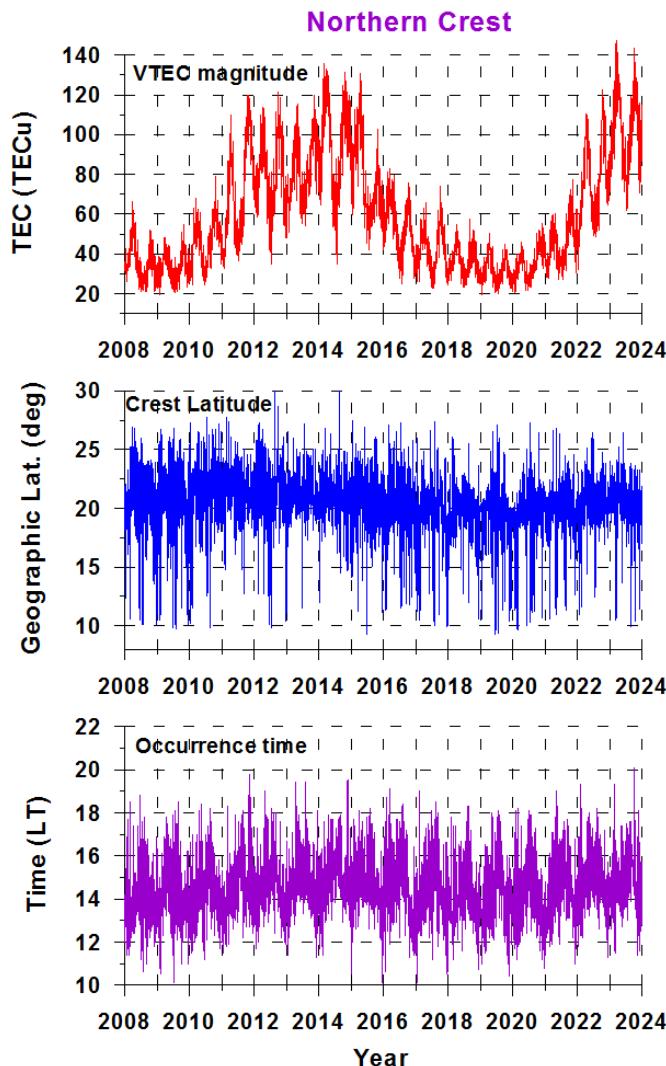


De jour à l'équateur magnétique, le champ électrique est-ouest et le champ magnétique nord-sud produisent une dérive verticale, vers le haut, du plasma (**$E \times B$**). Une fois transporté à des altitudes plus élevées, le plasma diffuse vers le bas le long des lignes de champ magnétique dans les deux hémisphères sous l'influence des gradients de gravité et de pression. Deux crêtes sont situées à $\pm 15\text{--}20$ degrés de latitude magnétique.

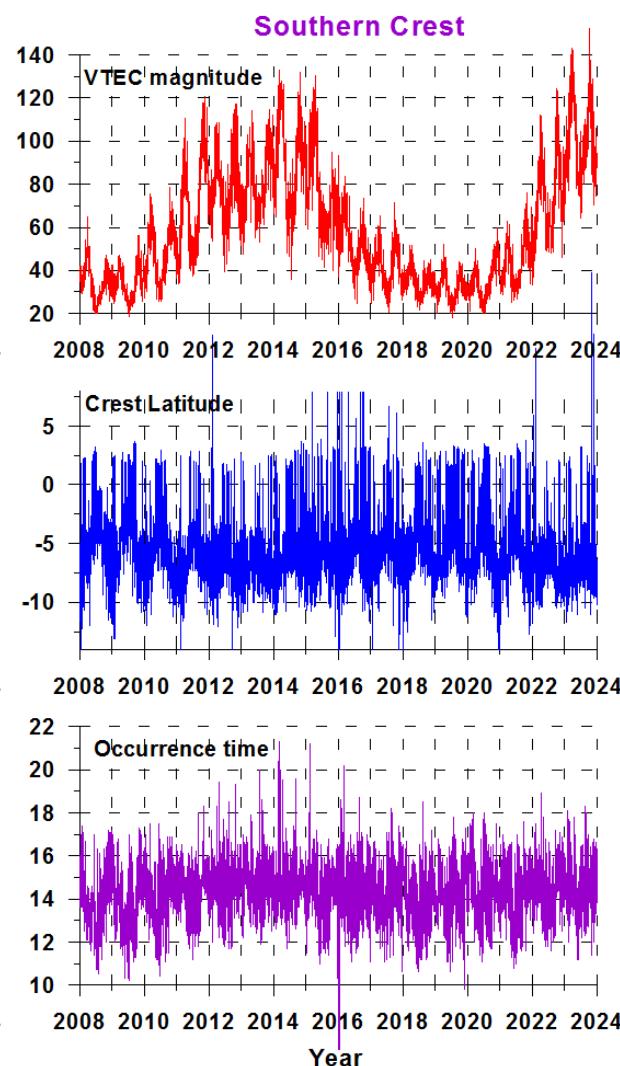
La Fontaine équatoriale est le moteur principal de l'EIA

EIA : Equatorial Ionization Anomaly

Crête Nord



Crête Sud



Amplitude du TEC

Latitude de la crête

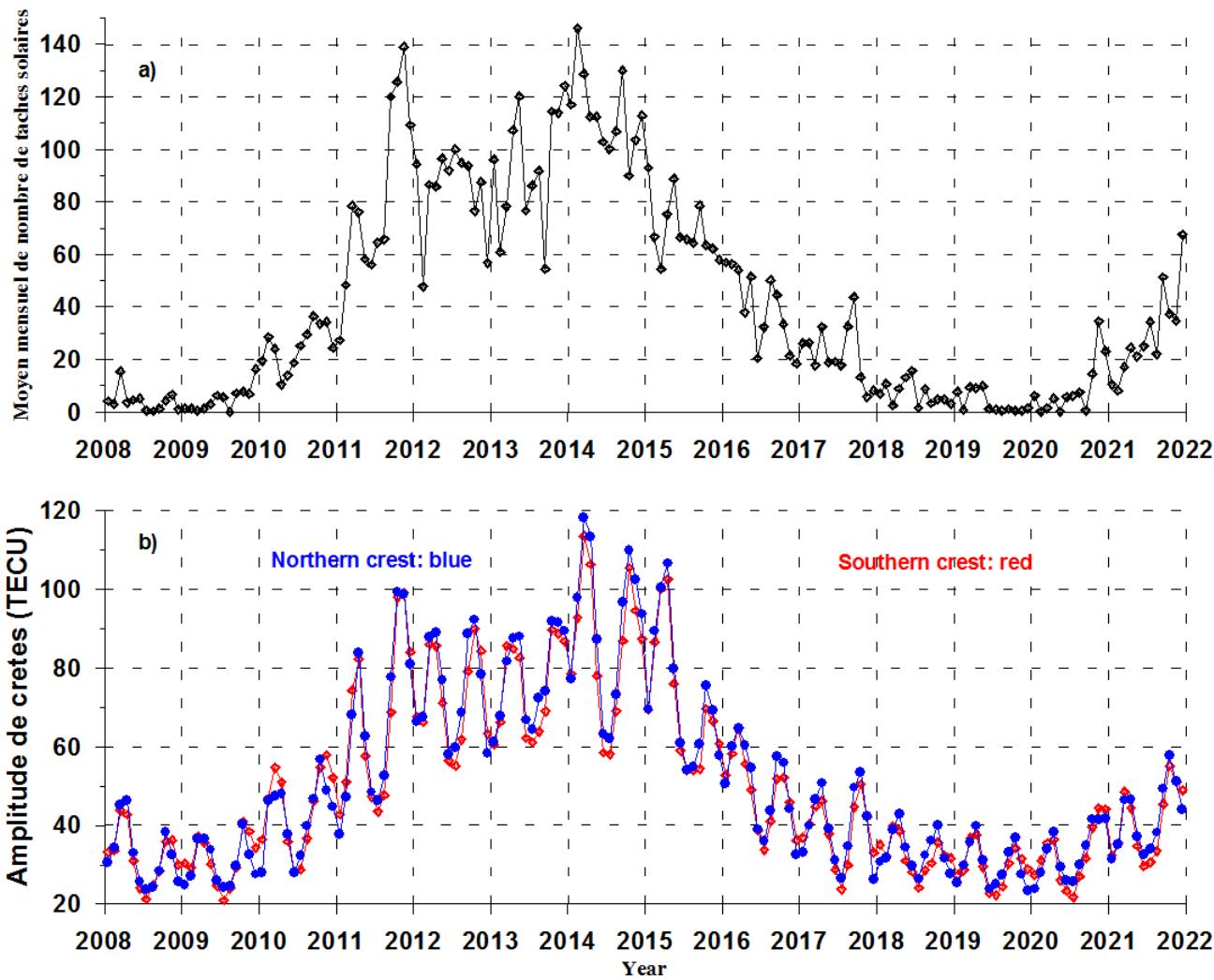
Temps d'occurrence

Variation jour-à-jour des paramètres des crêtes nord et sud
(amplitude du TEC, latitude et temps d'occurrence)
du 1er Janvier 2008 au 31 Décembre 2023

Moyenne mensuelle du nombre de taches solaires et amplitudes des crêtes EIA

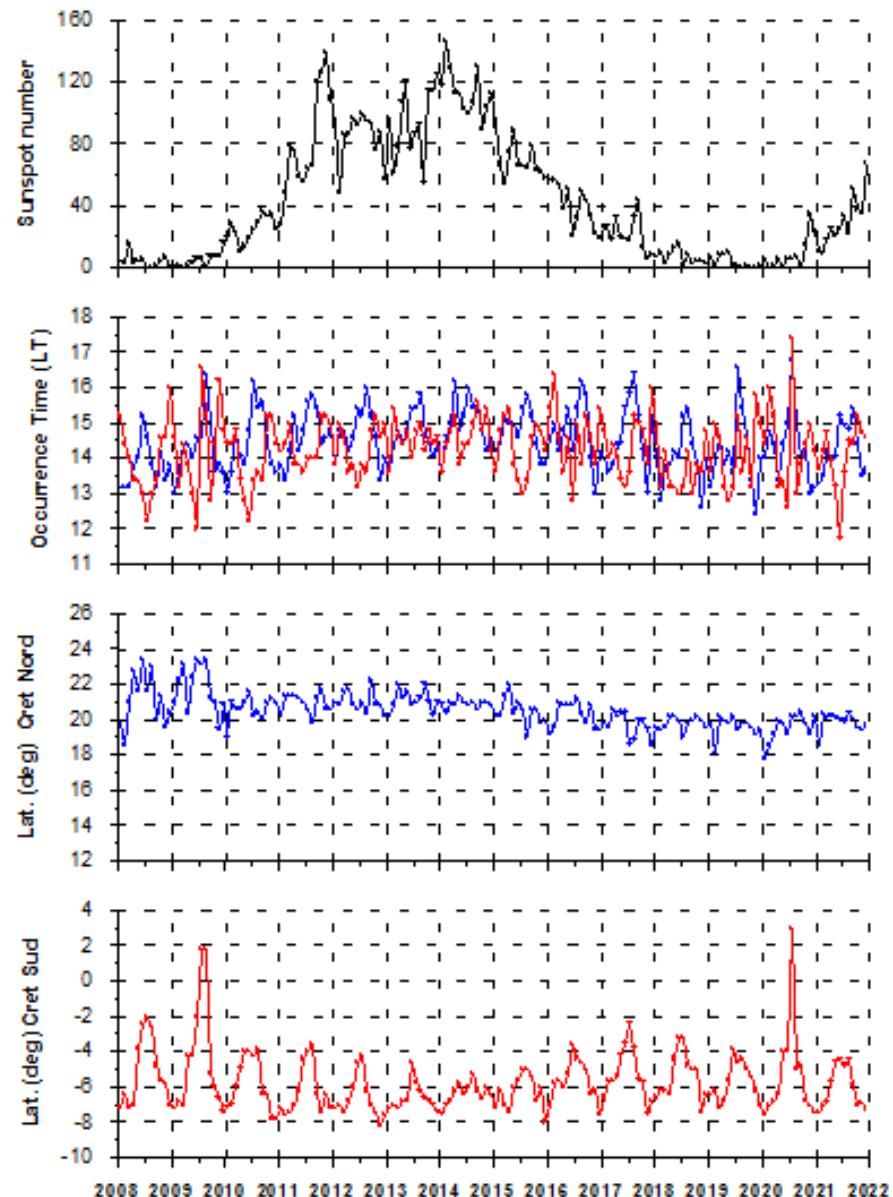
Bonne correlation entre le nombre de taches solaires et les amplitudes des crêtes de l' EIA

$$R \sim 0.88$$



Moyenne mensuelle du nombre de taches solaires, et latitude et temps d'occurrence des crêtes EIA

Pas de corrélation entre le nombre de taches solaires et temps d'occurrence et latitudes des crêtes

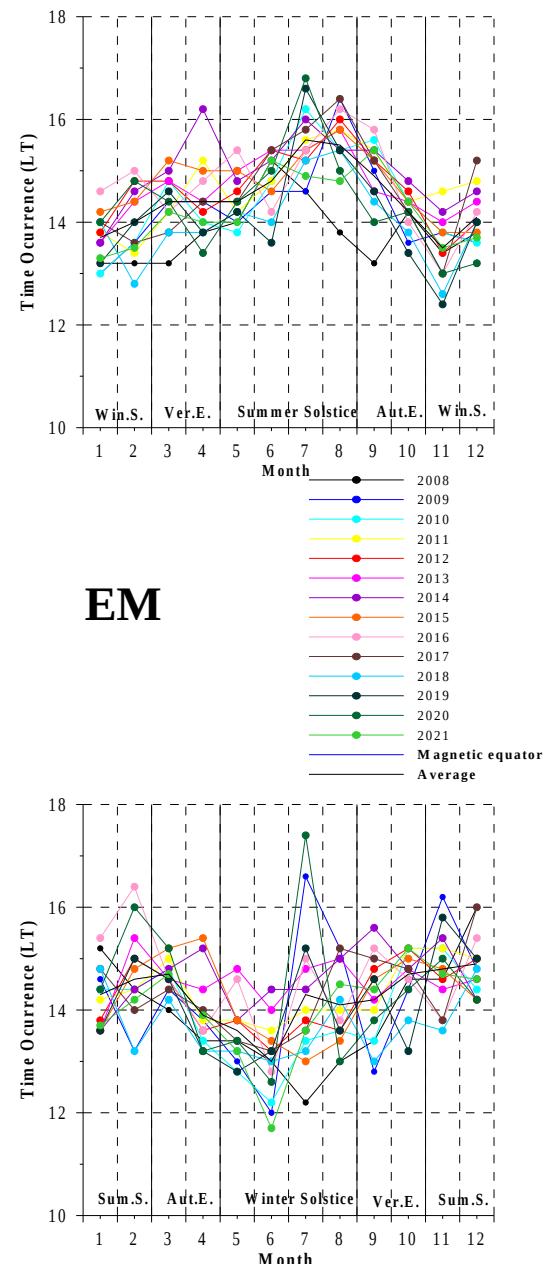
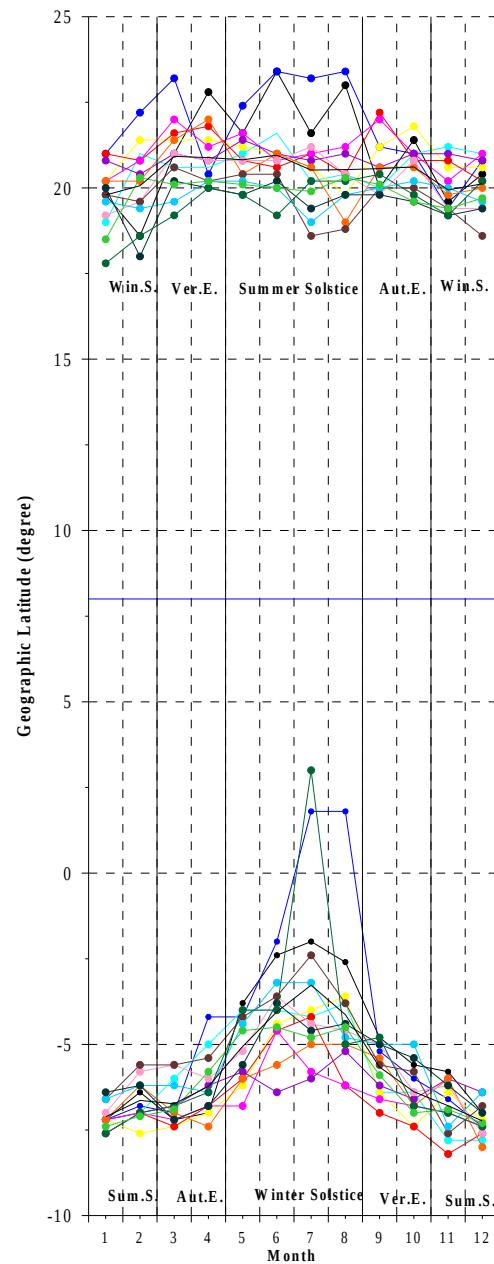


Variation saisonnière de la latitude et du temps d'occurrence des crêtes

Les crêtes ont tendance à se déplacer vers l'équateur de manière plus significative en hiver que pendant les autres saisons.

L'amplitude de la variation annuelle de la latitude de crête Sud est supérieure à celle de la crête Nord.

Les deux crêtes ont tendance à apparaître plus tôt en hiver et plus tard en été.



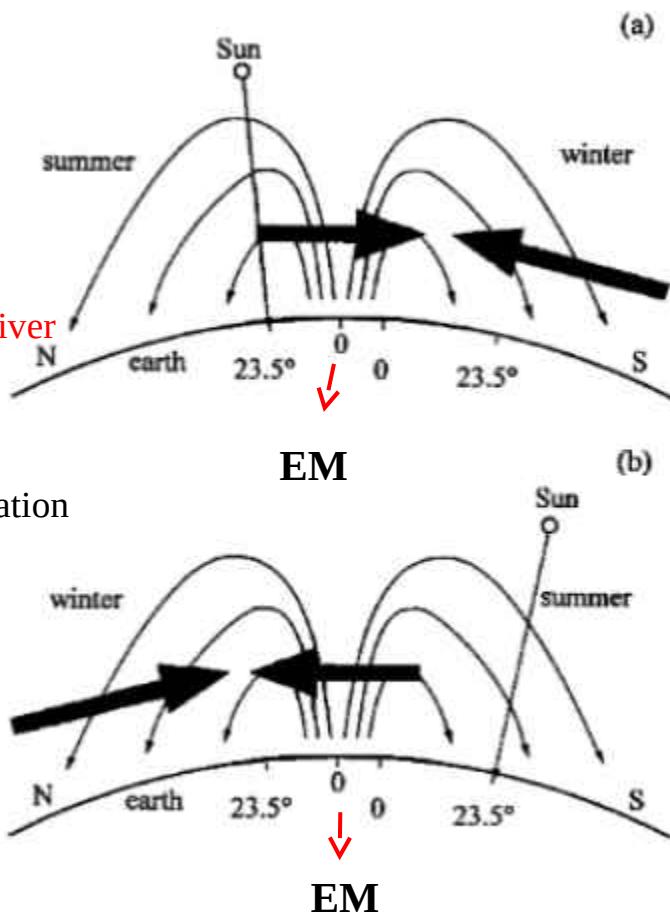
Théorie combinée de vent neutre trans-équatorial, point subsolaire, et vent auroral vers l'équator aux solstices

Pendant le vent neutre soufflant de l'hémisphère d'été à l'hémisphère d'hiver, les ions sont également transportés en conséquence, empêchant ainsi le développement d'anomalies à l'hémisphère d'été et augmentant la crête de l'anomalie dans l'hémisphère d'hiver.

Lorsque le vent neutre souffle du pôle vers l'équateur dans l'hémisphère d'hiver, la densité électronique à la crête dans cette région est maintenue et sa position tend à être repoussée vers l'équateur. **C'est la raison pour laquelle la position de la crête de l'EIA est plus proche de la équateur en hiver**

Le point subsolaire est plus proche du l'EM en été et il est plus éloigné de l'EM en l'hiver. Lorsque le point subsolaire est à la latitude moyenne non proche de l'EM (hiver dans l'hémisphère nord, b), puis le processus d'ionisation solaire et le transport équatorial du plasma est prédominant et le temps d'apparition de la crête de l'anomalie sera vers midi local (12 TL).

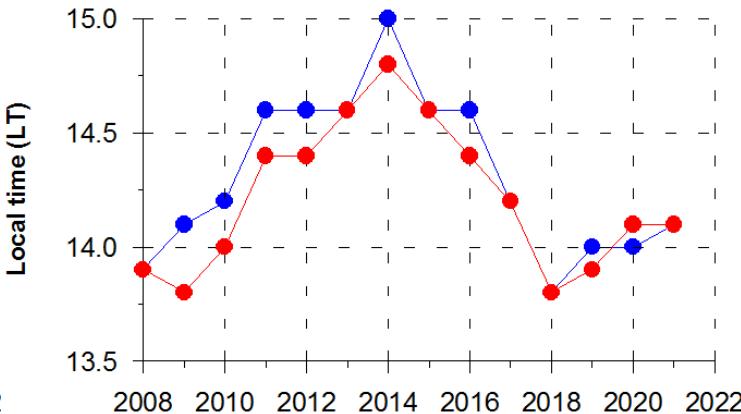
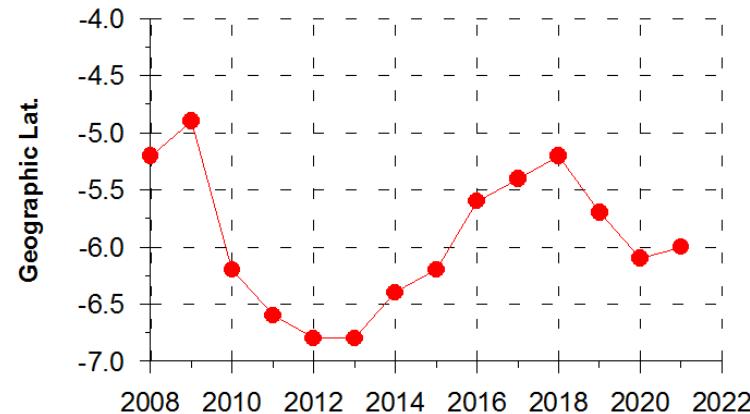
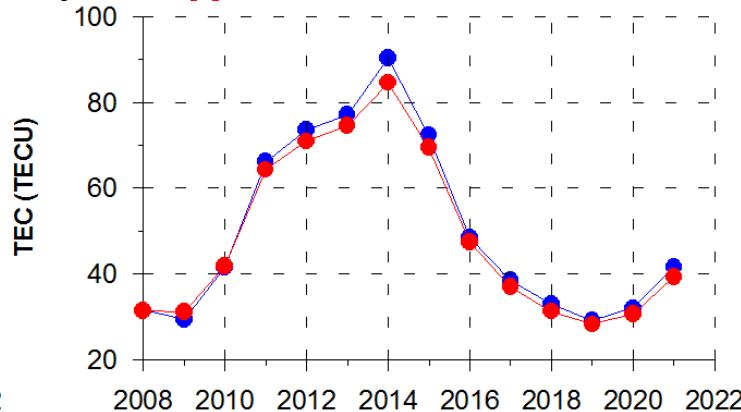
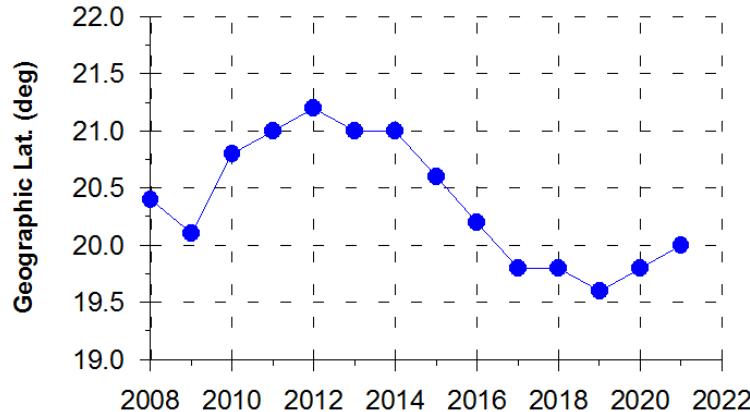
Lorsque le point sous-solaire est proche de l'EM (été dans l'hémisphère nord, a), il réduira considérablement valeur du TEC dans la région en raison de l'augmentation du processus de diffusion conduisant à une augmentation dans le processus de recombinaison des ions et des électrons. Ce processus prédomine sur le processus d'ionisation solaire et le processus de transport du plasma équatorial dans cette région, entraînant l'apparition tardive de la crête de l'anomalie (par rapport à l'hiver). Ceci explique pourquoi en hiver, **le temps d'apparition de la crête d'anomalie est généralement plus tôt en hiver et il est plus tard en été.**



Tsai et al., 2001, JGR,
106, A12, 30, 363-369

Moyennes annuelles de Latitudes, de Amplitudes du TEC et de Temps d'occurrence des crêtes de l'EIA de 2008-2021

Blue : crête Nord, rouge: crête Sud



Au minimum solaire, les latitudes moyennes annuelles des crêtes de l'EIA sont plus proches de l'équateur, les amplitudes des crêtes sont minimales et les crêtes apparaissent plus tôt que dans les autres périodes

Publications

- Le Huy Minh, A. Bourdillon, P. Lassudrie-Duchesne, R. Fleury, Nguyen Chien Thang, Tran Thi Lan, Ngo Van Quan, Le Truong Thanh, Tran Ngoc Nam, Hoang Thai Lan, **2006.** Determination of the ionospheric total electron content in Vietnam by using the data from three GPS receivers at Hanoi, Hue and Hoc Mon, *J. Geology* (in Vietnamese), A296/9-10.
- Tran Thi Lan, Le Huy Minh, R. Fleury, P. Lassudrie-Duchesne, A. Bourdillon, **2009.** A preliminary study of the total electron content and ionospheric scintillation using the GPS continuous data in Vietnam, *J. Sciences of the Earth* (in Vietnamese), 31(3), 212-223.
- Alfonsi L., L. Spogli, J. R. Tong, G. De Francheschi, A. Bourdillon, M. Le Huy and C. N. Mitchell, **2010.** GPS scintillation and TEC gradient at equatorial latitudes on April 2006, *Advances in Space Research*, doi: 10.1016/j.asr.2010.04.020, JASR 10161.
- M. Le Huy, C. Amory-Mazaudier, R. Fleury, A. Bourdillon, P. Lassudrie-Duchesne, L. Tran Thi, T. Nguyen Chien and T. Nguyen Ha, P. Vila, **2014.** Time variations of the total electron content in the Southeast Asian equatorial ionization anomaly for the period 2006-2011, *Adv. Space Res.*, 54, 355-368.
- Le Huy Minh, Tran Thi Lan, C. Amory Mazaudier, R. Fleury, A. Bourdillon, J. Hu, Vu Tuan Hung, Nguyen Chien Thang, Le Truong Thanh, Nguyen Ha Thanh, **2016.** Continuous GPS network in Vietnam and results of study on the total electron content in the South East Asian region, *Vietnam J. Earth Sciences*, ISBN 0866-7187, 38(2), 153-165.

Variations du TEC et perturbations ionosphériques pendant l'orage magnétique (Étude de cas)

Orage magnétique en Mars 2015

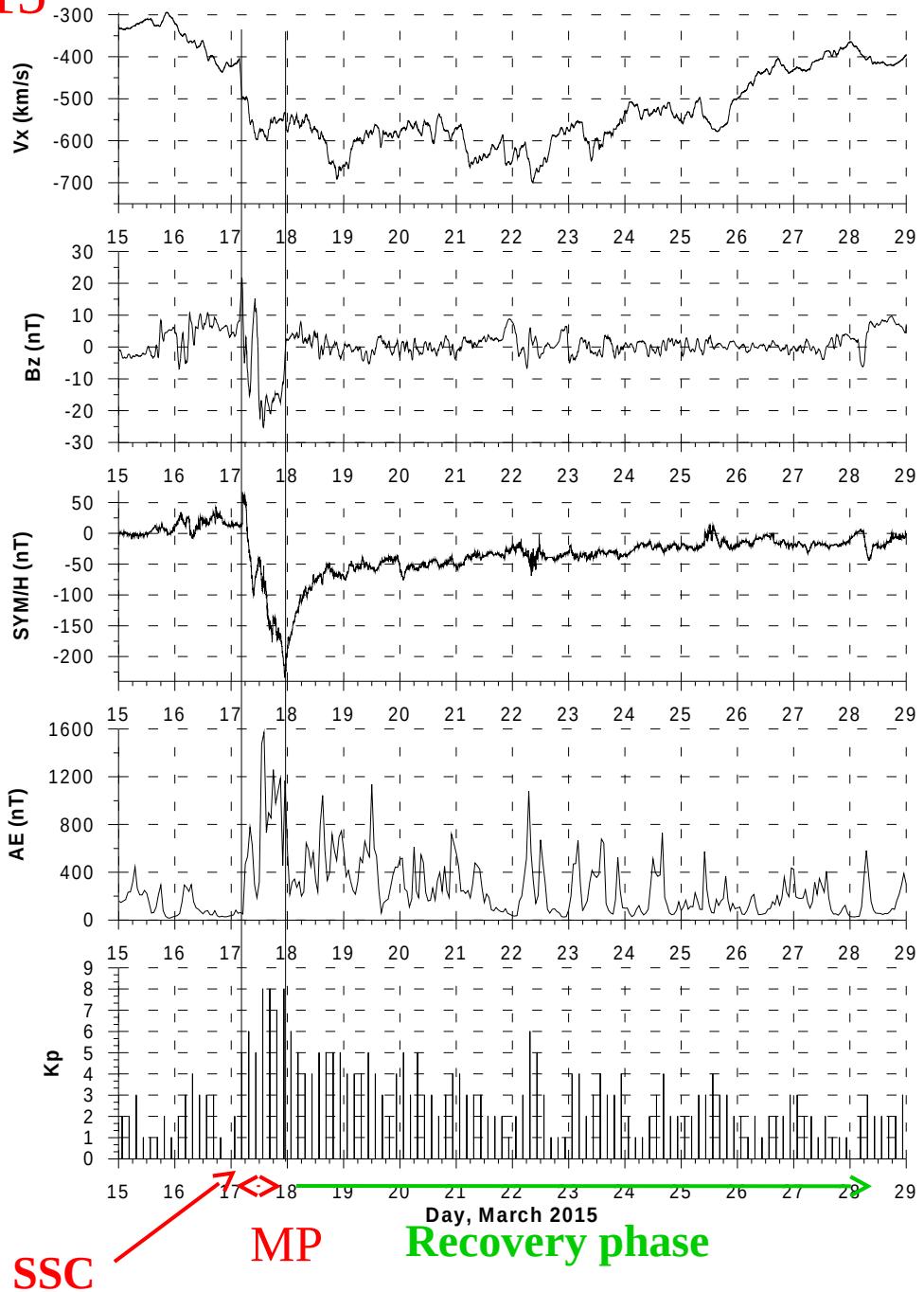
Composante X de la vitesse du vent solaire

Composante Z du champ magnétique interplanétaire

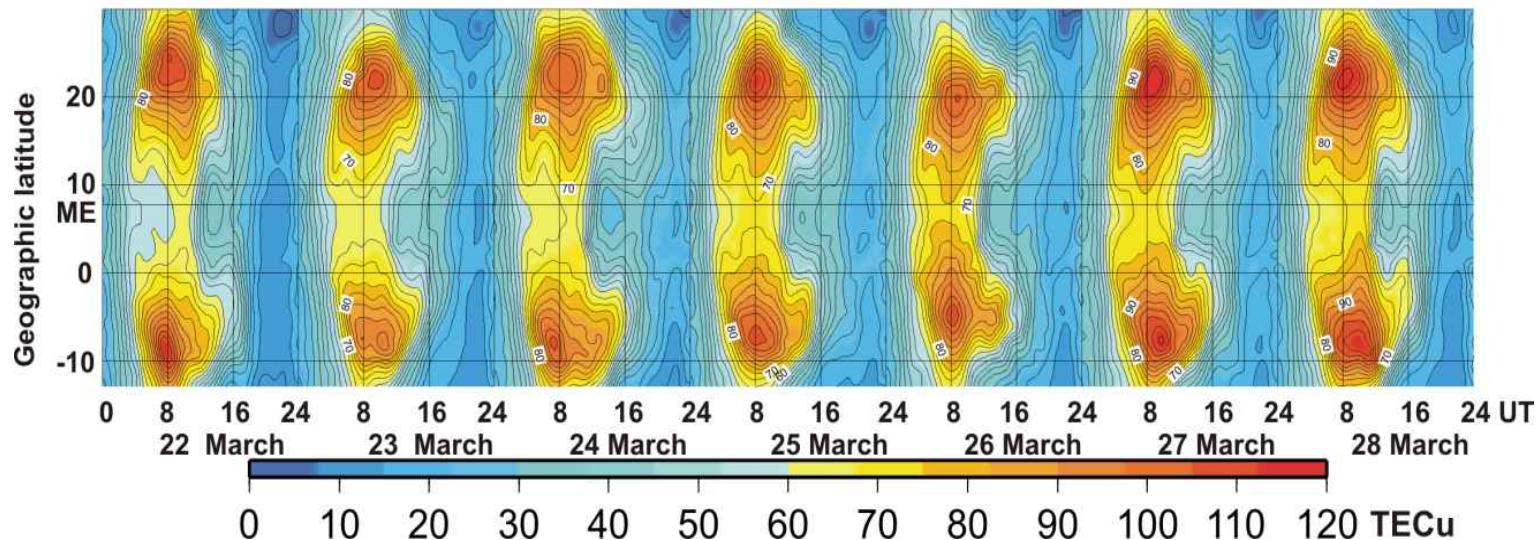
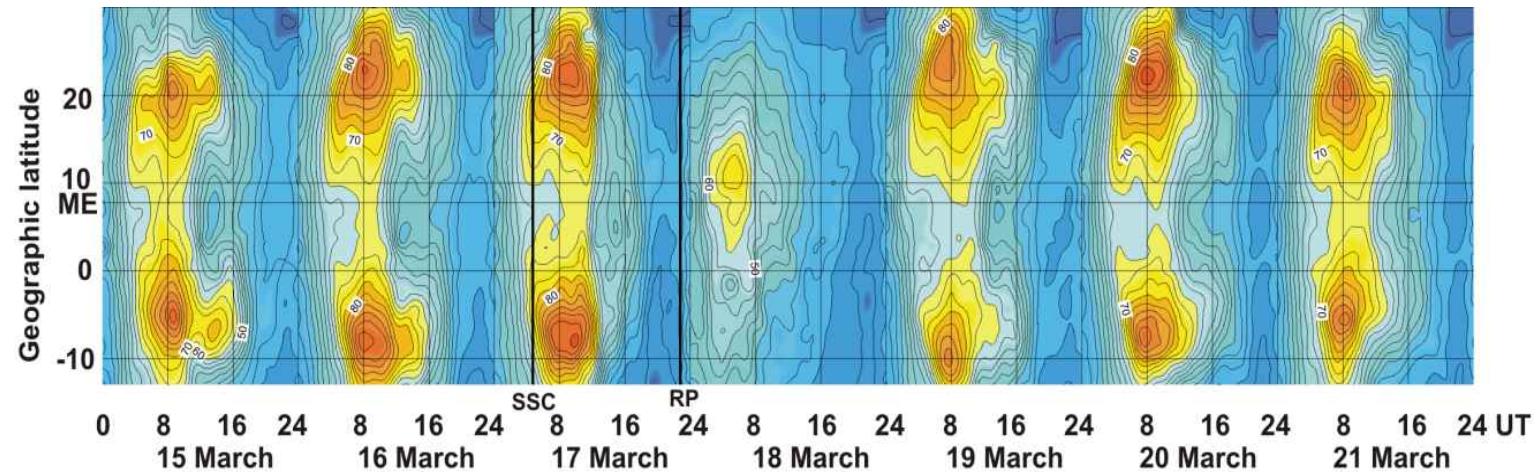
Indice magnétique (SYM/H)

Indice magnétique auroral (AE)

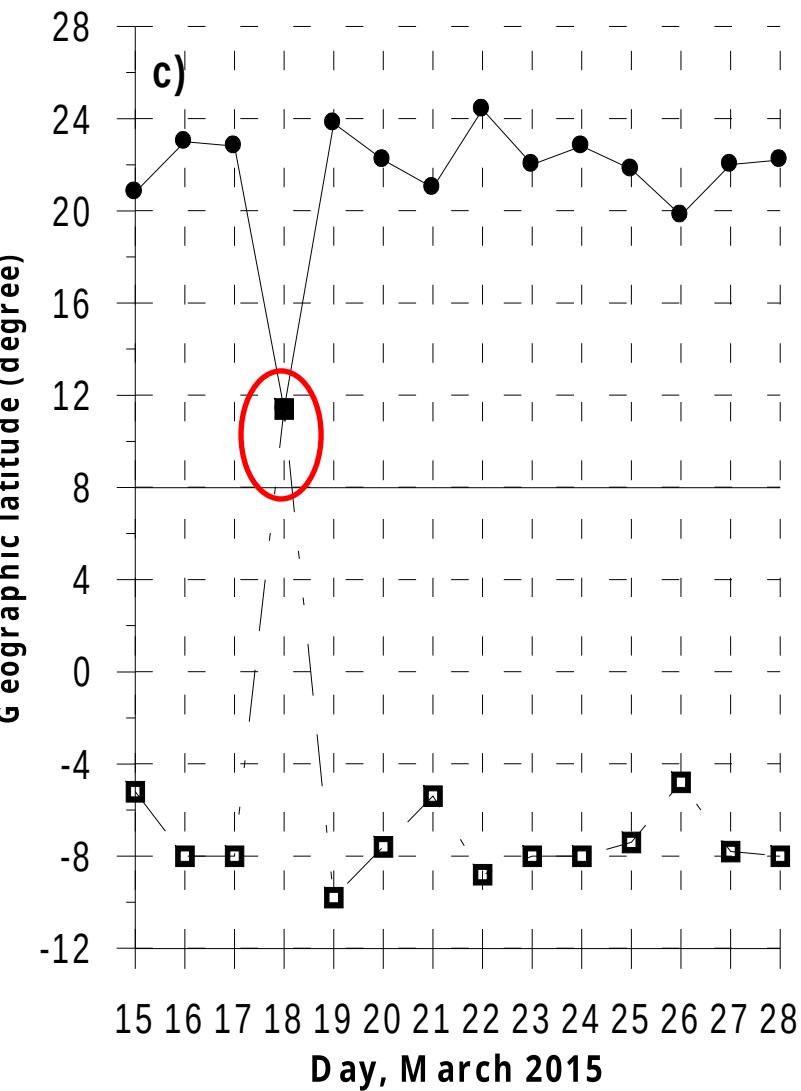
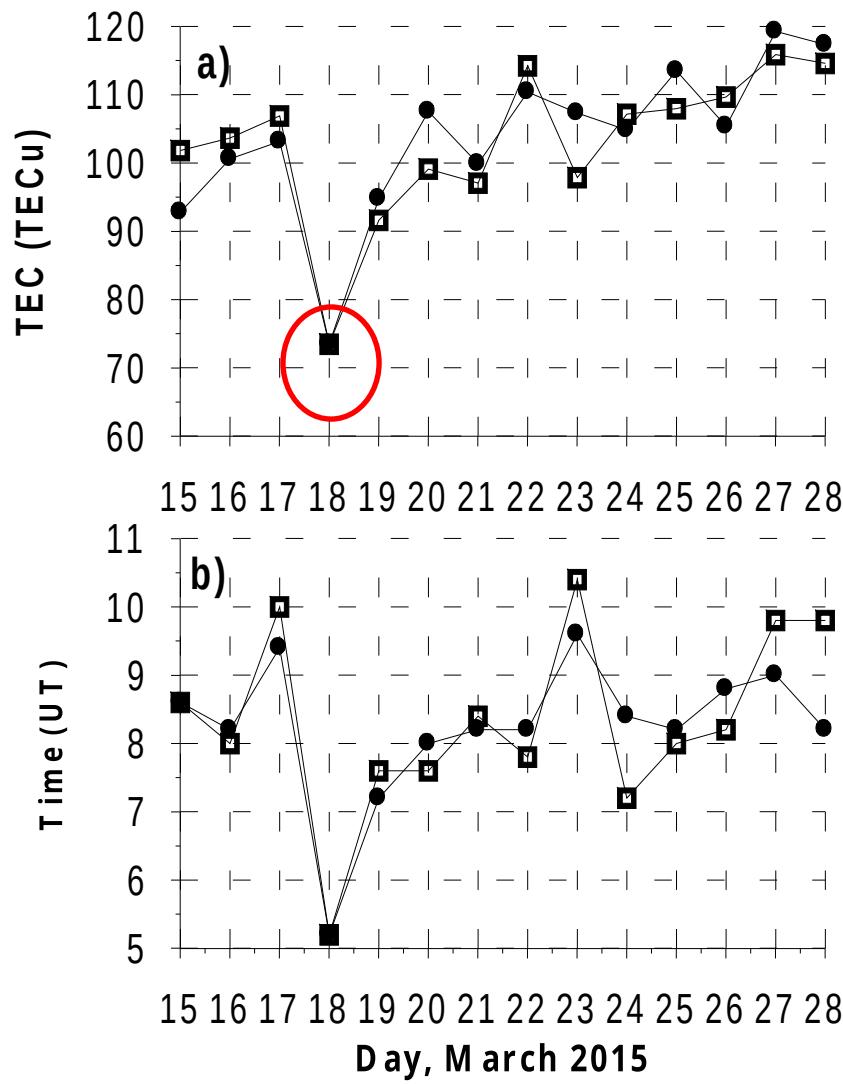
K_p planétaire



Cartes temporelles et latitudinales du TEC pour la période du 15 au 28 mars 2015



a) TEC maximum, b) Temps d'occurrence et c) Latitude des crêtes de l' EIA nord (cycle noir) et sud (rectangulaire ouvert) du 15 au 28 mars 2015



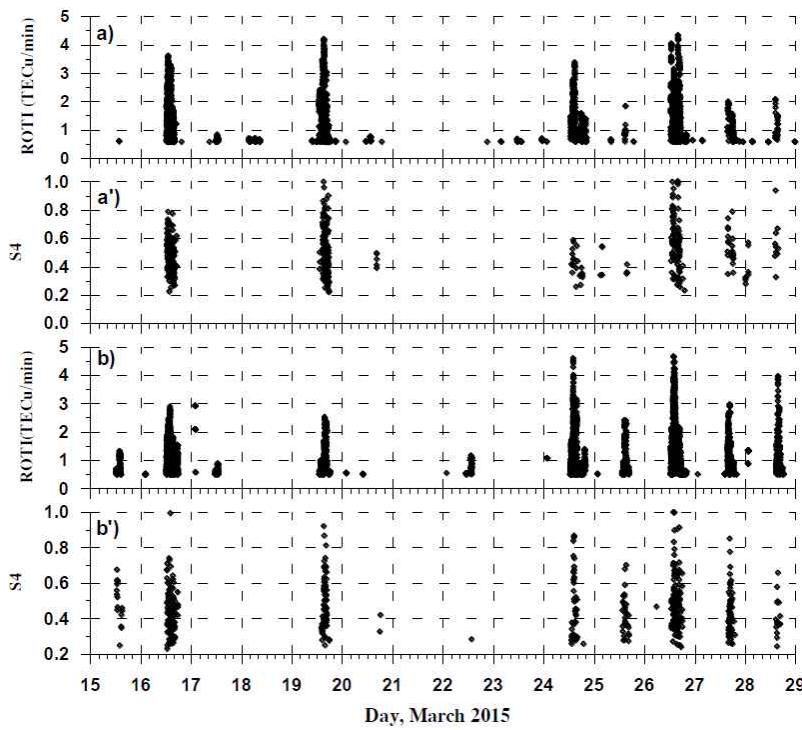
Remarques

- La structure de l'anomalie d'ionisation équatoriale (EIA) dans la région de l'Asie du Sud-Est, comprend une crête dans l'hémisphère nord et une autre dans l'hémisphère sud qui sont presque symétriques de part et d'autre de l'équateur magnétique. La morphologie de l'EIA change continuellement de jour en jour pendant l'orage magnétique
- Les amplitudes des crêtes au **17 Mars (phase principale)** ont augmenté, la crête s'est étendue vers le pôle.
- **Le 18 mars, jour du début de la phase de récupération**, l'anomalie a dégénéré, seule la crête nord existait avec l'amplitude remarquablement décroissante (environ 25 %), elle s'est déplacée vers l'équateur d'une distance de 11° par rapport à celle du 17 mars, la crête sud a complètement disparu.
- **Dans la phase principale**, $Bz < 0$, les interactions entre le vent solaire et le champ magnétique interplanétaire vers le sud font pénétrer **le champ électrique vers l'est** directement dans l'ionosphère. **Ce champ électrique vers l'est augmente l'effet de fontaine ainsi que l'amplitude de la crête de l' EIA et favorise l'expansion vers le pôle de la crête EIA.**

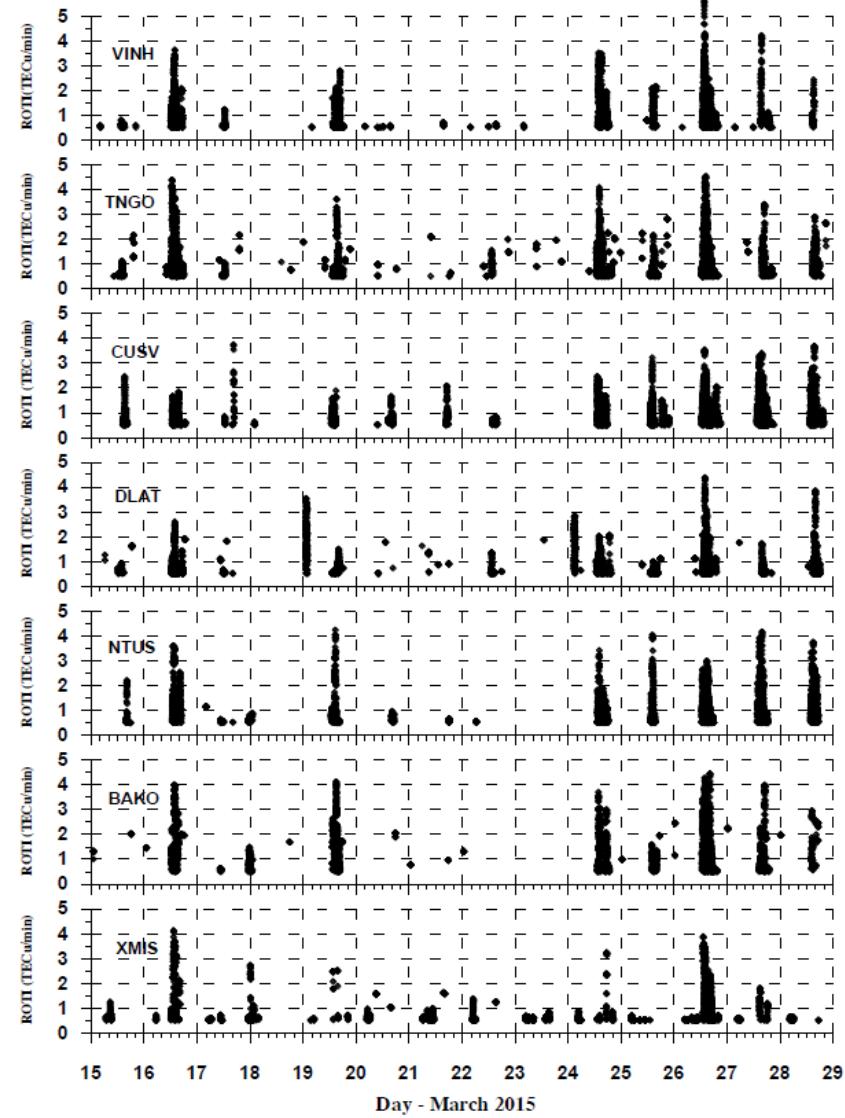
Remarques

- Durant l'orage magnétique, lorsque le flux de particules à haute énergie du vent solaire pénètre profondément dans l'atmosphère polaire et la réchauffe, il y a l'apparition d'un vent neutre méridional soufflant vers l'équateur.
- Les interactions complexes entre le vent neutre et le champ magnétique terrestre provoquent le phénomène appelé **dynamo de perturbation ionosphérique** (Blanc & Richmond, 1980) dans lequel le champ électrique dans la région des basses latitudes est orienté vers l'ouest, contrairement au champ électrique vers l'est dans un état normal.
- Ce champ électrique parallèle vers l'ouest apparaît durant la phase de récupération, provoquant la dérive du plasma vers le bas, **la diminution de l'effet fontaine et la dégénérescence de la structure de l'EIA**.

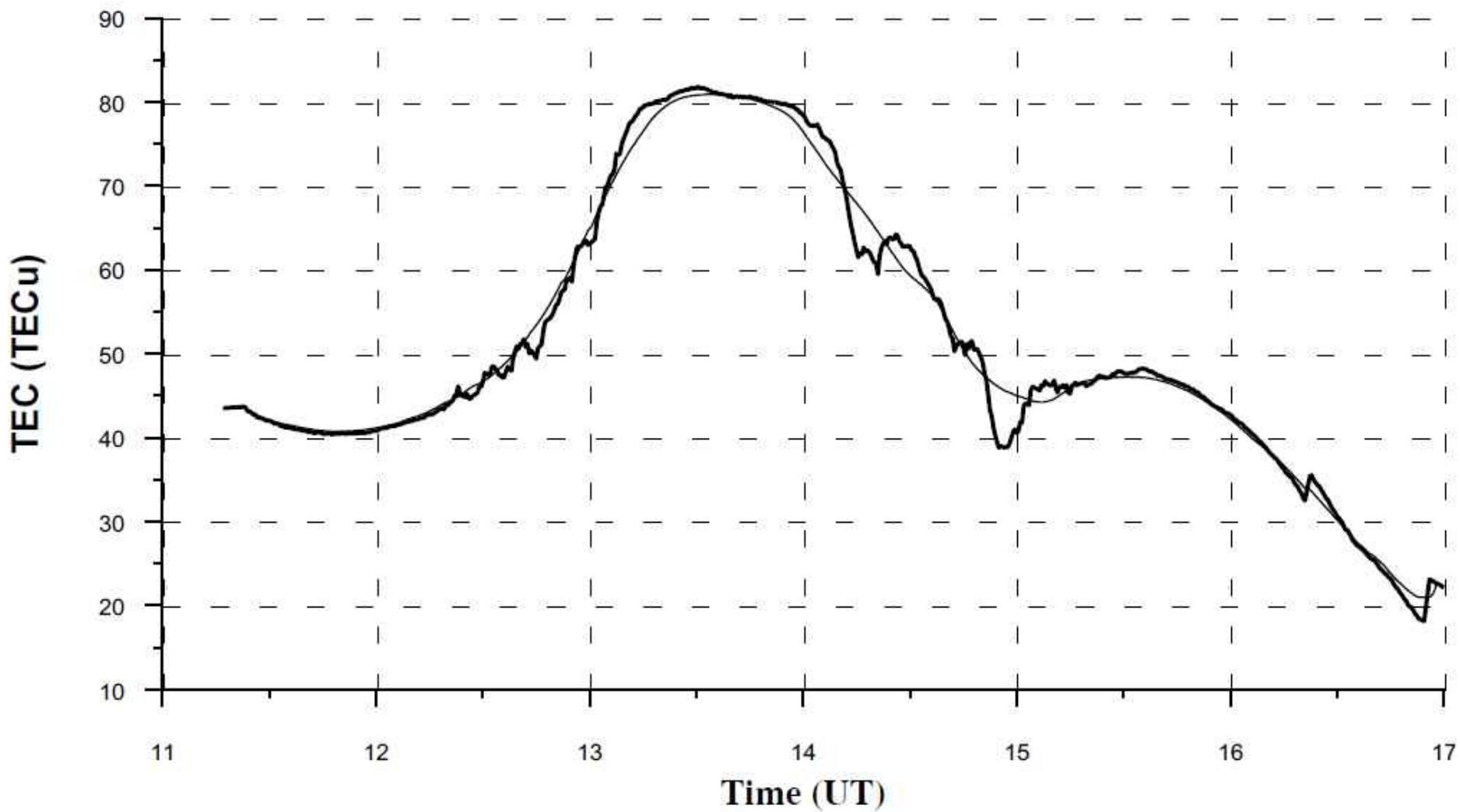
Perturbations ionosphériques dans l'orage magétique



Dans la nuit du 18 mars les perturbations ionosphériques n'apparaissent guère. Le 18 mars, la dynamo de perturbation ionosphérique s'est développée, l'EIA a dégénéré, la crête sud de l'EIA a disparu, par conséquent, lorsque la dynamo de perturbation ionosphérique s'est développée, le champ électrique vers l'ouest a été renforcé, entraînant le déplacement de la couche F ionosphérique vers le bas et la prévention des perturbations ionosphériques



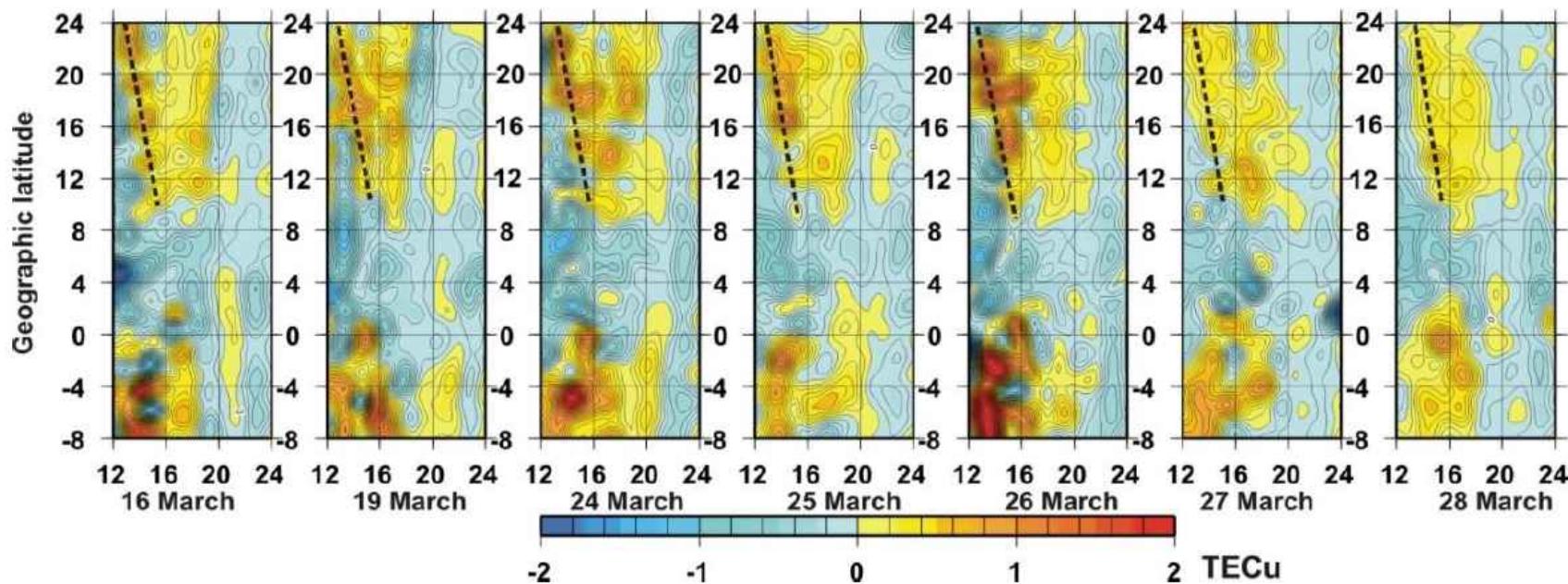
Perturbations ionosphériques



TEC calculé à partir de la paire PRN1-récepteur à PhuThuy le 16 mars 2015
(ligne épaisse) et moyenne mobile sur 30 minutes (ligne fine lissée)

$$\text{TEC Perturbé} = \text{TEC calculé} - \text{TEC lissé}$$

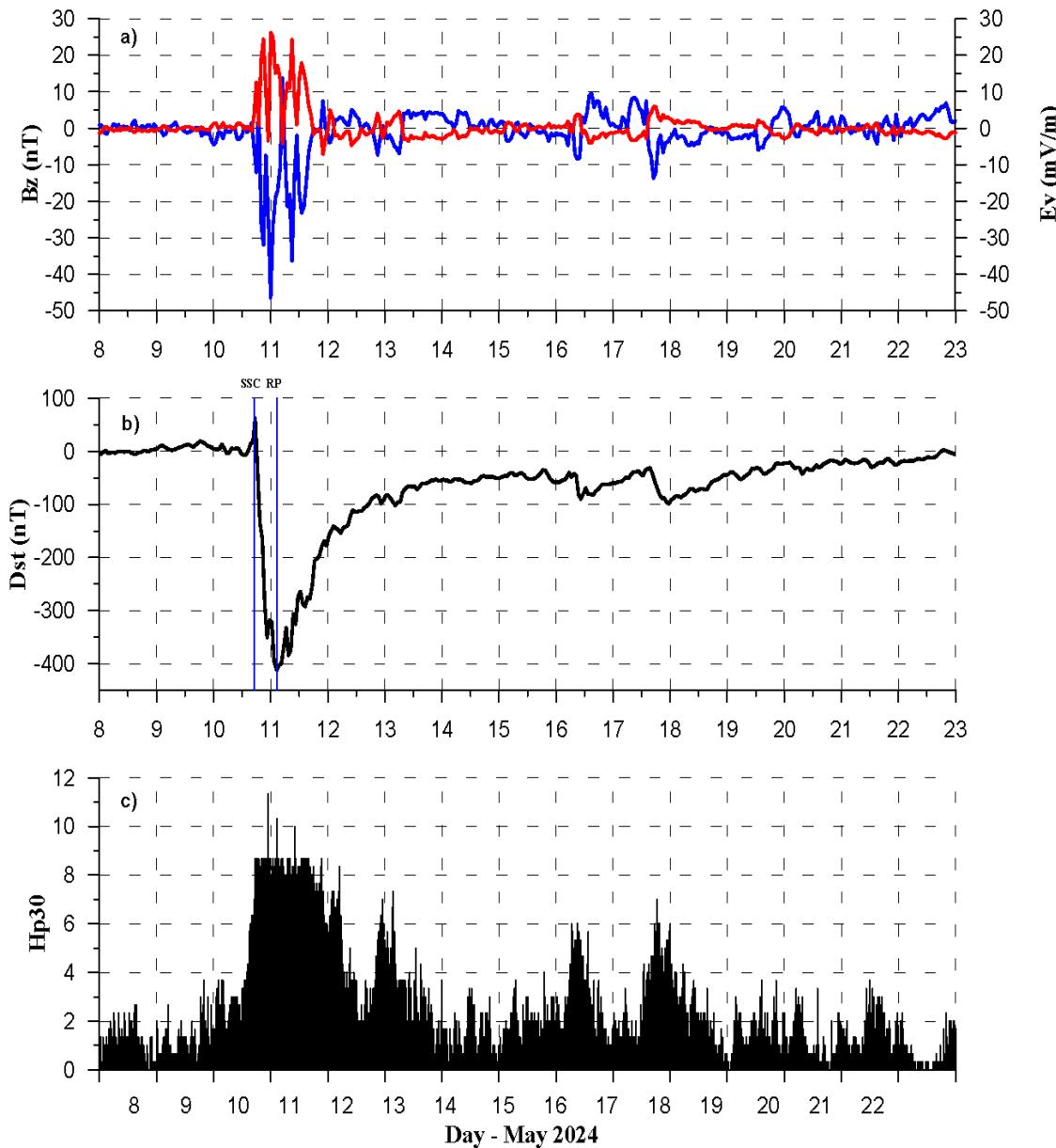
Cartes temporelle-latitudinales des perturbations TEC pour les nuits des 16,19 et, 24-28 mars 2015 observées dans la région de l'Asie du Sud-Est



Les cartes de perturbation TEC ont des formes similaires, deux régions de perturbation positives se trouvent de part et d'autre de l'équateur magnétique, les perturbations négatives se trouvent dans l'équateur magnétique et les régions adjacentes. Dans la période de 20h00 UT à 24h00 UT (03h00 LT-07h00 LT), les perturbations négatives se situent dans la région 8°S-24°N.

Au nord de EM, les régions de perturbations positives s'étendant en continu dans la direction des lignes pointillées nous donnent l'image des perturbations ionosphériques se déplaçant vers l'équateur à partir de la région de crête nord. Avec une échelle d'environ 200-300 km ces perturbations peuvent être considérées comme des MSTID. La vitesse de déplacement des perturbations dans les jours examinés peut être calculée à environ **210 m/s** vers le Sud.

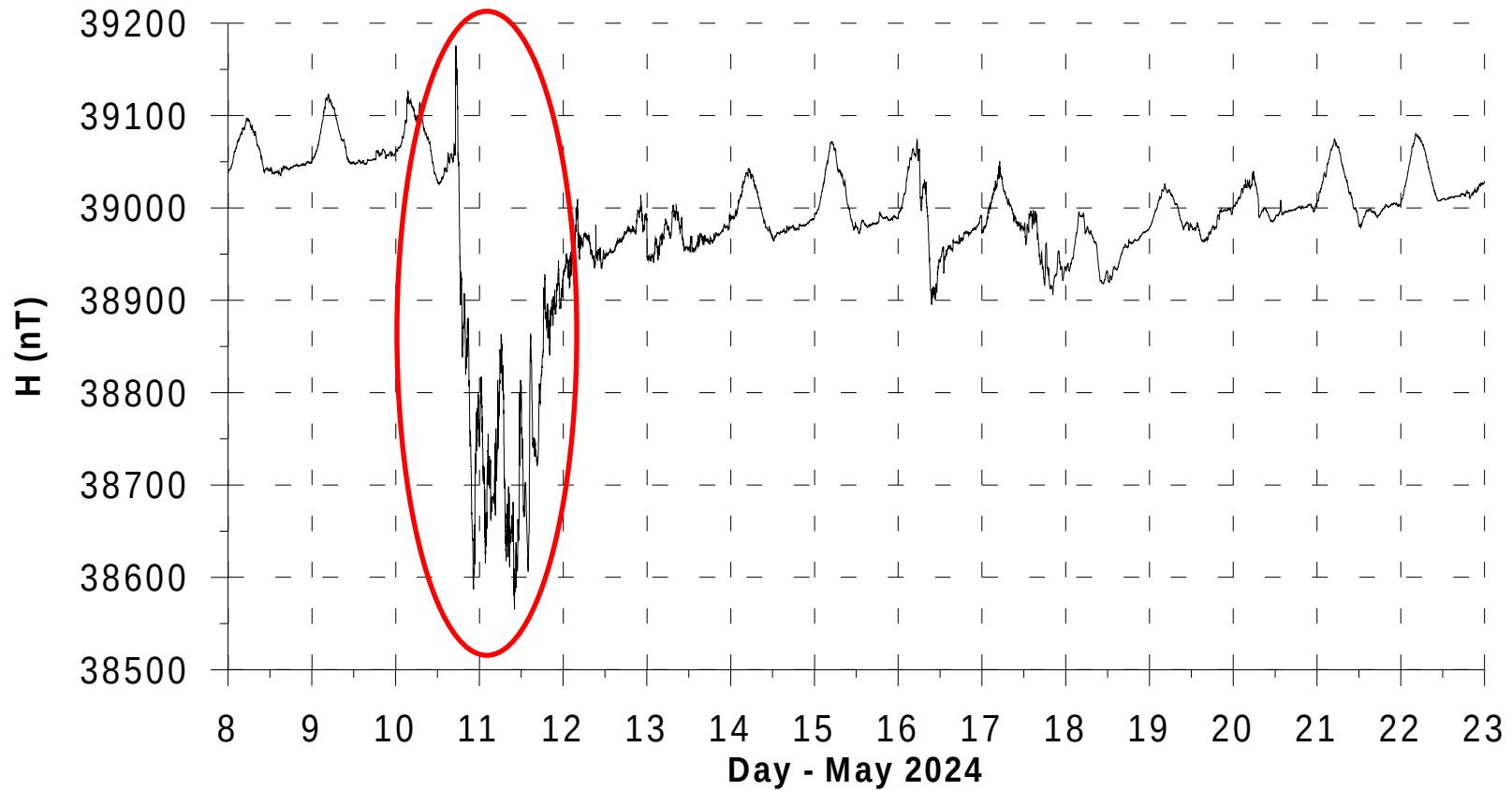
Sévère orage magnétique en Mai 2024



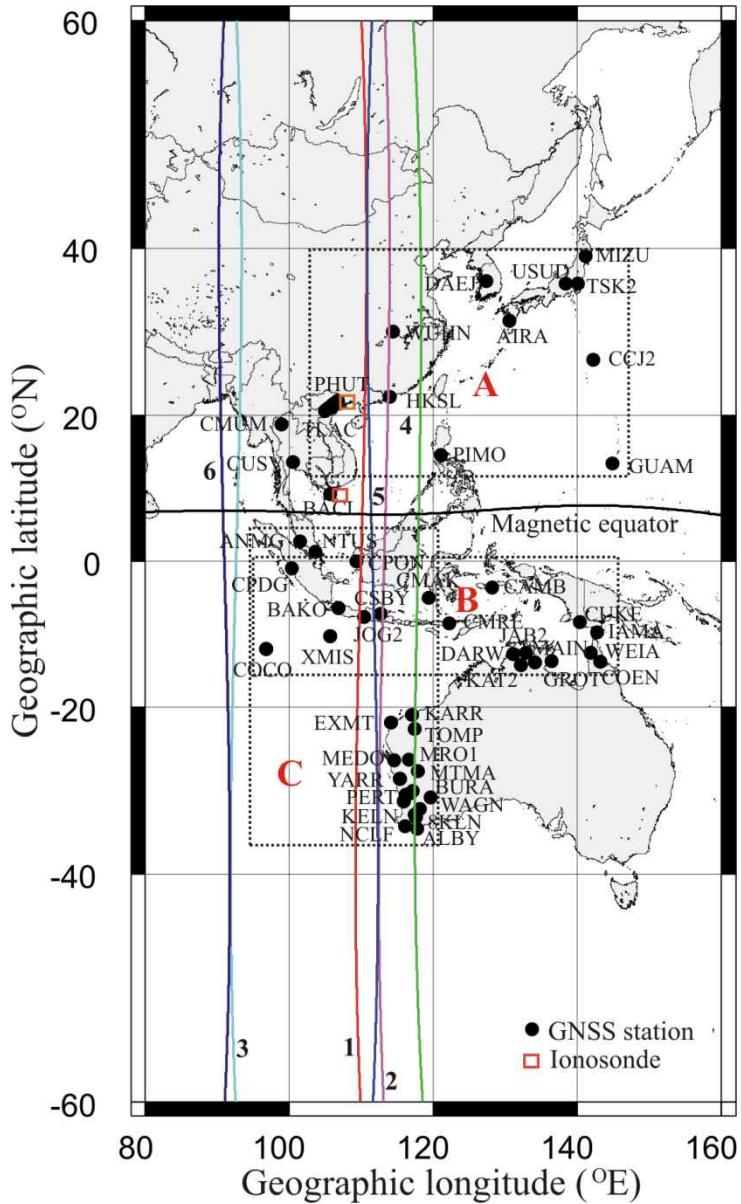
$B_z = -46.5 \text{ nT}$

$Dst = -412 \text{ nT}$
 $\text{SYM-H} = 512 \text{ nT}$

$Hp30 > 10$ aux 10-11 Mai

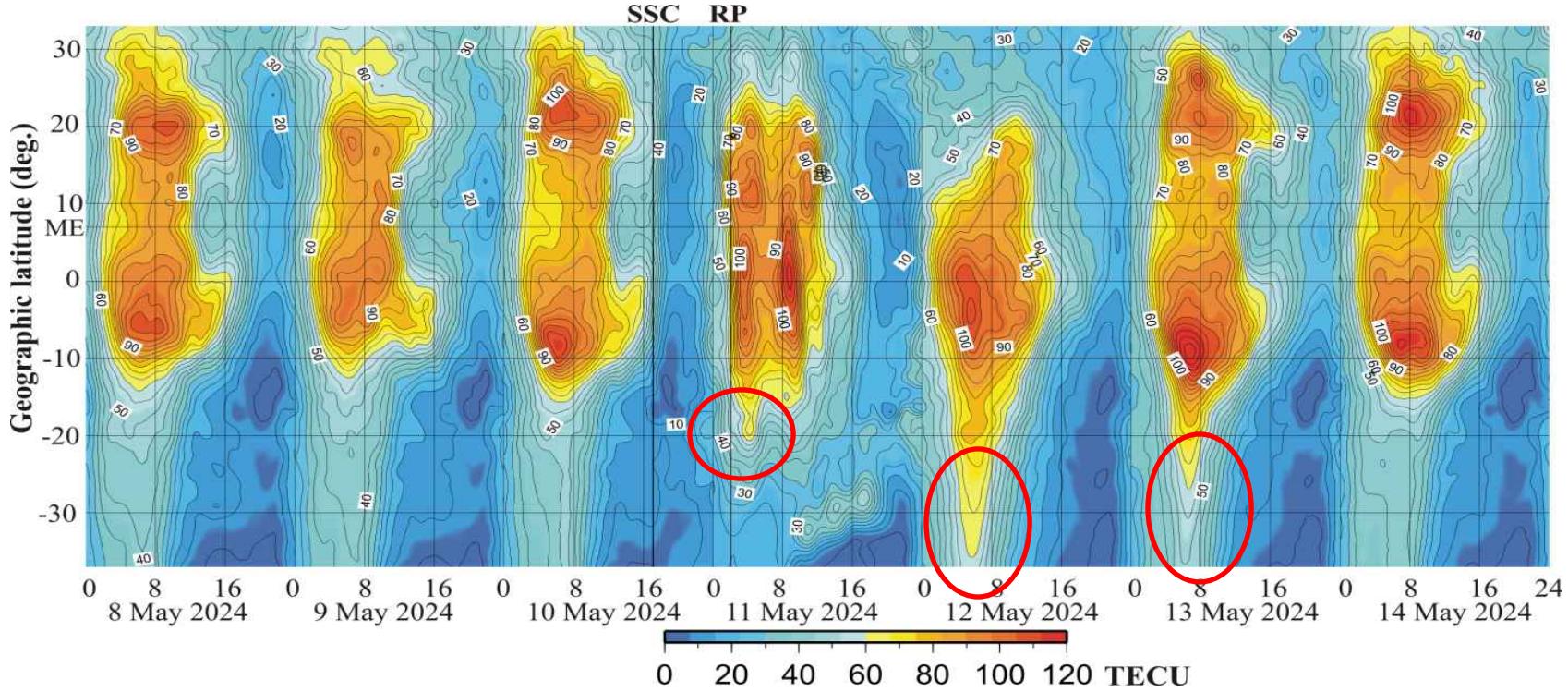


Composante horizontale du champ magnétique observée à
l'observatoire de Phu Thuy du 08 au 22 Mai 2024:
 $\Delta H \sim 600$ nT en 10-11 Mai.

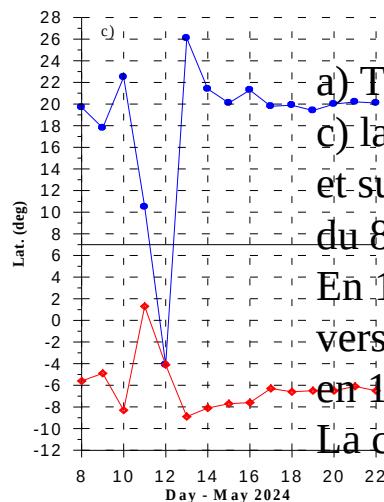
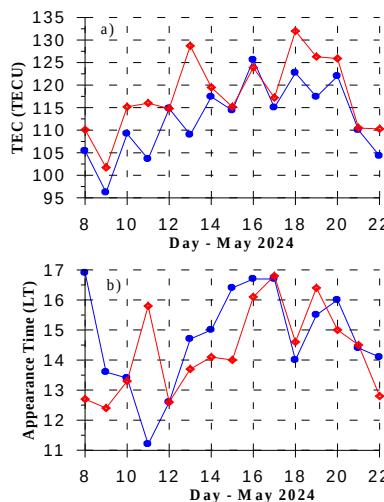


Stations GNSS en **Asie de l'Est, en Asie du Sud-Est et en Australie** sont utilisées. Les lignes de couleur représentent la projection de la trajectoire au sol des passages de **Swarm-B** à ~03h33 UT (1-rouge) le 10 mai, à ~03h15 UT (2-magenta) le 11 mai, à ~04h32 UT (3-cyan) le 12 mai 2024, à ~15h17 UT le 10 mai (4-vert), à ~16h31 UT le 11 mai (5-bleu) et celle du passage de **Swarm-A** à ~10h59 le 11 mai (6-bleu foncé). L'équateur magnétique se situe à environ 7°N de latitude

Cartes temporelles et latitudinales du TEC pour la période du 08 au 14 Mai 2024



(les données de stations de latitude $\sim 96\text{-}120$ degrés sont utilisées)

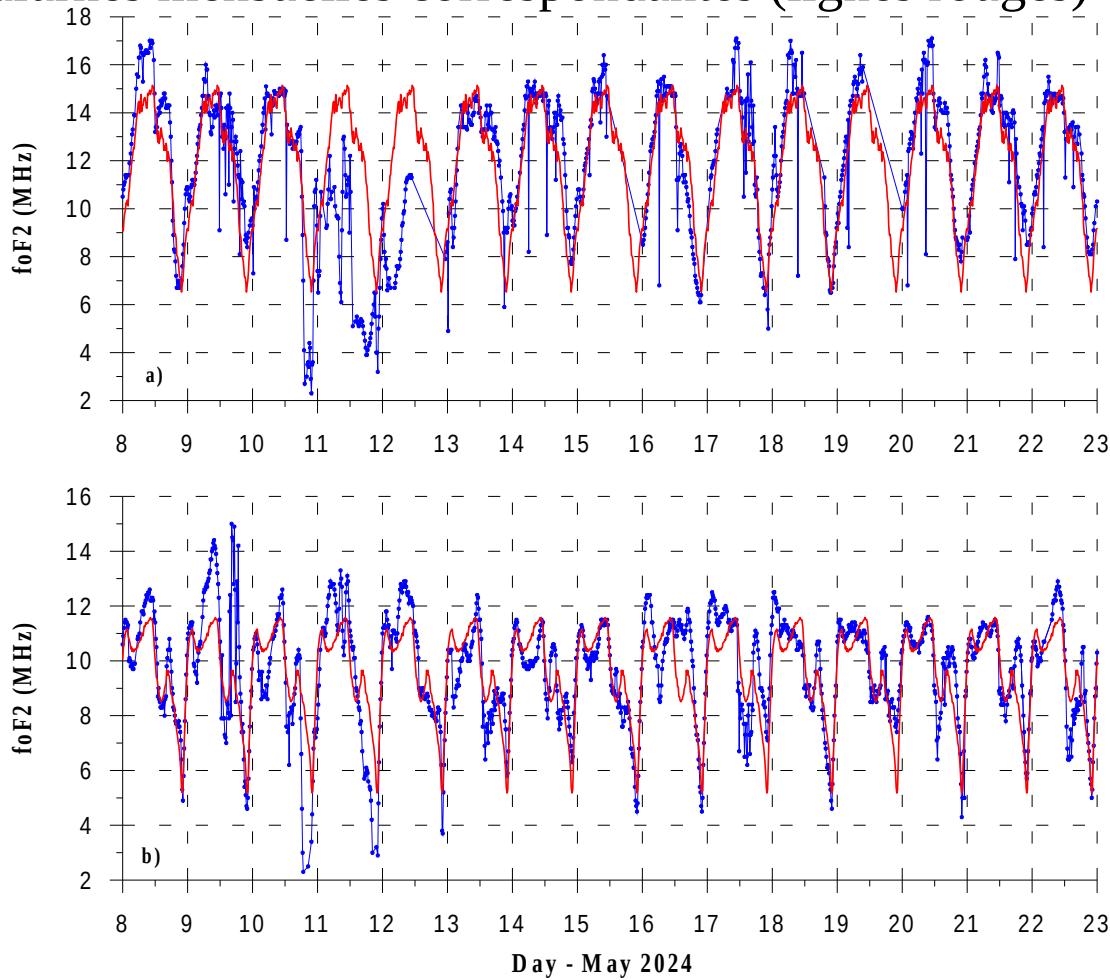


En 11 et 12 Mai, les crêtes se déplacent vers l'équateur; en 11 Mai les crêtes se divisées en deux; en 12 Mai la crête Nord est complètement disparue; La crête sud s'étend plus au sud en 11-13 Mai

Variation temporelle de la fréquence critique foF2 a) à Phu Thuy, b) à Bac Lieu (lignes bleues) du 08 au 22 mai 2024, et les valeurs moyennes diurnes mensuelles correspondantes (lignes rouges)

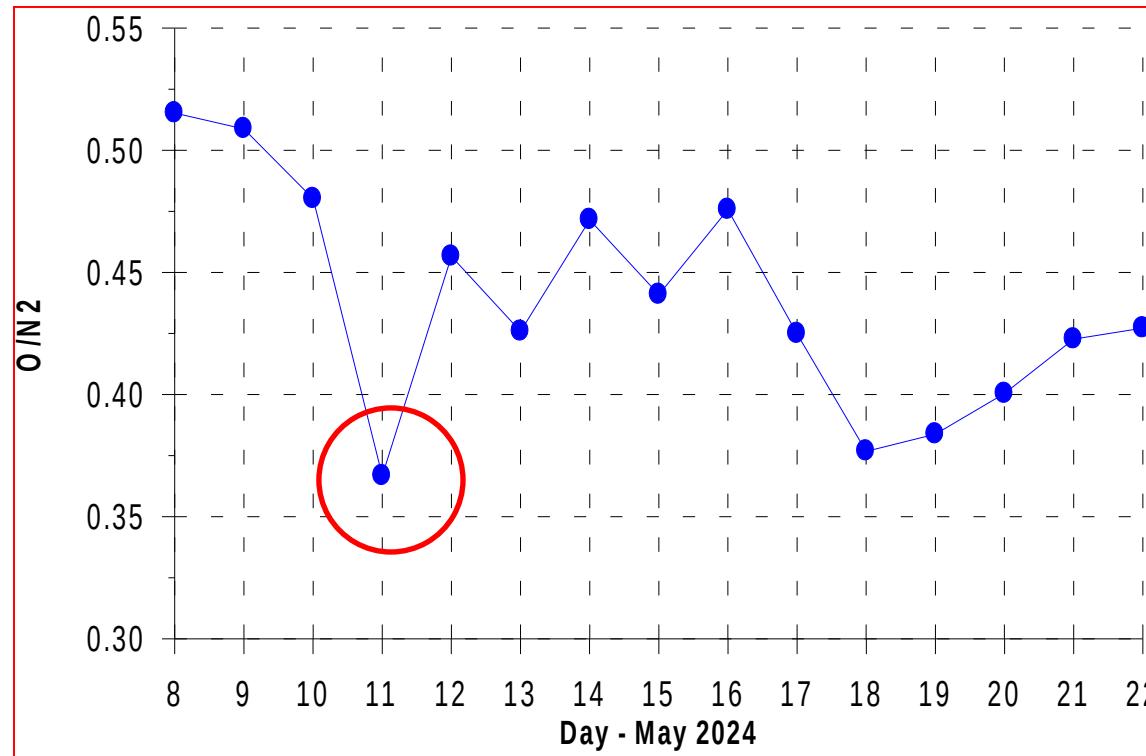
Phu Thuy
(crête Nord)

Bac Lieu
~ Equateur magn.



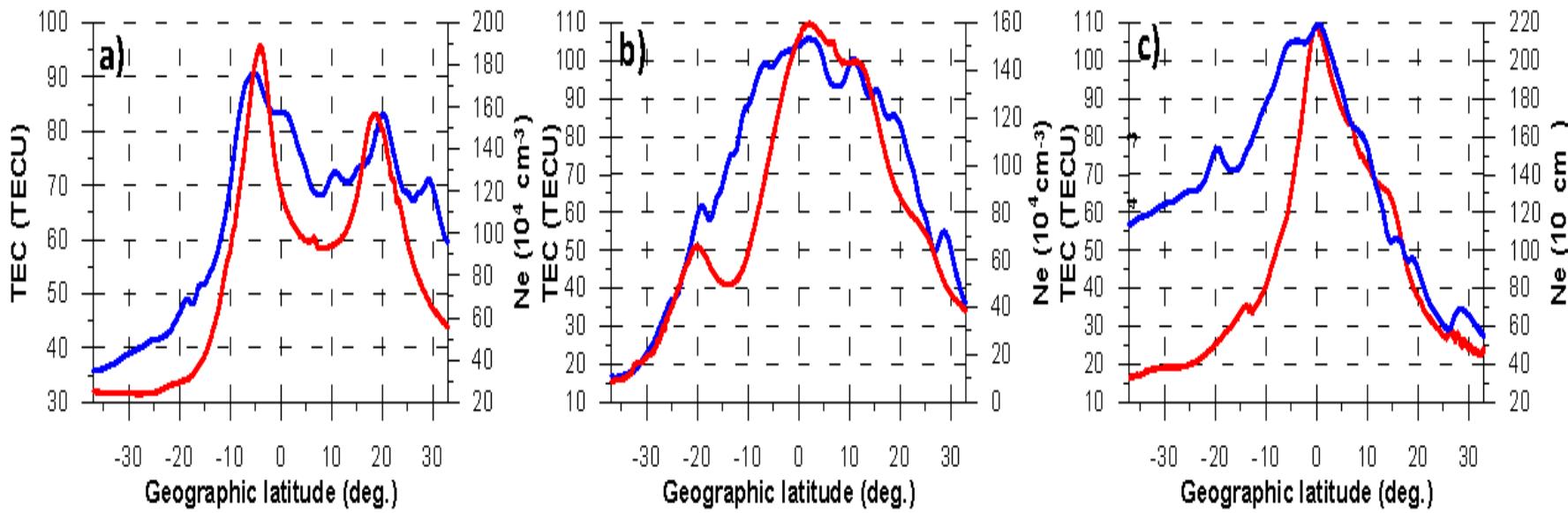
La diminution (augmentation) de foF2 par rapport à la moyenne mensuelle à Phu Thuy (à Bac Lieu) les 11 et 12 mai correspond à la diminution (augmentation) de TEC

Moyenne journalière du rapport $[O]/[N_2]$ obtenue par satellite TIMED (donnée GUVI) dans le secteur Est et Sud-Est Asia – Australian dans l'hémisphère nord du 8 au 22 mai 2024



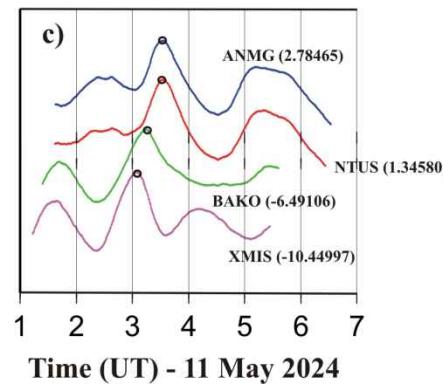
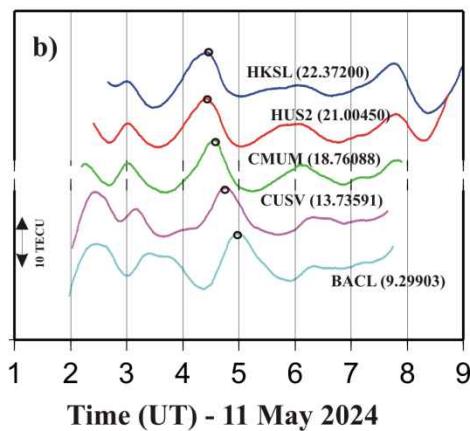
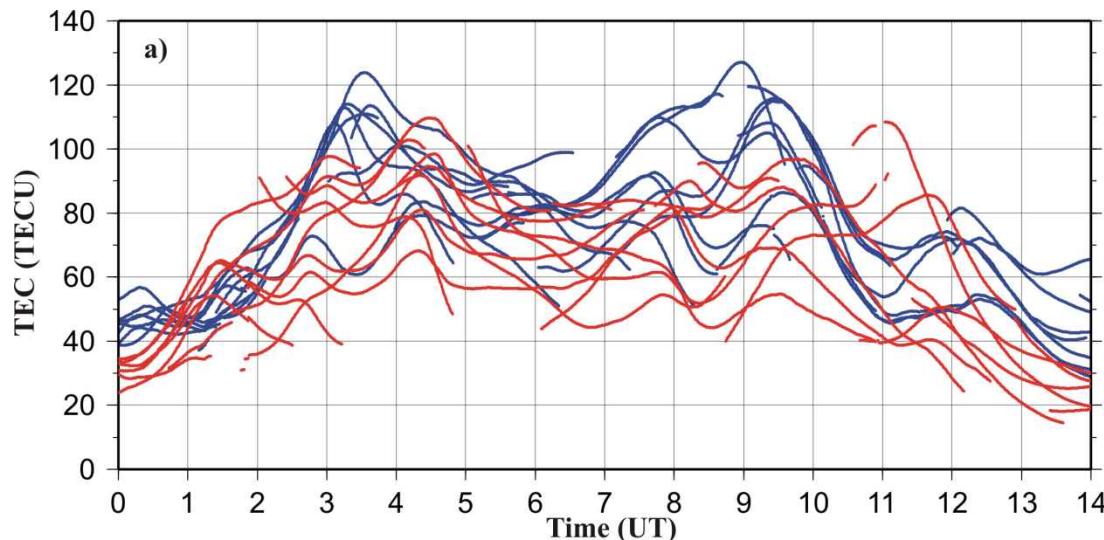
Nette diminution du rapport $[O]/[N_2]$ le 11 Mai 2024 implique la diminution de O et l'augmentation de N_2 qui peuvent provoquer la diminution de la densité électronique.

Comparaison entre GPS TEC et Swarm in-situ Ne

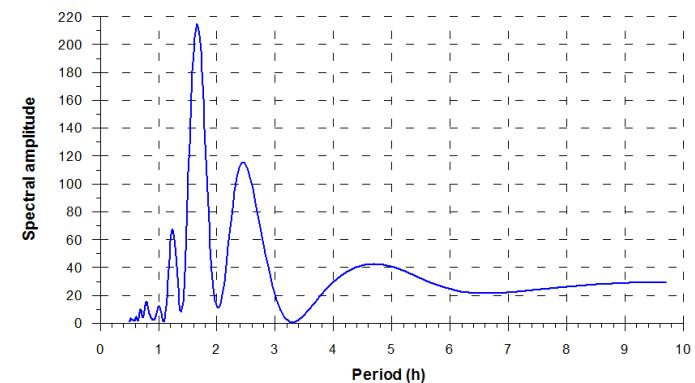


GPS TEC (bleu) densité électronique Swarm-B Ne (rouge)
a) à environ 03h33 UT le 10 mai 2024,
b) à environ 03h15 UT le 11 mai 2024
c) à environ 04h31 UT le 12 mai 2024.

a) GPS TEC aux stations PHUT (rouge) et BAKO (bleu) le 11 mai 2024



- b) Séries temporelles de perturbations Δ TEC
(VTEC – VTEC filtré par un low-bass Butterworth filter)
dérivées des mesures observées de stations GPS au sol et
PRN06 dans la partie nord de l'équateur magnétique.
c) La même b) pour la partie sud de l'équateur magnétique.

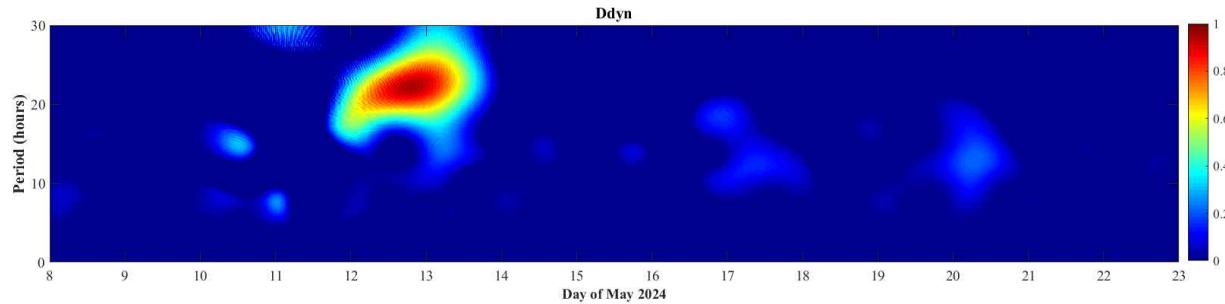
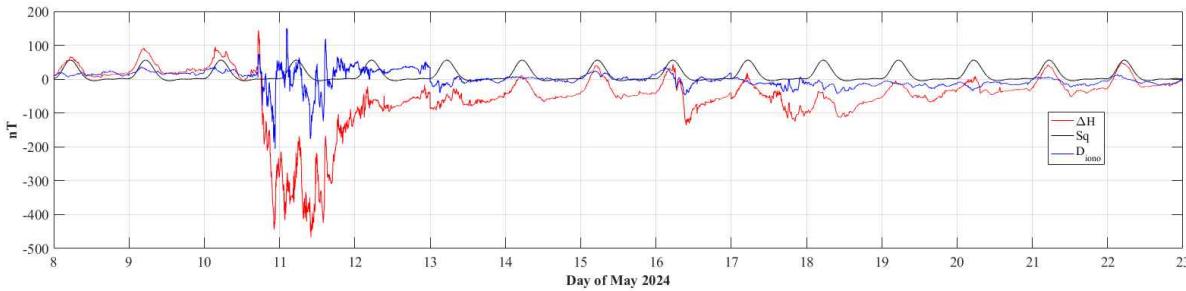


Amplitude spectrale Δ TEC selon la trace du satellite PRN06-HKSL station, le 11 mai
Période \sim 1-3h \rightarrow LSTID.

Large-Scale Travelling Ionospheric Disturbance (LSTID) de période > 1 hr se déplace des hautes latitudes vers l'équateur magnétique , avec une vitesse méridionale d'environ 800 m/s

Variation magnétique à l'observatoire de Phu Thuy du 08 au 22 mai 2024,

a) ΔH (rouge), Sq (noir) et Diono (bleu), b) Ddyn



$$H = H_0 + S_q^H + D_{mag} + D_{iono} \quad \Delta H = H - H_0$$

$$D_{iono} = \Delta H - D_{mag} - S_q^H = \Delta H - SYMH * \cos \Phi - S_q^H \quad D_{iono} = DP_2 + D_{dyn}$$

Ddyn est associé au DDEF et entraîne des oscillations anti-Sq dans la région des basses latitudes, qui sont souvent observées dans la phase de récupération.

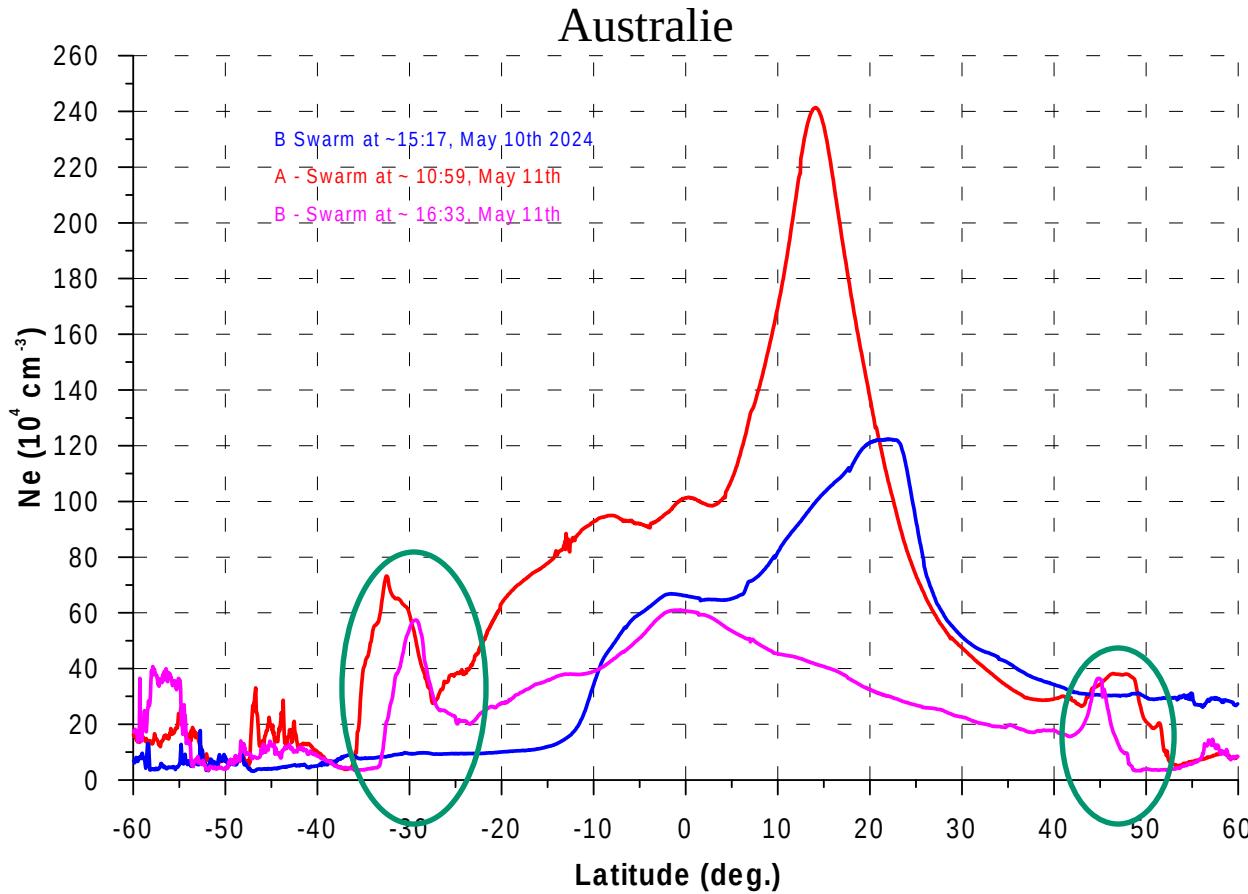
$D_{dyn} = \alpha |\text{anticorr}[\text{semblance}(S_q, D_{iono})]|$ (Younas et al., 2021) – Semblance analysis

Ddyn est ≥ 0.3
entre 17:19 UT 11 Mai
et 11:40 UT 13 Mai

Remarques

- La phase principale de l'orage se produit la nuit dans la zone d'étude.
- Dans le premier jour de la phase de récupération (11 Mai), les crêtes de l'EIA ont été affectées par **une LSTID et par l'effet dynamo perturbé**, les crêtes ont été déplacées vers l'équateur et ont été divisées en deux.
- LSTID a une période de plus d'une heure, se déplaçant des hautes latitudes vers l'équateur avec **une vitesse méridionale d'environ 800 m/s.**
- Dans deuxième jour de la phase de récupération (12 mai), alors que Ddyn était encore grand, la crête nord de l'EIA était complètement dégénérée, la crête sud était décalé vers l'équateur d'environ 2 degrés par rapport à la journée calme (8 mai).
- La position de la crête sud s'étend vers le sud pendant trois jours, **du 11 au 13 Mai 2024.**
- **Nette diminution du rapport [O]/[N₂] le 11 Mai 2024** est aussi observée.
- L'effet dynamo perturbé (Ddyn) est clairement observé dans l'analyse de la composante horizontale du champ magnétique terrestre observée à l'observatoire de Phu Thuy, en particulier au cours des 3 premiers jours de la phase de récupération, **entre 17:19 UT 11 Mai et 11:40 UT 13 Mai 2024.**

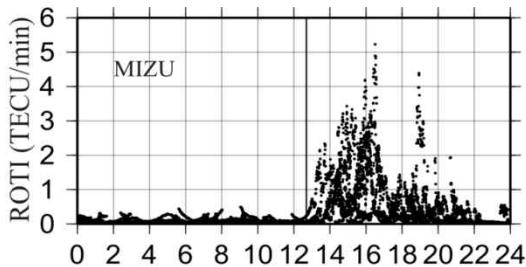
Profils de la densité électronique in situ (Ne) mesurés par Swarm-B à \sim 15h17 UT le 10 Mai (bleu), Swarm-A à \sim 10h59 UT le 11 Mai (rouge) et Swarm-B à \sim 16h33 UT le 11 Mai (violet) dans le secteur de l'Asie de l'Est, l'Asie du Sud-Est - Australie



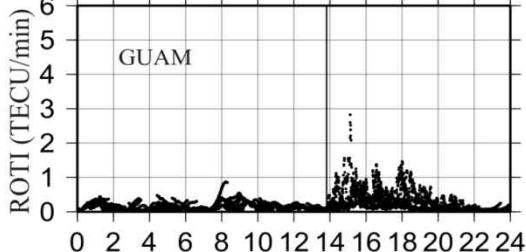
Dans la nuit local de 11 Mai, l'augmentation de la densité électronique Ne dans des latitudes moyennes avec une largeur \sim 10° latitudes (\sim 1000 km) **a tendance à se déplacer vers de basses latitudes** → produire de MSTID dans la région basse latitude – équatoriale.

ROTI aux certaines stations, le 11 Mai 2024

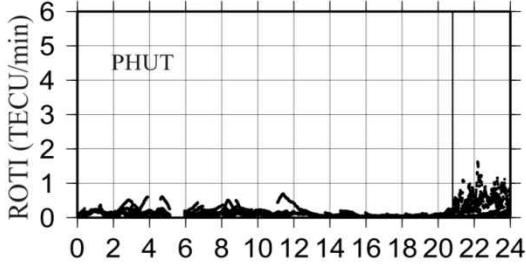
141.13283 , 39.13517



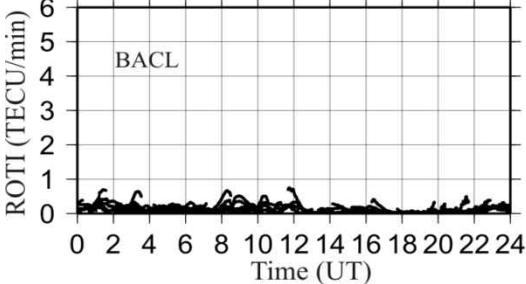
144.86836 , 13.58933



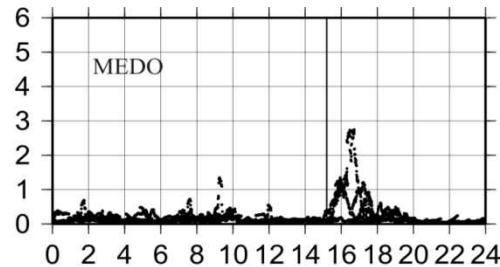
105.95872 , 21.02938



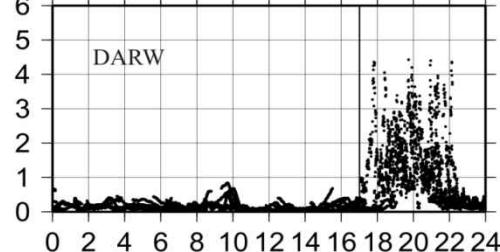
105.71102 , 9.29903



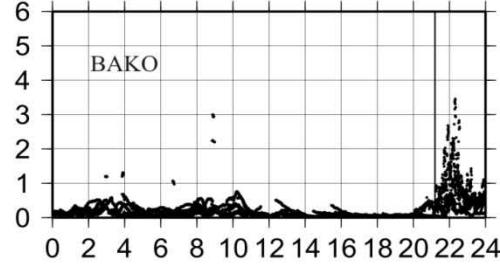
114.60955 , -26.75738



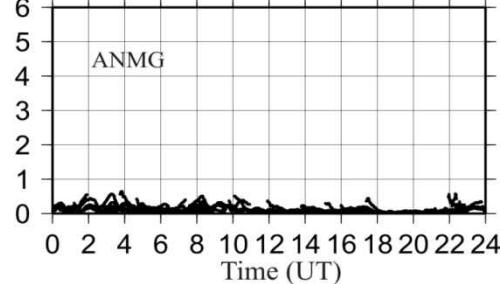
131.13274, -12.84369



106.84891, -6.49105

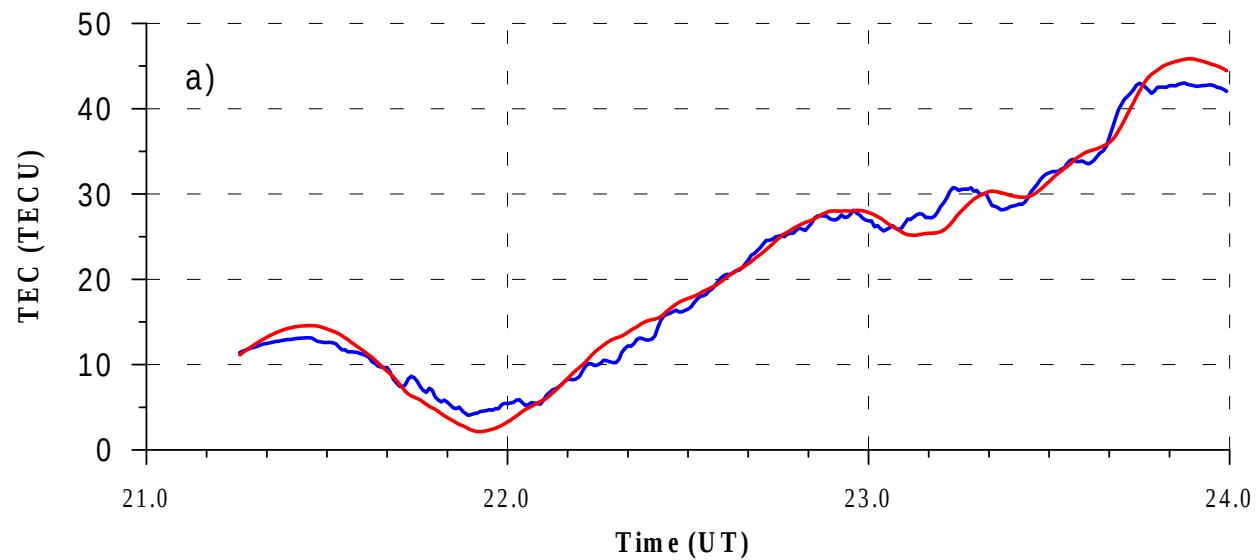


101.50660 , 2.78465

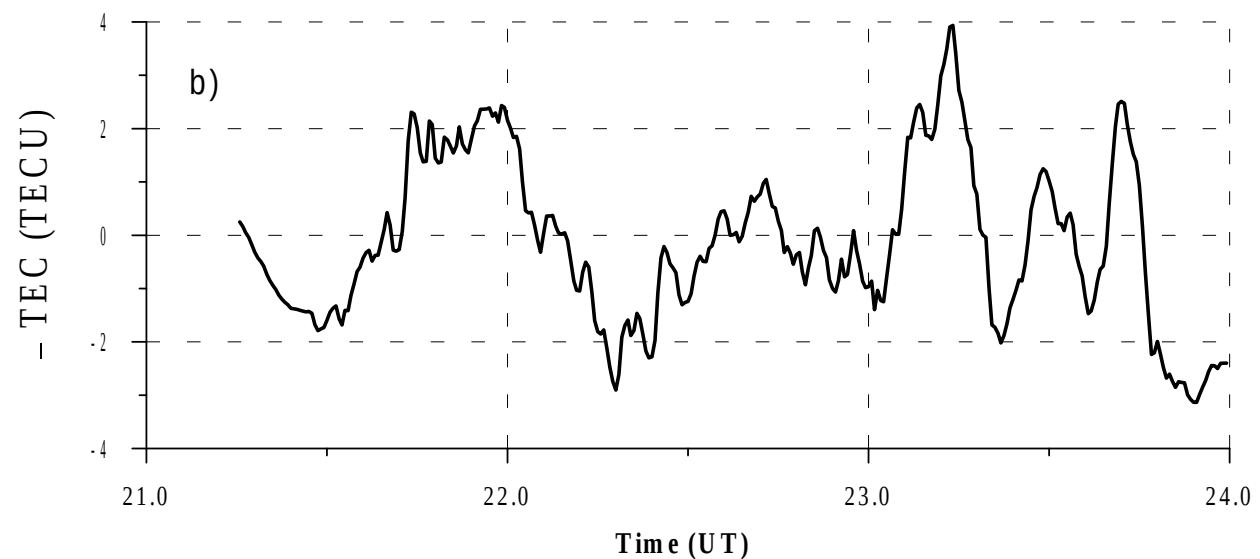


La barre verticale indique le temps d'apparition de ROTI $\geq 0,5$ TECU/min dans la nuit à chaque station. ROTI est petit dans les stations proches de l'E. M. TL = TU + 7.

a) Contenu électronique total calculé à partir de la paire PRN8-receiver (bleu) à Phu Thuy le 11 Mai 2024 et TEC détrendé par un polynôme d'ordre trois dans chaque une heure (rouge),

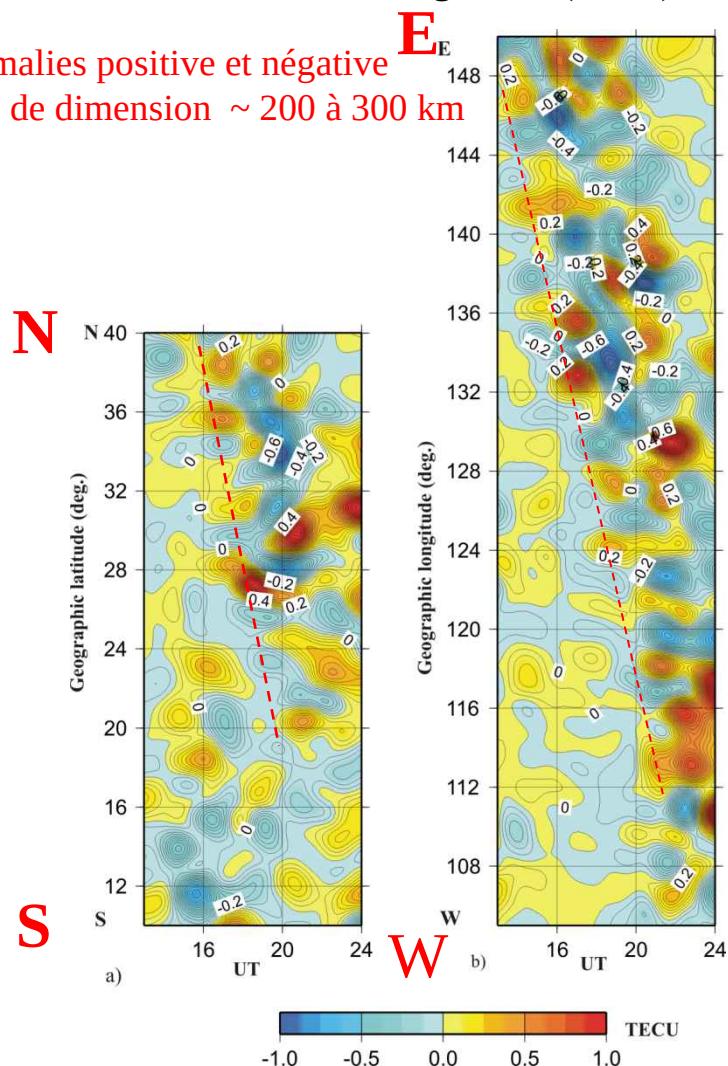


b) ΔTEC , différence entre
TEC calculées
et TEC tendance
→ Oscillations de
périodes < 1h (MSTID)



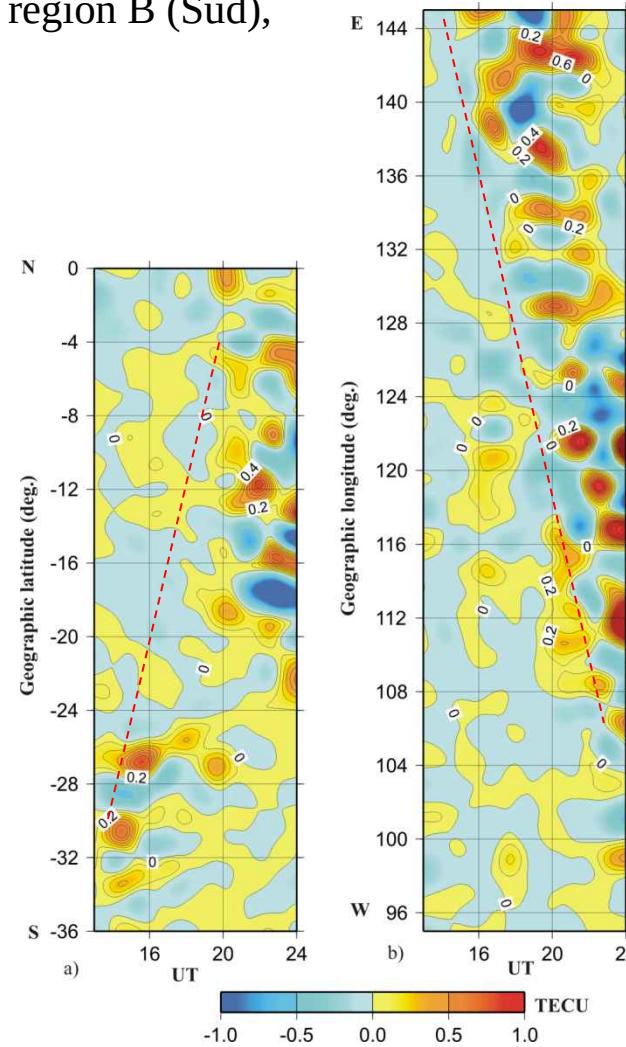
- b) Carte Δ TEC temporelle et latitudinale,
- b) Carte Δ TEC temporelle et longitudinale de la nuit du 11 mai 2024, calculée à partir des données GNSS des stations de la région A (Nord)

Des anomalies positive et négative alternées de dimension ~ 200 à 300 km



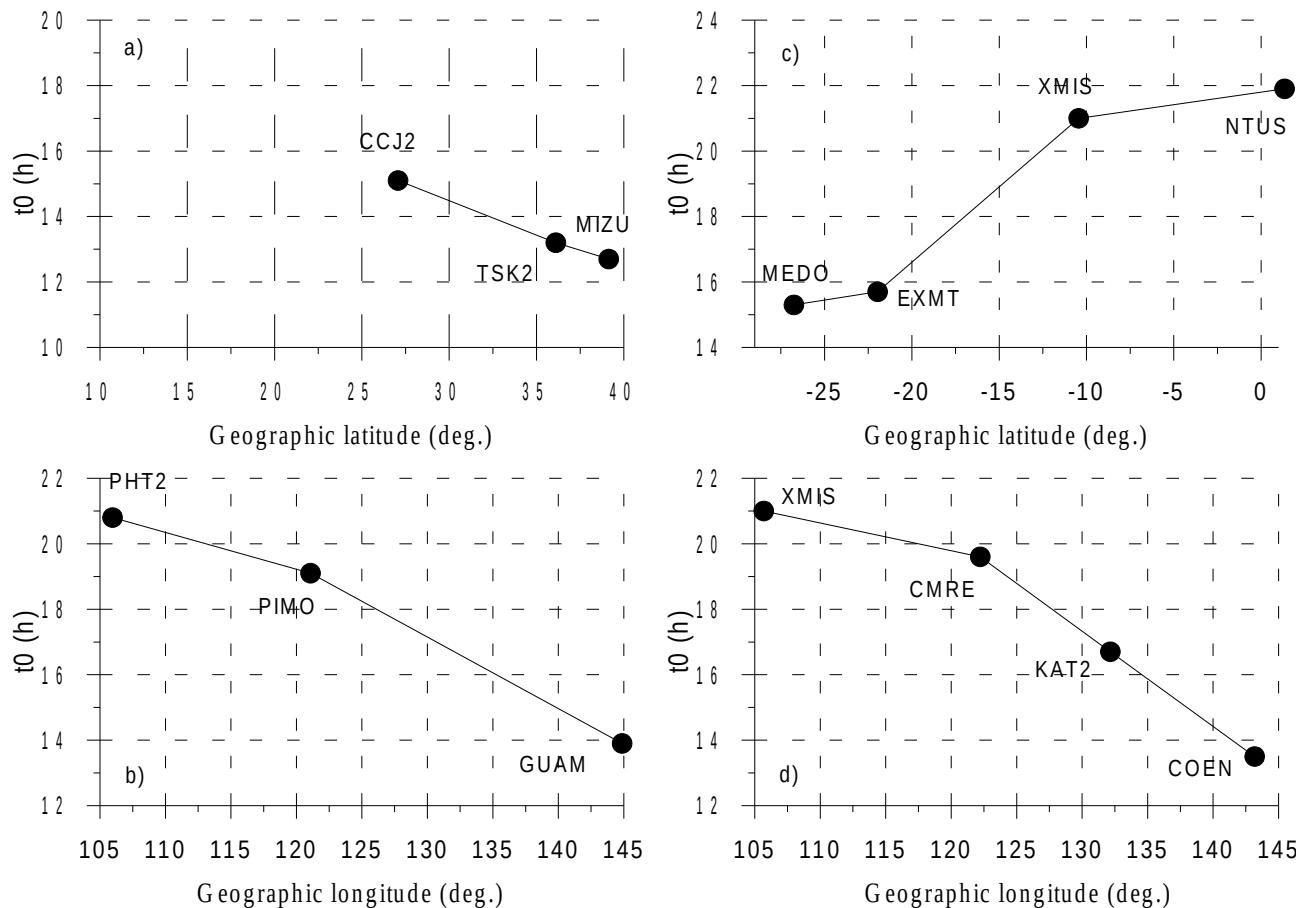
MSTID se déplace de latitudes moyennes vers l'équateur dans la direction NE - SW

a) Carte Δ TEC temporelle et latitudinale, de la nuit du 11 mai 2024, calculée à partir des données GNSS des stations de la région C (Sud),
b) Carte Δ TEC temporelle et longitudinale calculée à partir des données GNSS des stations de la région B (Sud),



MSTID se déplace de latitudes moyennes vers l'équateur dans la direction SE – NW

Variations latitudinales et longitudinales du temps d'apparition du ROTI \geq 0.5 à certaines stations a) et b) au nord de l'équateur magnétique et c) et d) à celles au sud de l'équateur magnétique



Pour la partie Nord: $V_{NS} \approx 154$ m/s, $V_{EW} \approx 172$ m/s,
donc $V = \sqrt{V_{NS}^2 + V_{EW}^2} \approx 230$ m/s

Pour la partie Sud: $V_{SN} \approx 130$ m/s, $V_{EW} \approx 152$ m/s,
donc $V = \sqrt{V_{NS}^2 + V_{EW}^2} \approx 200$ m/s

Remarques

- Dans la nuit du 11 Mai 2024, il existe un MSTID dans de régions de latitudes moyennes aux deux hémisphères se déplaçant vers l'équateur, **dans l'hémisphère Nord le MSTID se déplace dans la direction NE-SW, dans l'hémisphère Sud le MSTID se déplace dans la direction SE-NW.**
- MSTID se déplace à une vitesse ~215 m/s.

Publications

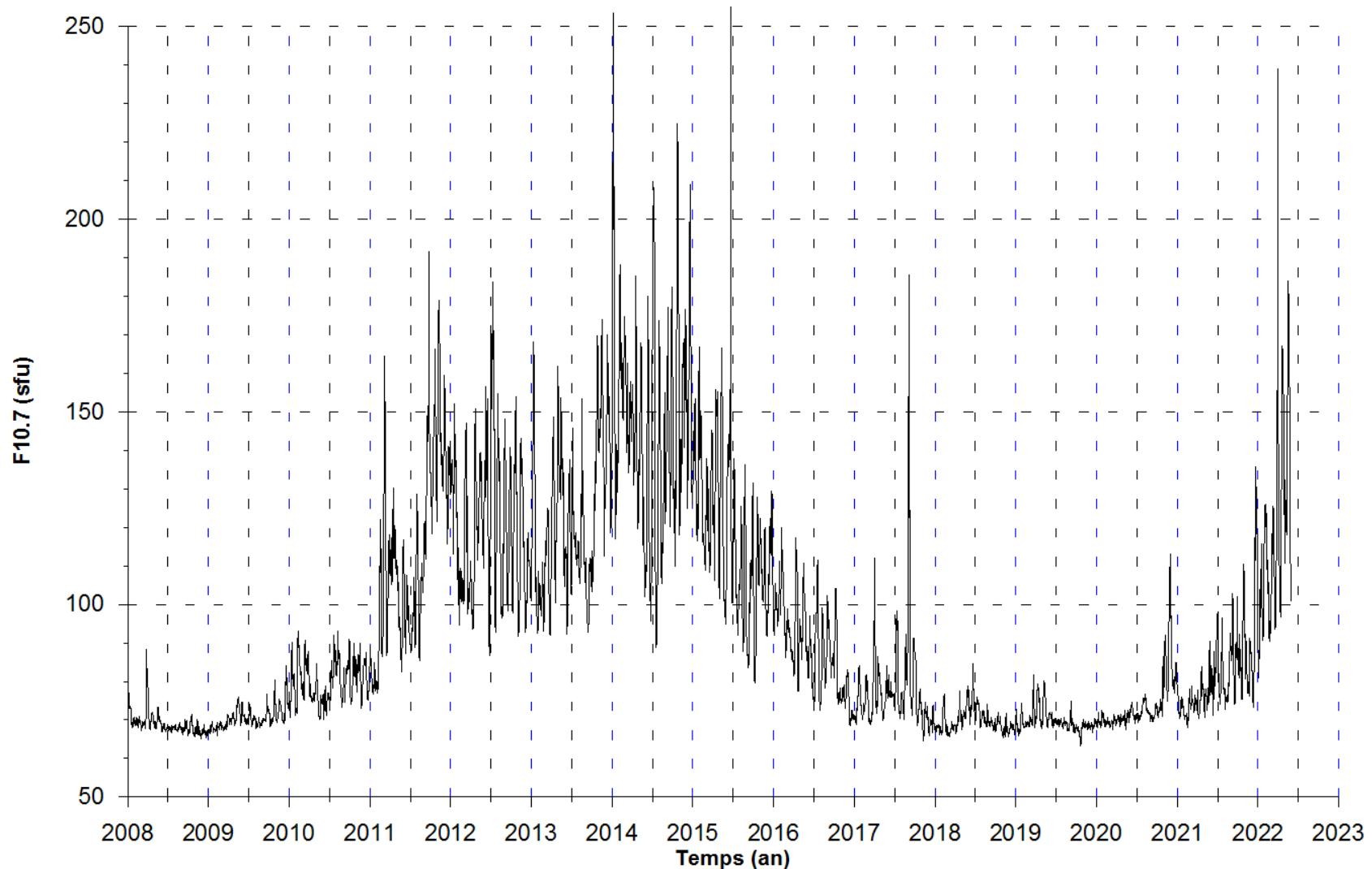
- Le Huy Minh, A. Bourdillon, P. Lassudrie Duchesne, R. Fleury, Nguyen Chien Thang, Tran Thi Lan, Ngo Van Quan, Le Truong Thanh, Tran Ngoc Nam, Hoang Thai Lan, **2007**. The effect of the geomagnetic storm on the ionospheric total electron content in the Southeast Asian equatorial ionization anomaly region observed by GPS data, *J. Sciences of the Earth* (in Vietnamese), 29(2), 104-112
- Le Huy Minh, Tran Thi Lan, R. Fleury, C. Amory Mazaudier, Le Truong Thanh, Nguyen Chien Thang, Nguyen Ha Thanh, **2016**. TEC variations and ionospheric disturbances during the magnetic storm on March 2015 observed from continuous GPS data in the Southeast Asian region, *Vietnam J. Earth Sciences*, 38(3), 287-305.

Analyse spectrale des séries temporelles de l'indice F10.7 et des paramètres des crêtes de l'EIA

- Méthode : Periodogram Lomb-Scargle
- Matlab Tools: lomb.m

Moyenne journalière de l'indice F10.7

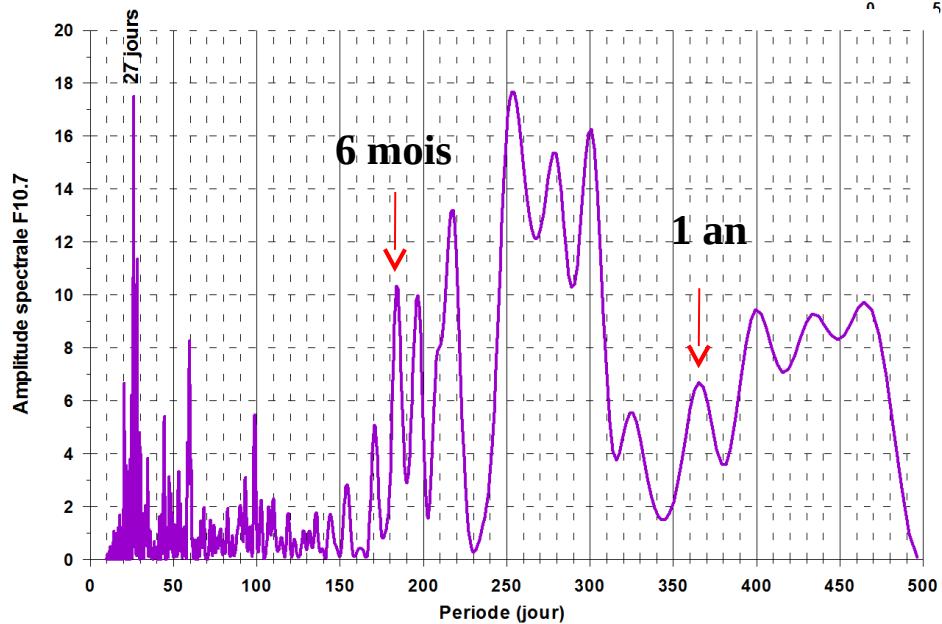
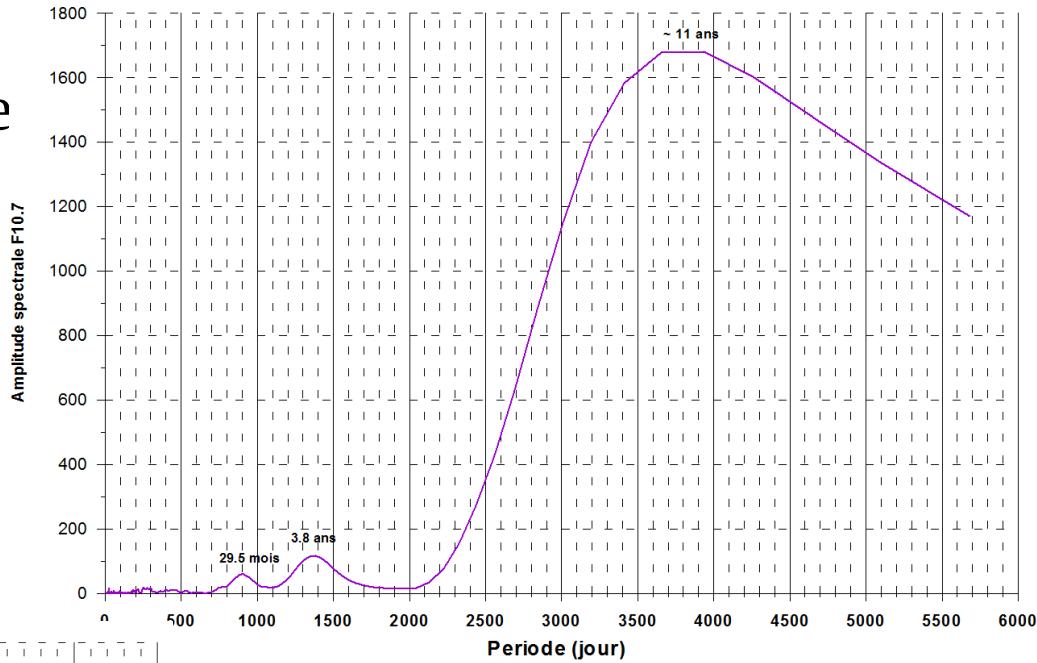
01 Jan 2008-31 May 2022



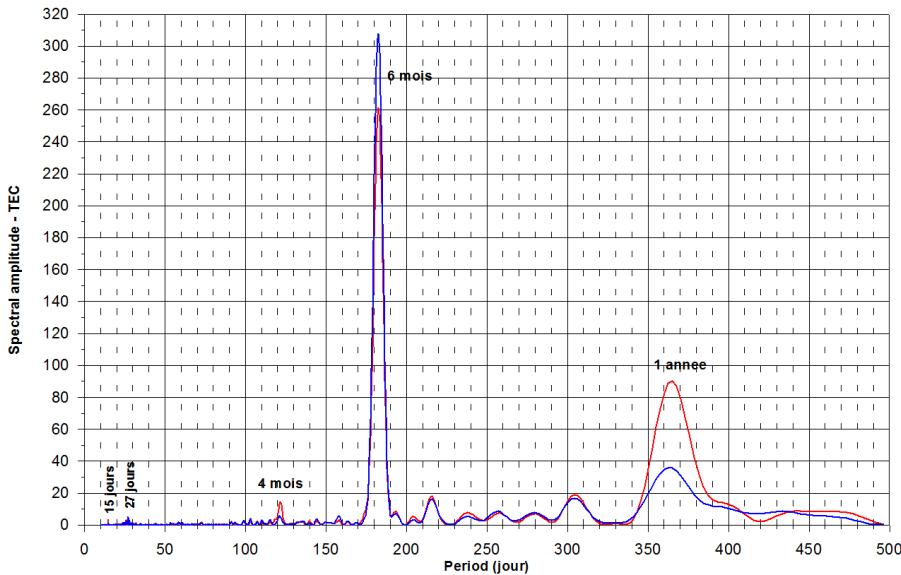
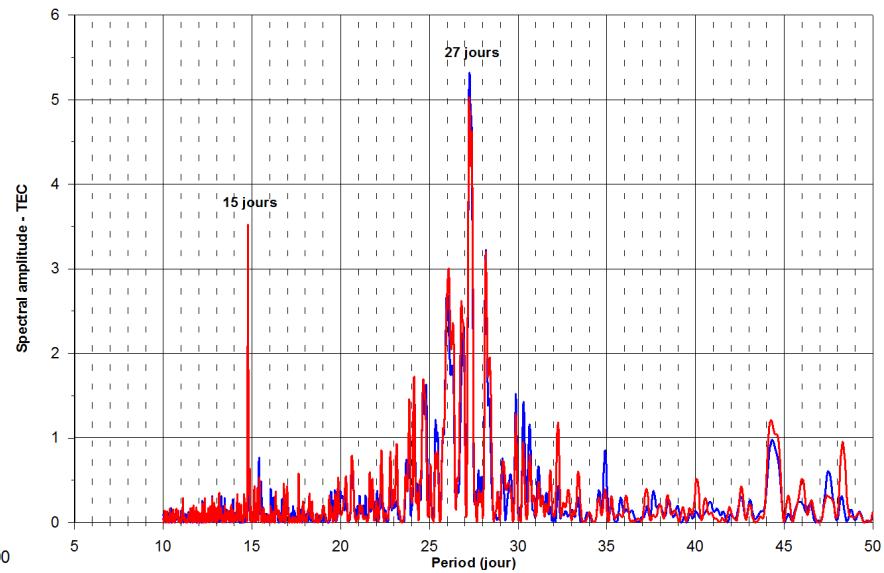
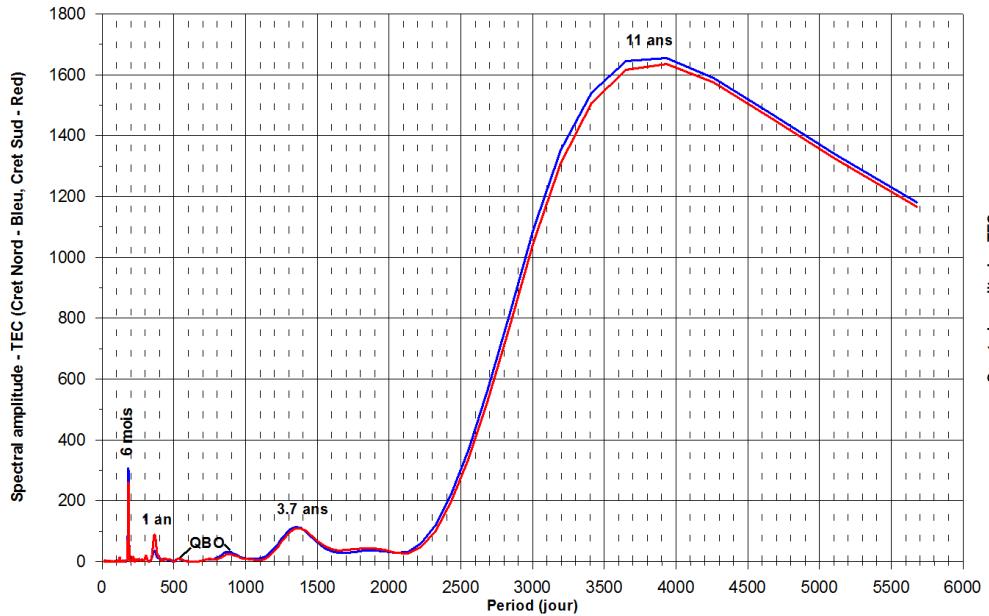
Analyse Spectrale de flux solaire F10.7

Périodes:

- ~ 11 ans, 3.8 ans (harmonique)
- 29.5 mois (QBO)
- 27 jours
- Spectre compliqué :
de 150 jours à 500 jours



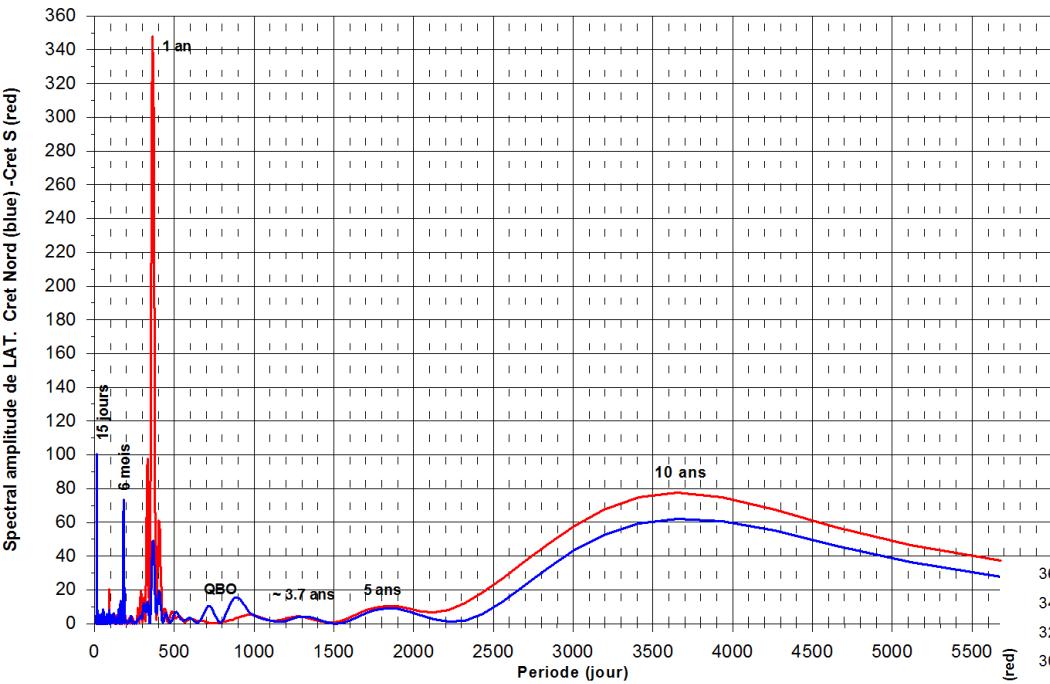
Amplitude spectrale des amplitudes des EIA crêtes



Périodes:

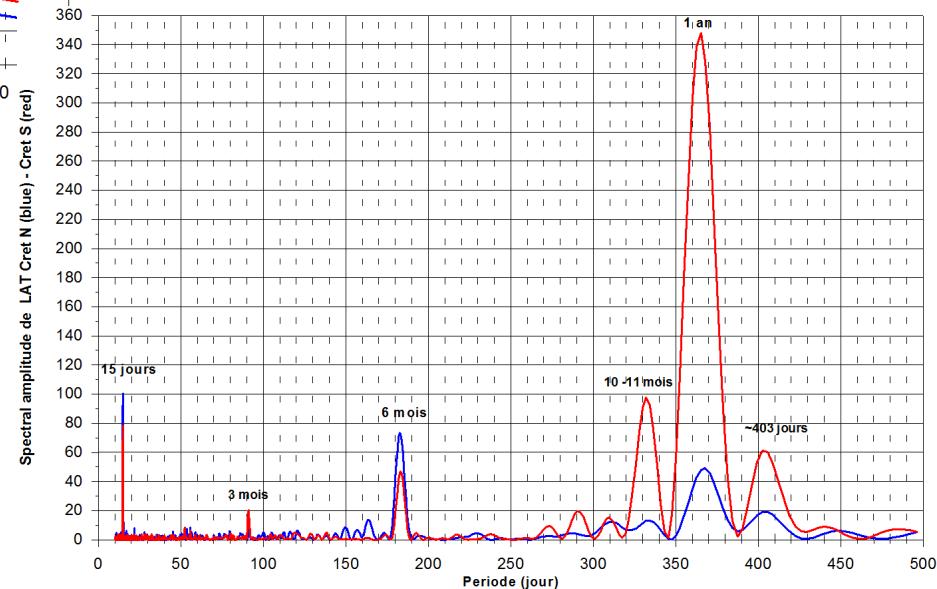
- **11 ans, 3.7 ans (harmonique)**
- **QBO**
- **1 an**
- **6 mois, 4 mois**
- **27 jours**
- **15 jours**

Amplitude spectrale des latitudes des crêtes de l'EIA

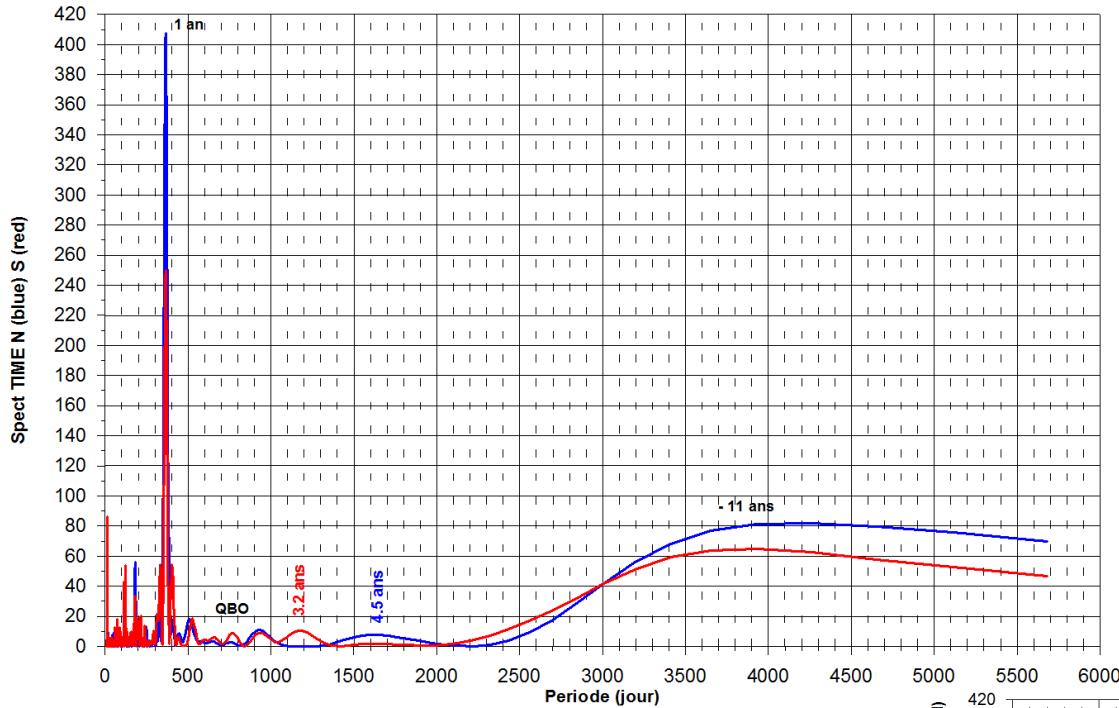


Périodes:

- 10 ans, 5 ans, 3.7 ans
- QBO
- 10-11 mois, **1 ans**, 403 jours
- 6 mois
- 3 mois
- 15 jours

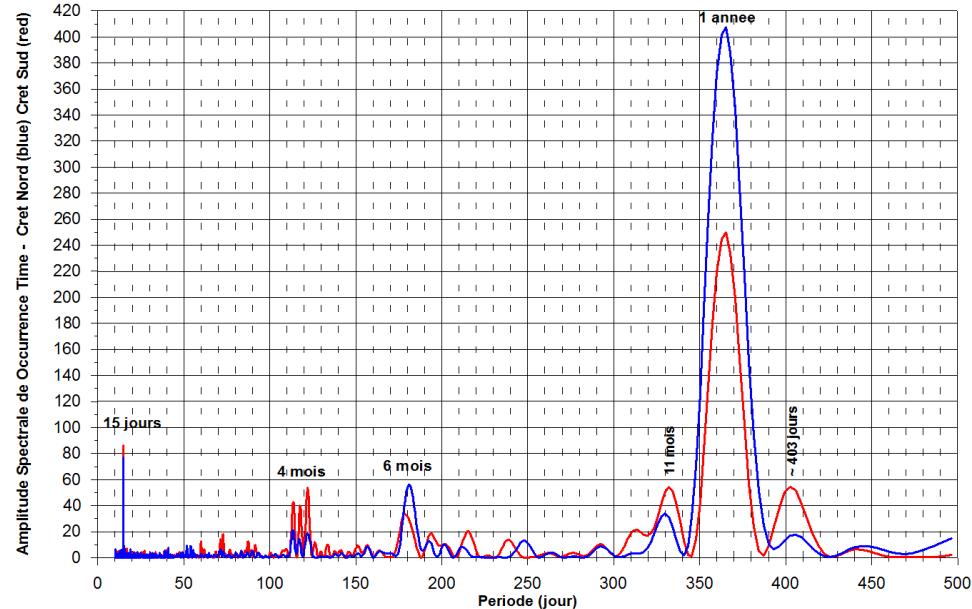


Amplitude spectrale de l'heure d'occurrence des crêtes de l'EIA



Periodes:

- ~ 11 ans, 4.5 ans, 3.2 ans
- QBO
- 11 mois, **1 an**, ~ 403 jours
- 6 mois
- 4 mois
- 15 jours



Oscillations des différentes périodes de l'indice F10.7 et des paraméteurs de crêtes de l'EIA

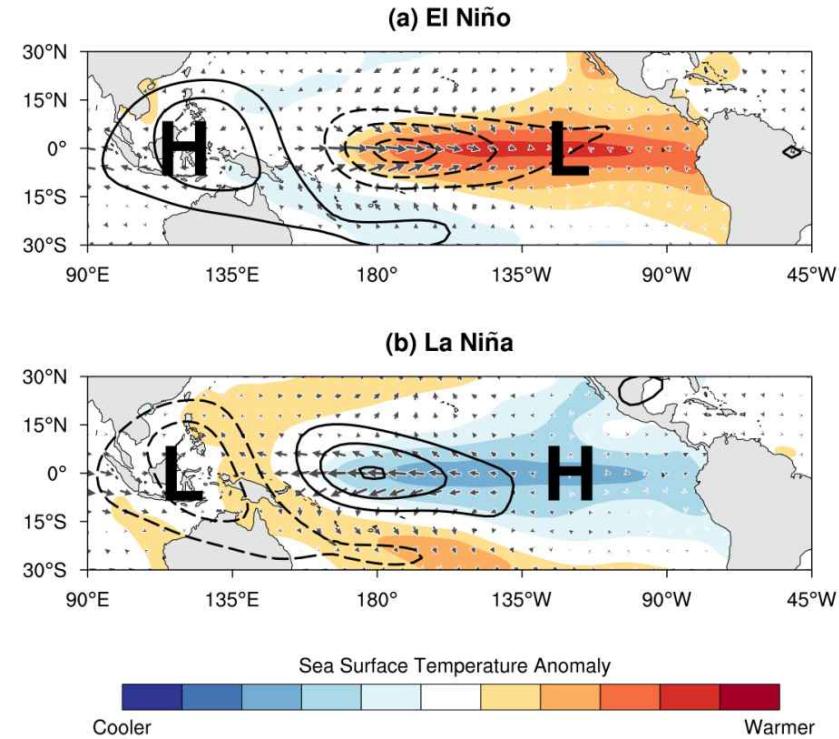
Periode	F10.7	Amplitude de crêtes		Latitude de crêtes		Temps d'occurrence	
		Nord	Sud	Nord	Sud	Nord	Sud
15 jours		O	O	O	O	O	O
27 jours	O	O	O	No	No	No	No
3-4 mois	Compliqué	o	o	o	o	o	o
Semi-anuelle		O	O	O	O	O	O
10-11 mois		o	o	o	o	o	o
Annuelle		O	O	O	O	O	O
~403 jours		No	No	o	o	o	o
QBO	29.5 mois	O	O	O	O	O	O
11 ans et harmoniques	O	O	O	O	O	O	O

El Niño et La Niña (ENSO)

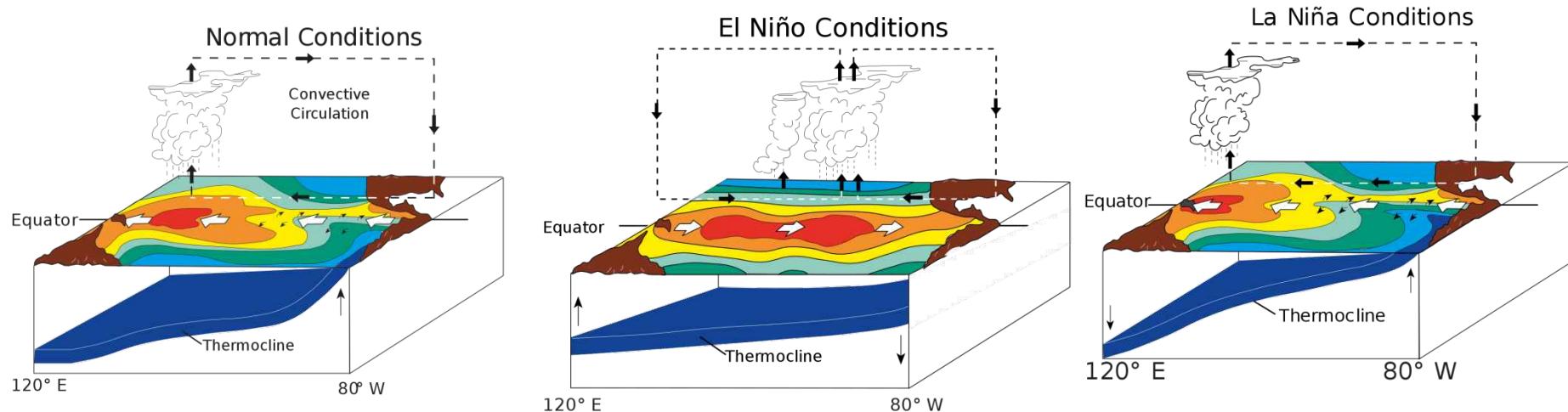
El Niño et La Niña sont les phases chaudes et froides d'un modèle climatique récurrent dans le Pacifique tropical, El Niño-Oscillation australe, ou « ENSO » en abrégé.

L'oscillation australe est la composante atmosphérique qui l'accompagne, couplée au changement de température de la mer : El Niño

s'accompagne d'une pression atmosphérique élevée à la surface dans le Pacifique occidental tropical et La Niña avec une faible pression atmosphérique à la surface là-bas.



El Niño et La Niña (ENSO)



Les deux phases concernent la circulation de Walker, qui a été découverte par Gilbert Walker au début du XXe siècle. La circulation de Walker est causée par la force du gradient de pression qui résulte d'une zone de haute pression sur l'est de l'océan Pacifique et d'un système de basse pression sur l'Indonésie.

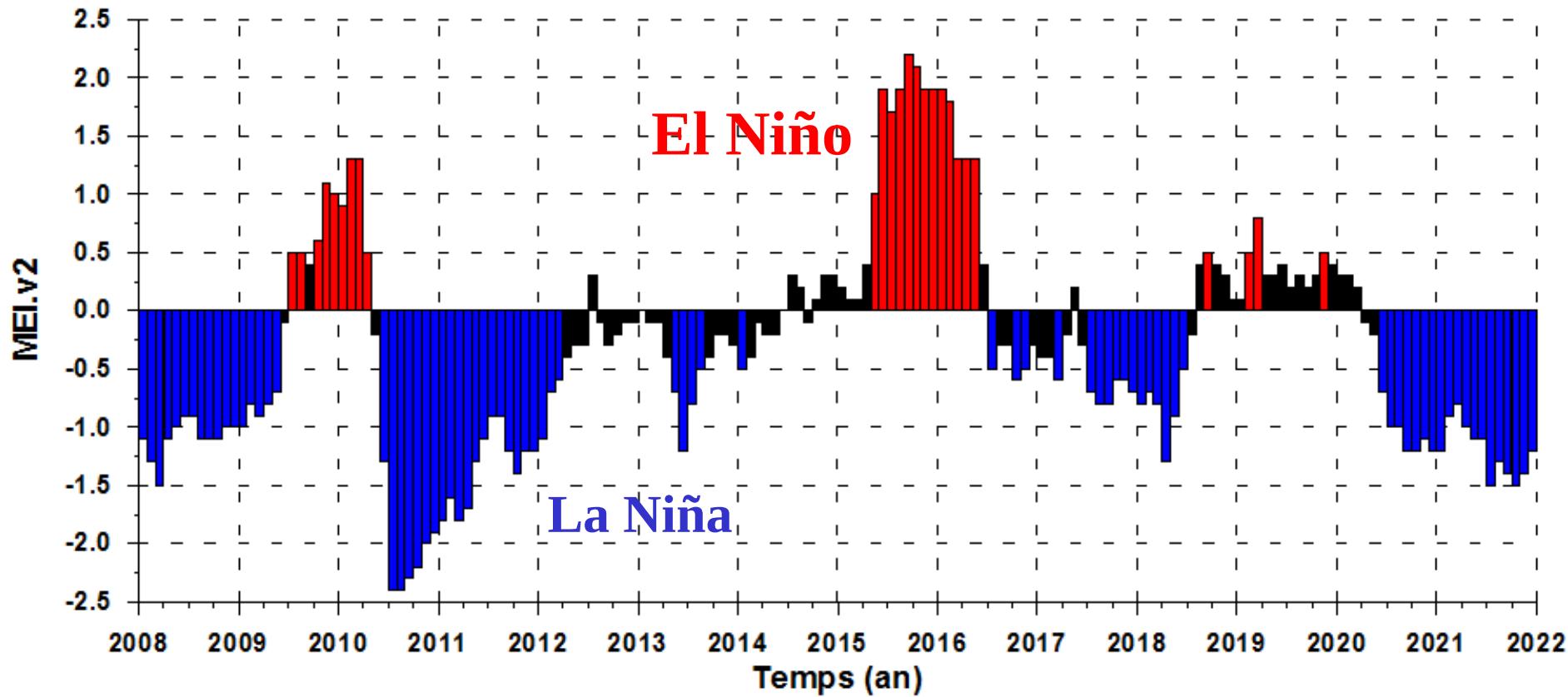
L'affaiblissement ou l'inversion de la circulation de Walker diminue ou élimine la remontée d'eau froide de la mer profonde, créant ainsi El Niño en faisant en sorte que la surface de l'océan atteigne des températures supérieures à la moyenne.

Une circulation de Walker particulièrement forte provoque La Niña, entraînant des températures océaniques plus fraîches en raison de l'augmentation des remontées d'eau.

Multivariate ENSO Index (MEI)

- El Niño/Southern Oscillation is caractérisée par “Multivariate ENSO Index, version 2 – MEI.v2”, <https://psl.noaa.gov/enso/mei/>.
- L'indice bimensuel MEI.v2 est la série temporelle de la principale fonction orthogonale empirique (EOF) combinée de **cinq variables différentes (pression au niveau de la mer (SLP), température à la surface de la mer (SST), composantes zonales et méridiennes du vent de surface et rayonnement sortant à ondes longues (OLR)) sur le bassin tropical du Pacifique (30°S-30°N et 100°E-70°W).**
- Les EOF sont calculés pour 12 "saisons" bimensuelles qui se chevauchent (décembre-janvier, janvier-février, fév-mars,..., nov-décembre) afin de prendre en compte la saisonnalité d'ENSO et de réduire les effets de la variabilité intrasaisonnière de haute fréquence.

Multivariate ENSO Index (MEI)



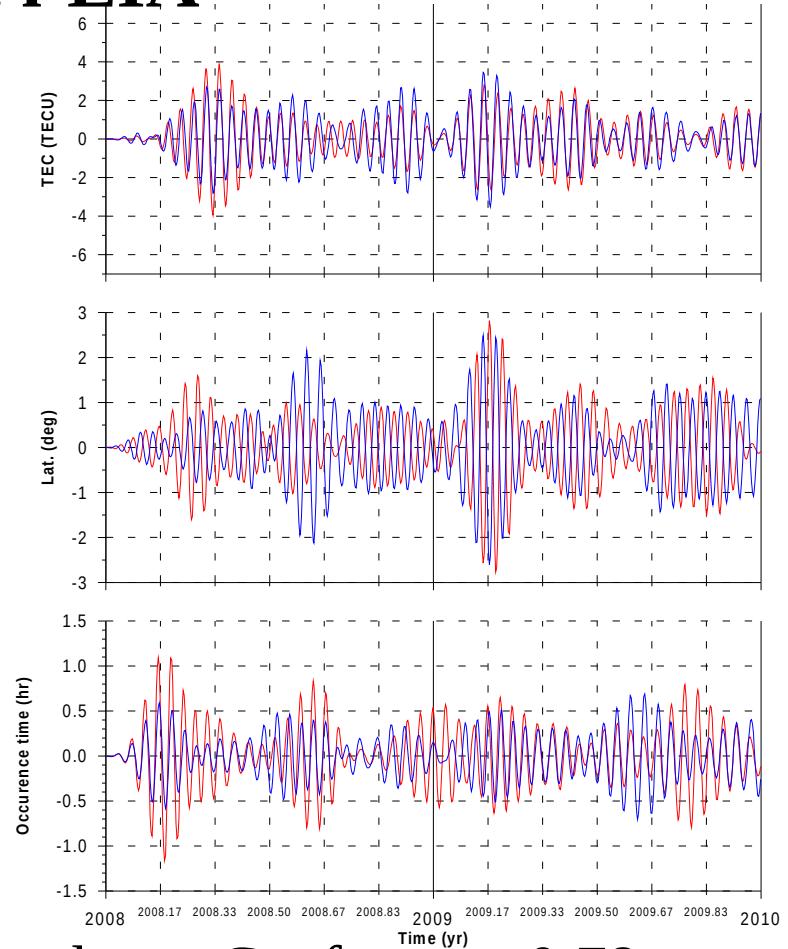
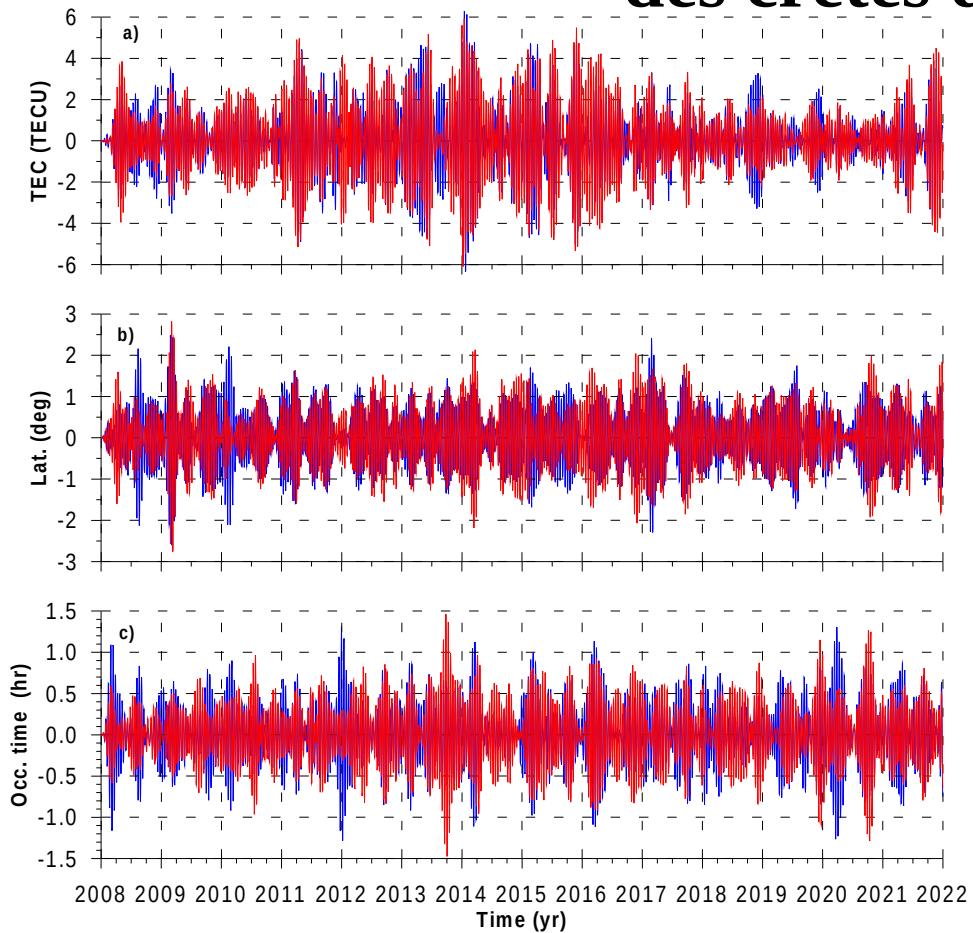
$\text{MEI} \geq 0.5 \rightarrow \text{El Niño (warm phase)}$ $\text{MEI} \leq -0.5 \rightarrow \text{La Niña (cold phase)}$

$-0.5 < \text{MEI} < 0.5$ Neutral phase

Oscillations des périodes différentes des crêtes Nord et Sud

- Calculer la moyenne mobile de données observationnelles avec largeur de fenêtre glissante correspondant à la période d'oscillation à décomposer (15 jours, 27 jours, 6 mois, 1 ans).
- résidu = données observées – données glissées.
- Appliquer au résidu un band-pass filtre centré sur la période sélectionnée (15 jours, 27 jours, 6 mois, 1 ans), la largeur de bande est choisie de manière appropriée pour couvrir le pic spectral à la période souhaitée.

Oscillations de 15 jours période des crêtes de l'EIA



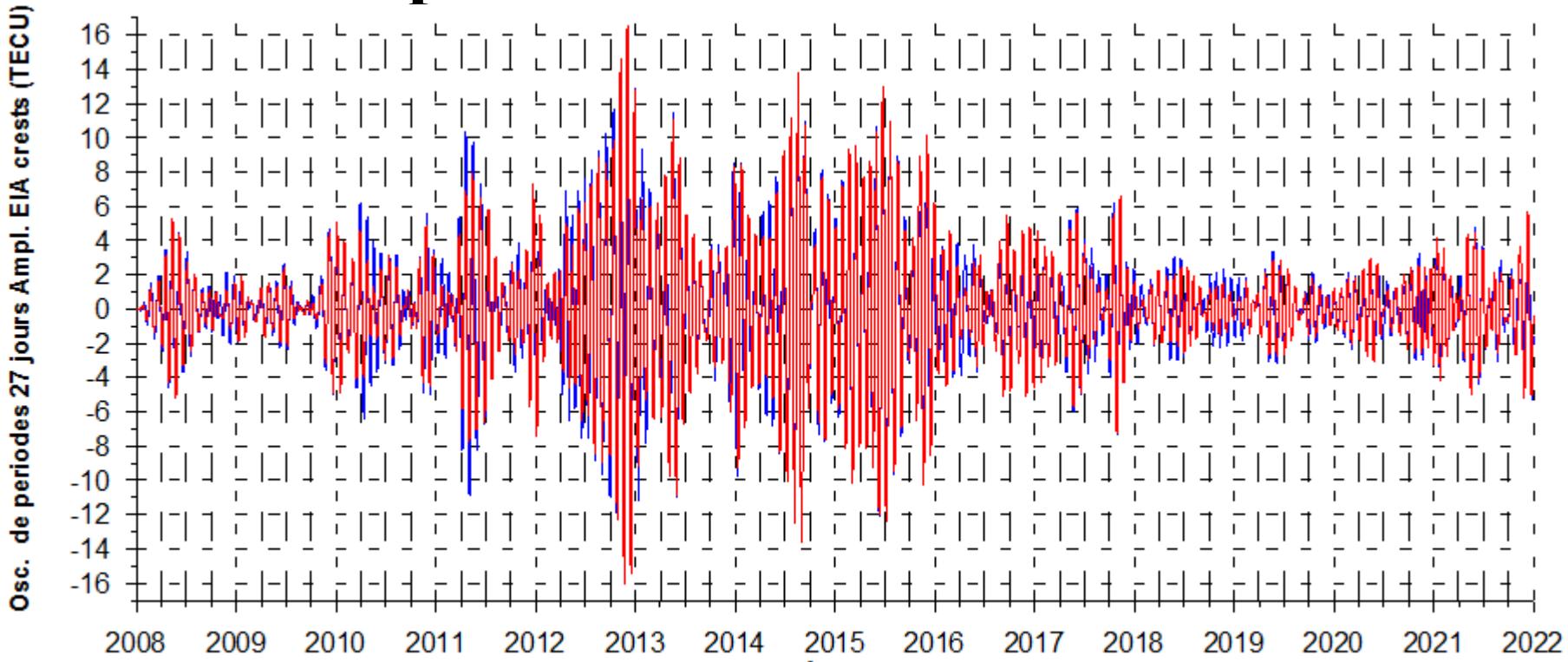
TEC amplitudes de deux crêtes: en-phase, Coef. corr.: 0.78

Latitudes de deux crêtes: anti-phase, Coef. corr. -0.82

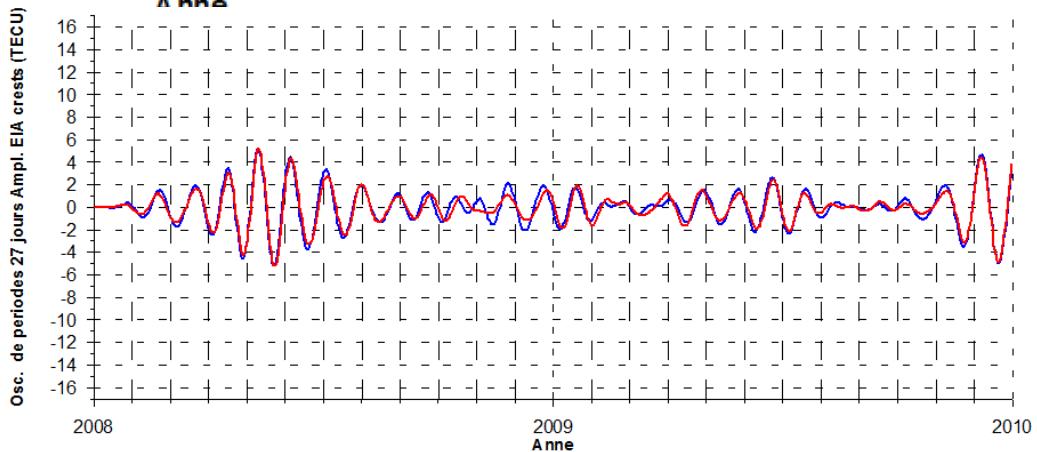
Temps d'Occurrence: en-phase, Coef. corr: 0.74.

Source: Onde planétaire de troposphère.

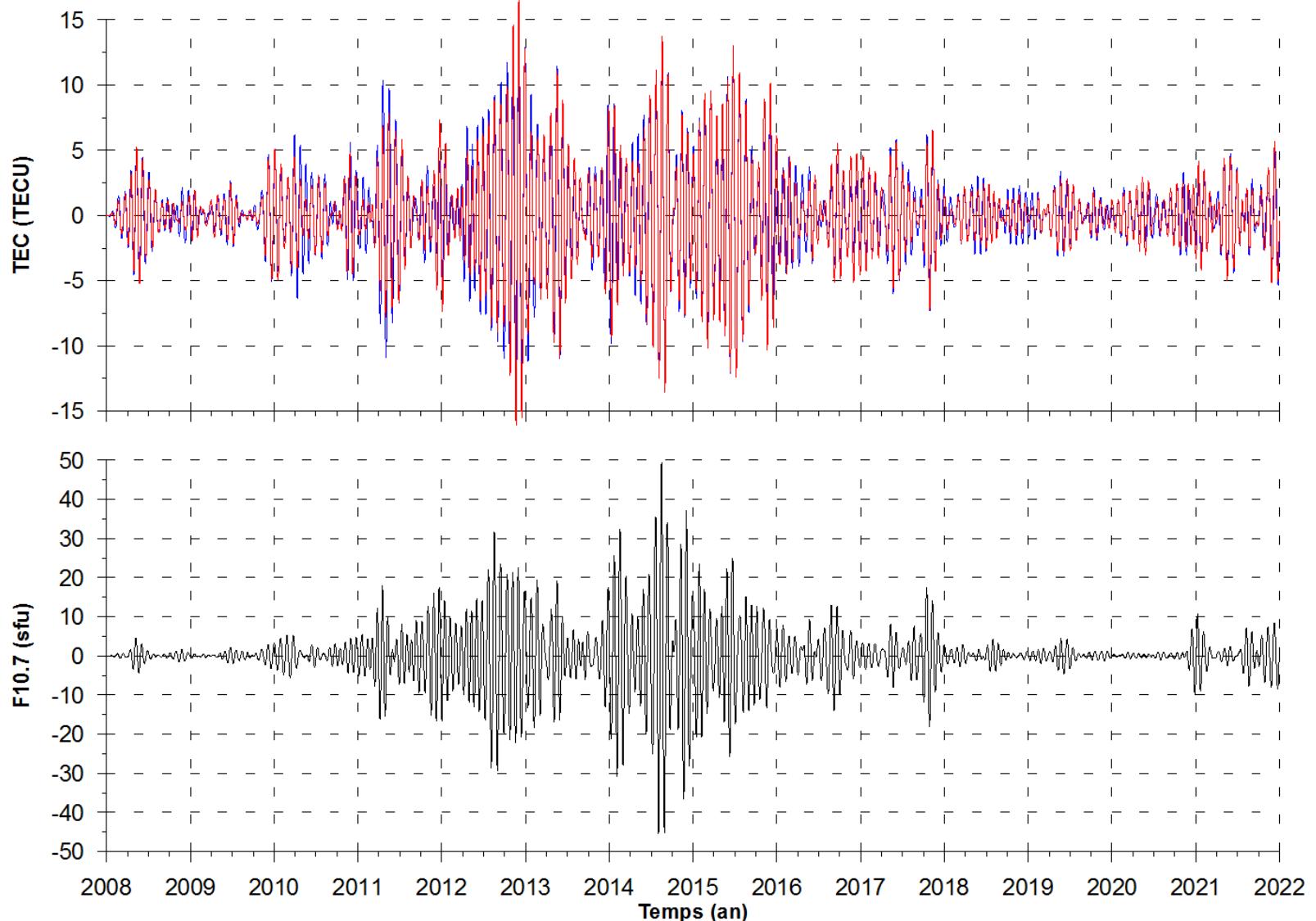
Oscillations de la période 27 jours de l'amplitude des crêtes de l' EIA



Les fluctuations pour les crêtes nord et sud sont presque identiques.



Oscillations de la période 27 jours de l'amplitude des crêtes de l'EIA et du flux solaire F10.7 de 2008-2021



Cor. entre amp. des crêtes de l'EIA et F10.7: 0.73 pour Nord, 0.69 pour Sud

Oscillations pour la période 27 jours de l'amplitude des crêtes de l'EIA

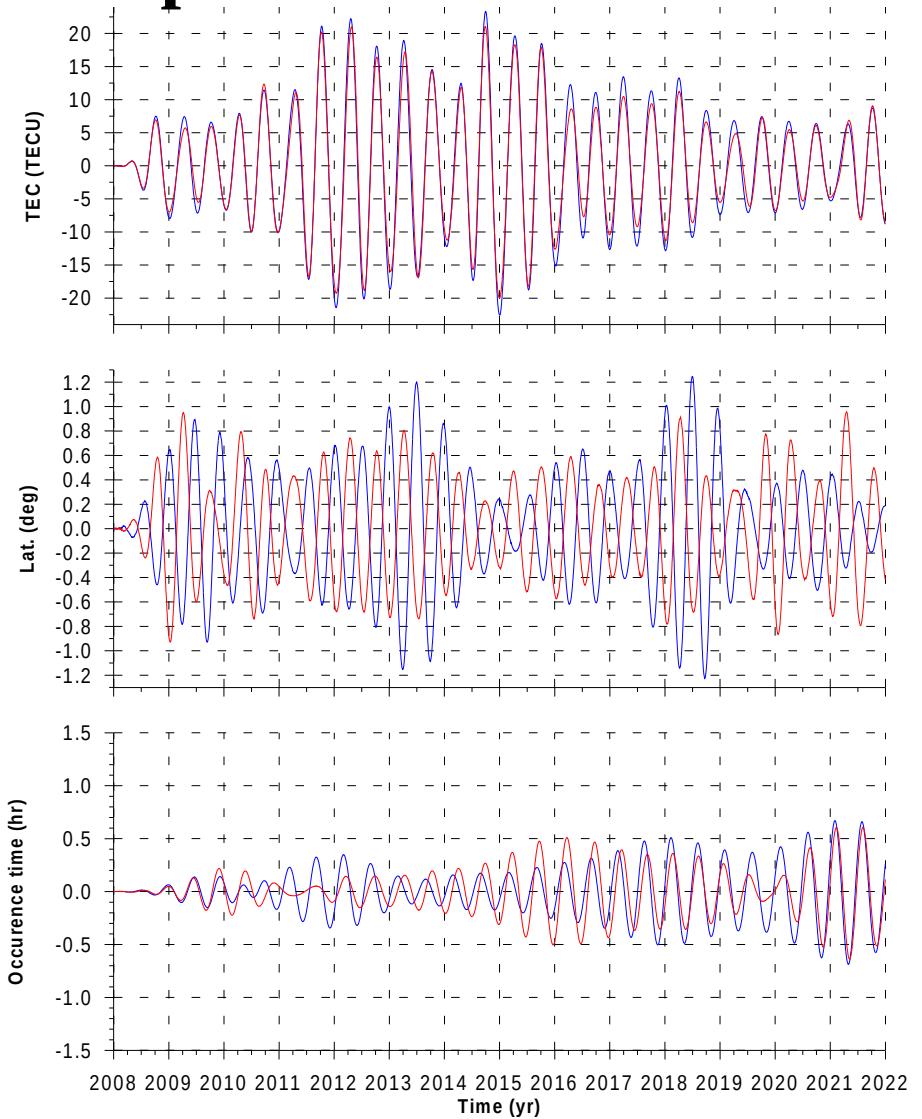
- Bonne corrélation entre oscillations de la période 27 jours de l'amplitude des crêtes de l'EIA et du flux solaire F10.7 : 0.73 pour la crête Nord, 0.69 pour la crête Sud.
- Leur amplitudes et phases sont presque identiques pour les deux crêtes.
- Leur amplitude dépend de l'activité solaire; l'activité solaire est forte, l'amplitude d'oscillation de 27 jours des crêtes est grande et vice versa.
- Les oscillations de période 27 jours de l'amplitude TEC sont causées principalement par des oscillations de période de 27 jours de la rotation du Soleil.

Oscillation semi-annuelle des crêtes de l'EIA pour 2008-2021

En-phase, Coef. Corr.: 0.99

Presque anti-phase,
Coef. Corr.: -0.77

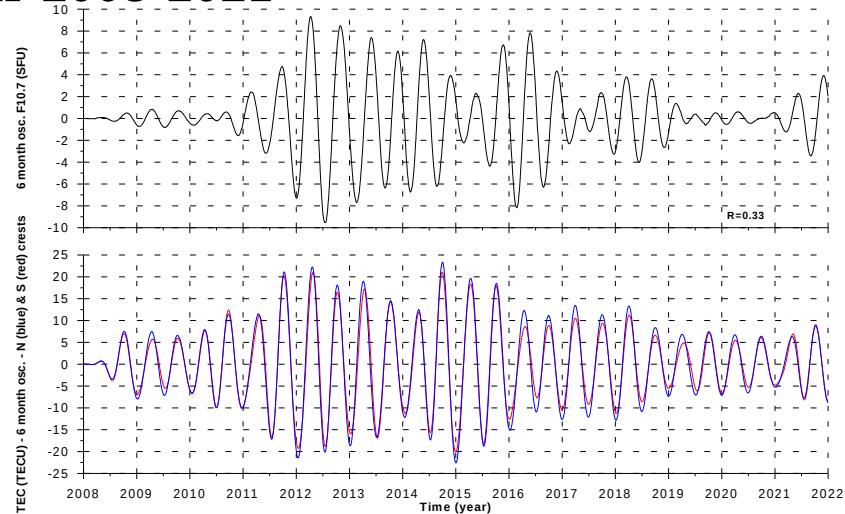
De 1 à 2 mois hors phase
à entièrement en-phase,
Coef. Corr.: 0.75



Oscillation semi-annuelle des crêtes de l'EIA et de F10.7 pour 2008-2021

Coef. Corr.: **0.33**

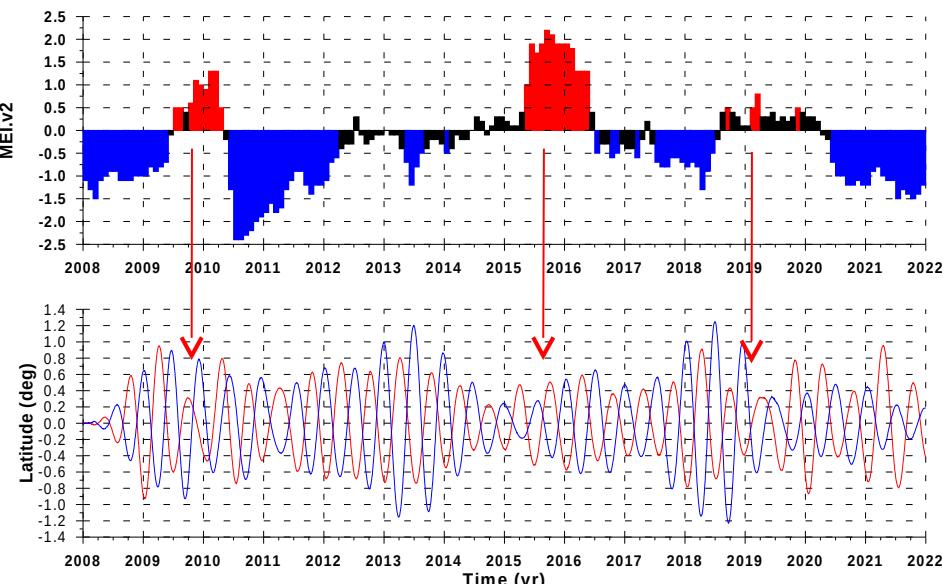
→ Oscillation Semi-annuelle de TEC amplitude de crêtes depende non seulement de activité solaire, mais aussi affectée par d'autres factors



Indice ENSO multivarié version 2 et oscillation semi-annuelle de la latitude des crêtes EIA

Pendant El Niño, l'amplitude de l'oscillation semi-annuelle de latitudes de crête diminue

Les oscillations semi-annuelles de latitudes des crêtes de l'EIA pourraient être influencées par la basse atmosphère.



Oscillations annuelles des crêtes de l'EIA pour 2008-2021

En-phase: Coef. Corr.: 0.96

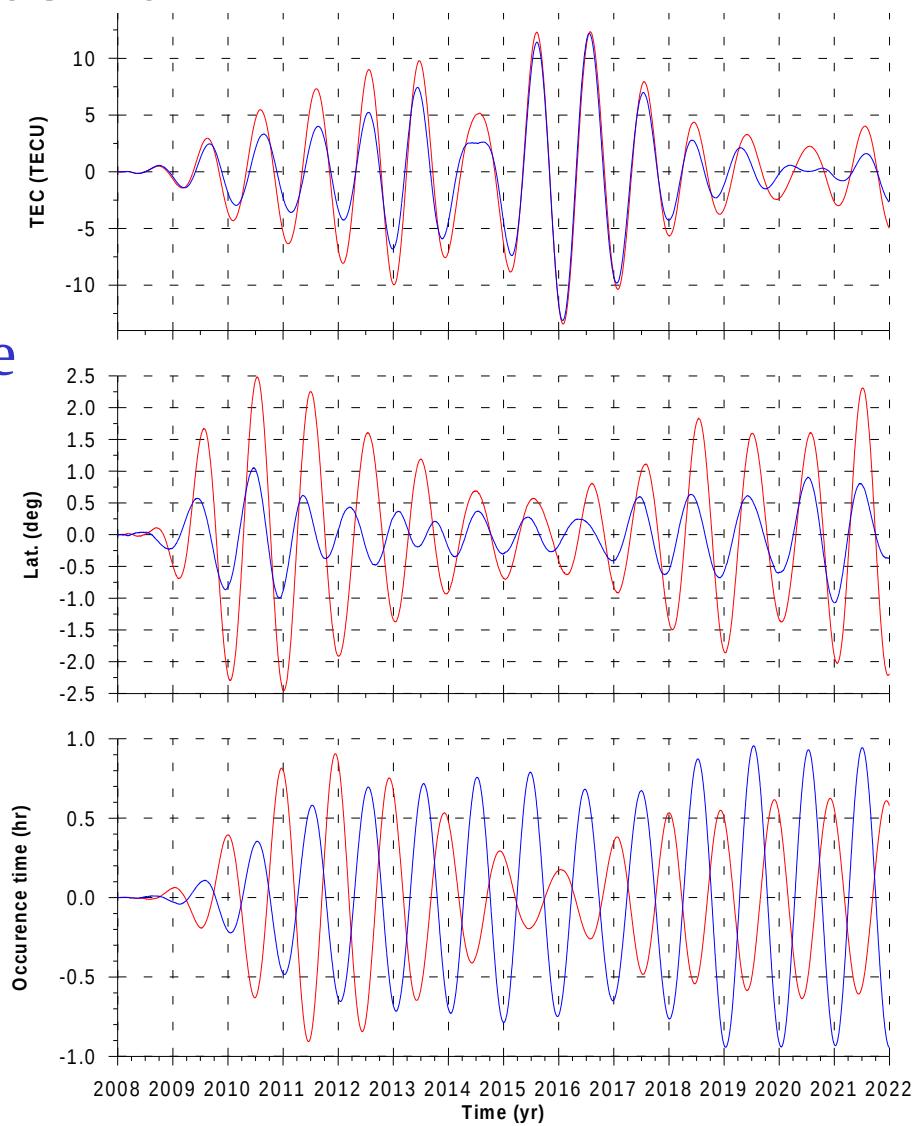
Les oscillations des latitudes de deux crêtes varient de 1 à 6 mois hors phase.

La crête Sud varie plus forte que la crête Nord.

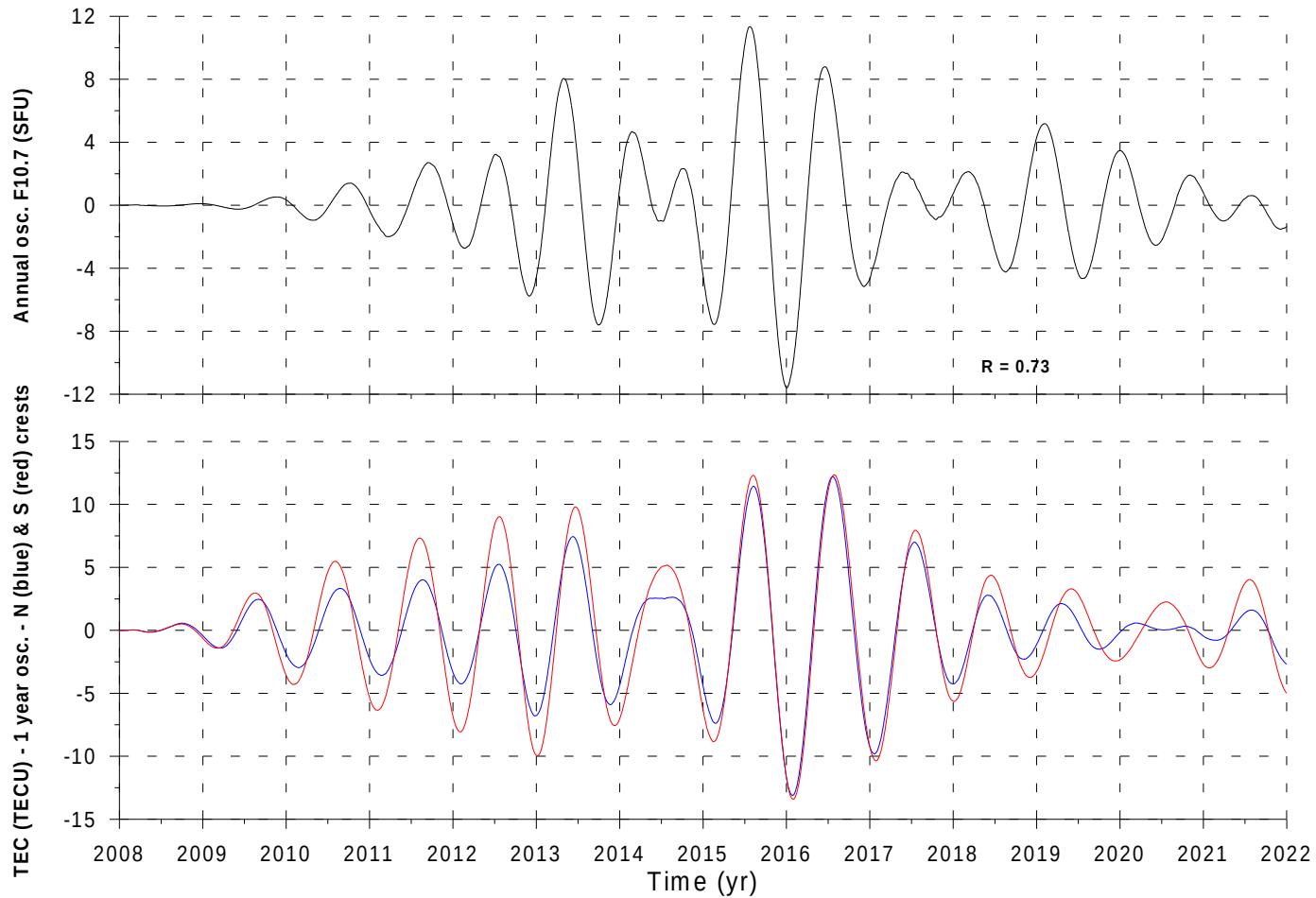
Coef. Corr.: 0.68.

De 1 à 2 mois hors phase à entièrement anti-phase

Coef. Corr: -0.77



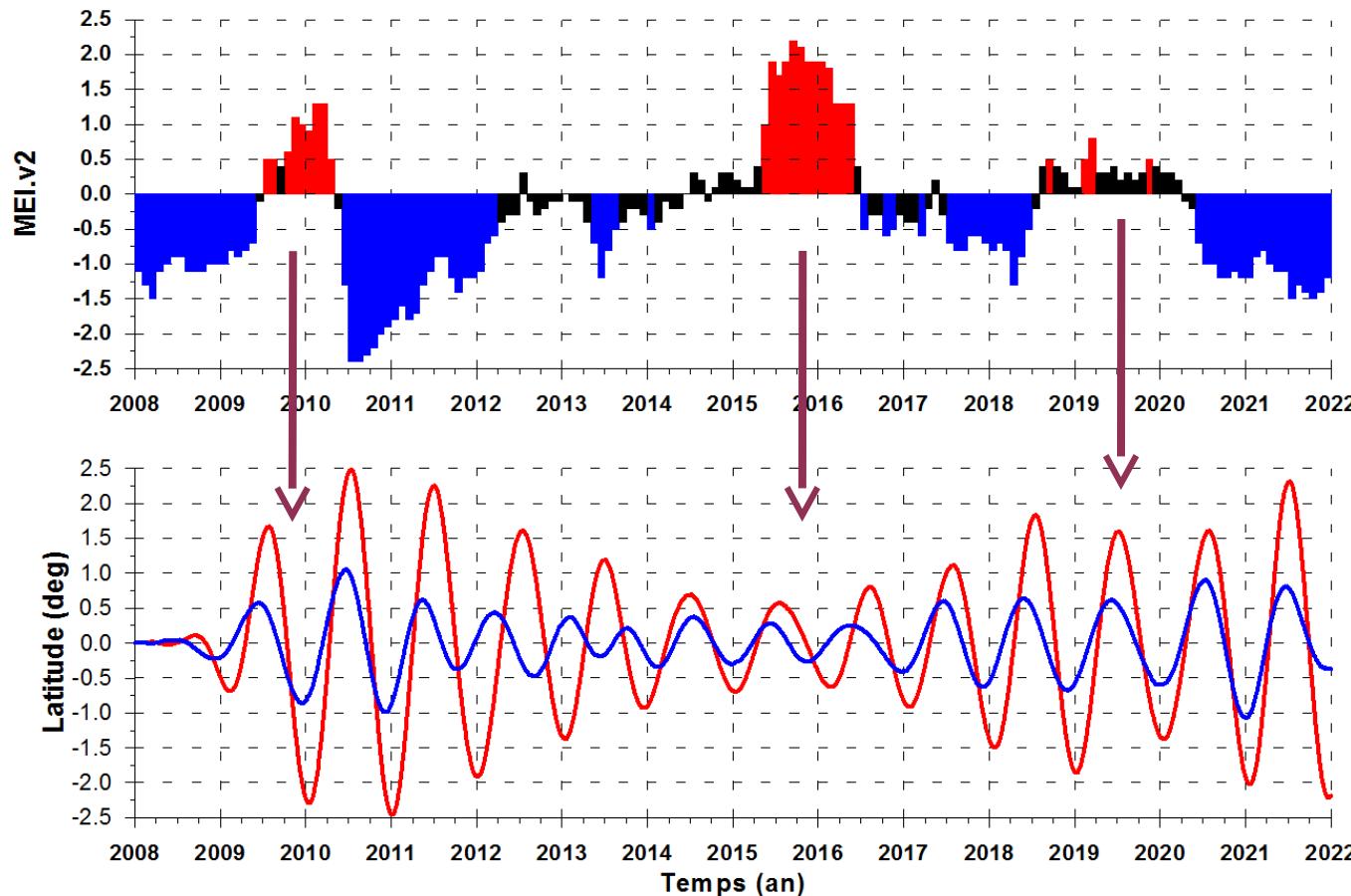
Oscillations annuelles de F10.7 et de TEC amplitude de EIA crêtes



Coef. Corr: 0.73

Oscillation annuelles de l'amplitude TEC de crêtes de l'EIA est principalement influencée par l'activité solaire..

Oscillation annuelle de la latitude de Crêtes de l' EIA et ENSO Indice multivarié



ENSO a un effet direct sur l'amplitude de l'oscillation annuelle des latitude des crêtes, en particulier, celle de crête Sud, qui est sur l'Indonésie. L'intensité de La Niña est plus forte, l'amplitude de l'oscillation annuelle de latitude des crêtes est plus large, au contraire avec El Niño.

Stratosphère Oscillation Quasi-Biennale (SQBO) et Oscillation Quasi-Biennale de l'amplitude des crêtes EIA (Ionosphère QBO)

Séparation de signaux de QBO ionosphérique

- Les variations d'amplitude des crêtes partagent les mêmes périodes caractéristiques que celles des activités solaires.
- Ainsi, afin d'éliminer l'impact des activités solaires, nous avons modélisé le cycle solaire de 11 ans comme un polynôme du second ordre, et les périodes de 6 et 12 mois comme une sinusoïde et avons obtenu l'équation de régression pour l'intensité de crêtes:

Séparation des signaux de QBO ionosphérique

$$I_C^{(N,S)f} = A_0 + A_1 F_{10.7}(t) + A_2 F_{1.7}^2(t) + (B_0 + B_1 F_{10.7}(t)) \sin\left(\frac{2\pi t}{T_1} + \theta_1\right) + (C_0 + C_1 F_{10.7}(t)) \sin\left(\frac{2\pi t}{T_2} + \theta_2\right)$$

où T_1 et T_2 représentent la variation saisonnière avec des périodes de 6 mois et 12 mois, respectivement;

θ_1 et θ_2 représentent respectivement les phases de l'oscillation annuelle et de l'oscillation semi-annuelle ;

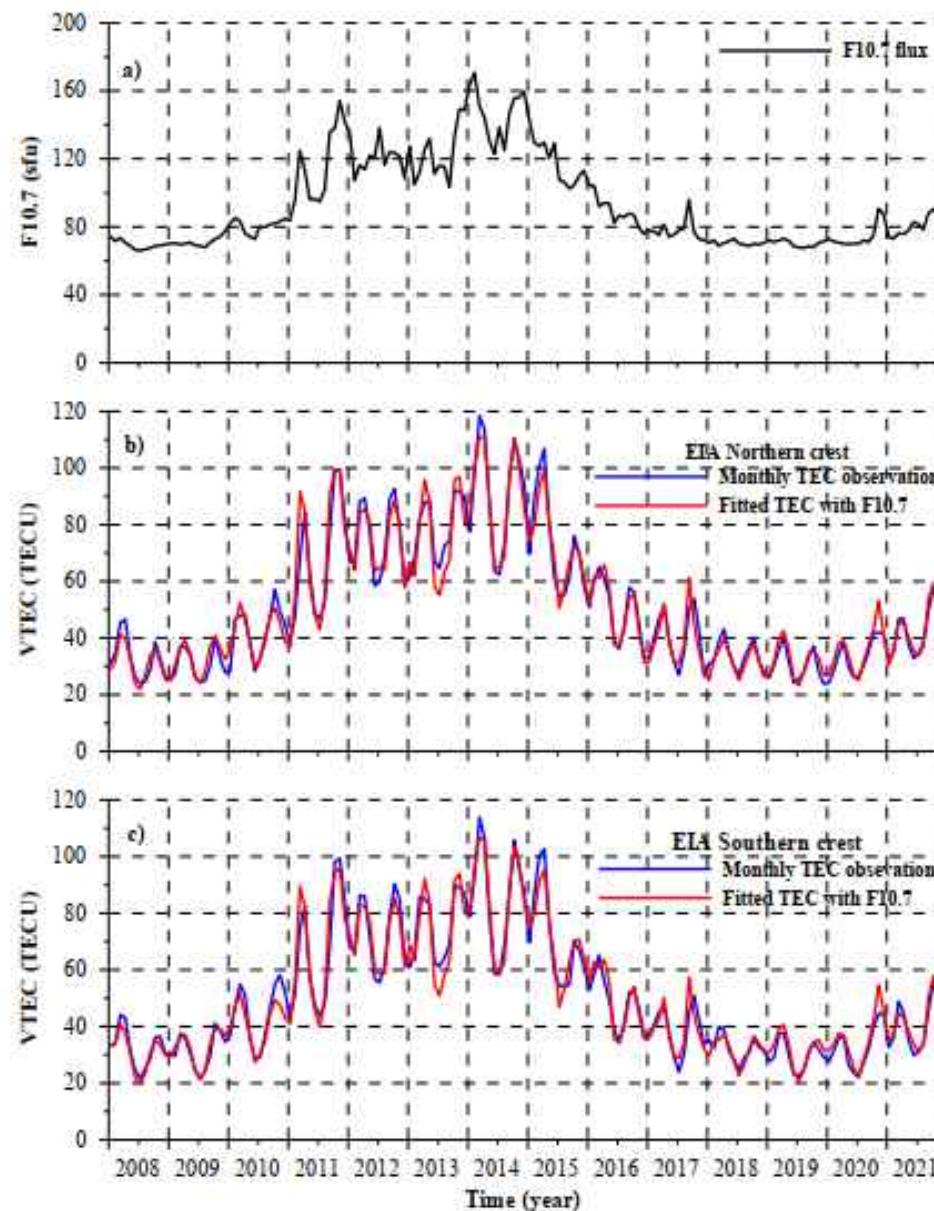
A_i , B_i et C_i sont des coefficients de régression calculés par la méthode des moindres carrés.

Les coefficients de régression calculés et $F_{10.7}$ moyenne mensuelle connue, → obtenir des courbes $I_C^{(N,S)f}$ qui ont été ajustées avec les valeurs observées $I_C^{(N,S)}$

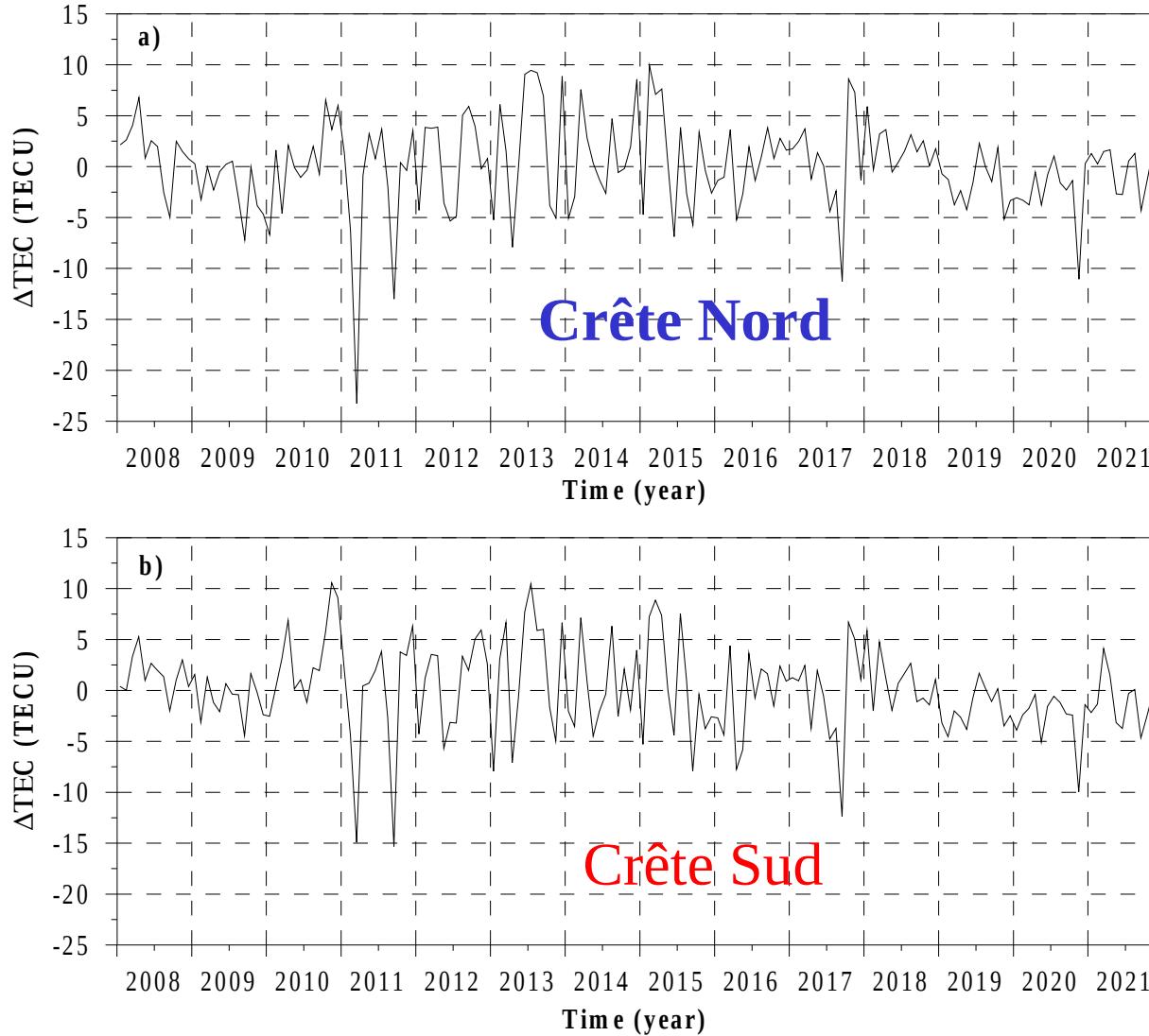
Séparation des signaux de QBO ionosphérique

- Le signal QBO ionosphérique sera obtenu à partir des résidus entre $I_C^{(N,S)}$ observé et $I_C^{(N,S)f}$ ajusté.
- Les résidus ΔTEC sont analysés par les méthodes de périodogramme de Lomb-Scarge → Trouver les périodes dans la gamme QBO.

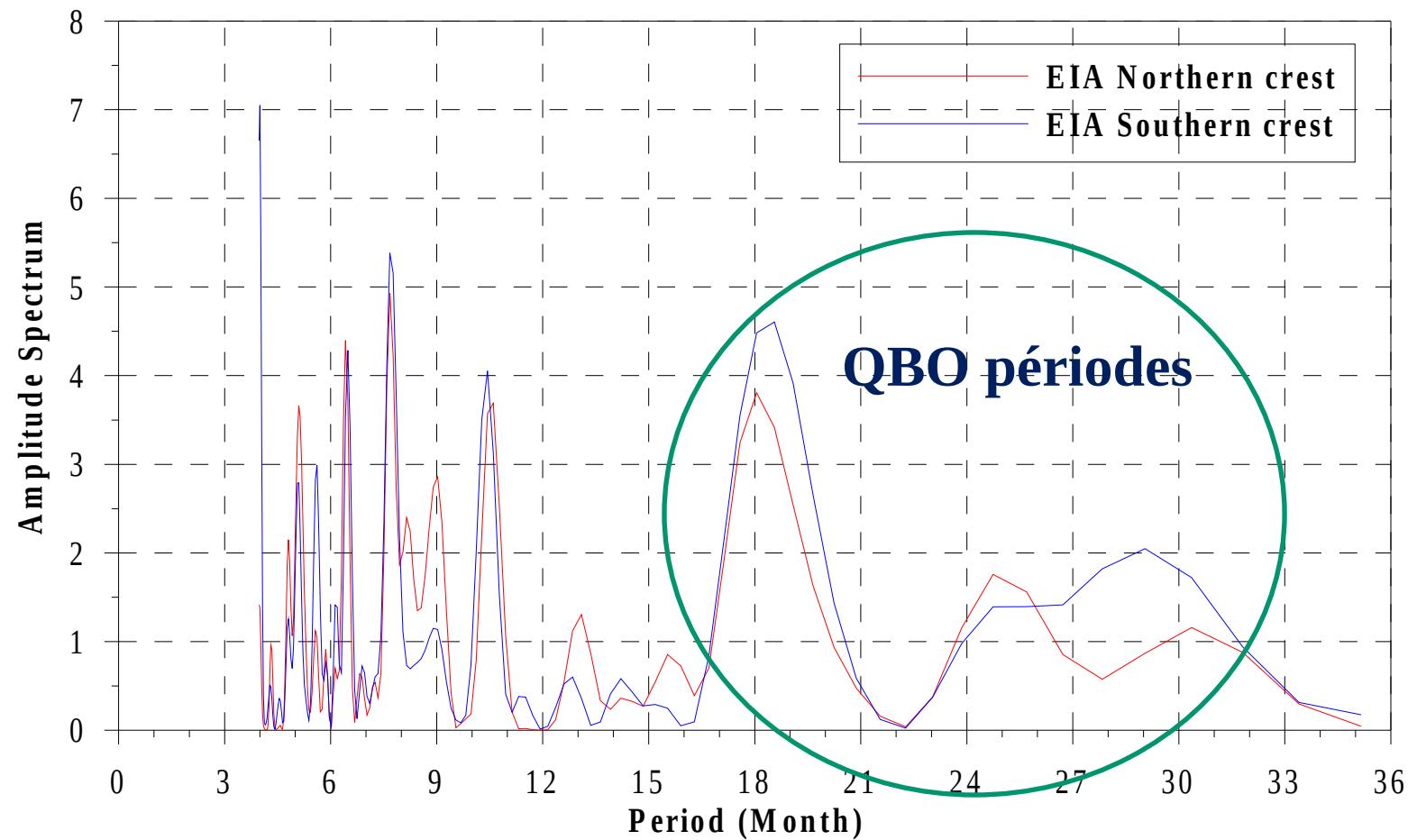
a) Monthly mean solar flux at F10.7 cm; Monthly mean TEC amplitude variation (blue line) at two EIA crests and TEC values were fitted by a polynomial with parameter F10.7 (red line) in the period from 2008 to 2021 for b) northern crest, c) southern crest



Résidus entre les amplitudes des crêtes observées et celles ajustées



Périodogramme Lomb-Scargle pour les résidus ΔTEC de deux crêtes de l'EIA

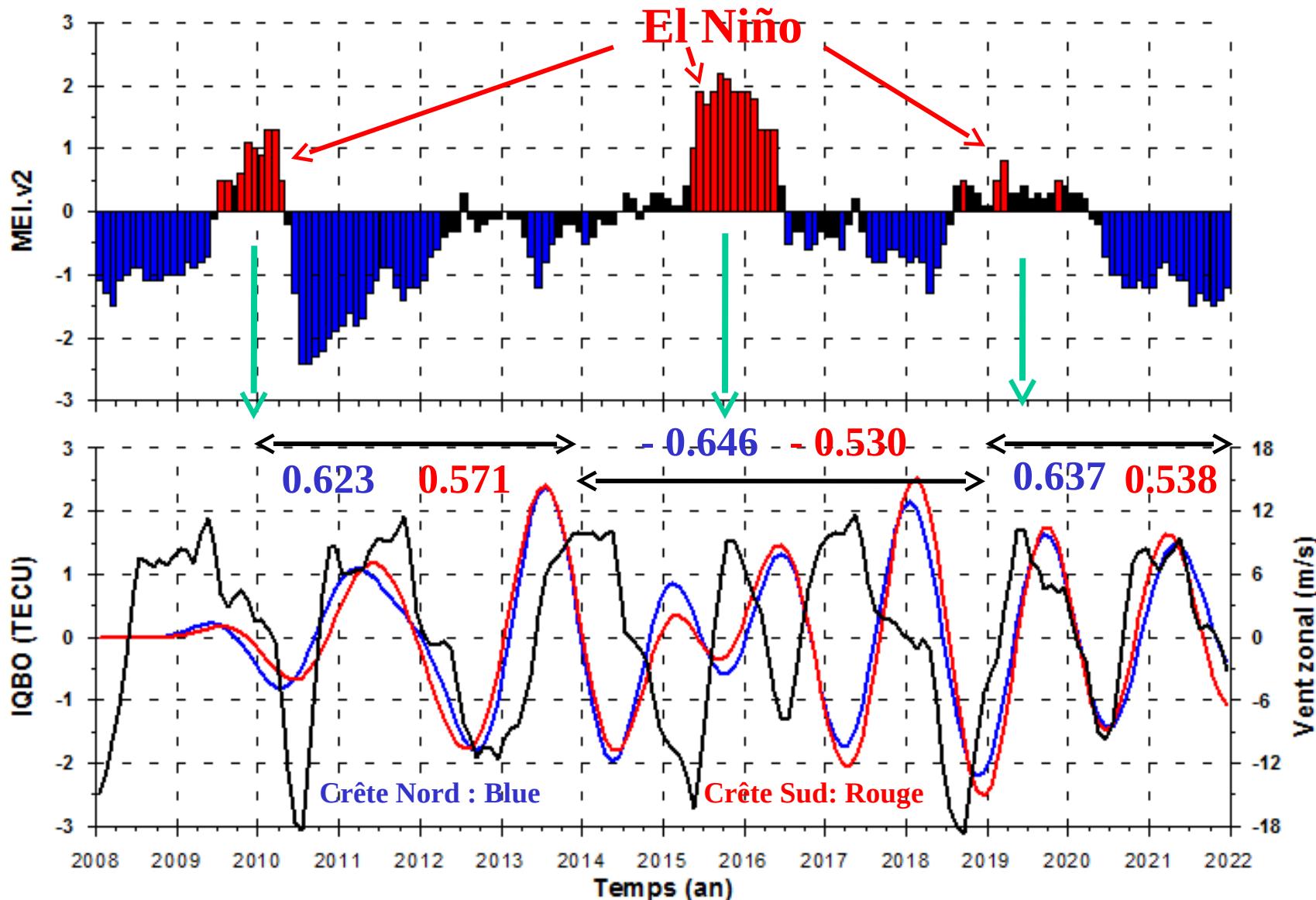


Quelques pics de spectre dans les périodes liées à la stratosphère QBO:
18, 25 et 29-30 mois

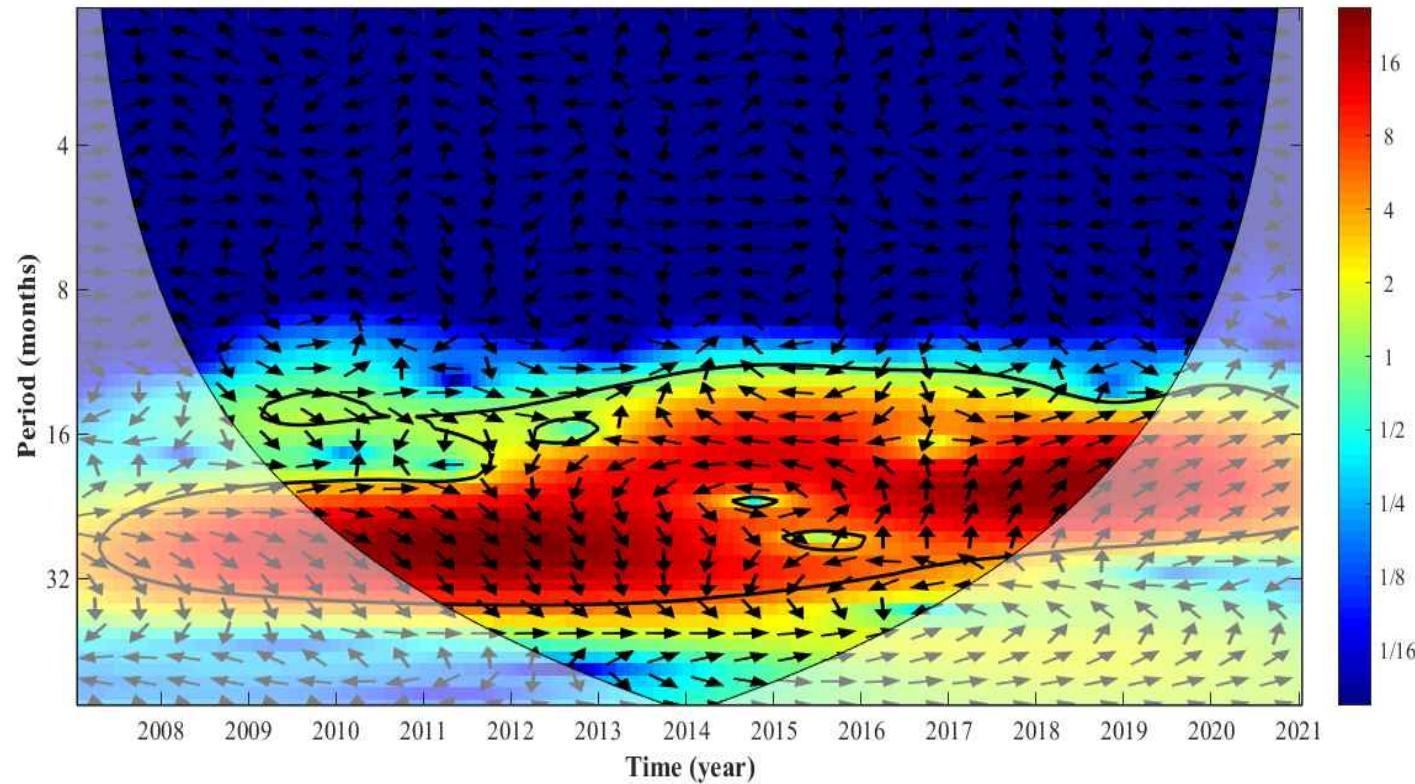
Ionosphère QBO et SQBO

- Utilisation d'un filtre passe-bande centré à 25 mois avec des points de demi-puissance à 17 et 33 mois pour les résidus ΔTEC .
- le SQBO qui est la moyenne zonale de vents à partir des données re-analysées CDAS à 50 hPa (altitude ~ 20 km)
(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>)

Comparaison entre SQBO et IQBO

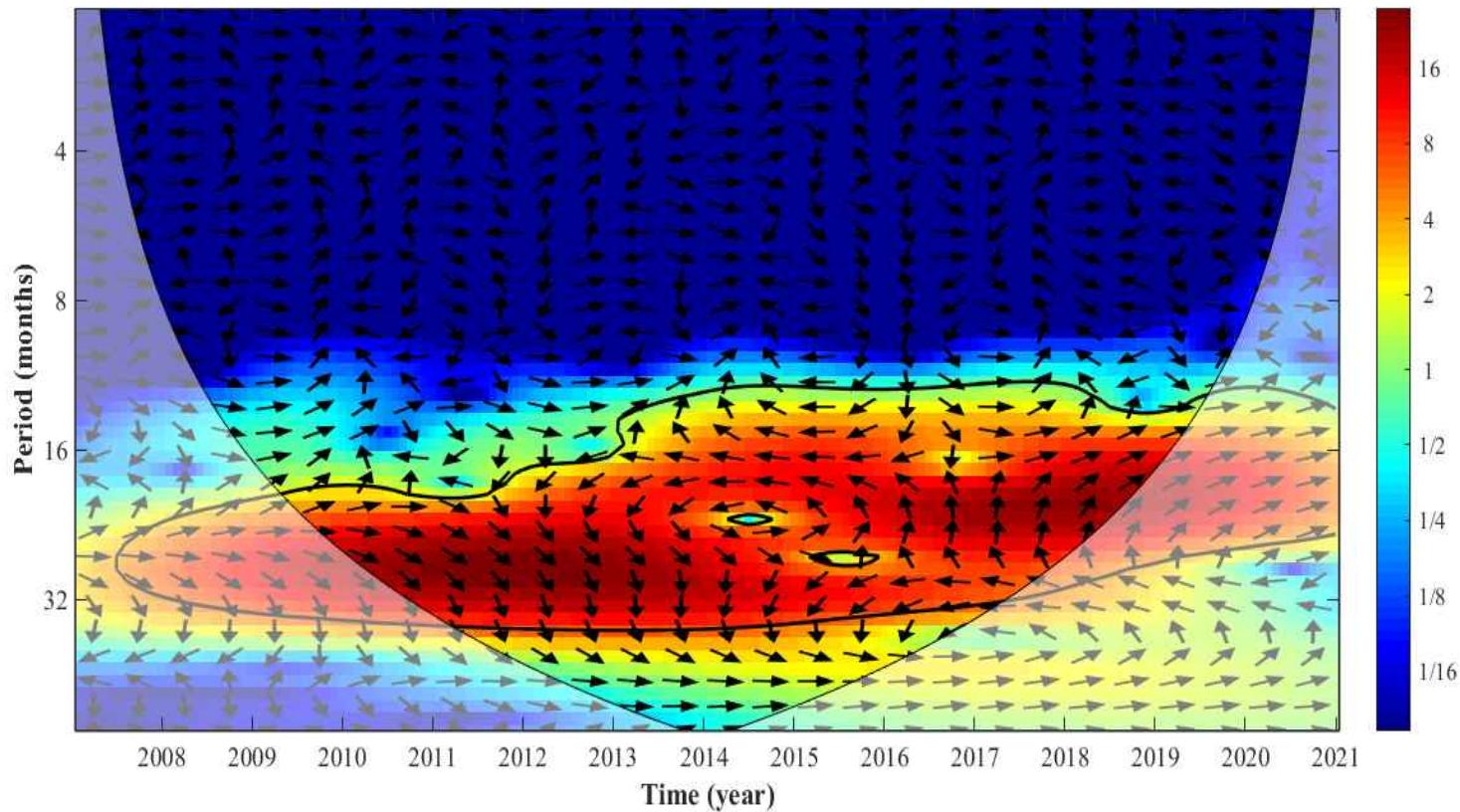


Transformée en ondelettes croisées du QBO ionosphère de la crête nord et du QBO stratosphérique



La confiance de 95 % est représentée par un contour épais ; le cône d'influence (COI) où les effets de bord peuvent déformer l'image est représentée par une teinte plus claire. La relation relative est représentée par des flèches (avec en phase pointant vers la droite, anti-phase pointant vers la gauche).

Transformée en ondelettes croisées du QBO ionosphère de la crête Sud et du QBO stratosphérique



La confiance de 95 % est représentée par un contour épais; le cône d'influence (COI) où les effets de bord peuvent déformer l'image est représenté par une teinte plus claire. La relation relative est représentée par des flèches (avec en phase pointant vers la droite, anti-phase

Remarques

- Les coefficients de corrélation entre SQBO et Ionospheric QBO à deux crêtes en 2010-2013, 2014-2017 et 2018-2021 sont: 0,623, -0,646, 0,637 pour la crête nord, et 0,571, -0,530, 0,538 pour la crête sud, respectivement.
- En 2015-2016, la phase chaude d'ENSO, le QBO stratosphérique, a été raccourcie ; sa période est d'environ 1,5 ans. Nous avons également observé un raccourcissement de la période QBO ionosphérique aux deux crêtes de l'EIA. Le coefficient de corrélation entre la SQBO stratosphérique et la QBO ionosphère est de -0,631 pour la crête nord et de -0,521 pour la crête sud.
- Les résultats de l'analyse en ondelettes croisées entre la SQBO et la QBO ionosphérique aux deux crêtes montrent également qu'à une période de près de 1,5 ans, ils sont en phase en 2010-2013 et 2018-2021 mais anti-phase en 2014-2017.
- SQBO est le principal facteur affectant le QBO ionosphérique à deux crêtes EIA.

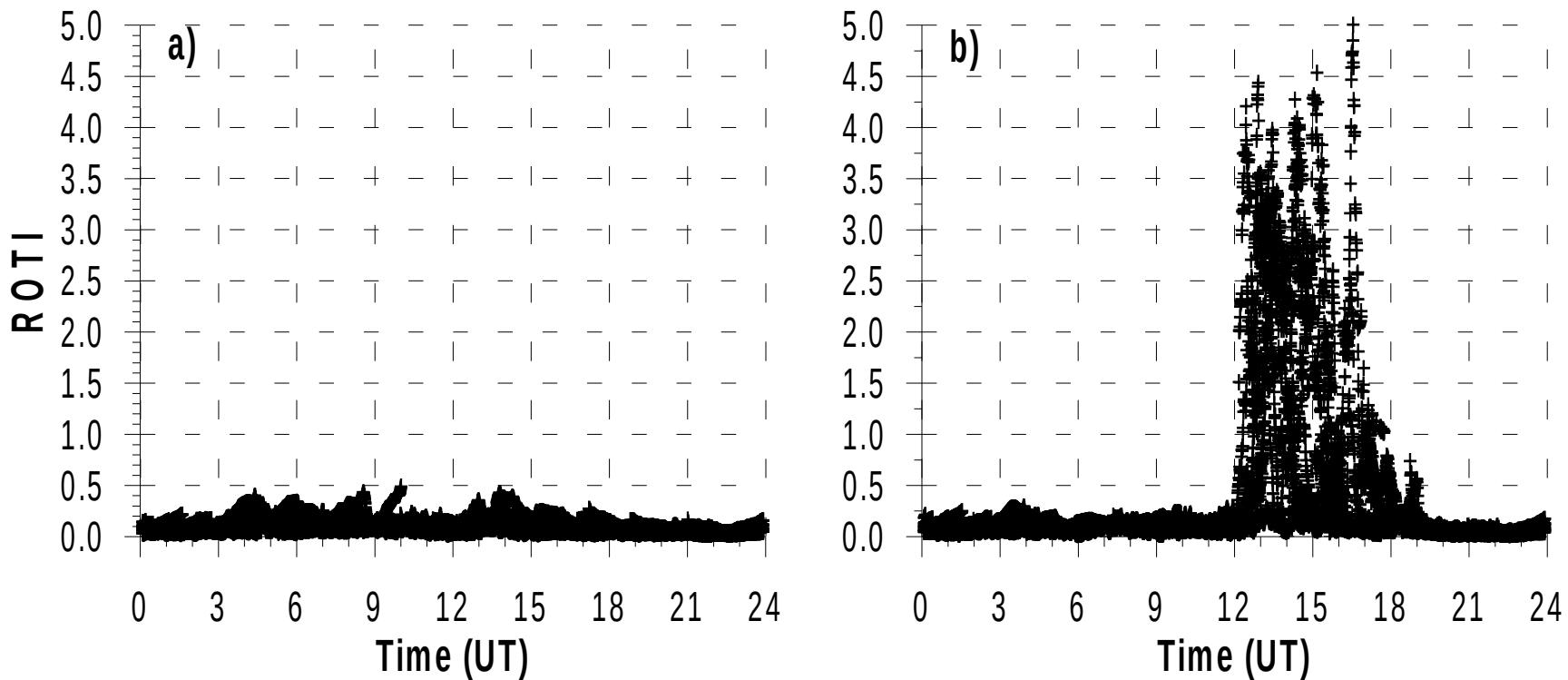
Conclusion générale

- La variation temporelle des crêtes de l'EIA est très complexe. La position de l'EIA chaque jour dépend non seulement de l'activité solaire, du champ magnétique, mais aussi des processus dans la basse atmosphère.
- La recherche sur l'EIA constitue donc un sujet de recherche très important et intéressant pour la communauté des scientifiques géomagnétiques et ionosphériques.

Publication

- Dung Nguyen Thanh, M. Le Huy, C. Amory-Mazaudier, R. Fleury, S. Saito, T. Nguyen Chien, T. Le Truong, H. Pham Thi Thu, T. Nguyen Ha, M. Nguyen Thi, Que Le, **2022**. Ionospheric quasi-biennial oscillation of the TEC amplitude of the equatorial ionization anomaly crests from continuous GPS data in the Southeast Asian region, *Vietnam Journal of Earth Sciences*, **45(1)**, 1-18.

Irrégularités ionosphériques



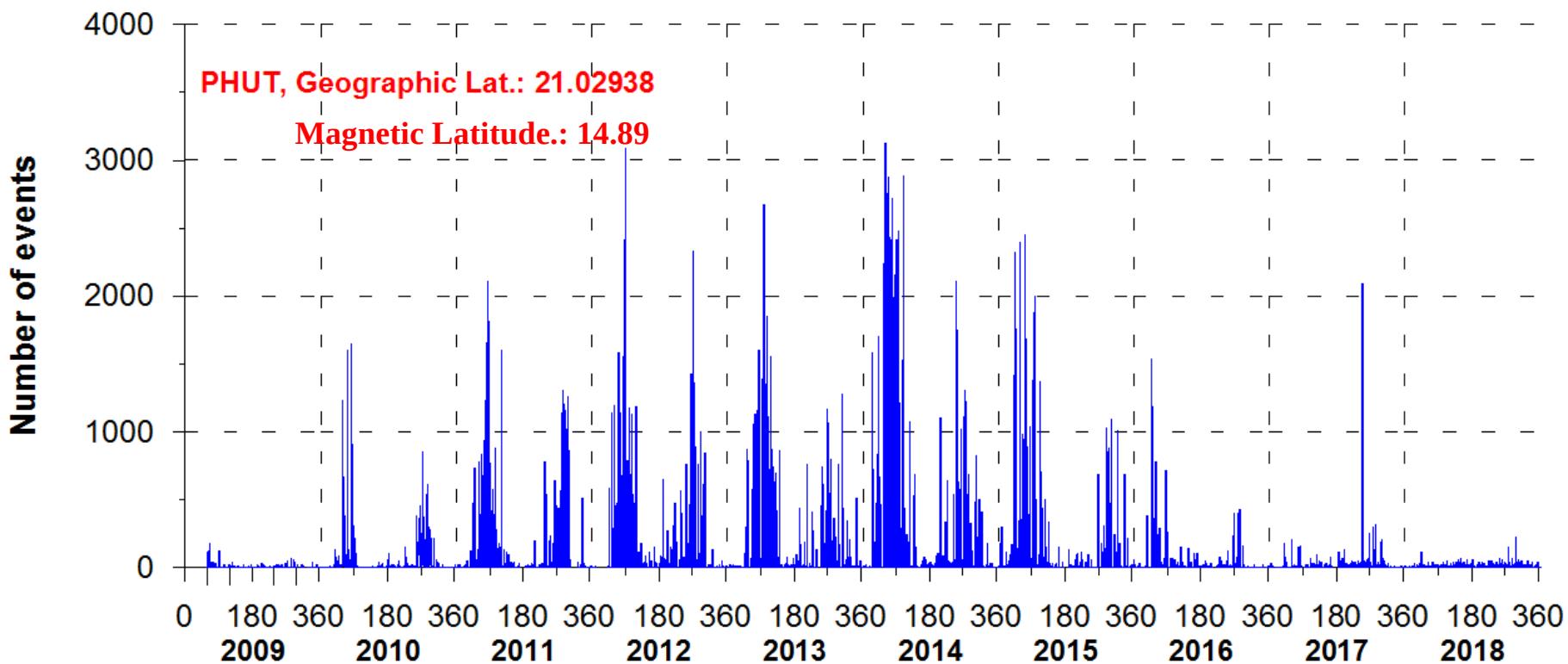
ROTI calculé à partir des données de la station GPS Muong Te

a) Le jour sans scintillations 11 mars 2015

b) Le jour avec scintillations du 12 mars 2015

ROTI > 0,5 révèle la présence des irrégularités ionosphériques à l'échelle de quelques kilomètres ou plus.

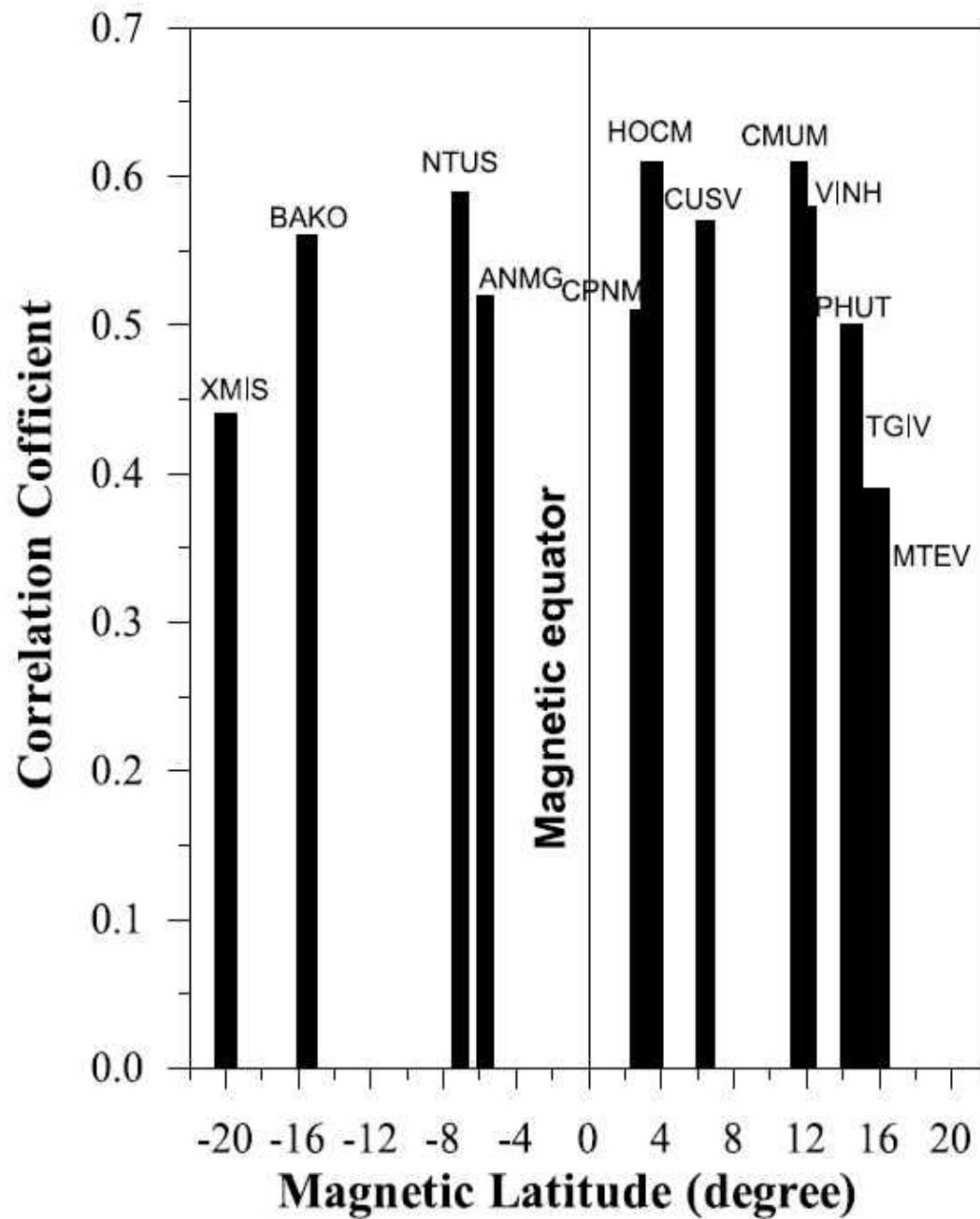
Variation jour-à-jour de l'occurrence des irrégularités ionosphériques (ROTI>0,5) à Phu Thuy pour 2008-2018



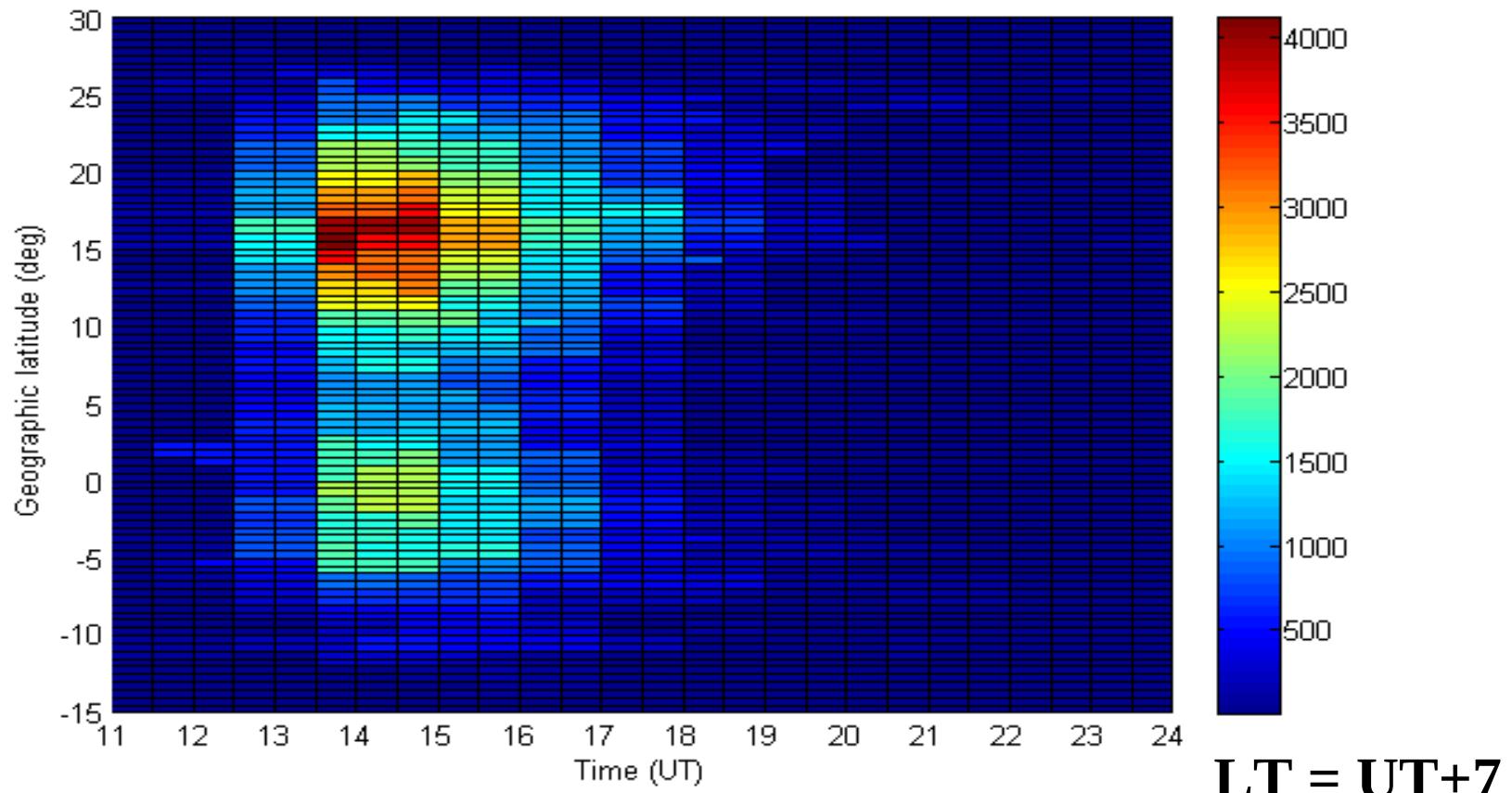
L'occurrence des irrégularités ionosphériques est maximale pendant les équinoxes et minimale pendant les solstices et dépend de l'activité solaire.

Corrélation entre le taux
d'occurrence mensuel des
Irrégularités ionosphériques
et l'indice solaire mensuel
F10.7 à différentes stations

La corrélation est maximale
aux stations près des crêtes

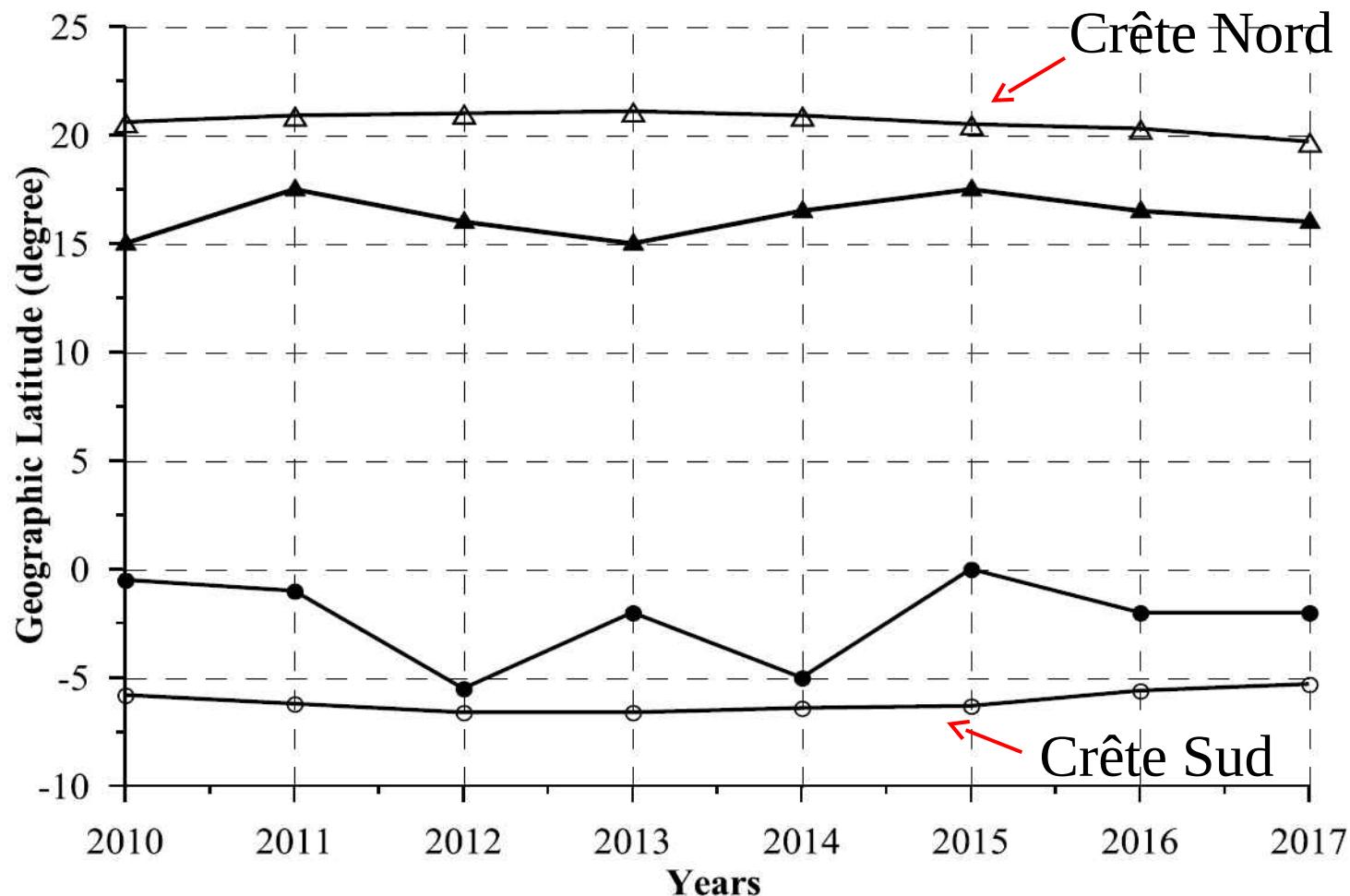


Carte en latitude par rapport au temps universel de ROTI>0,5 pour 2012



Des irrégularités ionosphériques se produisent après le coucher du soleil jusqu'à minuit. L'activité irrégulière est maximale vers 2030-2200 LT.

La latitude géographique de la moyenne annuelle des crêtes de l'EIA et latitude géographique de la position où l'occurrence d'irrégularités ionosphériques est maximale de 2010 à 2017



La concentration de l'activité irrégulière est d'environ 15°N et 0° ,
 5° plus près de l'équateur magnétique que la latitude de la crête

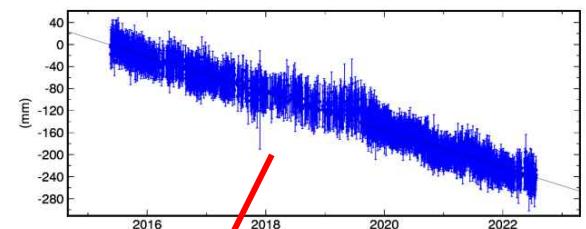
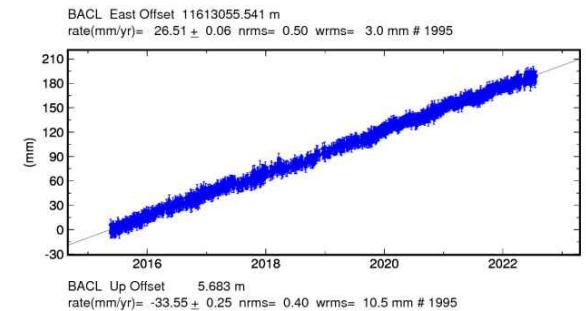
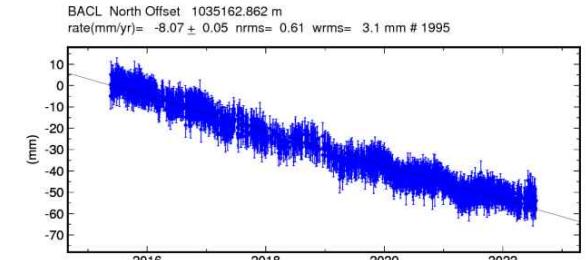
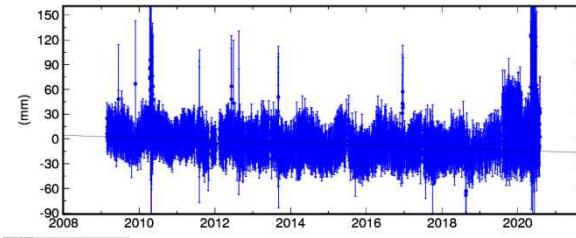
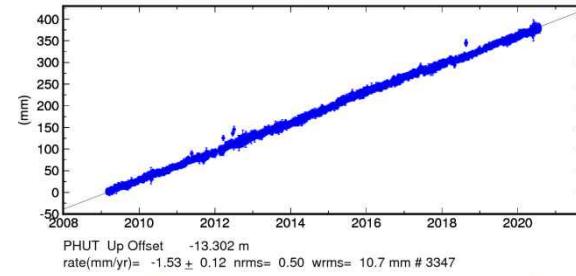
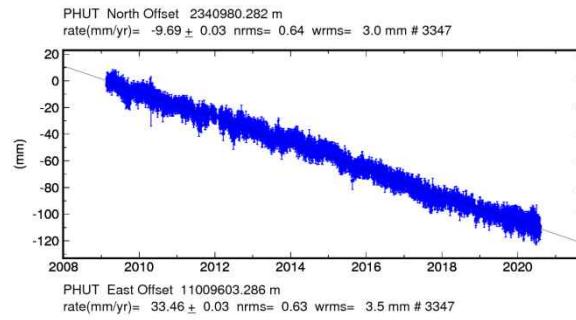
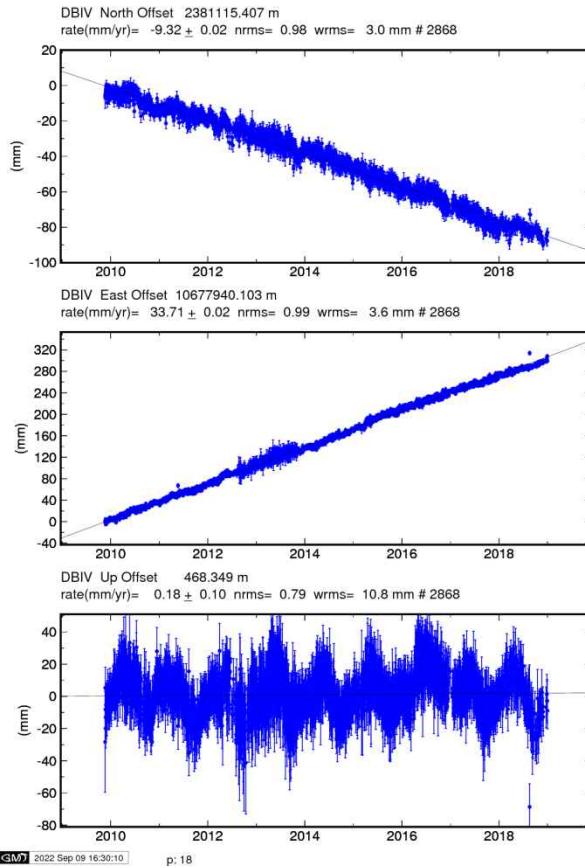
Publications

- Tran Thi Lan and Le Huy Minh, **2011**. Time variations of the total electron content and ionospheric scintillation from the continuous GPS data in Vietnam, *J. Sciences of the Earth* (in Vietnamese), 33(4), 681-689.
- Tran Thi Lan, Le Huy Minh, R. Fleury, Tran Viet Phuong, Nguyen Ha Thanh, **2015**. The occurrence characteristic of ionospheric scintillation over Vietnam region during 2009-2012 period, *Vietnam J. Earth Sciences*, ISSN 0866-7187, 37(3), 264-274.
- Tran Thi Lan, Le Huy Minh, C. Amory-Mazaudier, R. Fleury, **2017**. Climatology of ionospheric scintillation over the Vietnam low-latitude region for the period 2006-2016, *Adv. Space Res.*, 60, 1657-1669.
- Dung Nguyen Thanh, M. Le Huy, C. Amory-Mazaudier, R. Fleury, S. Saito, T. Nguyen Chien, H. Pham Thi Thu, T. Le Truong, M. Nguyen Thi, **2021**. Characterization of ionospheric irregularities over Vietnam and adjacent region for the 2008-2018 period, *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 43(4), 465-484, doi:10.15625/2615-9783/16502.
- Hong Pham Thi Thu, Christine Amory Mazaudier, Minh Le Huy, Susumu Saito, Dung Nguyen Thanh, Ngoc Luong Thi, Hung Luu Viet, Thang Nguyen Chien, Thanh Nguyen Ha, Michi Nishioka, Septi Perwitasari, **2024**. Occurrence rate of equatorial Spread F and GPS ROTI in the ionospheric anomaly region over Vietnam, *Vietnam Journal of Earth Science*, 46(4), 553-569.

Mouvement de la croûte terrestre à partir de données GNSS

- Gratuit Software: GAMIT/GLOBE de **Massachusetts Institute of Technology**, version 10.71.
- PC: 64-bit, Intel Core i7, RAM 16 GB, Ubuntu Linux, Internet.
- Reference frame: IGS14.
- Prendre automatiquement de fichier*.xxo (v2 ou v3) des servers: CDDIS, SOPAC, UNAVCO (sh_get_rinex)

Séries temporelles des composantes Nord, Est et Up

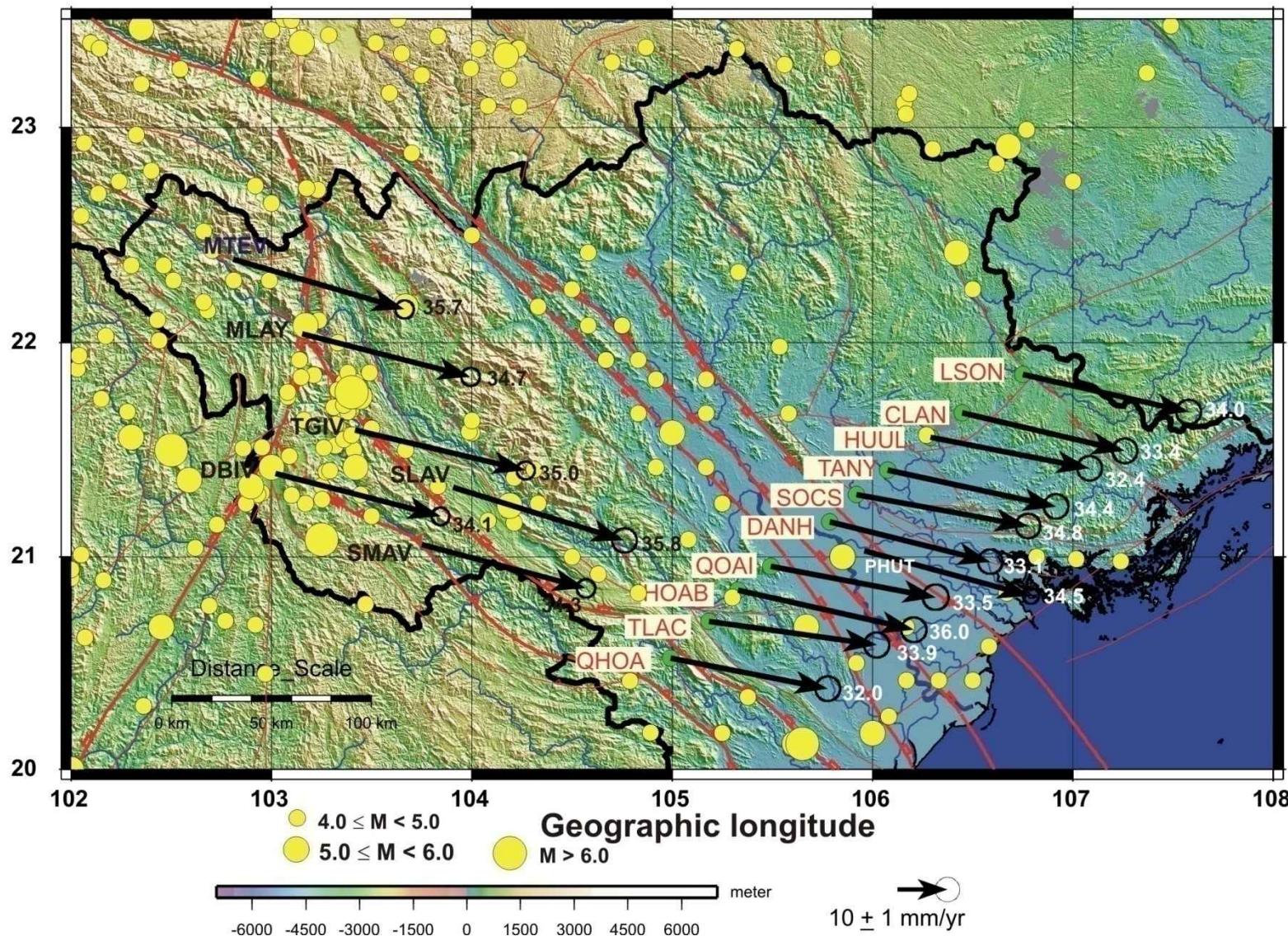


Grande subsidence à Bac Lieu: ~ 3 cm/an

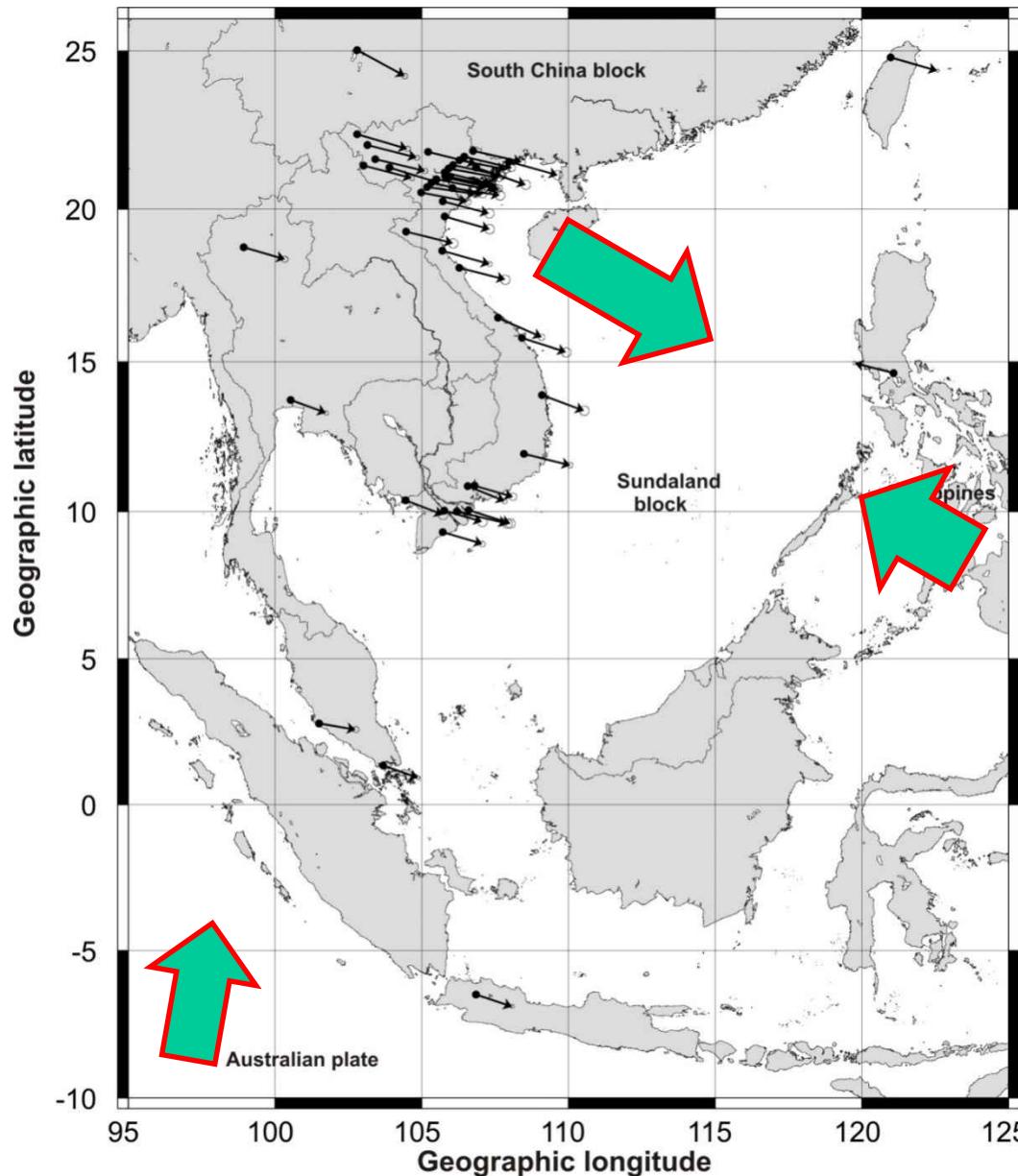
Mouvement de la croûte terrestre du Nord Vietnam

Velocity fields in IGS14

Geographic latitude

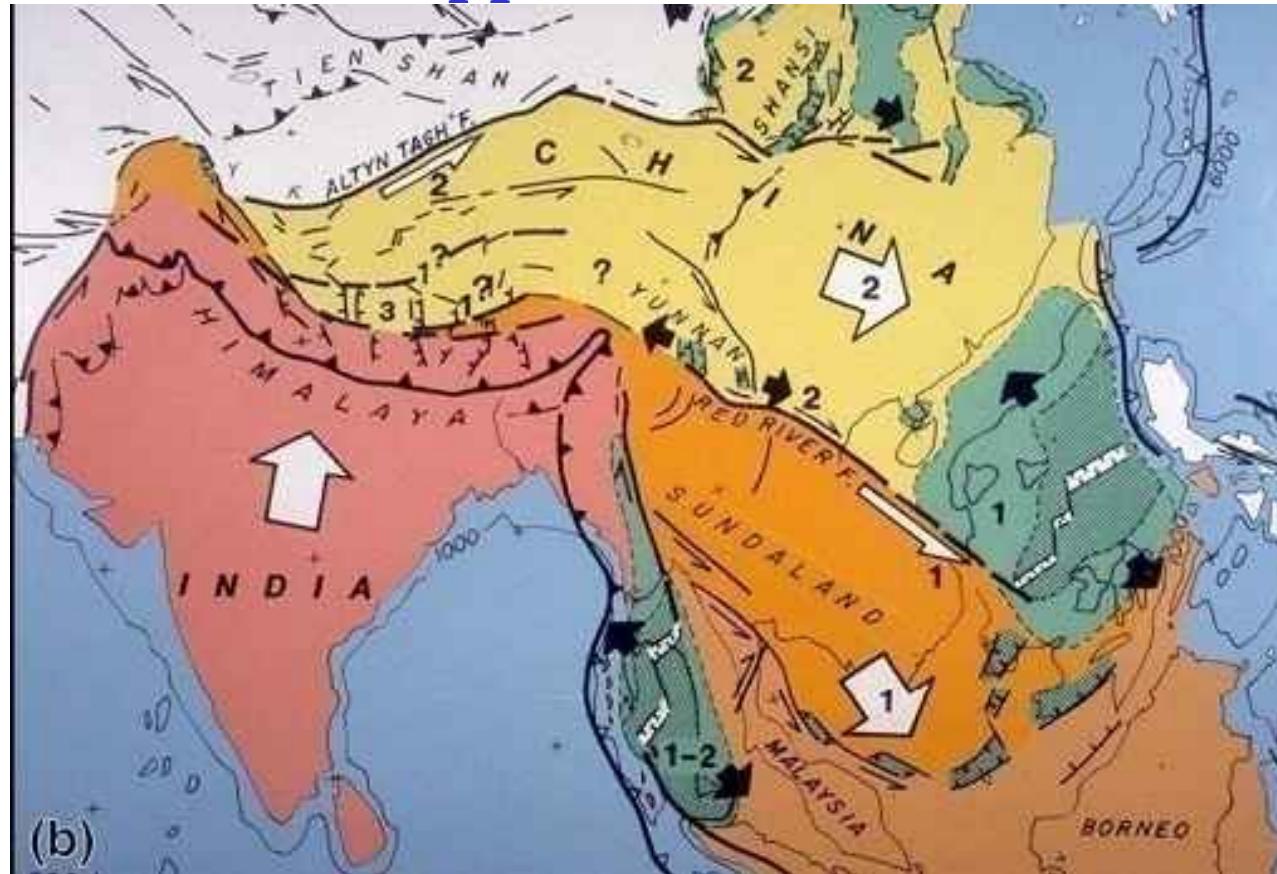


Mouvement de la croûte terrestre en Asie du Sud-Est dans le contexte de la tectonique régionale



LA DÉFORMATION CÉNOZOÏQUE ASIATIQUE

Tapponier, 1982



La collision de micro-continent indien dans la plaque eurasienne, provoque le glissement de Sundaland vers le sud-est le long de la zone de faille du Fleuve Rouge et sa rotation dans le sens des aiguilles d'une montre.

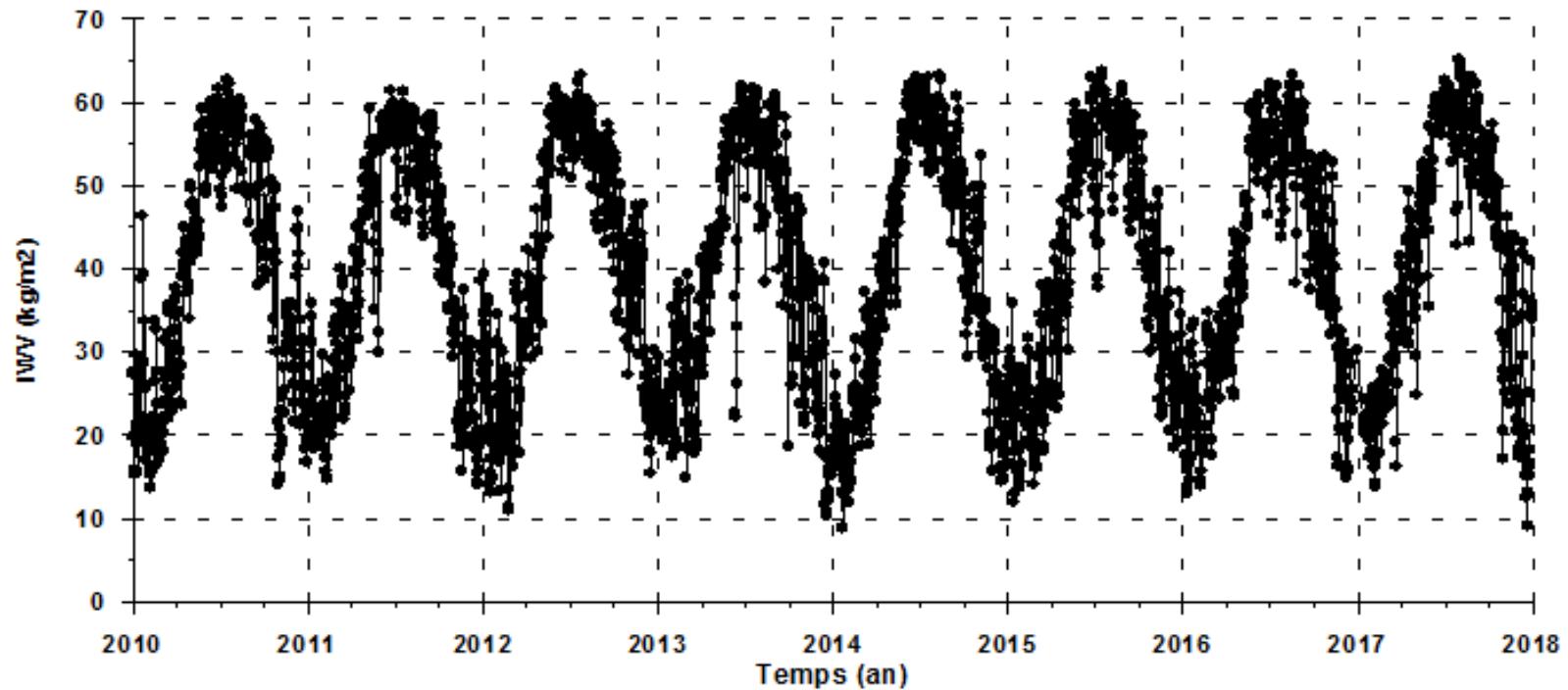
Publications

- Lê Huy Minh, K. Feigl, F. Masson, Duong Chi Cong, A. Bourdillon, P. Lassudrie-Duchesne, Nguyen Chien Thang, Nguyen Ha Thanh, Tran Ngoc Nam, Hoang Thái Lan, **2010**. Crustal motion from the continuous GPS data in Vietnam and in the Southeast Asian region, 2010. *J. Sciences of the Earth* (in Vietnamese), 32(3), 231-252.
- Le Huy Minh, Vu Tuan Hung, Jyr-Ching Hu, Nguyen Le Minh, Bor-Shouh Huang, Horng-Yue Chen, Nguyen Chien Thang, Nguyen Ha Thanh, Le Truong Thanh, Nguyen Thi Mai, Pham Thi Thu Hong, **2020**. Contemporary horizontal movement of the Earth's crust in the Northwestern Vietnam by continuous GPS data, *Vietnam Journal of Earth Sciences*, **42(4)**, 334-350, doi:10.15625/0866-7187/42/4/15282.

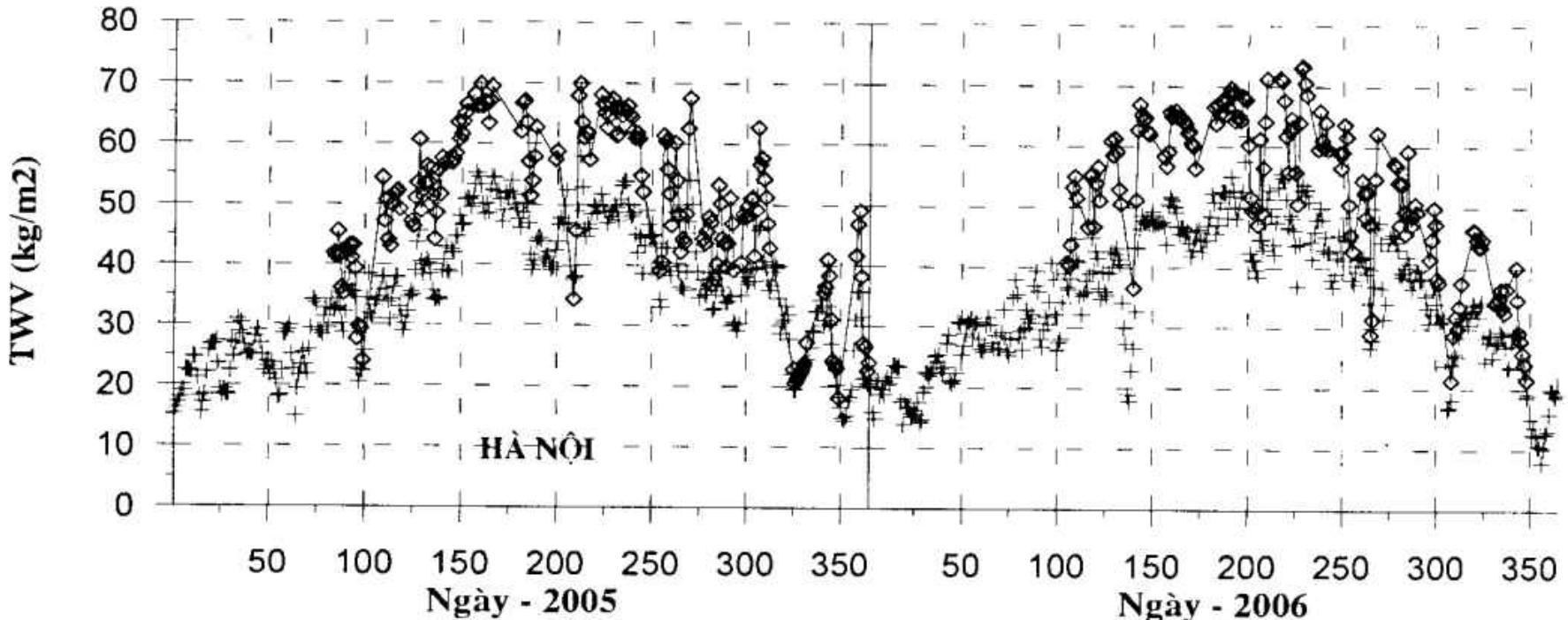
Estimation de la vapeur d'eau intégrée de la troposphère à partir de données GNSS

- Software: GAMIT
- Sestbl. (gg/tables): Output met: Y, interval zen :1
- Dimpar.h (gg/gamit/includes): maxatm: 25, maxgrad: 25.
- Output: z* fichiers dans le directory journalière.

La vapeur d'eau intégrée de la troposphère observée à la station de Dien Bien de 2010 à 2018



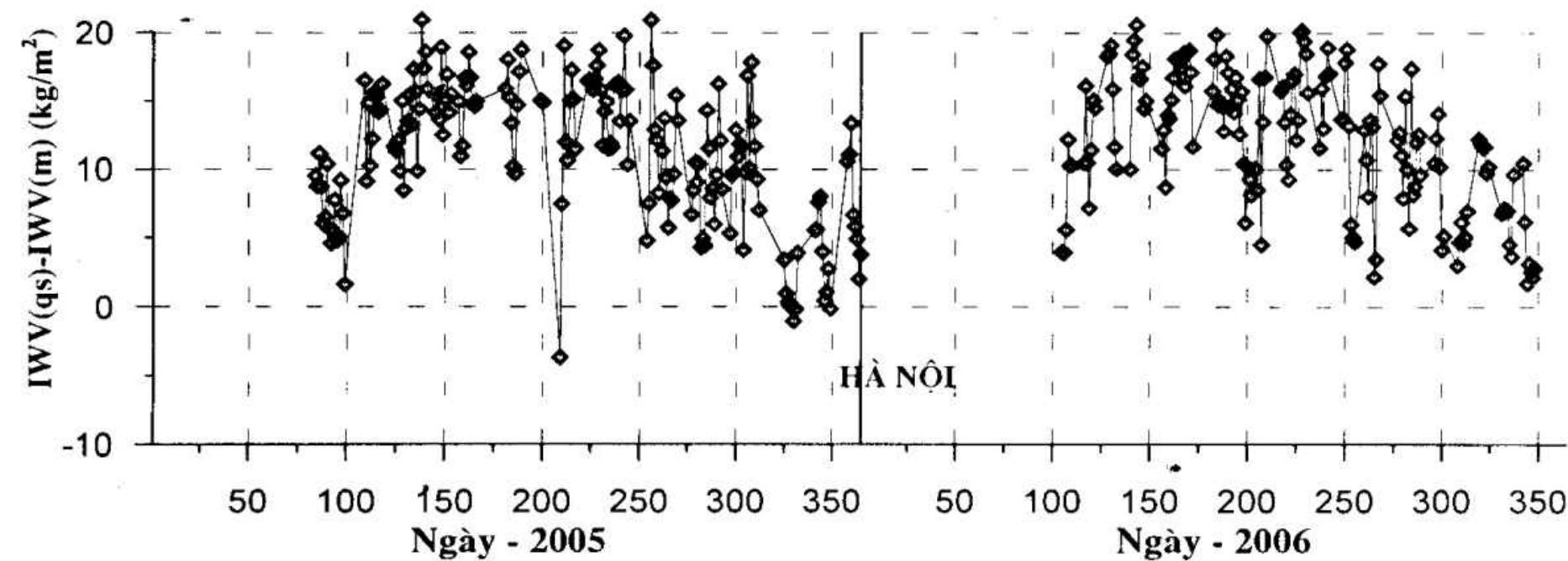
Vapeur d'eau intégrée de la troposphère à Hanoi dans 2005-2006



◊ Observé

+ Modèle global “NCEP-DOE MIP II Reanalysis”

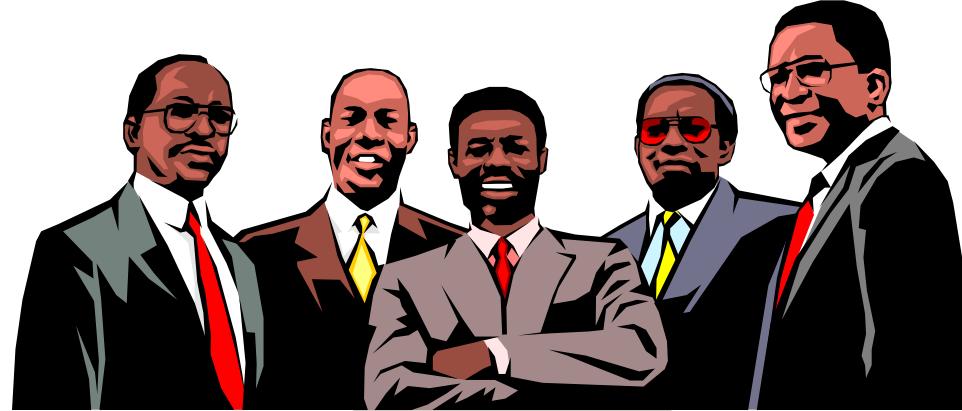
Différence entre IWV observée et IWV de modèle global à Hanoi, 2005-2006



Les différences sont souvent positive et maximum dans l'été

Publications

- Le Huy Minh, F. Masson, P. Lassudrie-Duchesne, A. Bourdillon, Tran Thi Lan, Pham Xuan Thanh, Nguyen Chien Thang, Tran Ngoc Nam, Hoang Thai Lan, **2009**. Preliminary results of the estimation of the zenith total delay and the integrated water vapour of the troposphere by GPS data in Vietnam, *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 31(3), 201-211.



Merci de votre attention !