



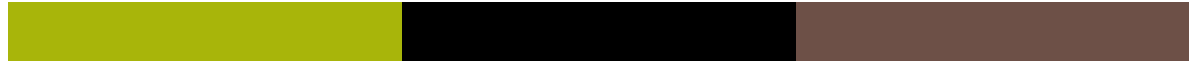
Institut
Mines-Télécom

GPS: ionosphère

Rabat - Janvier 2017

Rolland FLEURY

IMT Atlantique campus de Brest





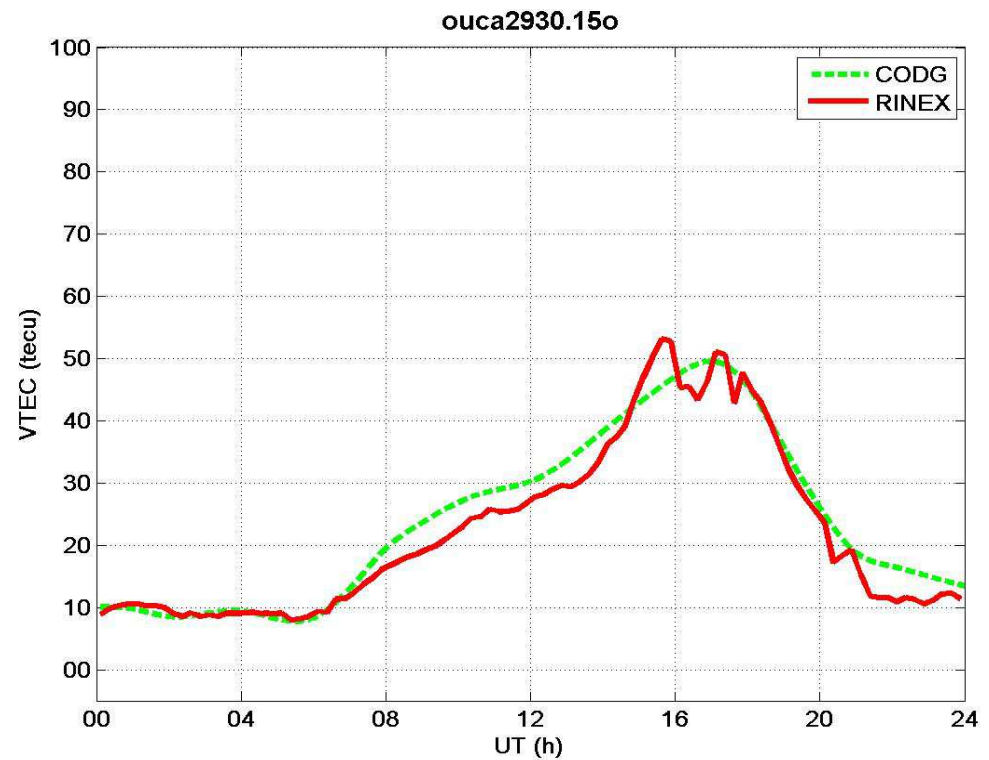
VTEC

- **logiciel TB: tec_notigs.m**
- **Toutes les étapes présentées sont automatisées (+1 lissage final)**
- **Possibilité de traiter 1 an et plusieurs stations par 1 seul processus**
- **Gestion des E/S par un fichier externe: tec_notigs.txt**

comment reference :	I1 commentaire
rabt	I2 marqueur GPS
01 10 2015	I3 date
d:\rinex_local\2015\rabt \	I4 chemin fichier Rinex
d:\decompression	I5 chemin utilitaires décompression
y:\ionex\p1p2\	I6 chemin biais satellites
y:\guard\yuma_txt\	I7 chemin fichier almanach
y:\ionex\codg\2015\	I8 chemin fichier Ionex/codg
d:\vtec\2015\ouca\	I9 chemin archivage résultats
100	I10 VTEC max pour le tracer

- **Logiciel TB: exemple de résultat**
- 1 fichier ouca2930.txt et 1 fichier codg_ouca2930.jpg

time(s)	smooth_v_tec (tecu)	codg(tecu)
450.00	8.90	10.03
1350.00	9.84	10.03
2250.00	10.30	9.99
3150.00	10.52	9.86
4050.00	10.55	9.62
4950.00	10.29	9.28
5850.00	10.30	8.93
6750.00	9.98	8.64
7650.00	9.02	8.50
8550.00	8.49	8.52
9450.00	9.06	8.65
10350.00	8.57	8.86
11250.00	8.74	9.09
12150.00	8.55	9.31
13050.00	9.08	9.46
13950.00	9.04	9.49
14850.00	9.11	9.36
15750.00	9.18	9.08
16650.00	9.03	8.71

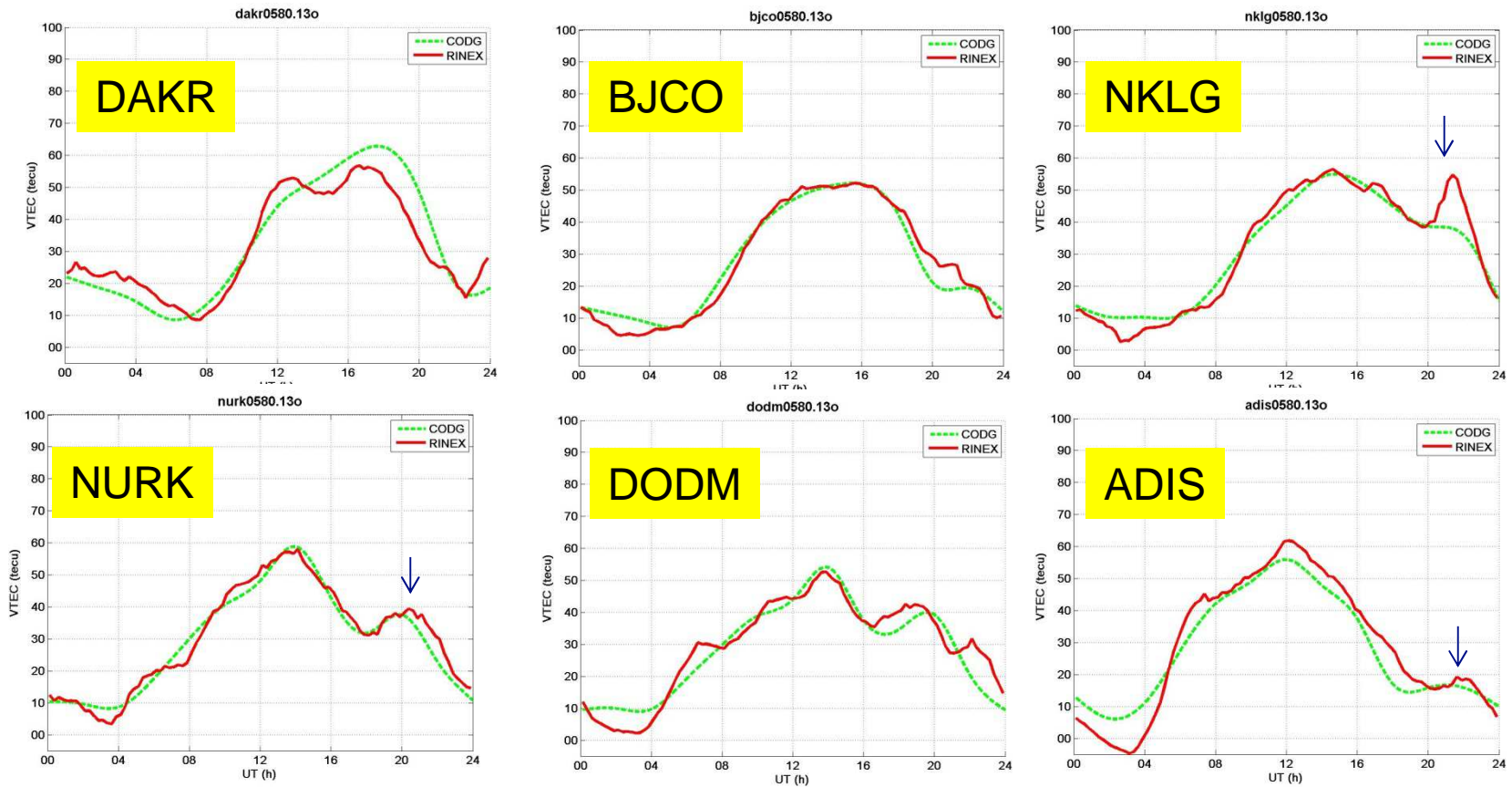




VTEC

- **Logiciel TB: traitements futurs**
 - **Tracer de l'évolution journalière sur 1 mois**
 - **Calcul des médianes mensuelles**
 - **Analyse d'événements particuliers (orages)**
 - **Variations spatiale et temporelle du VTEC (saisons, activité solaire, zone géographique)**
 - **Cartographies 2D**
 - **Cartographies régionales**
 - **Comparaison avec les modèles (IRI, NeQuick, ...)**
 - **Pistes d'amélioration de ces modèles**

Graphes du VTEC (27/02/2013)



↓ Post sunset enhancement



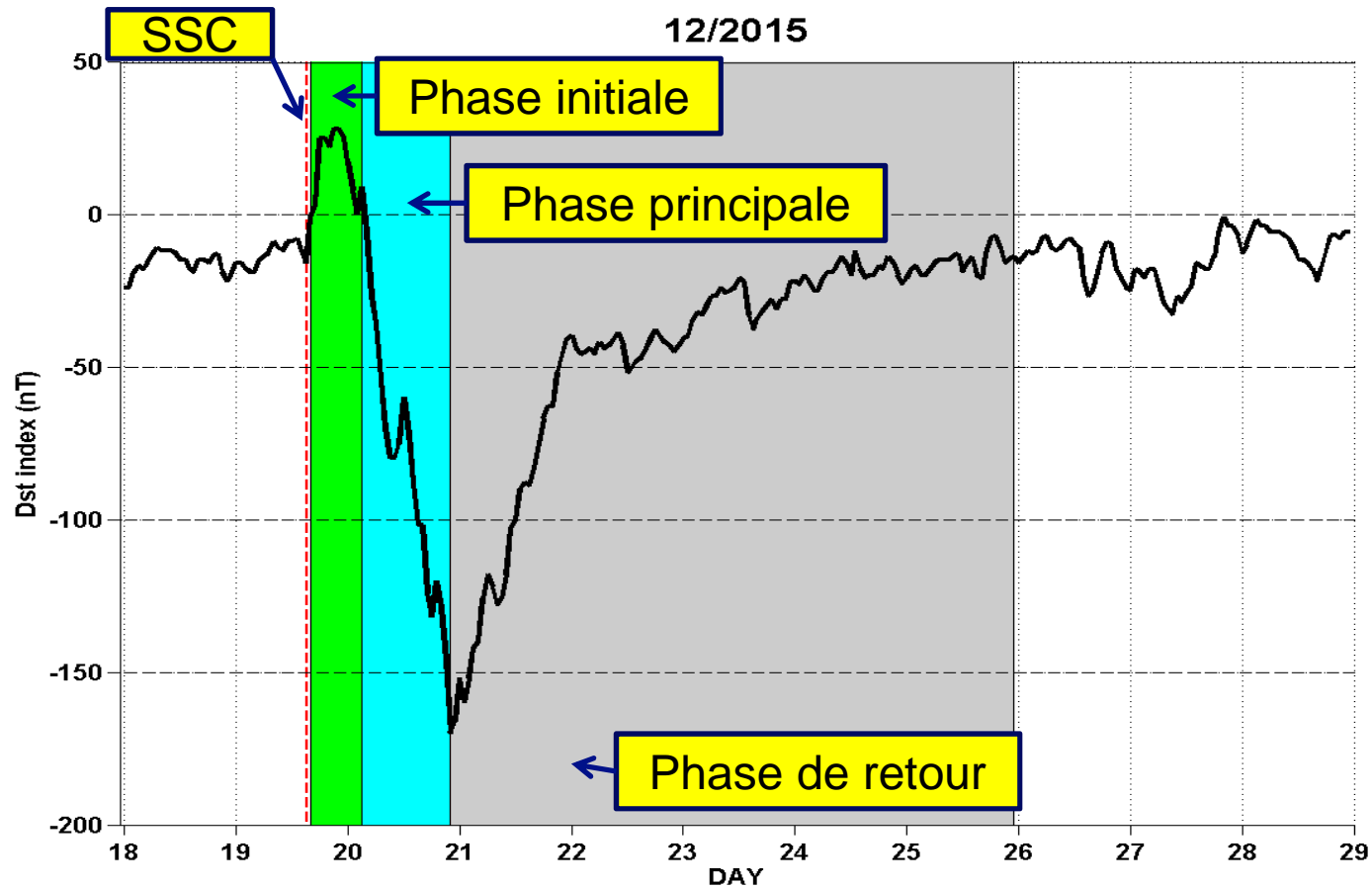
Orages magnétiques

■ Intensité typique des orages magnétiques selon les indices

Catégorie de l'orage	Indice tri-horaire K_p maximum	Indice journalier A_p	Indice horaire D_{st} minimal en nT
Très calme	0 - 1	< 08	
Calme / 'quiet'	2 - 4	$\geq 08 \ \& \ \leq 15$	≤ -19
Mineur / 'minor'	5	$\geq 16 \ \& \ \leq 29$	$\geq -20 \ \& \ \leq -49$
Moyen / 'moderate'	6	$\geq 30 \ \& \ \leq 49$	$\geq -50 \ \& \ \leq -99$
Fort / 'intense'	7 - 8	$\geq 50 \ \& \ \leq 99$	$\geq -100 \ \& \ \leq -240$
Intense / 'super storm'	9	≥ 100	≤ -250

Orages magnétiques

déroulement orage magnétique avec SSC

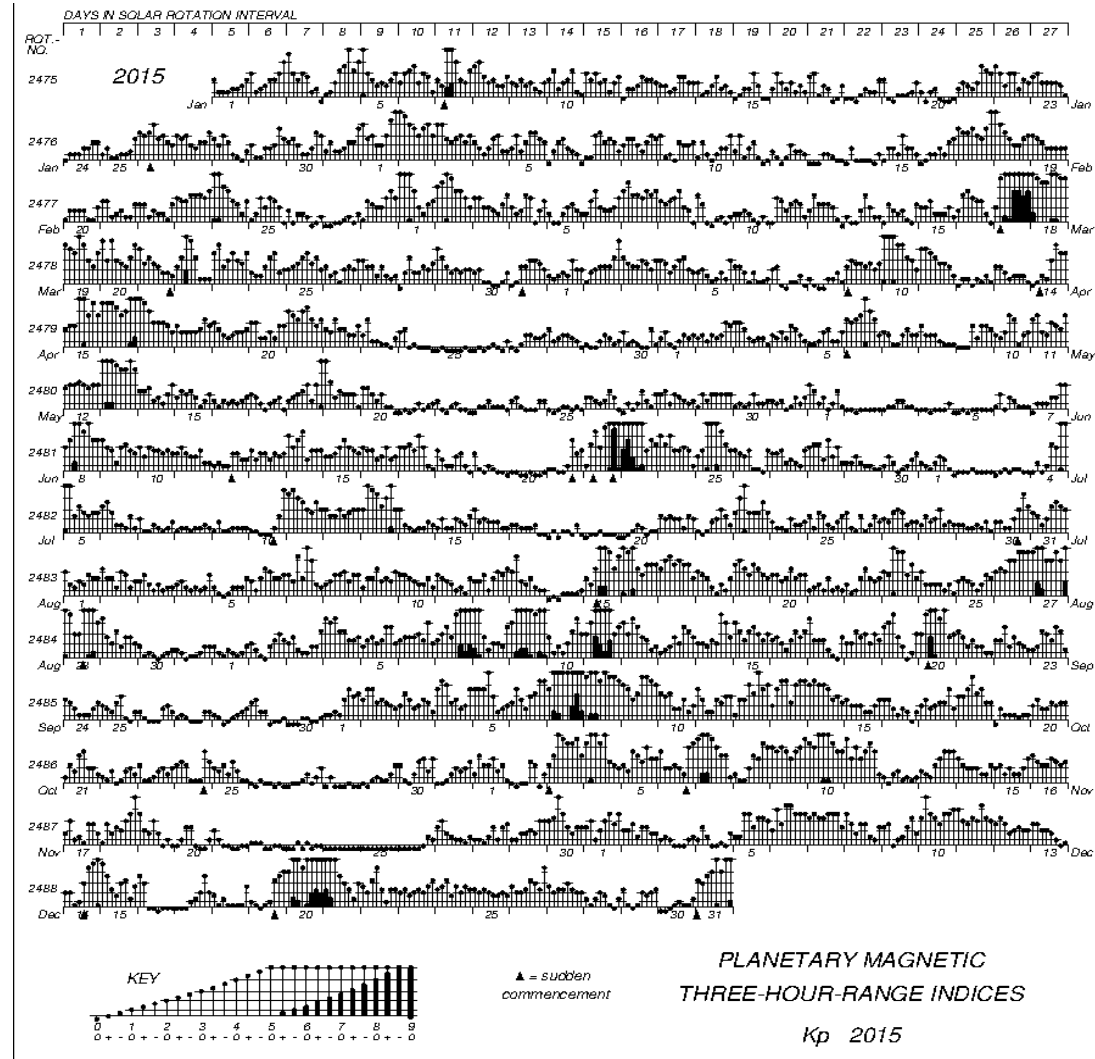


Orages magnétiques

■ Indices Kp

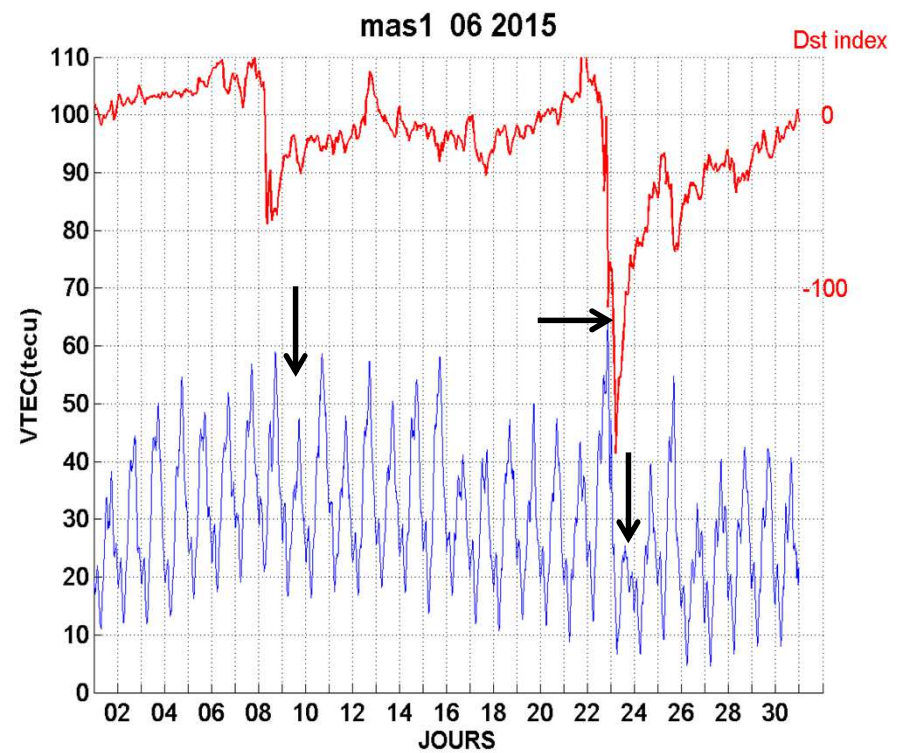
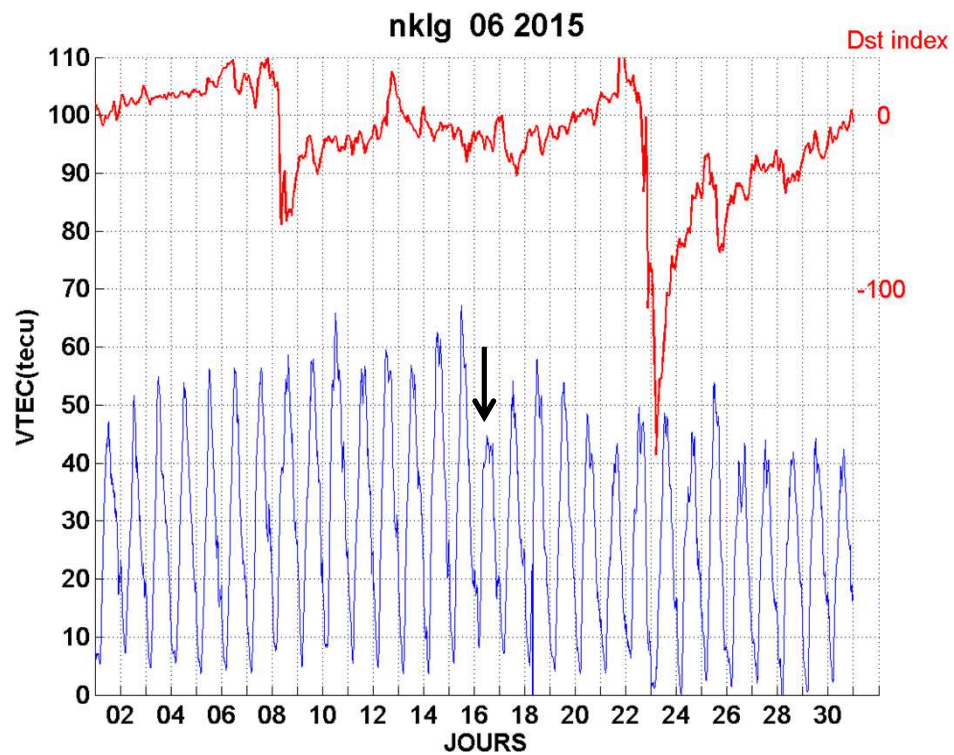
Diagramme musical

<ftp://ftp.gfz-potsdam.de/pub/home/obs/kp-ap/music>



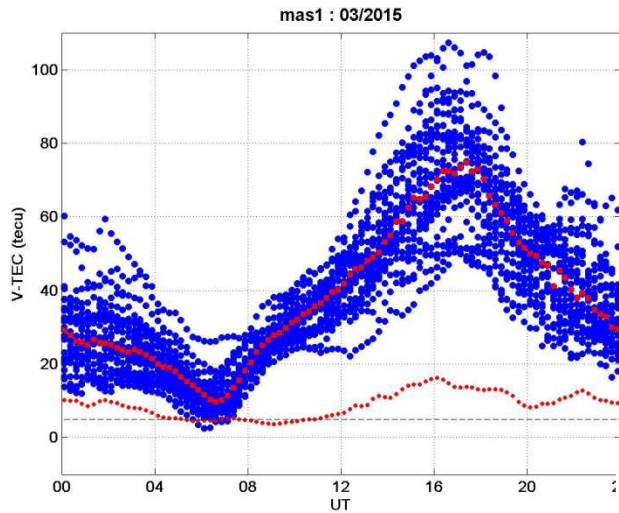
VTEC

Variation diurne mensuelle avec l'indice magnétique D_{st} (orages)



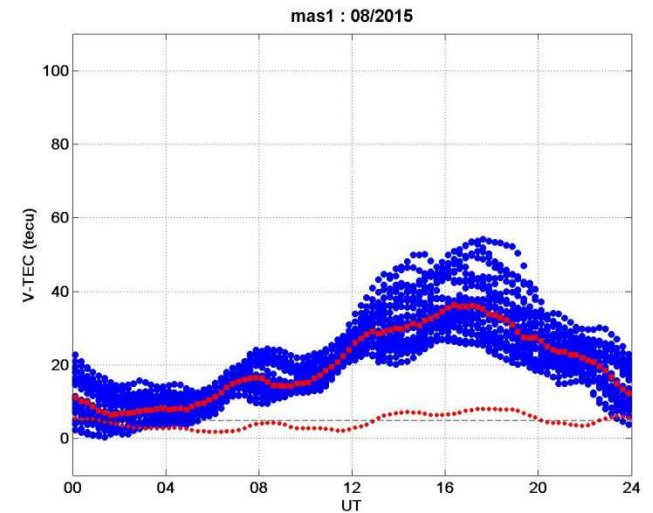
VTEC

Variabilité mensuelle autour de la médiane (saisons)

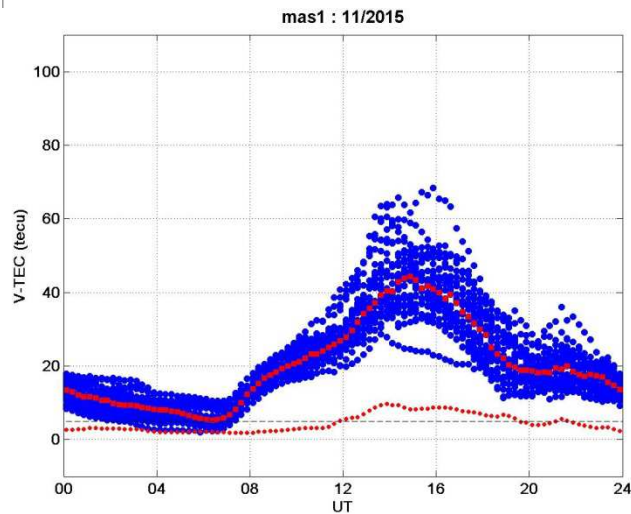


équinoxe

hiver



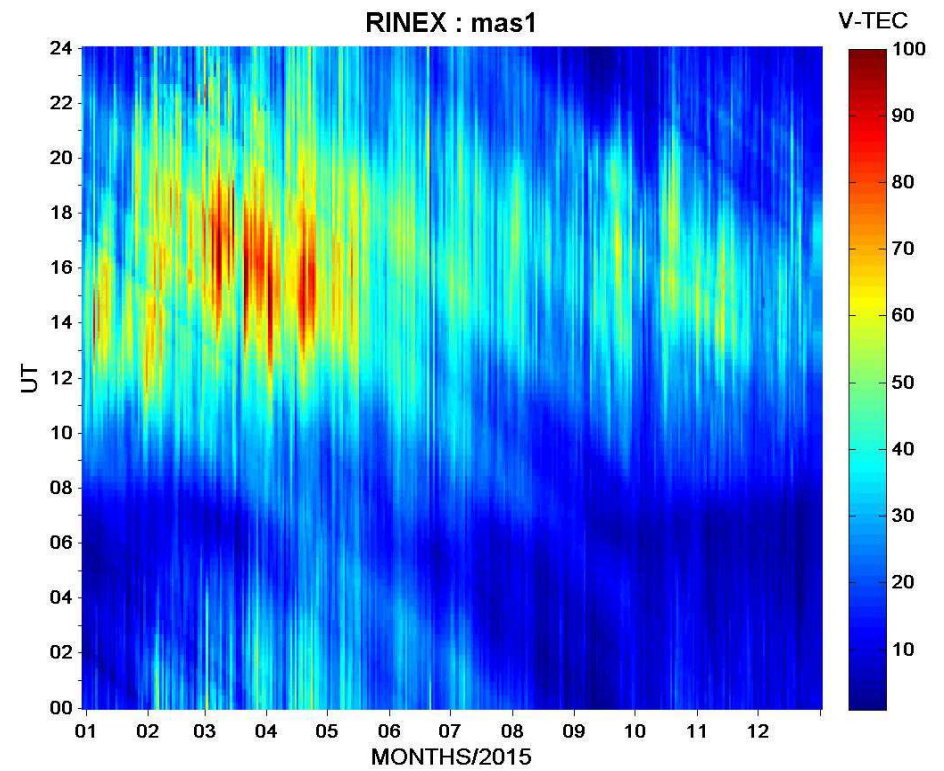
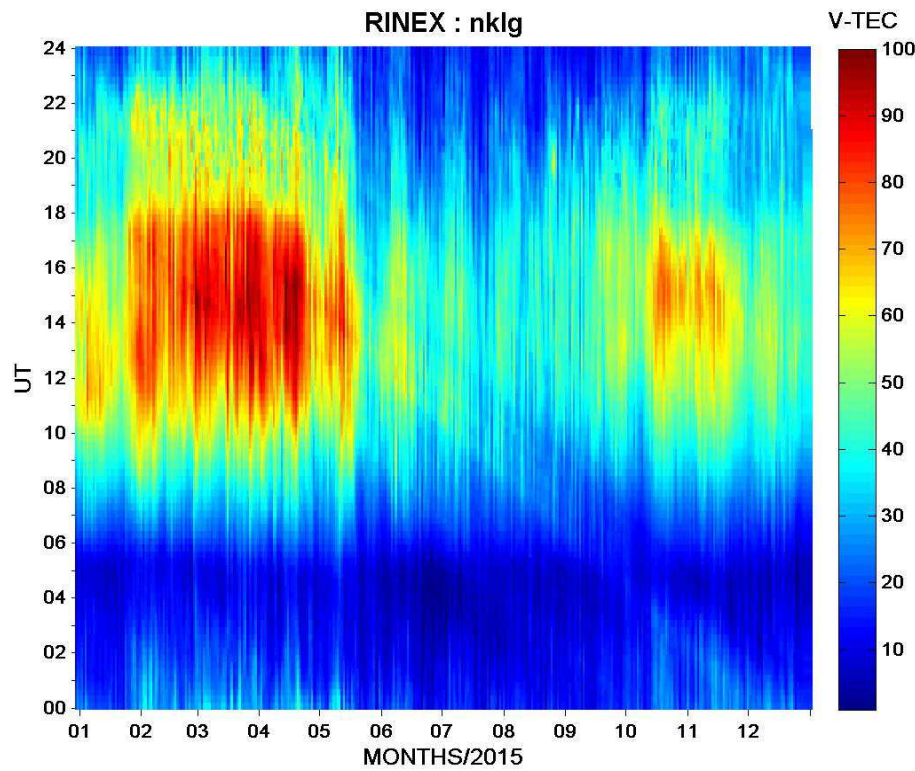
été





VTEC

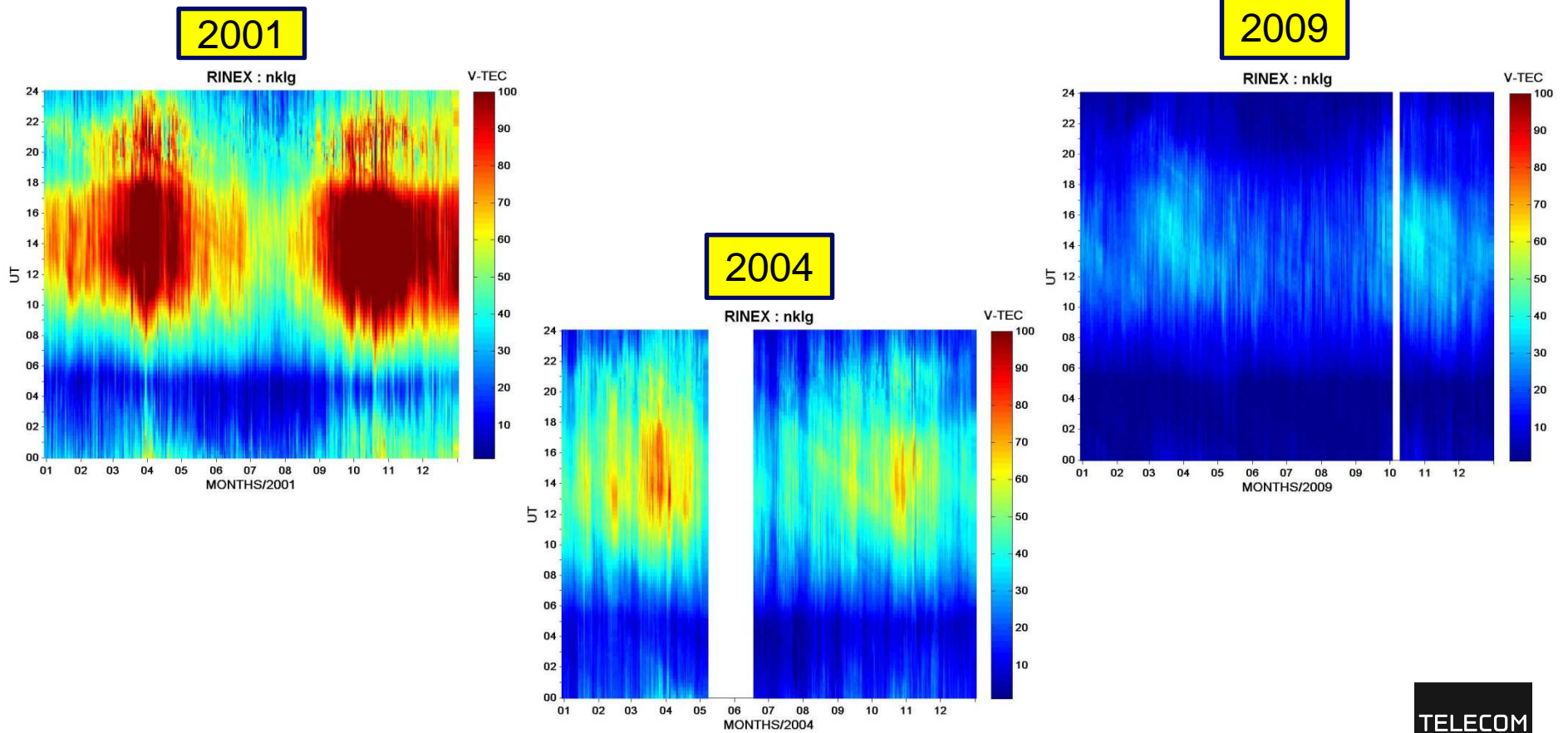
■ Tracer 3D sur 1 an (saisons)





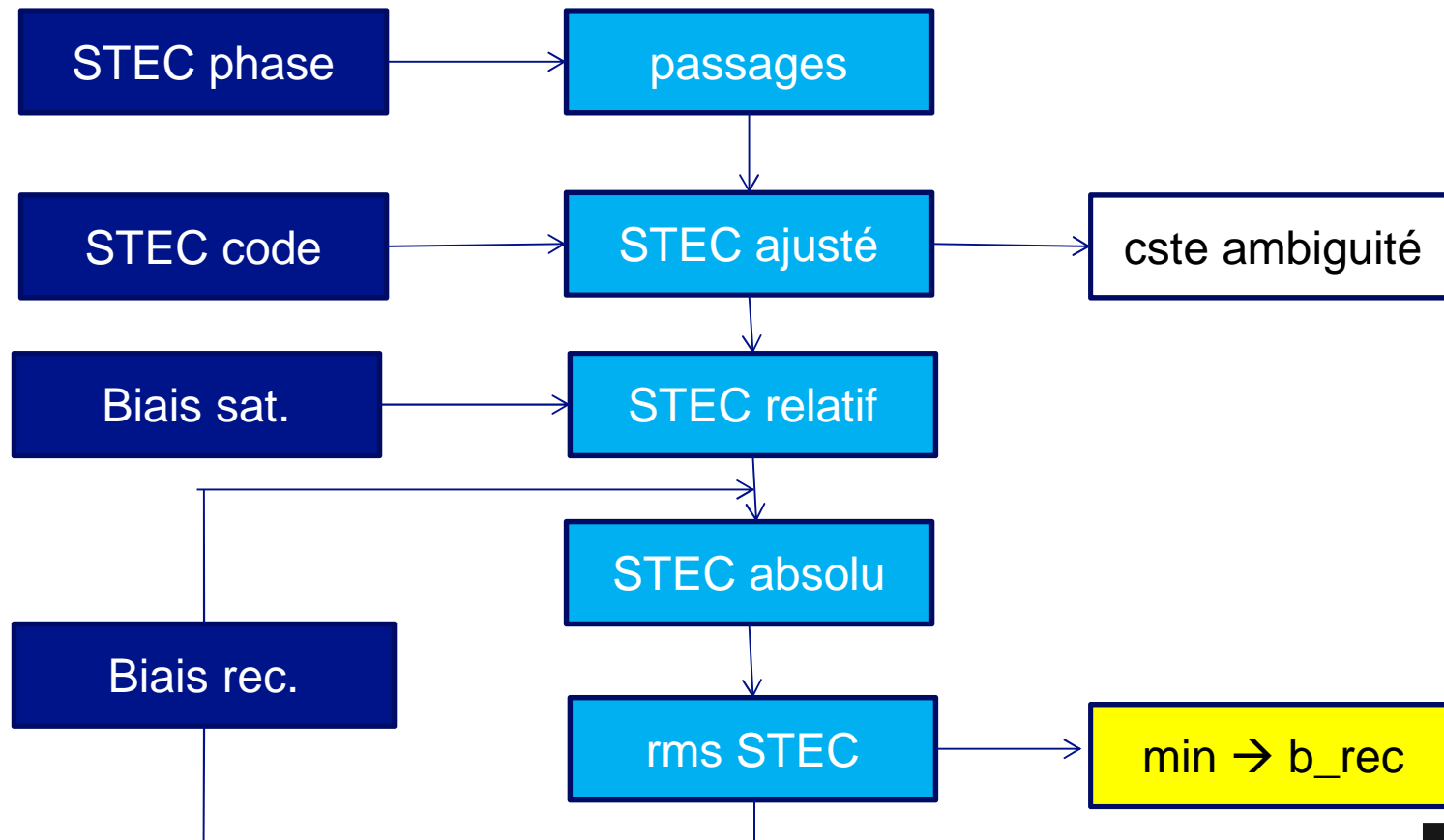
VTEC

■ Cycle solaire : 2001 / 2004 / 2009



VTEC mono station - phase

■ Logiciel vtec_phase_opt.m





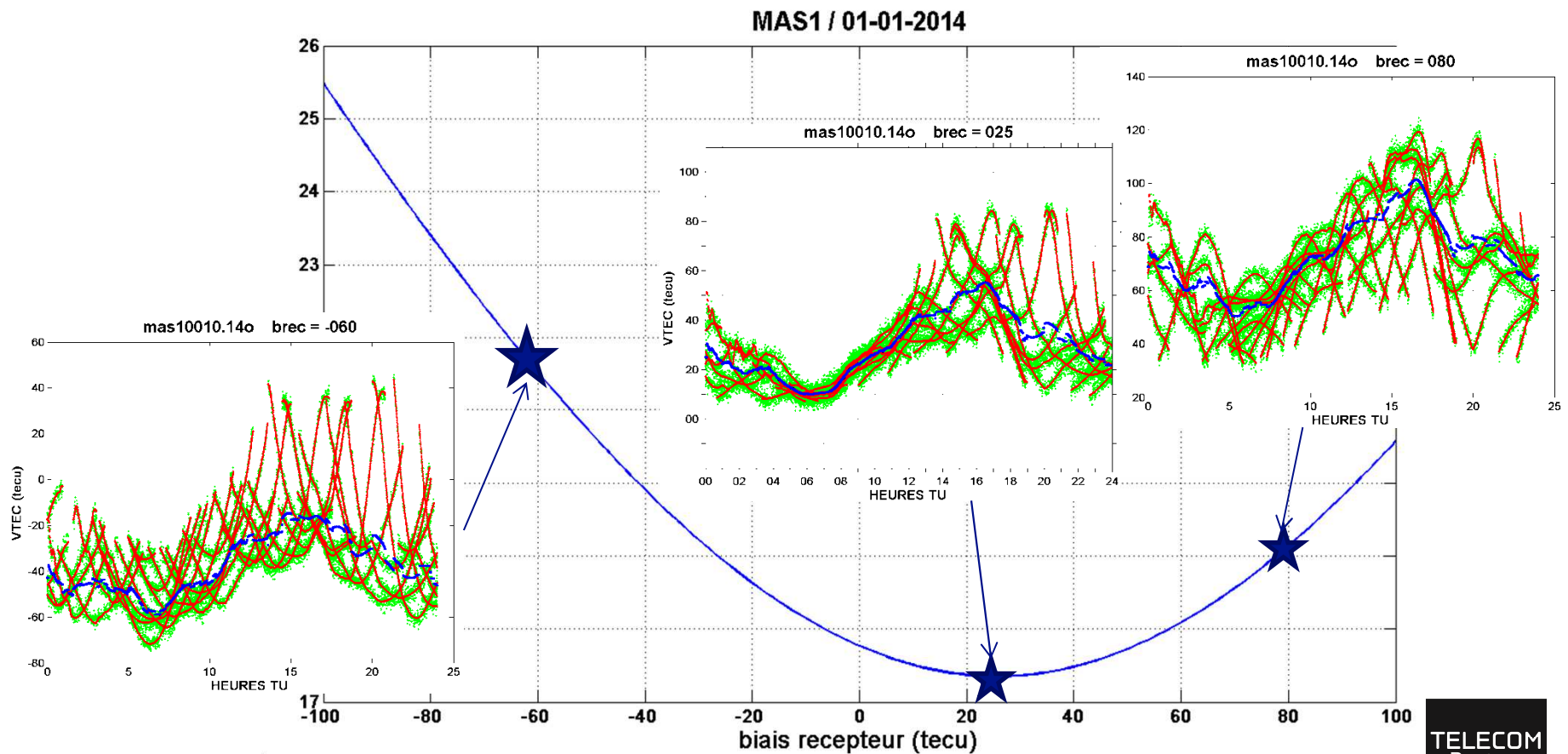
VTEC mono station - phase

■ Calcul du STEC_phase calibré

- Traitement par passage de satellite PRN
- Calcul du STEC_code calibré (satellite, récepteur) avec P1, P2
- Calcul du STEC_phase relatif avec L1, L2
- Détection des sauts de phase sur STEC_phase :
 - Écart > 5 mn entre 2 pts consécutifs
 - Différence > 5 tecu sur 30s (sauts importants)
- Ajustement STEC_phase sur STEC_code pour chaque séquence PRN retenue (> 20 pts) → ~ détermination de la constante d'ambiguïté
- Visualisation graphique et écriture dans un fichier 'txt'

VTEC mono station - phase

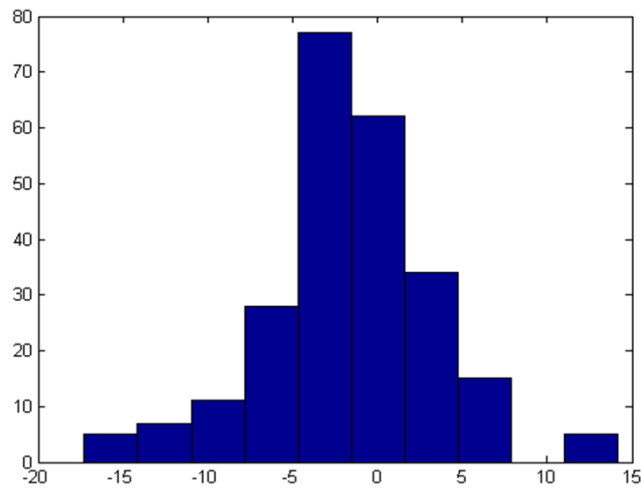
- Erreur rms journalier = f (biais récepteur)



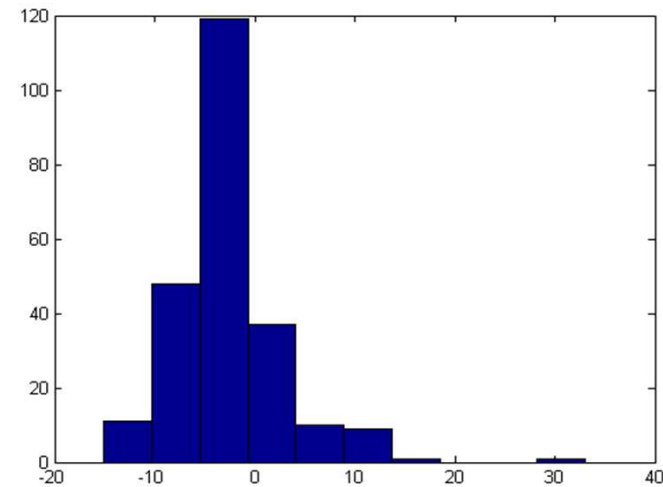
VTEC mono station - phase

Histogrammes (biais_Fleury) - (biais_codg)

DOY = 50 - 19/02/2014
244 stations
Ap=43
71% entre ± 5 tecu
7% > 10 tecu

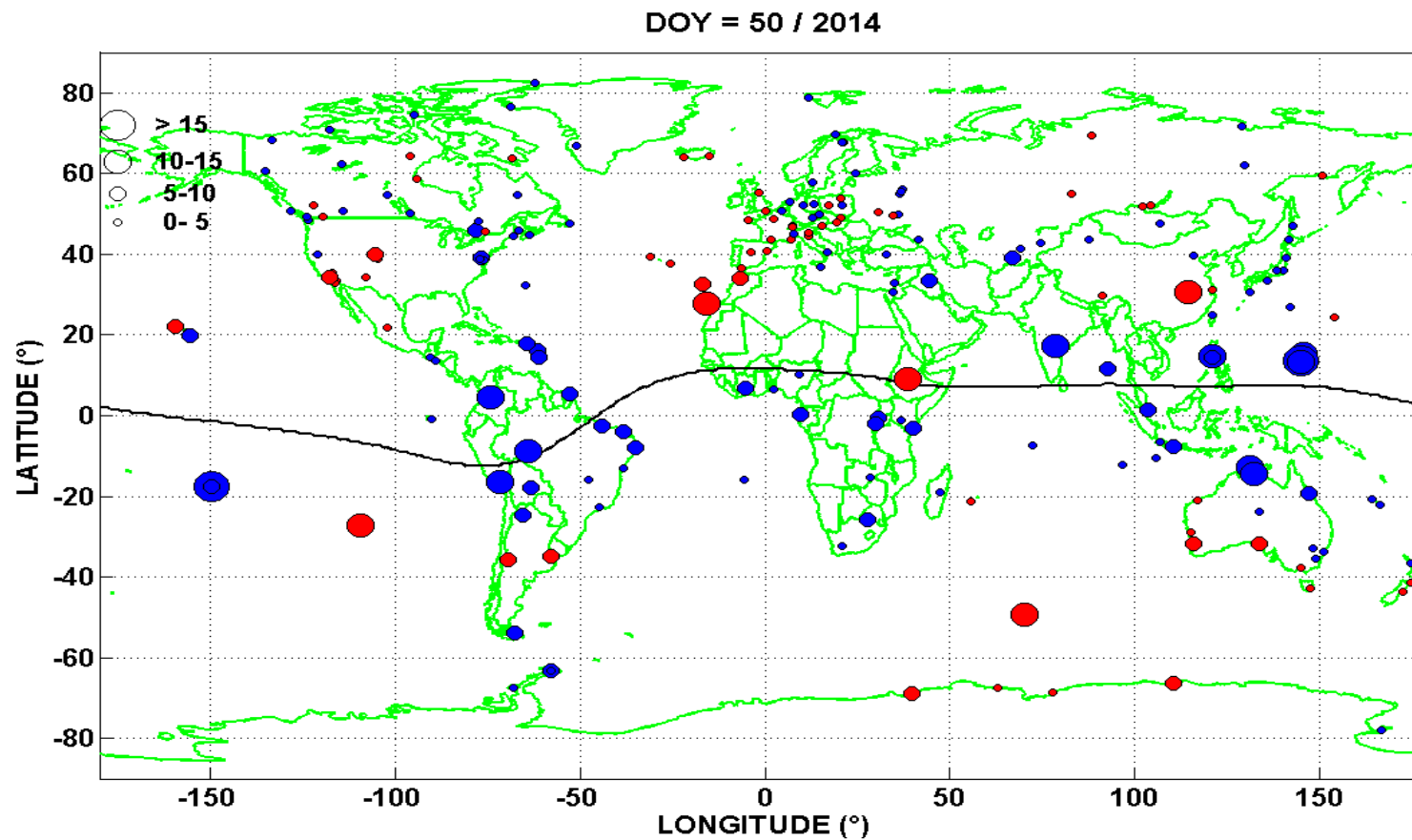


DOY = 164 - 13/06/2014
236 stations
Ap=4
66% entre ± 5 tecu
9% > 10 tecu



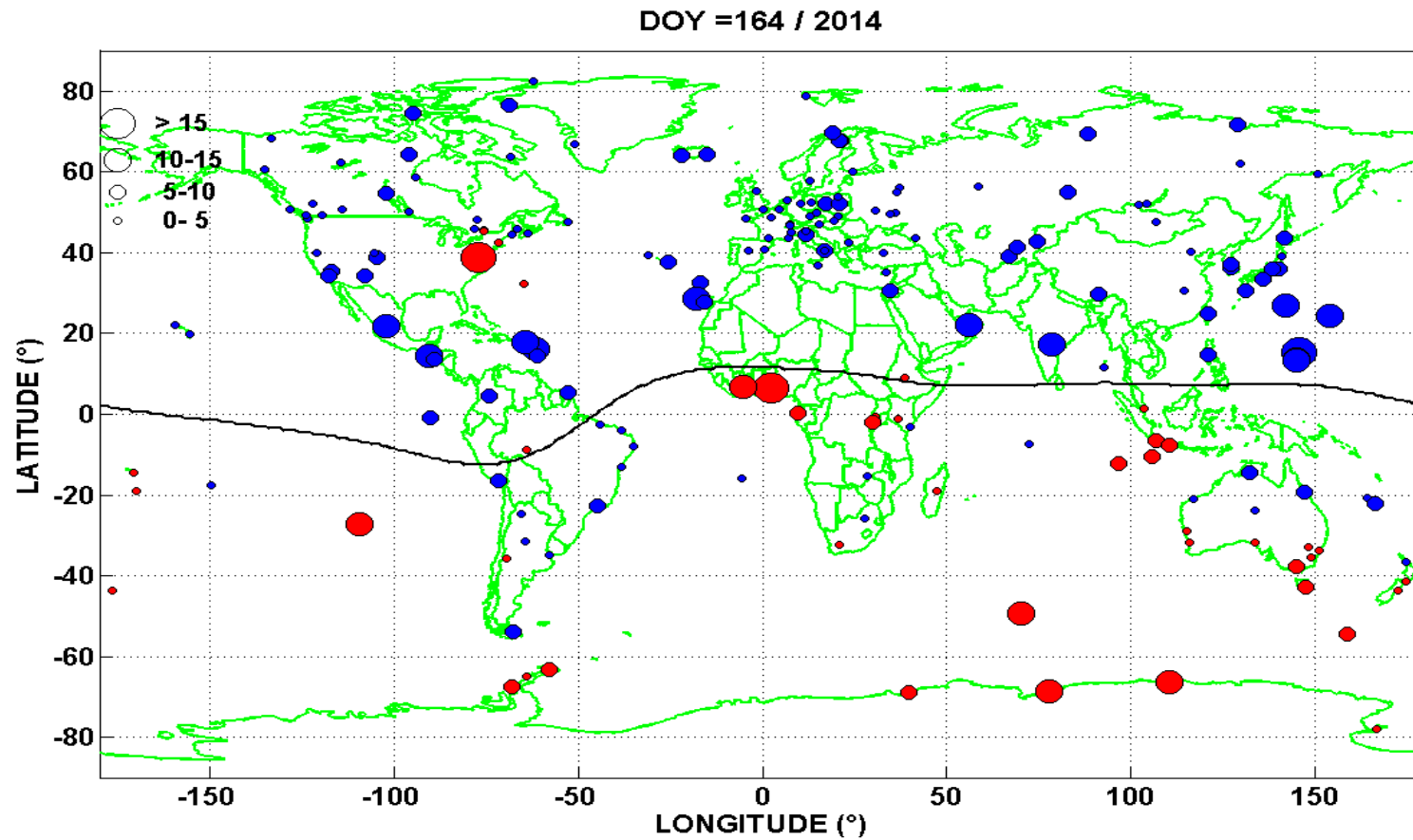
VTEC mono station - phase

■ DOY 50: écarts + forts zone équatoriale (en + et -)



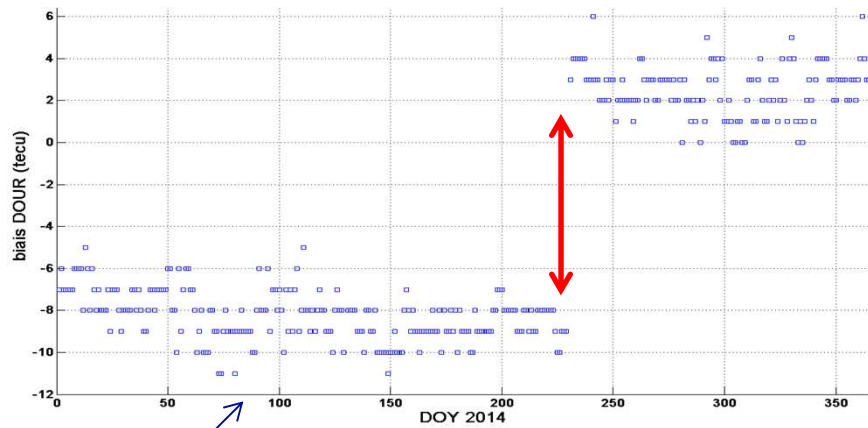
VTEC mono station - phase

■ DOY 164 : effet saisonnier (bleu au nord, rouge au sud)

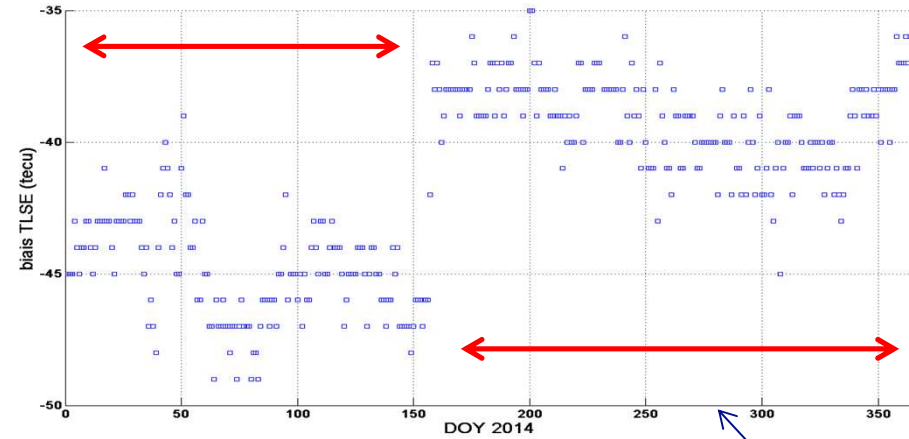


VTEC mono station - phase

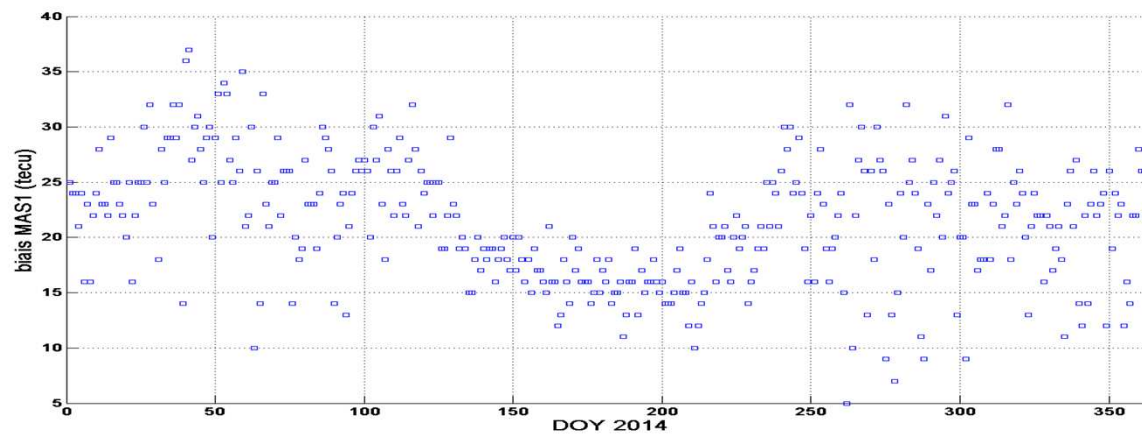
■ Année 2014 : DOUR – TLSE - MAS1



$\Delta \approx 4\text{tecu}$

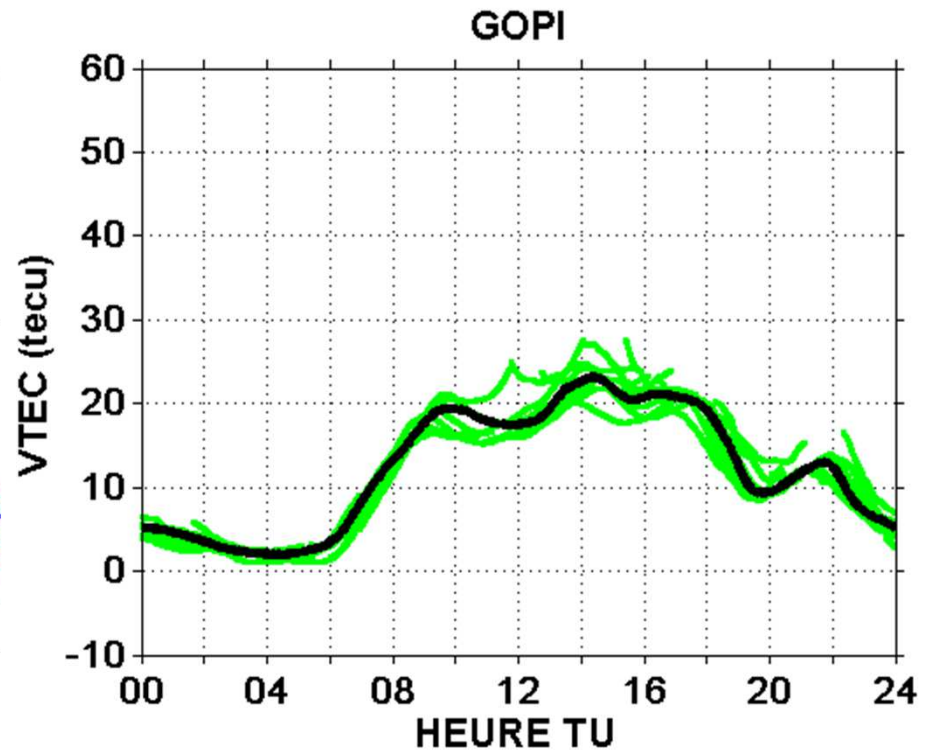
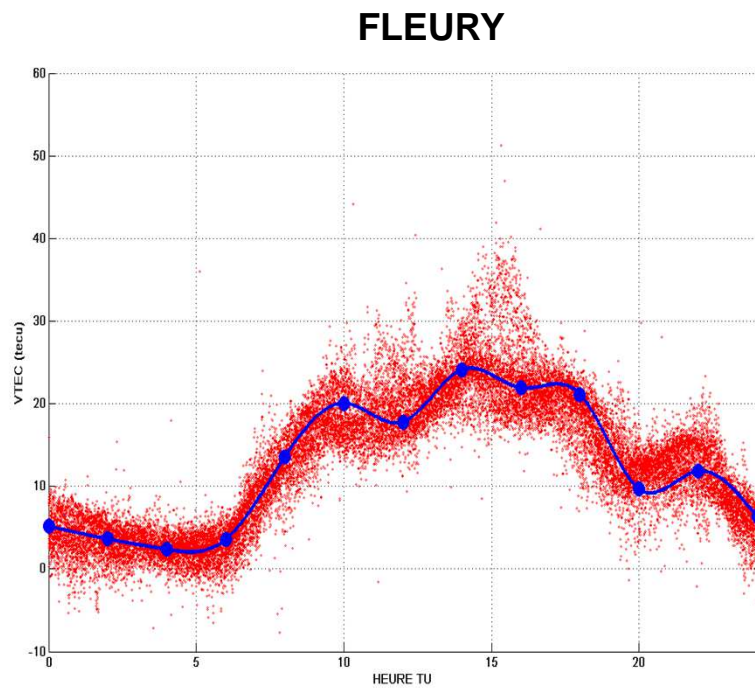


$\Delta \approx 10\text{tecu}$



Le logiciel GOPI

- ykro3500.09o: Comparaison avec le logiciel de GOPI
- Référence GOPI : <http://seemala.blogspot.fr/>





Indice ROTI

- **Indice ROTI (Pi et al., 1997)**
- Calcul de ROT 'Rate Of TEC' en tecu/mn
- Gradient du STEC à partir des mesures de phase sur les fichiers rinex 30s

$$\text{ROT} = \frac{\text{STEC}_{k+1} - \text{STEC}_k}{\text{time}_{k+1} - \text{time}_k} * 60$$

- Indice ROTI = RMS de ROT, intervalle de 10 mn (20 pts) pour une élévation au dessus d'un seuil (20°) pour éviter les multi trajets

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

Indice ROTI

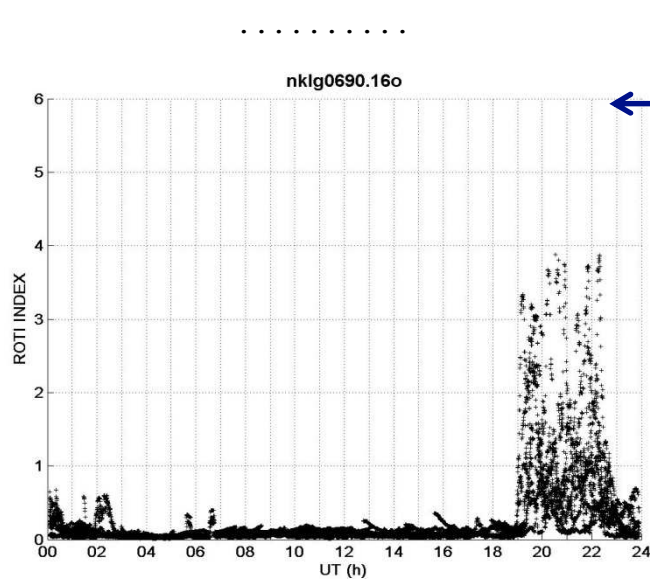
■ Indice ROTI : logiciel 'calcul_roti_v41.m'

- Fichier compressé rinex 30s
- Calcul du STEC à partir des mesures de phase L1 & L2 relatives
- Fichier d'entrée : calcul_roti_v41.txt
 - comment référence : % ligne commentaire
 - cpvg % code marqueur
 - 99 13 2016 % date traitée (principe VTEC)
 - d:\users\fleury\rinex_local\2016\cpvg\ % chemin fichier rinex
 - d:\users\fleury\decompression\ % dossier décompression Hatanaka
 - y:\guard\yuma_txt\ % chemin fichier almanach
 - y:\ionex\codg\2016\ % chemin fichier codg
 - d:\users\fleury\roti\2016\cpvg\ % chemin fichiers résultats
 - 20 % élévation minimale calcul indice

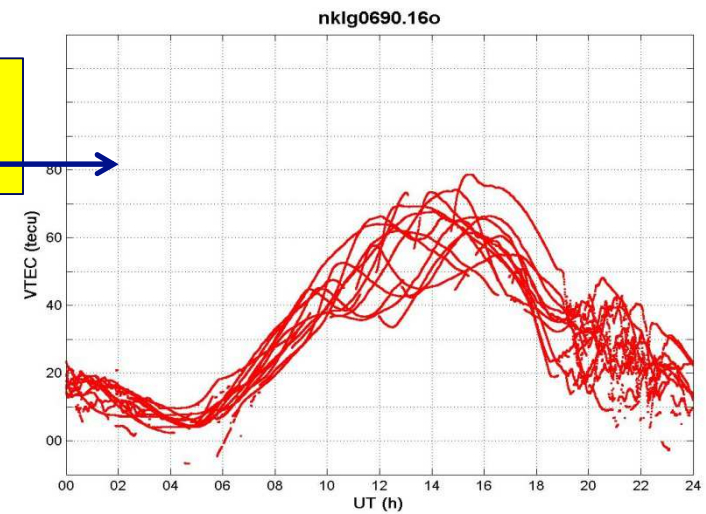
Indice ROTI

3 fichiers en sortie

prn	temps(s)	tec_phi	tec_code	sub_lat	sub_lon	elev	VTEC	temps(s)	ind_roti
1.00	5400.0	79.162	100.699	5.192	-3.066	9.149	7.72	-9.0	-9.000
1.00	5430.0	78.943	100.517	5.240	-3.044	9.156	7.64	-9.0	-9.000
1.00	5460.0	78.801	100.336	5.288	-3.022	9.162	7.58	-9.0	-9.000
1.00	5490.0	78.568	100.157	5.335	-3.000	9.168	7.50	-9.0	-9.000
1.00	5520.0	78.574	99.978	5.382	-2.977	9.174	7.50	-9.0	-9.000
1.00	5550.0	78.395	99.801	5.429	-2.955	9.180	7.43	-9.0	-9.000

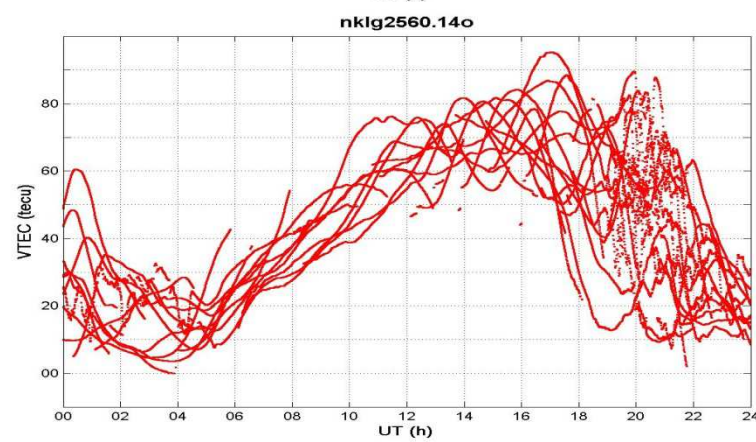
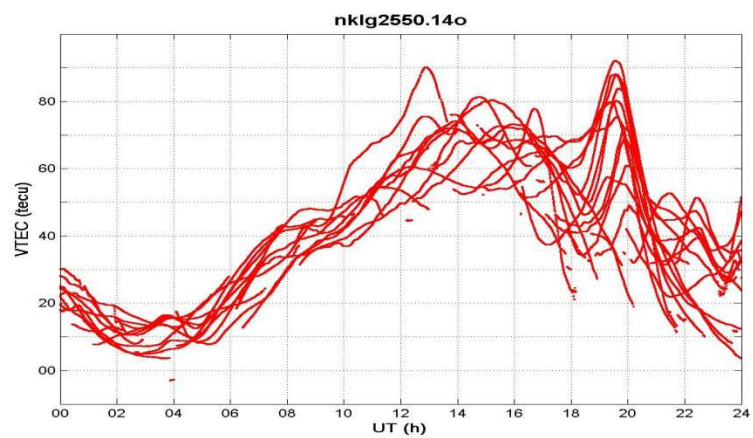
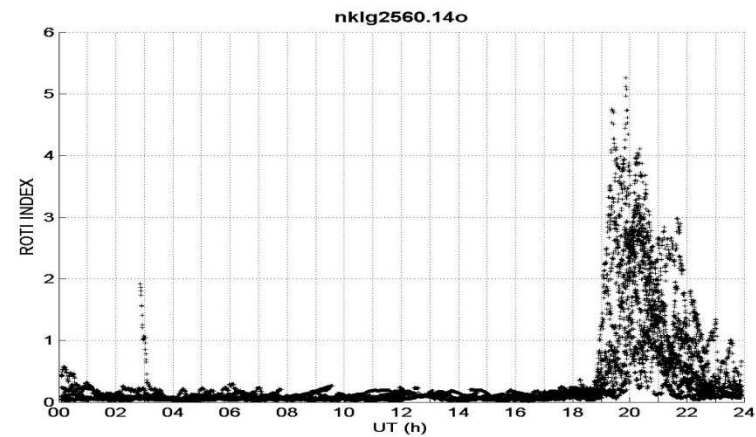
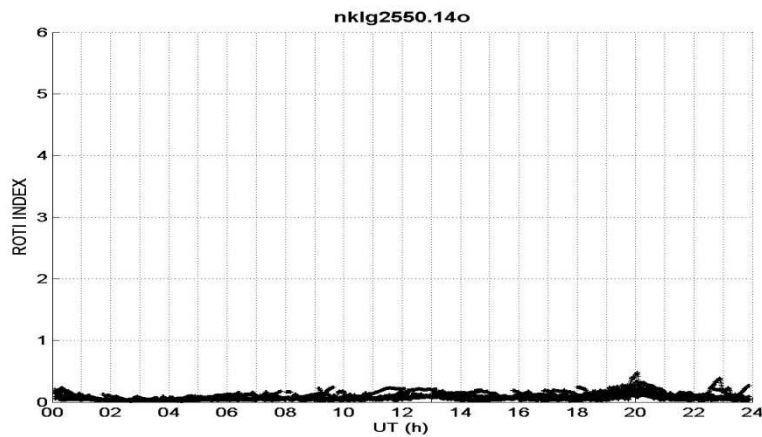


roti_nklg0690.jpg
vtec4_nklg0690.jpg



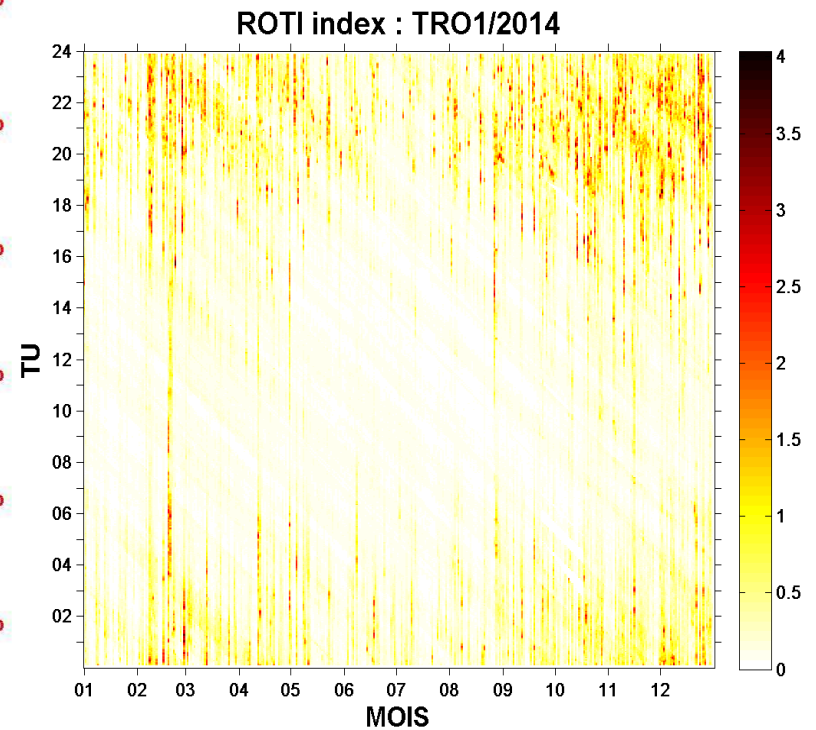
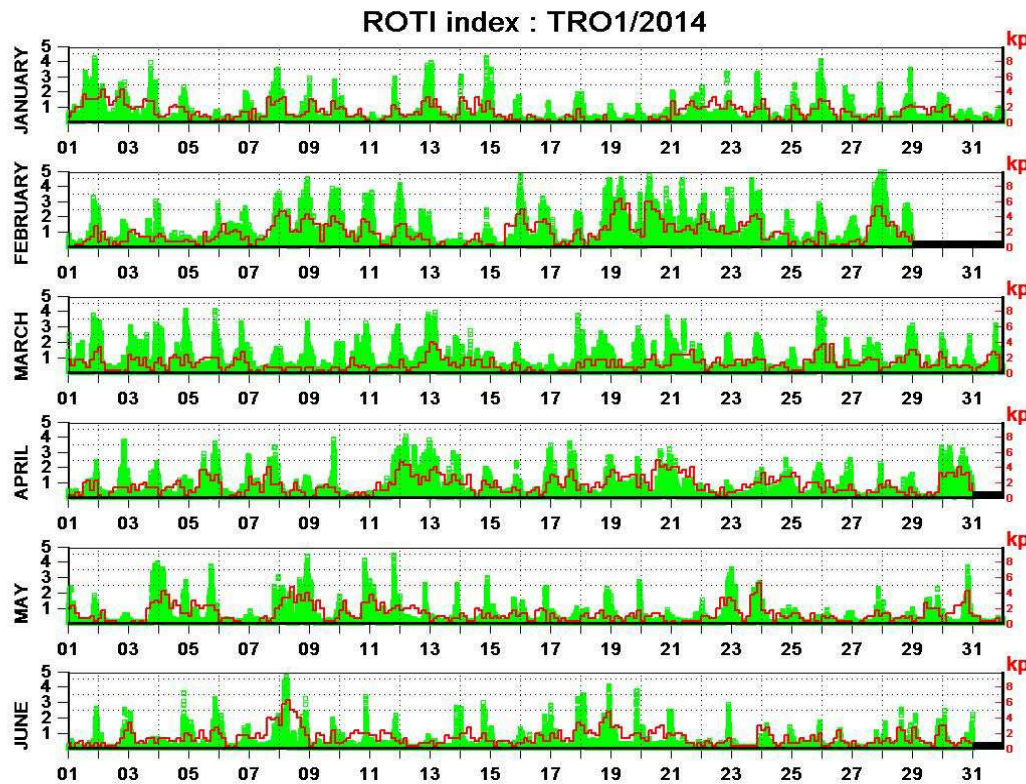
Indice ROTI

■ ROTI & VTEC/phase



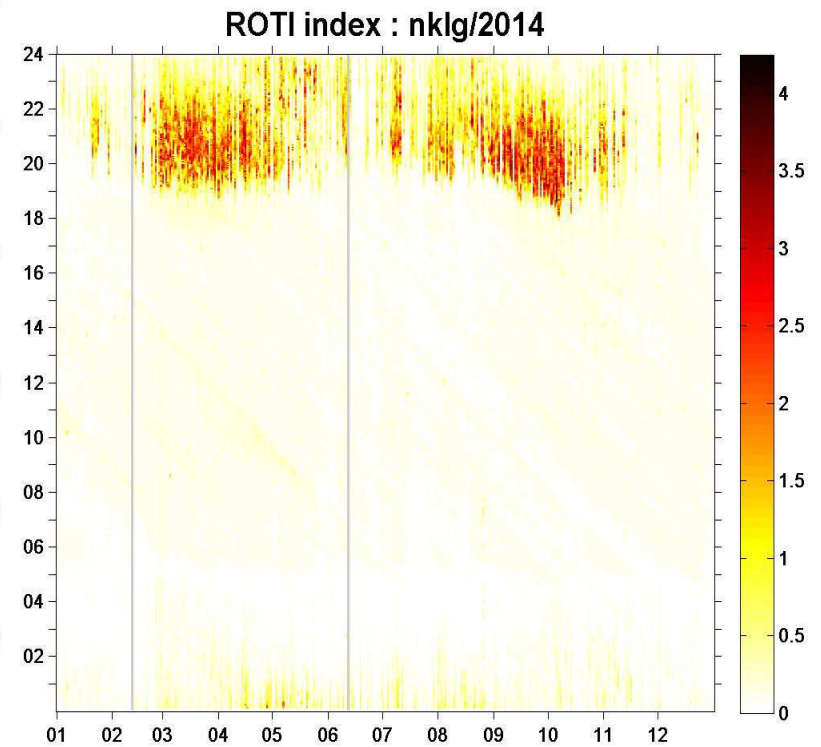
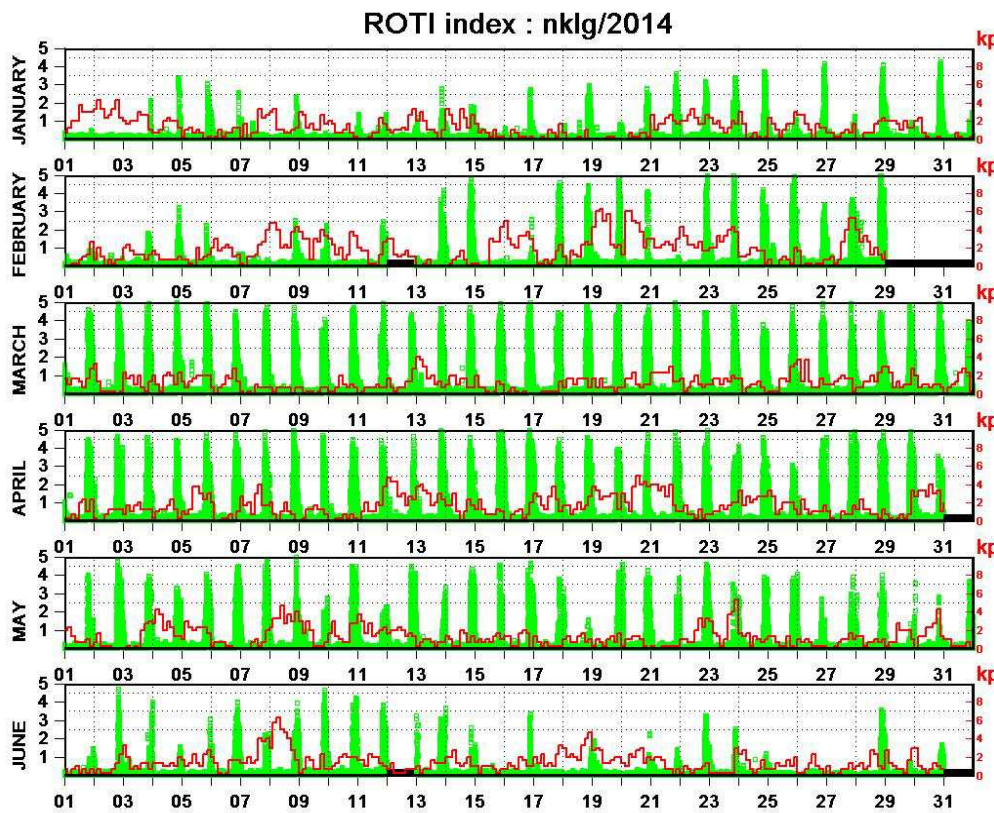
Indice ROTI

■ Indice ROTI / hautes latitudes (TRO1)



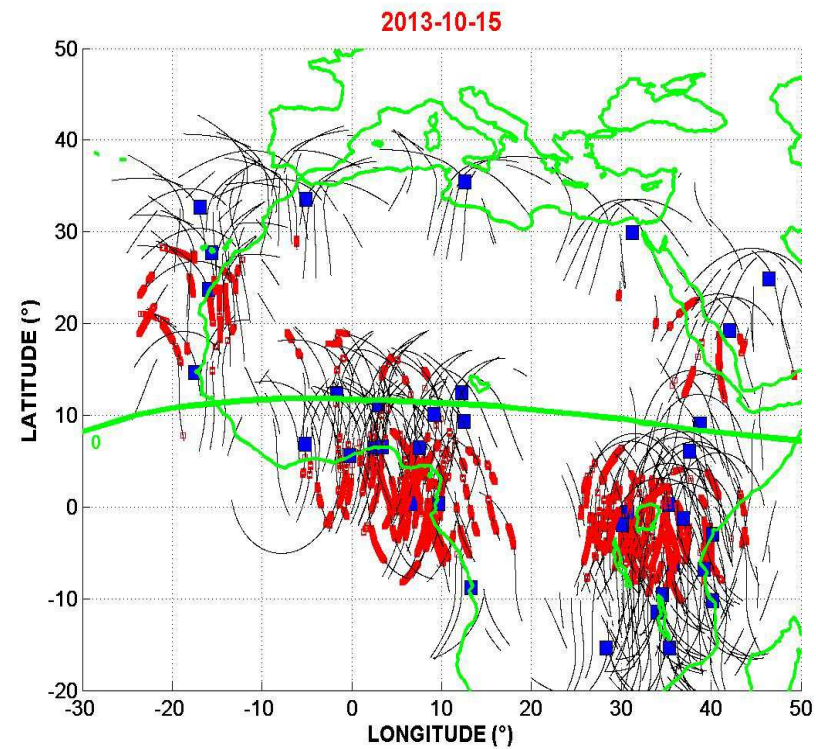
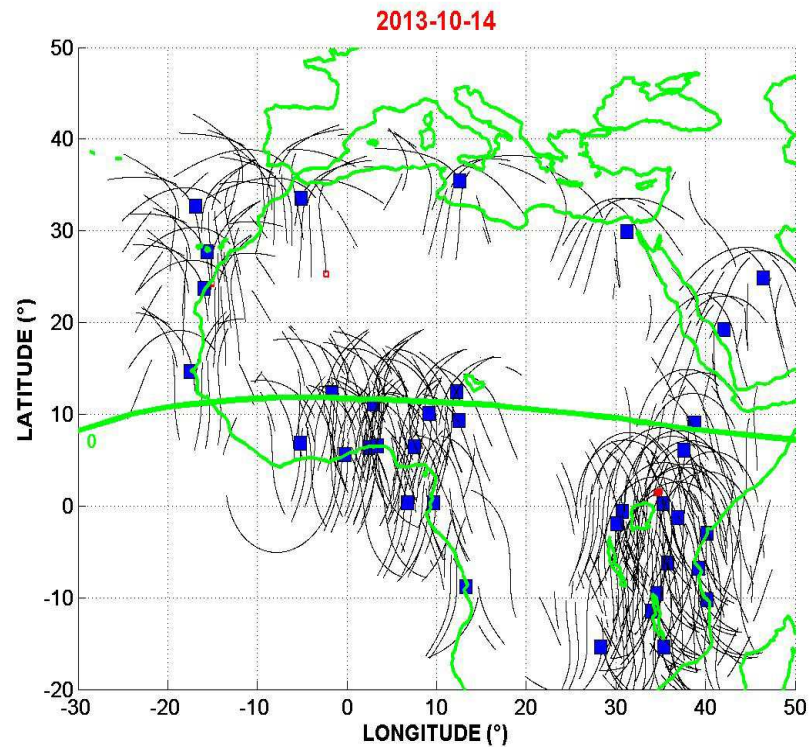
Indice ROTI

■ Indice ROTI / basses latitudes (NKLK)



Indice ROTI

■ Indices ROTI / variation spatiale avec un grand nombre de récepteurs



Indice ROTI

- bulles EPB 'Equatorial Plasma Bubble'
- Voir séquence NKLG, 2012, doy=245 - 298
- STEC phase – indice ROTI – mesures amplitude S4

