
Ionogrammen / Ionogrammes

Door/par ON6RR – Traduit par ON5FD

Veel radioamateurs maken dankbaar gebruik van de ionogrammen die door het Geofysisch Centrum van het KMI te Dourbes via het internet worden aangeboden. Maar: hoe moeten we deze ionogrammen 'lezen'?

(N.v.d.r. de afbeeldingen vind je terug op pagina 43)

Inleiding

Het Geofysisch Centrum (GC) van het KMI te Dourbes ligt in een prachtige omgeving in het zuiden van het land, dicht bij de Belgisch-Franse grens (Wwloc JO20bd), ver weg van om het even welke elektrische of magnetische storing. De site werd ingehuldigd in 1956. In 1957, het Internationaal Geofysisch Jaar, werd, lang voor het onderzoek van de hoge atmosfeer via satellieten, de 'digisonde' in gebruik genomen om ionosfeerpeilingen uit te voeren.

Naast de studie van profielen van de ionosfeer, worden in deze afdeling van het GC nog andere activiteiten uitgevoerd, zoals de studie van kosmische straling en – sedert het jaar 2000 – de studie van het seizoensgebonden gedrag van het D-gebied. Vroeger waren er wereldwijd ongeveer 64 stations waar ionosfeerpeilingen werden verricht met 'numerieke' sondes. Een aantal hiervan stapten over naar digitale sondes terwijl andere om diverse redenen uit de lucht gingen.

Beaucoup de radio amateurs sont heureux de pouvoir utiliser les ionogrammes qui sont proposés sur Internet par le Centre de Géophysique de l'Institut Royal Météorologique de Dourbes. Mais comment lire et interpréter ces ionogrammes?

(N.d.l.r. voir les photos sur la page 43 s.v.p.)

Introduction

Le Centre de Géophysique (CG) de l'Institut Royal Météorologique (IRM) à Dourbes se trouve dans un environnement agréable dans le sud du pays, à deux pas de la frontière française (Wwloc JO20bd), loin de toute perturbation électrique ou magnétique. Le site a été inauguré en 1956. En 1957, Année Géophysique Internationale, a été mise en service la « digisonde » pour effectuer des sondages ionosphériques, et ce bien avant les recherches dans la haute atmosphère par satellites.

A côté de l'étude des profils de l'ionosphère, cette division du Centre a encore d'autres activités, comme l'étude des rayonnements cosmiques et, depuis 2000, l'étude du comportement de la couche D lié aux saisons.

Jadis, il y avait de par le monde quelque 64 stations où se faisaient des sondages ionosphériques avec des sondes « numériques ». Un certain nombre de ces stations sont passées au sondage digital et d'autres ont disparu pour diverses raisons.

Kanttekening: in het GC worden verschillende toestellen met grote hoeveelheden water afgekoeld. Het KMI liet een waterleiding naar de gemeente Dourbes aanleggen en de inwoners konden bijgevolg over gratis warm water beschikken.

De digisonde van Dourbes (**fig. 1**) is zeker niet het allernieuwste snuffje. Budgetbeperkingen en andere prioriteiten maken het niet steeds mogelijk om regelmatig moderne apparatuur aan te schaffen. Maar... het GC is in blijde verwachting: eind 2008 of begin 2009 wordt een moderne installatie in gebruik genomen. Nochtans zijn de huidige registraties nog steeds heel nuttig en duidelijk (zie verder). Met een oude, eenvoudige buizenzender kan je evengoed DX werken als met een modern toestel met veel toeters en bellen, nietwaar?

De digisonde werkt volgens hetzelfde principe als een radar. Pulsen worden verticaal opgestraald in een frequentiegebied dat 1 tot 20 MHz kan beslaan. Daar de maxima gewoonlijk 10 tot 11 MHz liggen volstaat het tot 12 MHz te peilen. De scansnelheid is 100 kHz/sec en hierin worden op regelmatige frequentieafstand (kanalen) pulsen uitgezonden en terug ontvangen. De tijdsduur tussen het ogenblik van uitzenden van de puls en de ontvangst van de echo ervan, dus de tijd die de puls nodig heeft om het traject af te leggen, vormt de basis voor de informatie geleverd door ionosfeerpeilingen. De peilingen worden het ganse jaar door, alle 15 minuten gedurende 24/24 uur gedaan. Bijna alle gebruikte numerieke digisondes zijn van het merk Lowell. Er zijn verschillende types in gebruik:

- de DGS-256 zoals deze van het KMI in Dourbes
- de DPS-1 draagbare digisonde met 1 ontvanger
- de DPS-4 draagbare digisonde met 4 ontvangers
- de VIS verticale sounder gebruikt voor Telstra Australia

Het uitgangsvermogen van de puls zender van de digisonde te Dourbes bedraagt 10 kW. De antenne is een verticale "home made" antenne die qua constructie lichtjes afwijkt van een rhombic, met een mast van 43 m hoog en drie antennes parallel.

Ionogrammen

Dit zijn de gedetailleerde diagrammen waar het ons om te doen is: ionogrammen geven de variatie in 'virtuele' hoogte (h') van de geïoniseerde lagen in de ionosfeer en dit in functie van de frequentie (f). Je kan het meest recente ionogram van Dourbes bekijken via deze URL: digisonde.oma.be/cgi-bin/latest.exe?. Het scherm wordt om de twee minuten vernieuwd, maar de metingen in Dourbes gebeuren om de 15 minuten. Daar er momenteel weinig of geen zonneactiviteit is, is in **figuur 3** gekozen voor een ionogram uit 2001.

De tekst bovenaan het diagram vermeldt:

- STATION: de naam van de standplaats van de digisonde
- YYYY Day: datum
- DDD: Juliaanse kalenderdag, in het voorbeeld de 264^{de} dag van het jaar
- HHMM: tijdstip van de peiling in UTC
- P1; FFS; S; AXN; PPS; IGA en PS: registratiegegevens, gereserveerd voor 'lokaal' gebruik in Ukkel en Dourbes.

In de tabel aan de linkerkant van de grafiek worden verschillende symbolen en waarden in vakjes weergegeven. Een waarde "N/A" ("not available") betekent dat de condities van die aard zijn dat eventuele resultaten van de peilingen niet kunnen geïnterpreteerd worden. Het is eveneens mogelijk dat de fenomenen zich niet manifesteren.

fo of 'kritische frequentie' is de hoogste frequentie waarbij nog reflectie plaatsvindt. foF1 is de kritische frequentie van de F1-laag, foF2 de kritische frequentie van de F2-laag. De peiling vond plaats op 21 september 2001 om 0800 UTC. De beide F-lagen zijn tot één laag versmolten en de vermelding in het ionogram is foF2 omdat F2 op de grootste afstand ligt. Wanneer F1 en F2 overgegaan zijn in F wordt dit in het ionogram als "F2" vermeld. Bij F1 komt dan "N/A" te staan. Het komt voor dat de F1-laag, zelfs overdag, een min of meer hoge dichtheid heeft. Dan wordt

Remarque en passant: Dans le Centre de Géophysique, divers appareils sont refroidis avec de grandes quantités d'eau. L'IRM en a profité pour installer une conduite d'eau vers la commune de Dourbes, dont les habitants peuvent profiter d'eau chaude gratuite.

La sonde digitale de Dourbes (**fig. 1**) n'est certes pas du dernier cri. Des limitations budgétaires et d'autres priorités empêchent d'acquérir régulièrement le matériel le plus moderne, mais le Centre attend un heureux événement car fin 2008 ou début 2009 une installation plus moderne sera mise en service. Mais néanmoins les enregistrements actuels sont toujours très utiles et très lisibles (voir plus loin). Avec un ancien émetteur à tubes on peut toujours faire d'aussi bons DX qu'avec un appareil ultra moderne, n'est ce pas?

La digisonde fonctionne selon le même principe que le radar: des impulsions sont envoyées verticalement dans une bande de fréquences qui peut aller de 1 à 20 Mhz.

Etant donné que les maxima se trouvent d'habitude entre 10 et 11 Mhz, il suffit en fait d'émettre jusqu'à 12 Mhz. La vitesse de scanning est de 100 kHz/sec et au cours du scanning des impulsions sont envoyées et l'écho reçu dans des canaux à des différences de fréquence constantes. Le temps qui s'écoule entre l'envoi de l'impulsion et la réception de l'écho, en fait le temps nécessaire pour le trajet aller et retour, est la base de l'information recueillie par le sondage ionosphérique. Ces sondages se font toute l'année 24 heures sur 24, chaque 15 minutes.

Presque toutes les sondes en service sont de marque Lowell. Il y en a de divers types: le DGS256 comme celui de Dourbes, le DPS1 portable avec 1 récepteur, le DPS4 portable avec 4 récepteurs, le sondeur vertical VIS en service à Telstra Australia. Voir également www.ulcar.uml.edu/index.html.

La puissance de sortie de l'émetteur d'impulsions de Dourbes est de 10 kW. L'antenne est une verticale de « fabrication maison » qui ressemble beaucoup à une rhombic, avec un mat de 43 m de haut et 3 antennes en parallèle.

Ionogrammes

Ce sont les diagrammes détaillés qui nous intéressent: les ionogrammes donnent les variations en hauteur « virtuelle » (h') des couches ionisées de l'ionosphère en fonction de la fréquence (f). Il est possible de voir les ionogrammes les plus récents de Dourbes sur le site digisonde.oma.be/cgi-bin/latest.exe. L'écran est renouvelé toutes les deux minutes, mais les mesures à Dourbes se font toutes les 15 minutes.

Comme il y a peu ou pas d'activité solaire actuellement, l'exemple de la **figure 3** est un ionogramme de 2001.

Le texte de la partie supérieure reprend:

- STATION: nom de l'emplacement de la digisonde
- YYYY Day: date
- DDD: rang du jour dans le calendrier Julien, dans l'exemple 264e jour de l'année
- HHMM: heure de la mesure en UTC
- P1; FFS; S; AXN; PPS; IGA et PS: données d'enregistrement réservées pour l'usage local à Ukkel et Dourbes.

Dans la table à la gauche du graphique apparaissent divers symboles et valeurs.

Une valeur N/A (not available) signifie que les résultats des sondages pour cette caractéristique ne peuvent pas être interprétés valablement. Peut-être même le phénomène examiné ne s'est-il pas manifesté.

Fo ou fréquence critique est la fréquence la plus élevée où il y a encore une réflexion. FoF1 est la fréquence critique de la couche F1 et foF2 la fréquence critique de la couche F2. Le sondage s'est fait le 21 septembre 2001 à 0800 UTC. Les deux couches se sont fondues en une seule et sur l'ionogramme on ne voit plus mentionné que F2 car F2 se trouve le plus loin. Quand F1 et F2 se fondent en F, cela est repris dans le diagramme comme F2 et pour F1 il y a N/A. Il arrive que, même en cours de journée, la couche F1 aie une densité plus ou moins grande. Cela est mesuré et

zij door de digisonde waargenomen en vermeld. Zie het ionogram van 14 juli 2008 om 1515 UTC in **figuur 4**.

foF1p is de voorspelde waarde van de kritische frequentie voor de F1-laag ("F1 Predicted"). Uit de bekomen gegevens doet de digisonde namelijk aan voorspellingen. foE en foEp zijn respectievelijk de kritische frequentie en de voorspelde kritische frequentie voor de E-laag. fx1 is de maximumfrequentie waarop reflecties in de F-laag worden waargenomen: 10,5 MHz in de grafiek van **figuur 3** en 5 MHz in deze van **figuur 4**. Wanneer een zekere graad van densiteit wordt waargenomen is dit voor de digisonde de kritische frequentie. Nochtans zijn er delen van de opgestraalde golf die verder gaan en weerkaatst worden. foEs is dan weer de kritische frequentie voor sporadische-E gebieden en fmin de minimumfrequentie voor echo's. Deze laatste waarde kan overeenstemmen met de startfrequentie van de digisonde.

Het tweede vak bevat gegevens over de MUF-waarden ("Maximum Usable Frequency"). De maximum bruikbare frequentie is een berekende waarde voor gereflecteerde golven over de aardse afstand D. De factor $M = MUF / foF2$.

Vervolgens worden een aantal hoogtegegevens voor de ionosfeergebieden aangegeven:

- h'F maximum virtuele hoogte van F-sporen
- h'F2 maximum virtuele hoogte van F2-sporen
- h'E maximum virtuele hoogte van E-sporen
- h'Es maximum virtuele hoogte van Es-sporen

De virtuele of schijnbare hoogte (h') stemt niet overeen met de werkelijke (reële) hoogte. De opgestraalde golf verplaatst zich aan de normale snelheid van 300.000 km per seconde, maar in de nabijheid van de kritische frequentie vertraagt zij, waardoor de gemeten tijdsduur niet overeenstemt met de werkelijk afgelegde afstand. foF2 is correct maar de afstand niet.

De "zm" gegevens zijn realistischer en vandaar ook regelmatig lager dan foF2:

- zmF1 reële hoogte van de maximumconcentratie van de F1-laag
- zmF2 reële hoogte van de maximumconcentratie van de F2-laag
- zmE reële hoogte van de maximumconcentratie van de E-laag

De concentratie in functie van de hoogte is parabolisch gemodelleerd tegenover een horizontale as. De kritische frequentie is evenredig met de vierkantswortel van de concentratie.

y is een maat voor de dikte op de helft van die concentratie.

- yF1 dikte op de helft van de parabool die de F1-laag modelleert
- yF2 dikte op de helft van de parabool die de F2-laag modelleert
- yE dikte op de helft van de parabool die de E-laag modelleert

B0 en B1 zijn "IRI" (International Reference Ionosphere) parameters (voor lokaal gebruik):

- B0 IRI dikteparameter
- B1 IRI profielscherpte-parameter

CC staat voor "confidence level". Het is een bigram waarin elk cijfer zijn waarde heeft. 5 is een heel betrouwbaar resultaat en 1 is veel minder betrouwbaar.

Aan de rechterzijde van de grafiek wordt een kleurenschaal met waarden afgebeeld (-4 -3 ... +4 +3). Die kleuren zijn een maat voor het dopplereffect van de echo's.

Onderaan de grafiek vinden we een handige MUF-tabel voor diverse afstanden (in km). Vermits de hoogte (h) en de overeengekomen afstand (3000 km) gekend zijn vergt het enig rekenwerk (driehoeksmetkunde) om de afstand (D) en de daaraan verbonden MUF te berekenen. GC doet dit voor ons. De MUF-waarden zijn van toepassing voor Dourbes en bij

signalé par la digisonde. Voir l'ionogramme du 14 juillet 2008 à 1515 UTC de la **figure 4**.

foF1 est la valeur prévue de la fréquence critique pour la couche F1 (F1 predicted). A partir des données obtenues, la sonde établit des prévisions. FoE et foEp sont respectivement la fréquence critique et la prévision de fréquence critique pour la couche E. Fx1 est la fréquence maximum pour laquelle les réflexions sur la couche F sont observées: 10,5 Mhz dans le graphique de la **figure 3** et 5 Mhz dans celui de la **figure 4**. Quand un certain degré de densité est observé, ela est pour la digisonde la fréquence critique. Il y a pourtant des parties du rayonnement montant qui vont plus haut et qui sont renvoyées. FoEs est alors à nouveau la fréquence critique pour les domaines de E sporadique et fmin la fréquence minimum de l'écho. Cette dernière valeur peut être la même que la fréquence de départ de la digisonde.

La deuxième case de données concerne les valeurs MUF (« Maximum Usable Frequency »). La fréquence maximum utilisable est une valeur calculée pour les ondes réfléchies pour la distance terrestre D. Le facteur $M=MUF/foF2$

Ensuite sont données les hauteurs des différents domaines ionosphériques:

- h'F hauteur virtuelle maximum des traces F
- h'F2 hauteur virtuelle maximum des traces F2
- h'E hauteur virtuelle maximum des traces E
- h'Es hauteur virtuelle maximum des traces Es

L'altitude virtuelle ou apparente (h') ne concorde pas avec l'altitude réelle.

L'onde ascendante se déplace à la vitesse normale de 300.000 km par seconde mais aux environs de la fréquence critique elle ralentit, ce qui fait que le temps mesuré ne concorde pas avec la distance réellement parcourue. FoF2 est correct mais la distance ne l'est pas.

Les données « zm » sont plus réalistes et donc régulièrement plus basses que foF2:

- zmF1 altitude réelle de la concentration maximum de la couche F1
- zmF2 altitude réelle de la concentration maximum de la couche F2
- zmE altitude réelle de la concentration maximum de la couche E

« y » est une mesure de l'épaisseur à la moitié de cette concentration.

- yF1 épaisseur à la moitié de la parabole enveloppant la couche F1
- yF2 épaisseur à la moitié de la parabole enveloppant la couche F2
- yE épaisseur à la moitié de la parabole enveloppant la couche E.

B0 et B1 sont les paramètres IRI (International Reference Ionosphere) pour usage local

- B0 paramètre IRI d'épaisseur
- B1 paramètre IRI d'acuité de profil

Sur le côté droit du graphique il y a une échelle de couleurs avec valeurs (-4 -3...+4 +3). Ces couleurs sont une mesure de l'effet doppler des echos.

Dans le bas du graphique nous voyons une table pratique de la MUF (Maximum Usable Frequency) pour diverses distances (en km). Etant donné que la hauteur (h) et la distance convenue (3000 km) sont connues, le seul calcul qui reste à faire par trigonométrie pour savoir la distance (D) et le MUF qui lui est liée sera fait par GC. Les MUF sont d'application

het bepalen van de afstand (D) wordt geen rekening gehouden met de situatie op het traject, zoals dag/nacht.

De lijn helemaal onderaan het ionogram bevat registratieparameters:

- DB internationaal bigram toegewezen aan Dourbes (DB)
- 220 enz. het door de digisonde gebruikte formaat voor afdrukken
- DGS-256 type DGS
- 50.1 N 4.6 E geografische coördinaten

De grafiek in het ionogram (**figuur 5**) is de grafische weergave van bepaalde registraties.

Op de verticale as kan je de hoogte (h) in km aflezen, op de horizontale as de frequentie (f) in MHz. De andere lijnen in de grafiek geven een beeld van de situatie van de ionosfeerlagen.

Voor elke laag wordt een apart symbool gebruikt, zie **figuur 6**. Let in deze figuur op het verschil in hoogte tussen foF2 en zmF2. De kritische frequentie (foF2) blijft gelijk met de frequentie van maximum concentratie (zmF2) maar door de lagere snelheid van de golf in de nabijheid van fo lijkt de door de golf afgelegde afstand groter.

Interpretaties van enkele ionogrammen

Figuur 7 toont een ionogram afkomstig van de digisonde opgesteld in Juliusruh, Duitsland. Multi-echo's zijn duidelijk zichtbaar.

Het ionogram van **figuur 8** werd geregistreerd tijdens een periode van hoge Es-activiteit. De densiteit van de Es-laag is zo hoog dat de signalen van de digisonde het F-gebied niet bereiken. Bij navraag aan het KMI werden deze waarnemingen bevestigd: "Ja, er is Es aanwezig, en die absorberen de F-laag. En ook later is de F2-laag zo klein dat ze ofwel hoger is dan 700 km of kleiner dan de F1-laag. Dat zijn verschijnselen die zich soms nog voordoen, zeker geen technisch probleem". Tijdens deze Es-periodes worden bijvoorbeeld op 10 MHz en 14 MHz tijdens de dag heel sterke signalen gehoord van stations uit België of de naburige landen, iets wat in normale omstandigheden zo goed als uitgesloten is.

Ionogrammen voor radioamateurs

Voor wie zinnens is de propagatie te bestuderen of te volgen zijn vooral de gegevens fo en MUF bruikbaar. Het is bijvoorbeeld mogelijk om de gegevens van de lagen te volgen, want die zijn voortdurend in beweging. Via de database van het GC kunnen ionogrammen per uur terug opgevraagd worden: digisonde.oma.be/search.html. Ook kan er onmiddellijk gezien worden of er Es is en welke densiteit die laag heeft. Worden de andere lagen nog weergegeven?

Alhoewel de MUF eigen is aan de digisonde te Dourbes, krijg je toch een idee van de propagatiemogelijkheden op het tijdstip van dag of nacht. De afstand van Dourbes t.o.v. centrum-België (circa 100 km) is een verwaarloosbare factor. Vanuit DX-standpunt: de MUF/D tabel onderaan het ionogram in de gaten houden!

Wat de nieuwe digitale digisonde ons zal brengen valt nog af te wachten. Uitkijken dus.

73, Staf RANS, ON6RR
UBA-sectie LVN

Bronnen

KMI afdeling Profielen van de Ionosfeer, met bijzondere dank aan:

- Prof. Warnant
- Prof. Jodogne
- Mevr. Elise Vanmalderen
- Guy Crabbé

Digisonde van Juliusruh (Duitsland)

URSI (Union Radio-Scientifique International)

pour Dourbes et dans la détermination de la distance (D) on ne tient pas compte de la situation sur le trajet, comme jour ou nuit.

La ligne tout en bas de l'ionogramme comporte les paramètres d'enregistrement:

- DB internationaal bigram toegewezen aan Dourbes (DB)
- 220 enz. le format utilisé pour l'impression
- DGS-256 le type DGS
- 50.1 N 4.6 E les coordonnées géographiques.

Le graphique de l'ionogramme (**fig. 5**) est la reproduction graphique de certains enregistrements. Sur l'axe vertical, on peut lire l'altitude (h) en km et sur l'axe horizontal la fréquence (f) en Mhz. Les autres lignes du graphique donnent une image de la situation dans les couches ionosphériques.

Pour chaque couche, on utilise un symbole différent, voir **fig. 6**. Faites attention dans cette figure à la différence entre foF2 et zmF2. La fréquence critique (foF2) est égale à la fréquence de concentration maximum (zmF2) mais à cause de la vitesse moins élevée de l'onde à proximité de fo, la distance parcourue par l'onde semble plus grande.

Interprétation de quelques ionogrammes

La **figure 7** montre un ionogramme venant de la digisonde établie à Juliusruh, Allemagne. Les multiples echos sont distinctement visibles.

L'ionogramme de la **figure 8** a été enregistré pendant une période d'activité Es importante. La densité de la couche Es est tellement élevée que les signaux de la digisonde n'atteignent pas la couche F. Et plus tard également la couche F2 est tellement petite qu'elle est, ou bien plus élevée que 700 km ou plus petite que la couche F1.

Ce sont des phénomènes qui se produisent parfois, pas des problèmes techniques. Pendant ces périodes où Es est très actif on entendra pendant la journée sur 10 Mhz et 14 Mhz des signaux très forts de Belgique ou de pays voisins, ce qui est pratiquement exclu dans des circonstances normales.

Ionogrammes pour radioamateurs

Pour celui qui désirerait étudier ou suivre l'évolution de la propagation, ce sont les données fo et MUF qui l'intéressent. Il est par exemple possible de suivre les changements qui se produisent dans les données des couches car celles-ci se modifient en permanence. Via la base de données du Centre Géographique on peut demander des ionogrammes au site digisonde.oma.be/search.html. On peut également voir immédiatement s'il y a du Es ainsi que la densité de cette couche. Les autres couches sont également rendues.

Bien que la MUF soit particulière à la digisonde de Dourbes, on a quand même une idée des possibilités de propagation du moment, de jour ou de nuit. La distance entre Dourbes et le centre de la Belgique (environ 100 km) est un facteur négligeable. Du point de vue du DX: tenir à l'œil les données MUF/D dans le bas de l'ionogramme.

Quant à ce que nous apportera la nouvelle sonde digitale: Wait and see.

73, Staf RANS, ON6RR
Section UBA – LVN

Ionogrammen Ionogrammes

door/par ON6RR



Fig. 1



Fig. 2

Fig. 1. De digisonde / La sonde digitale

Fig. 2. Antenne voor verticale peilingen / Antenne pour sondages verticaux

Fig. 3. Ionogram bij hoge zonneactiviteit / Ionogramme en période d'activité solaire élevée

Fig. 4. Ionogram bij lage zonneactiviteit; foEs lichtjes hoger dan foF2 /

Ionogramme en cas de faible activité solaire; foEs légèrement plus élevée que foF2

Fig. 5. Grafiek van het ionogram / Graphique de l'ionogramme

Fig. 6. Symbolen in de grafiek / Symboles du graphique

Fig. 7. Multi-echo's / Multiples echos

Fig. 8. Sporadic-E / Sporadique-E

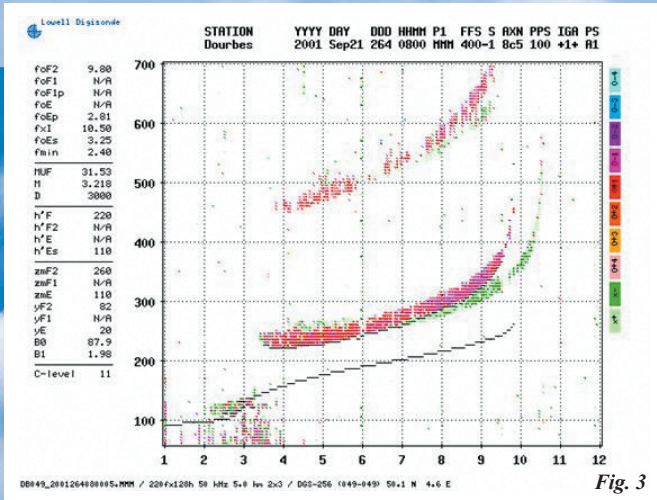


Fig. 3

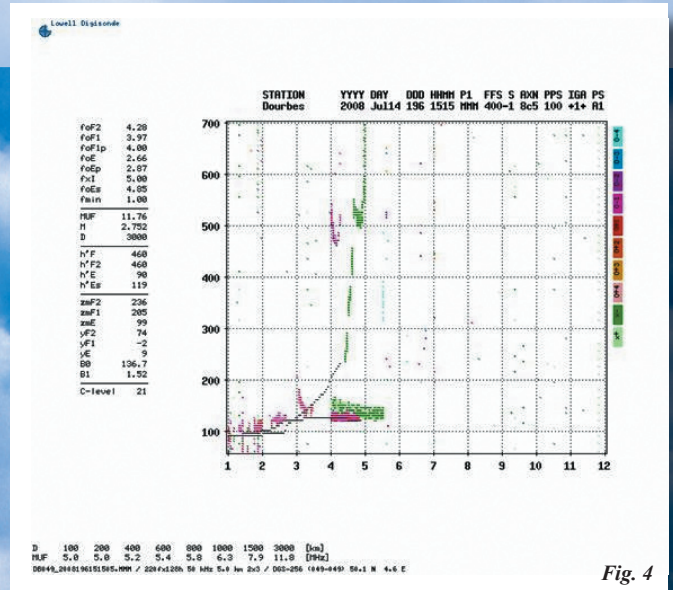


Fig. 4

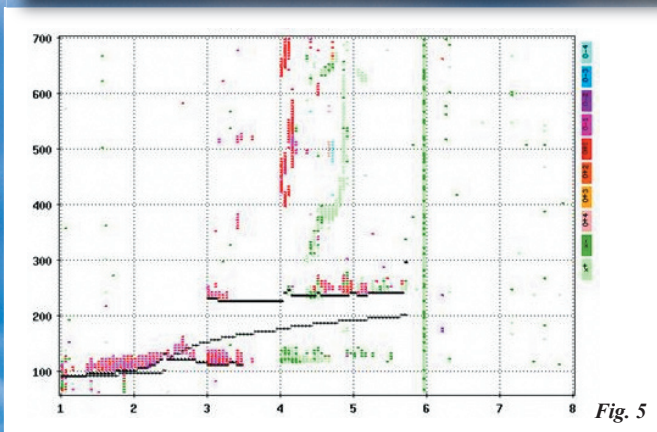


Fig. 5

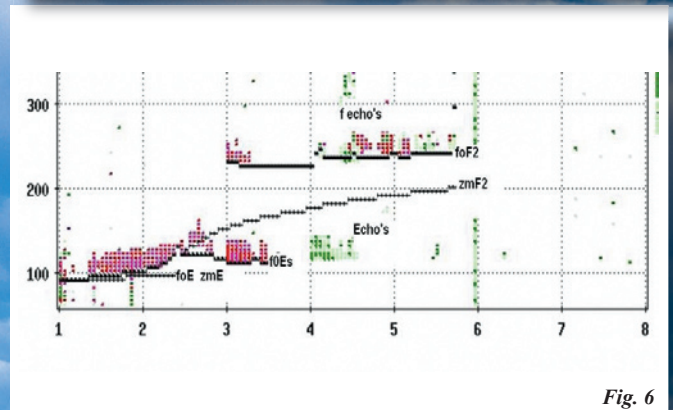


Fig. 6

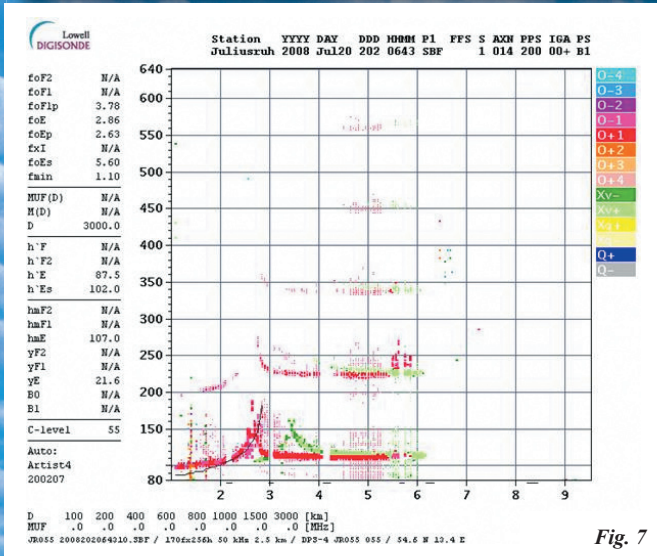


Fig. 7

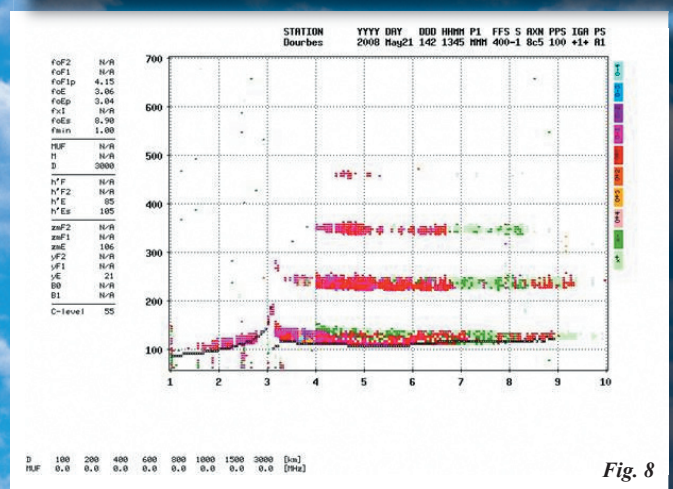


Fig. 8