par FE6FQX, Jean-Pierre BOURDIER

PROPAGATION : SUIVEZ LA LIGNE GRISE

En matière de prévision de propagation, nous parlons souvent de «recettes de bonne femme». Nos amis anglophones, tout aussi misogynes, parlent de «old wive tales» (contes de vieilles épouses).
Parmi ces recettes, il en est une qui est particulièrement simple : c'est celle qui fait appel à la «ligne grise» («grey line» en anglais) ou «terminateur» («terminator» en anglais).

QU'APPELLE-T-ON «LIGNE GRISE» OU «TERMINATEUR» ?

Il s'agit de la ligne imaginaire qui, à chaque instant, partage la terre en deux parties, l'une où il fait jour et l'autre où il fait nuit (figure 1).
Cette ligne est floue en raison de la diffraction et de la diffusion des rayons lumineux par l'atmosphère. On peut cependant l'assimiler à une ellipse quasi-circulaire (intersection du cylindre des rayons solaires avec l'ellipsoïde terrestre).
Cette ligne ne passe par les pôles qu'aux équinoxes. Le reste de l'année, elle est inclinée sur l'axe polaire d'un angle qui atteint son maximum (23°27') lors des solstices (figure 2).
Un point quelconque du globe, sauf s'il est trop près d'un pôle, franchit, chaque jour, deux fois la ligne grise : au lever et au coucher du soleil. Lors de ces franchissements, le terminateur fera, avec le méridien du lieu, un azimut variant avec le jour et la latitude.

QUELLE EST L'UTILITE DU TERMINATEUR ?

Les marins de la Royale vous diront que cela sert à faire le point et à savoir quand lever ou amener les couleurs...
En matière de propagation, le terminateur présente les caractéristiques fondamentales suivantes :

- le terminateur est la seule ligne permettant à une onde de faire le tour de la terre sans avoir une partie dans le jour et une autre dans la nuit ;
- le long du terminateur, les couches ionisées ont, vis-à-vis de la propagation, des comportements qui se complètent de façon optimale.

En effet, on sait que la propagation à grande distance est commandée par le comportement des couches atmosphériques basses (D, E) et hautes (F1, F2). Hors circonstances exceptionnelles (sporadiques, par exemple), ces couches agissent de la façon suivante :

– les couches basses ont peu d'inertie : elles s'ionisent très vite au soleil et se désionisent vite sans soleil. Ionisées, elles absorbent littéralement les ondes (d'autant plus que leur fréquence est basse). On leur doit le silence diurne (en ce qui concerne le DX) des bandes basses (petites ondes, 160 m, 80 m) ;
– les couches hautes ont beaucoup d'inertie : leur ionisation, forte au soleil, décroît progressivement la nuit. Ionisées, elles sont un excellent miroir à ondes qui, paradoxalement, réfléchit mieux le jour, mais se trouve alors handicapé par l'écran absorbant des couches basses. La nuit, par contre, cet écran a disparu, mais les couches F réfléchissent moins bien.

Le long du terminateur, on bénéficie des avantages cumulés : couches F plus réfléchissantes et couches basses moins absorbantes. De plus, cette propriété est valable sur un tour de terre complet.

Comme le chasseur d'images tapi à la lisière du bois qui guette l'animal qui va sortir pour le photographe, le radioamateur guettera le DX, antenne pointée le long de la lisière jour-nuit (à 180° près). L'amateur aura toutefois un avantage sur le chasseur : il saura l'heure précise à laquelle l'animal va sortir. Il aura, de plus, une idée du type d'animal en question (un OM d'un pays situé sur la ligne grise au même moment), et la lisière, différente le matin et le soir, variera tout au long de l'année (ce qui diversifiera les animaux...).

COMMENT PREVOIR HEURE ET DIRECTION DU TERMINATEUR ?

Ces prévisions peuvent être faites à partir de deux types de méthodes :

- celles qui reposent sur les lois de la mécanique céleste : la terre est animée d'un mouvement de rotation sur elle-même autour d'un axe incliné, tout en décrivant une orbite elliptique dont le soleil occupe un foyer (figure 2) ;
- celles qui recalent le passage au terminateur sur des éphémérides publics (heure de lever et de coucher du soleil à Paris, par exemple).

Les premières, bien plus satisfaisantes pour les amateurs d'équations fondamentales, donnent des résultats moins précis que les secondes (simplement parce que la mathématique simplifie le réel...).
L'auteur tient à la disposition de ceux que cela intéresse deux petits logiciels en basic permettant de déterminer le terminateur suivant une méthode de calage sur Paris :

- le premier, «Grayline», donne, lorsqu'on rentre les coordonnées du lieu et le jour, les heures TU de lever et de coucher du soleil ainsi que les azimuts du terminateur ;
- le second, «LIGNE GRISE», sur le planisphère quadrillé de 30° en 30°, dessine à un jour et une heure donnés, la ligne grise et les zones de jour et de nuit.

Pour ceux qui ne disposent pas de micro-ordinateur, il est possible de trouver les mêmes résultats avec le calendrier des postes et une calculette (celle-ci doit comporter les fonctions trigonométriques et leurs inverses). Une méthode très simple est donnée en figure 3. A titre d'exemple, on peut chercher comment utiliser le terminateur le 1er août à Plouhinec :

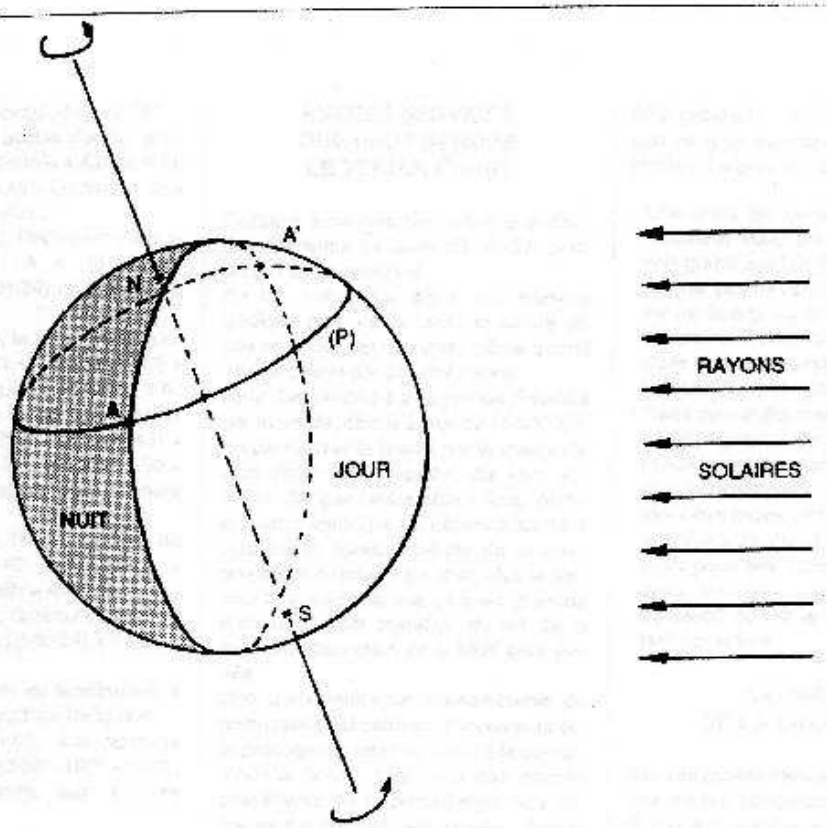

Figure 1
En A et A' un point du parallèle (P) franchira le terminateur. Dans le cas de la figure, on est en hiver (ou en automne) et le jour (arc de parallèle au soleil) est plus court que la nuit (arc de parallèle non au soleil). Plus le méridien est près du pôle, plus l'azimut du terminal se rapproche de 90° ; au delà d'une certaine latitude, il n'y a plus d'intersection : c'est la nuit polaire (ou le jour polaire à l'autre pôle).

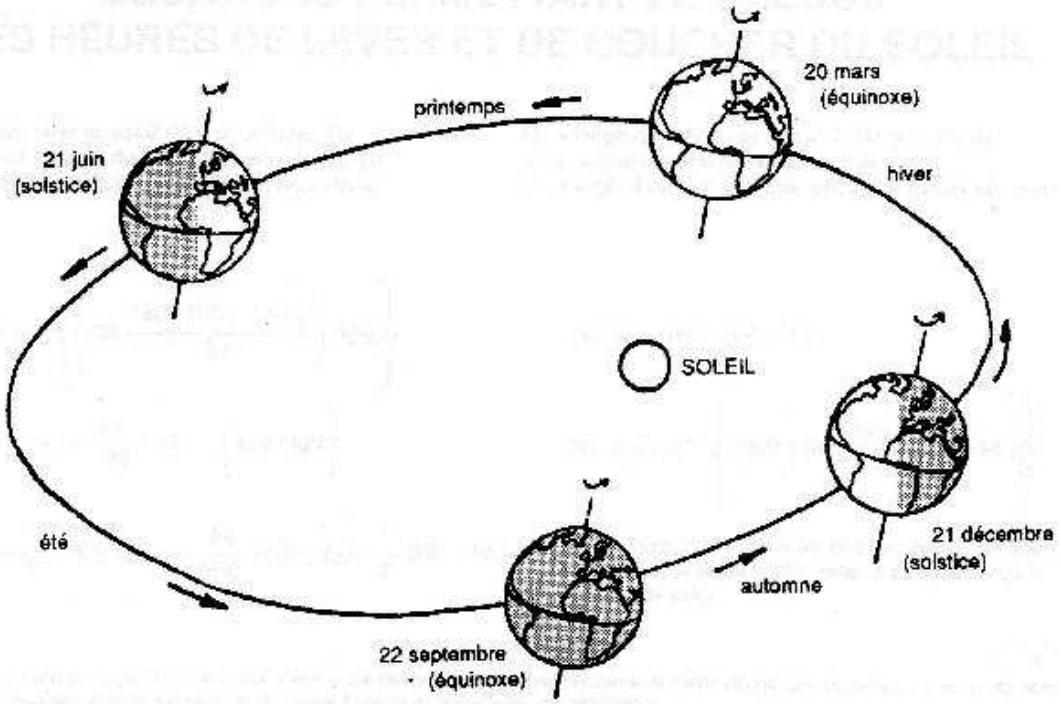

Figure 2
La terre décrit une ellipse dont le soleil est un foyer, en 365,256 jours. Les équinoxes se situent quand l'axe polaire est perpendiculaire au plan de l'écliptique. Les solstices se situent quand l'axe polaire est dans le plan perpendiculaire au plan de l'écliptique et passant par les centres de la terre et du soleil. Les saisons sont de longueurs différentes. Il n'y a qu'à l'équateur que jour et nuit conservent la même durée toute l'année.

– latitude : 47,70° ; longitude : +3,26° ;
– le calendrier des postes donne, pour Paris : HLo = 4h26min = 4,43h et HCo = 19h27min = 19,45h (penser à tout exprimer en base dix) ;
– on calcule, par (1), l'inclinaison équateur/écliptique : 4 = tg^{-1} [cos (180x(19,45–4,43)/24):tg 48,83] = – 18,61° ;
– on calcule, par (2), la longueur du jour à Plouhinec : (HCL–HL) = (24/180) x cos^{-1} [tg (47,7) x tg (–18,61)] = 14,9 h ;
– on calcule par (3) l'heure de coucher du soleil : HC = 0.5 x (19,45 + 4,43) + (24/360) x (3,26 + 2,34 + 1/2 x 14,90 = 19,76 h, soit en base sexagésimale 19h46min ;
– on calcule, par (4), l'heure de lever du soleil : HL = HC – (HC–HL) = 19,76–14,90 = 4,86h = 4h52min ;
– on calcule, par (5), l'azimut : θ = cos^{-1} [cos (–18,61) x sin [(180/24) x 14,90]] = 28° ;
– on bénéficiera donc du terminateur à Plouhinec, le 1er août en trafiquant :
– le matin vers 4h52, aux azimuts 360°–28° = 332° et 332°–180° = 152° ;
– le soir, vers 19h46, aux azimuts 180°+28° = 208°.

AUTRES SERVICES QUE PEUT RENDRE LE TERMINATEUR

Certains amateurs penseront que c'est dur de devoir se lever tôt (4h52) pour utiliser ce terminateur.
En fait, cette ligne est à tout moment quelque part sur la terre, et savoir où elle se trouve est très utile, même quand elle ne passe par par chez vous.
Pour des liaisons à très grande distance par exemple, disons à plus de 15 000 km, on peut tenter la liaison par le chemin le plus court («short path», ou «arc mineur») ou par l'autre côté («long path» ou «arc majeur»). Le choix entre les deux possibilités tiendra compte de la position du terminateur. En effet, plus le parcours sera dans la nuit, plus les chances d'aboutir seront grandes, du fait de la moindre absorption de la MUF plus élevée.
Une autre utilisation vraisemblable du terminateur est celle qui s'appuyerait sur la propagation dite par «saut à la corde» (chordal hop) : à la suite des articles précédents sur la propagation "«Le cycle solaire nouveau est arrivé» - Radio-REF juillet 87), F9LT a rappelé à l'auteur que ce type de propagation méritait attention. Le principe en est le suivant :

- Une onde qui serait réfléchie par l'ionosphère sous un angle de réflexion plus grand que l'angle d'incidence, pourrait ne pas revenir au sol avant plusieurs bonds «à la corde» contre l'ionosphère. Elle éviterait ainsi les pertes dues à la retraversée des couches inférieures et à la réflexion au sol.
- Cette possibilité, décrite par G6XN (voir bibliographie), est envisageable si l'onde franchit la discontinuité que constitue le terminateur, car l'onde pourrait alors être moins réfractée dans un sens que dans l'autre. De tels trajets, toujours pour des liaisons quasi-antipodiques, sont donc à préférer et imposent de savoir où est le terminateur à l'instant considéré.

GEOMETRIE DE LA LIGNE GRISE

Sur l'ellipsoïde terrestre, cette ligne est une ellipse concentrique avec la terre. Sur le planisphère, c'est une courbe en

EQUATIONS PERMETTANT LE CALCUL DES HEURES DE LEVER ET DE COUCHER DU SOLEIL

HL = heure lever du soleil (HL0 pour Paris) TU
HC = heure coucher du soleil (HC0 pour Paris) TU
φ = latitude en degrés (φ0 = +48,83° pour Paris)
Ω = longitude en degrés (Ω0 = -2,34° pour Paris)
θ = azimut du terminateur en degrés
Ψ = angle équateur-éliptique en degrés (positif en hiver)

$$(1)\quad \Psi = tg^{-1}\left\{\left(\cos\frac{180\cdot(HC_0 - HL_0)}{24}\right)/tg\,\varphi_0\right\}$$

$$(2)\quad (HC - HL) = \frac{24}{180}\cdot\cos^{-1}\left\{tg\varphi\cdot tg\Psi\right\}$$

$$(3)\quad HC = \frac{1}{2}(HC_0 + HL_0) + \frac{24}{360}\cdot(\Omega - \Omega_0) + \frac{1}{2}(HC - HL)$$

$$(4)\quad HL = HC - (HC - HL)$$

$$(5)\quad \theta = \cos^{-1}\left\{\cos\Psi\cdot\sin\left(\frac{180}{24}\cdot(HC - HL)\right)\right\}$$

(θ est l'azimut du matin en hiver et du soir en été. Cet angle est défini à 180° près. Il s'inverse entre le matin et le soir)

Figure 3
L'équation (1) donne l'angle dont l'équateur s'incline sur l'écliptique. L'équation (2) donne la durée diurne. Les équations (3) et (4) donnent les heures de passage au terminateur, et (5) donne l'azimut de propagation exceptionnelle.
Un calendrier des postes (qui donne HCo et HLo au jour considéré) et une calculette suffisent pour faire les calculs ci-dessus).

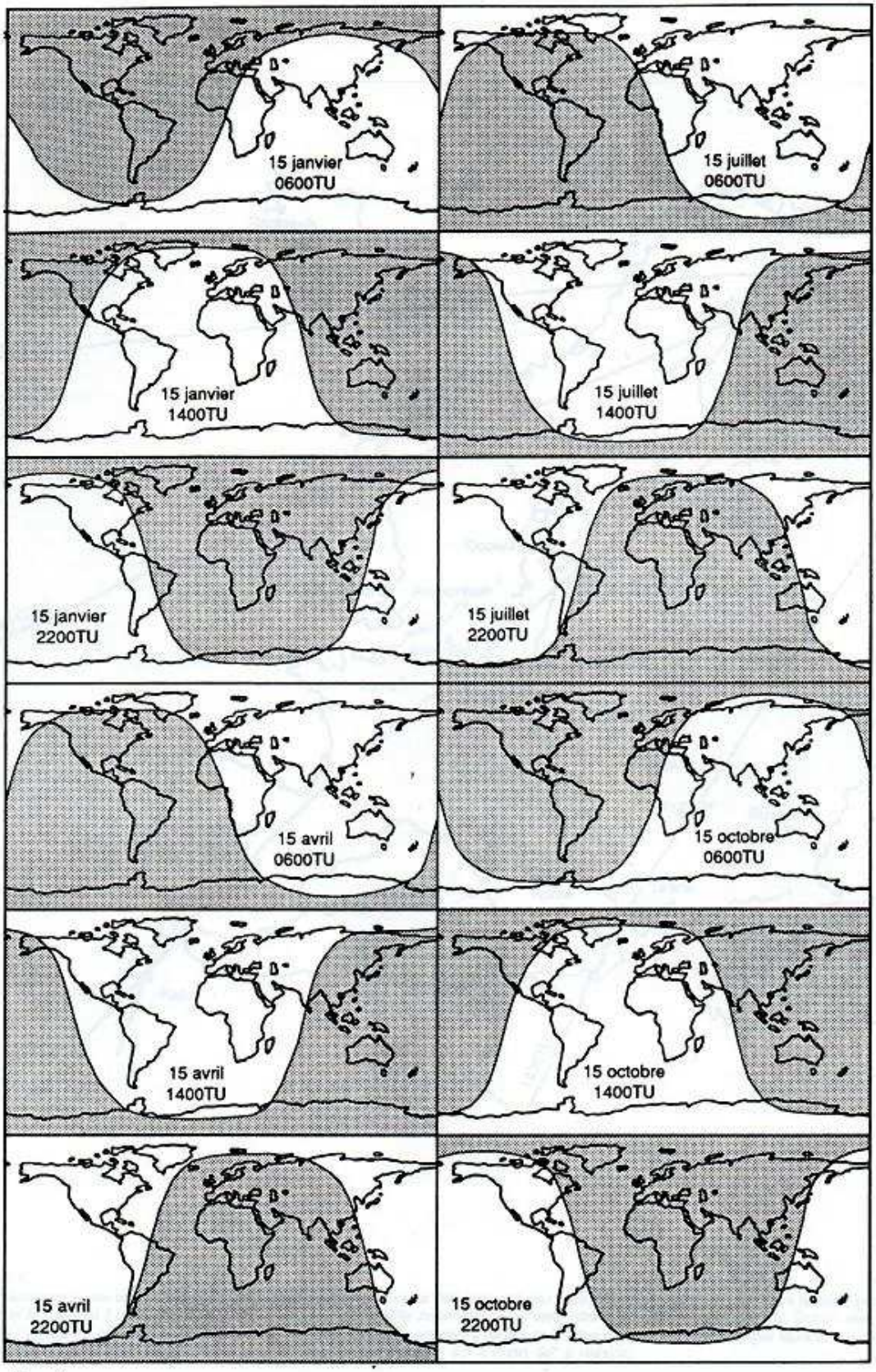

Figure 4
Le terminateur (ou «grayline» ou «ligne grise») est la ligne qui sépare la terre en deux hémisphères : celui dans le jour et celui dans la nuit. Cette ligne change suivant le jour et l'heure. La propagation le long de cette ligne est exceptionnelle en CX. Cette ligne est tracée automatiquement par le programme LIGNEGRISE.

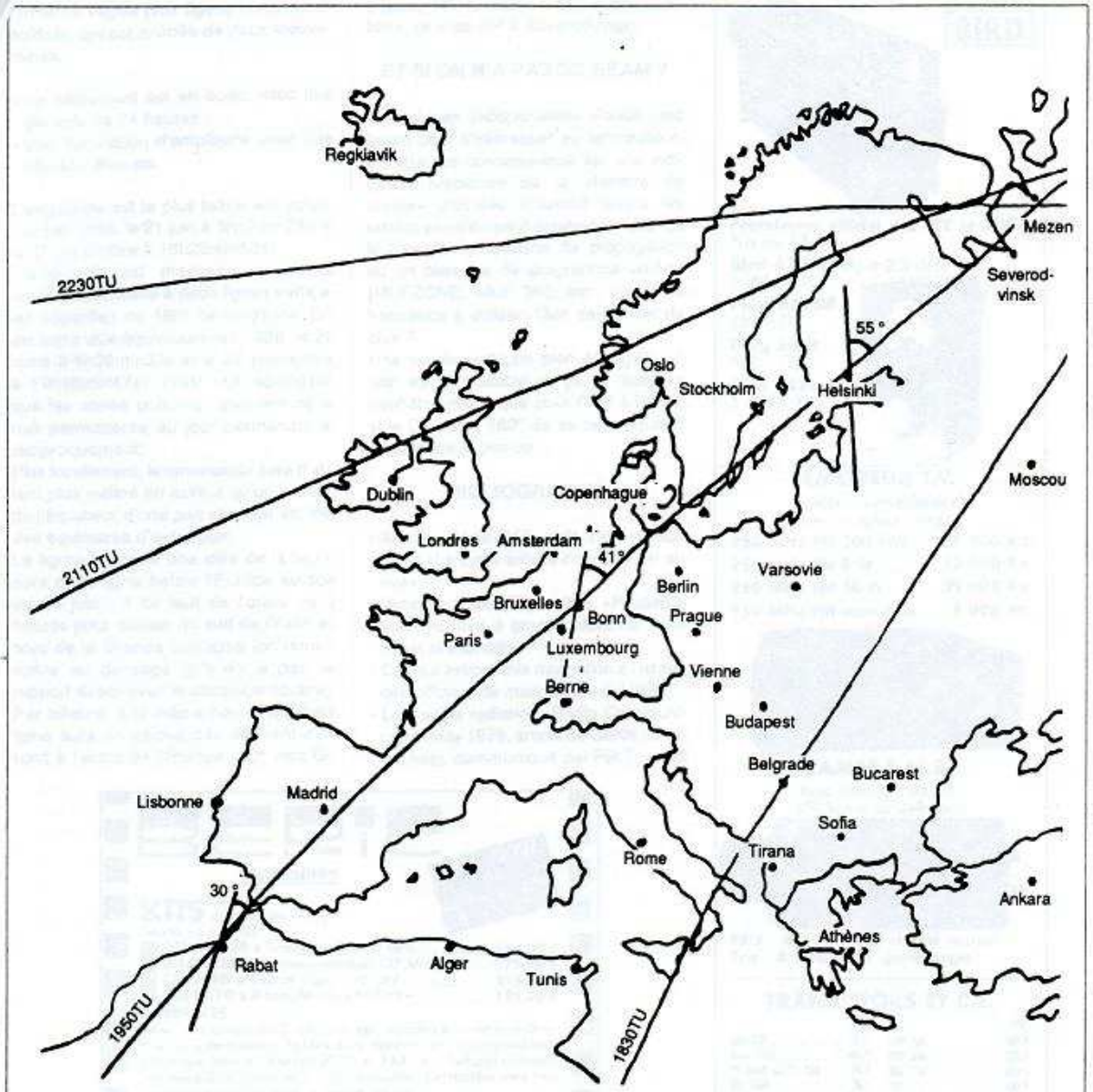

Figure 5

Nous sommes le soir de la Saint-Jean (24 juin) et nous regardons la nuit recouvrir peu à peu l'Europe. La ligne qui sépare la zone éclairée par le soleil et la zone où il fait nuit balaie l'Europe d'est en ouest. Elle franchit Moscou vers 18h30 TU, Madrid vers 20h TU, Dublin vers 21h TU. A 19h50 TU, elle est à la fois sur Rabat, Bonn et Helsinki. Des radioamateurs de ces trois villes qui souhaiteraient diriger leurs antennes suivant la ligne grise auraient à les placer suivant un azimut est de 30° à Rabat, 41° à Bonn, 55° à Helsinki.

forme de vague (voir figure 4) non sinusoïdale, qui est animée de deux mouvements :

- un défilement est en ouest avec une période de 24 heures ;
- une fluctuation d'amplitude avec une période d'un an.

L'amplitude est la plus faible aux solstices (en 1988, le 21 juin à 3h57min29s et le 21 décembre à 15h28min50s).
L'amplitude est maximale quand la courbe se ramène à deux lignes verticales séparées de 180° de longitude. On est alors aux équinoxes (en 1988, le 20 mars à 9h39min33s et le 22 septembre à 19h29min47s). C'est aux équinoxes que les zones polaires basculent de la nuit permanente au jour permanent et réciproquement.
Plus localement, le terminateur sera d'autant plus incliné en azimut qu'on est loin de l'équateur d'une part et qu'on est loin des équinoxes d'autre part.
La figure 5 donne une idée de la façon dont cette ligne balaie l'Europe au soir du 24 juin : il lui faut de l'ordre de 3 heures pour passer du sud de l'Italie au nord de la Grande Bretagne (on remarquera au passage qu'il n'y a pas de rapport direct avec le décalage horaire). Par ailleurs, à la même heure, la même ligne aura un azimut très différent d'un bout à l'autre de l'Europe (30° vers Gibraltar, 40° vers Bonn, 55° vers Stockholm, plus de 70° à Severodvinsk).

ET SI ON N'A PAS DE BEAM ?

Il n'est pas indispensable d'avoir une beam pour s'intéresser au terminateur. En effet, sa connaissance est une indication précieuse de la «fenêtre de temps» utilisable. L'azimut donne les territoires qu'on peut espérer joindre. La lecture des prévisions de propagation ou un passage de programme ad-hoc (MUFZONE, MUF 360, etc.) donne la fréquence à utiliser. Que demander de plus ?
Une simple verticale bien dégagée, un bon sol si possible et ça se passera peut-être mieux que pour l'OM à beam, si le DX est à 180° de sa beam quand commence le pile-up...

BIBLIOGRAPHIE

- Articles Radio-REF août 1987 et suivants «Le cycle solaire nouveau est arrivé».
- Articles Radio-REF 1988 «Propagation : liaisons à grande distance sans beam ni kilowatt».
- Cours d'astronomie navigation à l'usage des officiers de marine (Brest 1969).
- Low angle radiation. Radio Communication May 1979, article de G6XN (chordal hop), communiqué par F9LT. ■

BERIC

Actualités

CATALOGUE 88 Participation 10 F en timbres

KITS (composants + CI)
Décrits dans le REF

NOUVEAU
BTV 144-50 • Tranverter 144-50 MHz — 664,00 F
R-SAT 137 • Récepteur satellites 137 MHz — 772,00 F
CDV/UHF • Cadran digital VHF-UHF — 415,00 F
PRU10-70 • Préamplificateur VHF-UHF — 199,00 F

INTERFACES
Nous vous proposons 3 interfaces qui, couplées à un micro-ordinateur, vous permettront de faire de la réception de transmissions télégraphique (Morse), télétype (RTTY) ou FAX. Les interfaces s'intercalent entre le récepteur et le micro-ordinateur. Compatible pour tous microprocesseurs (prévoir le logiciel adapté).
83054 CV • Convertisseur de mise en forme de signal morse — 269,00 F
83044 CV • Convertisseur RTTY — 228,50 F
87038 CV • Décodeur FAX — 348,00 F

SWL
86001 CV • Filtres BF — 374,80 F
87051 CV • Récepteur BLU 20 et 80 m — 713,80 F
880043-1 CV • Antenne HF active — 332,20 F

MESURE (montés, réglés)
LDM 815 • Grid-dip 1,5-250 MHz — 814,00 F
LCR 3500 • RLC mètre — 1462,00 F
FSI 40 • Tosmètre/Wattmètre 35-150 MHz/200 W — 795,00 F
HCF 1000 • Fréquencemètre 1 GHz multifonctions — 1998,00 F

REGLEMENT A LA COMMANDE • PORT PTT ET ASSURANCE : 30,00 F forfaitaires • EXPEDITIONS SNCF : facturées suivant port réel • COMMANDE MINIMUM 100 F (+ port) • BP 4 MALAKOFF • MAGASIN 43, rue Victor Hugo (metro porte de Vanves) 92240 MALAKOFF • Tél. 46.57.68.33 • Fermé dimanche. Heures d'ouverture : 9 h - 12 h 30, 14 h - 19 h sauf samedi 8 h - 12 h 30 - 14 h - 17 h 30 • Tous nos prix s'entendent TTC mais port en sus. Expédition rapide. En CR majoration 20 F • CCP Paris 16578.99

Fournisseur officiel des PTT et SNCF
Prix au 1-5-88
Bird 43 : 2 MHz à 2,3 GHz
2 100 F TTC
Plug ABCDE
620 F TTC
Plug en H
760 F TTC
Bird 4431
3 400 F TTC

EMETTEUR T.V.
(vidéo - surveillance)
avec récepteur compris
950 MHz FM 200 mW — 8 000 Fttc
950 MHz FM 2 W — 13 000 Fttc
950 MHz FM 14 W — 21 000 Fttc
950 MHz FM miniature — 9 000 Fttc

CAMERA N.B.
Avec objectif 0,05 lux.
450 lignes de définition

PRIX : **4 000 F TTC** objectif normal
Prix : **4 500 F TTC** grand angle

TRANSISTORS ET C.I.

	TTC		TTC
MRF 329	N.C.	MRF 239	200 F
Tube 8930	1 600 F	MRF 240	220 F
SP 8680 ou 11 C90	90 F	MRF 314	480 F
MC 1648	70 F	MRF 315	520 F
2 N 6080	220 F	MRF 433	180 F
2 N 6081	250 F	MRF 421	395 F
2 N 6082	270 F	MRF 2001	920 F
SD 1480	820 F	MRF 2010	1 200 F
SD 1460	810 F	MC 6802	19 F
2 N 5944	140 F	MC 6821	18 F
BFR 96	6 F	MC 68705	120 F
MRF 151 G	4 200 F	BGY33	820 F
MRF 238	190 F		

ABORCAS SARL
Rue des Ecoles - 31570 LANTA
Tél. 61 83 80 03
Télex : 530 171 code 141

Documentation
Radio locale et T.V. — 10 F en timbres
Bird — 10 F en timbres