

PROPAGATION DES ONDES COURTES

PRÉSENTATION DE VE2ASL

AVRIL 2024

EN FONCTION DES TYPES D'ONDES

- SOIT, LES ONDES :
 - de surface
 - d'espace
 - directes et réfléchies
 - de sol et de ciel
 - lonosphériques
 - à propagation locale

1 - MODES ET TRAJECTOIRES

LES ONDES DE SURFACE

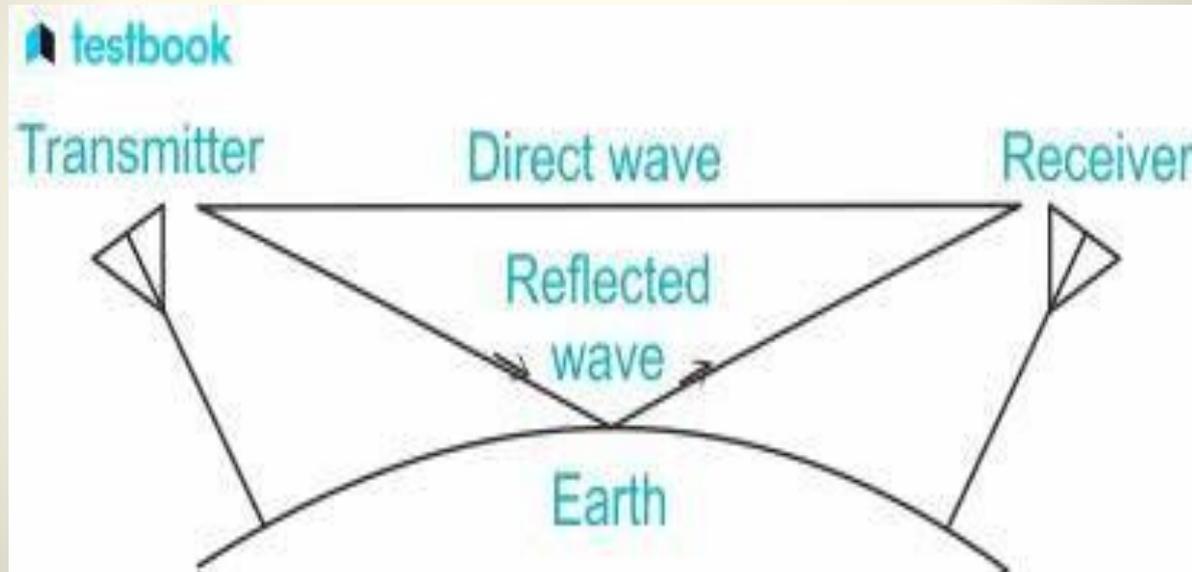
SUIVENT DIRECTEMENT LA COURBURE DU SOL

- SE PROPAGENT EN LIGNE DROITE
- SE RÉFLÉCHISSENT SUR LE SOL
- PLUS FAVORABLES AUX BASSES FRÉQUENCES
- DÉPENDENT DE LA CONDUCTIVITÉ DU SOL
- SE PROPAGENT MIEUX SUR L'EAU
- PORTÉE RÉDUITE À QUELQUES CENTAINES DE KILOMÈTRES

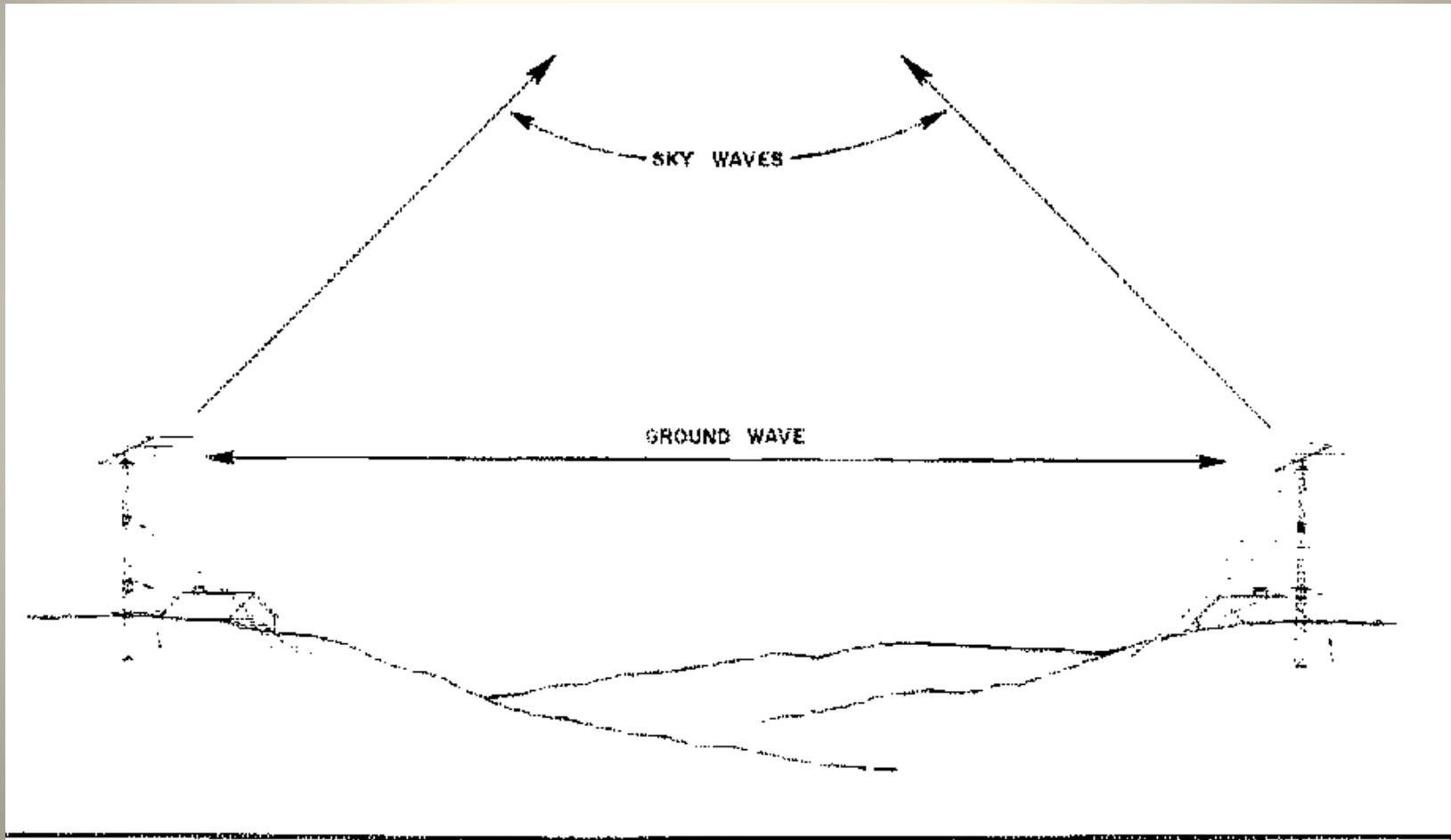
LES ONDES DIRECTES

- SE PROPAGENT EN LIGNE DROITE
- NÉCESSITENT UNE LIGNE DE VUE ENTRE L'ÉMETTEUR ET LE RÉCEPTEUR
- ONT UNE PORTÉE LIMITÉE EN FONCTION DE LA COURBURE DU SOL
- CONCERNENT TOUTES LES FRÉQUENCES

ONDES DIRECTES ET RÉFLÉCHIES

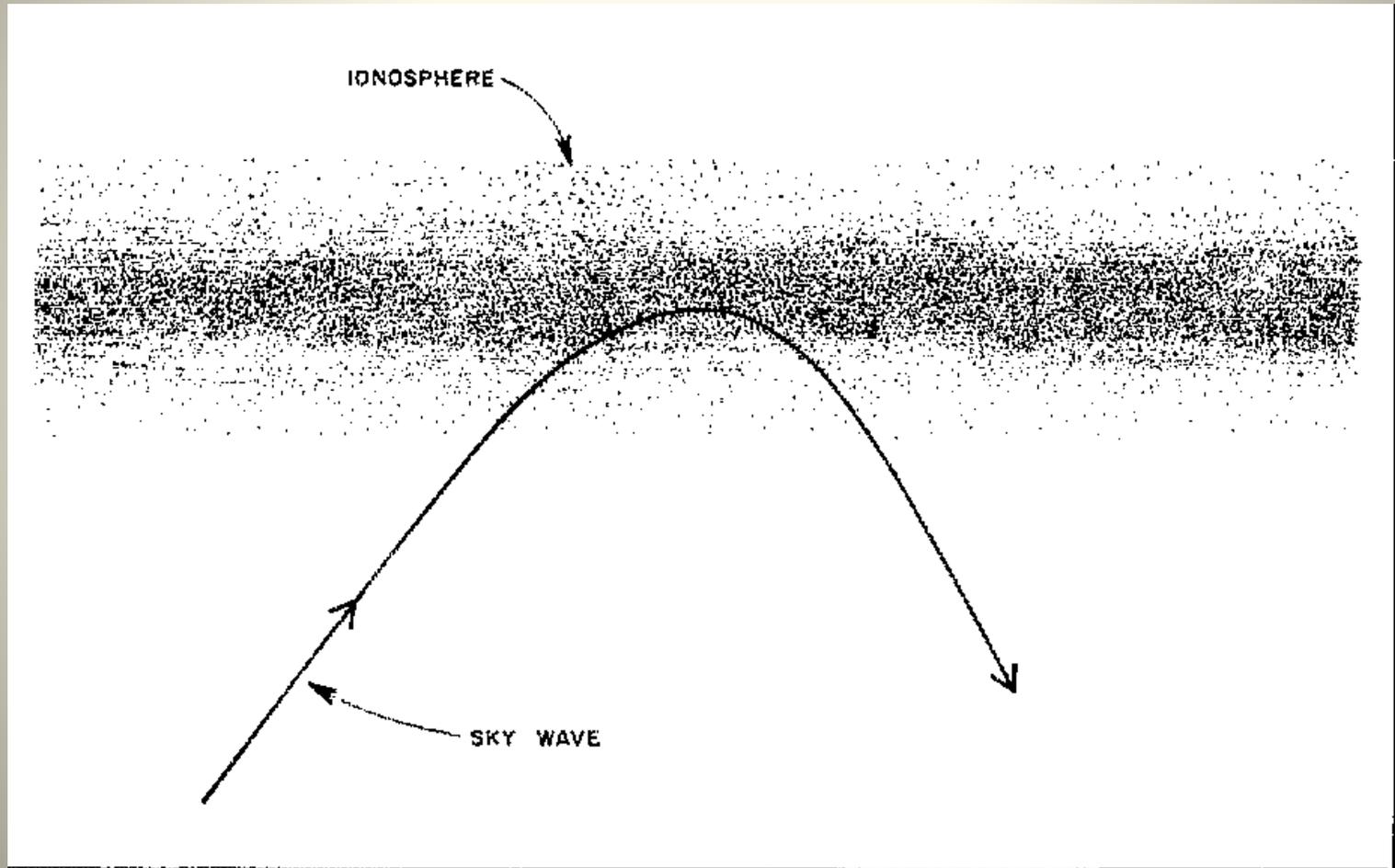


ONDES DE SOL ET ONDES DE CIEL



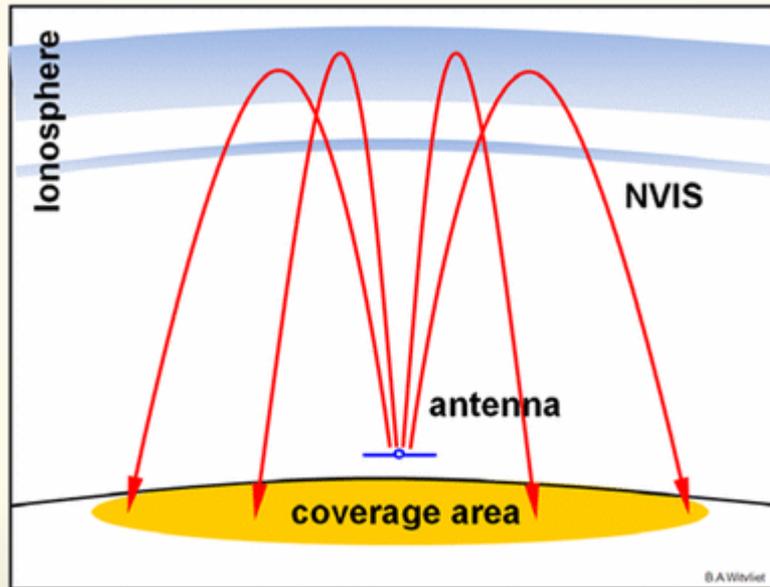
- ***LES ONDES IONOSPHERIQUES***
- Utilisent les propriétés de l'ionosphère
- Fonctionnent par réflexions simples ou multiples sur les différentes couches de l'ionosphère
- Favorisent les fréquences HF de 2 à 30MHz
- Portée de plus de 4000 kilomètres

EFFET DE L'IONISATION



- ***LES ONDES À PROPAGATION LOCALE (NVIS)***
- Fonctionnent en utilisant des ondes de basses fréquences réfléchies, à angle d'incidence quasi vertical
- Favorisent la propagation à courtes distances

PROPAGATION NVIS



2- ZONES DE COUVERTURE

Une zone de réception directe due à l'onde de sol plus étendue à basses fréquences

Une zone de silence

Une zone de réception indirecte due à la réflexion sur les couches ionisées

une seconde zone de silence suivie d'une zone de réception indirecte

Les zones couvertes par les ondes réfléchies sur les différentes couches de l'ionosphère sont fortement variables.

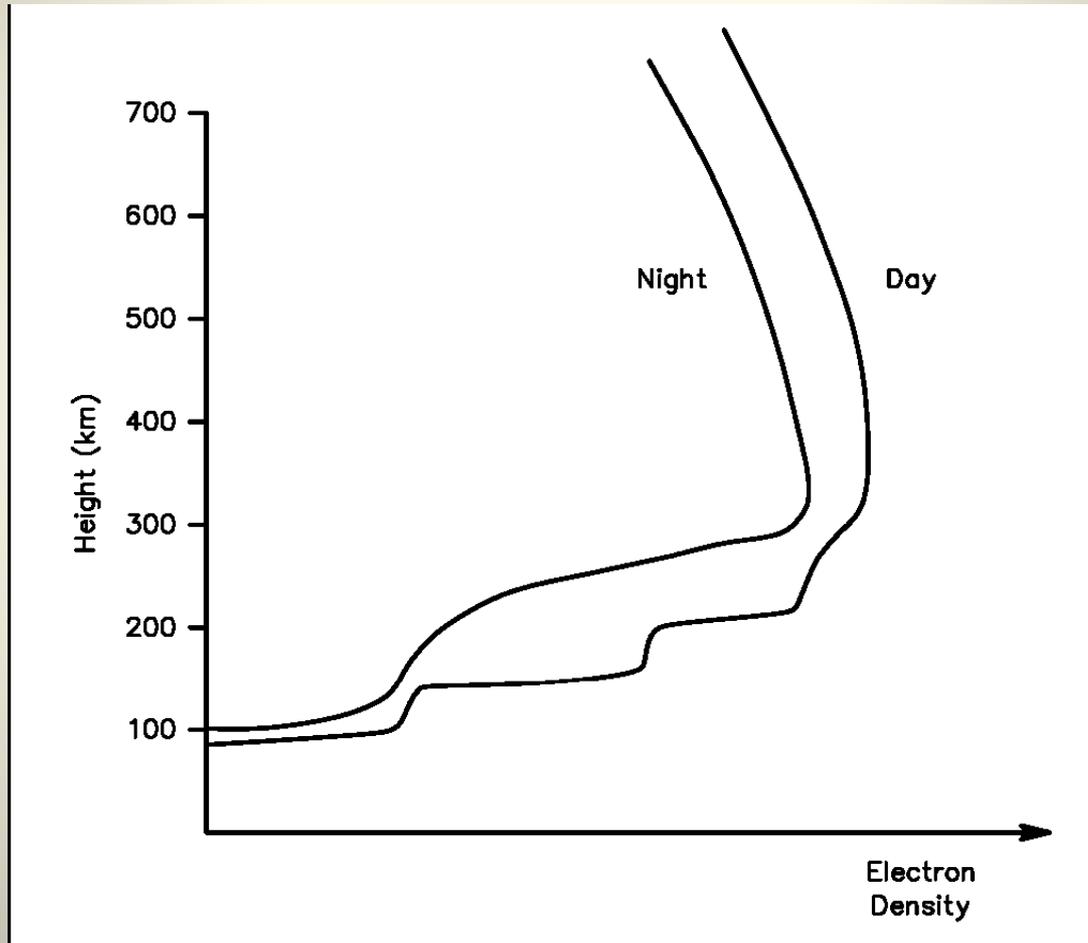
LE PROCESSUS D'IONISATION

- L'ionosphère est constituée d'une série de couches, chacune ayant un effet différent sur la propagation des ondes **HF**.
- Cette dernière est à son tour affectée par le taux d'ionisation qui dépend du flux solaire.
- L'ionisation se produit lorsque des photons entrant en collision avec des molécules ou des atomes libres libèrent à leur tour des électrons libres, négatifs ainsi que des ions positifs. *Ces électrons libres se regroupent en couches et provoquent une réfraction des ondes d'autant plus forte que ce taux d'ions est élevé et jusqu'à ce que les ondes soient renvoyées sur la surface terrestre.*

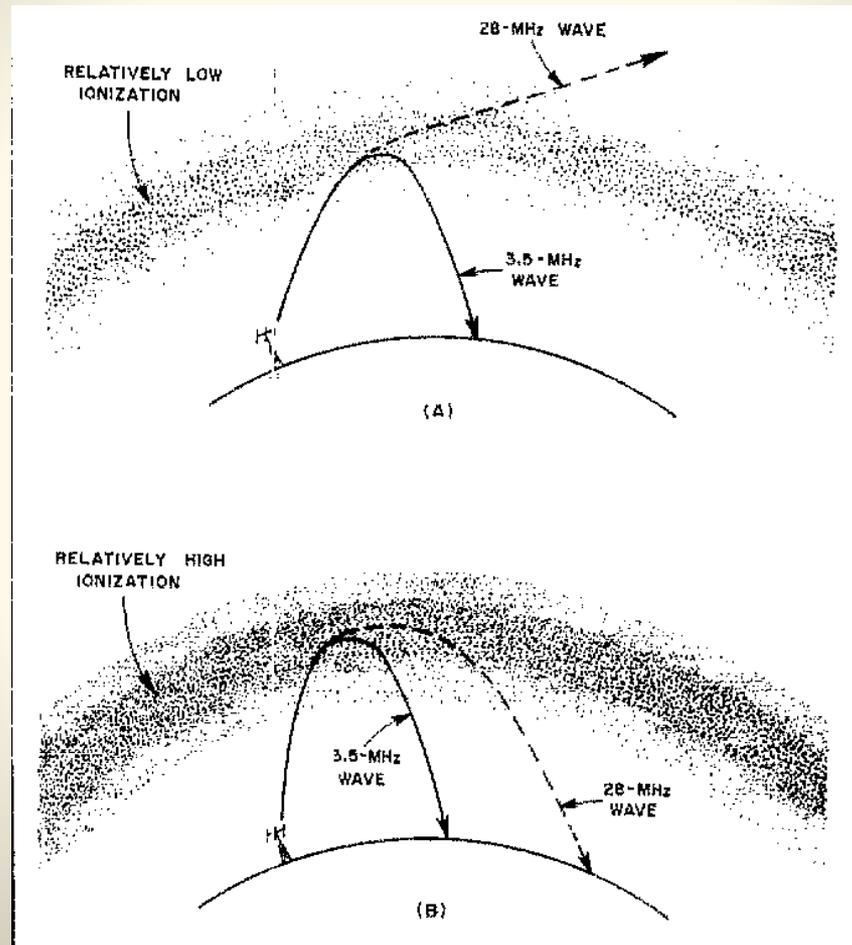
LES COUCHES IONISÉES

- SOUS L'EFFET DES ÉLECTRONS LIBRES PLUSIEURS COUCHES IONISÉES APPARAISSENT
- LA HAUTEUR DE CES COUCHES VARIE EN FONCTION DU MOMENT DE LA JOURNÉE ET DE LA POSITION DU SOLEIL PAR RAPPORT À LA TERRE
- L'IONISATION MAXIMALE A LIEU AU MILIEU DE LA JOURNÉE TANDIS QUE SON MINIMAL SE SITUE AU CRÉPUSCULE
- CES COUCHES SONT:
 - LA COUCHE D
 - LA COUCHE E
 - LA COUCHE ES
 - LA COUCHE F1
 - LA COUCHE F2 (F1 ET f2 se regroupent en couche F)

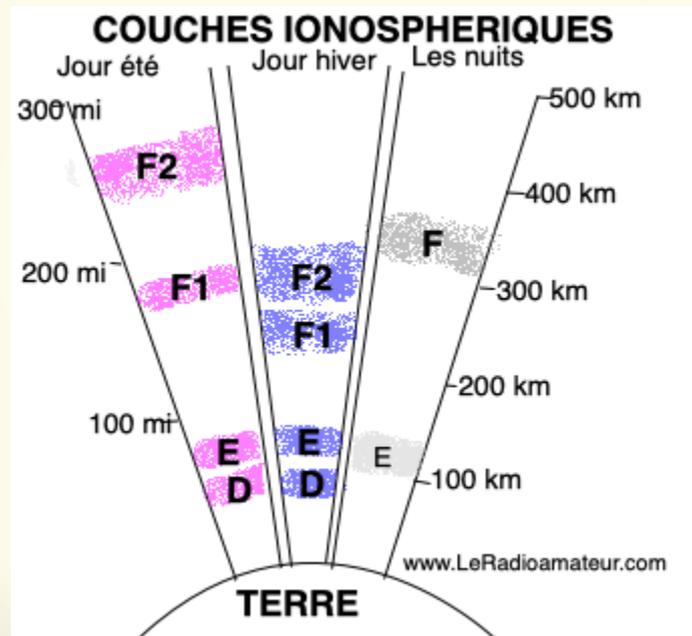
EFFETS D'IONISATION



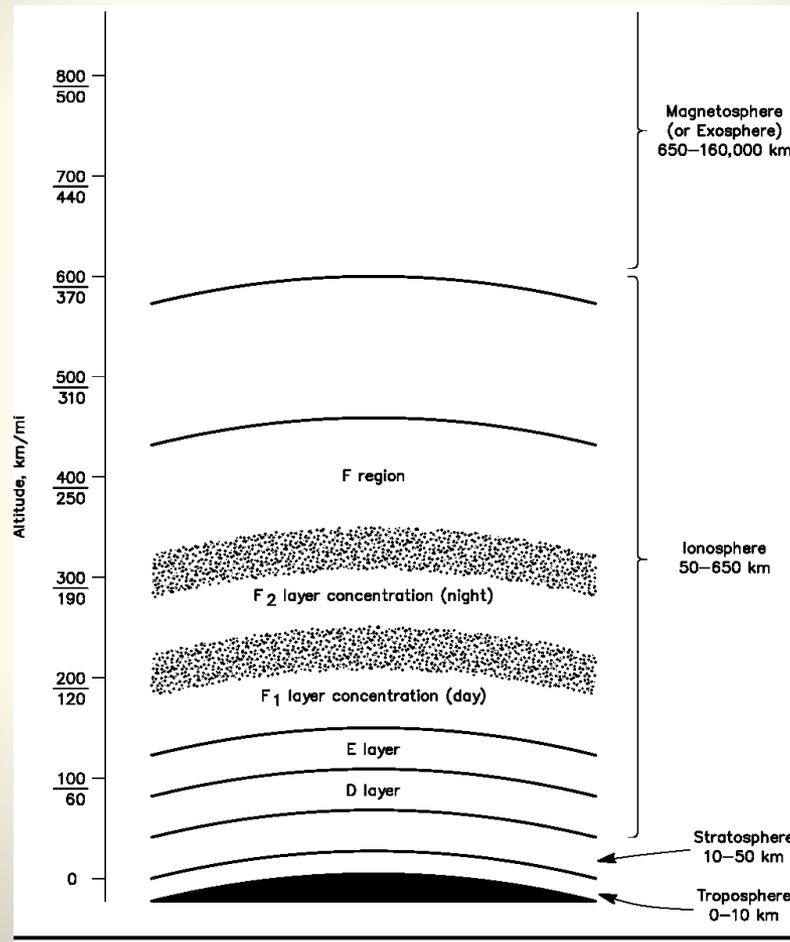
EFFETS DU TAUX D'IONISATION



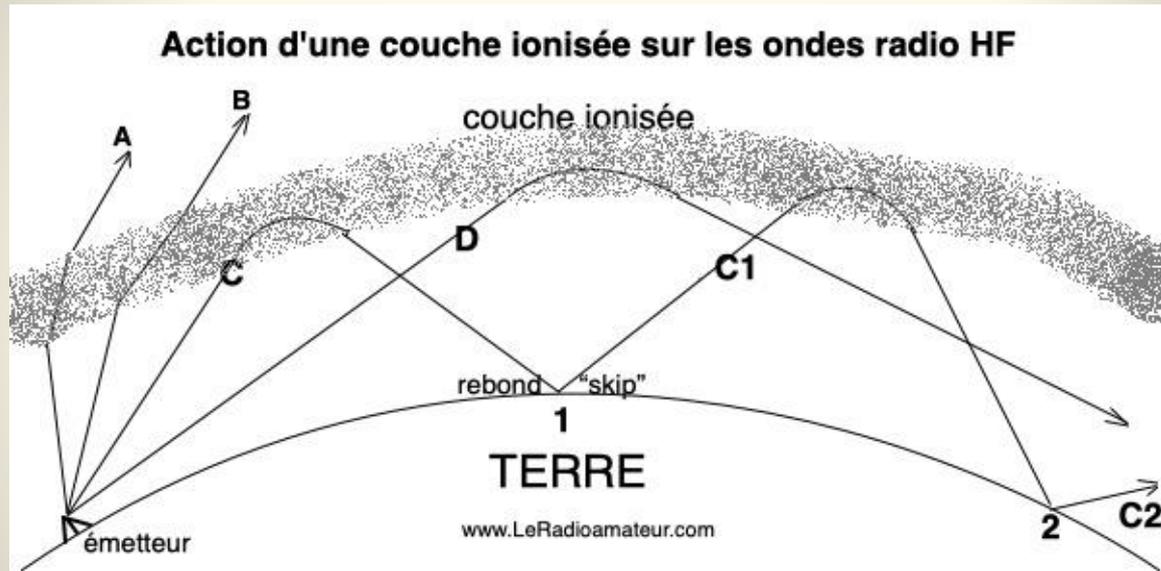
POSITIONNEMENT DES COUCHES



RELATION ALTITUDE ET COUCHES IONISÉES



ACTION D'UNE COUCHE IONISÉE



PARTICULARITÉS DE LA PROPAGATION DES ONDES IONOSPHERIQUES (F2)

- Ces ondes se propagent par réflexions simples ou multiples sur les différentes couches de l'ionosphère
- Elles sont caractérisées par les éléments suivants:
- Une zone de sauts
- Une zone de sauts multiples
- Une zone de silence
- Un angle critique

LA ZONE DE SAUTS

(SKIP)

- Correspond à la distance entre le point d'émission et le point de réception au sol d'une onde réfléchiée par l'ionosphère
- Dépend de hauteur des couches ionisées
- Dépend de l'angle de radiation

DISTANCES DE SAUTS

Table 1

**Approximate Skip Distances for the
Amateur MF and HF Bands**

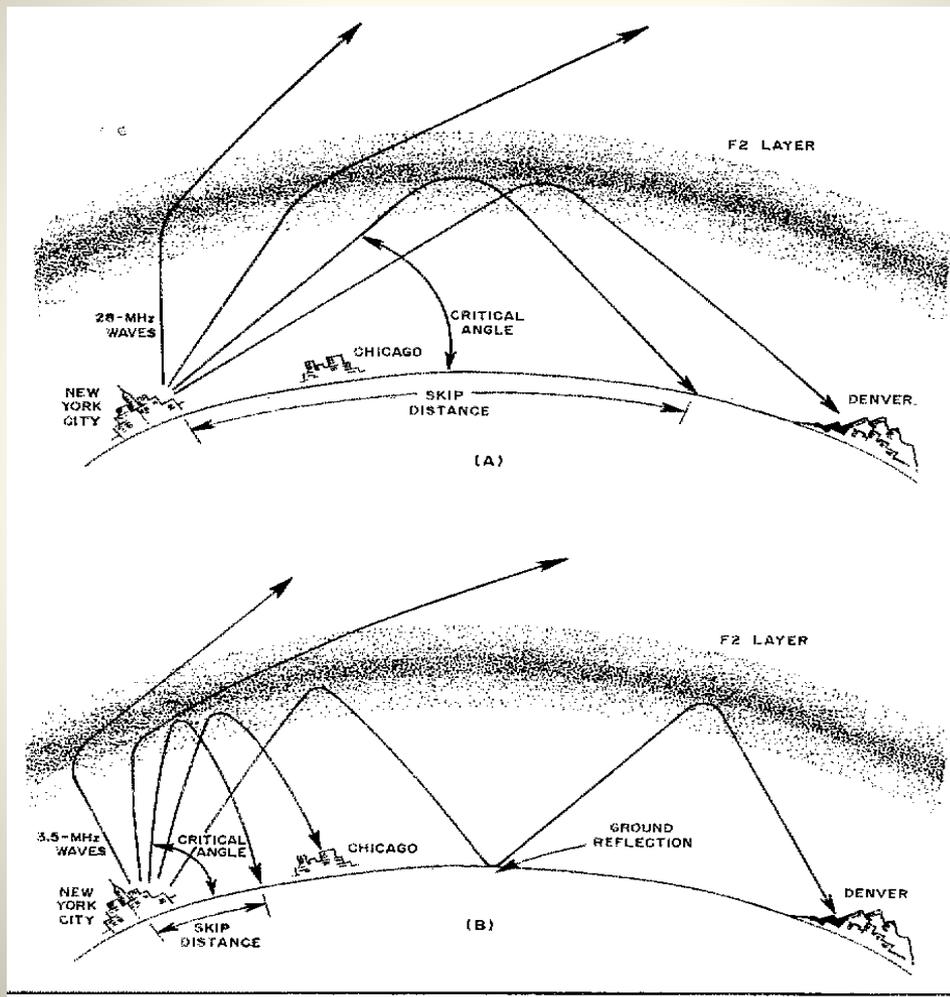
<i>Band</i>	<i>Noon*</i>	<i>Midnight*</i>
160 m	0 mi	0 mi
80 m	0 mi	0 mi
40 m	50 mi	300 mi
30 m	300 mi	600 mi
20 m	500 mi	1000 mi
15 m	800 mi	(Daytime only)
10 m	1200 mi	(Daytime only)

*Local time at the midpoint of the path.

LA ZONE DE SAUTS MULTIPLES (MULTIHOPS)

- UN SAUT UNIQUE PAR COUCHE **F2** PERMETS DE COUVRIR DES DISTANCES APPROXIMATIVES DE 2000 KILOMÈTRES
- LES SAUTS MULTIPLES SE PRODUISENT LORSQU'UNE ONDE EST RÉFLÉCHIE PLUSIEURS FOIS PAR L'IONOSPHERE. ILS DÉPENDENT DE FACTEURS TELS QUE:
 - L'ANGLE DE RADIATION
 - LA HAUTEUR DE L'IONOSPHERE
 - LA DENSITÉ DE L'IONOSPHERE
 - LE FRÉQUENCE DU SIGNAL ÉMIS
 - **LE SIGNAL EST CONSIDÉRABLEMENT ATTÉNUÉ LORS DE CHAQUE SAUT ET IL EST PRÉFÉRABLE DE DIMINUER L'ANGLE DE RADIATION**

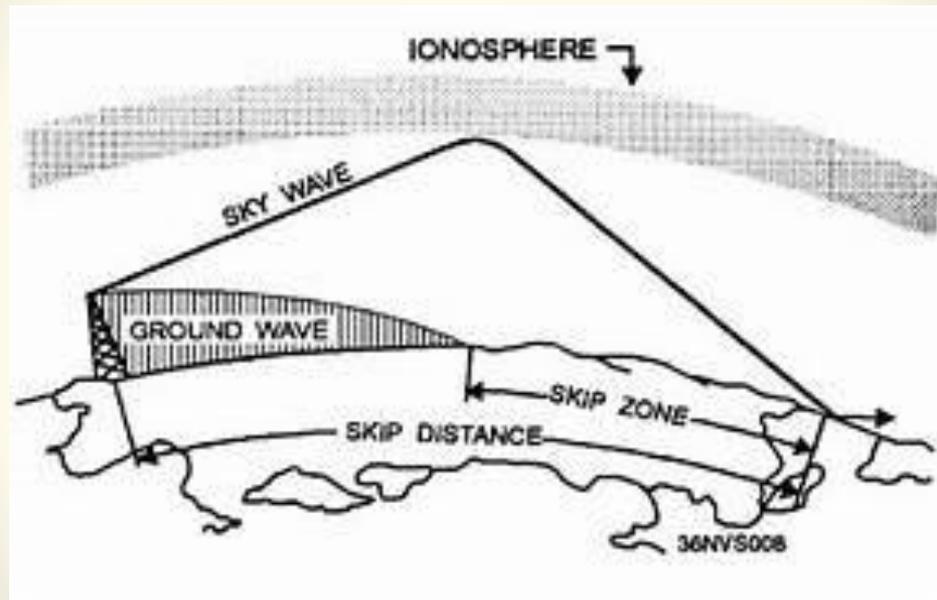
MULTIS SAUTS ET ANGLE CRITIQUE



LA ZONE DE SILENCE

- L'ONDE DE SOL D'UN SIGNAL ÉMIS S'ATTÉNUÉ RAPIDEMENT SUR DE COURTES DISTANCES TANDIS QUE SA COMPOSANTE RÉFÉCHIE PAR L'IONOSPHERE PARCOURT UNE DISTANCE PLUS GRANDE EN REVENANT AU SOL.
- LA DIFFÉRENCE DE DISTANCE ENTRE CES DEUX POINTS CONSTITUE UNE RÉGION DANS LAQUELLE AUCUN SIGNAL NE SERA REÇU

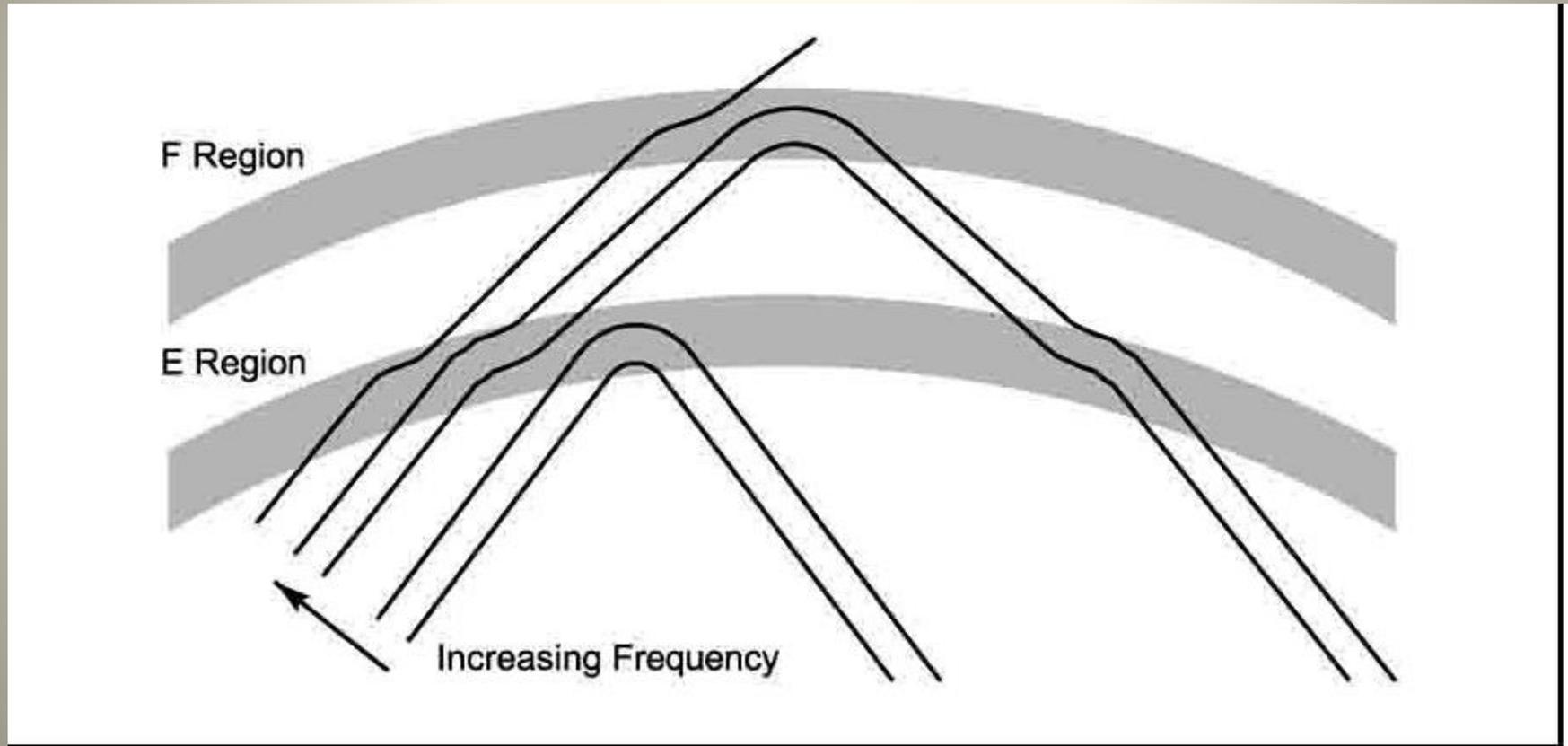
ZONE DE SILENCE



L'ANGLE CRITIQUE

- Lorsqu'un signal radio pénètre la couche **F** à un angle élevé il n'est plus réfléchi sur la Terre et continue sa propagation dans l'espace
- Si cet angle diminue à un point critique il y a à nouveau réflexion sur la Terre, c'est l'angle critique
- La fréquence correspondant à cet angle se nomme **fréquence critique**.

TRAJECTOIRES EN FONCTION DES FRÉQUENCES



PROPAGATION EN FONCTION DE LA FRÉQUENCE

4 MhZ ET MOINS	<p>Communications de nuit du point d'émission au point de réception</p> <p>Onde de sol prépondérante surtout en dessous de 1 mHz</p> <p>Liaisons locales dans un rayon de quelques dizaines de kilomètres</p> <p>Excellente bande régionale en début et fin de journée</p> <p>Portée jusqu'à 600 kilomètres</p> <p>Communications en mode NVIS</p>
4 à 8 mHz	<p>Liaisons locales possibles jusqu'à 30 kilomètres</p> <p>Liaisons fiables entre 200 et 3000 kilomètres</p> <p>Communications intercontinentales de plus de 4000 kilomètres</p> <p>Communications en mode NVIS dans le bas de la bande</p>
8 à 12 mHz	<p>Ouverture 24 heures sur 24 pour des communications intercontinentales de nuit et de jour</p> <p>Distance de saut 300 kilomètres de jour à 1000 kilomètres de nuit</p>
12 à 16 mHz	<p>Bande ouverte de jour</p> <p>Portée jusqu'à 2000 kilomètres en toutes périodes</p> <p>Communications possibles aux antipodes en périodes de cycle solaire favorables</p> <p>Distance de saut 200 kilomètres de jour à 1600 kilomètres de nuit</p>
16 à 19 mHz	<p>Bande ouvertes aux communications intercontinentales lorsque la distance TX à RX est éclairée par le soleil</p> <p>Durée d'ouverture liée au cycle solaire</p> <p>Distance de saut de 300 kilomètres au minimum</p>
19 à 22 mHz	<p>Excellente bande continentale et intercontinentale lorsque la distance TX à RX est éclairée par le soleil</p> <p>Ouverture fortement liée au cycle solaire</p> <p>Distance de saut de 500 à 1500 kilomètres selon la période</p>
22 à 26 mHz	<p>Excellente bande en périodes de grande activité solaire seulement</p> <p>Communications intercontinentales lorsque la distance entre le TX et le RX est éclairée par le soleil</p> <p>Ouverture aux propagations E sporadiques entre Mai et Août, Janvier et Novembre</p> <p>Communications possibles même en périodes défavorables, du cycle solaire</p>
26 à 30 mHz	<p>Cette bande de fréquences présente les mêmes caractéristiques que celle de 22 à 26 mHz</p> <p>Favorable aux communications intercontinentales avec des puissances apparentes rayonnées réduites</p>

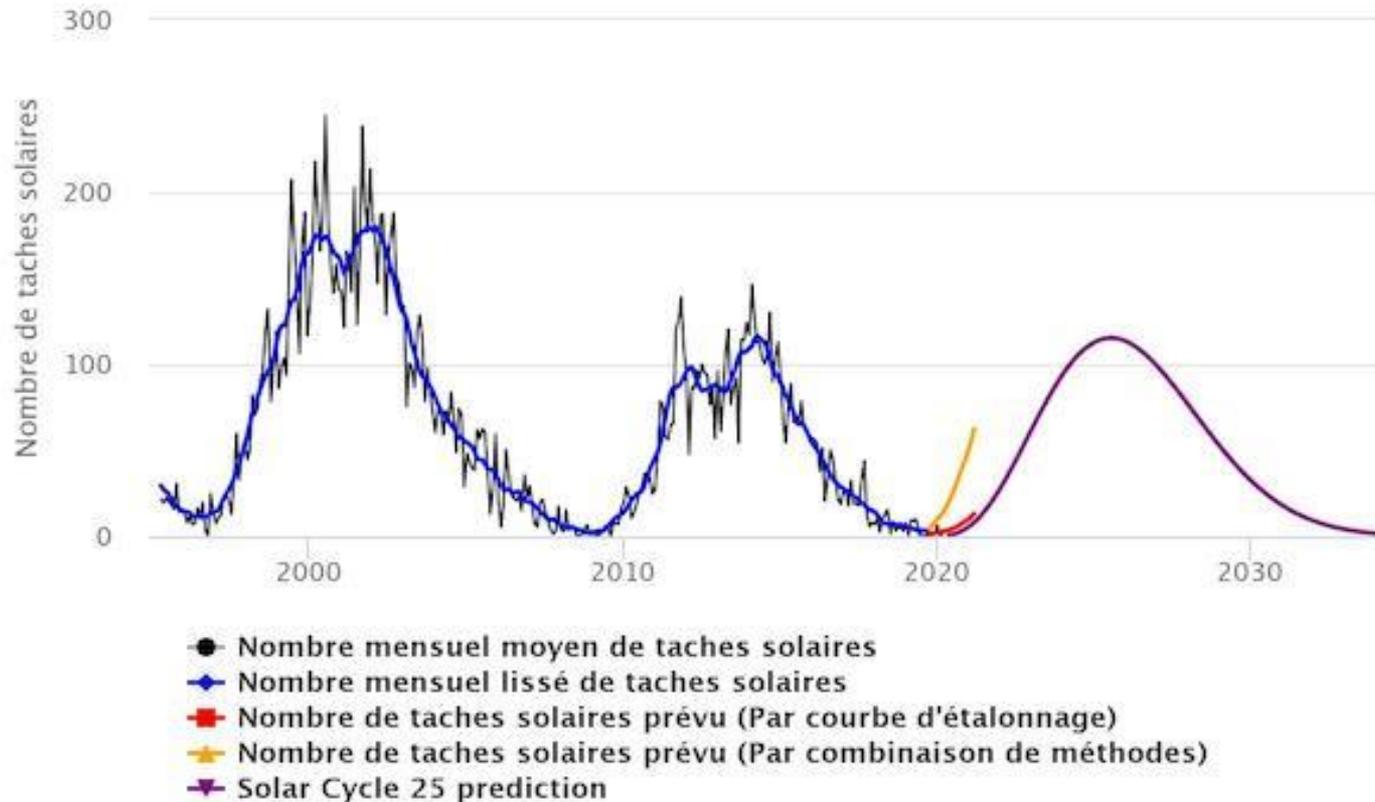
3- ACTIVITÉ SOLAIRE

(SOLAR RADIATION)

- LA PROPAGATION DES ONDES RADIO **HF** CHANGE CONSTAMMENT CAR ELLE DÉPEND DU TAUX D'IONISATION DES COUCHES QUI VARIE SELON L'ACTIVITÉ SOLAIRE
CE TAUX EST LIÉ AUX FACTEURS SUIVANTS
 - L'ALTENANCE DIURNE (JOUR,NUIT)
 - LES SAISONS
 - LES CYCLES SOLAIRES
- LES CYCLE SOLAIRES ONT UNE DURÉE DE 11 ANNÉES ET SONT FORTEMENT LIÉS À L'APPARITION DES TACHES SOLAIRES.

LE CYCLE SOLAIRE

Progression du cycle solaire – Nombre de taches solaires



LE FLUX SOLAIRE

SFU

- L'activité solaire génère un flux solaire (**SFU**) dont les valeurs se situent habituellement entre 50 et 300
- *Une valeur élevée de flux (plus de 150) correspond à un fort taux d'ionisation et de bonnes communications HF pour des fréquences plus élevées que la normale.(HF plus VHF)*
- Une valeur basse de flux (90 et moins) ne permet pas de contacts à longues distances(DX)
- Une valeur de flux de 300 ou plus, correspond pendant de courtes périodes, à des tempêtes solaires.

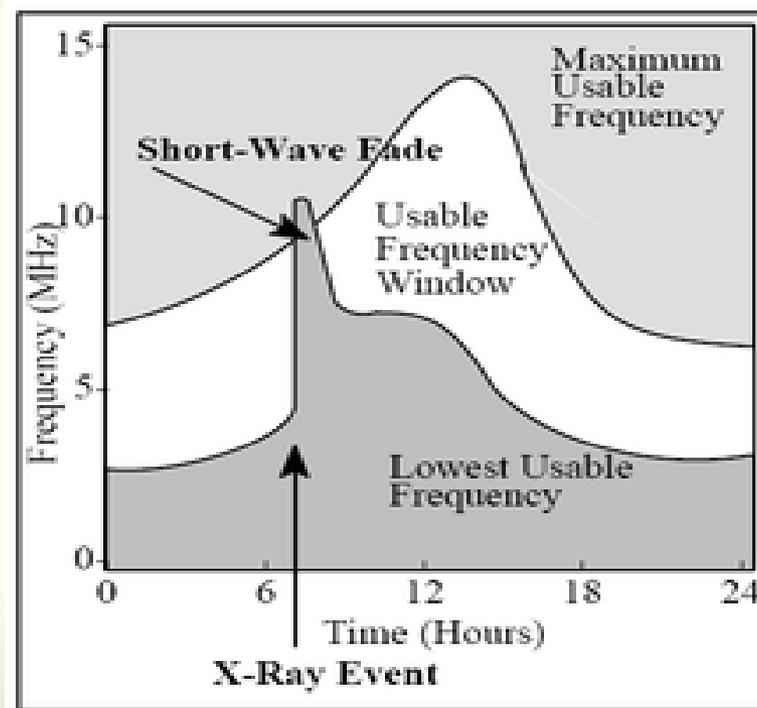
L'INDICE SN

- **UN AUTRE INDICE CARACTÉRISE LE FLUX SOLAIRE ,L'INDICE SN**
- IL EST FONCTION DU NOMBRE DE TACHES SOLAIRES. IL VARIE DE 0 À 300 ET AFFECTE LA PROPAGATION DE LA FAÇON SUIVANTE:
- MOINS DE 100 POUR L'UTILISATION DES FRÉQUENCES 3,5 ET 7,0 MHz
- À PARTIR DE 100 POUR L'UTILISATION DES FRÉQUENCES DE 14 MHz, SOIT
- UNE BONNE PROPAGATION EN GÉNÉRAL
- À PARTIR DE 150 POUR LES FRÉQUENCES DE 24,28 ET 50 MHz LA PROPAGATION EST OUVERTE POUR LE DX.

LA FRÉQUENCE MAXIMUM UTILISABLE MUF

- Les fréquences basses sont les plus affectées par le taux d'ionisation.
- La fréquence maximum utilisable est celle qui étant atteinte provoquera le retour d'une onde entre deux points situés sur la Terre. On parle alors d'un circuit.(Path)
- La MUF augmente selon le taux d'ionisation en progression avec le lever du soleil et décline avec son coucher.

MUF ET LUF



COUCHES IONISÉES ET PROPAGATION HF

	Altitude km	caractéristiques	distances	diurne
D	60-100	Absorbe une grande partie de l'onde au lieu de la réfléchir	courtes	Jour
		Très dense		
		Absorbe beaucoup d'énergie des ondes de basses fréquences		
		À la disparition de cette couche, les basses fréquences sont excellentes pour du DX(nuit)	Plus de 1000 kms	nuit
		Les signaux des bandes 160-80-40 sont bloqués		
		L'angle d'attaque e cette couche définit son taux d'absorption		
E	90-150	Caractéristiques similaires à la couche D		
		La majeure partie des signaux sont absorbés par le couche E		
		Seuls les signaux de 7 et 14 mHz émis presque verticalement atteignent cette couche pour être déviés vers la terre	1200 kms	Aube crépuscule
		Bande 160 mts	1800 à 2000 kms	nuit

COUCHES IONISÉES ET PROPAGATION HF (SUITE)

	Altitude	Caractéristiques	Distances	Diurne
Es		Nuages ionisés occasionnels	1600 à 3500 kms/saut	jour
		Durée de quelques minutes à quelques heures	3500 et plus/sauts multi.	Juin/juillet
		Presque jamais de propagation HF sauf avec de fortes densités pour réflexions vers la Terre		Hémis.nord
		Très utile aux fréquences supérieures		Juin/juillet
F1	200-350	Favorise les signaux de 10 et 14 mHz		jour
		Se disperse la nuit		été
		Caractéristiques identiques à E		
F2	250-400	Présente pendant la majeure partie du cycle solaire		
		La plus importante pour la propagation HF	4000 kms	Jour et
		Au maximum d'intensité solaire réfléchis les signaux de 7 à 30 mHz et permet des rebonds sur F2 (tour de Terre)		nuit
		Reste ionisée pendant la nuit en se regroupant avec F1 (F)		

4 - ACTIVITÉ GÉOMAGNÉTIQUE

- L'ionosphère et le champ magnétique terrestre ont tous deux leurs propres caractéristiques et sont affectés par la radiation solaire.
- Une tempête géomagnétique constitue une perturbation du champ magnétique terrestre et une tempête ionosphérique, une perturbation de l'ionosphère.
- De façon générale, lorsque l'ionosphère reçoit plus de radiation solaire, la propagation HF s'améliore, mais si cette radiation augmente trop une tempête ionosphérique en découle et, peut réduire la propagation HF
- Si le champ magnétique de la Terre est calme, la propagation HF s'améliore. Par contre si ce champ est perturbé la propagation sera réduite.
- D' où l'interaction de ces deux paramètres sous influence solaire.

LES PARAMÈTRES DE L'ACTIVITÉ GÉOMAGNÉTIQUE

On utilise deux indices pour quantifier l'activité géomagnétique: les indices **K** et **A**

- Tous deux sont obtenus à partir d'observations mondiales (indice **K** et **A**) effectuées toutes les trois heures et comparées à celles d'une journée très calme.

L'indice **A** de format linéaire est obtenu par transformation linéaire à partir de l'indice **K** de format logarithmique.

INDICE K (K)

- IL SE MESURE SUR UNE ÉCHELLE DE 0 À 9, SOIT:
- DE 0 À 3
 - POUR LES MEILLEURES CONDITIONS
 - UN CHAMP MAGNÉTIQUE STABLE
 - UN FAIBLE BRUIT DE FOND SUR LES BANDES
- DE 3 À 5
 - POUR DES CONDITIONS MOYENNES DE PROPAGATION
 - UN CIRCUIT MAGNÉTIQUE FAIBLE
 - UN NIVEAU DE BRUIT DE FOND PLUS MARQUÉ
- DE 5 À 9
 - POUR DE MAUVAISES CONDITIONS DE PROPAGATION
 - UNE FORTE ACTRIVITÉ MAGNÉTIQUE (ORAGE)
 - FORT BRUIT DE FOND

INDICE A (A)

Dérivé de l'indice **K**

Se mesure sur une échelle de 0 à 40 soit:

De 0 à 10

EXCELLENTE CONDITIONS DE PROPAGATION

FAIBLE BRUIT DE FOND

• DE 10 À 20

• CONDITIONS DE PROPAGATION MOYENNES

• DE 20 À 40

• MAUVAISES CONDITIONS DE PROPAGATION

• UNE BONNE INTERPRÉTATION DE CES DEUX INDICES SERAIT:

• UN FLUX SOLAIRE APPROXIMATIF DE 150 PENDANT QUELQUES JOURS

• UN INDICE **K** EN DESSOUS DE 2 ET UN INDICE **A** AU DESSOUS DE 10

• UN INDICE **SN** SUPÉRIEUR À 150

RELATION ENTRE LES INDICES K ET A

Table 1
Relationship of the A and K Indexes

<i>K</i>	<i>A</i>
0	0
1	3
2	7
3	15
4	27
5	48
6	80
7	140
8	240
9	400

ACTIVITÉ GÉOMAGNÉTIQUE ET INDICES

Table 2
Geomagnetic Activity Category
versus A and K Indexes

<i>Category</i>	<i>A-Index Range</i>	<i>K-Index Range</i>
Quiet	0-7	Usually < 2
Unsettled	8-15	Usually < 3
Active	16-29	Up to 4
Minor storm	30-49	Mostly 4-5
Major storm	50-99	6 or higher
Severe storm	100-400	7 or higher

À PROPOS DES OUTILS DE PROPAGATION

- De façon générale ,pour connaître les conditions de propagation sur les bandes HF, on peut se référer aux prévisions diffusées sur les sites WEB.

Elles contiennent:

- le flux solaire
- les indices K et A
- l'intensité du champ géomagnétique
- le nombre de taches solaires
- Les conditions pour les dernières 24 heures et les prochaines 24 heures.

5 - RÉSUMÉ

- AVEC UN FLUX SOLAIRE STABLE (SFI) LA PROPAGATION SERAIT:

- **BANDES FLUX A et K CONDITIONS**

- 20-17-15 ÉLEVÉ FAIBLES HÉMISPHERE NORD 24 HEURES
- 12-10 FAIBLE FAIBLES PAS DE DX ET COURTES PÉRIODES D'OUVERTURES
- 160-80-40 PEU FAIBLES DX POLAIRE
- 30 SENSIBLE STABLES DX TRÈS FORT À L'AUBE
- HAUTS DIMINUTION DES LONGUES DISTANCES SURTOUT SUR 160

- **AU PLUS LE NOMBRE DE TACHES SOLAIRES EST ÉLEVÉ AU MIEUX LES CONDITIONS DE DX SERONT BONNES.**

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ian. S. Amos, VE3JI. Hf propagation: Understanding The Basics. La revue des radioamateurs.TCA,mars,avril 2009
- Darrel .Emerson, AA7FV.G3SYS. The Radio Sky.QST July 1996
- Ian PooleG3YWK.Understanding Solar Indices.QST September 2002
- Wikipedia.org.Propagation en hautes fréquences. Wikipedia.
- VE2CRD ,La propagation HF.Raqi.ca
- Claude Joliet. VE2DPE. La propagation des ondes radio HF. Le radioamateur.com
- Denis J. Lusic W1LJ/DL.HF Propagation The Basics QST December 1983
- Rus Healy NJ2L Propagation Broadcasts and Forecasts Demistified QST November 1991
- Carl Luezelschab K9LA. The Sun, the Earth.the Ionosphere.AR.R.L.org
- Wikipedia.org. Ionosphère.
- Guévin André. À la découverte de la radioamateur. Éd.2000.3ième trimestre.

RÉFÉRENCES SITES WEB

hamradiofornontechies.com/currehttps://www.qsl.net/

https://dx.qsl.net/

https://www.dxzone.com/

w6elprop/nt-ham-radio-conditions/

<https://dx.qsl.net/propagation/propagation.html>

<https://prop.kc2g.com/>

<https://www.dxzone.com/cgi-bin/dir/jump.cgi?ID=19368>

<https://hf.dxview.org/perspective/FN39sl>

<https://www.voacap.com/hf/>

<https://hfpropagation.com/>

<https://hamqsl.com/solar.html>

https://www.arrl.org/news/the-k7ra-solar-update-750