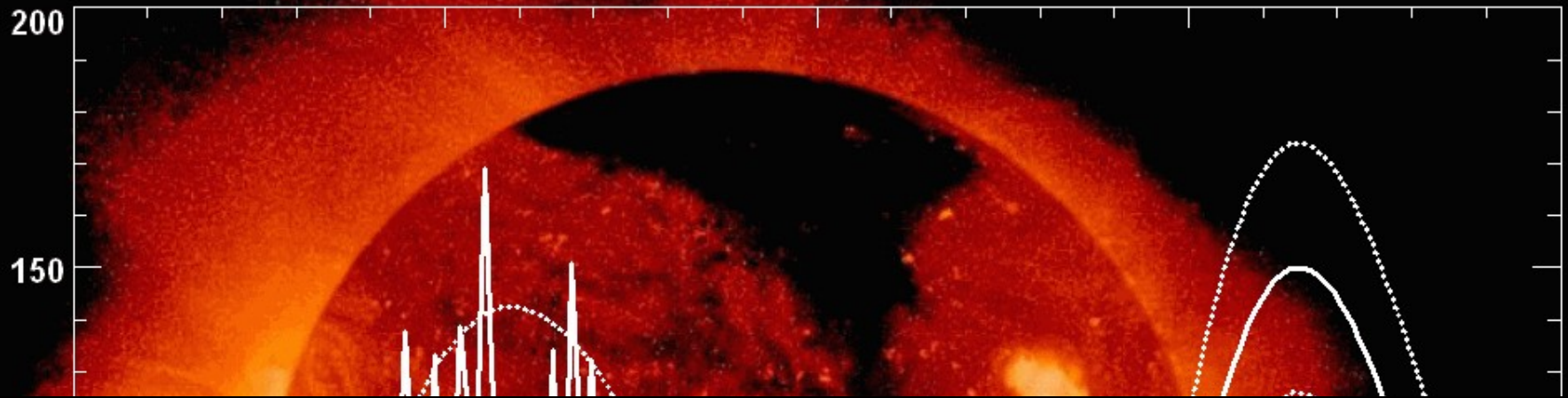
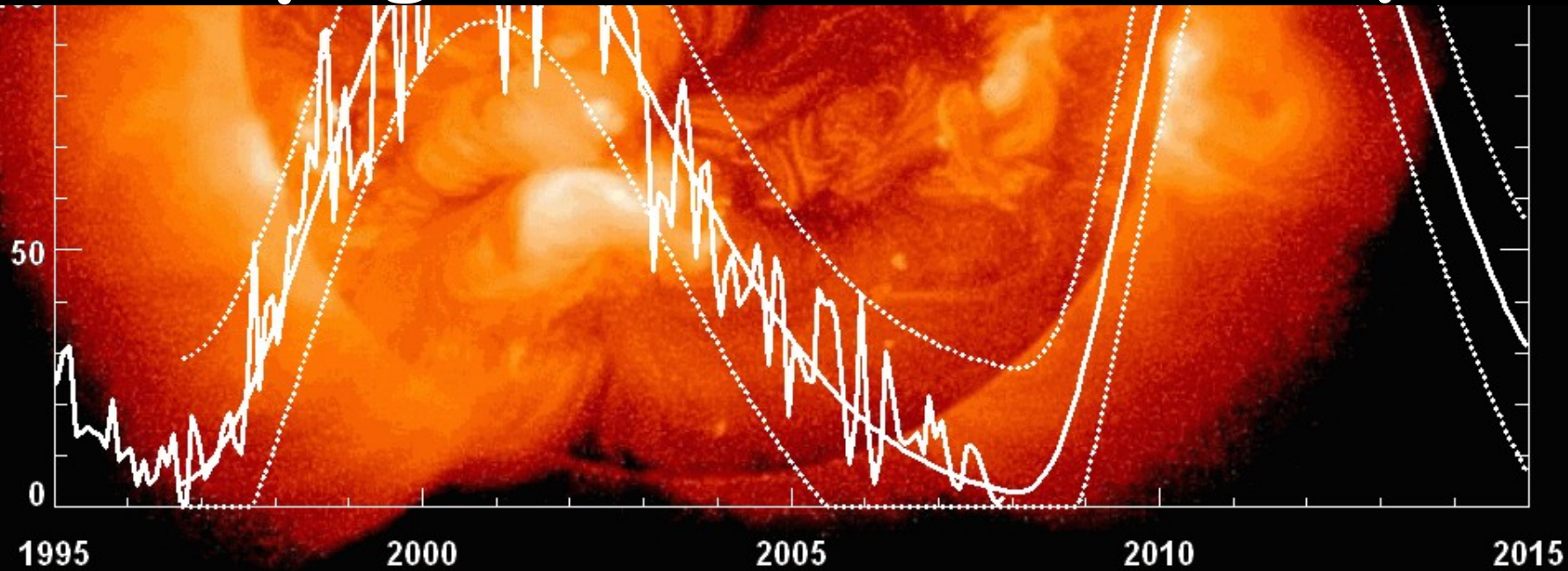


Cycle 23-24 Sunspot Number Prediction (December 2007)



La Propagation radio électrique



Objectif

- 1-Comprendre pourquoi les ondes radio se propagent au delà de l'horizon
- 2-Comprendre l'influence du soleil sur la propagation
- 3-Comprendre la mécanique des couches ionisées
- 4-Comprendre l'utilisation des indices de propagation
- 5-Comprendre la différence entre propagations troposphérique et ionosphérique

Sommaire

- 1-Fondamentaux
- 2-Propagation Ionosphérique
- 3-Le soleil et la terre
- 4- Couches ionisées & différents modes de propagation
- 5- Prévisions de propagation ionosphérique
- 6- Propagation troposphérique
- 7- Propagation extraterrestre/satellites

Fondamentaux

Pour simplifier....

L'espace est plein de particules en mouvement car :

Le soleil et la terre créent des champs électriques et magnétiques

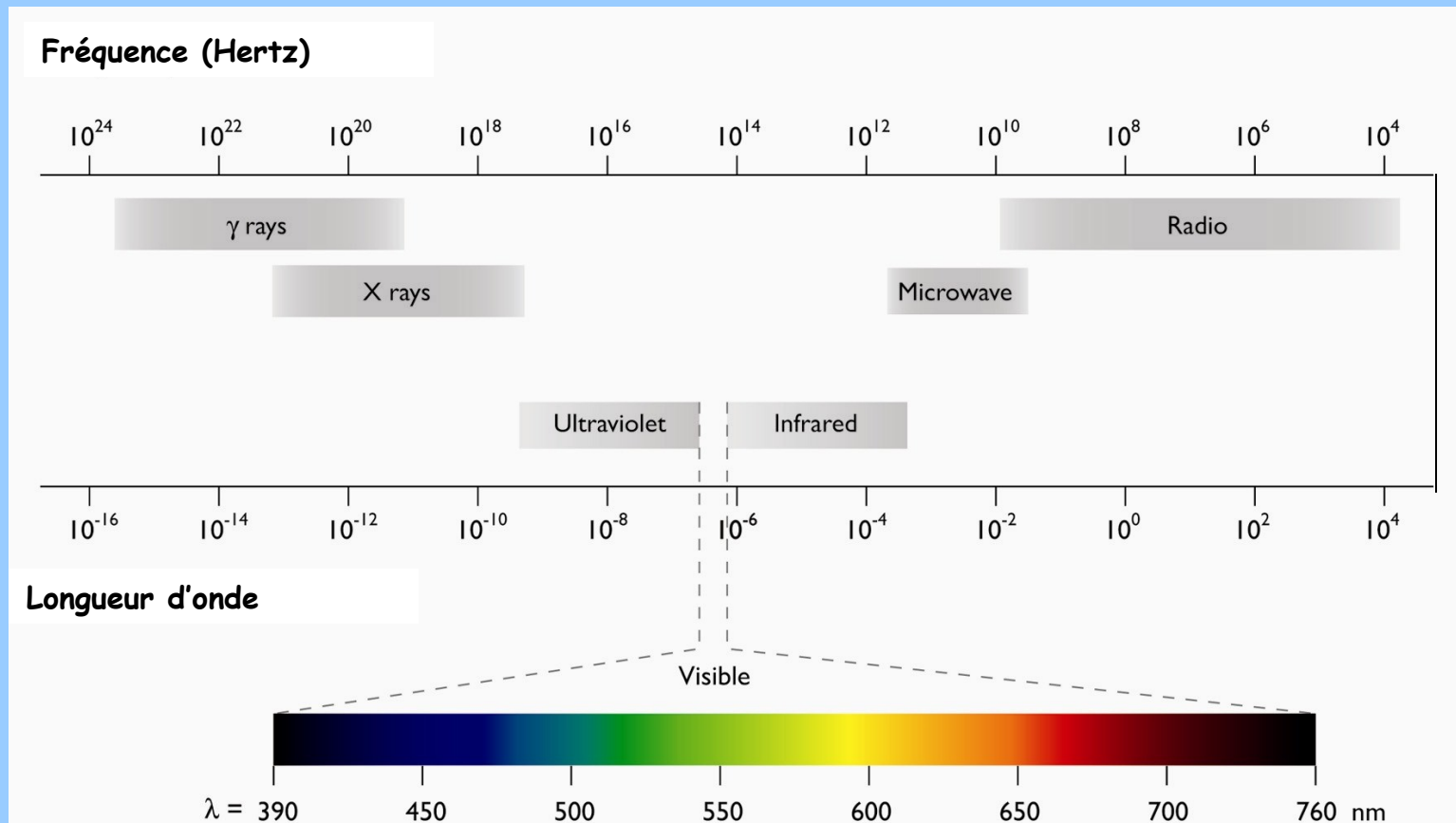
Ces champs font bouger les particules présentes dans l'espace et l'atmosphère et le mouvement de ces particules crée lui même des champs électriques et magnétiques.....

Il en résulte que l'ionosphère est un lieu plein de particules en mouvement qui inter-agissent avec nos ondes radio

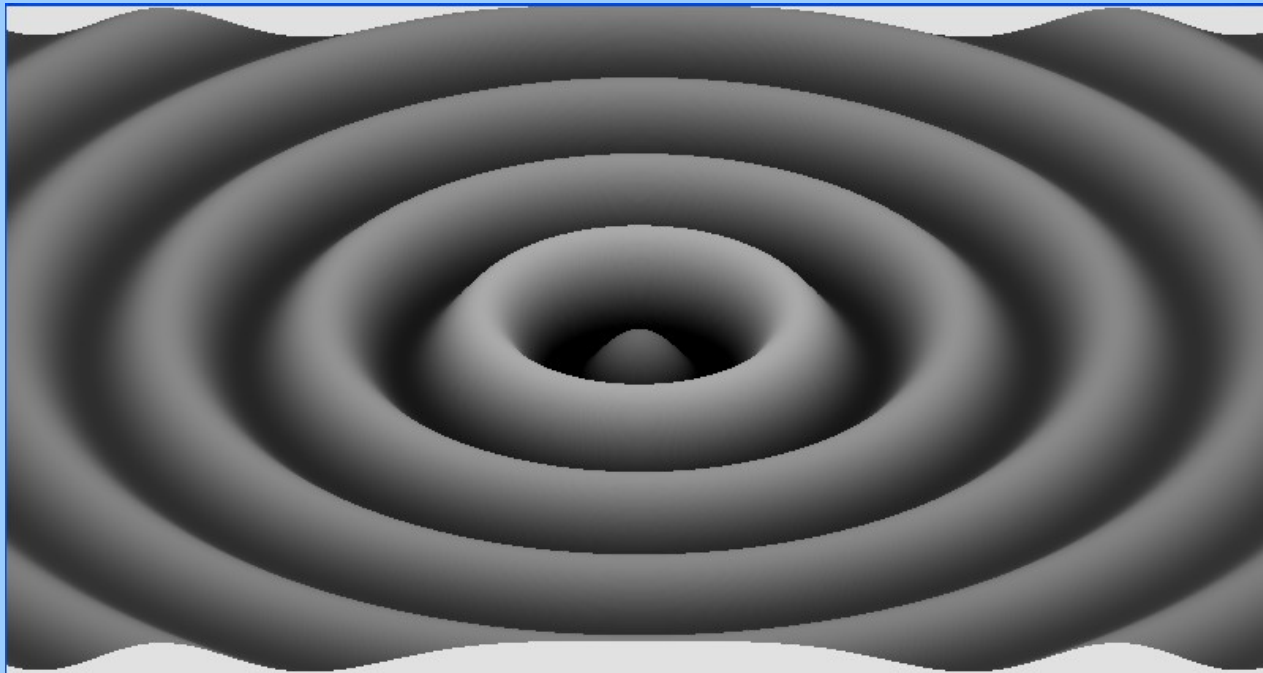
En résumé tout réagit sur tout...comme sur un terrain de foot!



Le spectre radio-électrique



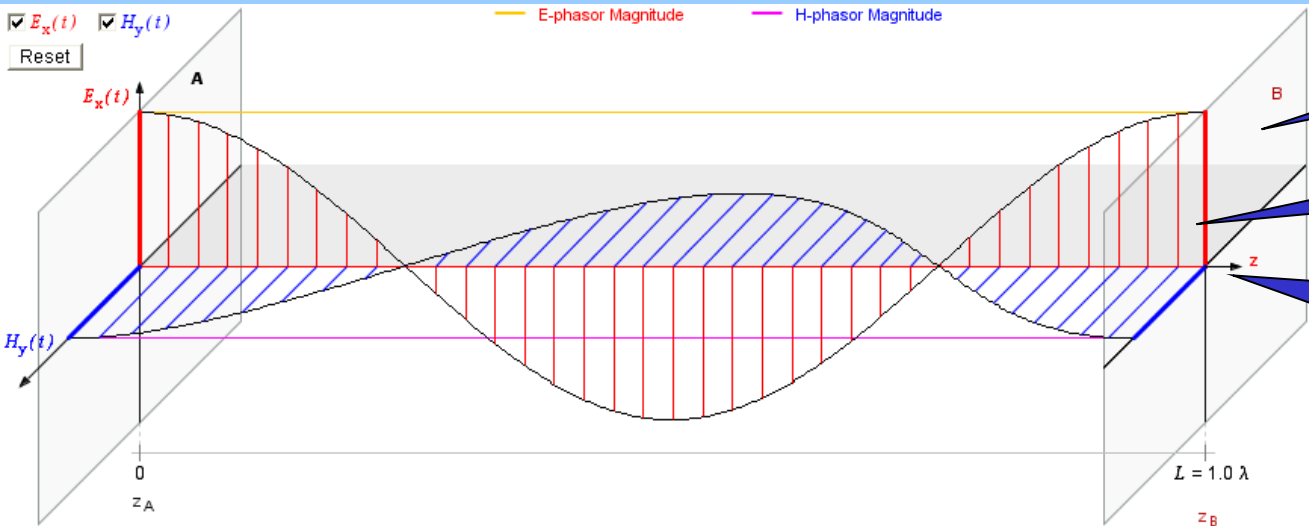
Qu'est ce qu'une onde radio électrique?



Perturbation du milieu qui se propage à partir d'un point et dans toutes les directions sans support matériel

- Rayonnement omnidirectionnel à partir de la source
- Onde plane à distance

Champ électrique/magnétique



Front d'onde

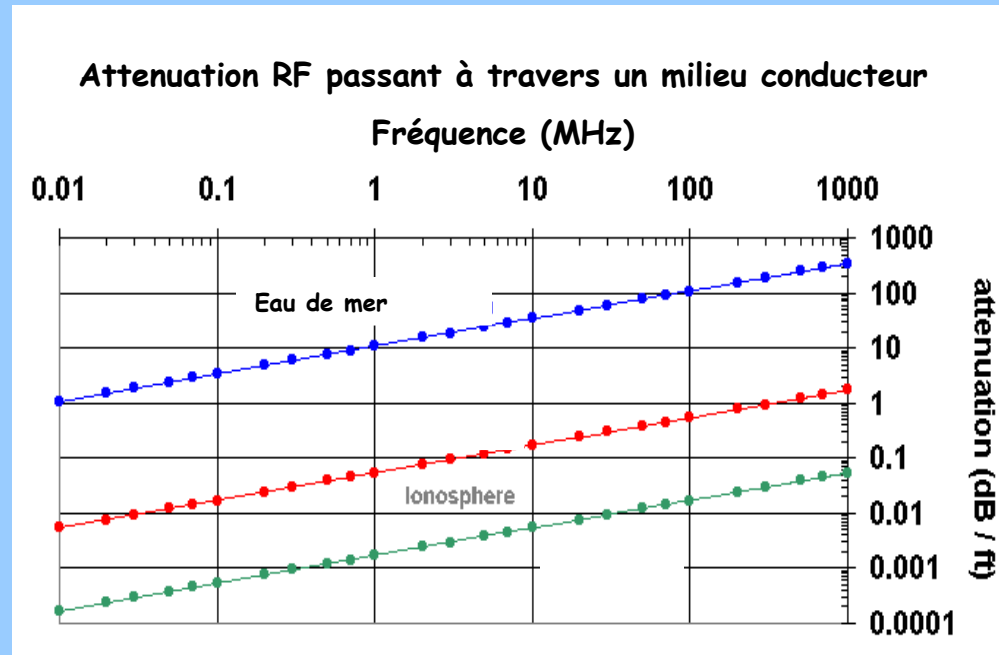
Polarisation
(champ électrique)

Propagation
perpendiculaire
au plan d'onde

Energie partagée 50/50 entre
champs électrique et magnétique

Propagation 300 000 Km/s dans le vide
PLUS LENT DANS TOUT AUTRE MILIEU

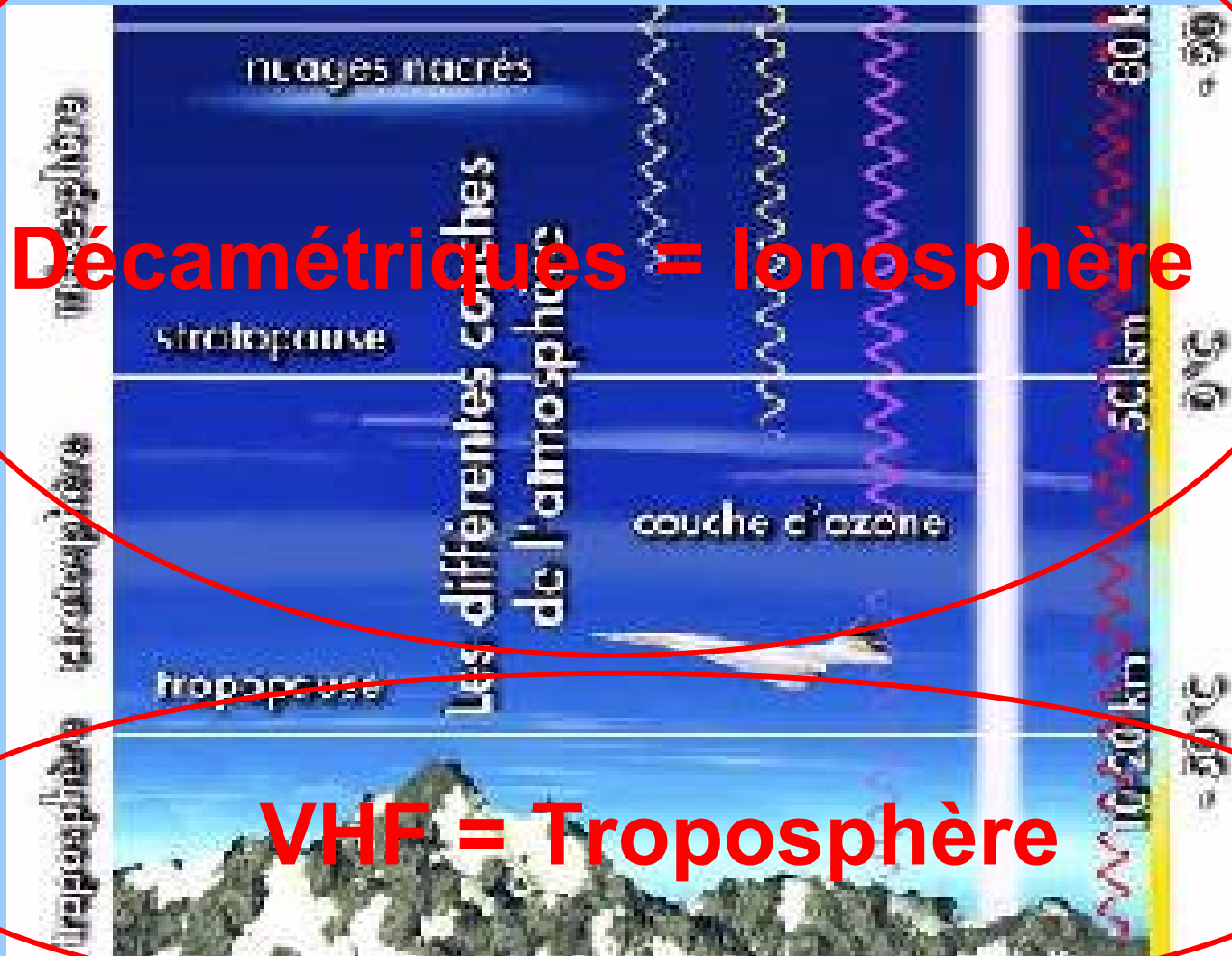
Atténuation/absorption/vitesse



➤ Excitation des électrons des milieux traversés → atténuation

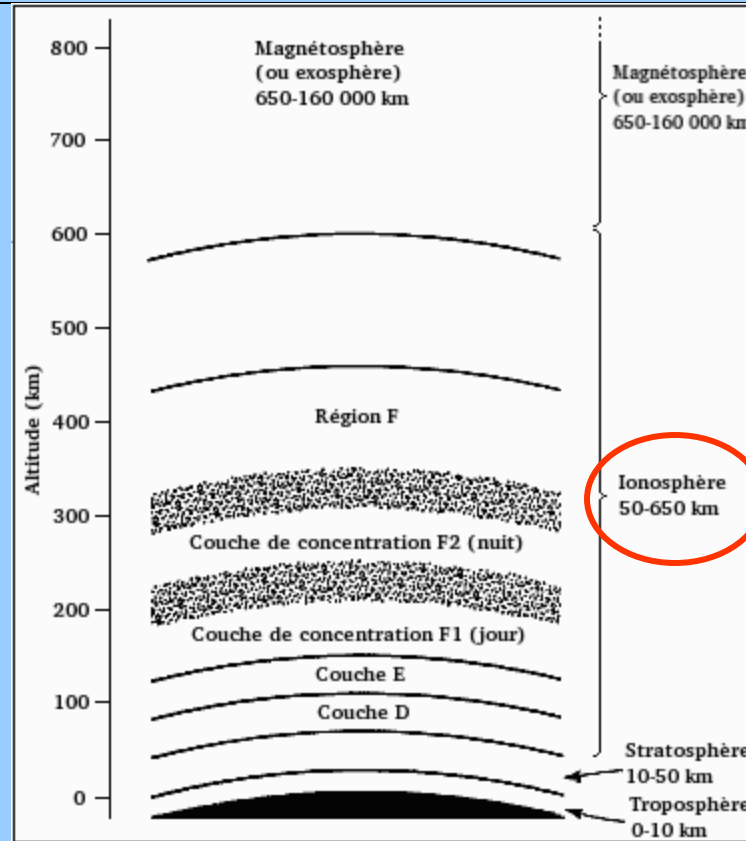
➤ Atténuation en $1/d^2$

TROPOSPHERE & IONOSPHERE



VHF = Troposphère

Structure de l'atmosphère



C'est à dire
atomes
+électrons libres

0-50Km

99% des gaz

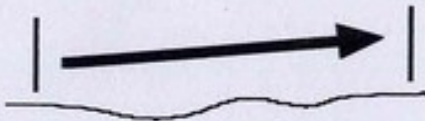
50-600 Km
ionisés par UV
rayons X

Oxygène et Azote basse pression

et

Différents types de propagation

VHF



Propagation troposphérique

VLF



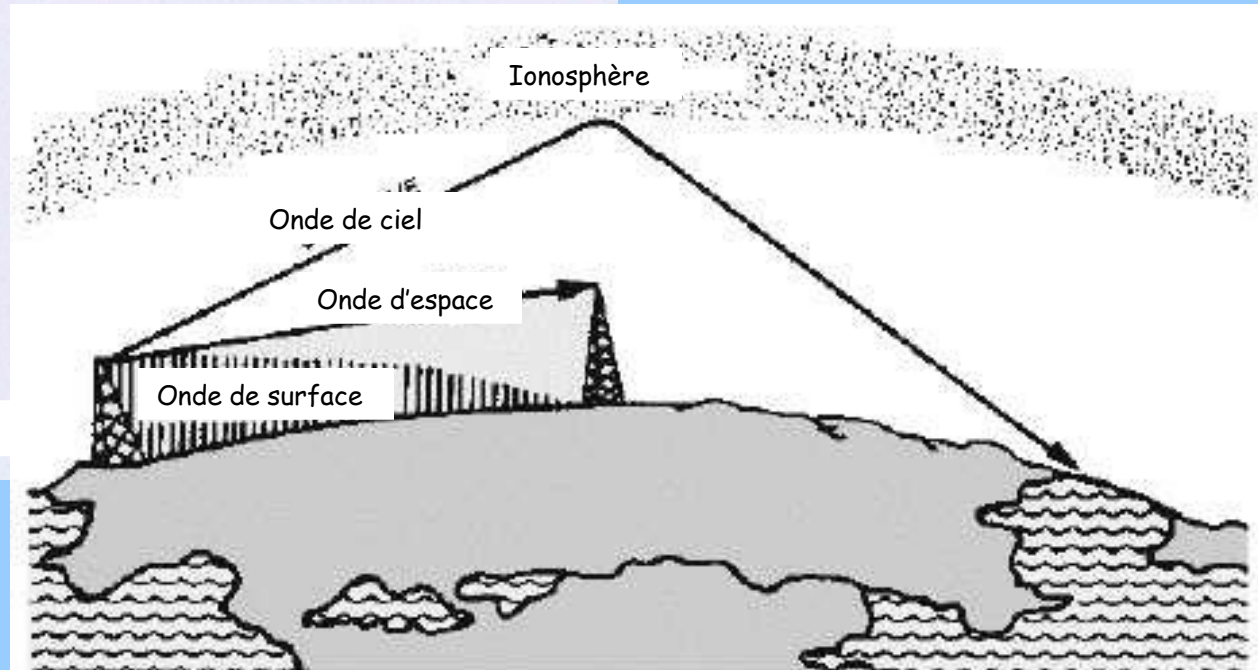
Propagation superficielle

ionosphère



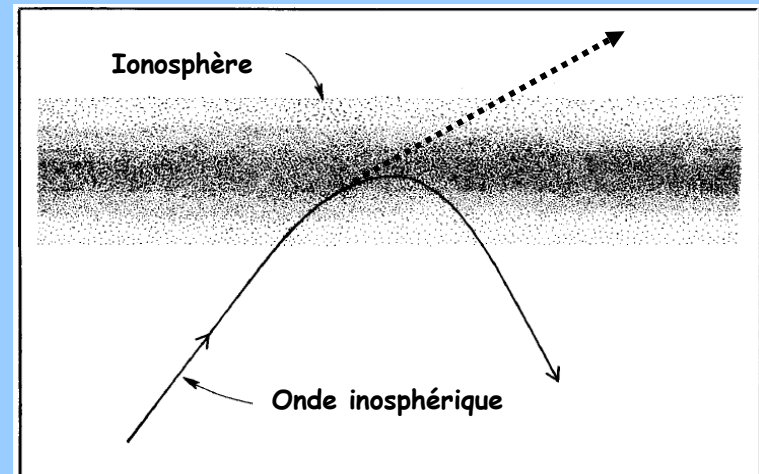
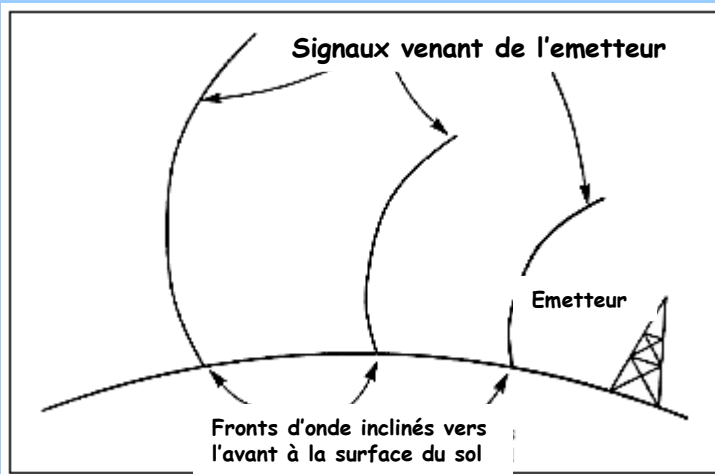
Propagation ionosphérique

RF



Ondes de sol/ ionosphériques

- En dessous de 3MHz
- L'onde suit la courbure terrestre → rotation à cause des courants induits dans le sol qui freinent la partie inférieure du front d'onde
- Utile en période diurne lorsque l'absorption par la couche D rend tout autre mode impossible pour les fréquences basses



- Les fréquences **au dessus de 3MHz** sont moins absorbées par la couche D
- Sont déviées par les différentes couches ionisées de l'atmosphère terrestre (ionosphère)
- Dans certains cas, la déviation est suffisante pour renvoyer l'onde vers le sol

En résumé....

- Les ondes radio correspondent à un champ électromagnétique qui se propage dans le vide, l'air
- Les ondes radio sont déviées à la frontière entre 2 régions
 - + d'indice de réfraction optique différent (troposphère)
 - + d'ionisation différente (ionosphère)
- Cette déviation est assimilable à une réflexion lorsque l'onde revient vers le sol
- La troposphère (0-10Km) propage les VHF → micro-ondes
- L'ionosphère (10-600Km) propage les fréquences décimétriques

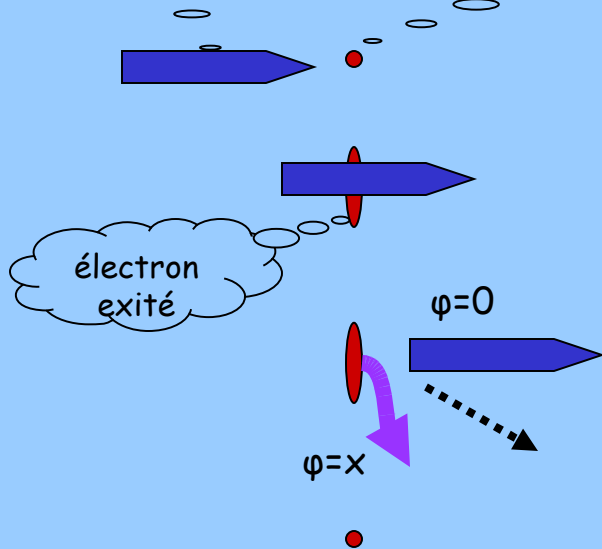
Propagation ionosphérique

Lorsque la fréquence augmente, l'interaction est plus difficile et l'onde incidente est moins déviée

Réfraction en milieu ionisé

onde radio

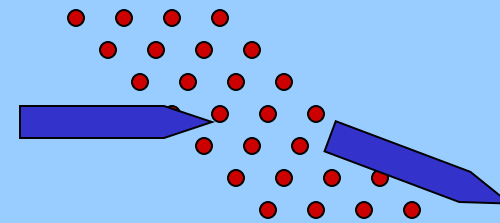
électron



Interaction de l'onde incidente avec les électrons libres

Excitation des électrons par le champ électrique

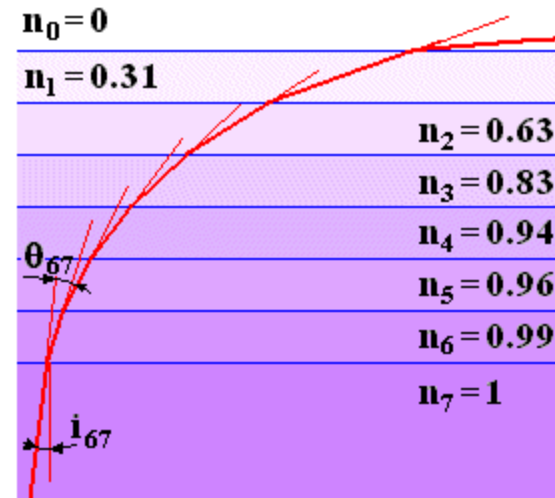
Ré-emission d'une onde déphasée par électrons excités



Onde résultante déviée

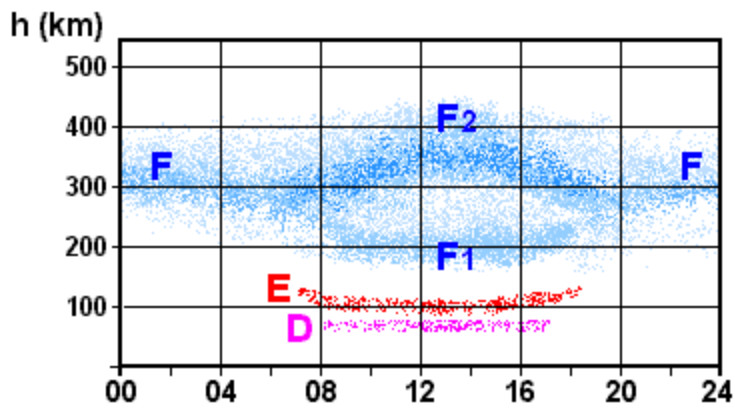
Stratification couche ionisée et déviation onde radio

+++ Densité électrons ---

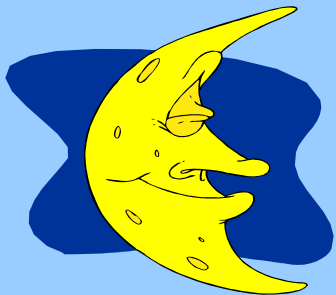
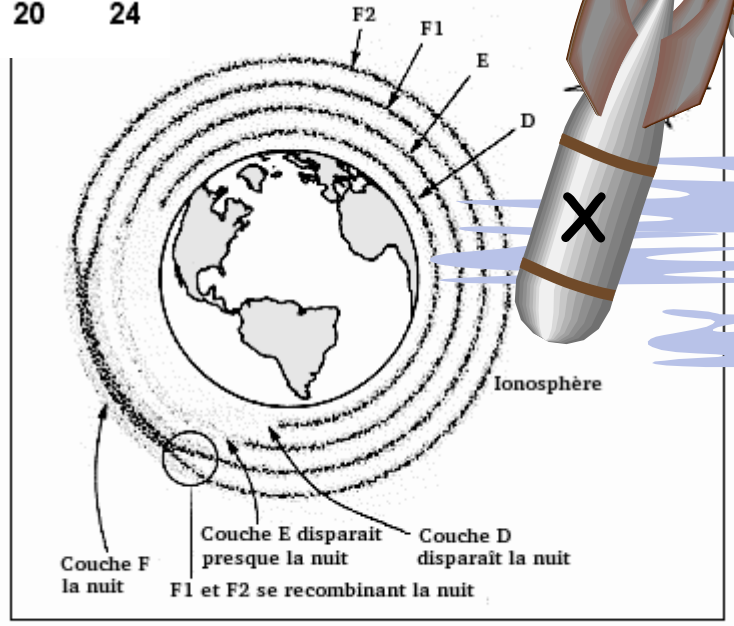
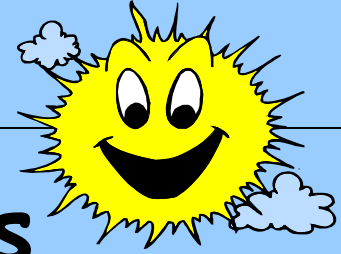


Indice de réfraction équivalent
où f est en MHz et N en électron/m³

$$n = \sqrt{1 - \frac{N \cdot 81}{f^2 \cdot 10^{-12}}}$$



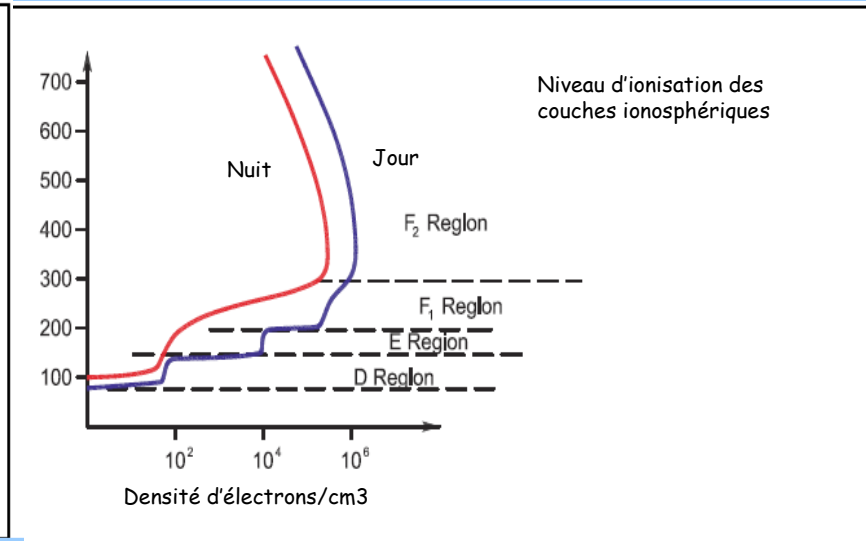
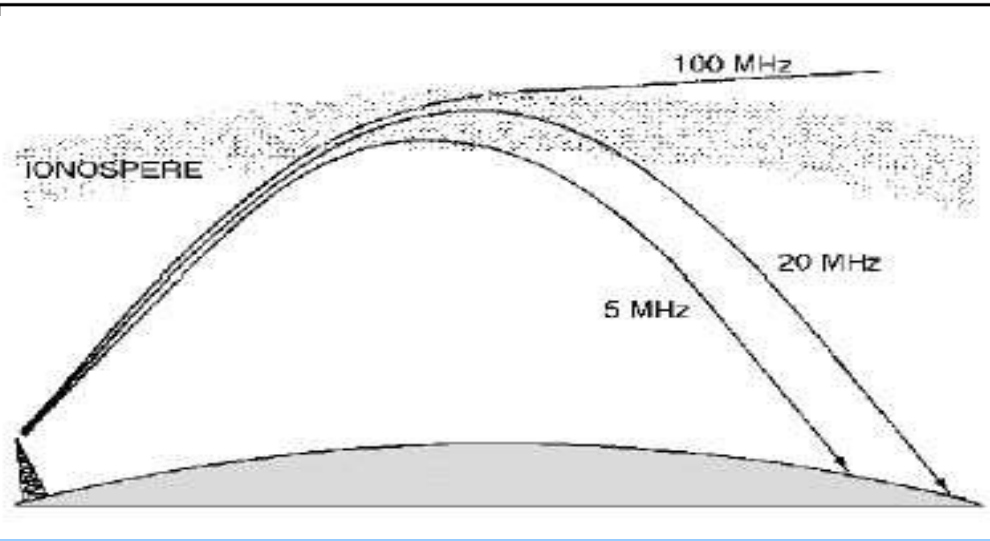
Couches ionisées



Couche	Altitude approximative	Importance	Présence
F	140 Km à 400 Km	Région principale de "reflexion"	Permanente (Plus fort en journée)
E	90 Km à 140 Km	Région de "reflexion" de plus basses fréquences	Permanente (Mais très faible la nuit)
D	50 Km à 90 Km	Région principale d'absorption	Journée seulement

Influence en décimétrique et décroissante jusqu'à 450MHz

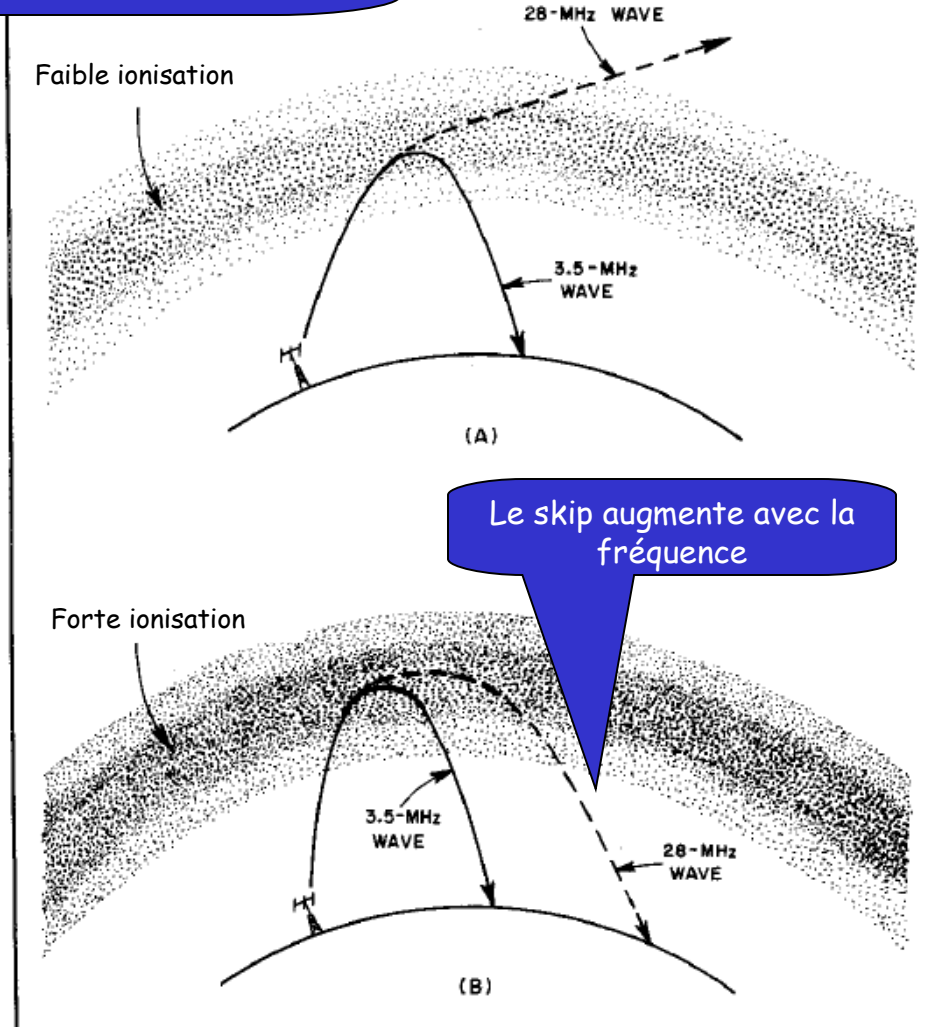
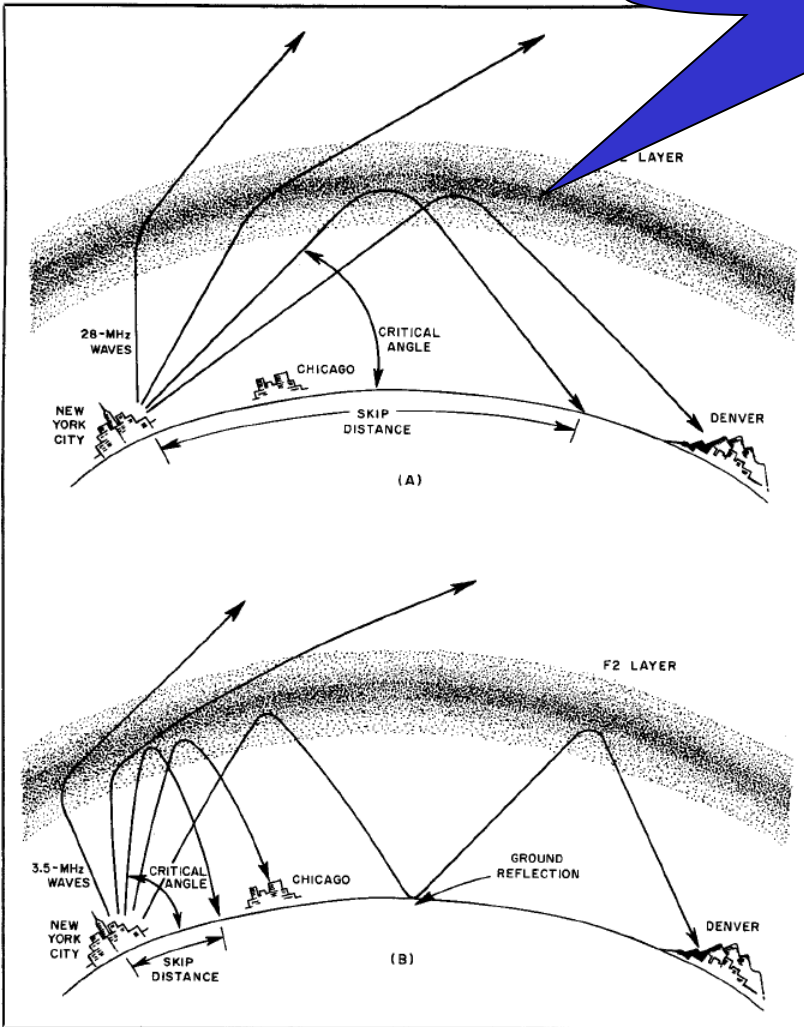
L'action des couches ionisées



- Les couches IONISEES ont la propriété de réfracter les ondes radio qui s'y propagent
- Pour les fréquences 3-30MHz la déviation par les couches E & F peut aller jusqu'à renvoyer l'énergie vers le sol d'où propagation au delà de l'horizon
- La couche D est TROP PEU IONISEE et absorbe seulement l'énergie, donc atténue le signal
- La fréquence max pour assurer la liaison entre 2 points est appelée MUF
- La fréquence min pour assurer la liaison est appelée LUF

DX DX DX DX DX DX

Lorsque F augmente il faut une incidence rasante pour avoir reflexion vers le sol

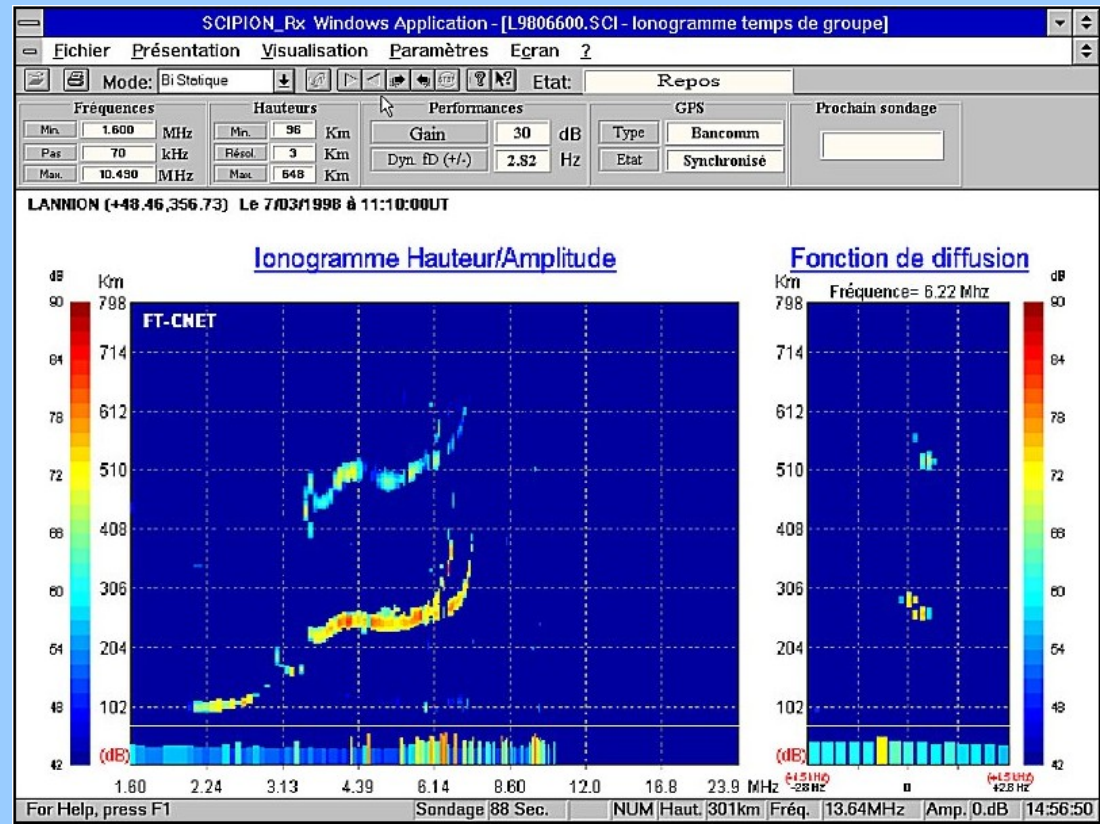
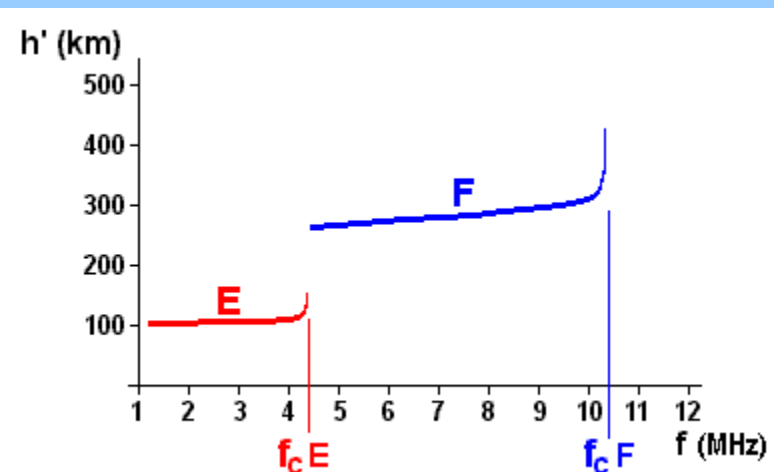


Le skip augmente avec la fréquence

Fréquence critique

- Fréquence maximum à laquelle l'onde est réfléchiée à incidence verticale
- Fonction directe de la densité d'ionisation
- Définit la fréquence maximale d'un bond ionosphérique (MUF)
- Possède une **forte variabilité temporelle quotidienne et même horaire**
- MUF Maximum Usable Frequency (quantile médian 50%)
- $MUF = 3.5 \times F_{cF2}$ (environ)

IONOGRAMME



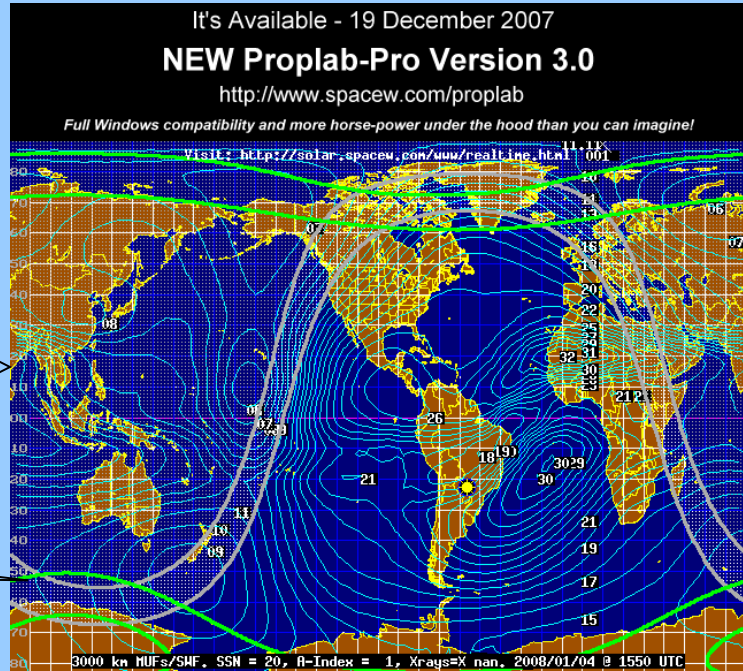
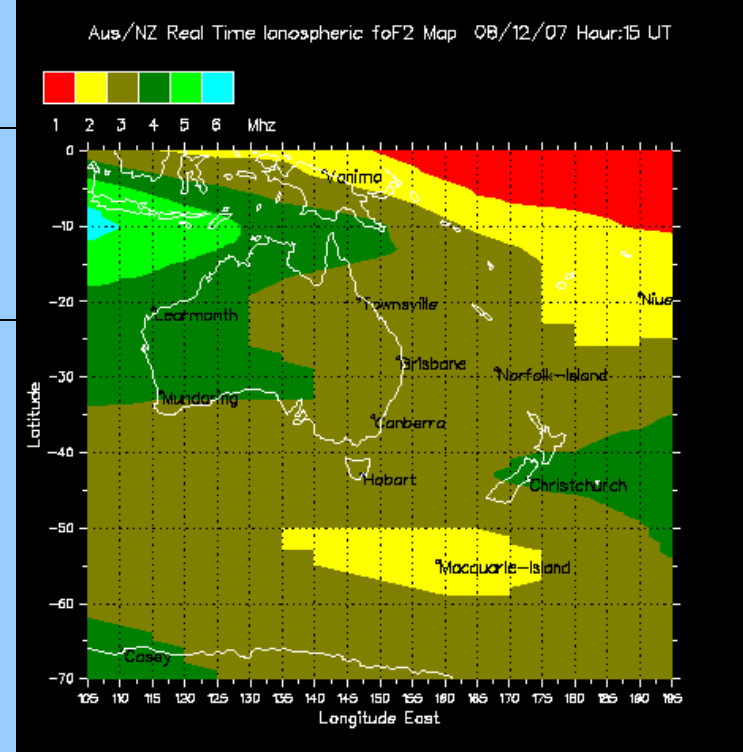
MUF/LUF & Fading

- Les fréquences supérieures au MUF sont déviées partiellement mais partent quand même dans l'espace
- La LUF correspond aux fréquences qui ne peuvent atteindre la couche F (absorption par D et réfraction par E)

- ### Causes du FADING
- Multichemins (addition/soustraction à l'arrivée)
 - Variations des couches ionosphériques

Carte des fréquences MUF pour skip de 3000Km
 (à lire à mi chemin du skip) mise à jour toutes les 30mn
 Disponible sur cluster F5LEN
 ou <http://www.spacew.com/www/realtime.php>

Ovale auroral



MUF/LUF pour OM pointilleux!

La prévision des conditions de Propagation

Principes de la méthode :

La prévision de l'état futur des conditions de propagation est basée sur des **analyses statistiques des caractéristiques de l'ionosphère**, mesurées à l'aide d'ionosondes verticales en divers points du globe. Il ressort de ces analyses que les valeurs des principales caractéristiques de l'ionosphère sont statistiquement **corrélées à un paramètre externe unique qui est l'indice d'activité solaire**. Cet indice rend compte de l'état d'activité du soleil et résulte d'observations quotidiennes de la surface solaire.

Il est donc en principe possible de déterminer à l'avance les caractéristiques médianes de l'ionosphère à partir d'une prévision de la valeur de l'indice solaire pour cette période. L'indice d'activité solaire utilisé dans les logiciels de prévisions de propagation ionosphérique est **l'indice IR_s dont une prévision est établie et diffusée mensuellement par le CNET pour les 6 mois à venir**.

Détermination de la MUF:

La prévision de propagation pour une liaison donnée est obtenue à partir d'une modélisation de la trajectoire des rayons électromagnétiques entre l'émetteur et le récepteur. On considère des trajets par bonds entre les couches ionosphériques principales des régions **E & F** et le sol. La géométrie de ces trajets détermine les modes de propagation possibles. A partir des modèles de prévision des caractéristiques ionosphériques, est calculée la fréquence maximale utilisable pour chacun des modes de propagation considérés. La **MUF** correspond à la plus grande de ces fréquences.

Détermination de la LUF :

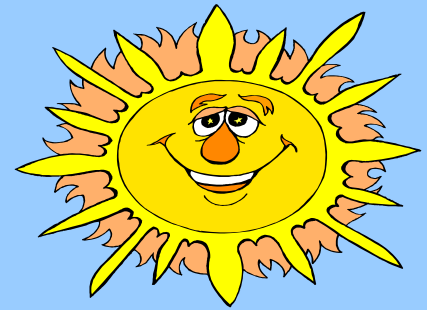
Connaissant les modes de propagation susceptibles d'exister, il faut aussi calculer les limites inférieures de la bande de fréquences utilisables pour chacun de ces modes à partir de l'affaiblissement total du signal sur le trajet. Cet **affaiblissement** comprend entre autres l'affaiblissement spatial dû à la **dispersion du flux radioélectrique émis**, les pertes par **absorption ionosphérique engendrées par les traversées de la couche D**, les pertes par **réflexion sur le sol** lorsque le mode considéré implique plusieurs bonds ainsi que quelques atténuations plus spécifiques (atténuation aurorale et pertes dues à la réflexion). La fréquence minimale utilisable pour un mode donné se ramène au calcul de la **fréquence pour laquelle l'affaiblissement de propagation de l'onde est égal à l'affaiblissement maximal toléré**, déterminé à partir des performances des équipements utilisés et du bruit radioélectrique à la réception. La **LUF** est la plus petite des fréquences minimales utilisables pour chacun des différents modes considérés.

La MUF

La carte avec les courbes de niveau de la fréquence maximum utilisable (MUF) La valeur de la fréquence est à lire à mi-chemin (1500 kms). La carte du monde avec courbes de niveau donne la fréquence la plus haute qui se réfléchira sur la couche d'ionisation de la Terre pour une distance de 3000 kilomètres. **Lire la valeur de M.U.F à mi-chemin du parcours** (1500 kilomètres). Les fréquences plus hautes se perdront dans l'espace. Fait voir aussi l'emplacement actuel de l'Ovale Auroral. La zone de lever/coucher du soleil donne **les régions où le soleil est en dessous de 12 degrés au-dessous de l'horizon, ce couloir est appelé ligne grise**. Dans ce couloir de ligne grise, les ions basse d'altitude, ions qui dégrade le signal, sont rapidement perdus, mais les ions de haute altitude, qui reflètent le signal, sont toujours très abondants. Ils sont en particulier favorables à la propagation des Ondes Courtes.

En résumé....

- Les couches de la haute atmosphère sont ionisées par le rayonnement solaire UV+X
- Le degré d'ionisation varie entre le jour et la nuit
- Les ondes radio sont déviées lors de leur traversée des couches ionisées
- La déviation dépend de la fréquence , de la densité en électrons et de l'angle d'incidence, à l'extrême il y a réflexion
- La fréquence maximum utilisable est la MUF



Le Soleil & la Terre

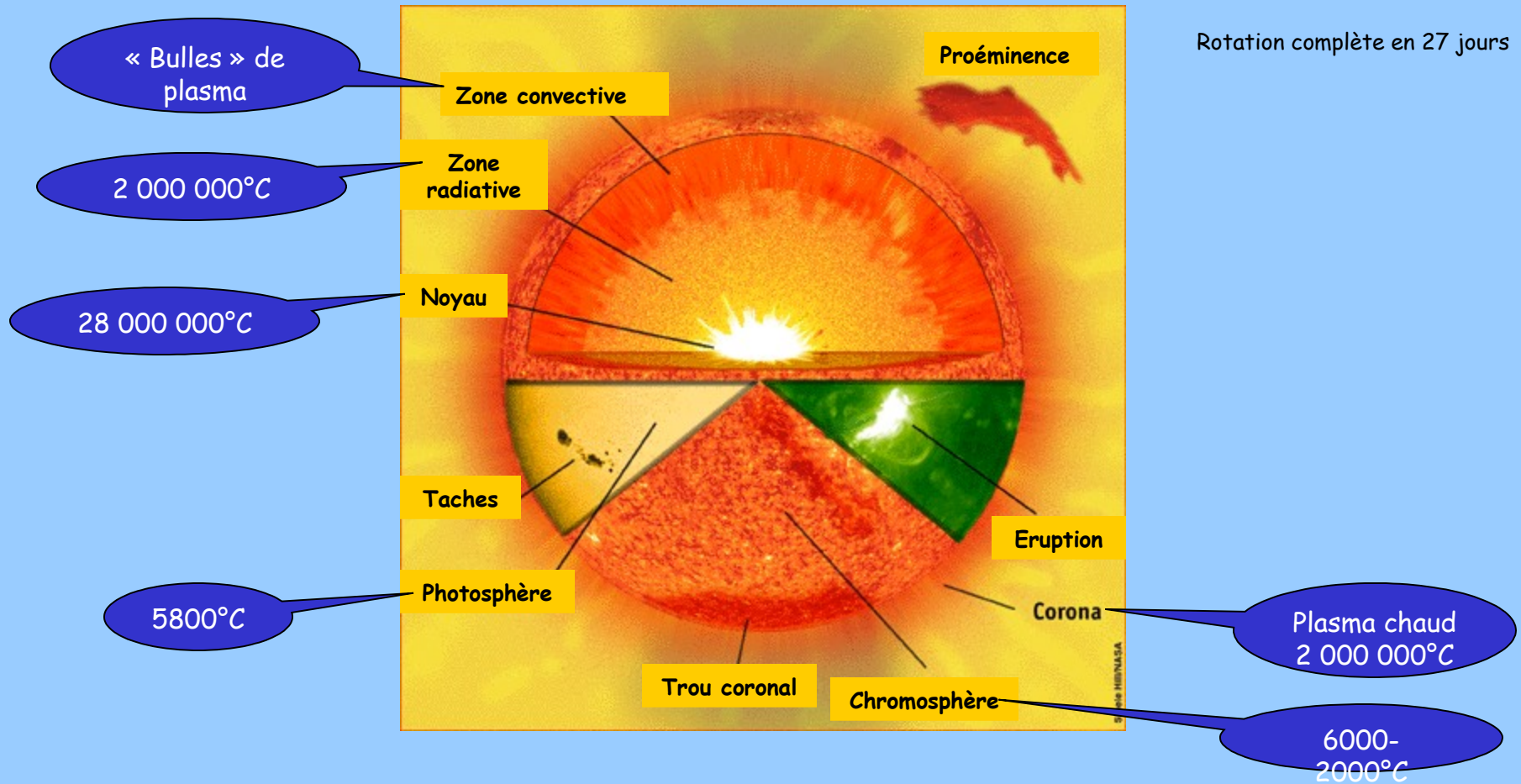


Le système solaire



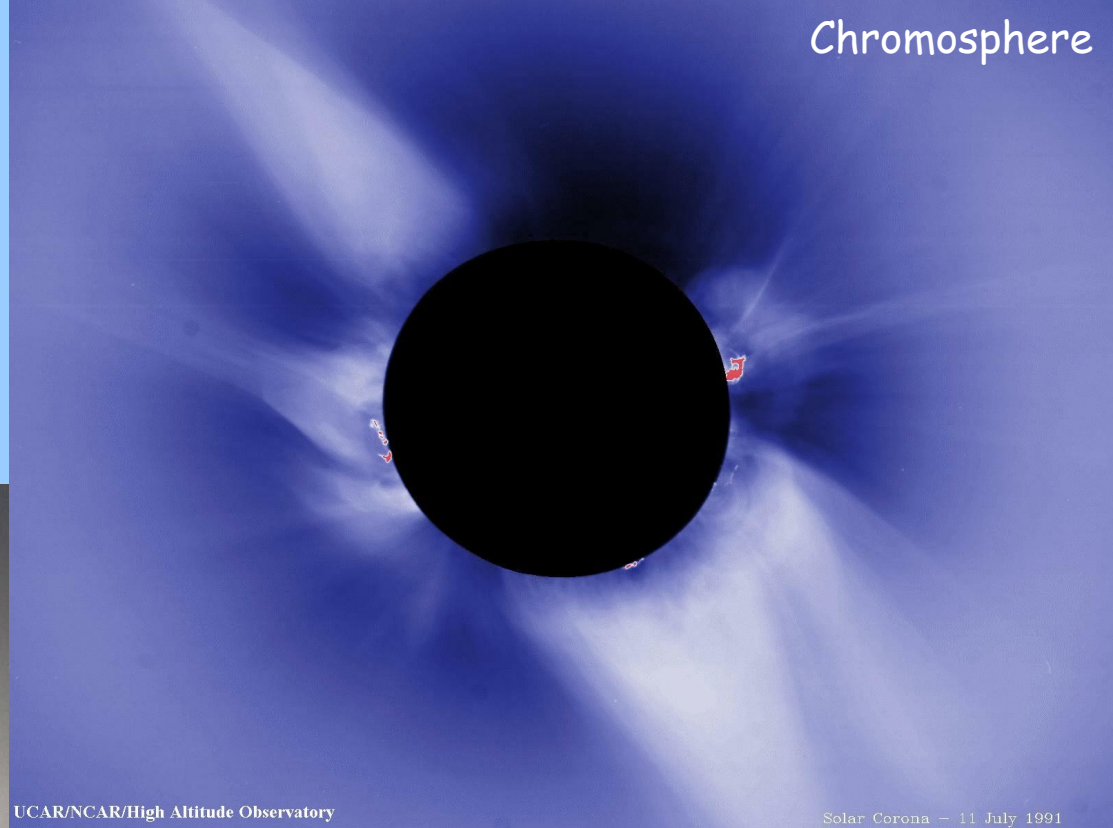
- Centrale nucléaire à 150 millions de Km de la Terre
- Contrôle la propagation des ondes radio par 3 voies
 - UV couche F
 - X mous couche E
 - X durs couche D
- Vent solaire qui souffle à 400Km/s (matière solaire éjectée) → plusieurs jours pour atteindre la terre
- Comprime le champ magnétique terrestre & perturbe l'ionosphère & la propagation
- Selon les polarités magnétiques Terre/Soleil il y a des effets renforcés (aurores)

La structure du soleil



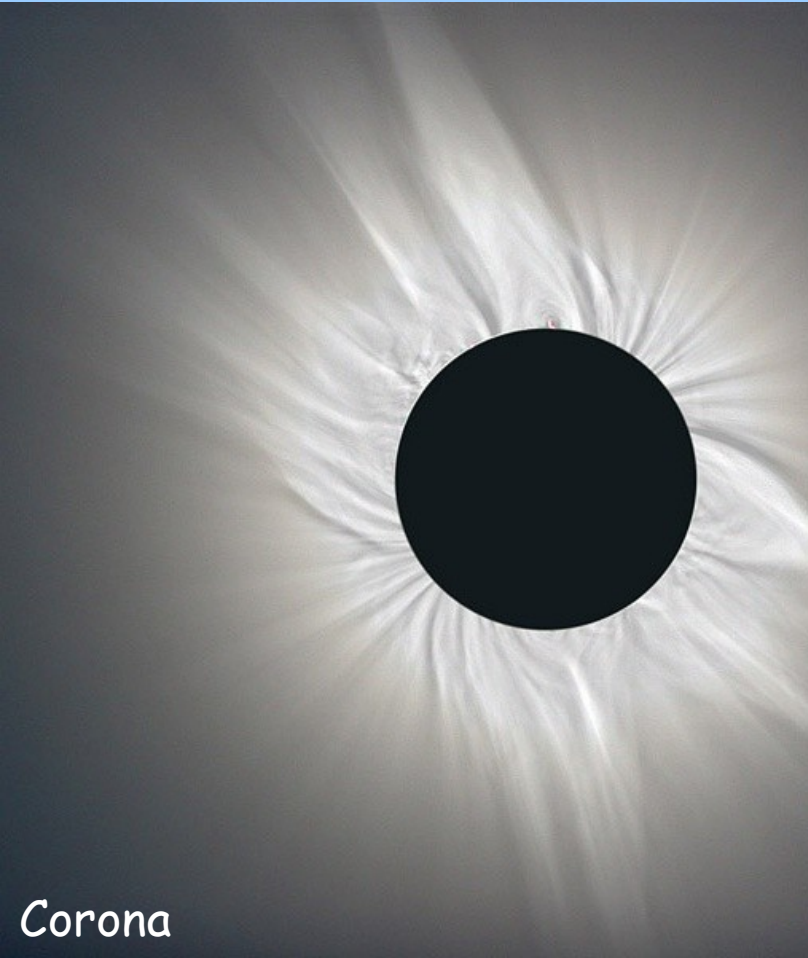
L'énergie est générée par les réactions de fusion nucléaires dans le noyau

La puissance dissipée, sous forme radiative, est de $3.846 \cdot 10^{26} \text{ W}$



UCAR/NCAR/High Altitude Observatory

Solar Corona - 11 July 1991



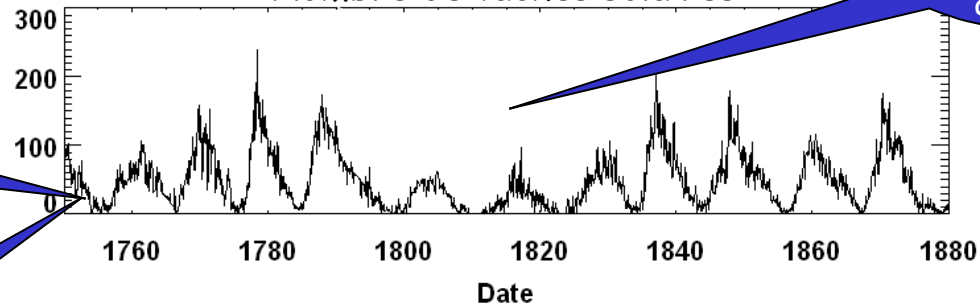
Le cycle solaire

- Le soleil possède un champ magnétique complexe à l'origine de taches et de régions actives
- Le champ magnétique s'inverse selon un cycle de 11 ans
- Durant chaque cycle, les nombres de taches, de « tempêtes » et d'explosions passent par un pic
- La densité des couches ionisées, surtout la F, dépend du nombre de taches solaires
- Phénomène non expliqué d'« échecs de prévisions fiables » mais 2 types de sources trouvées qui permettent un suivi régulier :
 - les données de la sonde Ulysses
 - les données de la sonde SOHO sont nécessaires pour la géométrie du cycle.

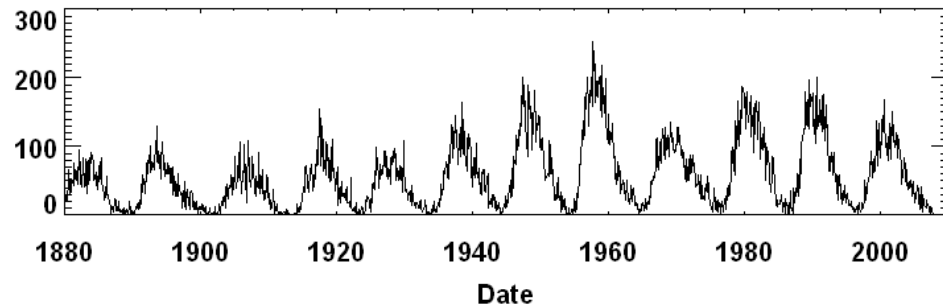
Premier comptage par Galilé en 1610...

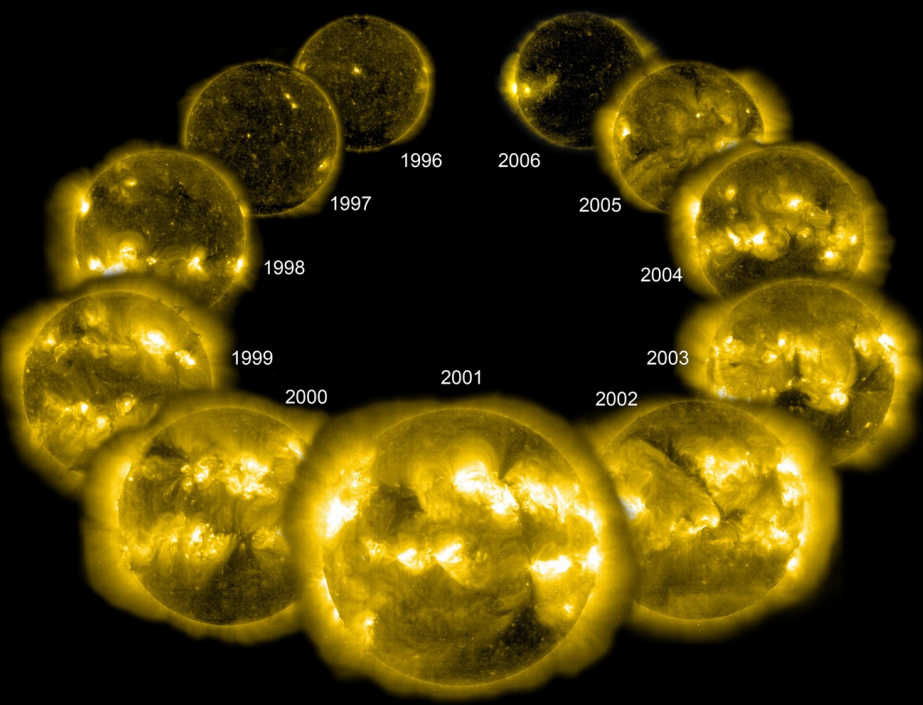
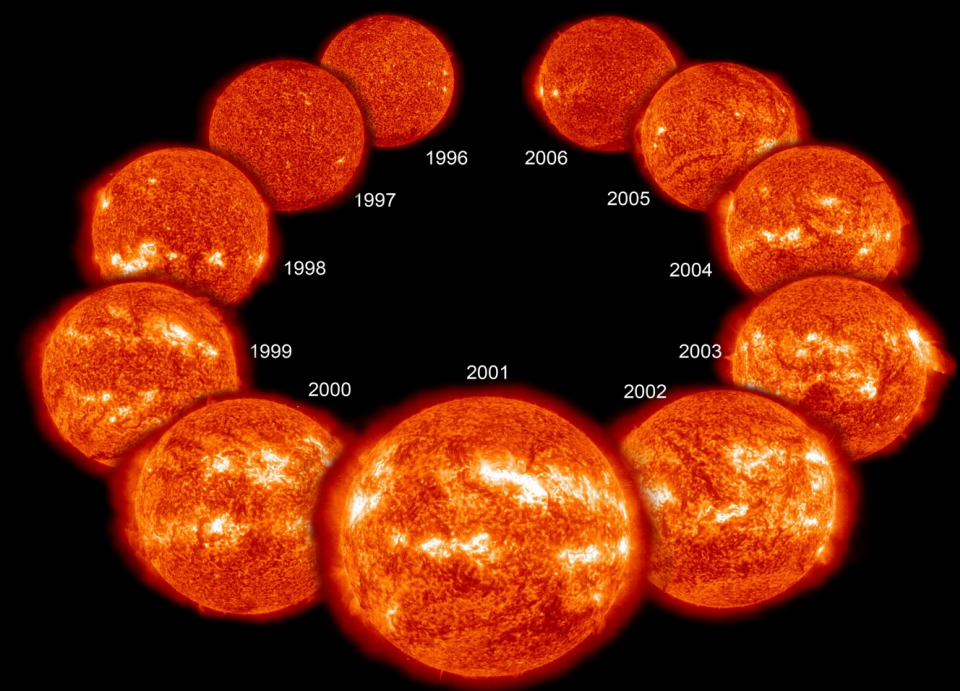
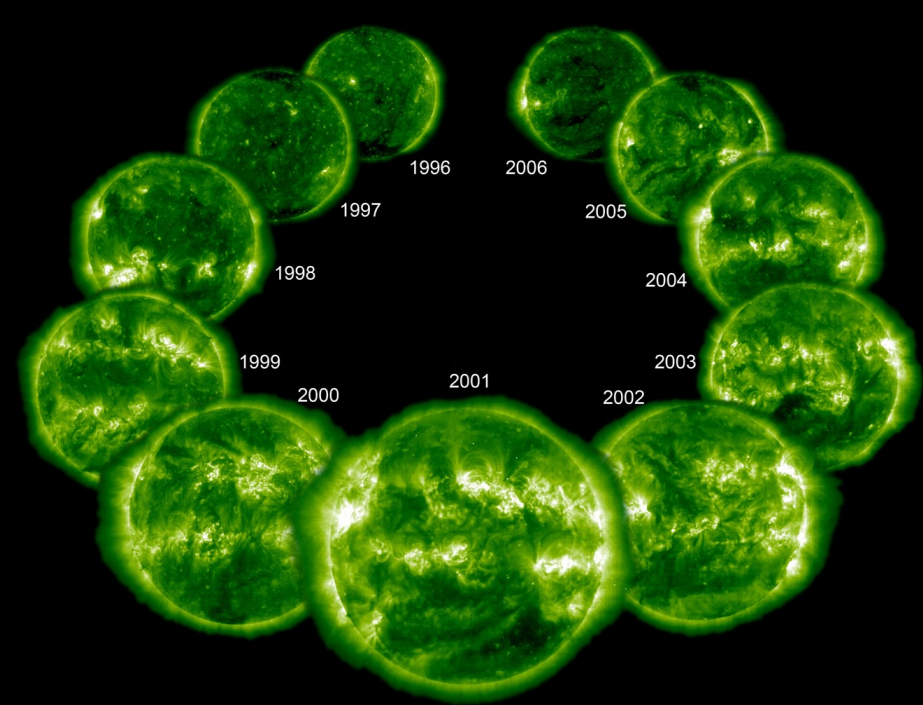
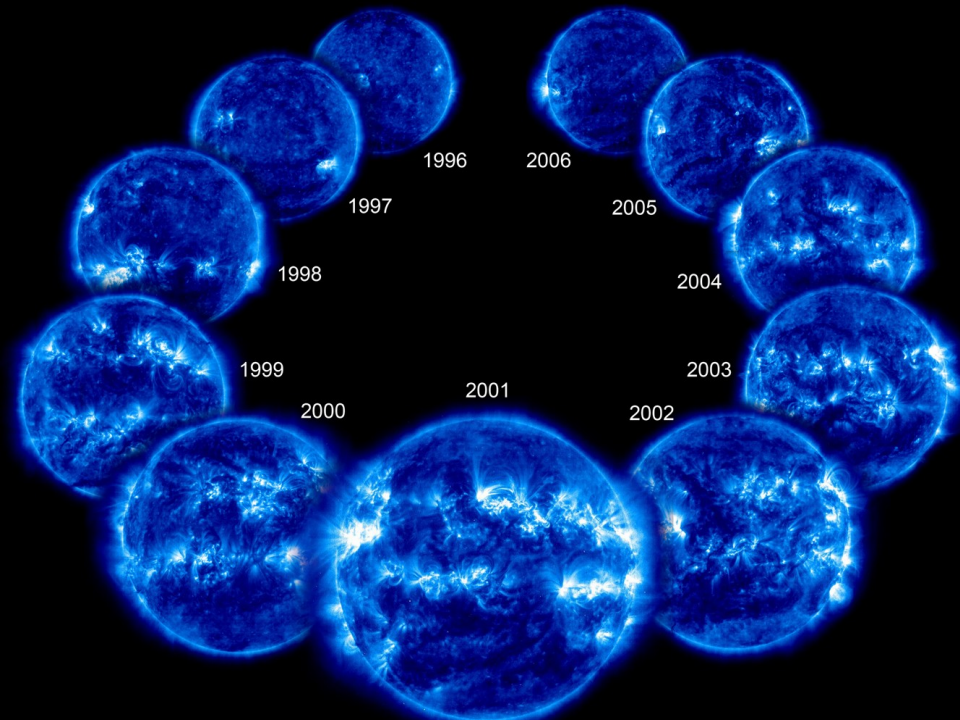
Premier comptage régulier en 1749 observatoire Zurich

Nombre de taches solaires



Minimum de Maunder=mini âge glaciaire





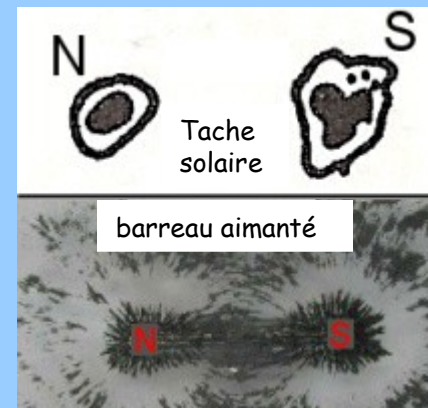
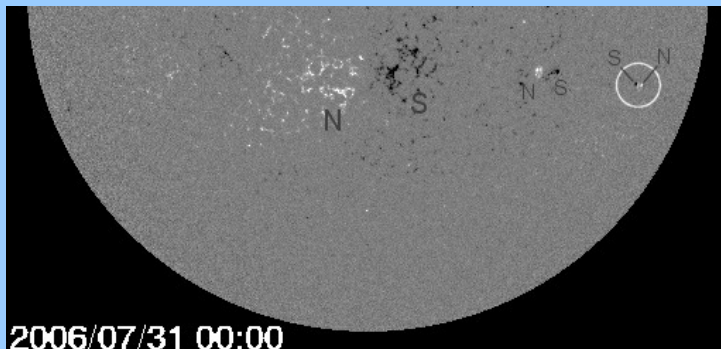


Les taches solaires

- Pour le cycle 23 , dans l'hémisphère nord, les taches avaient la polarité Nord à droite et Sud à gauche (SN)
- Dans l'hémisphère sud, les taches ont la polarité opposée à celle du nord
- Les polarités s'inverseront au changement de cycle → NS dans l'hémisphère nord et SN dans l'hémisphère sud

Rem: le nombre de taches est aussi appelé Nombre de Wolf

Comptage « complexe » et 2 systèmes officiels (International Sunspot Number / NOAA sunspot number)

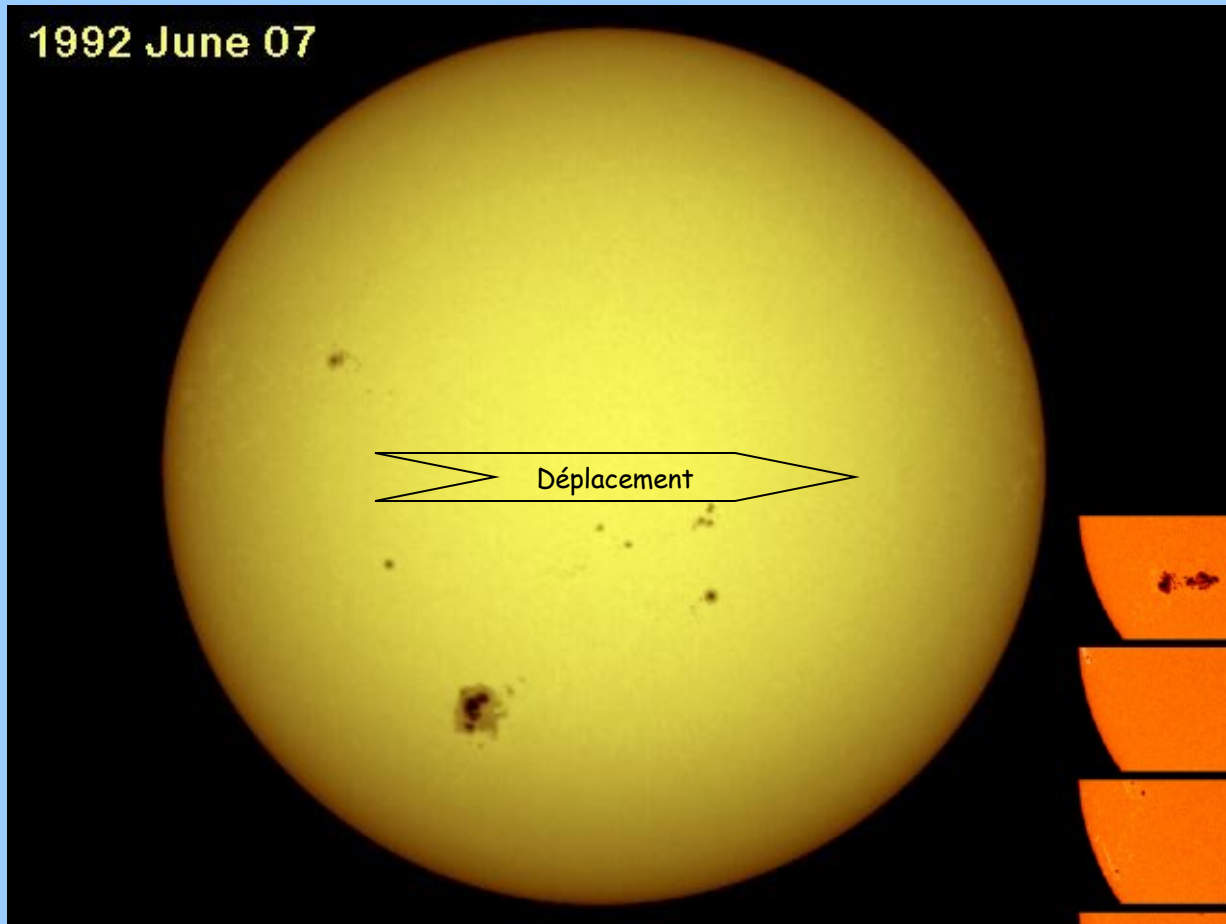


Les taches solaires

NORD

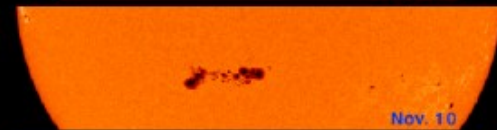
1992 June 07

EST



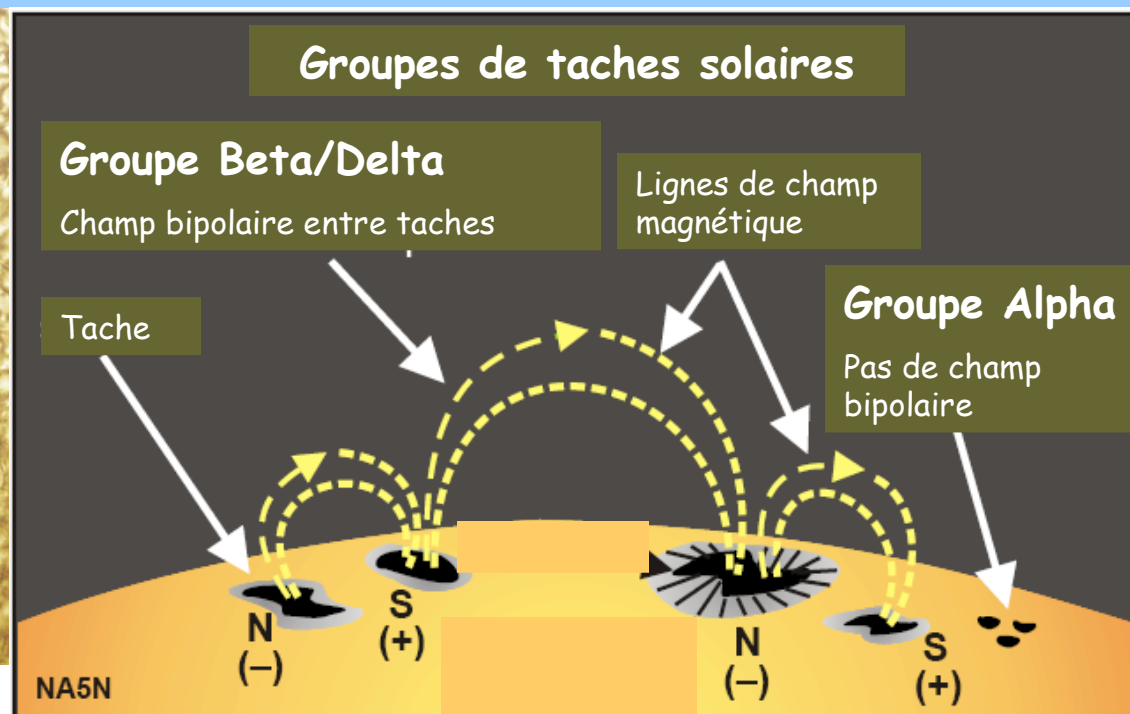
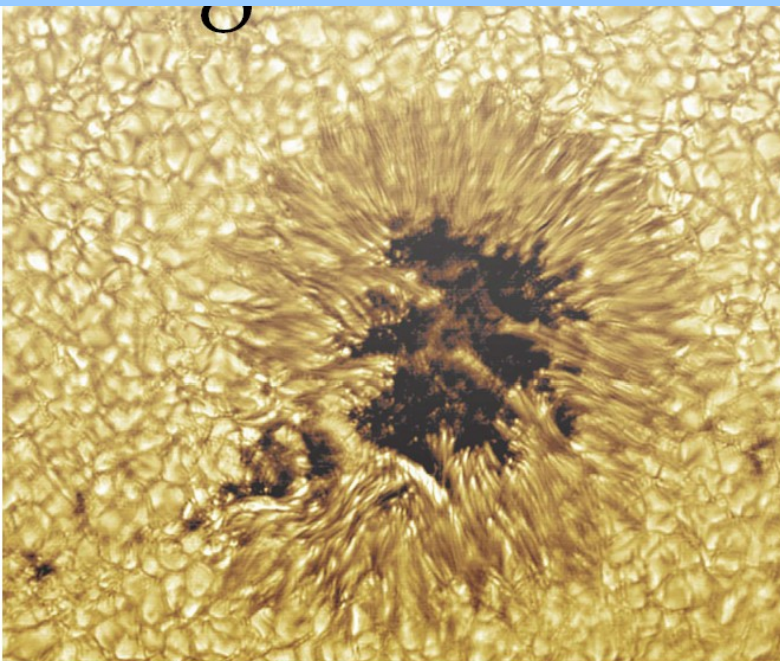
OUEST

SUD



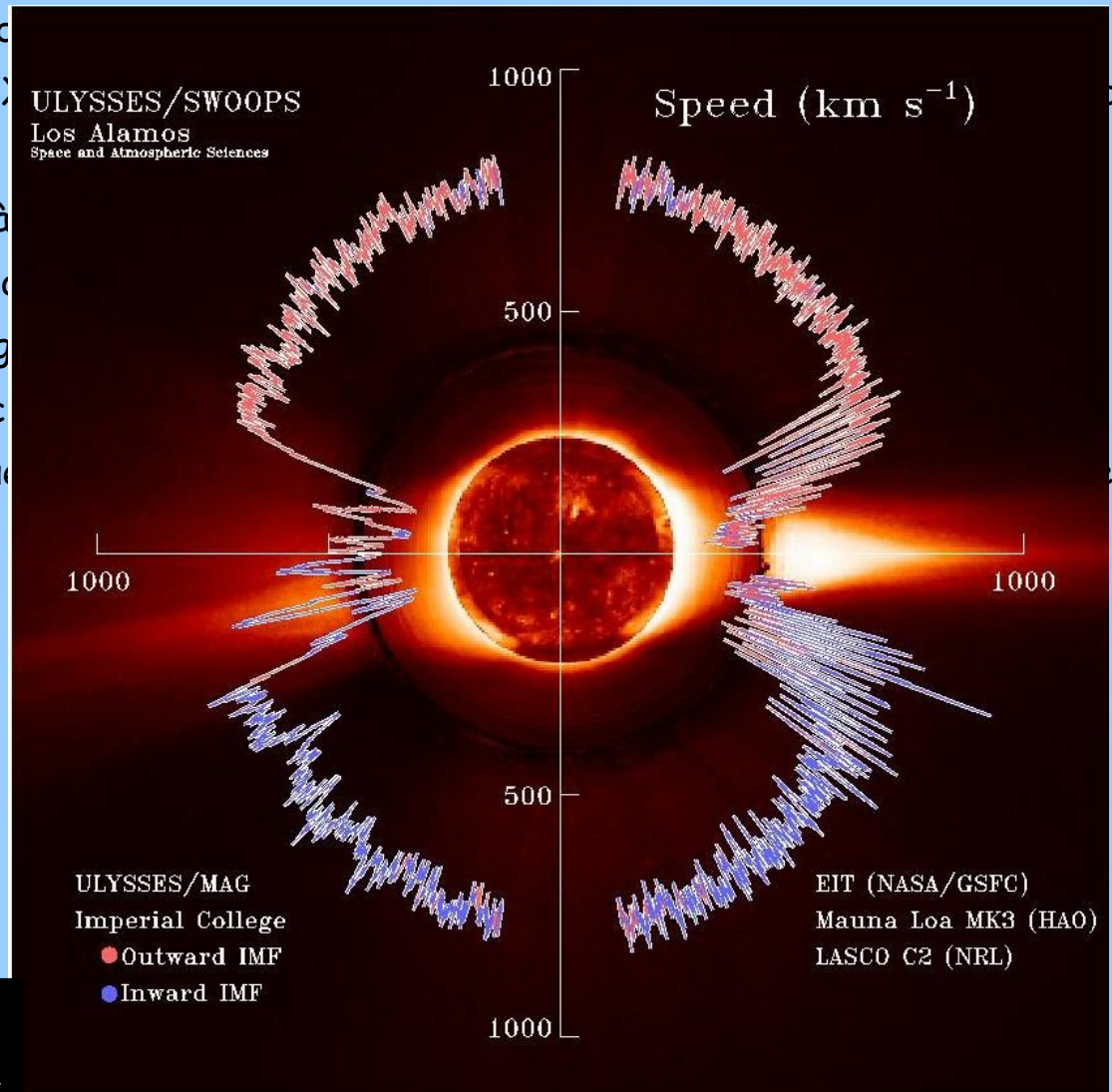
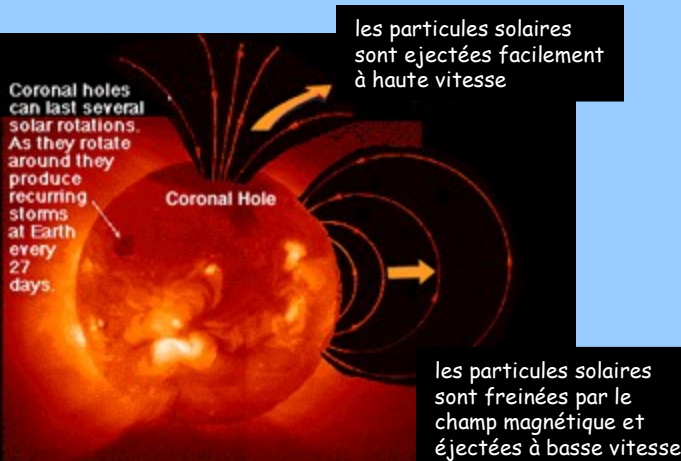
Les taches solaires

- Zone plus froide (3700°K au lieu de 5700°K)
- Durée de vie de quelque jours à quelques semaines
- Zones de champ magnétique intense (>1000 fois celui de la terre)
- Se regroupent



Le vent solaire

- Un vent solaire continu est émis
- Il est composé de rayonnements
- Il n'est pas uniforme
 - + Interaction de nuages à
 - + Selon les directions (tr
 - + Bouffées rayons X et g
 - + Eruptions & ondes de c
- Il « secoue » le champ magnétique
- 8 particules par cm cube

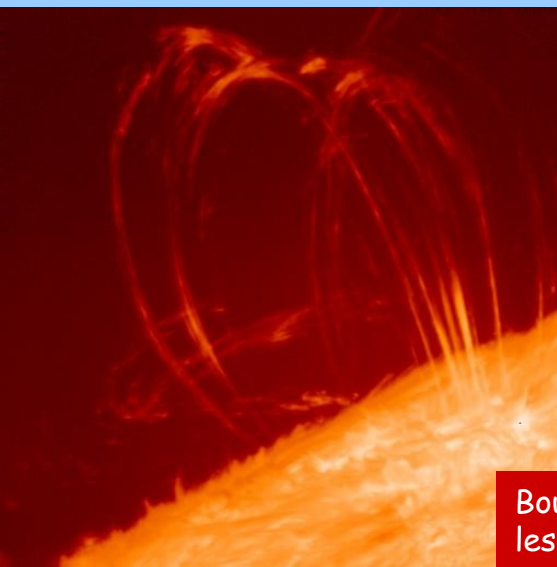


otons)

re

Eruptions solaires & perturbations

Rayons X et matière associée
(plusieurs centaines par
jour), responsables de la haute
température de la Corona



Boucles de matière éjectée selon
les lignes de champ magnétique



Earth shown
for size comparison

Impact sur la Terre

Rayons X & Ultraviolets

8 minutes

Electrons-Protons

Quelques heures

Onde de choc

Quelques jours

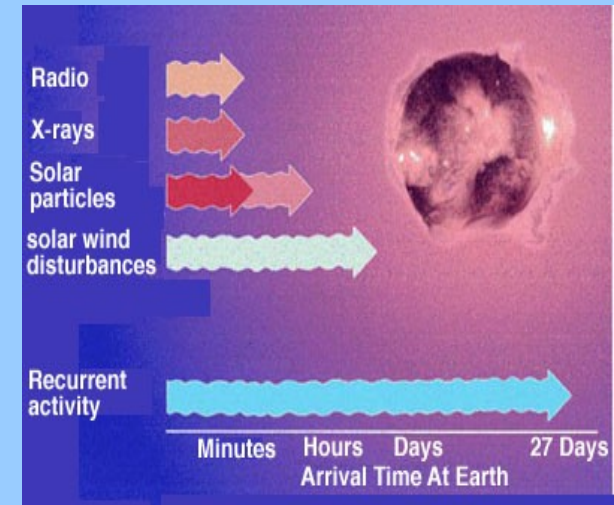
Ionisation couches D & E

Absorption couche D → Black out de 1H à plusieurs jours

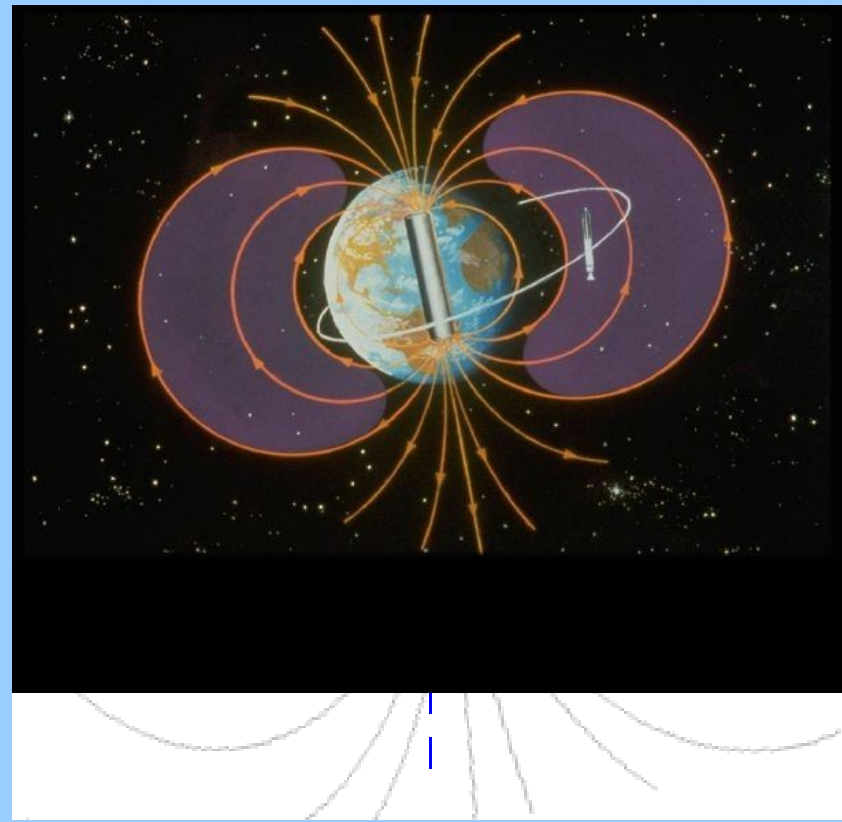
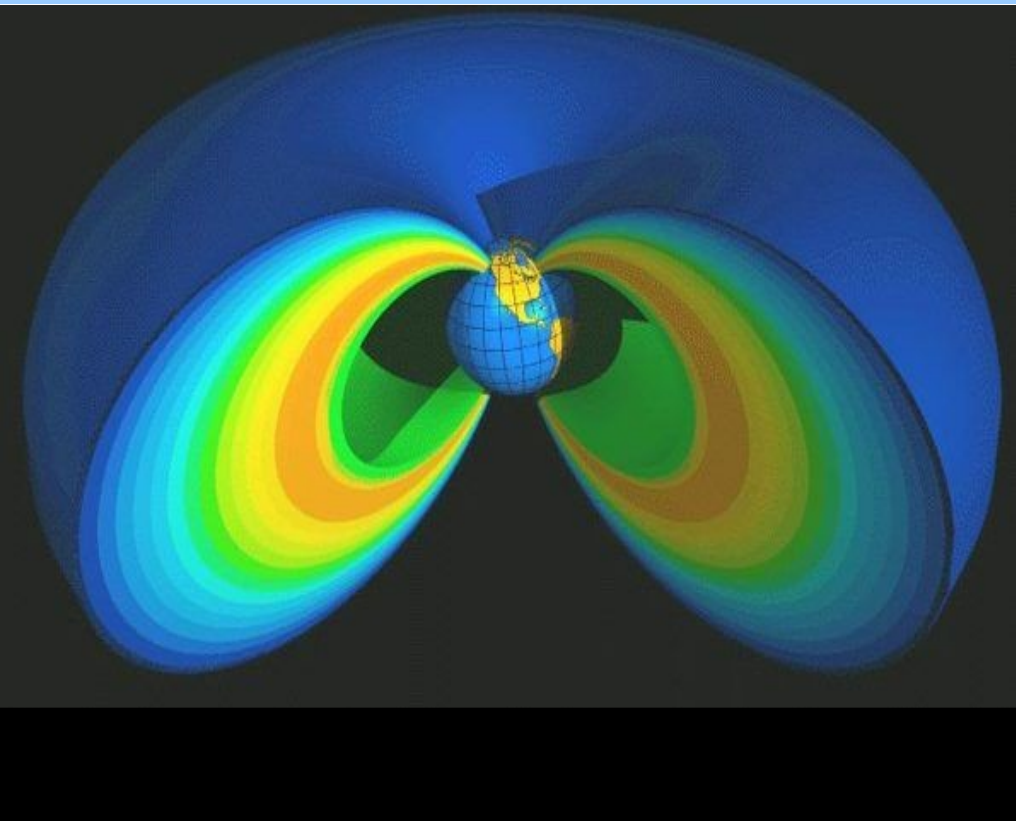
Distortion du champ magnétique

Aurores aux latitudes moyennes

Black out ou réflexions exceptionnelles

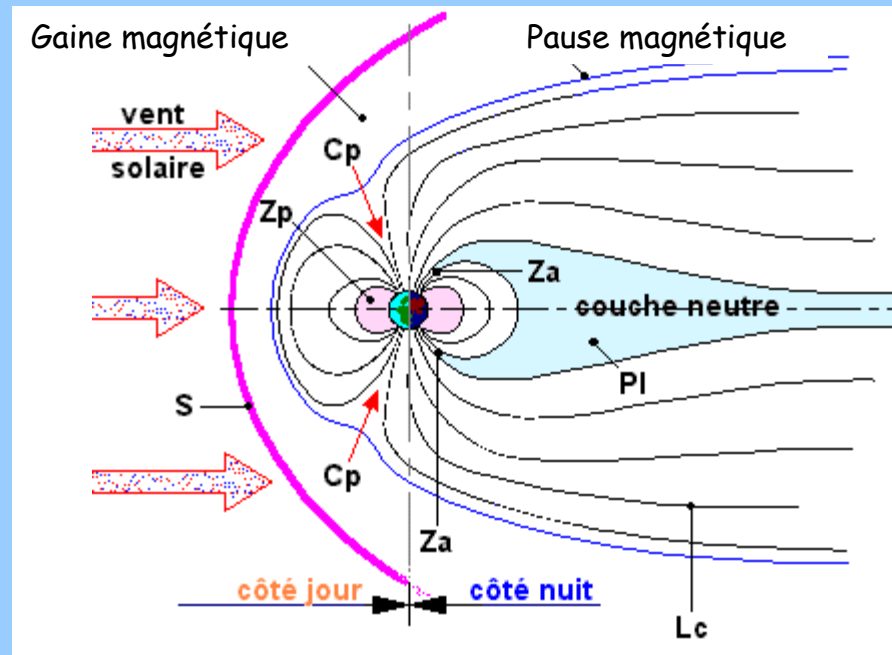


Le champ magnétique terrestre



- Les lignes du champ magnétique terrestre ressemblent à celle d'un barreau aimanté.
- Il dévie le vent solaire avant qu'il atteigne la surface de la Terre (98%)
- Il piège les particules chargées qui se dirigent vers la Terre(2%), dans les « Ceintures de Van Hallen » découvertes en 1958 par Explorer1

Le champ magnétique terrestre

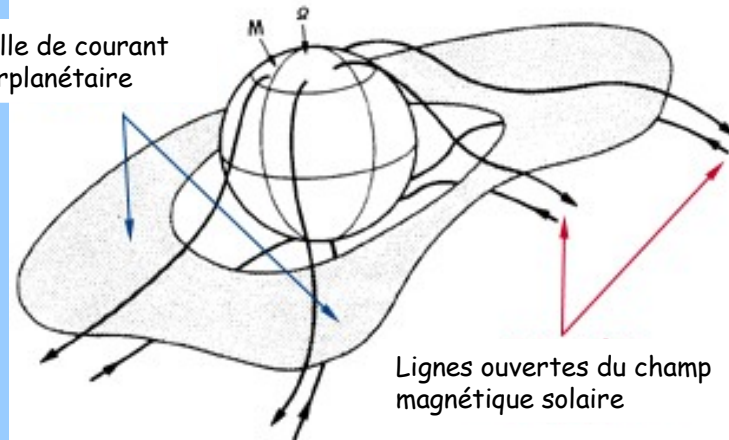


- Le champ magnétique aux environs de la terre est la combinaison du champ magnétique de la planète et de l'interaction des particules du vent solaire.
- Le vent solaire coule autour de la Terre comme l'eau enveloppe un caillou dans le courant, déformant la magnétosphère en forme de cornet

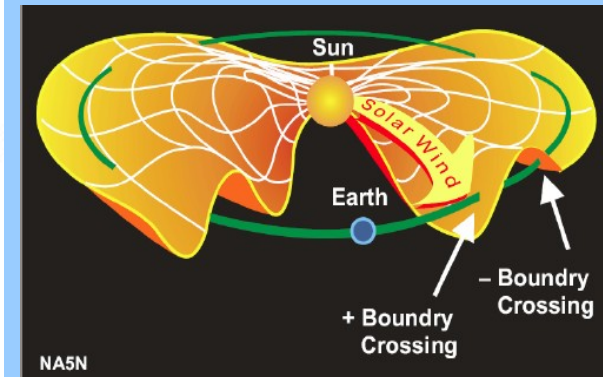
Champ magnétique interplanétaire



Feuille de courant interplanétaire



Lignes ouvertes du champ magnétique solaire



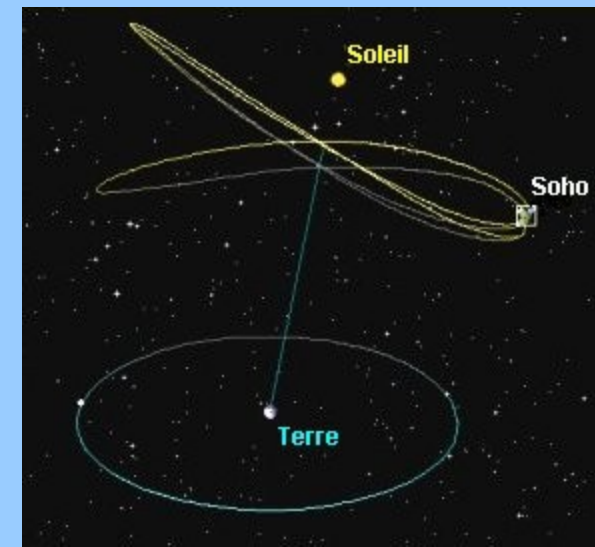
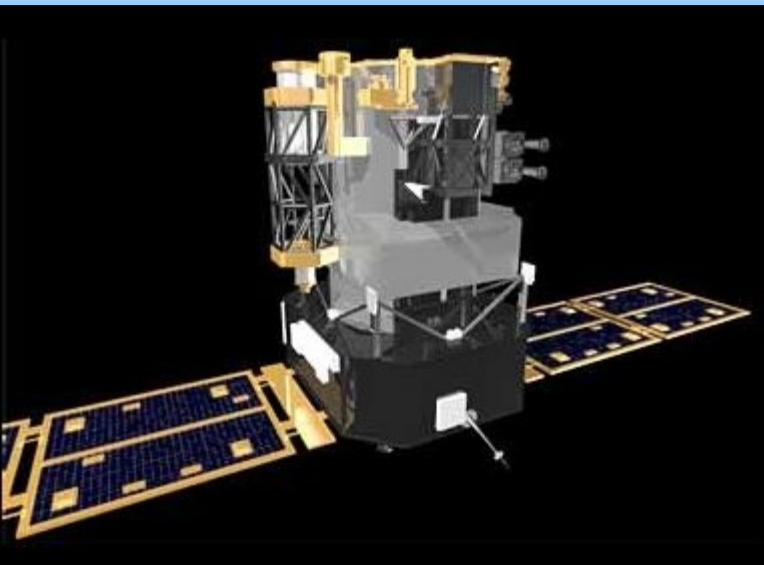
- Le champ magnétique interplanétaire (IMF valeur 1~37 nT) est une partie du champ magnétique solaire associé au vent solaire
- A cause de la rotation du soleil il a une forme de jet rotatif
- Au niveau de l'équateur solaire les lignes du champ sont ouvertes et de sens opposé
- Au niveau de l'équateur existe une « feuille de courant interplanétaire » « ondulée » comme une jupe de ballerine
- Lors de la rotation du soleil, la terre est tantôt au dessus ,tantôt au dessous cette zone de courant
- Le couplage avec le champ magnétique terrestre est maximum lorsque le IMF est orienté « sud »

SOHO

La **sonde spatiale SOHO** est le fruit d'une collaboration entre la NASA et l'ESA. Elle a été lancée le 2 décembre 1995. En fonctionnement depuis février 1996, et malgré une perte de contact de plusieurs mois, la mission est prolongée jusqu'en 2007.

SOHO est une plateforme sur laquelle sont placés **douze instruments** qui observent en permanence le Soleil, mesurent le rayonnement électromagnétique (du visible à l'extrême ultraviolet et aux rayons X, en spectroscopie et/ou imagerie), pour répondre aux trois principaux objectifs du programme de recherche :

- **Etude de la structure interne du soleil**
- **Etude du vent solaire**
- **Etude de l'atmosphère solaire**

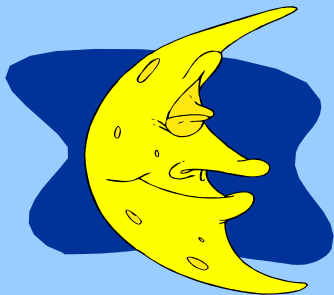
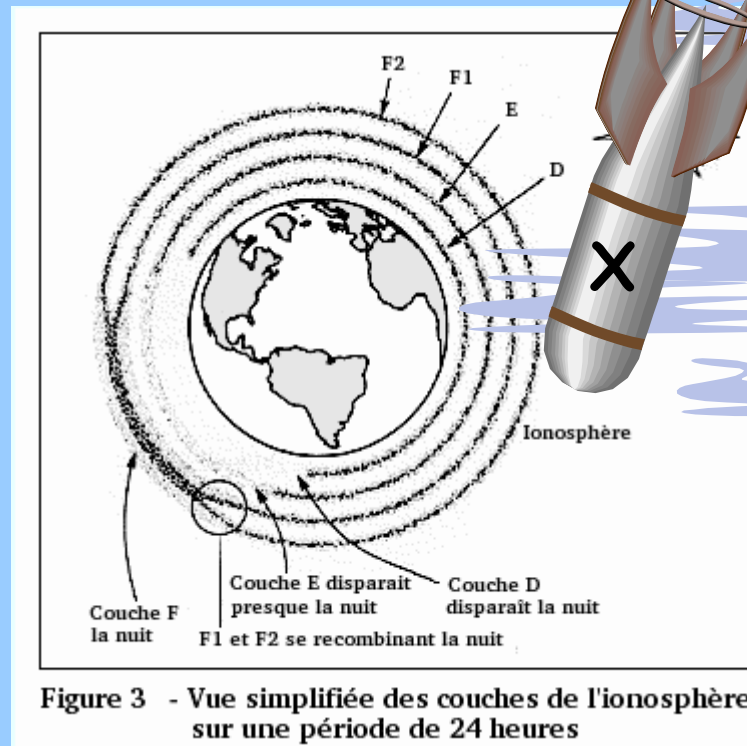
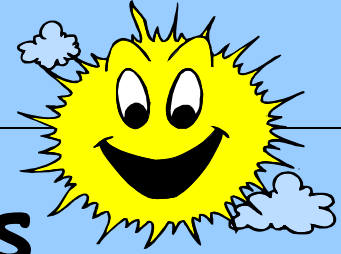


En résumé....

- Le soleil a un cycle d'activité de 11 ans
- Le nombre de taches solaires est l'indicateur de l'activité
- Le rayonnement solaire en UV , rayons X et particules, est proportionnel au nombre de taches
- Le champ magnétique terrestre est perturbé par le vent solaire
- La densité des couches ionisées , donc leur capacité à réfléchir les ondes radio, dépend de l'activité solaire

Couches ionisées & différents modes de propagation

Les couches ionisées



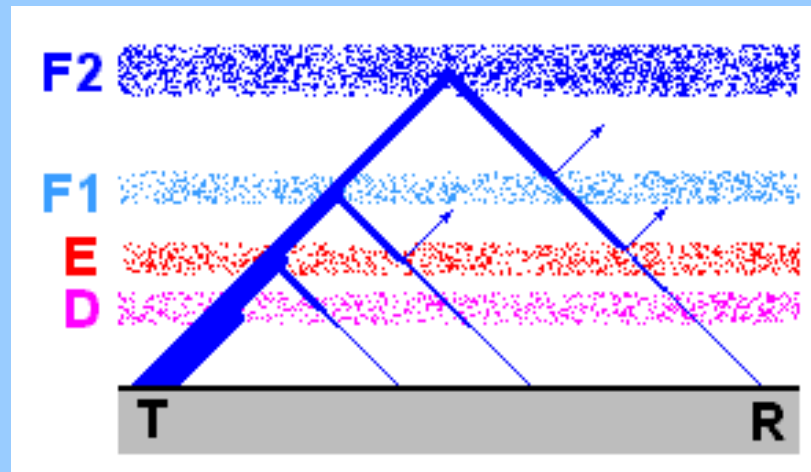
Couche	Altitude approximative	Importance	Présence
F	140 Km à 400 Km	Région principale de "reflexion"	Permanente (Plus fort en journée)
E	90 Km à 140 Km	Région de "reflexion" de plus basses fréquences	Permanente (Mais très faible la nuit)
D	50 Km à 90 Km	Région principale d'absorption	Journée seulement

Couche E découverte en 1902

Couches D & F en 1920

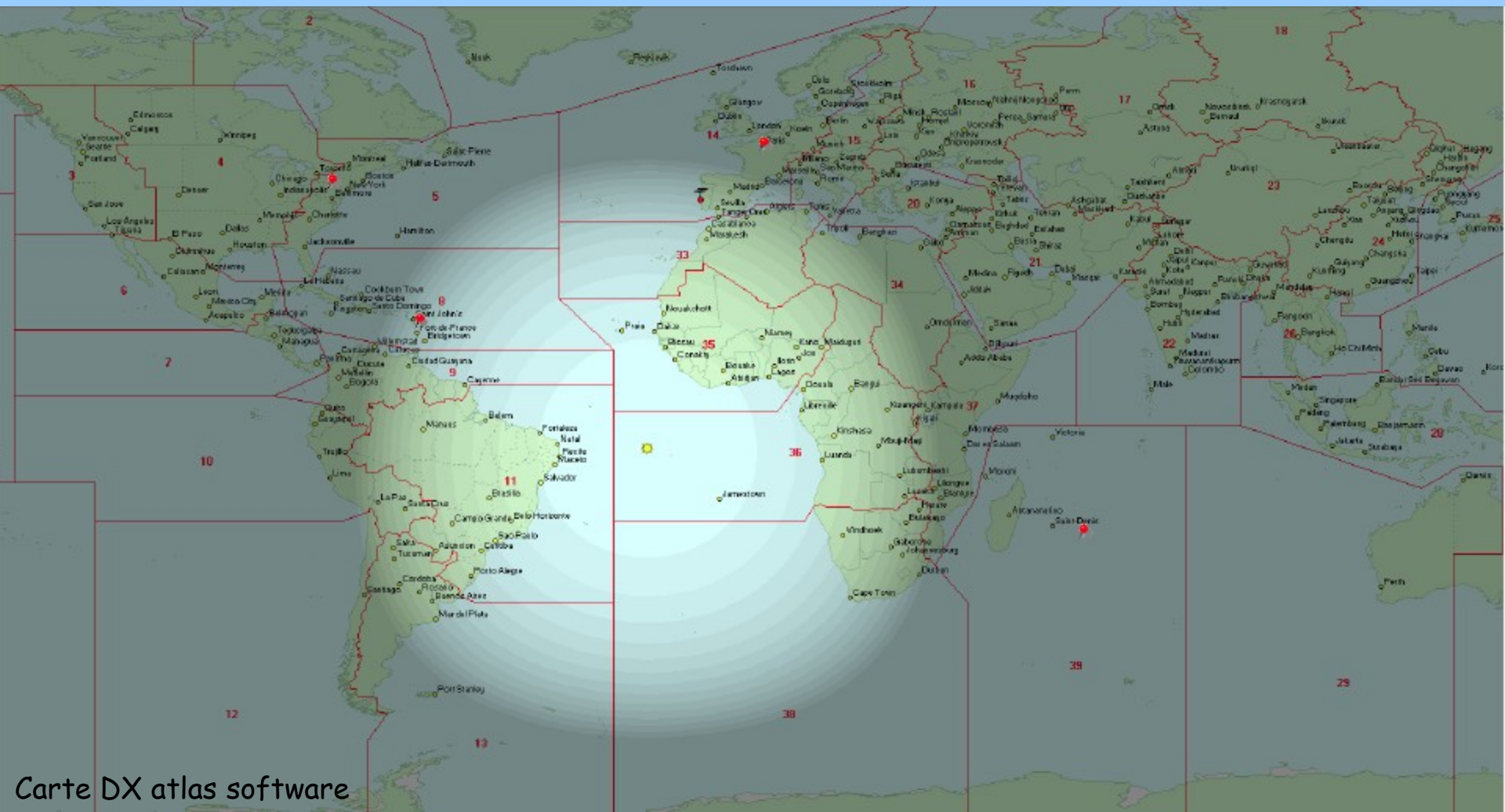
Couche « D »

- 55-90Km d'altitude
 - PEU ionisée par UV et X durs seulement pendant le jour → recombinaison rapide des ions
 - Seulement atténuation des ondes qui la traversent
 - Varie peu avec le cycle solaire
 - Absorbe jusqu'à 5MHz → pas de propagation de jour pour 1.8-3.5MHz
 - 7 et 10MHz doivent la traverser à la perpendiculaire sinon trop absorbées
 - De nuit, l'ionisation est 1/100 de celle du jour → tout passe
- Pas de fréquence critique → ne renvoie aucune fréquence → ne réfracte aucun signal radio → ne dévie pas les ondes



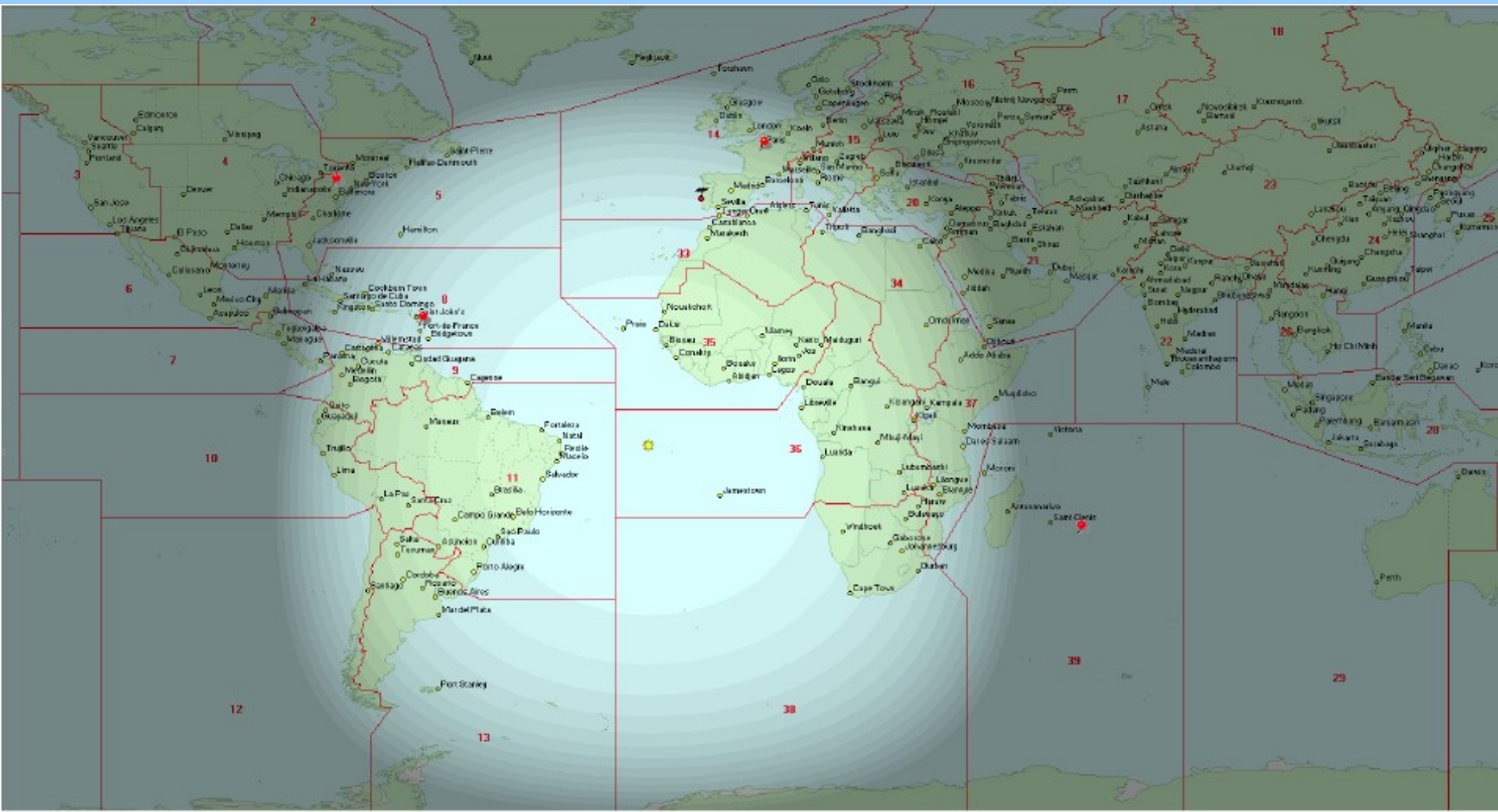
Couche « D »

Densité couche D à 13heures UTC à mi octobre cycle solaire au minimum . Disparait la nuit



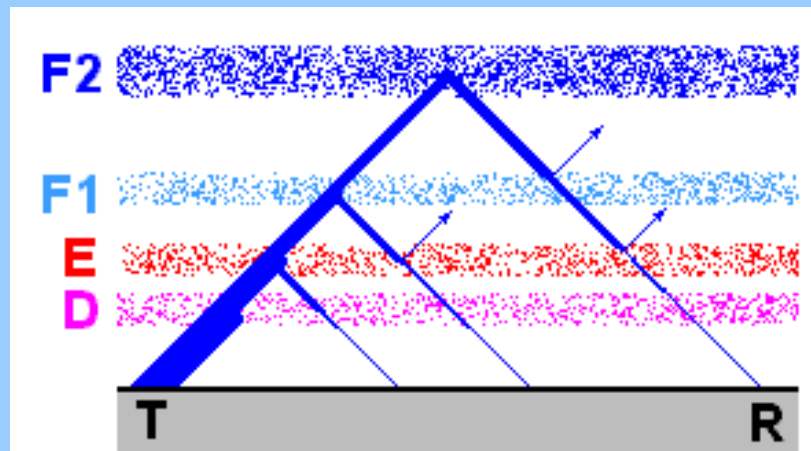
Couche « D »

Densité couche D à 13heures UTC à mi octobre cycle solaire au maximum . Disparait la nuit



Couche « E »

- Altitude 90 à 140km
- Azote et oxygène ionisés par UV courts et X
- Seulement dans la journée
- Sporadique la nuit
- Propagation imprévisible HF → 144MHz
- Skip unique pour 5-20MHz à 2300Km
- Combinaisons de sauts multiples avec couche F jusqu'à 6000Km



Couche « E »

Fréquences critiques couche E à 13heures UTC à mi octobre cycle solaire au minimum. Disparait la nuit



Couches « F »

- 150-400km
- Oxygène ionisé par UV
- De jour ionisation max
- F1 → pas utile pour la radio
- F2
 - 250km de jour/ 300-400km de nuit
 - couche la plus ionisée
 - très variable avec heure, saison, cycle solaire
 - MUF jusqu'à 14MHz quelques heures en cycle bas
50-144MHz 24h en cycle haut
max juste après le midi solaire
- Skip de 4000Km
- Propag multi rebonds/ Au delà de 4000km/ de 0.5 à 1 tour complet en 0.15 seconde/ réflexions possibles au sein de la couche F
- Le plus souvent contact par le short path (<2000Km)
- Le long path peut être intéressant malgré le fading et le signal plus faible si:
 - + Absorption sur le short path (couche D, trous dans la F)
 - + Trajet de nuit (évite absorption couche D)
 - + Trajet de jour (utilise le MUF élevé des couches F)

Couches « F »

Fréquences critiques à 13heures UTC à mi octobre cycle solaire au minimum. Brève interruption nocturne

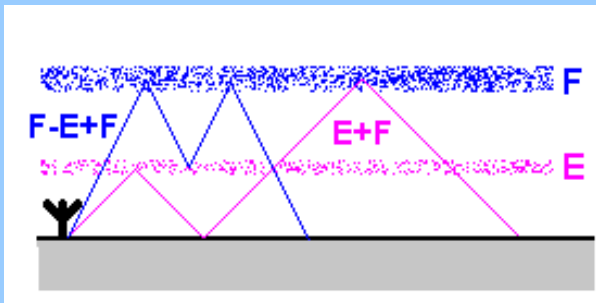
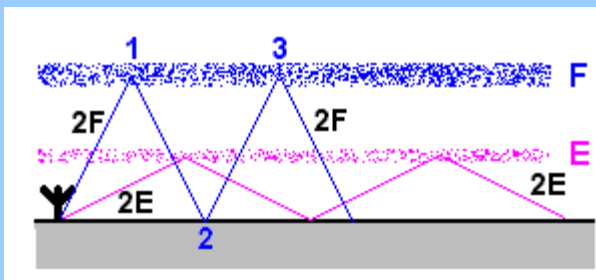
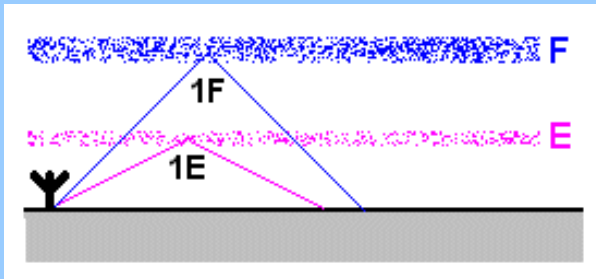


Couches « F »

Fréquences critiques à 13heures UTC à mi octobre cycle solaire au maximum. Pas d'interruption nocturne

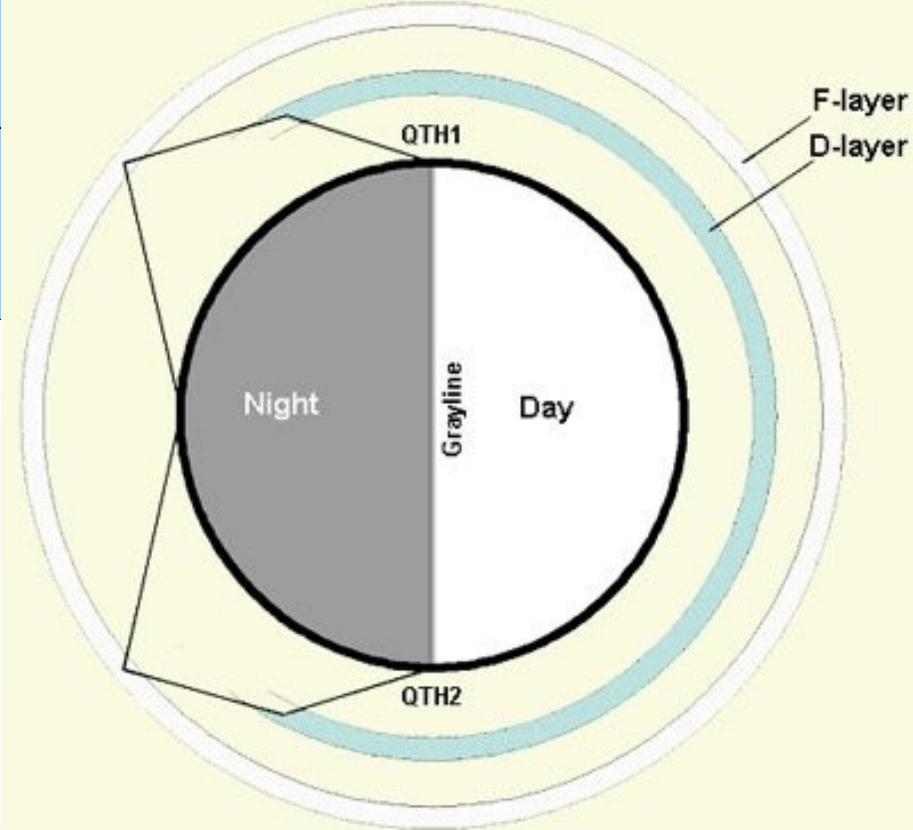
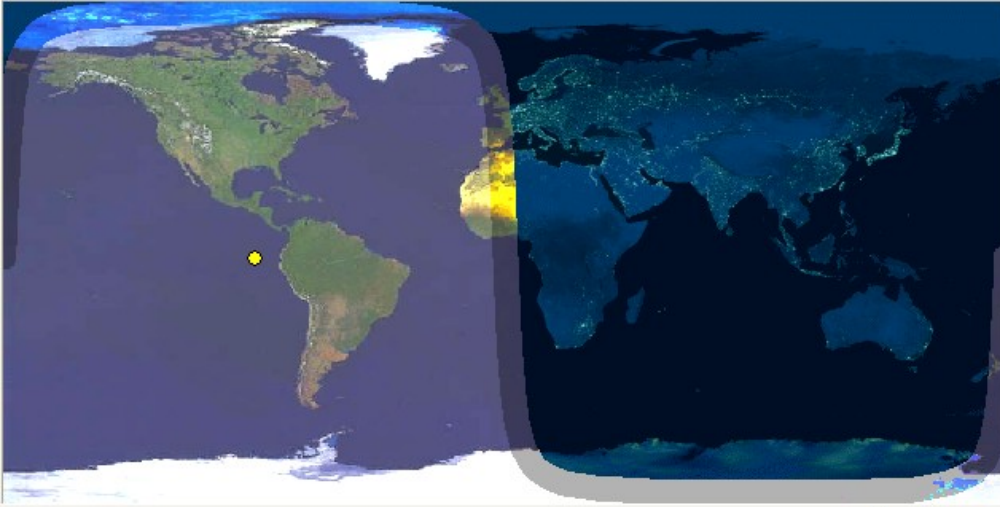


Modes mixtes



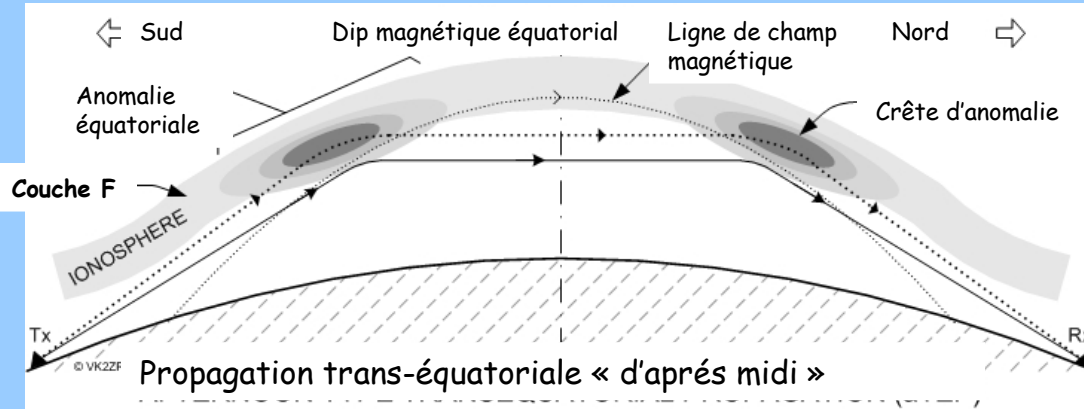
angle de départ	couche E	couche F
0	2200	4000
10	1000	2300
20	500	1500
30	350	1000
40	250	700
50	180	500
60	120	350
70	75	220
80	35	100

Ligne grise

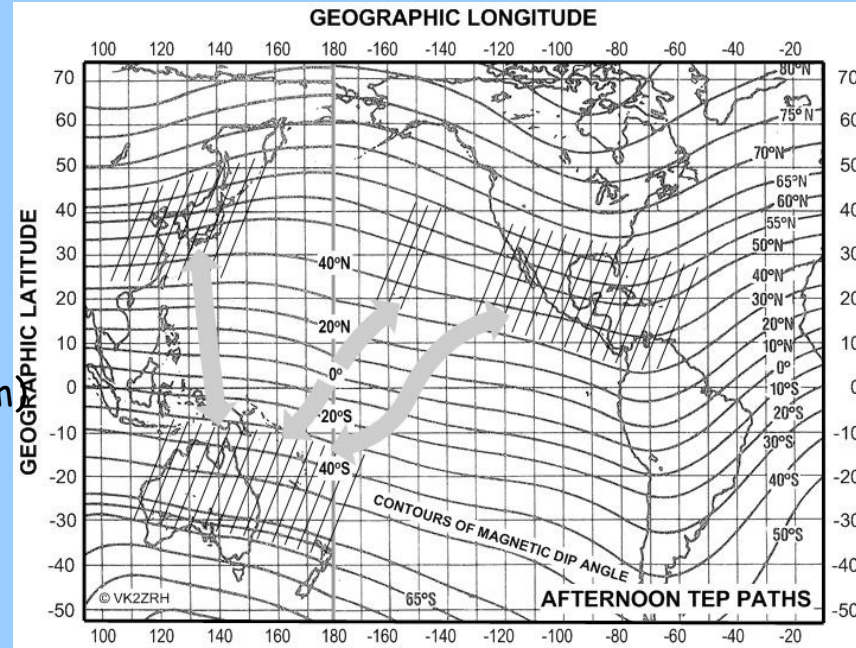


- Régions où le soleil est à moins de 12 degrés au-dessous de l'horizon
- Cas spécial de long path nocturne qui utilise la configuration de l'ionosphère le long de la transition jour/nuit
- Au lever du jour la couche D s'établit lentement et REFRACTE les fréquences au dessous de 3MHz qui atteignent la couche F en incidence rasante → DX .Au crépuscule même résultat avec la couche D qui disparaît progressivement
- Le long de la ligne grise
 - +les couches D et E ne sont pas encore complètement formées mais F2 a un MUF > 5MHz (aurore)
 - +Les couches D et E ont déjà disparues alors que la F2 a un MUF qui décroît lentement (crépuscule)
- Bénéficie aux bandes 1.8 - 3.5 - 7 - 10MHz 1h le matin et 1h le soir

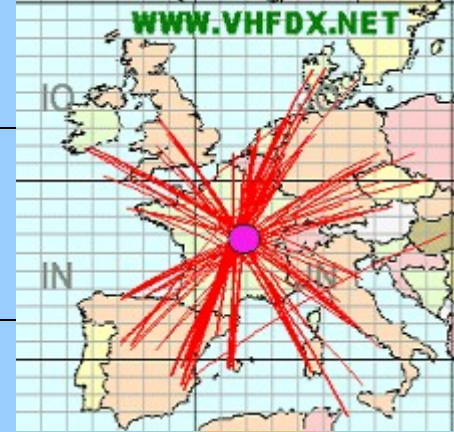
Trans-équatoriale



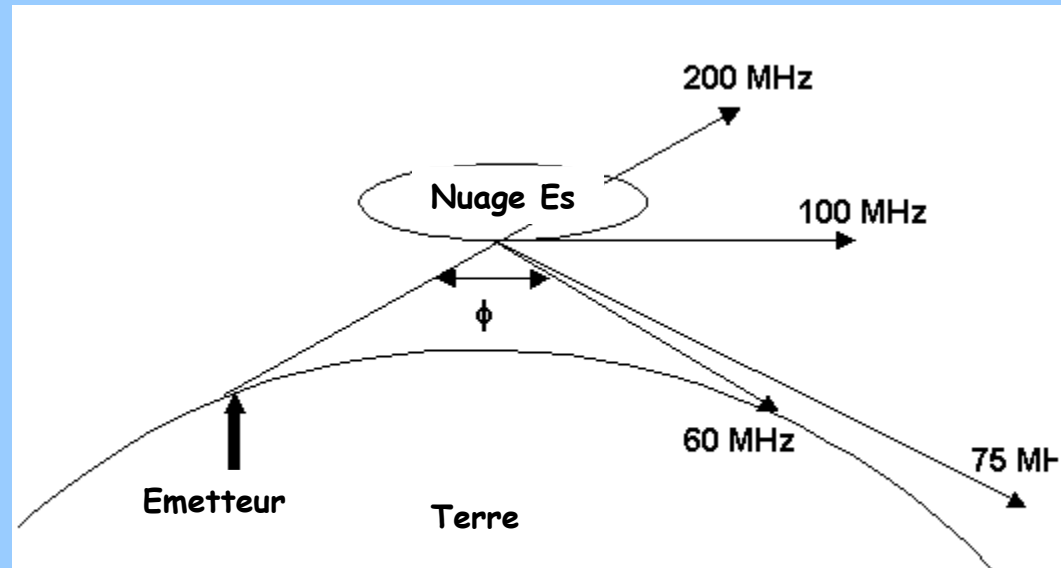
- Découverte en 1947
- Bosse dans la couche F au lever du soleil
- De 5h à 10h durant le printemps au pic du cycle solaire
- 50 et 144MHz
- Skip de 500 à 8000Km
- Entre stations équidistantes de l'équateur (max +/-2500Km)
- 100w et long yagis



Sporadique E



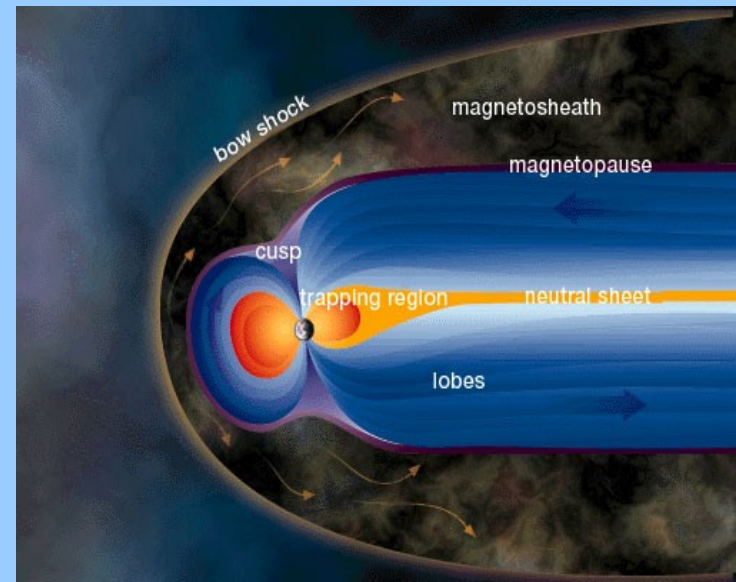
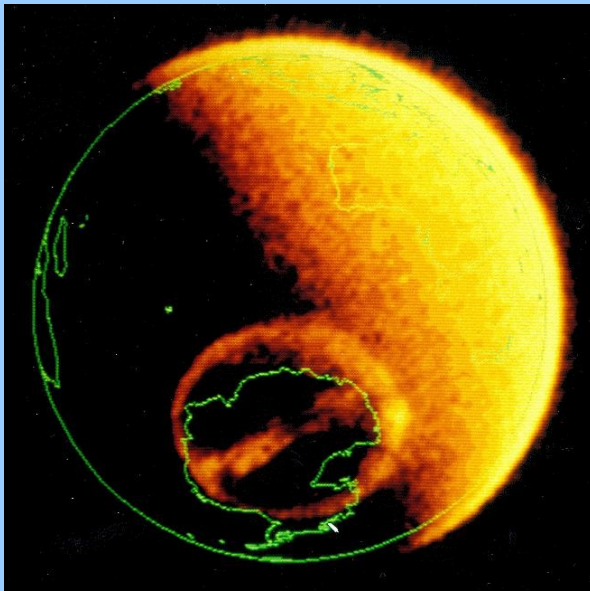
- 100Km d'altitude au dessus de la couche E
- Formée par des vents de particules de sens contraire à 400Km/h
- Couche très mince et instable de durée de vie de quelques minutes à quelques heures
- Surface 80-160Km de diamètre
- Fréquences 28-50-144MHz
- Non prévisible
- Skip jusqu'à 2000Km
- De jour 6-11-18h
- Surtout en été de mai à août
- Environ 40 ouvertures exploitées par an



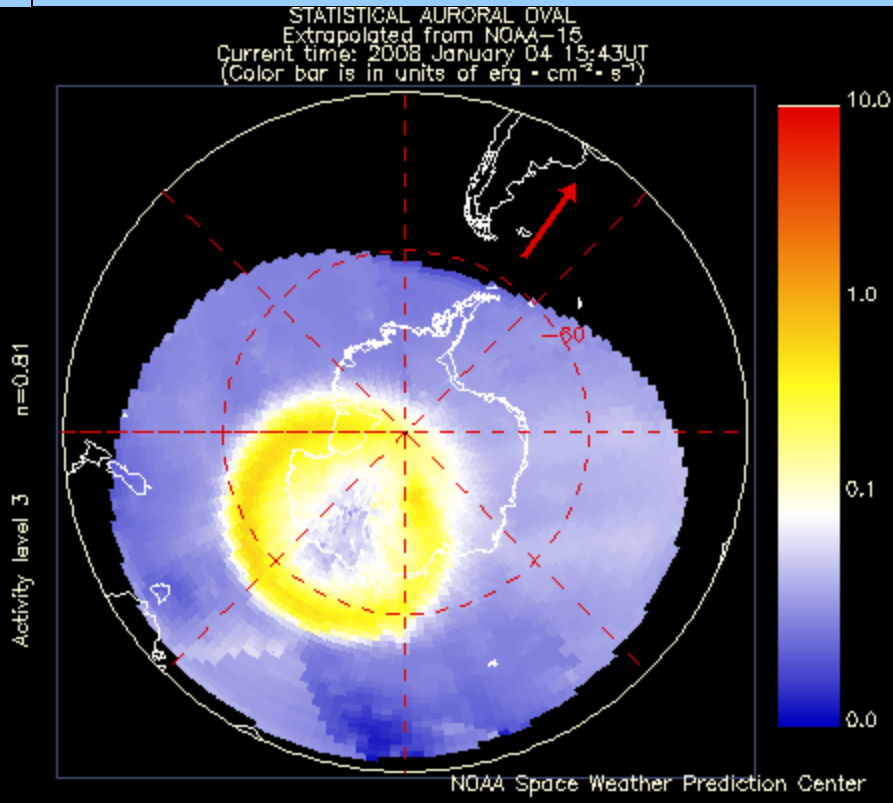
Angle critique (ϕ) et relation avec la fréquence

Aurores: Pourquoi

- Présence d'un « ovale auroral » permanent au dessus des 2 pôles magnétiques (photo UV par satellite au dessus antarctique)
- Constitués d'aurores diffuses et faibles à 60-2000Km d'altitude
- Orages magnétiques → aurores brillantes qui illuminent intensément des parties de l'ovale (coté nuit)
- Les protons et électrons du vent solaire piégés dans la queue du champ magnétique terrestre
- Ils se précipitent dans l'ovale auroral en suivant les lignes du champ magnétique et excitent les atomes d'oxygène et d'azote qui émettent de la lumière
- La latitude idéale d'observation est 60-75° de latitude

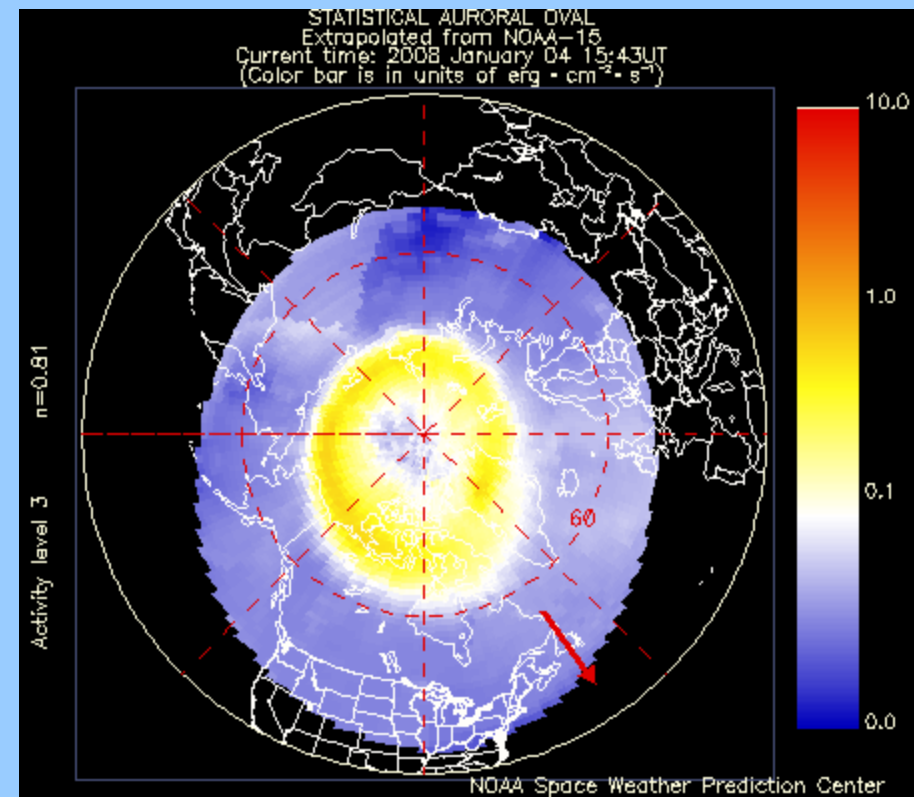


Aurores: Ovaux auroraux



SUD:Austral

NORD: Boréal



Aurores:effets

- Leur nombre suit les variations du cycle solaire
- Associées à une forte ionisation des couches E & F
- Coupent les signaux <20MHz dans les régions polaires (Black out)

Ailleurs.....

- Propagation exceptionnelle 28 à 432MHz par réflexion sur le front auroral
- Jusqu'à 2300km
- Distortion des signaux
 - +Effet de sifflement (mouvement des électrons au sein de l'aurore)
 - +Doppler 1KHz à 144MHz et + à 432MHz par des courants qui drainent les électrons vers le coté éclairé de la terre

- Surtout en période d'équinoxe de printemps
- Pic d'activité 2 ans avant et après maximum du cycle solaire
- Prévisible avec indices $A > 20$ et $K > 5$

Aurores:effets



Aurores:effets

Lumière jaune/verte = oxygène



Aurores:effets

Lumière bleu/violet/rouge = azote



Aurores:effets

Aurore observée depuis la station spatiale à 400Km d'altitude



En résumé....

- La propagation radio longue distance est assurée principalement via la couche F
- La couche D est essentiellement un atténuateur
- Modes particuliers = liaisons exceptionnelles
 - Ligne grise
 - Trans équatoriale
 - Aurores
 - Sporadique E
- La propagation est quantifiée via des index K et A calculés à partir de l'activité géomagnétique terrestre

Prévisions de propagation ionosphérique

Les indices de propagation

F_s : index de l'activité solaire , bruit solaire mesuré journallement sur 2.800 Mhz.

K : indication de l'état du champ magnétique terrestre/Qualité de la propagation 1/3 heures
SemiLog

A : valeur moyenne de l'activité géomagnétique 1/jour
Linéaire

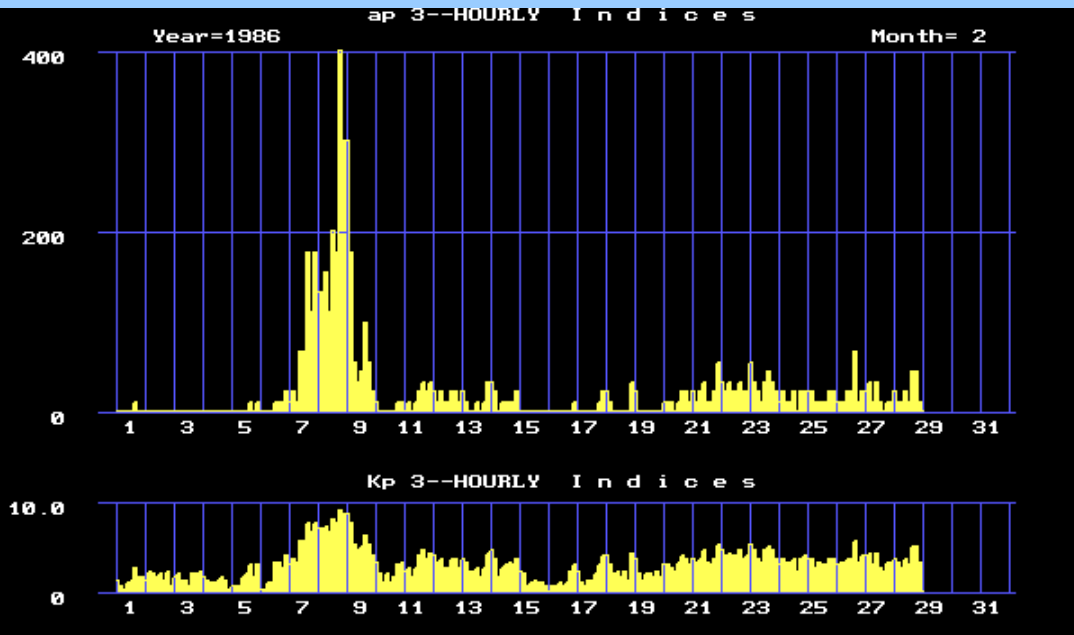
Une propagation sera de bonne qualité lorsque le flux solaire sera assez élevé pour ioniser les couches supérieures de l'atmosphère. Mais il faut que le soleil, tout en étant actif, n'émette pas trop de particules qui pourraient perturber le champ magnétique terrestre (K et A peu élevé et F_s le plus bas possible).

Relations entre valeurs de A et K

Pour bonne propag A<16 et K<4

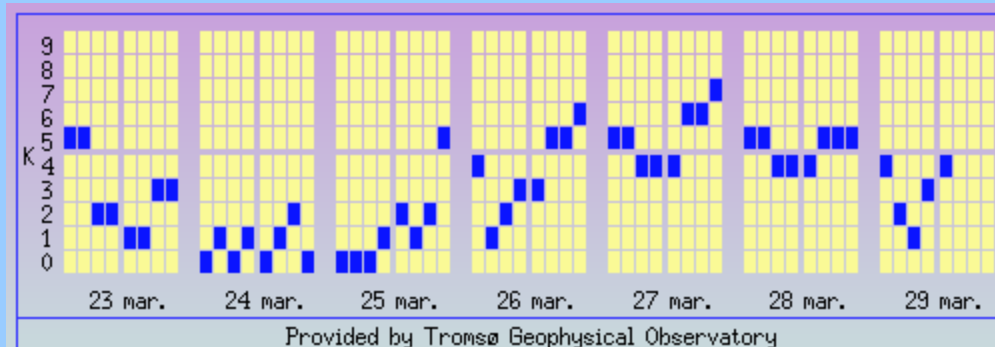
A	K	Conditions	Propagation
0	0	Calme	Bonnes conditions
2	1	Calme	Bonnes conditions
3	1	Calme	Bonnes conditions
4	1	Calme à instable	Bonnes conditions
7	2	Instable	Moins bonnes conditions
15	3	Actif	Moins bonnes conditions
27	4	Actif	Moins bonnes conditions
48	5	Tempête mineure	Passable à pauvre pour plusieurs hautes fréquences
80	6	Tempête majeure	Mauvaises conditions
132	7	Tempête sévère	Extinction radioélectrique
208	8	Très forte tempête	Extinction radioélectrique supérieure à six à dix heures
400	9	Très forte tempête	Extinction radioélectrique supérieure à six à dix heures

Les indices de propagation



Pour bonne propag $A < 16$ et $K < 4$

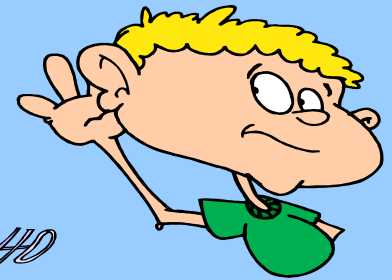
http://www.ngdc.noaa.gov/stp/GEOMAG/kp_ap.html



Quel choix?

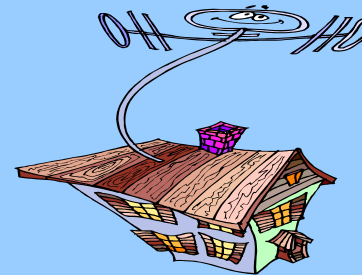
La plus ancienne:

+Ecouter les bandes et utiliser la plus haute où on entend quelque chose....



La plus technique:

+Ecouter les balises HF-VHF-UHF-micro-ondes



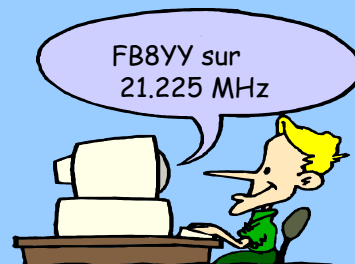
La plus informatique:

+Utiliser des logiciels et serveurs dédiés



La plus sûre...:

+Utiliser les clusters....



Les balises

Pour RF

http://balises.ref-union.org/balises_hf.html

<http://www.keele.ac.uk/depts/por/28.htm>

Pour 50MHz

<http://www.keele.ac.uk/depts/por/50.htm>

G3USF's Worldwide List of HF Beacons									
Latest Update 8 August 2006									
Freq	Call	Town	Loc	ERPw	Ant	Direct	Mode	Status	
FREQ	CALL	TOWN	LOC	ERPw	ANT	ERPw	ANT	DIRECTMODE	STATUS
1805	VO1NA	StJohn		1				OMNI	24
1810	RN6BN				KN96LC				
1810,5	YR2TOP				KN04RU			A1	24?
1830	EA3JE								
1840	OK0EK	Kromeriz		JN89QG				Vertical omni	A1 T NonOp
1853	OK0EV	Near Prague		JN7EV		100mW		25m Vert	Omni A1 PT
1999,5	N2XE	ME				100mw/2.5w			A1 EXP
3530	DK2CF	Olsberg		JO41GG	0.5	Dip@20m		F2 EXP/night	?
3579	DK0WCY	Scheggerott		JO44VQ	30	Dipole		A1 PT/zz	
3588	SP5ANU	Warsaw			0.5			?	
3686.3	SZ6P			KM08JX	1			?	
3594.5	OK0EU	Pruhonice		JN79GX	1	Mag Loop		N-S A1	24
3600.0	OK0EN	Kam. Zehrovice		JO70AC	0.15	Corner Dip		90/270A1	24
5195.0	DRA5	Scheggerott		JO44VQ	30	dipole		A1,psk	24zz
						rty			
5269.5	VO1MRC							INT EXP	
5290.0	GB3RAL	Nr Didcot		IO91IN	10<158uw	Vertical		A1	zzz
5290.0	GB3WES	Cumbria		IO84QN	10<158uw	Vertical		A1	zzz
5290.0	GB3ORK	Orkney			10<158uw	Vertical		A1	zzz
IARU Region 1 discourages beacon operation on 7&10MHz (DK0WCY excepted)									
7023.5	N2XE				20mw			PT EXP	
7025	ZS1AGI	George Airport		KF16EA	0.2	1/2 Dipole		E-W A1	24
7038.5	OK0EU	Pruhonice		JN79GX	1	Mag Loop		N-S A1	24
7045	PY2WAP	Piracaia AP		GG66VV	1			A1	?
7052	HK3QQ	Bogota						A1	?
10114	N4QA				18mw			?	
10115	N2UHC	Frontenac		KS	0.1			A1	IRREG
10125	KL1IF	Springfield MO		EM37IE	10	1/4 GP		Omni A1	PT
10130	OK1IF			JO40HG	0.5			A1	?
10134	OK0EF	Nr Kladno		JO70BC	.1/.2/.5	1/2 Vert		Omni A1	24
10135.9	HP1RCP	Cerro Jefe		FJ09HD	2.5	SlopeDip		Omni A1	24
10139.6	PY3PSI	Porto Alegre		GF49KX	1.6	Hor. Dip		N-S A1	INT
10140.0}Numerous sub-audible QRPP/QRSS beacons here: need 'QRSS Viewer'									
10140.1}									
10140.6	DL5KZ	Numbrecht		JO30SU	0.1	Dipole		A1	?
10141.8	IK3NWX	Nr MonselicePD		JN55VF	4	Rot. Dip.		E-W A1	24
10144.0	DK0WCY	Scheggerott		JO44VQ	30	Dipole		A1,psk	24zz
10149.7	I28BZX	Torre del Greco		JN70ES	.1/.5/1	whip		Omni hi/QRSS	EXP

Sites d'information

PA1SIX - 6 meter pages

you are visitor #: counter since 1 june 2002

Es, AE, AU, F2-, Trans Equatorial- and Trans Polar- propagation on 6 meter are hard to predict during ar you catch the right wave I have collected as many real-time auto-refreshing data/graphs as I could find. missed, please mail me.

--Last update/upgrade: 12/10/2006

--Build for all browsers, all OS

--If you have any questions, try [European Chat](#) (50 Mhz section) or write me.

--Set your clock automatically :

--All pages were tested with the following browsers:



IE 6.0
Win



Netscape 7.2
(Mac-Lin-Win)



Mozilla 1.7.x
(Mac-Lin-Win)



Firefox 1.0.x
(Mac-Lin-Win)



K-Meleon 0.8.2
(Win)



Opera 7.2
(Mac-Lin-Win)



Safari 1.0
(Mac)

*Note: Opera users: except Trans Polar Propagation indicators and Solar Particles everything should work no. Please use the latest browsers, older ones may not support the javascript that is used.

I will gradually remove all workarounds for IE.
It is simply too old and because Microsoft refuses
to stick to any standard I see no point supporting it.

Get Firefox

Real-time Ionograms and Ionospheric data



North
America

South
America

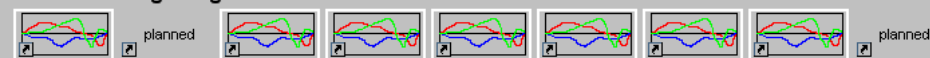
Europe

Africa

Asia

Examples

Real-time Magnetograms



North
America

South
America

Europe
prof.

Europe
SAM

Africa

Asia

Oceania

Antarctica

Examples

Real-time Solar pictures - Solar data - Aurora - Meteors



Solar
images

Solar
particles

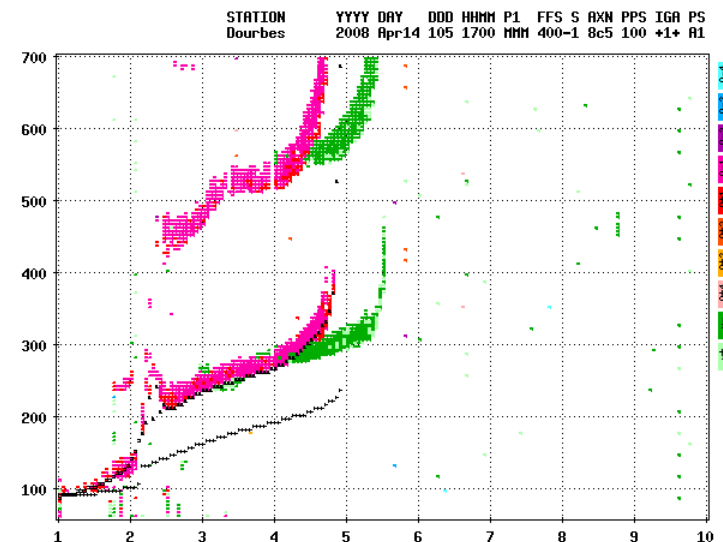
Auroral
oval

Meteor
flux

This page reloads the latest ionogram every 2 minutes

Lowell Digisonde

foF2	4.90
foF1	N/A
foF1p	N/A
foE	2.11
foEp	2.17
fxI	5.60
foEs	2.10
fmin	1.00
MUF	16.32
M3000	3.328
D	3000
h'pF	175
h'pF2	N/A
h'E	90
h'Es	90
zmF2	239
zmF1	N/A
zmE	106
yF2	84
yF1	N/A
yE	19
B0	86.9
B1	2.34
C-level	11



Sites d'information



Australian Government
IPS Radio and Space Services

The Australian
Space Weather Agency

Space Weather | Satellite | Geophysical | Solar | HF Systems | Products and Services | Educational | World Data Centre

Space Weather

Looking for something?



Site Search

Home > Space Weather

Thursday, Mar 20 2008 09:02 UT

Subscribe to IPS Reports & Alerts Sent to You by Email

Solar Conditions

Solar Wind Speed



X-Ray Flux



X-Ray Flares



Latest Culgoora Spectrograph



Latest Culgoora H-Alpha Image



Geophysical Conditions

Geomagnetic Warning



K-Index



pc3 Index



GEOSTAT Alert



Geomagnetic Alert



Aurora Alert



HF Propagation Conditions

HF Comm. Warning



Current HF Fadeout



HF Fadeout Warning



Polar Cap Absorption



Ionospheric Conditions

Australasia



North America



Europe



TEC Conditions

Australasia



North America



Europe



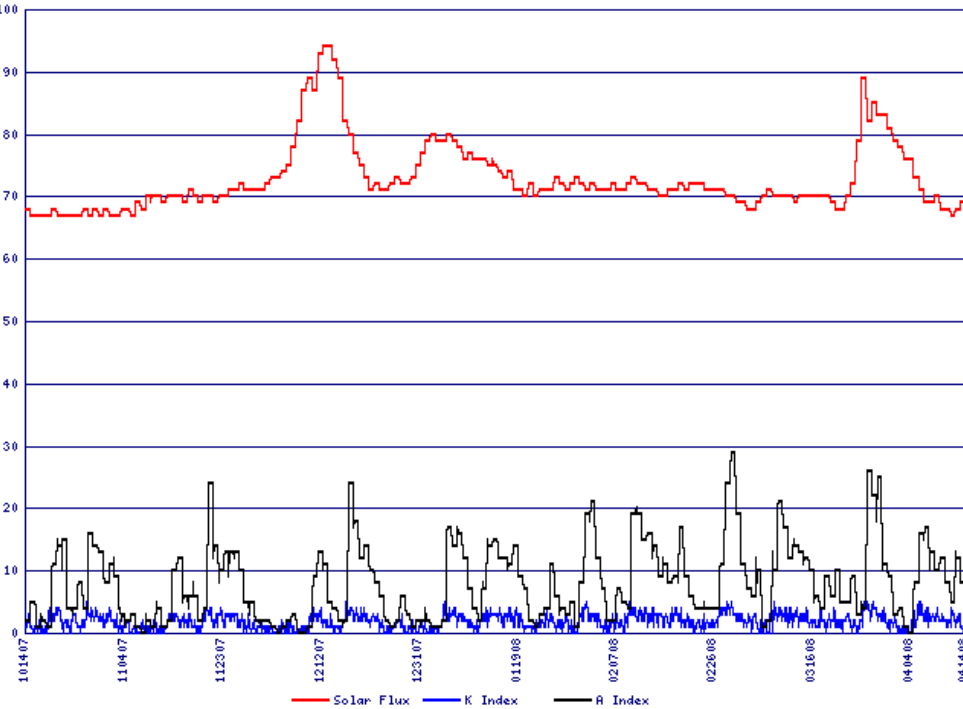
World



Note: Information on this page is updated frequently. To refresh the page, hold down the "SHIFT" key and click the "Refresh" or "Reload" button on your browser to refresh this page to obtain latest data.

Sites d'information

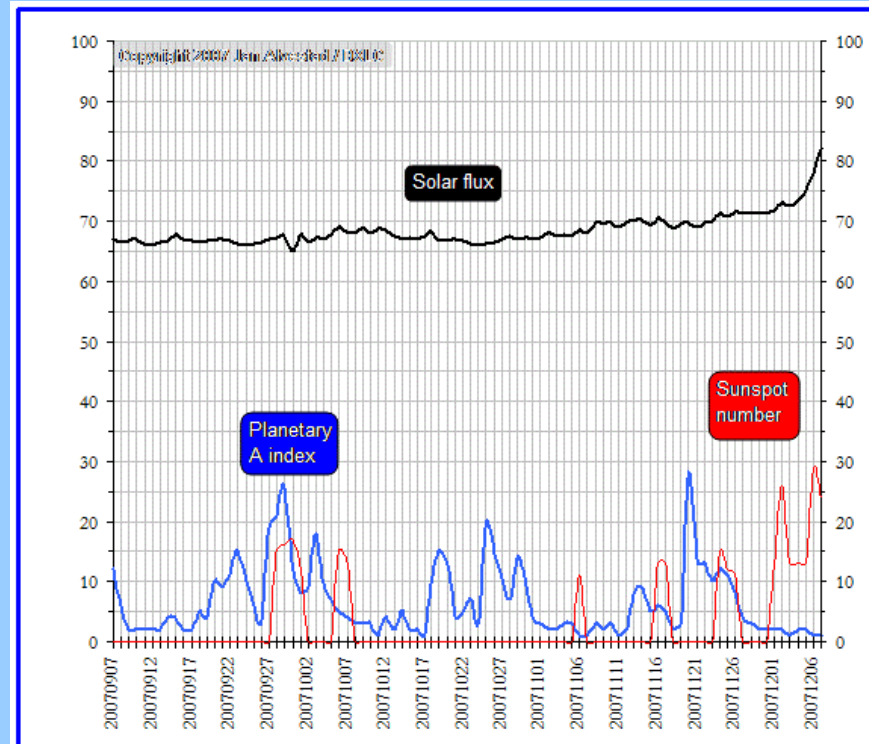
NOAA Geophysical Alert Chart



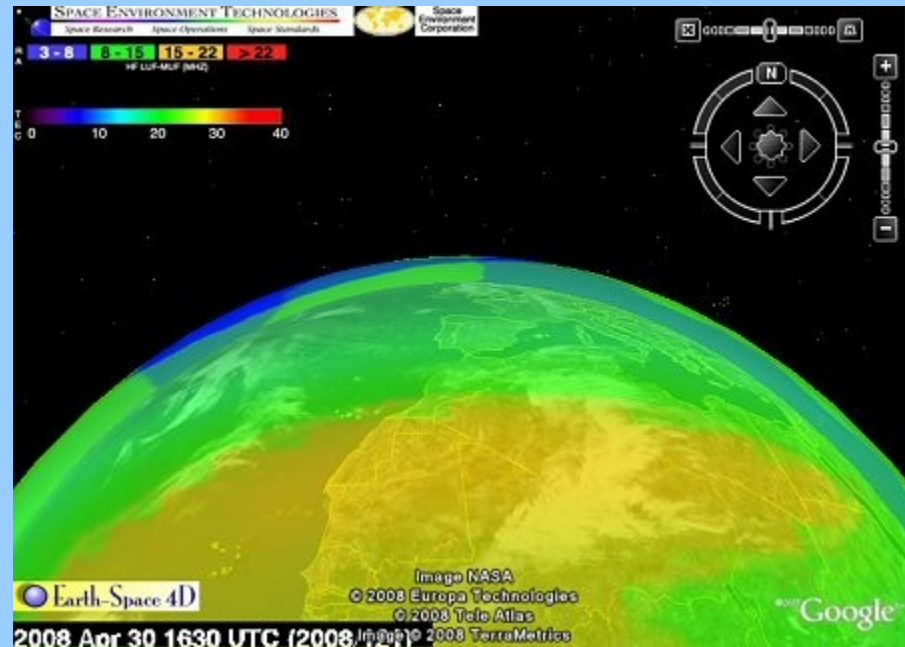
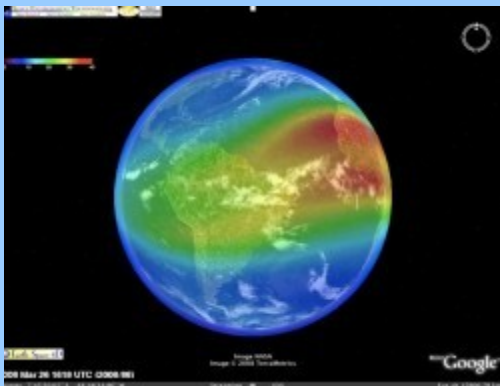
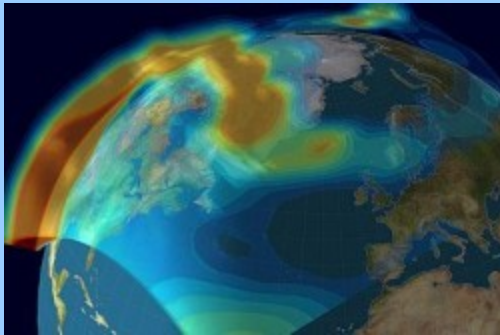
<http://www.dxlc.com/solar/>

<http://www.wm7d.net/hamradio/solar/>

<http://www.swpc.noaa.gov/ftpdir/forecasts/ALTS.txt>



Sites d'information

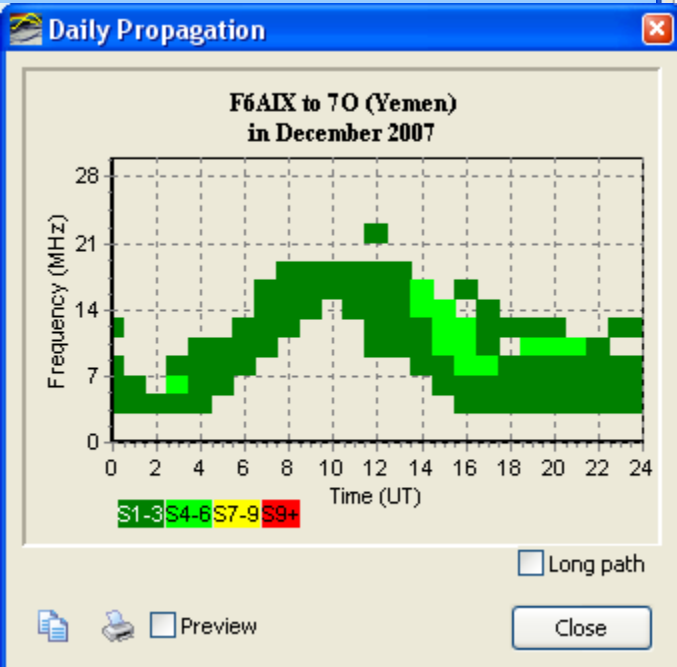
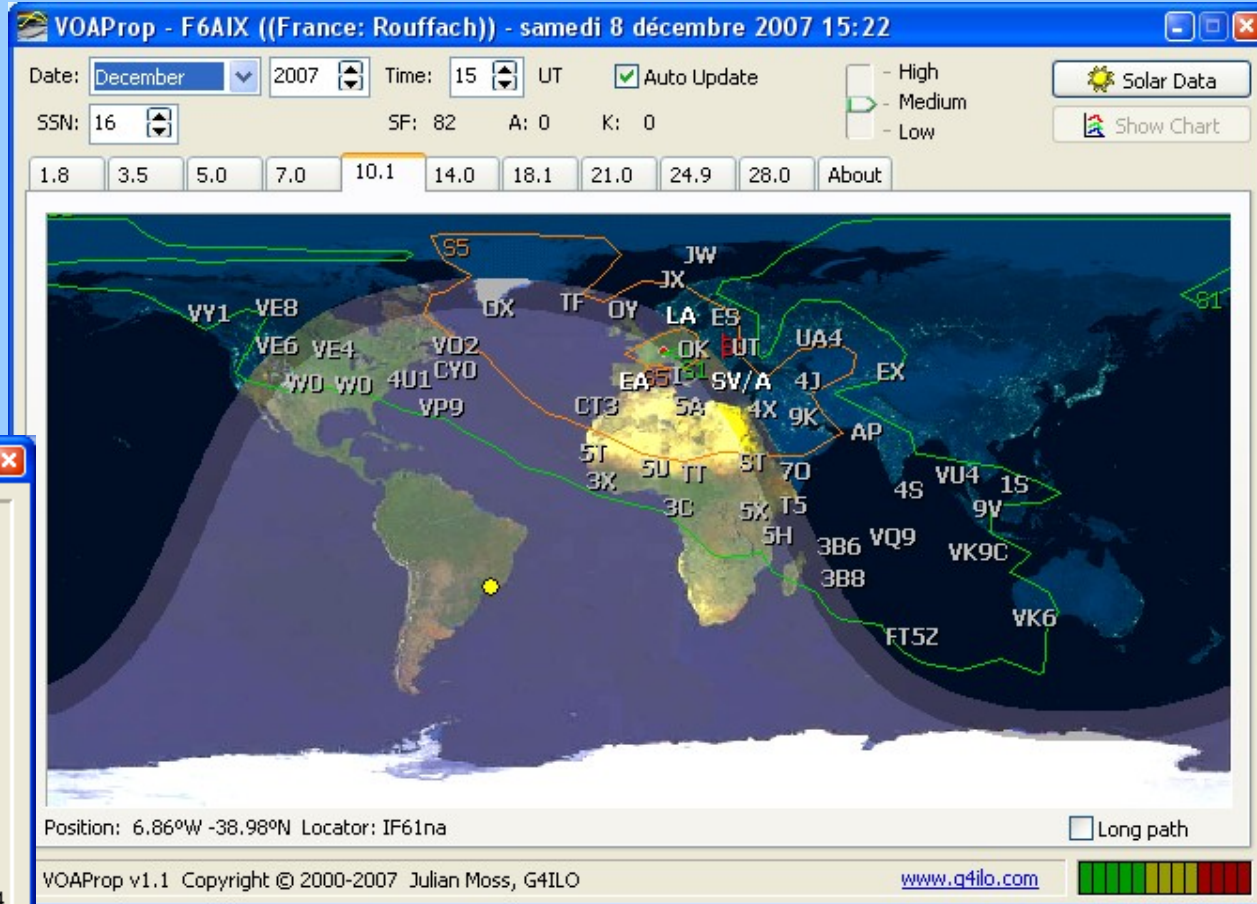


add-on Gogool earth affichage temps réel couches ionisées 4D en n'importe quel point du globe

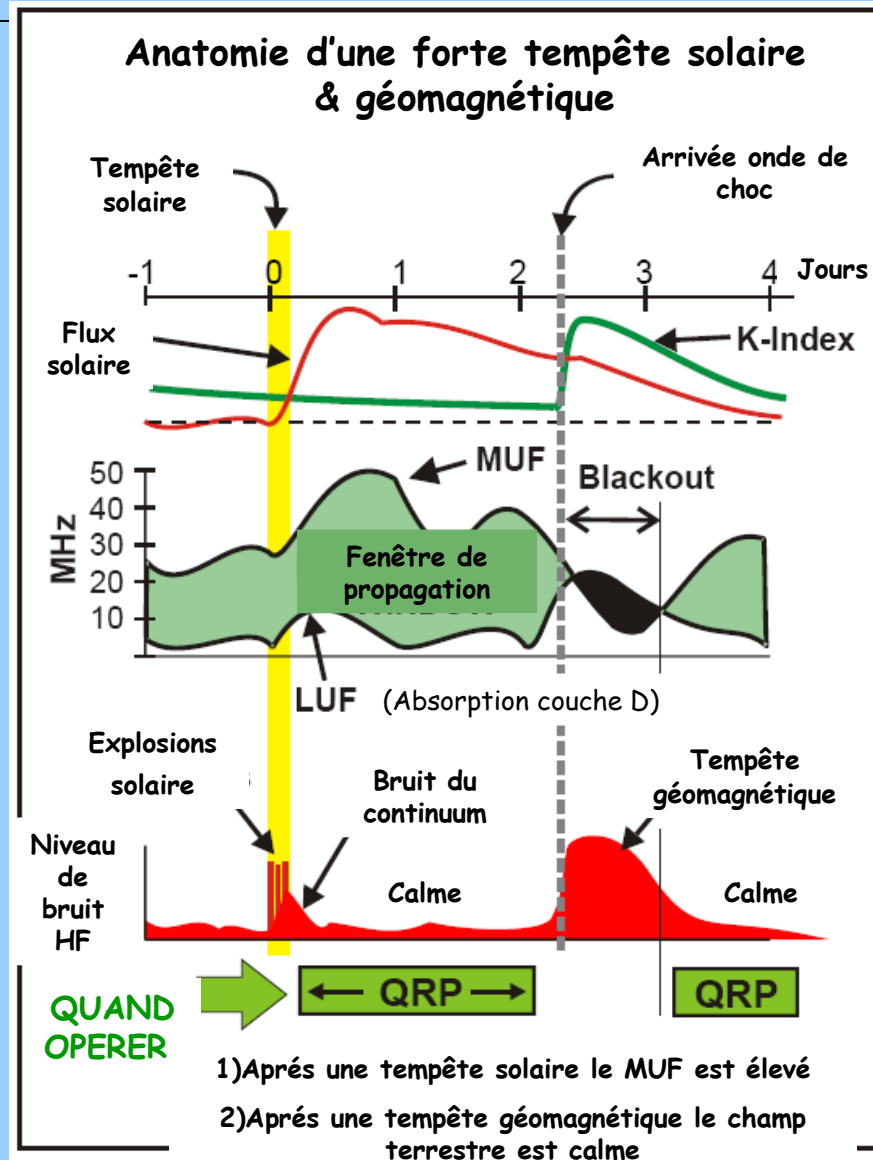
Softs de prévision

<http://www.g4ilo.com/voaprop.html>

Freeware mise à jour automatique



Quand prendre des congés...

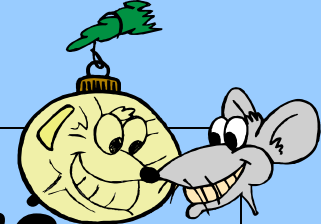


En résumé....

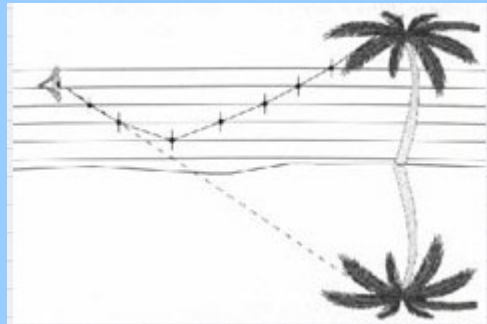
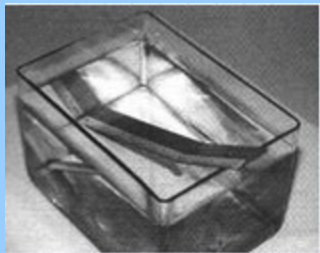
Pour bonne propagation $A < 16$ et $K < 4$

Se rappeler que les prévisions sont
« statistiques »

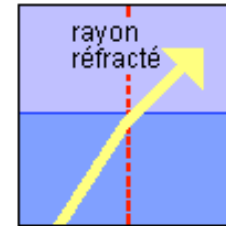
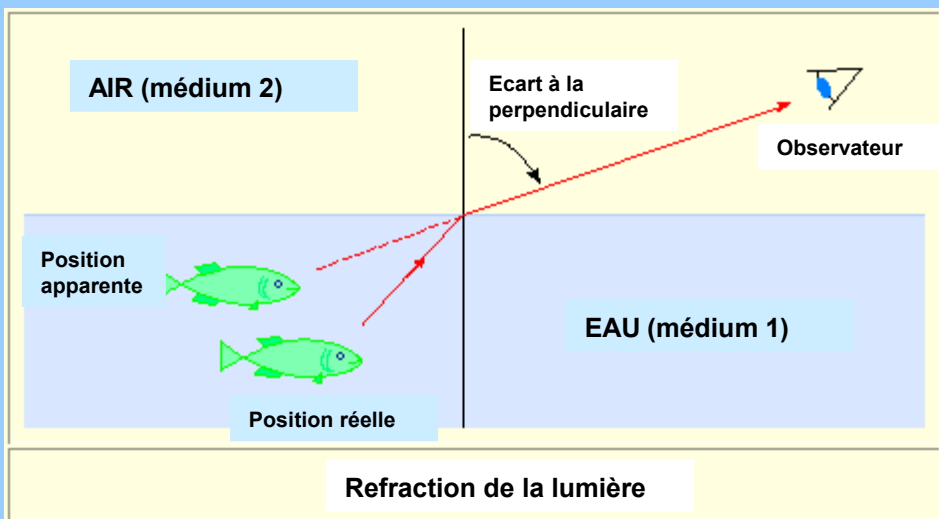
Propagation troposphérique



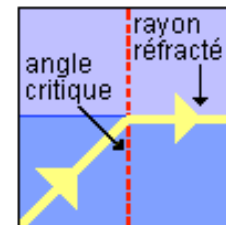
Réfraction en milieu non ionisé



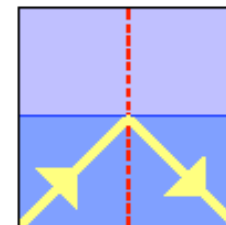
C'est une déviation de la direction de propagation à la frontière de 2 milieux d'indices différents



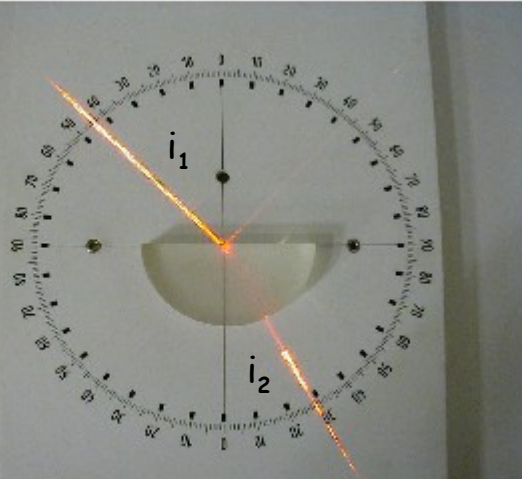
Réfraction ordinaire



Réfraction à angle critique



Réfraction totale

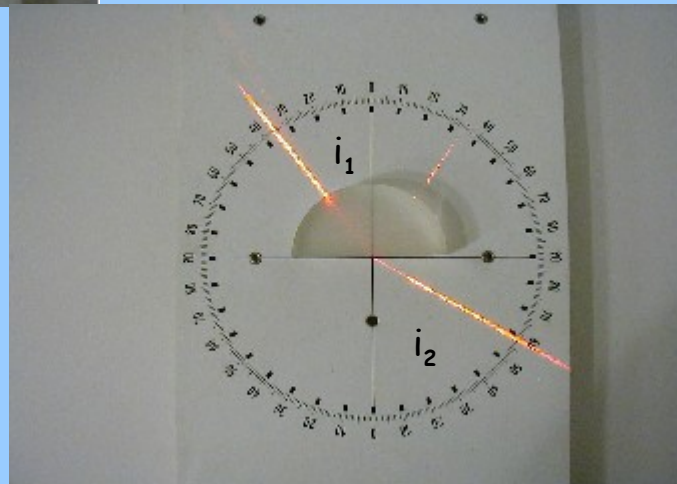


$$i_2 = i_1 \frac{k n_1}{n_2}$$

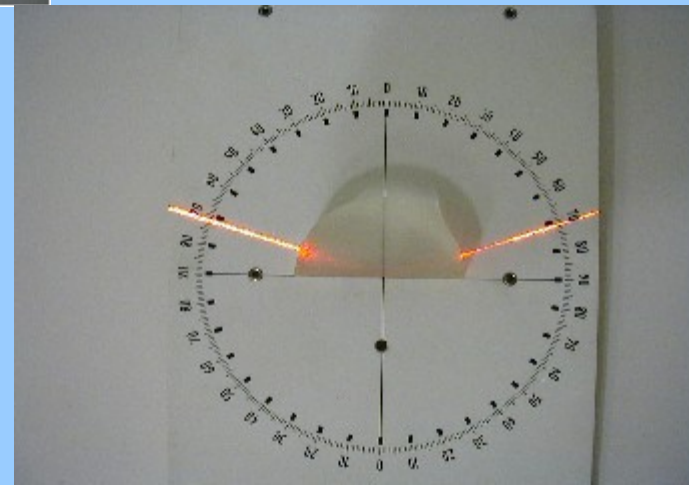
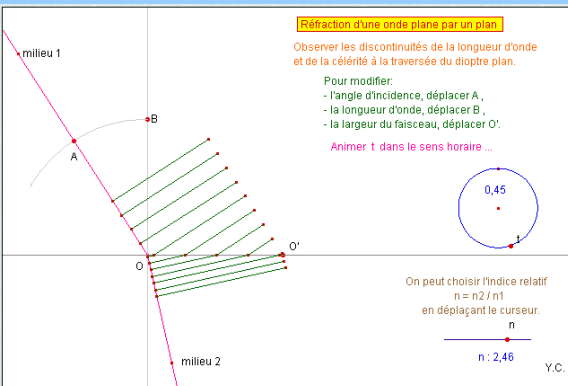
i_1 & i_2 angles par rapport à la perpendiculaire du plan de séparation

n_1 indice milieu 1

n_2 indice milieu 2



$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$



Réfraction en milieu non ionisé

Indice de réfraction de la Troposphère : $n \sim 1$

Indice de réfraction **radio** de la Troposphère : $N = (n-1) \cdot 10^6$

$$N = \frac{77,6 p}{T} + \frac{3,733 \cdot 10^5 \cdot e}{T^2}$$

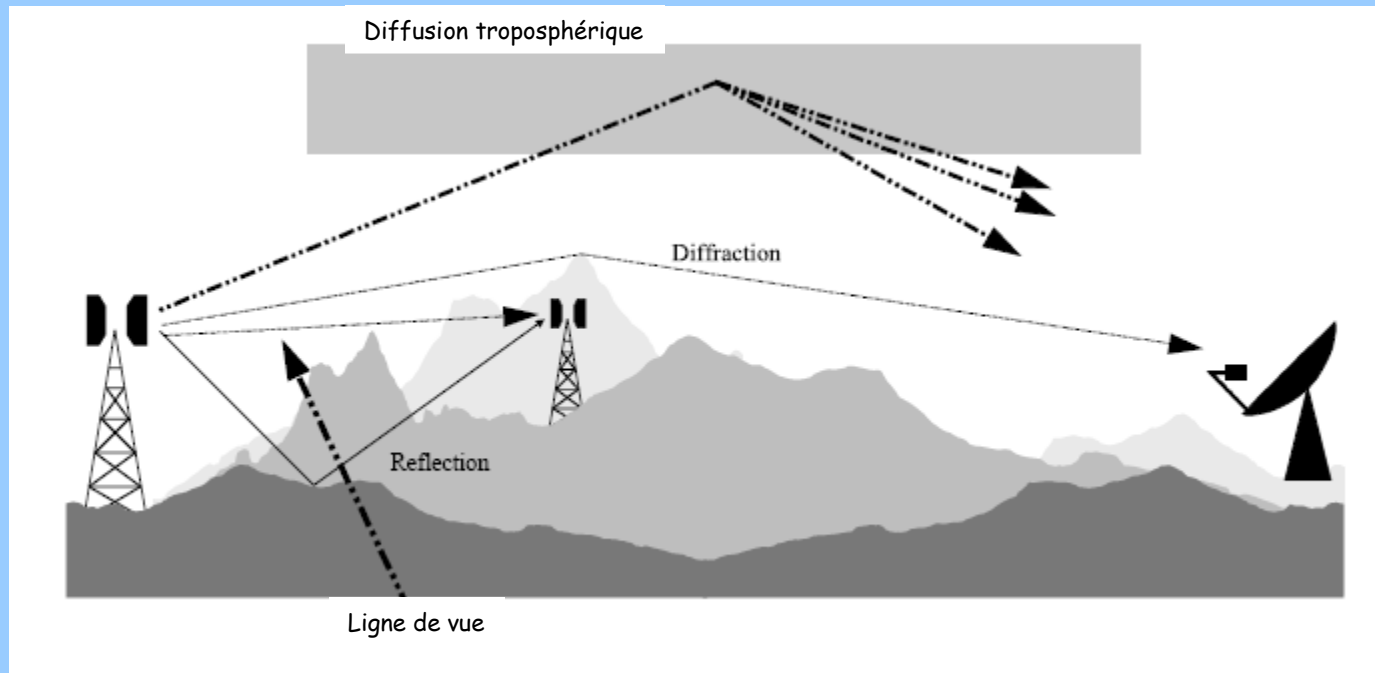
T : température (K)

p : pression atmosphérique (mb)

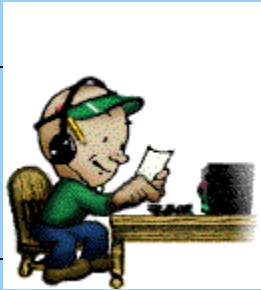
e : pression de vapeur d'eau (mb)

Valeur typique en « atmosphère standard » : $N = 301$
et $dN/m = 0,039$ (décroissance de N en fonction de l'altitude)

Les différents modes



- La propagation troposphérique est surtout utilisée pour le trafic local ou via relais
- Elle est gouvernée par les variations d'indice de réfraction de l'air
- Elle dépend donc des variations de l'altitude, de l'humidité, de la température

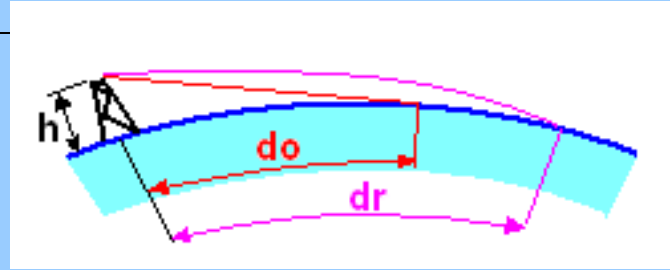


Radio

Horizon radio



Optique



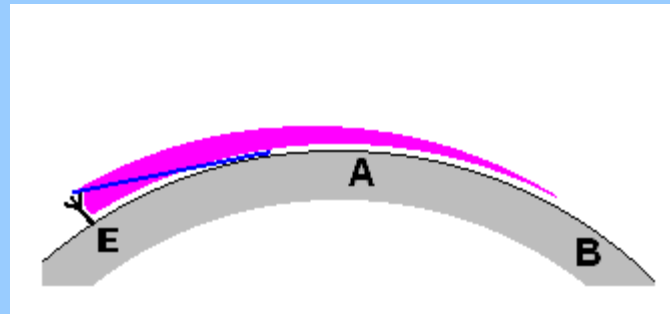
$$dr = 4,12 \cdot \sqrt{h}$$

$$do = 3,57 \cdot \sqrt{h}$$

dr do : en km
h : en mètres

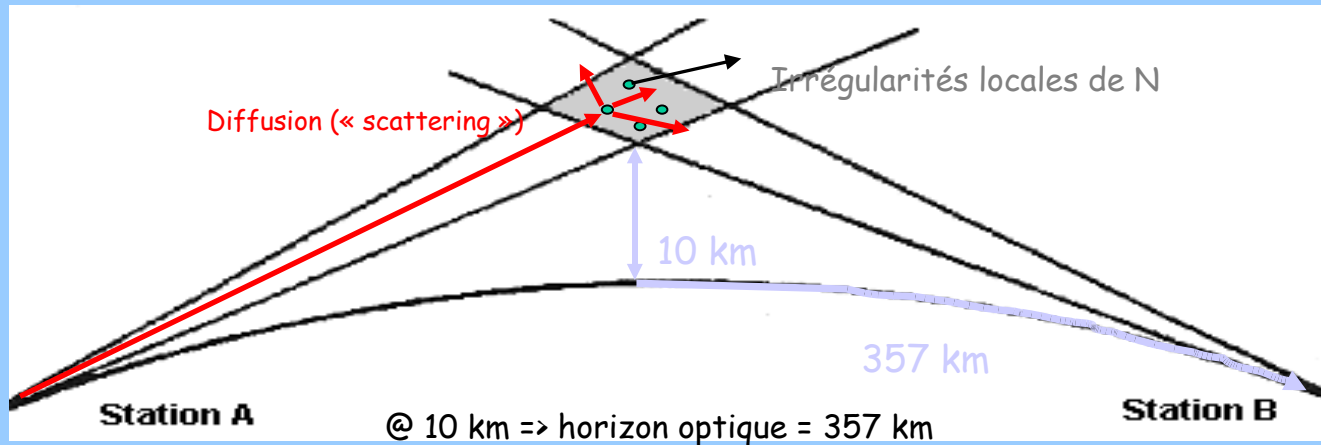
Ilon h=1100 m

dr= 136 km



- Plus éloigné que l'horizon optique ~+15%
- Phénomène de réfraction des ondes par diminution de l'indice de l'air avec l'altitude
- Les ondes radio qui devraient passer par dessus l'horizon s'incurvent et rejoignent le sol un peu plus loin que l'horizon optique.
- Fréquences au delà de 50MHz
- NE DEPEND PAS DU CYCLE SOLAIRE

Diffusion troposphérique



- Lorsque l'onde radio rencontre un milieu avec des obstacles plus petits que la longueur d'onde et en densité suffisante (brouillard, pluie)
- L'onde est renvoyée dans des directions aléatoires
- Diffusion partielle par gouttes d'eau avec des gradients d'indice par les turbulences, changements de température, humidité, les nuages, la poussière
- Forte atténuation qui augmente avec la fréquence
- La distance dépend de l'altitude du volume diffusant commun aux 2 stations
→ pour les amateurs $H_{max}=10\text{Km}$ → portée de 400 à 800 Km max

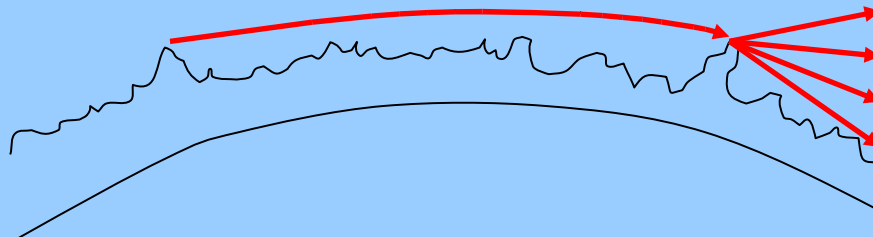
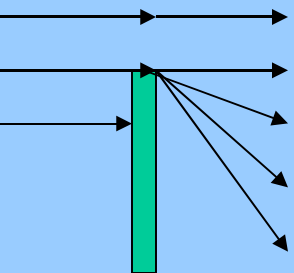
Diffraction

- La diffraction correspond à une déviation autour d'objets solides à bords aigus
- La partie de l'onde qui passe à proximité de l'arête est freinée
- D'où déviation vers la face arrière de l'arête
- Atténuation importante du signal

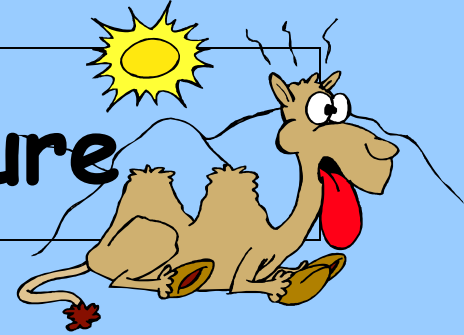
Onde incidente



Onde diffractée

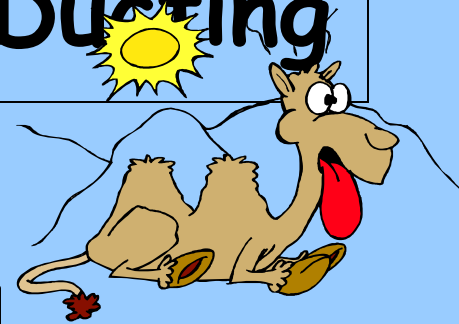


Inversions de température

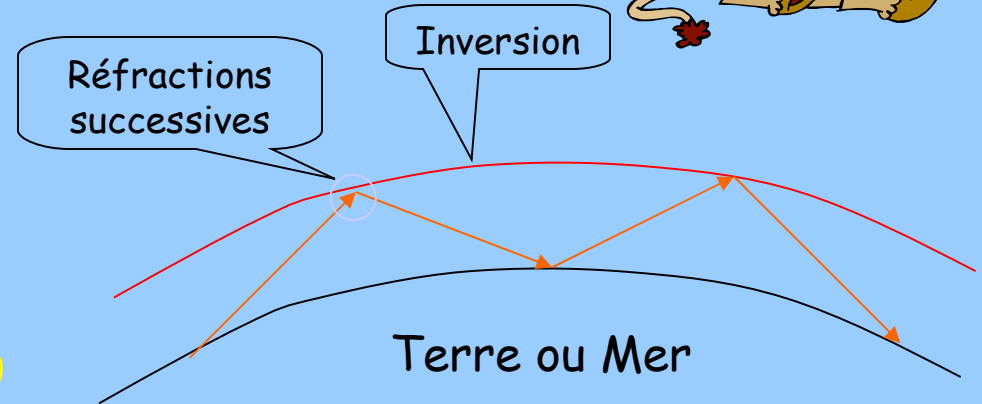
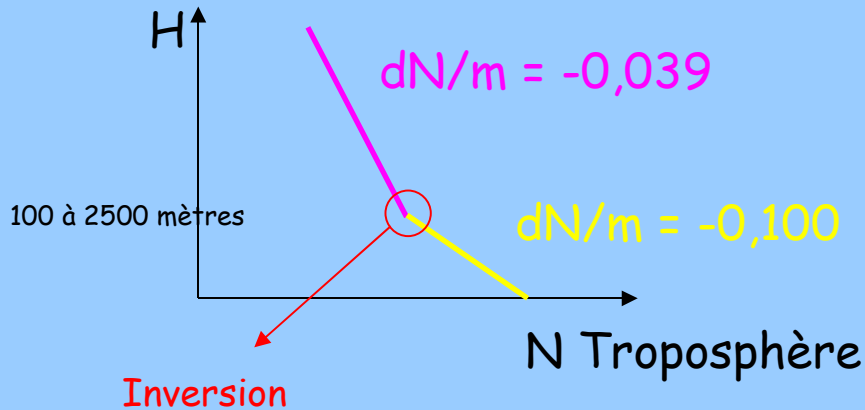


- A l'aube terre froide et air qui se réchauffe plus vite
- Système anticyclonique l'air « coule » → la compression du gaz l'échauffe en altitude vers 500-3000m
- Front chaud → masse air chaud qui passe au dessus une masse d'air froid (système stable)
- En arrière d'un front froid l'air chaud est propulsé vers le haut (système instable mais important)
- Brise de terre fraiche remplacée par l'air marin chaud (sirrocco, foehn, chinook)

Inversions de température-Ducting



« Surface duct »



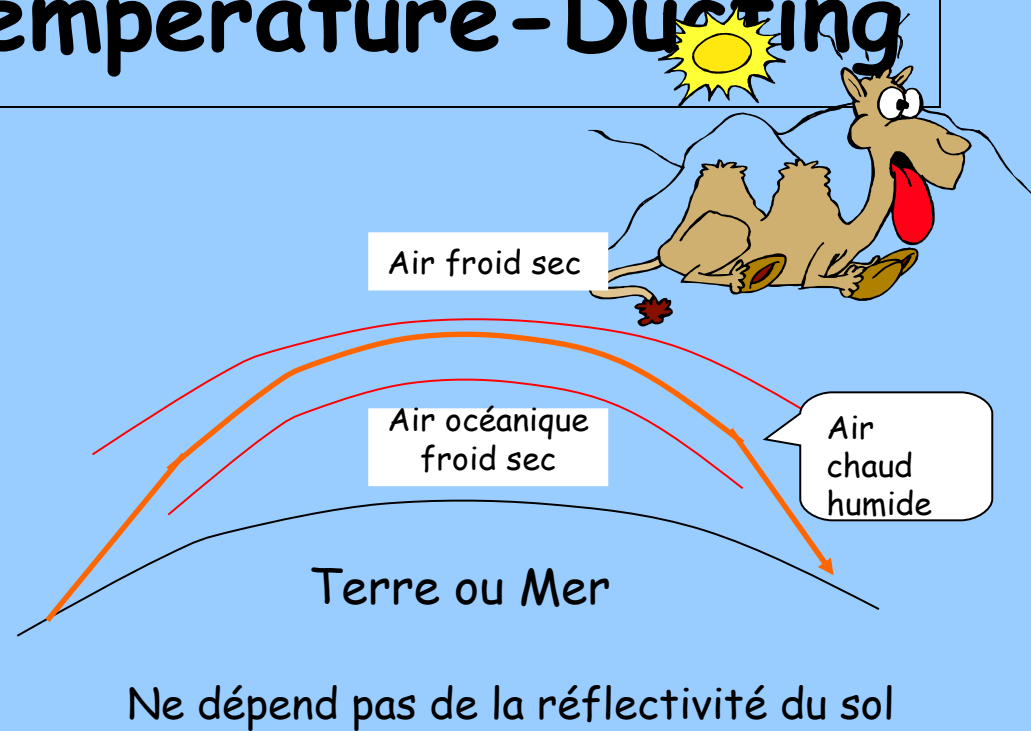
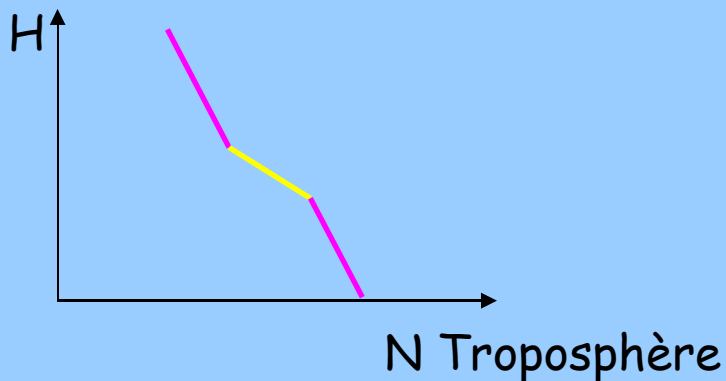
Dépend de la réflectivité de la limite inférieure (Terre ou Mer)
Mer = très bon réflecteur

Situation typique : en été, le soir et la nuit, le sol (et les couches de la Tropo en contact avec le sol) se refroidit et au lever du soleil, les couches supérieures chauffent plus vite que le sol => inversion de température (de rayonnement) !

Autres facteurs : humidité, pression atmosphérique et réflectivité du sol

Inversions de température - Ducting

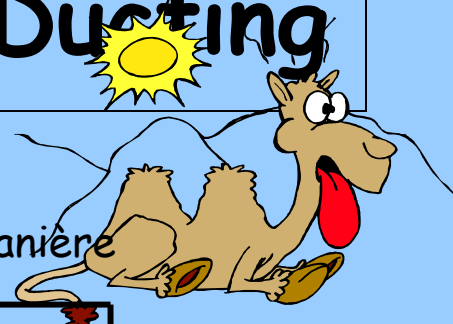
« Elevated duct »



Signal emprisonné dans un conduit avec \pm atténuation d'espace libre

Distance : jusqu'à 4000 km sur trajet maritime; 2000 km sur trajet terrestre

Inversions de température-Ducting



Un « Duct » ne canalise pas toutes les fréquences de la même manière

Fréquence	Épaisseur Min du Duct
50 MHz	400 m
144 MHz	200 m
432 MHz	100 m
1296 MHz	50 m

Un Duct est plus fréquent sur les fréquences supérieures

Il faut des situations favorables (angle d'incidence) pour entrer dans un Duct

Duct \approx Guide d'onde

Des Ducts exploitables sont présents quelques % du temps seulement

Mais alors comment peut-on réaliser des QSO's à 600-800 km même par propagation normale ?

Site de prévision

William Hepburn's Worldwide Tropospheric Ducting Forecasts

6-DAY FORECASTS OF VHF, UHF & MICROWAVE RADIO & TV SIGNAL STRENGTH & INTERFERENCE © 2008

The display of current forecast maps on other websites is **not** permitted under any circumstance.

NEW FOR 2008 ! MAPS FOR NORTH CENTRAL ASIA & SIBERIA

Select region...

Maps updated daily at 1745 UTC.
..U.. = unstable signal areas.

Current Conditions
by Jon Harder / APRS

Low	1.4	2	3	4	5	6	7	8	9	10+
NIL	MRGNL	FAIR	MDT	GOOD	STRONG	VRY STG	INTENSE	VRY INT	EXTREME	EXTREME

[CLICK HERE FOR 42 HOUR FORECAST IN 6 HOUR INTERVALS](#)

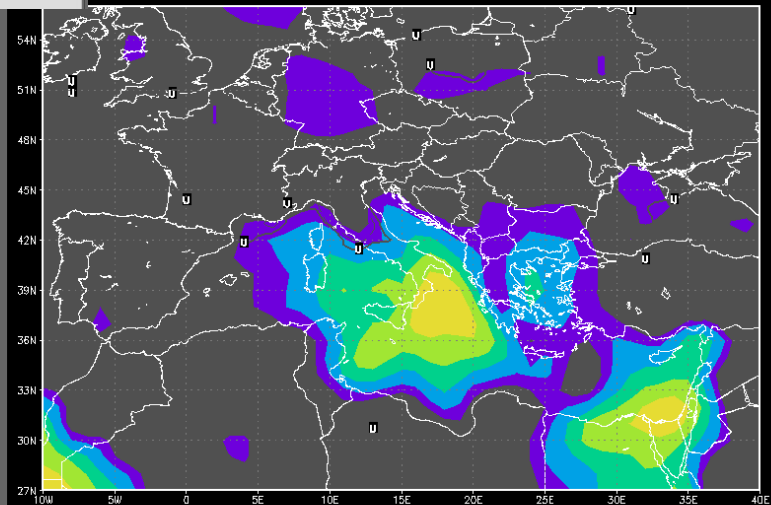
6 DAY PREVIEW

Click on map for more detail

http://www.dxinfocentre.com/tropo_eur.html

Hepburn Tropo Index Valid 0600 UTC Mon Apr 21 Europe

COPYRIGHT 2008 WILLIAM R HEPBURN www.dxinfocentre.com



Low	1.4	2	3	4	5	6	7	8	9	10+
NIL	MRGNL	FAIR	MDT	GOOD	STRONG	VRY STG	INTENSE	VRY INT	EXTREME	EXTREME

En résumé....

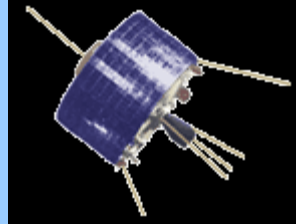
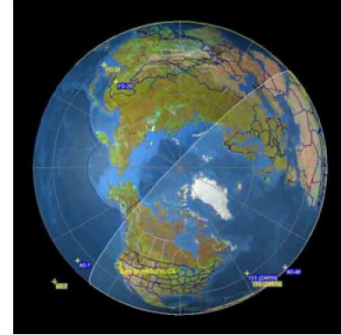
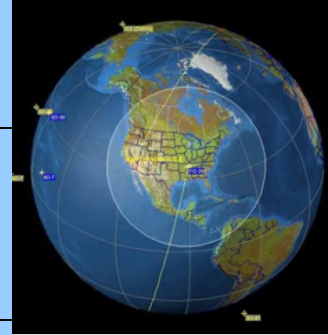
- La propagation troposphérique concerne les VHF → μ ondes
- Très dépendante des conditions météorologiques
- Pour trafic local
- Conditions exceptionnelles lors d'inversions de température

Quand ?	Propagation	QSB	Signaux	Distance	Station
Tous les jours	<ul style="list-style-type: none">• Horizon radio• Diffraction relief• Troposcatter	Moyen	Faibles	700-1000 km	Moyenne - QRO
Rare ou peu fréquent	<ul style="list-style-type: none">• Horizon radio• Diffraction relief• Ducting	Lent	Moyens - Puissants	2000 km (T) 4000 km (M)	QRP - Moyenne

Extraterrestre/satellites

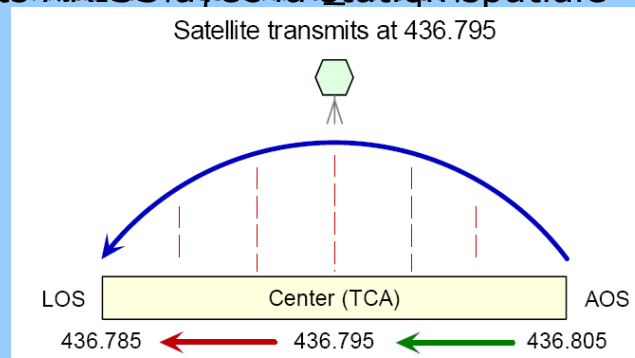
P3E

Satellites



- Transpondeurs qui retransmettent les signaux reçus (uplink) sur une autre fréquence (downlink).
- Bandes des 10 m, 2 m, 70 cm et 23 cm.
- Orbite basse (polaires). A chaque passage, les antennes de la station doivent constamment être réorientées vers le satellite (tracking) à l'aide de moteurs d'antennes en azimut et en élévation.
- Orbites très elliptiques qui permettent une grande durée d'opération.
- Effet Doppler

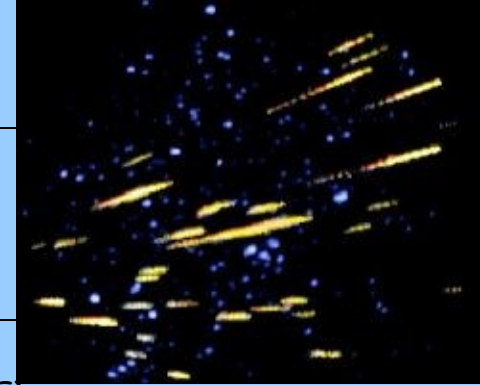
<http://www.amsat.org> particulier des contacts ARRLS avec la station spatiale



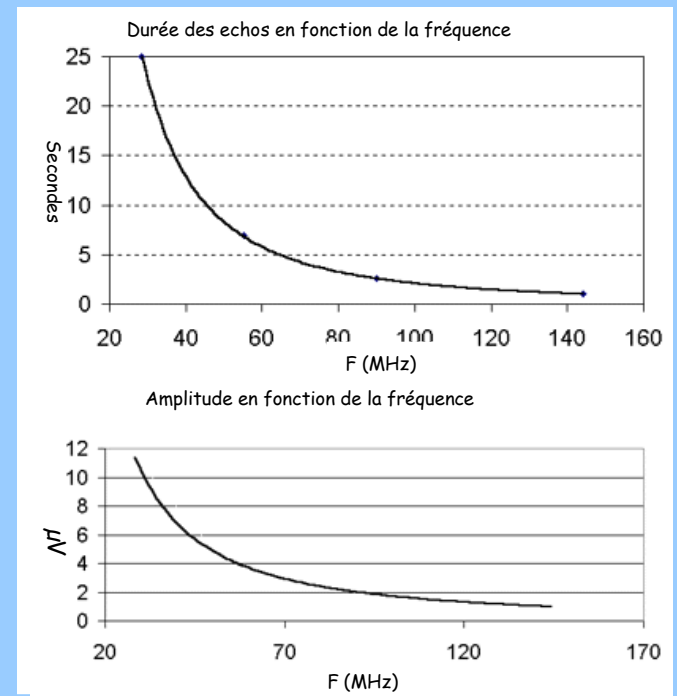
Mode	Montée	Descente
A	145MHz	29MHz
B	435MHz	145MHz
J	145MHz	435MHz
JL	1,2GHz	29MHz/145MHz
K	21MHz	29MHz
KA	21MHz	29MHz/145MHz
KT	21MHz	29MHz/145MHz
L	1,2GHz	435MHz
S	1,2GHz	2,4GHz
T	21MHz	145MHz
UV	435MHz	145MHz
V	29MHz	145MHz



Meteor scatter



- Skip de 800 à 2300Km par réflexion sur traînées de météores dans l'ionosphère (couche E)
- 28 à 432MHz mais meilleur rendement à 50-144MHz
- 1 grain de riz = traînée ionisée de 20Km pour quelques secondes à quelques minutes
- Au lever du soleil
- 14 pluies de météorites dont:
 - Perseïdes le 12 août
 - Géminides le 14 décembre
 - Quadrantides le 3 janvier
- Protocole d'échange d'information très particulier
- Logiciels spécialisés WINMSDSP2000 et WSJT



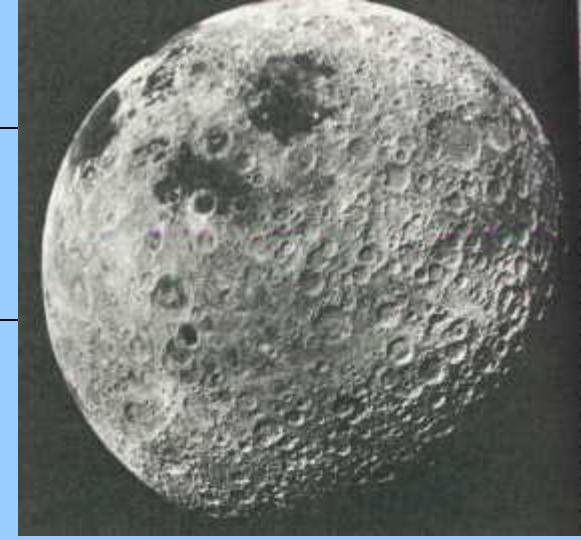
Durée en seconde	Puissance	Les infos manquantes
2 : 0 à 2 s	6 : s1 - s3	S : report seulement M : Mon indicatif seulement
3 : 5 à 20 s	7 : s4 - s5	Y : Votre indicatif seulement B : Les 2 indicatifs
4 : 20 à 120 s	8 : s6 - s7	U : Manipulation incorrecte O : Tout est incomplet
5 : > 120 s	9 : s8 & >	

<http://pagesperso-orange.fr/f6crp/denis/denisf16.htm>

<http://www.astrosurf.com/luxorion/meteor-scatter.htm>



EME



- Réflexion sur la lune (Earth-Moon-Earth).
- Très forte atténuation (environ 262dB sur 70 cm).
- Donc puissances importantes, de 250 à 1000 Watts (licence spéciale à demander à l'IBPT !)
- Antennes à haut gain ou des groupements d'antennes à haut gain (26dB ou plus)
- Préamplificateur à très faible bruit.



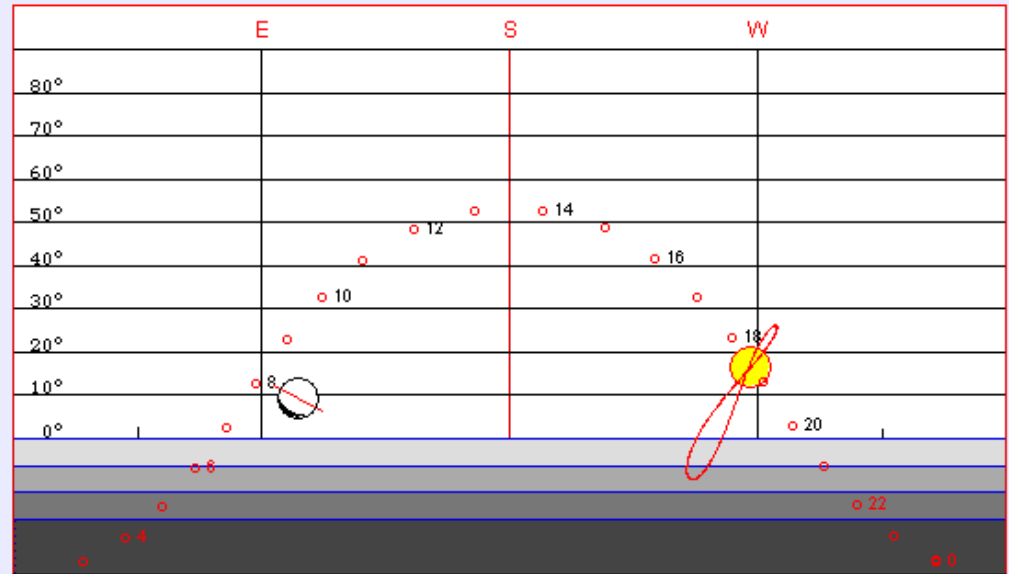
Sun, Moon & Earth Applet

Please be patient, 160 kB of Java byte code have to be loaded ...

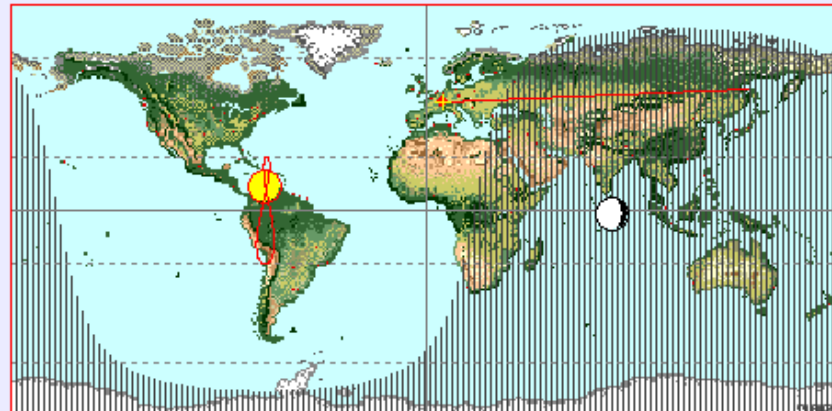
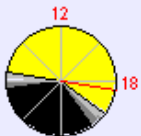
<http://www.jgiesen.de/SME/>

Time Zone: Location: Latit.: N / S: Longit.: E / W: Details: Moon:

Local Time: Date:



User Input Lat.= 47.57 N Long.= 7.17 E Thu Apr 17 2008 18:38:23
SUN: Rise 06:38 Transit 13:31 Set 20:24 Altit. = 16.46° Azim. = 267.4° (W)
MOON: Rise 17:36 Transit --- Set 05:17 Altit. = 9.4° Azim. = 103.3° (ESE)



SUN:
 Declin.= 10° 46.6' N
 GHA = 69° 44.5'
 Eq. of Time = 0:34 min (+13.7s)
MOON:
 Declin. = 1° 16' S
 GHA = 279° 27.9'
 Moon Age: 11 d 12 h 44 m
 Geocentric Elong. = 148.97°
 Illum. Frac. = 92.9 % (+)
 Distance from Earth = 395536 km

Sites infos propag

<http://home.planet.nl/~pa1six/pa1six.htm>

<http://www.keele.ac.uk/depts/por/psc.htm#now>

<http://www.amanogawa.com/> APPLETS

<http://www.dxlc.com/solar/> TRES BON

<http://www.spaceweathercenter.org/>

<http://www.amfmdx.net/propagation/Es.html>

<http://www.kn4lf.com/kn4lf6h.htm>

<http://www.qsl.net/ct1boh/propagation.htm>

<http://dx.qsl.net/propagation/>

<http://www.spacew.com/www/realtime.php>

<http://www.df5ai.net/Realtime/rtmeteo.html#ArticlesSferics>

http://assoc.pagespro-orange.fr/f6crp/propag/propag_v.htm

http://www.dxinfocentre.com/tropo_eur.html

USEFUL LINKS:

www.sec.noaa.gov/today.html

Official Space Environment Center current "Space Weather" from NOAA. Also check:

www.spaceweather.com

www.dxlc.com/solar

Graphical display of solar flux, sunspots and A-index by Jan Alvestad, SOHO images, and other very useful information.

<http://umtof.umd.edu/pm/>

Solar wind data (speed and density) from proton monitor on SOHO satellite.

www.spacew.com/www/realtime.php

Near real-time MUF (max. usable freq.) map

www.drao-ofr.hia-ihh.nrc-cnrc.gc.ca/icarus/www/current_flux.shtml

Current solar flux from the "horses mouth" - Pentictin

Bibliographie

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/Movies/series.html>

<http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml>

<http://home.versateladsl.be/cesgai00/Documents/Presentation%20Radio%20Mobile.ppt>

La ligne grise par F5NJN Radio REF juin 2000

Présentation propagation troposphérique par ON4KHG (Power Point)

« La propagation ionosphérique pour le DX'er et le Contester » par F6EPY (Power Point)

Vous le rêvez...ils l'ont fait!

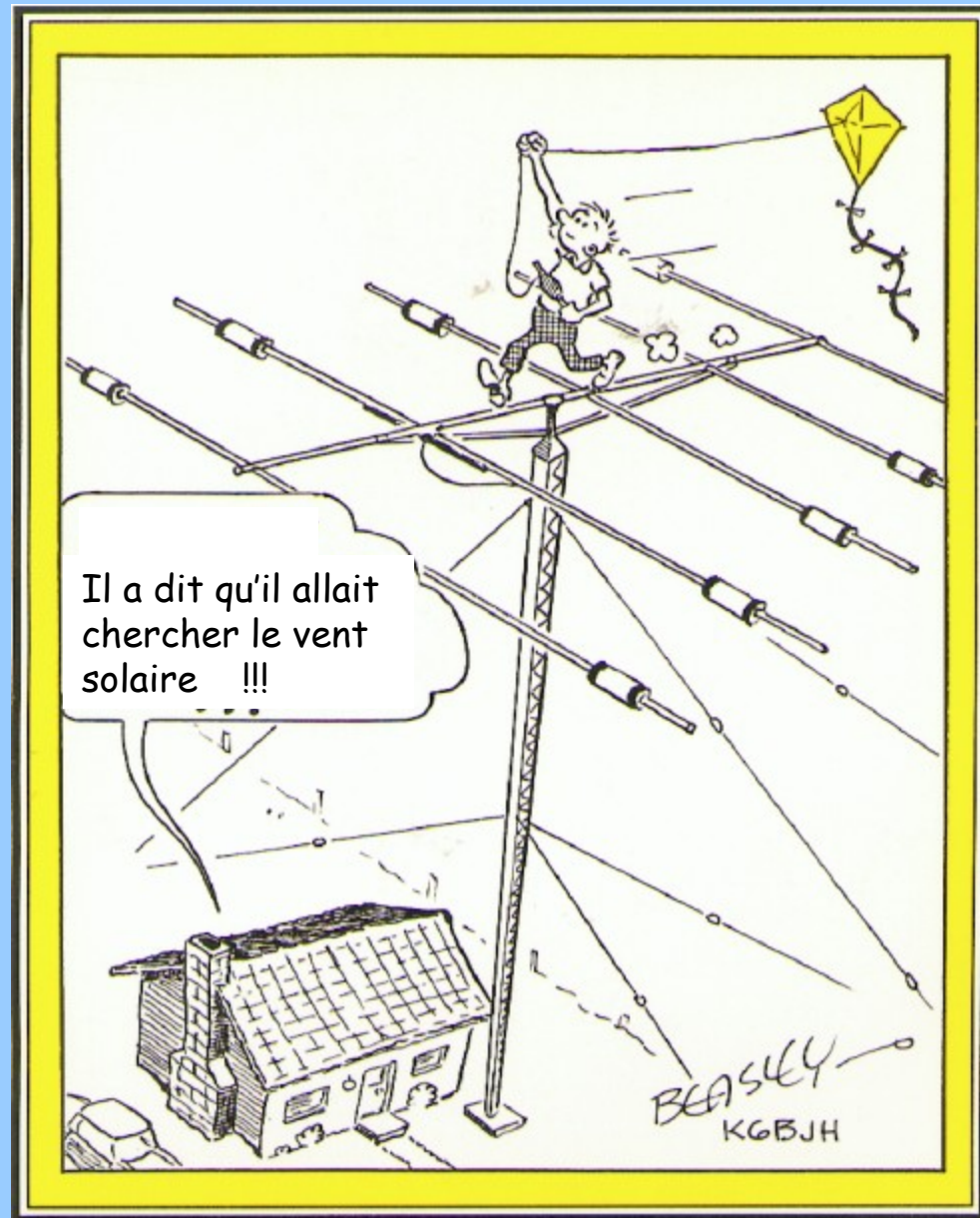
antenne RFI à Loudun



Le minimum à retenir!

- 1-Couche F : DX pour HF et 50-144MHz en cycle haut
- 2-Couche E : sporadique 28-144MHz
- 3-Couche D : atténuateur de jour si $F < 5\text{MHz}$
- 3-Cycle solaire
- 4-Indices de propagation **A<16 et K<4**
- 5-Conditions météo et tropo pour $f > 50\text{MHz}$
→ Hautes pressions+front froid/chaud
- 6-Surveiller e-bay pour vente de l'antenne RFI....

Le minimum à NE PAS retenir!



C'est fini!

Merci de votre attention !

