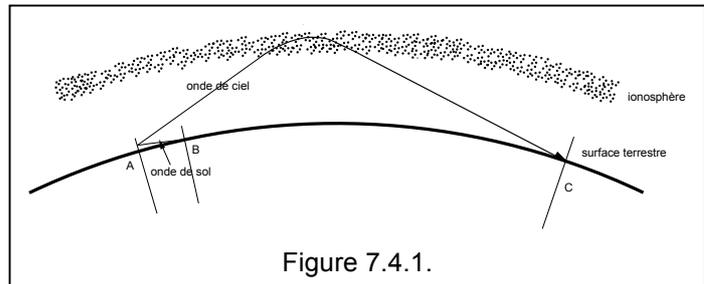


7.4. Propagation ionosphérique en dessous de 30 MHz

Par opposition à l'onde de sol que nous avons vu au paragraphe précédent, il y a aussi la propagation par ondes de ciel, celle-ci utilise les couches ionisées de l'atmosphère.

Pratiquement les communications "DX" établies entre radioamateurs, en dessous de 30 MHz se font par ondes de ciel.



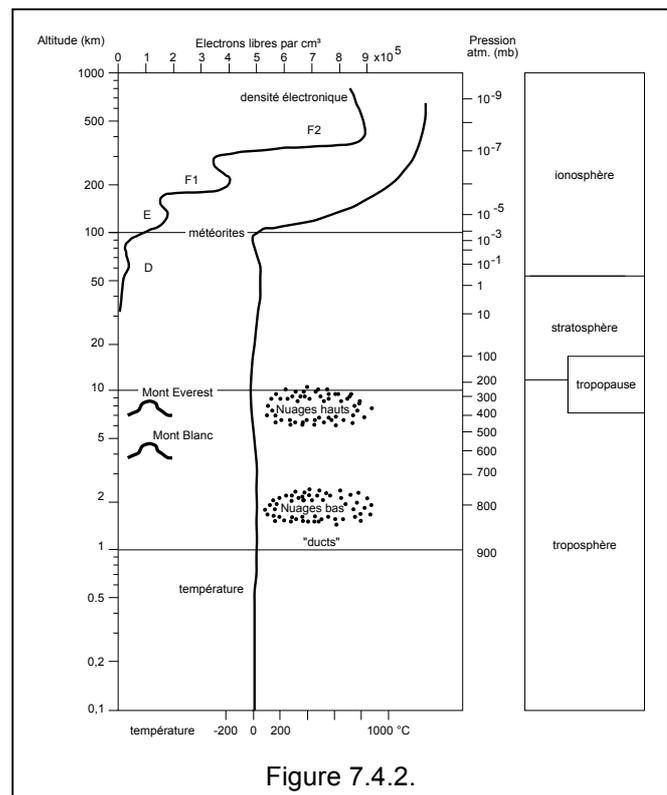
Lorsque l'onde a quitté l'antenne d'émission, elle se dirige vers le ciel où elle rencontre des couches ionisées. Cette région s'appelle l'**ionosphère**. L'ionosphère commence à environ 50 km de la terre et va jusqu'à 400 km. L'ionosphère est en fait un milieu dans lequel l'onde va être réfractée, à tel point que l'onde peut retourner vers la terre.

Les distances que l'on peut atteindre avec les ondes de ciel sont beaucoup plus grandes que celles obtenues avec les ondes de sol.

7.4.1. L'atmosphère

L'atmosphère peut être divisée en plusieurs zones :

- la troposphère qui s'étend de 0 à 10 km, et dans laquelle ont lieu la plupart des phénomènes météorologiques (nuage, pluie, ...). Le sommet du Mont Everest est encore dans l'atmosphère ... C'est cette couche qui nous intéressera plus tard pour l'étude de la propagation en VHF-UHF.
- la stratosphère
- l' **ionosphère** qui s'étend de 50 à 100 km et qui est caractérisée par une pression relativement basse (de 1 à 10^{-9} millibar), par des températures allant de 20 à 1000°C et par la présence d'électrons libres avec une densité de 1 à 10×10^5 électrons par cm^3 . C'est cette couche qui nous intéresse pour la propagation dans les bandes décimétriques.



7.4.2. L'ionosphère

L'ionosphère est la partie la plus haute de l'atmosphère, elle s'étend de 60 à 1000 km d'altitude et elle est soumise aux rayonnements solaires, ce qui a pour effet de les ioniser.

L'ionosphère se compose de couches de densités électroniques fort différentes, que l'on peut décomposer en :

- la **mésosphère** : c'est une couche composée d'ozone et qui s'étend de 50 à 85 km,
- la **thermosphère** qui est une zone qui agit principalement en absorption des rayons ultraviolets de longueur d'onde inférieure à 2000Å et
- l'**exosphère** qui s'étend entre 600 et 1000 km qui est composée presque uniquement d'hydrogène et dont la densité est très faible.

Lorsqu'une onde passe d'un milieu vers un autre, il se produit, comme en optique, un phénomène de réfraction qui répond à la loi de Descartes. Pour l'air normal, au niveau de la mer, et pour des conditions de température et de pressions moyennes $n = 1,000300$, tandis que pour l'ionosphère on peut dire que :

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

où N est la densité d'électrons par cm^3
f est la fréquence exprimée en kHz...

Cette relation montre que le phénomène de réfraction est lié à la densité électronique et à la fréquence.

L'atmosphère est essentiellement composée d'oxygène et d'azote avec des traces d'hydrogène, d'hélium et d'autres gaz. Ces gaz sont habituellement neutres, mais lorsqu'ils sont soumis aux rayonnements ultraviolets du soleil, des électrons peuvent être libérés et les atomes sont chargés positivement. Ces atomes chargés positivement sont appelés ions et le processus qui les crée est appelé **ionisation**. Les ions et les électrons libres ont par la suite tendance à se recombiner pour reformer un atome électriquement neutre.

Les différentes couches ont reçu des lettres pour les désigner.

La **couche D** est la plus basse, elle est située dans une partie relativement dense de l'atmosphère entre 50 et 88 km (= 30 à 55 miles). Les ions formés dans cette région ont une durée de vie très courte, ils se recombinent avec des électrons libres pour redevenir rapidement des atomes neutres. Le degré d'ionisation dépend fortement de la manière dont la lumière solaire frappe cette couche. A midi, l'ionisation est proche de son maximum et au coucher du soleil elle disparaît.

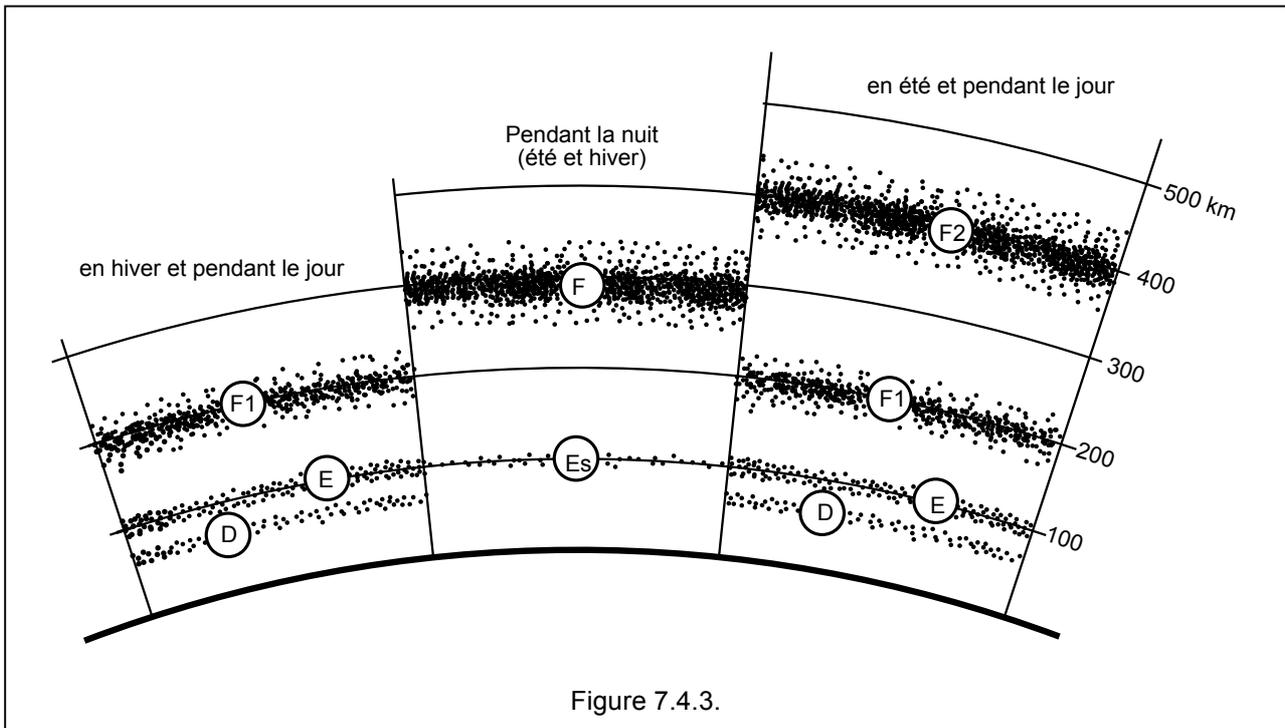
La couche D n'affecte pas la réfraction des ondes radio. L'effet principal de la couche D est d'absorber l'énergie des ondes radio. Lorsqu'une onde radio traverse la couche D elle libère une partie de son énergie aux ions. Les fréquences basses sont plus absorbées que les fréquences élevées. L'absorption augmente aussi avec le degré d'ionisation donc aussi, l'absorption sera plus prononcée à midi, et l'absorption est responsable pour les portées relativement courtes dans les bandes inférieures (160, 80 et 40 mètres).

Ensuite vient la **couche E** qui apparaît à environ 100 km (= 60 à 70 miles) A cette hauteur, l'atmosphère est encore assez dense et l'ionisation produite par le soleil ne dure pas longtemps. La couche E va réfracter les ondes uniquement pendant les heures diurnes. Comme la couche D, la couche E atteint une ionisation maximum vers midi et tôt dans la soirée, l'ionisation redevient très faible. L'ionisation atteint un minimum juste avant le lever du soleil. En utilisant la réfraction sur la couche E, une onde peut atteindre au maximum 2000 km en un bond.

La **couche F** est responsable des communications à grande distance. C'est une couche très vaste qui va de 160 à 420 km en fonction de la saison de l'heure et de l'activité solaire. L'ionisation atteint un maximum juste après midi, et diminue graduellement après le coucher du soleil. A cette altitude les électrons et les ions se recombinent lentement, de telle façon que la couche F reste ionisée même pendant la nuit, atteignant un

minimum juste avant le lever du soleil. Après le lever du soleil, l'ionisation augmente rapidement pendant les premières heures, puis plus lentement pour atteindre un maximum vers midi.

Pendant la journée la couche F se divise en deux couches **F1 et F2** avec des centres respectivement aux environs de 224 et 320 km. Mais ces altitudes peuvent varier avec la saison, à midi en été la couche F2 peut se situer à 480 km. Pendant la nuit, les deux couches F se recombinent. La couche F1 n'intervient pas fortement dans les communications radioamateur à longue distance. En un seul bond, l'onde radio peut atteindre 4000 km par réfraction sur la couche F2.



Un petit tableau pour résumer :

	de jour	de nuit
couche D	50 à 90 km	disparaît
couche E	env. 100 km	disparaît
couche F1	env. 250 km	se recombinent
couche F2	entre 300 et 400 km	