

# DM 17

Vendredi 12 Mars 2021

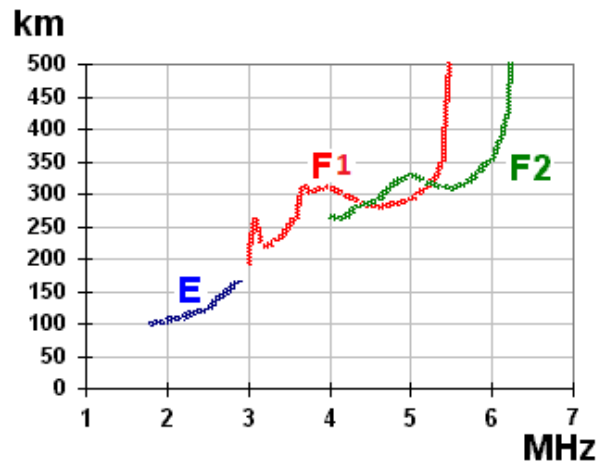
## Analyse documentaire : Ionosphère

### Généralités sur l'ionosphère, source wikipedia

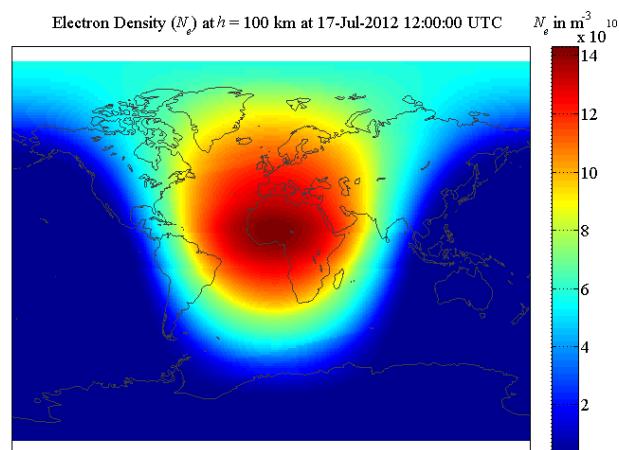
Le rayonnement ultraviolet solaire qui est à l'origine de l'ionosphère réagit sur une partie des molécules atmosphériques en les amputant d'un électron. Un plasma est ainsi créé qui contient des nombres égaux d'électrons et d'ions positifs. On distingue généralement trois couches aux propriétés propres vis-à-vis de la propagation des ondes.

- Couche D : altitude de 60 km à 90 km, pression 2 Pa, température -76 °C, densité électronique  $10^4 \text{ cm}^{-3}$ . Constituée d'ions polyatomiques. Absorbante pour les ondes de fréquence inférieure à quelques MHz, elle apparaît avec le lever du Soleil et disparaît immédiatement après le coucher de celui-ci.
- Couche E, ou couche de Kennely-Heaviside : altitude de 90 km à 120 km, pression 0,01 Pa, température -50 °C, densité électronique  $10^5 \text{ cm}^{-3}$ . Constituée d'oxygène et monoxyde d'azote moléculaires ionisés et d'ions météoritiques. Diurne et présente tout au long du cycle solaire. Elle réfléchit les ondes de quelques MHz jusqu'à une fréquence limite qui dépend de l'angle d'incidence de l'onde sur la couche et de la densité de celle-ci. Au cours de l'été, en moyennes latitudes, apparaissent parfois pendant quelques dizaines de minutes, voire quelques heures, des « nuages » fortement ionisés dans la couche E (on parle de sporadique E ou Es)
- Couche F : altitude de 120 km à 800 km, pression  $10^{-4}$  Pa, température 1 000 °C, densité électronique  $10^6 \text{ cm}^{-3}$ . Constituée d'atomes d'oxygène, d'azote et d'hydrogène. Très dépendante de l'activité solaire, elle présente un niveau d'ionisation très important pendant les maxima du cycle solaire. Son altitude fluctue en fonction du rayonnement solaire ; la couche F se décompose pendant la journée en deux sous-couches F1 et F2. Ces deux sous-couches se recombinent la nuit plusieurs heures après le coucher du Soleil mais il arrive qu'elles persistent toute la nuit lors des maxima d'activité solaire. Comme pour la couche E, le rôle de la couche F est essentiel pour la propagation des ondes courtes.

## Graphes



Ionogramme représentant l'évolution de la fréquence plasma en fonction de l'altitude et mettant en évidence les couches E, F1 et F2 de l'ionosphère.



Répartition spatiale de la densité volumique d'électrons à une altitude de 100 km à 12h le 17 Juillet.

## What is ... from NOAA

### What is an Ionosonde ?

Quite generally, ionosondes are radars. In fact, the idea to use radio pulses for 'detection and ranging' was conceived for the purpose of measuring the height of the ionosphere in 1925, by Gregory Breit and Merle Tuve. The principal components of any radar must include circuits or devices which (a) define the signal to be transmitted; (b) amplify the signal to a useful power level; (c) radiate (as antennas) the signal generally upward and accept the downcoming echoes;

(d) 'receive' the signal (or 'echo'), by appropriate amplification, filtering and noise-rejection ; (e) record the echo information in some suitable form. Unlike more familiar radars, the ionosonde does not attempt to direct its "beam" to locate its "target". On the practical side, forming such a beam at medium and high frequencies (1 - 20 MHz) would be prohibitively expensive ; it would also be ineffective, since (like the sea surface) the ionosphere is continuously tilted, wavy and irregular : these properties, and not the direction of a beam, determine the location (or locations) from which reflections occur. Ionosonde antennas illuminate the "whole sky".

### **What is an 'Ionogram' ?**

Pulsed radio waves of up to 20 MHz (15m wavelength) may be totally reflected in the ionosphere, giving strong echoes even with rather low transmitted power (a few kW). This is the fundamental principle of the 'ionosonde'. The ionospheric reflection process is strongly 'dispersive', or frequency-dependent, each frequency being reflected by one, two, or even three specific ionization densities, because the ionized plasma is 'magnetoactive'. Classical 'ionograms', simple graphs of pulse travel time (a few milliseconds) vs radio frequency, directly display details of ionospheric structure. They require only a little interpretive skill to recognize the usual stratification of the ionosphere, and to estimate prevailing layer peak ionization densities. Estimation of the actual height of the ionosphere is much more difficult, requiring extensive 'inversion' calculations. Some 200 million analog (film) ionograms were produced by some 200 ionosondes, until the arrival of digital technology, around 1975.

### **Le GPS, source wikipedia**

Le GPS comprend au moins 24 satellites circulant à 20 200 km d'altitude. Ces satellites émettent en permanence sur deux fréquences L1 (1 575,42 MHz) et L2 (1 227,60 MHz) modulées en phase (BPSK) par un ou plusieurs codes pseudo-aléatoires, datés précisément grâce à leur horloge atomique, et par un message de navigation. Ce message, transmis à 50 bit/s, inclut en particulier les éphémérides permettant le calcul de la position des satellites, ainsi que des informations sur leur horloge interne.

### **Questions**

1. Proposer un protocole permettant d'obtenir un ionogramme
2. Montrer que les valeurs de densités volumiques d'électrons données dans le document sont en accord avec l'ionogramme du document.
3. Justifier qualitativement la répartition des zones de densité électronique.
4. Commenter le choix des fréquences L1 et L2 des signaux GPS.
5. Pour les communications intercontinentales, les radio-amateurs utilisent une fréquence porteuse voisine de 5 MHz. Proposer une justification au fait que la présence de l'ionosphère rend possible ces communications. On admettra que le sol se comporte comme un miroir.