

## 1.Courant de conduction et courant de déplacement

Constante diélectrique complexe relative:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad \text{et} \quad \epsilon'_r = \frac{\epsilon'}{\epsilon_0} = \epsilon_r + j \frac{s}{\epsilon_0 \omega}$$

Avec

$$\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36 \pi} \text{ (F/m)}$$

$$\omega = \frac{2 \pi f}{l} \quad (f = 3.10^8)$$

Donc :

$$\epsilon'_r = \epsilon_r + j60sl$$

$$s = 60sl$$

Avec la première équation de Maxwell :

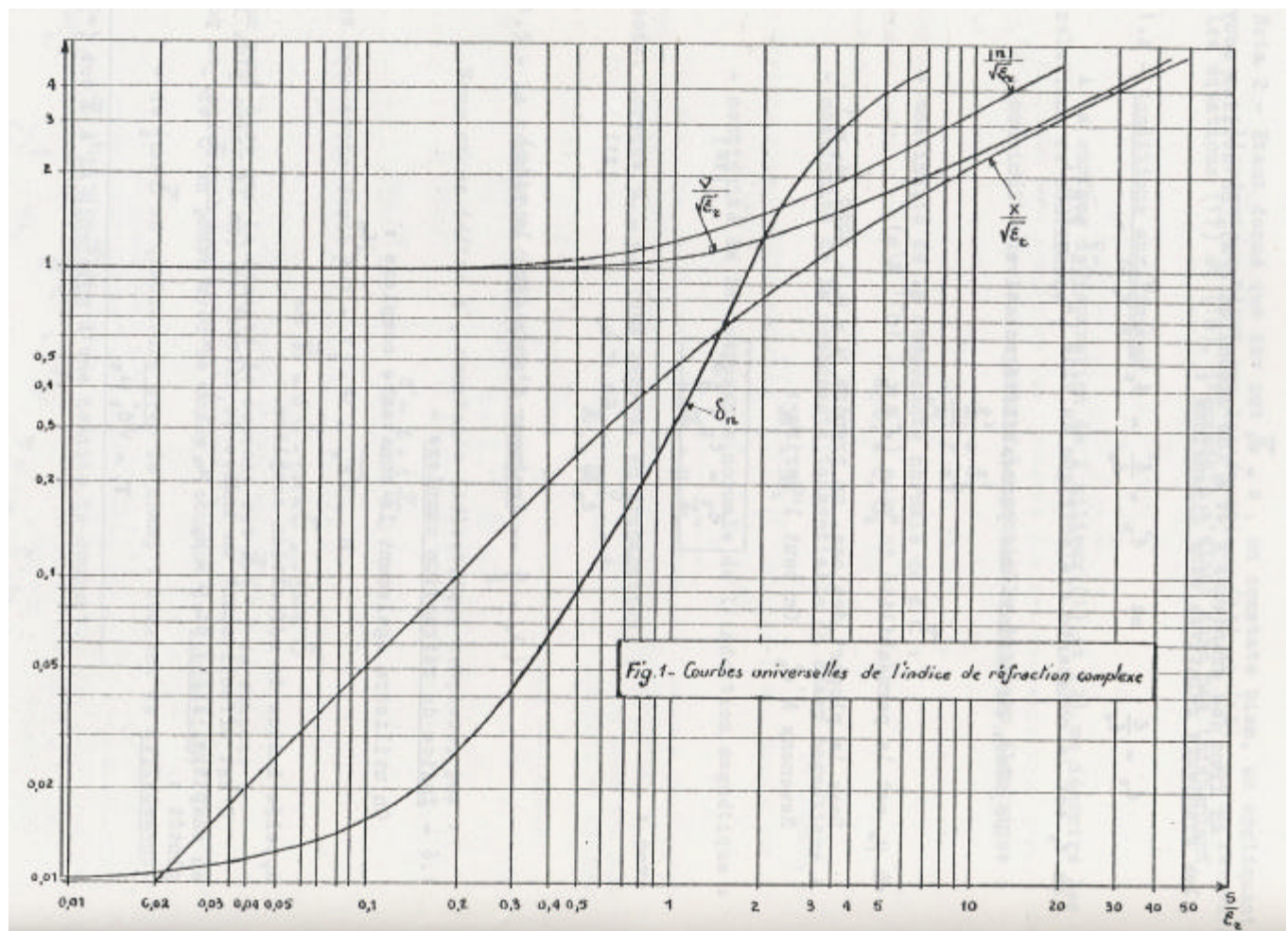
$$\text{rot } \vec{H} = s\vec{E} - j\omega\epsilon\vec{E} = -j\omega\epsilon'_r\vec{E}$$

**Courant de conduction  
en phase avec le champ  
électrique.**

**Courant de déplacement  
en quadrature avec le champ  
électrique.**

Les courbes suivantes représentent la partie réelle, la partie imaginaire, le module et l'argument de l'indice de réfraction complexe :

$$h = n + jX$$



Nous constatons que pour des ondes très courtes et  $s$  petit, l'indice de réfraction est égal à ,

$$\sqrt{\epsilon_r}$$

puis augmente avec la **longueur d'onde** ou la **conductibilité** du milieu, d'abord lentement, puis, au delà de  $(s/\text{diélectrique}) = 1$  rapidement.

La partie imaginaire croît également avec la longueur d'onde ou la conductibilité, tout en restant inférieure à la partie réelle. Enfin, l'argument présente une variation très rapide de part et d'autre du point :

$$\frac{s}{\epsilon_r} = 1$$

## 2.Comportement « métallique » et comportement « vitreux » du sol

Fréquences basses :

$$60sl \gg e_r$$

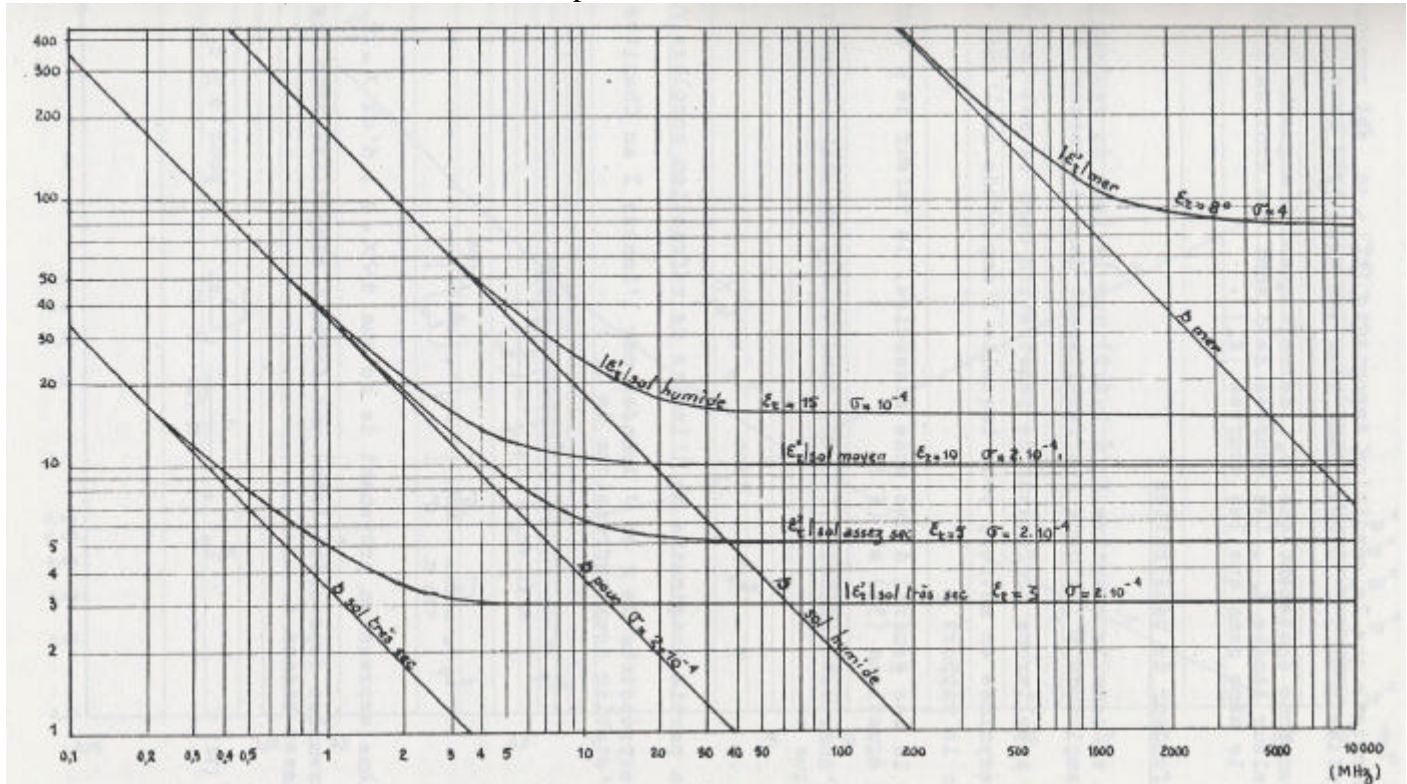
Le **courant de conduction** « l'emporte » ex : le sol est un **conducteur**

Fréquences hautes :

$$60sl \ll e_r$$

Le **courant de déplacement** « l'emporte » ex : le sol est un **diélectrique**

Dans la zone intermédiaire, le sol se comporte comme un semi-conducteur.



$$\text{Module}(e'_r) \text{ \& } s = \text{Im } e'_r$$

La fréquence séparant le comportement 'plutôt métallique' du comportement 'plutôt vitreux' est telle que :

$$F = \frac{1,8 \cdot 10^4 S}{e_r}$$

Notons que la propagation au dessus du sol est d'autant plus aisée que le sol est « métallique » !

La condition importante, module (diélectrique) > 3,16 est presque toujours vérifiée pour  $F < 10$  Mhz, sauf pour les sols très secs.

Quand la fréquence augmente, le module (diélectrique) décroît et tend vers sa valeur limite. Les courbes de s sont des droites inclinées à 45°.

**POPEM : Variation de l'indice de réfraction et des constantes diélectriques**



A : fréquences inférieures à 80 MHz

Type de sol	$\epsilon_r$		$\sigma$		$f_0$	m
	limites	moyenne	limites	moyenne	moyenne	
Villes - régions industrielles	2 à 5	4	$10^{-4}$ à $10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	2 MHz	1
Terrains sablonneux et secs	5 à 10	8		$2 \cdot 10^{-3}$	4 MHz	4
Pâturages, terrains boisés, sols argileux	10 à 15	13	$2 \cdot 10^{-3}$ à $2 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$	5,5 MHz	
Terrains humides (marécages, terrains riches)	15 à 20	16	$10^{-2}$ à $2 \cdot 10^{-2}$	$10^{-2}$	11 MHz	
Eau douce		80	$10^{-3}$ à $2 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}$	200 kHz	
Eau de mer		80		4,6	>80 MHz	

B : Ondes très courtes

Fréquences	Type de sol	$\epsilon_r$	$\sigma$
80 à 150 MHz	terrains secs	5 à 8	$8 \cdot 10^{-3}$
	terrains humides	15 à 20	$5 \cdot 10^{-2}$
200 MHz	terrains secs	3 à 4	$10^{-2}$
	terrains humides	15 à 20	$8 \cdot 10^{-2}$
3 000 MHz	terrains secs	2 à 3	$5 \cdot 10^{-2}$
	terrains humides	6 à 12	0,7
	eau douce	80	2
	eau de mer	80	6