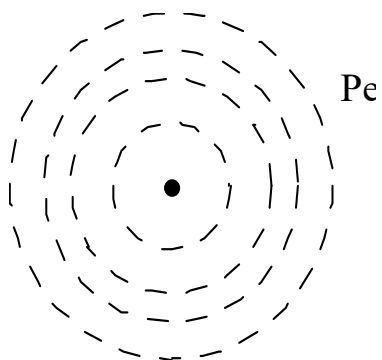


Propagation d'ondes dans l'espace libre

Formule de Friis

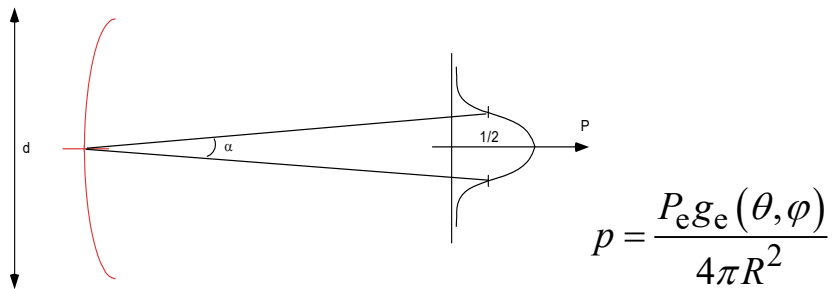


Considérons une source isotrope. A une distance R , elle rayonne une densité de puissance égale à :

$$p = \frac{P_e}{4\pi R^2}$$

Formule de Friis

Pour une antenne réelle (non isotrope), on obtient



g_e : gain de l'antenne

Formule de Friis

La puissance recue au point R est donnée par:

$$P_e = \frac{P_e g_e(\theta, \varphi)}{4\pi R^2} ds$$

Pour une antenne de réception ayant une surface effective A_e , cela donne

$$P_e = \frac{P_e g_e(\theta, \varphi)}{4\pi R^2} A_e(\theta, \varphi)$$

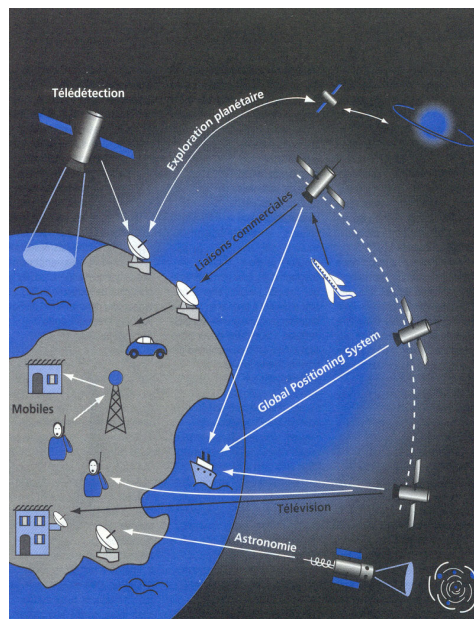
Nous obtenons finalement la formule de Friis

$$\frac{P_r}{P_e} = g_r(\theta, \varphi) g_e(\theta, \varphi) \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$

Indication

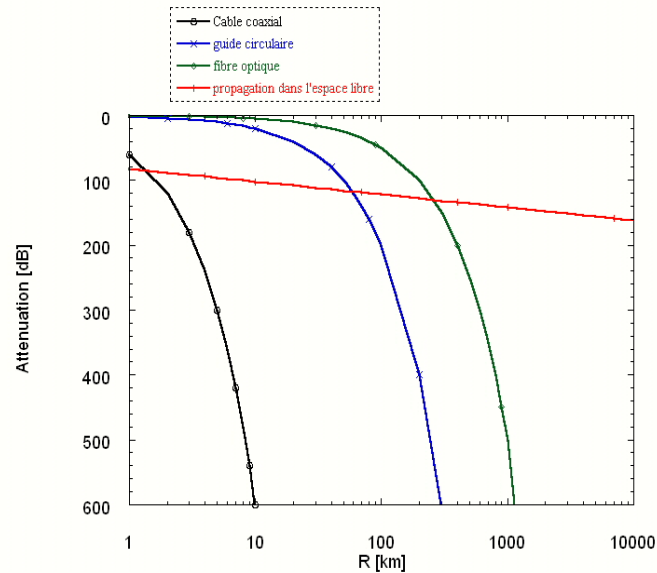
Le gain et la surface effective d'une antenne sont liés par la relation de proportionnalité suivante:

$$A_e(\theta, \varphi) = g(\theta, \varphi) \frac{\lambda^2}{4\pi}$$



Telecommunication

Attenuation dans l'espace libre

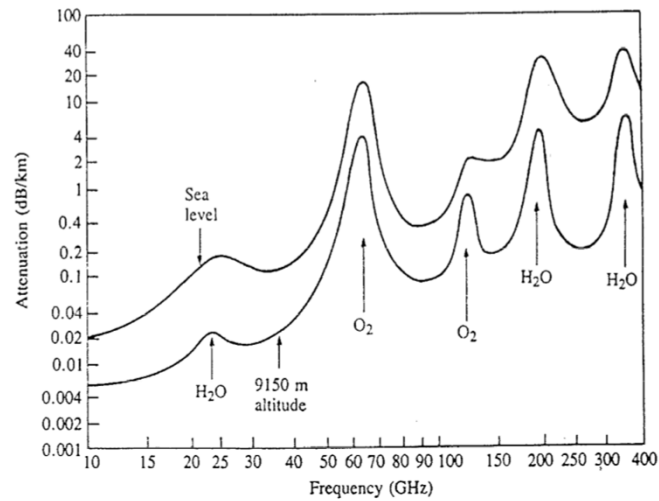


Foremule de Friis

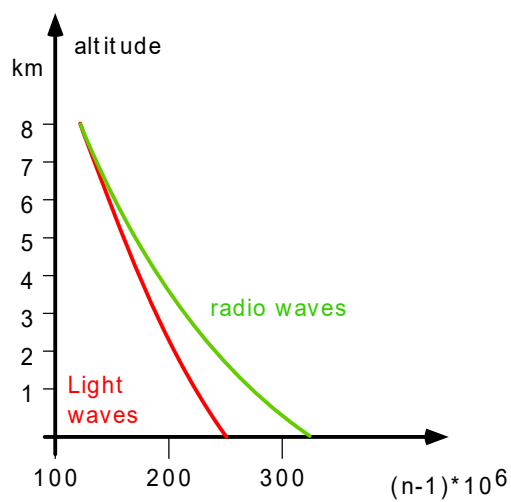
$$P_r = P_f g_1 g_2 \left(\frac{\lambda}{4\pi L} \right)^2$$

- ↗ P_r puissance reçue
- ↗ P_f puissance fournie
- ↗ g_1, g_2 sont les gains des antennes
- ↗ λ est la longueur d'
- ↗ L is the distance between the antennas

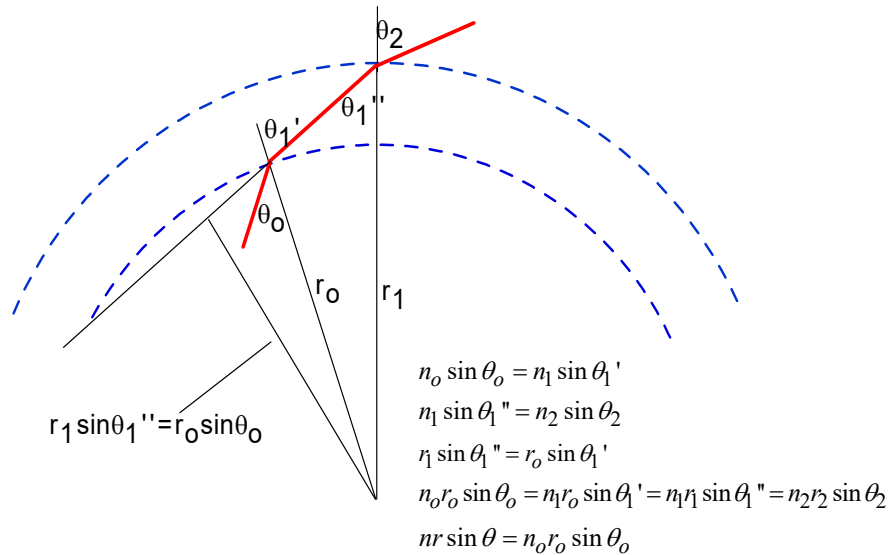
Atténuation dans l'atmosphère



Inhomogénéité de l'atmosphère



Inhomogénéité de l'atmosphère



11 MAG-EPFL

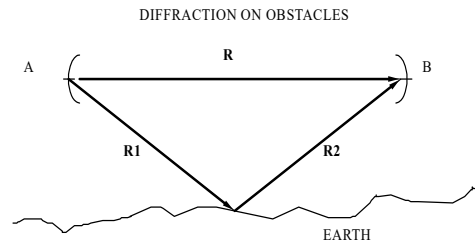
Inhomogénéité de l'atmosphère



Rayon de la terre fictif

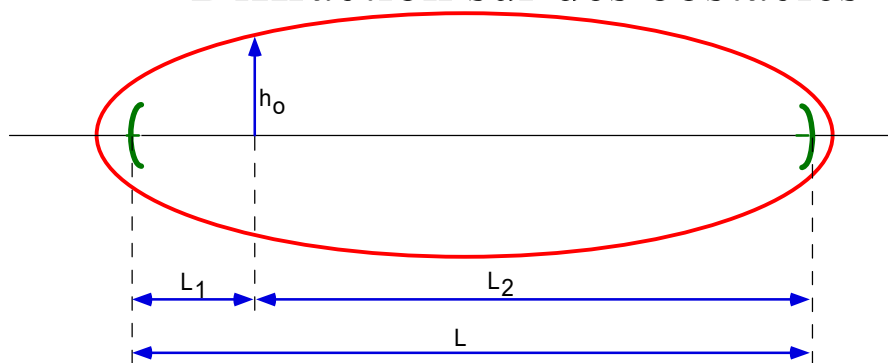
12 MAG-EPFL

Diffraction sur des obstacles



$$|\mathbf{R}_1| + |\mathbf{R}_2| - |\mathbf{R}| = \frac{\lambda}{2}$$

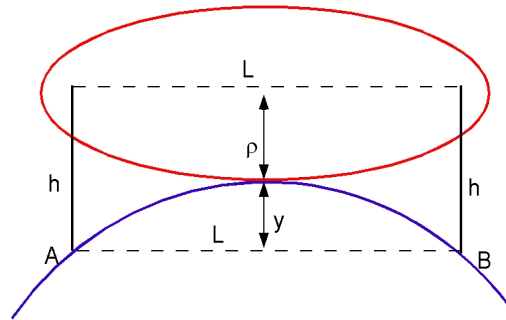
Diffraction sur des obstacles



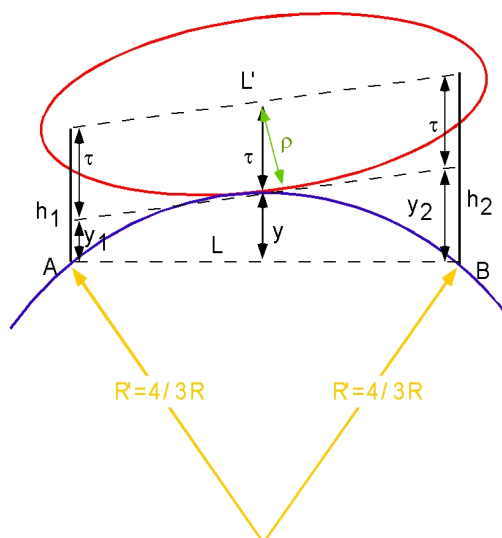
1 st Fresnel ellipsoid :

$$h_0 = \sqrt{\frac{\lambda L_1 L_2}{L}} \quad \rho = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda L}$$

Lien dépourvu d'obstacle



Lien dépourvu d'obstacle



hypthèses

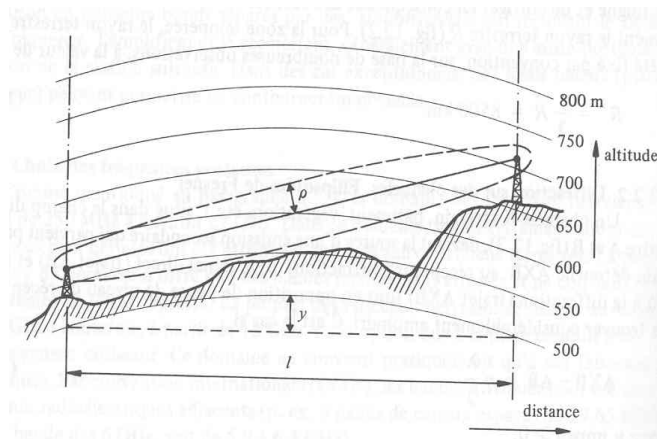
$$\tau = \rho$$

$$L' = L$$

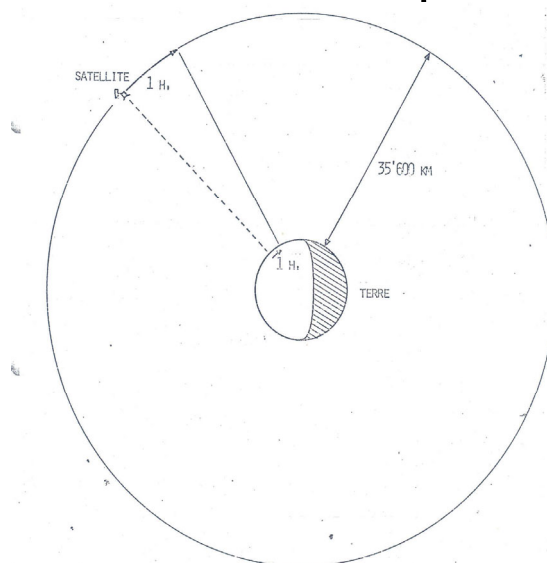
$$R = 4/3 R$$

$$R = 4/3 R$$

Lien dépourvu d'obstacle

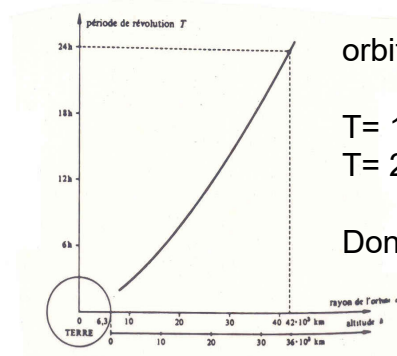


Communication par satellite



La 3ème loi de Kepler détermine la période révolution T d'un satellite en fonction du demi axe a de son orbite elliptique ou de son altitude $h=a-R$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{GM}} = 2\pi \sqrt{\frac{(h+R)^3}{GM}}$$

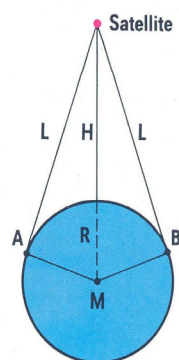


orbite géostationnaire :

$T = 1$ jour sidéral

$T = 23 \text{ h } 56 \text{ m } 4 \text{ sec}$

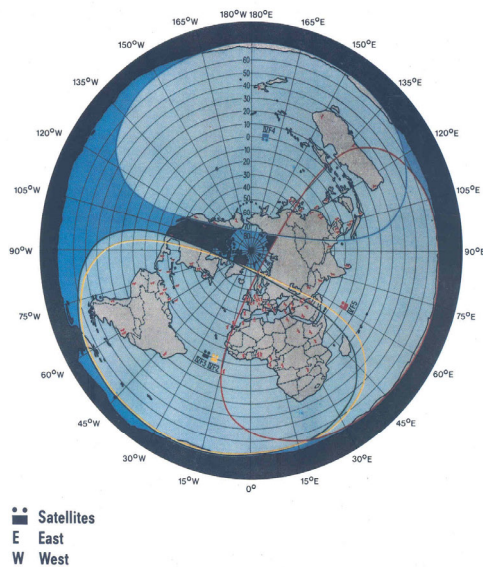
Donc $h = 35786$



H	Geostationary height of satellite	36 000 km
R	Earth's radius	6 378 km
2L	Distance A-Sat-B	78 000 km
c	Speed of light	300 000 km/s
t	Transmission time	260 ms
a_0	Basic free-space transmission loss on one path section	approx. 200 dB at 6 GHz

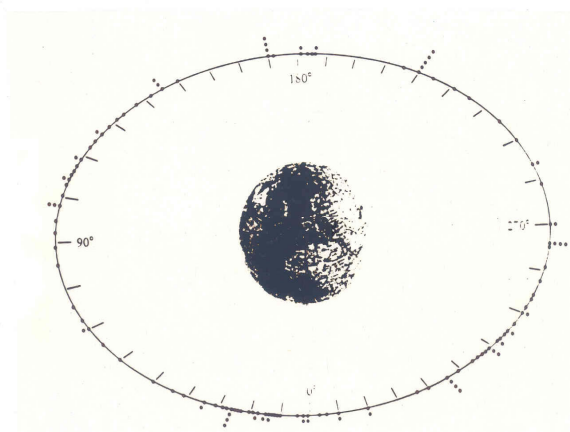
Data for geostationary satellites

© 1986 by Siemens AG
All rights reserved
bt 035/40

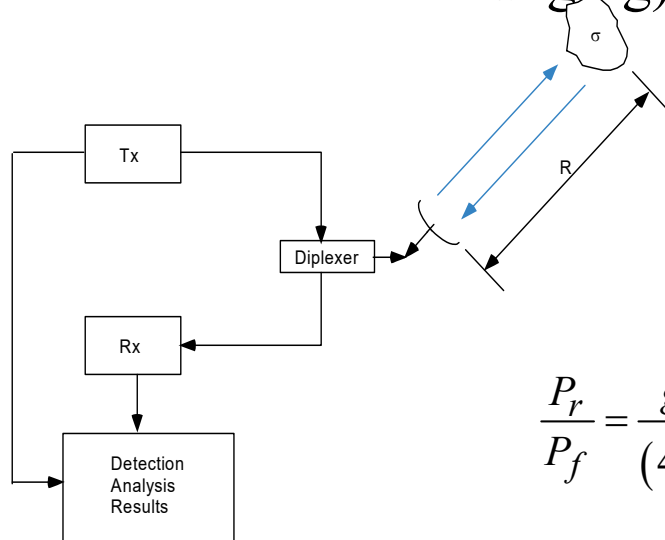


Intelsat
telecommunication-satellite system

© 1986 by Siemens AG
All rights reserved
bt 035/39

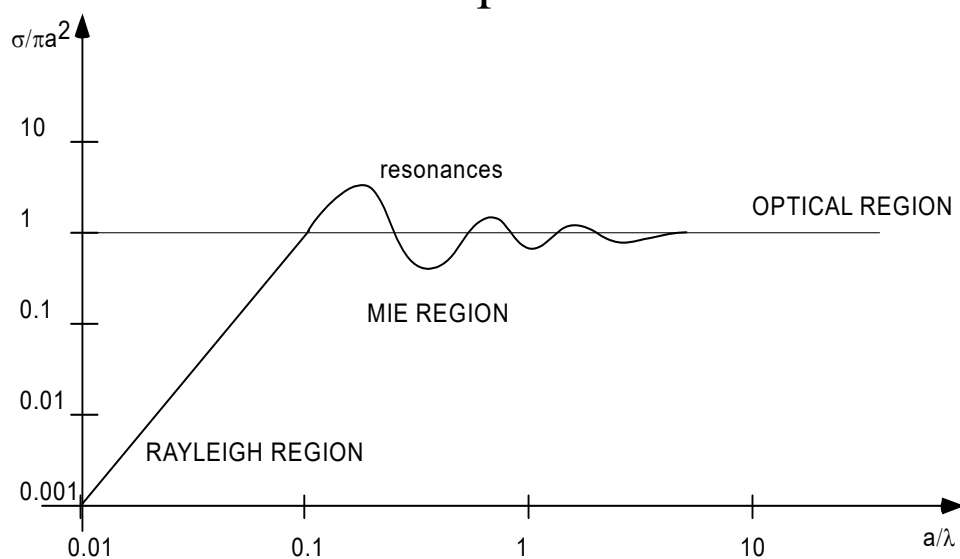


RADAR (Radio Detection And Ranging)

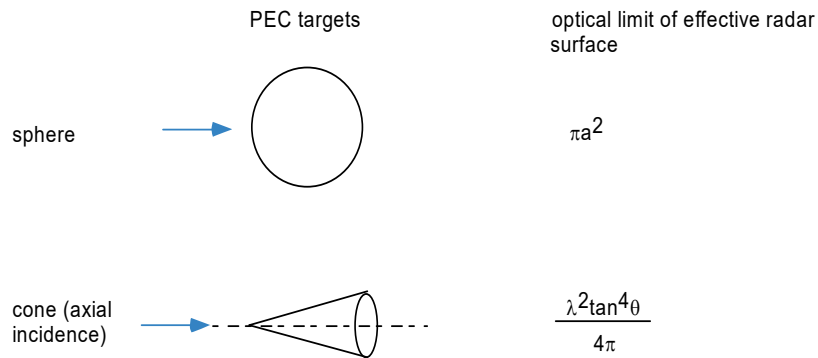


$$\frac{P_r}{P_f} = \frac{g^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4}$$

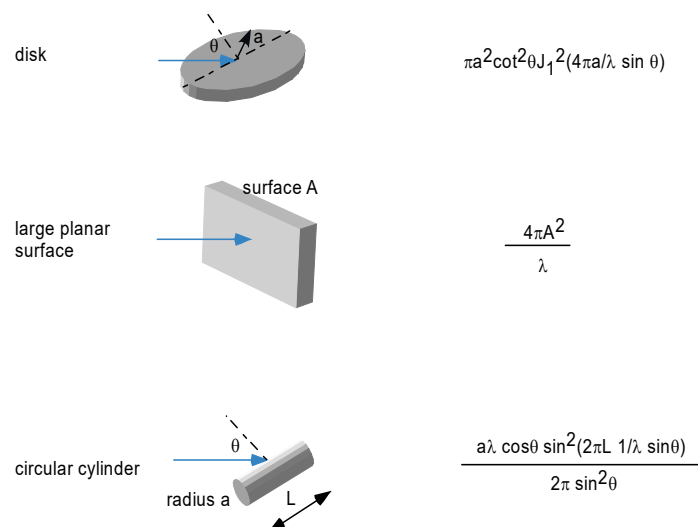
Surface équivalente RADAR



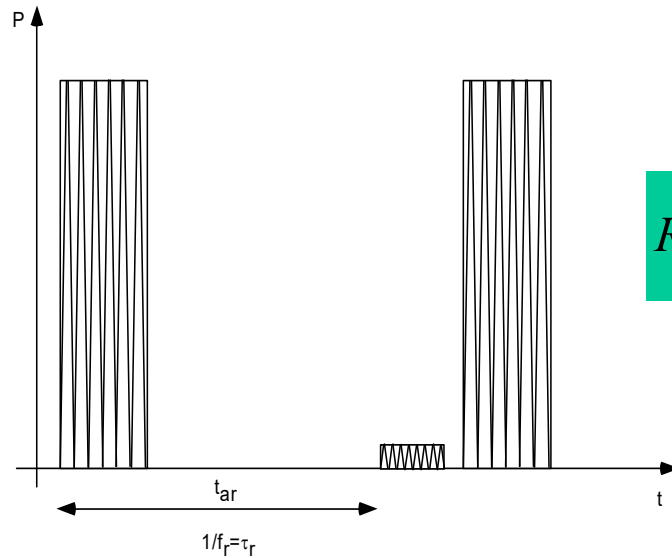
Surface équivalente RADAR: limite optique



Surface équivalente RADAR: limite optique

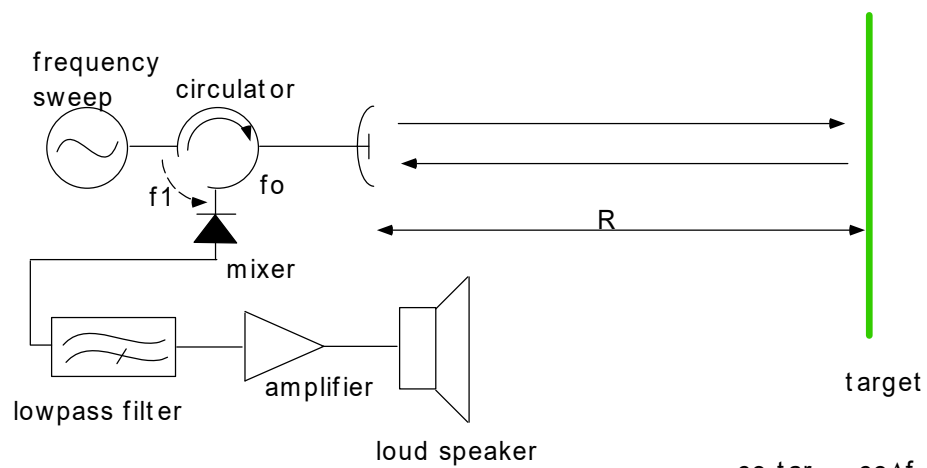


RADAR pulsé



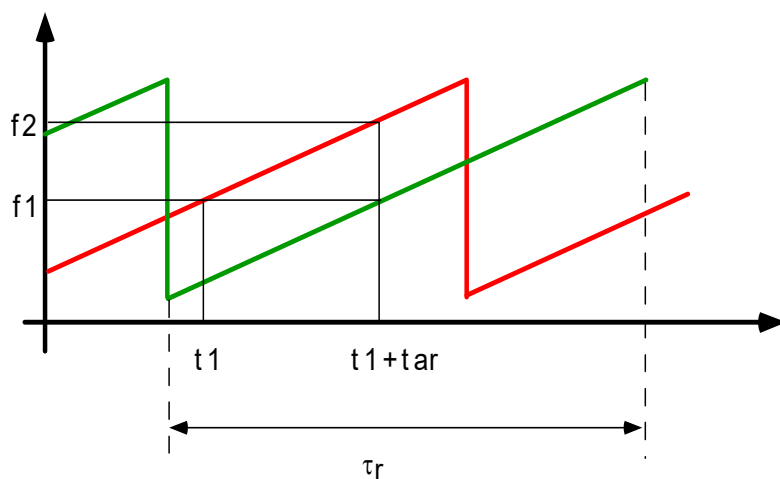
$$R = \frac{c_0 t_{ar}}{2}$$

RADAR chirp

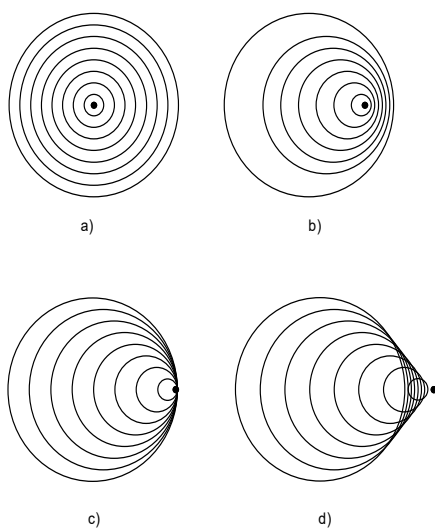


$$R = \frac{c_0 t_{ar}}{2} = \frac{c_0 \Delta f}{2 m}$$

RADAR chirp



Effet Doppler

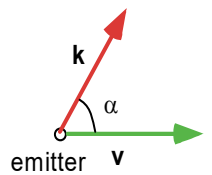


Source mobile

RADAR Doppler

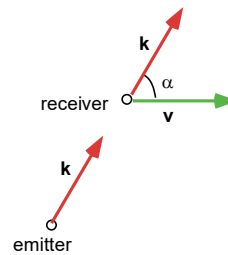
$$f_r = \frac{f_o}{\left(1 + \frac{v}{c} \cos \alpha\right)}$$

o receiver



static receiver
moving emitter

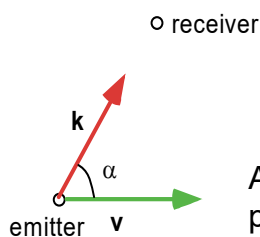
$$f_r = f_o \left(1 + \frac{v}{c} \cos \alpha\right)$$



moving receiver
static emitter

Doppler RADAR

$$f_r = \frac{f_o}{\left(1 + \frac{v}{c} \cos \alpha\right)}$$



Ainsi, pour $\alpha=0$ et pour un émetteur et un récepteur placés au même endroit et pour une voiture s'éloignant du RADAR

$$f_r = f_o \frac{\left(1 + \frac{v}{c}\right)}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)} \approx f_o \left(1 + 2 \frac{v}{c}\right) \quad \text{Thus } v = \frac{c}{2} \frac{\Delta f}{f}$$

Exemple : changement de fréquence Doppler dans un téléphone cellulaire

Pour un système GSM (Tx 890-915 MHz, RX 935-960 MHz) et un véhicule se déplaçant à une vitesse de 140 km/h, il y aura un étalement du spectre de 248 Hz

