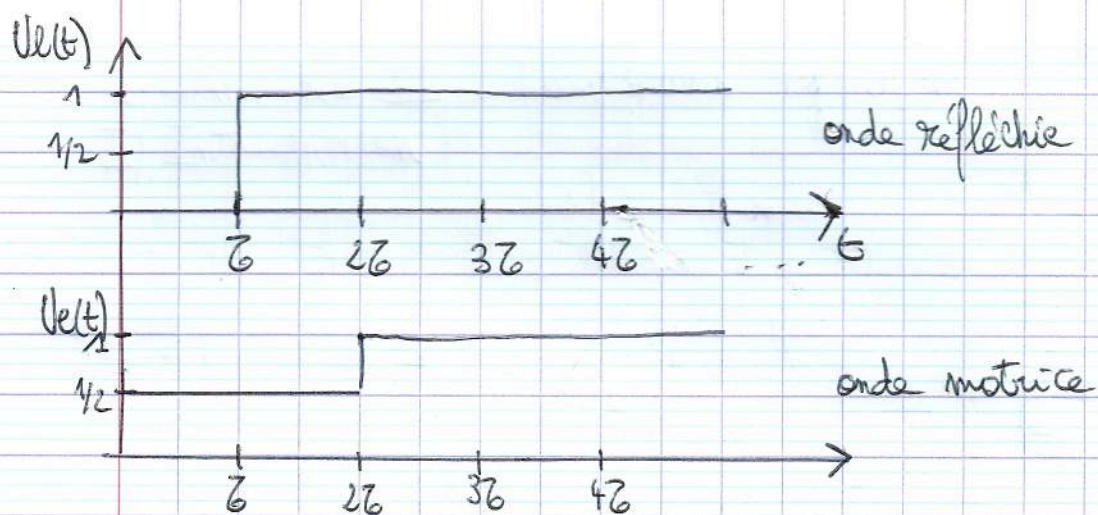
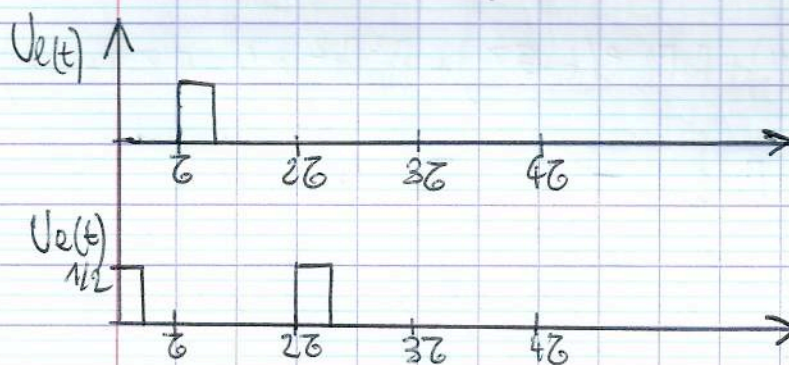




• Réponse à une impulsion



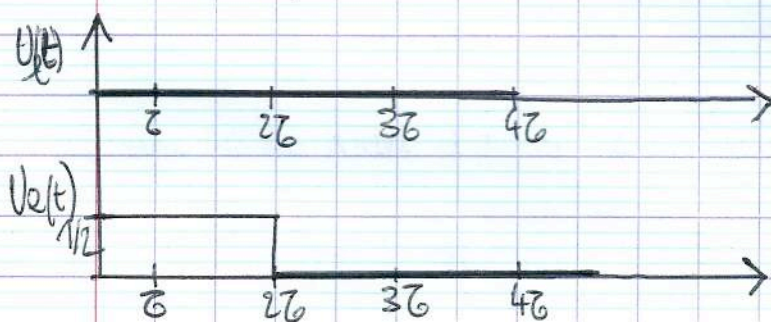
Si on envoie une impulsion tous les 4τ , on remarque que la fréquence est doublée en entrée. Un ordinateur ou un système de télécommunication verrait des éléments binaires où il n'en existe pas.

V.2 Source adaptée, extrémité en court-circuit

$$\Gamma_e = 0 ; R_g = Z_c$$

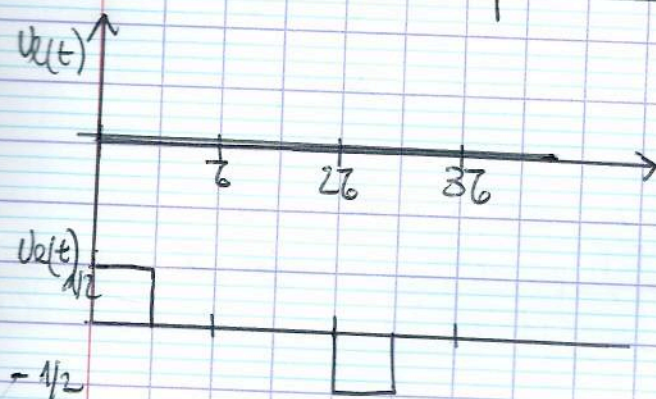
$$Z_L = 0 ; \Gamma_L = -1$$

$$\begin{cases} U_e(t) = \frac{1}{2} e(t) - \frac{1}{2} \times (e(t) - 2\tau) \\ U_e(t) = 0 \end{cases}$$



Réponse à un échelon

• Réponse à une impulsion 1 :



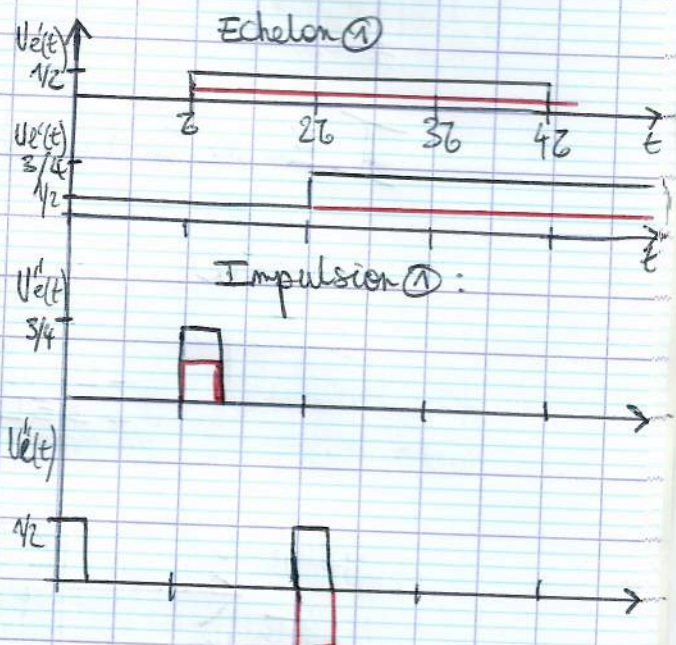
Une ligne court-circuitée est un moyen de produire une impulsion

V.3 Source adaptée - Charge résistive

$$\begin{cases} Z'_L = 3Z_C & \textcircled{1} = \frac{1}{2} \\ Z''_L = \frac{Z_C}{3} & \textcircled{2} = -\frac{1}{2} \end{cases}$$

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_C}{Z_L + Z_C}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{1} \quad & \begin{cases} U'_e(t) = \frac{1}{2} e(t) + \frac{1}{4} (e(t) - 2\tau) \\ U'_L(t) = \frac{3}{4} (e(t) - \tau) \end{cases} \\ \textcircled{2} \quad & \begin{cases} U''_e(t) = \frac{1}{2} e(t) - \frac{1}{4} (e(t) - 2\tau) \\ U''_L(t) = \frac{1}{4} e(t - \tau) \end{cases} \end{aligned}$$



VI Adaptation des lignes en régime transitoire

Impossible d'utiliser des éléments réactifs pour l'adaptation (stub = bout de ligne). L'utilisation de résistance $\Rightarrow$ consommation d'NRJ supplémentaire. Il faut que la résistance finale soit $= R_C$.

L'adaptation à la source est peu importante $\neq$ l'adapt. à la charge

CHAPITRE III : Les fibres optiques

I) Introduction :

Une fibre optique est un guide d'onde.

• Principales Qualités des fibres optiques

Faible absorption, faible dispersion, insensibilité aux parasites EM, taille réduite, poids très faible, vitesse de transmission très élevée (100 km/s), isolation électrique totale

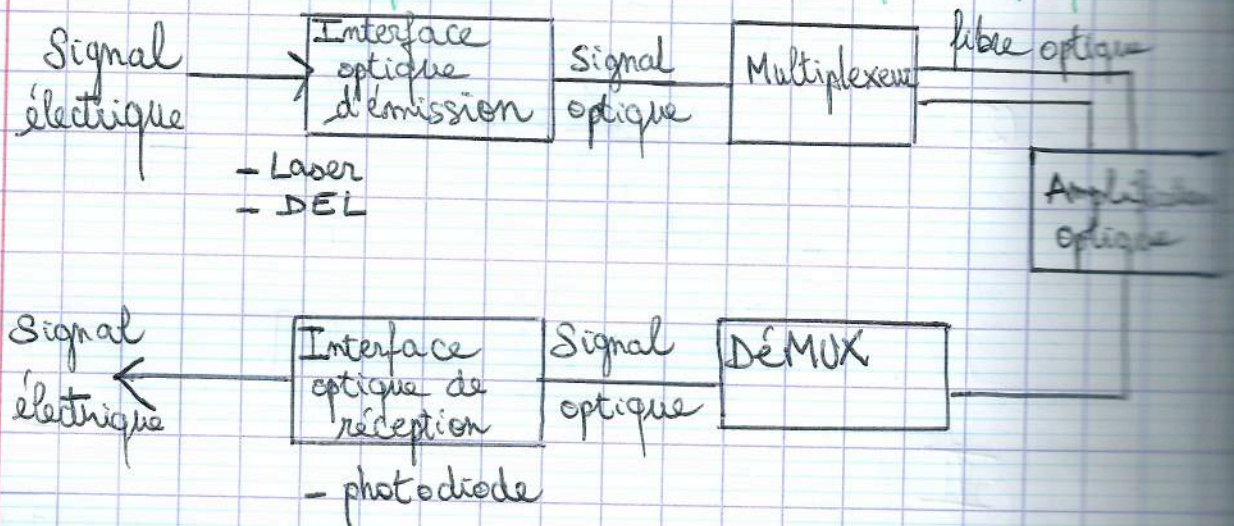
La fibre est composée d'un fil de verre très fin appelé le cœur (ou noyau) et qui peut être très long (centaines de kms).

- une gaine qui emprisonne la lumière dans le cœur, en la réfléchissant pratiquement sans perte.

- d'un fourreau de protection qui peut réunir plusieurs dizaines de fibres et d'un syst. de ~~connexion~~ connexion répétitive.

* Durée de vie d'une fibre ≈ 20 ans.

II) Éléments d'un syst. de transmission par fibres optiques



Lorsque la longueur d'émission le nécessite, on insère des répéteurs.

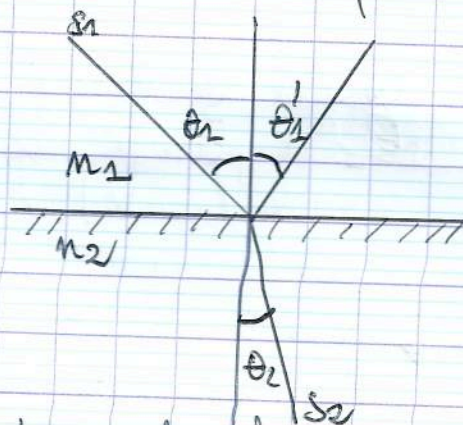
III Principe de fonctionnement

→ Lois de Descartes

Chaque matériau transparent a un indice de réf. $n = \frac{c}{v}$

→ Loi de réfraction

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$



On va chercher à ce qu'il n'y ait pas de réfraction mais une réflexion totale.

Lorsqu'il y a réflexion le faisceau faisant l'angle $\theta_1 = \text{angle } \theta'_1$

L'angle θ_1 soit calculé pour qu'il n'ait pas de rayon réfracté.

Ouverture Numérique : $ON = \sin \theta = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

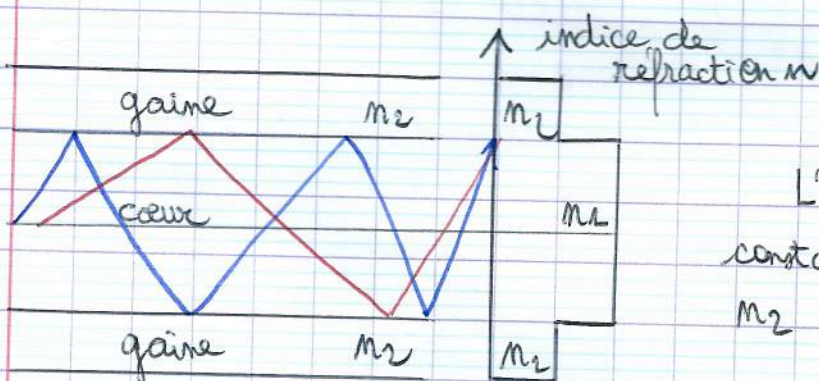
Différence d'indice relative : $\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$

IV. Différents types de fibre optique

4.1. Fibres multimodes

Plusieurs rayons lumineux peuvent s'y propager. Ces rayons sont des modes (ayant plusieurs trajectoires) résultant des interférences entre les réflexions multiples sur l'interface cœur-gaine.

→ Fibre à saut d'indice



L'indice du cœur n_1 est constant, il est $>$ à l'indice n_2 de la gaine.

La capacité de ces fibres est de ~~100~~ Mbits/s et cette capacité est assez faible car les rayons ont des parcours $\neq$. L'angle maximum permis est donné par l'ON. C'est la fibre la plus simple et la plus bon marché et peut utiliser une source comme une DEL et peut être utilisée pour les courtes distances (ex : réseaux locaux).

→ fibre à gradient d'indice

Loi de variation d'indice du cœur

L'indice du cœur n_1 varie progressivement

$$n_r = n_{r0} \sqrt{1 - 2 \left(\frac{r}{a} \right)^\alpha \Delta}$$

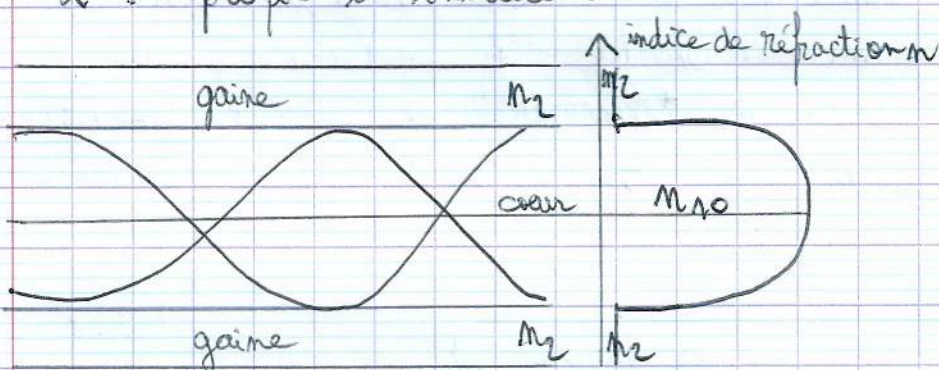
n_{r0} : indice au centre du cœur

a : rayon du cœur

r : position de la fibre par rapport à l'axe

Δ : différence relative

α : profil de l'indice.



BP : 500 Mbits/s pour des réseaux locaux également allant jusqu'à plusieurs centaines de mètres.

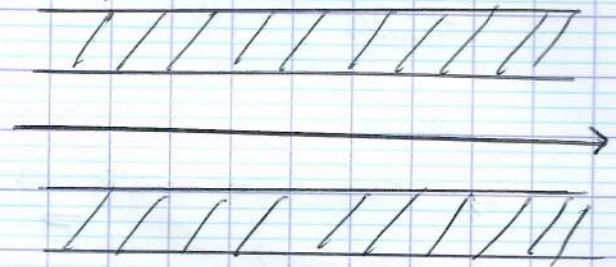
4.2 Fibres monomodes

Le but recherché dans cette fibre est que le chemin doit parcourir le faisceau le plus direct possible

Ici, on ne peut utiliser que des diodes laser. (100 kms sans répétition)
Ce sont les fibres les plus chères mais les plus performantes.
BP: 1000 Mbits/s.

→ On peut utiliser une technique de multiplexage en longueur d'onde

Q du cœur
 $\approx 10 \mu m$



Capitulatif:

Multimodes : Facile à mettre en œuvre, Faible prix, Faible
↳ S.I : distance ; pertes ; distorsions
↳ G.I : Bonne qté de transmission ; BP difficile à mettre en œuvre
Monomodes : BP $\uparrow$; aucune distorsion, raisonnable ; prix élevé.
et atténuation

V Dispersion/dans les fibres optiques

Le signal qui entre dans la fibre subit une dispersion (sig. défamé)
Dispersion dans les fibres multimodes : dispersion intermodale
dû aux $\neq$ vitesses de propagation des modes.

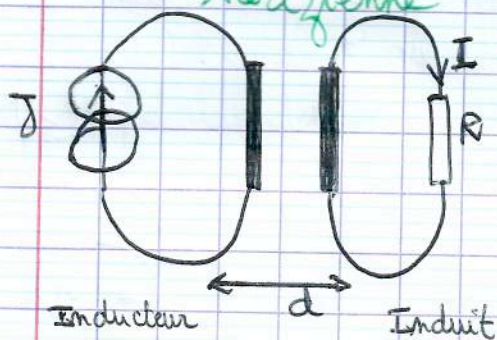
dispersion = le signal s'élargit. Les fibres à saut d'indice
ont $\downarrow$ dispersion $\rightarrow$ aux fibres à gradient d'indice (car vitesses $\neq$)

- Dispersion dans les matériaux
- Diffusion de Rayleigh / nature intrinsèque principalement due aux ions OH^- .

Compte tenu de l'atténuation et de la dispersion des F.O mais des composants optoélectroniques, on définit plusieurs fenêtres de transmission. Il $\exists$ 3 fenêtres principales en fonction des pics d'atténuation ; définit pour une diffusion et atténuation minimale.

CHAPITRE IV : Propagation en espace libre et

Principe de la transmission hertzienne



∀ d, Si J est variable dans le temps, un courant $i \neq J$ circulera dans l'induit. Il y a donc bien transfert d'NRJ.

Notions de champs et d'induction

↳ Forme électrique :

↳ champ $\vec{E}$ avec $|\vec{E}|$ en volt/m

↳ Induction électrique $\vec{D}$ $|\vec{D}|$ en coulomb/m

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \times 10^9} \text{ (F/m)}$$

↳ Forme magnétique

Champ magnétique $\vec{H}$, $|\vec{H}|$ en ampère/m

Induction magnétique $\vec{B}$, $|\vec{B}|$ en tesla/m

$$|\vec{B}| = \mu_0 |\vec{H}|, \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

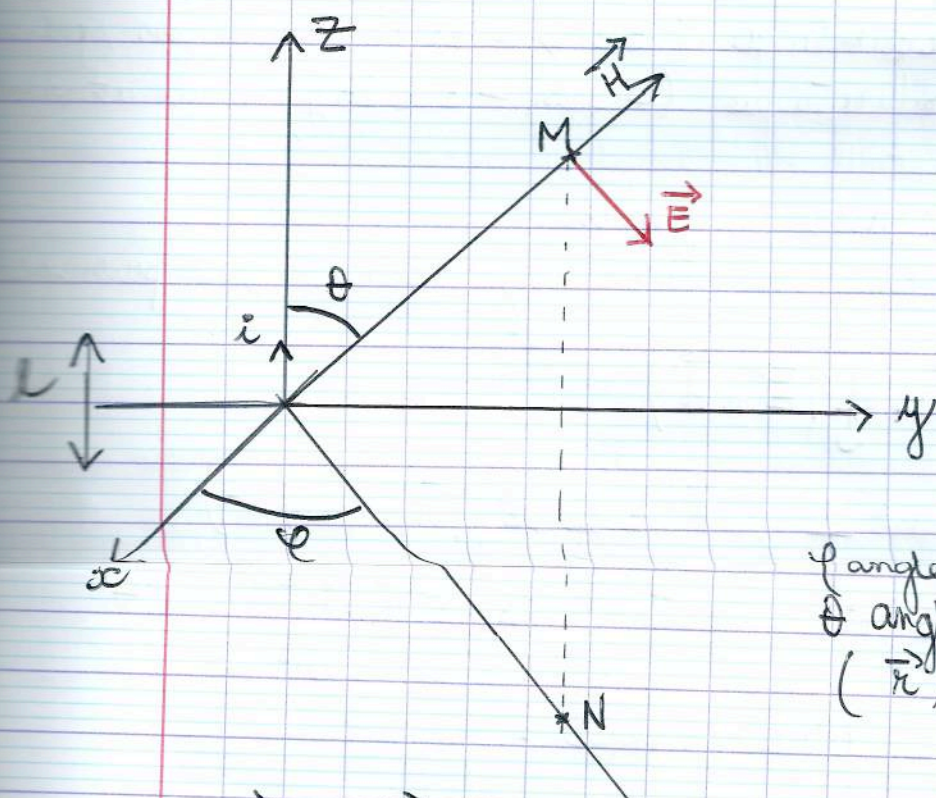
L'ensemble $(\vec{E}, \vec{H})$. On définit l'impédance du vide

$$\left| \frac{\vec{E}}{\vec{H}} \right| = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi$$

Ce sont les équations de Maxwell qui définissent les valeurs des vecteurs. Si on se place au régime sinusoïdal, pulsation ω à la distance d de l'antenne de réception. Distance axe z grande.

$$\vec{E} \begin{cases} E_r = 0 \\ E_\theta = j \frac{\pi \epsilon l \sin \theta}{\lambda^2 \epsilon_0 \omega} \times \frac{1}{d} e^{-j \frac{2\pi d}{\lambda}} \\ E_\varphi = 0 \end{cases}$$

$$\vec{H} \begin{cases} H_r = 0 \\ H_\theta = 0 \\ H_\varphi = \frac{il \sin \theta}{2\lambda} \frac{1}{d} e^{-j\frac{2\pi d}{\lambda}} \end{cases}$$



φ angle (Ox, OM)
 θ angle (Oz, OM)
 $(\vec{r}, \vec{\theta}, \vec{\varphi})$

$$|\vec{E}| = |\vec{E}_\theta| = \frac{60 \pi i l}{\lambda d} |\sin \theta|$$

$$|\vec{H}| = |\vec{H}_\varphi| = \frac{il}{2\pi d} |\sin \theta|$$

II. Caractérisation d'une antenne

Une antenne d'émission est un dispositif qui assure la transmission entre un émetteur et l'espace libre, réciproquement une antenne de réception est un dispositif qui assure la transmission d'ondes EM de l'espace libre vers le récepteur.

→ onde kilométrique et hectométrique

(30 kHz - 300 kHz)

(300 kHz - 3000 kHz)

Pour la radio diffusion à modulation d'A. ou liaisons sous-marine.

- ↳ onde décimétrique (3 MHz - 30 MHz)
- ↳ onde métrique (30 MHz - 300 MHz) : radiodiff. modul. Fréq.
- ↳ onde décimétrique (300 MHz - 3000 MHz) : TV, radars, mobile
- ↳ onde centimétrique (30 GHz - 300 GHz) = liaisons spatiales
- ↳ // millimétrique (300 GHz - 3000 GHz) : radio astronomie

2.1 Puissance rayonnée

Vecteur de Poynting ; Densité de puissance

$$\vec{P} = \frac{1}{2} (\vec{E} \wedge \vec{H})$$

$$\vec{E} \text{ et } \vec{H} \text{ sont } \perp, \quad \vec{P} = \frac{1}{2} |\vec{E}| |\vec{H}| \quad (\text{W/m}^2)$$

$$\text{Pour un doublet de Hertz : } P = \frac{15 \pi I_0^2 l^2 \sin^2 \theta}{\lambda^2 r^2}$$

La puissance totale rayonnée :

$$P = \iint_{\Omega} P \, dS \quad \Rightarrow \quad P = 40 \left(\frac{\pi I_0 l}{\lambda} \right)^2$$

2.2 Diagramme de directivité ; diagramme de rayonnement

2.2.1 Diag. de rayonnement

C'est un diag. qui représente les variations de la puissance que rayonne l'antenne par unité d'angle solide dans les $\neq$ directions de l'espace.

Soit $P(\theta, \varphi)$ = puissance que rayonne l'antenne autour de la position (θ, φ) , et on aura une direction qui sera max : $\Delta_0(\theta_0, \varphi_0)$.

$$\Rightarrow \eta(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_0(\theta_0, \varphi_0)}$$

2.3 Gain

gain = $\frac{\text{densité de puissance dans la direction où elle est max.}}{\text{densité de puissance si l'antenne était isotrope}}$

$$= \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{isotrope}}}$$

gain = $\frac{\text{Puissance que devrait avoir l'antenne avec une antenne isotrope.}}{\text{Puissance de l'émetteur avec une antenne}}$

Pour un dipôle $\lambda/2$: gain = 1,64 $\Rightarrow$ 2,15 dS.

Une antenne d'E. se comporte comme une source par rapport à la charge.
Une antenne de R. se comporte comme une source qui aurait comme résistance interne cette résistance de rayonnement.

2.4 Résistance de rayonnement

$$P = \frac{1}{2} R I_0^2 ; \quad R = 80 \left(\frac{\pi L}{\lambda} \right)^2 \text{ doublet de Hertz.}$$

Antenne : conducteur électrique $\Rightarrow$ effet joule $\Rightarrow$ conducteur calorifique
qu'on peut modéliser par une résistance ohmique.

2.5 Résistance ohmique

2.6 Impédance de l'antenne : $Z_a = R_c$
 $\uparrow$ ligne

$$R_c = 75 \Omega \quad \text{dipôle } \lambda/2$$

$\hookrightarrow$ à 75 Ω , on remarque bien que la partie imaginaire est annulée.

2.7 Surface équivalente

Antenne A et antenne B.

$$G_a / S_a = \frac{4\pi}{\lambda^2} \quad \left. \begin{array}{l} G : \text{le gain} ; S : \text{surface équivalente (valable pour} \\ \text{les antennes paraboliques} ; \lambda : \text{longueur d'onde} \end{array} \right\}$$

$$G = \frac{4\pi S}{\lambda^2} ; S = \frac{\lambda^2 G}{4\pi}$$

Résumé: Une antenne est caractérisée par:

- puissance de directivité, puissance de rayonnement
- son gain
- ses résistances
- rendement
- sa surface équivalente

III Propagation en espace libre

Connaissant P_e (puissance émise), on veut déterminer P_r (puissance reçue). On suppose que les antennes sont bien orientées. Une antenne isotrope par définition ($G_e = 1$) rayonne dans tout l'espace avec la même densité de puissance: $P_{iso} = \frac{P_e}{4\pi d^2}$.

Si l'antenne n'est pas isotrope $\Rightarrow G_e \neq 1$ d'où $P_{max} = P_{iso} G_e = \frac{P_e G_e}{4\pi d^2}$.

$P_e G_e = P_{IRE}$ - Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente.
La puissance reçue $P_r = p S_r$

$$P_r = \frac{P_e G_e S_r}{4\pi d^2}$$

→ distance entre les 2 antennes

$$S = \frac{\lambda^2 G}{4\pi} = \frac{c^2 G}{4\pi f^2} \quad \text{car } \lambda = \frac{c}{f}$$

$$P_r = \frac{P_e G_e c^2 G_r}{16\pi^2 d^2 f^2} = P_r = \frac{P_e S_{re} f^2}{d^2 c^2}$$

Contradiction ici car choix technologiques d'antennes selon la fréquence.

Pour des fréquences faibles ($< 2-3 \text{ GHz}$), les longueurs d'ondes sont $> 30 \text{ cm}$
 pour $1 \text{ GHz} \Rightarrow$ difficile d'utiliser des gains importants en se basant
 sur des surfaces de captation (λ^2)

$\hookrightarrow$ utilisation d'antennes filaires ; sinon antenne paraboliques.
 (λ^2)

Formule pratique d'affaiblissement en espace libre :

$$P_r = P_e G_e G_r \frac{c^2}{16\pi^2 d^2 f^2} = P_e G_e G_r \frac{\lambda^2}{16\pi^2 d^2}$$

A_0 : Affaiblissement en espace libre

$$A_{\text{odB}} = 32,5 + 20 \log d(\text{km}) + 20 \log f(\text{MHz})$$

$$P_r(\text{dBW}) = P_e(\text{dBW}) + G_e(\text{dBW}) + G_r(\text{dB}) - A_{\text{odB}}$$

exemple : Sonde spatiale se trouve à 6 M km de la Terre.

$P_e = 20 \text{ W}$; Gain de son antenne parabolique = 48 dB et
 $f = 8,4 \text{ GHz}$; $G_{\text{edB}} = 10 \log G_e$.

* Densité de puissance rayonnée au niveau de la Terre ?

$$p_r = \frac{P_e G_e}{4\pi d^2} = \frac{20 \times 10^{4,8}}{4\pi \times (6 \cdot 10^{12})^2} = 2,8 \cdot 10^{-21} \text{ W/m}^2$$

* Calcul de la puissance transmise au récepteur si le gain = 70 dB ?

$$P_r = p_r S_r = p_r \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} \quad \text{or} \quad \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{8,4 \cdot 10^9}$$

$$G_r = 70 \text{ dB} = 10^7$$

$$P_r = 2,84 \cdot 10^{-18} \text{ W} \rightarrow S_r = 1015 \text{ m}^2$$

* Affaiblissement de propagation : $\alpha_l = \frac{P_r}{P_e} = G_e G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$

$$\alpha_l(\text{dB}) = G_{\text{edB}} + G_{\text{r dB}} + 10 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

$$= 10 \log \left(\frac{1}{4\pi d} \right) = 20 \log \left(\frac{1}{4\pi d} \right) = -306,5 \text{ dB} = -A_0 \text{ dB}$$

$$\alpha_L = 48 + 70 - 306,5 = -188,5 \text{ dB}$$

IV Onde d'espace - validité de l'espace vide

- La transmission terrestre ne s'effectue jamais en espace libre.
- Sol $\Rightarrow$ Terre conducteur / Mers & Océans conducteurs
- Atmosphère non uniforme avec des couches de caractéristiques
 - Troposphère : 0 - 18 km selon l'altitude
 $\hookrightarrow$ phénomènes importants de réfraction.
 - Stratosphère : ~ 40 km
 $\hookrightarrow$ transparente aux ondes : ni réfraction.
 - Ionosphère : ~ 80 km
 $\hookrightarrow$ divisée en sous-couches de degrés de ionisation $\textcircled{2}$

4.1 Zone de Fresnel

A $\leftrightarrow$ B

Principe de Huygens

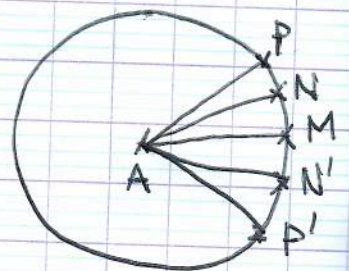
$\rightarrow$ composée de sources élémentaires

A isotrope
sphère équiphas

$$MB = r_0$$

$$NB = r_0 + \lambda/2$$

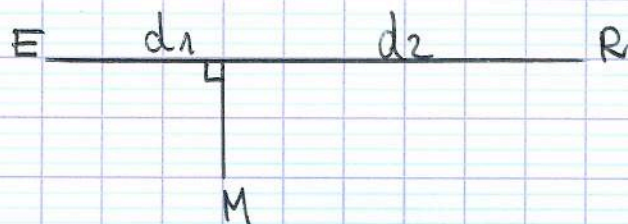
$$PB = r_0 + \lambda$$



Zone S_1 : c'est la première zone de Fresnel qui entre N et N'
(1^{ère} zone de Fresnel).

Une règle dit qu'il suffit de dégager la 1^{ère} zone de Fresnel de tt obstacle pour faire l'approximation de l'espace libre. On va donc pouvoir calculer à quelle hauteur placer des antennes (pour être dans la 1^{ère} zone de Fresnel).

Trace de la 1^{ère} zone de Fresnel



$$EM + MR = (d_1 + d_2) + \lambda/2$$

$$ER = d_1 + d_2 = d$$

$$EM + MR = \sqrt{\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} = \sqrt{\lambda \frac{d_1 d_2}{d}}$$

Cette donnée permet de calculer les altitudes à donner pour les antennes E et R de façon à dégager la 1^{ère} zone de Fresnel.

Une donnée fondamentale est celle du rayon max. qu'on va déterminer pour $d_1 = d_2 = d/2$

$$r_{\max}(1F) = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda d}$$

ex: un réseau régional de transmission de données $f = 2.6 \text{ GHz}$
 envisager des maillons de réseaux (répéteurs émetteurs - récepteurs tous les 10 kms).

* A quelle hauteur faut-il mettre l'antenne pour dégager la 1^{ère} zone de Fresnel?

$$\rightarrow r_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{c}{f} d} \approx 20 \text{ m}$$