

EPFL



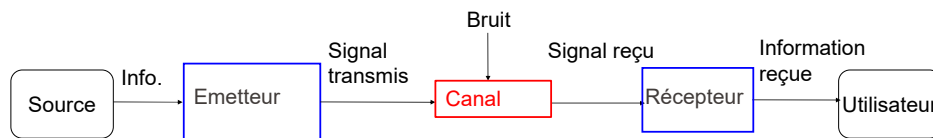
Aspects système

Introduction aux microondes et antennes

■ Ecole polytechnique fédérale de Lausanne

Anja K Skrivervik, STI-IEL-MAG
Anja.skrivervik@epfl.ch

EPFL Liaison sans fils en général



Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 2

EPFL Composants RF d'une liaison

- Canal
- Antennes
- Emetteurs(Récepteurs)

Rayonnement et antennes

Liés par le bilan de liaison

© A.K. Skrivervik 3

EPFL Le canal

- Phénomènes physiques importants liés au milieu (atmosphère)
 - Absorption
 - Réfraction
- Phénomènes physiques importants liés à au terrain (obstacles)
 - Diffraction
 - Réflexion

Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 4

EPFL Formule de Friis: le cas le plus simple

Rayonnement et antennes

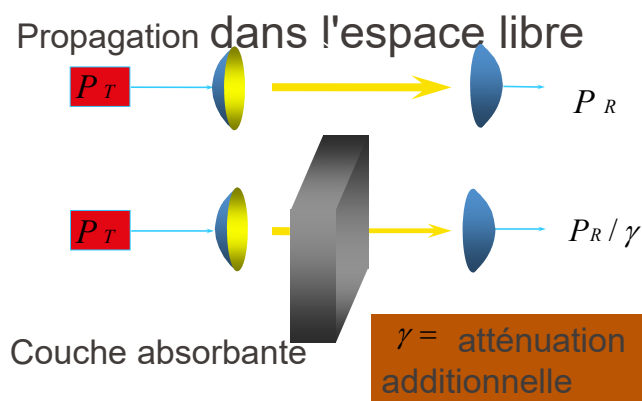
$$P_{re\grave{c}ue} = P_{\acute{e}mise} g_{\acute{e}mission} g_{r\acute{e}ception} \left(\frac{\lambda}{4\pi D} \right)^2$$

canal

© A.K. Skrivervik 5

EPFL Absorption

Rayonnement et antennes

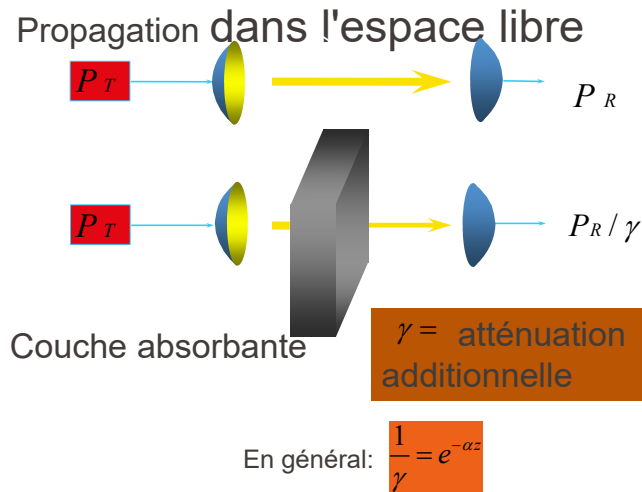


Courtesy, Prof. M. Mondin, Politecnico di Torino

© A.K. Skrivervik 6

EPFL Absorption

Rayonnement et antennes

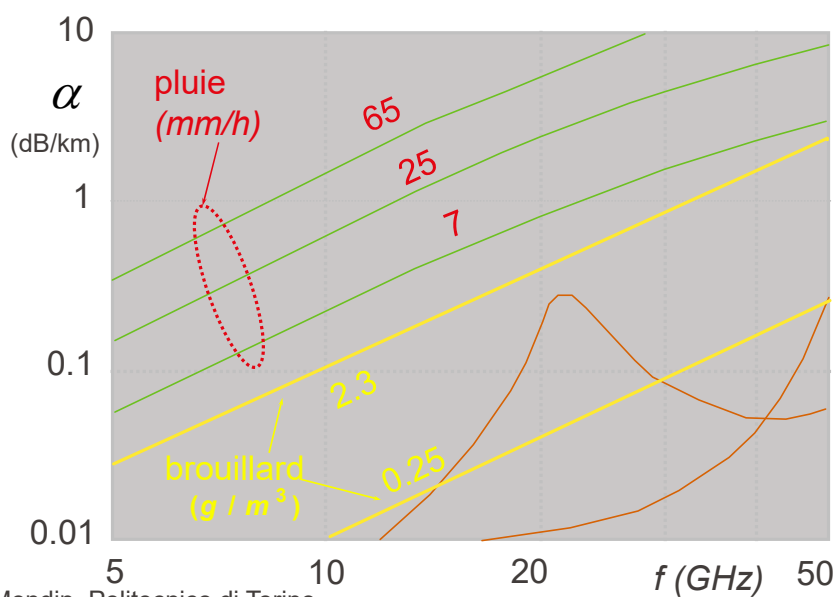


Courtesy, Prof. M. Mondin, Politecnico di Torino

© A.K. Skrivervik 7

EPFL Absorption et diffusion dues à la pluie, le brouillard, etc.

Rayonnement et antennes



Courtesy, Prof. M. Mondin, Politecnico di Torino

© A.K. Skrivervik 8

EPFL Formule de Friis: avec pertes dans l'atmosphère

Rayonnement et antennes

$$P_{re\grave{c}ue} = P_{\acute{e}mise} g_{\acute{e}mission} g_{re\acute{c}eption} \left(\frac{\lambda}{4\pi D} \right)^2 e^{-\alpha D}$$

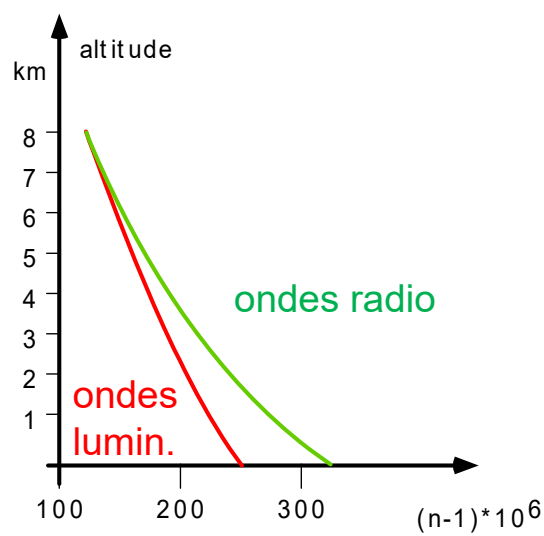


canal

© A.K. Skrivervik 9

EPFL Réfraction dans l'atmosphère

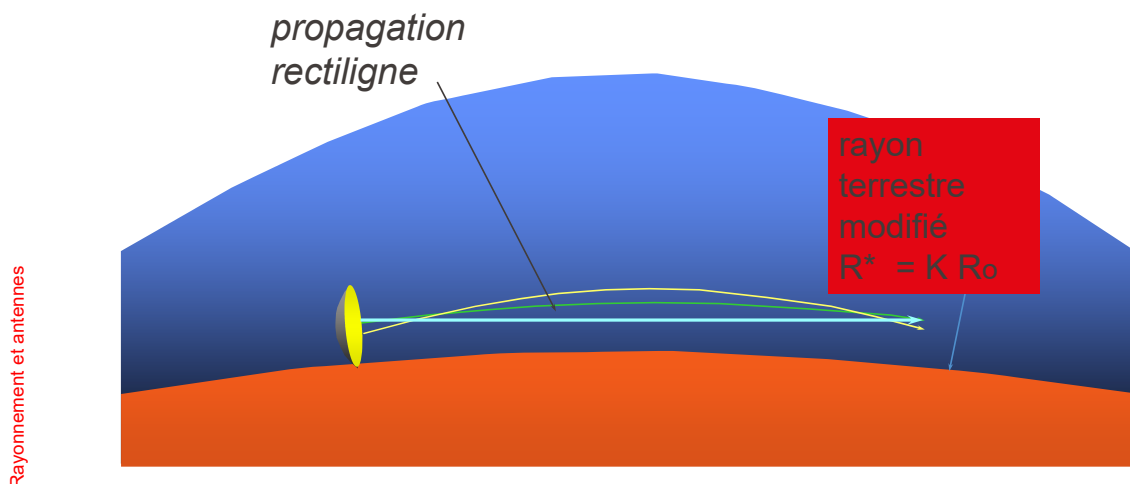
Rayonnement et antennes



© A.K. Skrivervik 10

EPFL

Nous pouvons assumer une propagation *rectiligne* par une modification locale de la géométrie, en particulier la *modification* du rayon de courbature terrestre.



Courtesy, Prof. M. Mondin, Politecnico di Torino

© A.K. Skrivervik 11

EPFL Rayon terrestre modifié

K	Zone	temps
1.33	tempéré	Sans brouillard
1 - 1.33	aride et montagneux	Sans brouillard
0.66 - 1	tempéré	Léger Brouillard
0.5 - 0.66	littoral	Brouillard épais
0.4 - 0.5	tropical, eau	Brouillard et pluie

Rayonnement et antennes

Courtesy, Prof. M. Mondin, Politecnico di Torino

© A.K. Skrivervik 12

EPFL Formule de Friis: longue distance en tenant compte de la réfraction

$$P_{re\grave{c}ue} = P_{\acute{e}mise} g_{\acute{e}mission} g_{r\acute{e}ception} \left(\frac{\lambda}{4\pi D'} \right)^2 e^{-\alpha D'}$$

Rayonnement et antennes

D' calculé en prenant en compte R'

canal

© A.K. Skrivervik 13

EPFL Réflexion et Diffraction

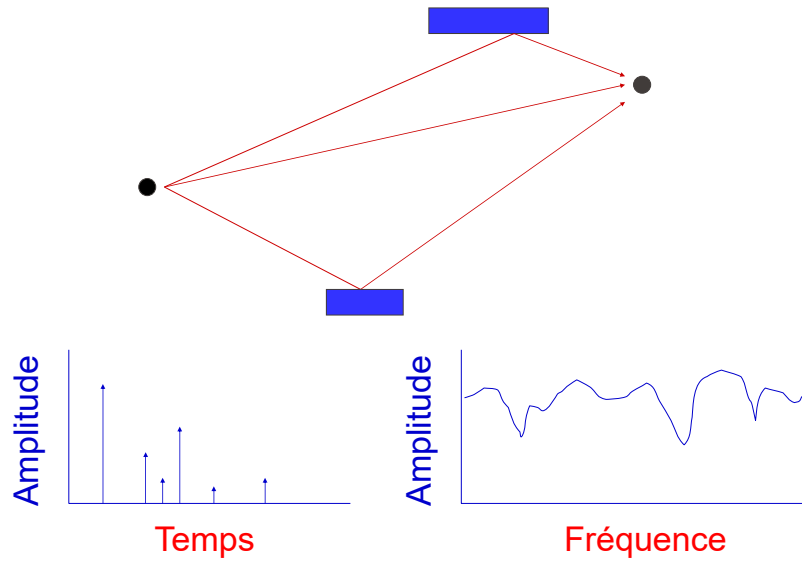
- Sont dues aux obstacles
- L'obstacle devient une source secondaire
- L'onde secondaire interfère avec l'onde primaire

Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 14

EPFL Propagation multivoie

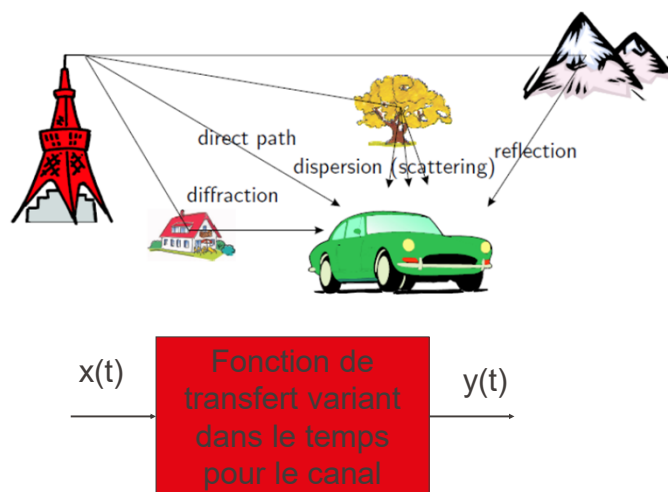
Rayonnement et antennes



© A.K. Skriverik 15

EPFL Le canal mobile

Rayonnement et antennes



© A.K. Skriverik 16

EPFL Formule de Friis

Rayonnement et antennes

$$P_{re\grave{c}ue} = P_{\acute{e}mise} g_{\acute{e}mission} g_{r\acute{e}ception} \left(\frac{\lambda}{4\pi D} \right)^2$$

© A.K. Skrivervik 17

EPFL Path loss (perte de trajet)

Rayonnement et antennes

- La puissance d'une transmission sans fils diminue avec le carré de la distance (à cause de l'augmentation de la surface de la sphère)
- La diminution dépend aussi de la longueur d'onde
 - Les ondes longues (fréquences basses) ont moins de pertes que
 - les ondes courtes (hautes fréquences) qui ont davantage de pertes

$$P_L = \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad \text{Path loss exponent}$$

© A.K. Skrivervik 18

EPFL Path loss (pertes de trajet)

Differents exposants de "path loss" sont utilisés en fonction de l'environnement:

Espace libre	2
Cellule urbaine	2.7 to 3.5
Cellule urbaine ombre (sans visibilité directe)	3 to 5
Intérieur avec visibilité directe	1.6 to 1.8
Intérieur sans visibilité directe	4 to 6
Industriel sans visibilité directe	2 to 3

EPFL Formule de Friis:

Path loss exponent corrigé en fonction de l'environnement

$$P_{re\grave{c}ue} = P_{\acute{e}mise} g_{\acute{e}mission} g_{r\acute{e}ception} \left(\frac{\lambda}{4\pi D} \right)^{PLE} e^{-\alpha D}$$

EPFL Définition

Au sens le plus large, tout signal indésirable qui perturbe l'intégrité et l'intelligibilité d'un signal utile est considéré comme du bruit, Le terme provient de l'analogie avec l'acoustique

Rayonnement et antennes

On distingue:

- les sources de bruit externes à un système
- les sources de bruit internes à un système

© A.K. Skrivervik 21

EPFL Bruit thermique

- Dû aux trajectoires aléatoires des électrons libres dans un matériaux (agitation thermique)
- Est présent dans tout composant actif ou passif opposant une certaine résistance R au passage du courant
- Est étudié par la théorie du corps noir: La densité spectrale de brut émise par un corps noir est proportionnelle à la constante de Boltzman

Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 22

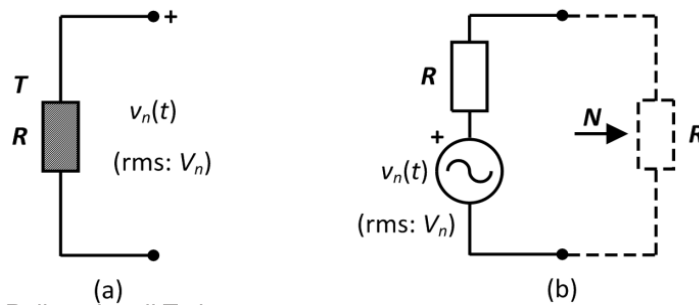
EPFL Bruit thermique

Puissance moyenne de bruit N émise par un corps noir dans la bande de fréquence B :

$$N = KTB \quad [W]$$

$$K = 1.3804 \cdot 10^{-23}$$

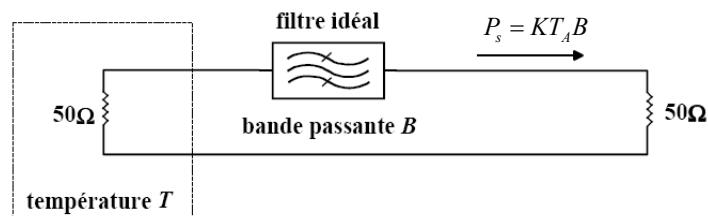
Rayonnement et antennes



Courtesy, Prof. M. Mondin, Politecnico di Torino

© A.K. Skrivervik 23

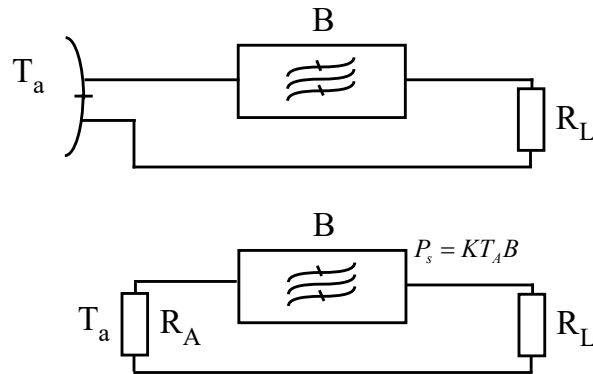
EPFL Bruit thermique délivré à une charge



Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 24

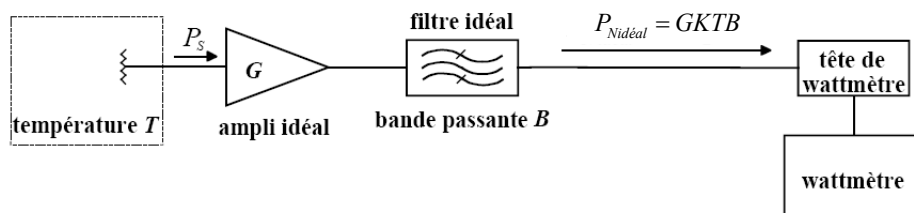
EPFL Bruit thermique d'une antenne



Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 25

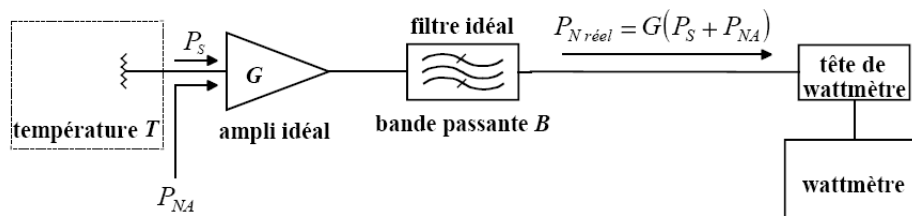
EPFL Amplificateur idéal



Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 26

EPFL Amplificateur réel



Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 27

EPFL facteur de bruit

Le facteur de bruit F (noise figure) est défini comme le rapport de la puissance idéale à la puissance réelle à la sortie d'un composant (amplificateur, atténuateur, récepteur, etc.) connecté à une source à $T_0=290\text{K}$

$$F = \frac{P_{N,\text{réel}}}{P_{N,\text{idéal}}} \Big|_{T_0=290\text{K}} = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{entrée}}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{sortie}}} \Big|_{T_0=290\text{K}} = \frac{S}{GS} \frac{GK(T_0 + T_e)B}{KT_0B}$$

$$F = 1 + \frac{T_e}{T_0}$$

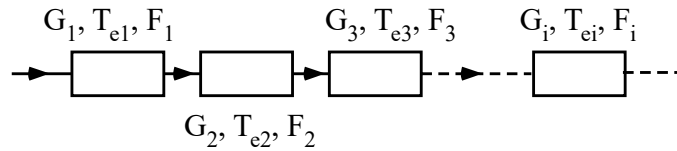
$$T_e = (F - 1)T_0$$

Une définition équivalente est le quotient de rapports signal sur bruit à l'entrée et à la sortie du composant connecté à une source à $T_0=290\text{K}$

Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 28

EPFL Bruit dans une chaîne de biportes



$$T_e = T_{e1} + \frac{T_{e2}}{G_1} + \frac{T_{e3}}{G_1 G_2} + \dots$$

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots$$

Note : le gain peut-être plus grand (amplification) ou plus petit (atténuation) que 1

Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 29

EPFL Bruit dans le domaine des microondes

- Il s'agit en règle général de bruit blanc ergodique
- Il peut donc être représenté par une température équivalente de bruit

Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 30

EPFL Bruit

On définit le bruit capté par l'antenne par sa température équivalente de bruit T_a . La puissance de bruit est alors égale à $P_N = kT_a B$

B: bande passante de l'antenne

K: constante de Boltzmann = $1.33 \cdot 10^{-23}$

Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 31

EPFL Bruit

- Le bruit d'un récepteur est décrit par sa température de bruit, T_r
- Nous devons considérer aussi les contributions au bruit du monde externe, reçu par l'antenne, caractérisé par T_a
- Globalement, le processus lié au bruit est additif, Gaussien, ergodique et blanc (AWGN pour additive white Gaussian noise).

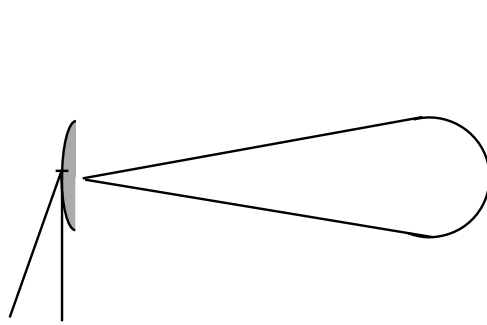
Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 32

EPFL Bruit

- Le bruit ambiant est capté par l'antenne
- le récepteur contribue aussi au bruit

Rayonnement et antennes



Bruit

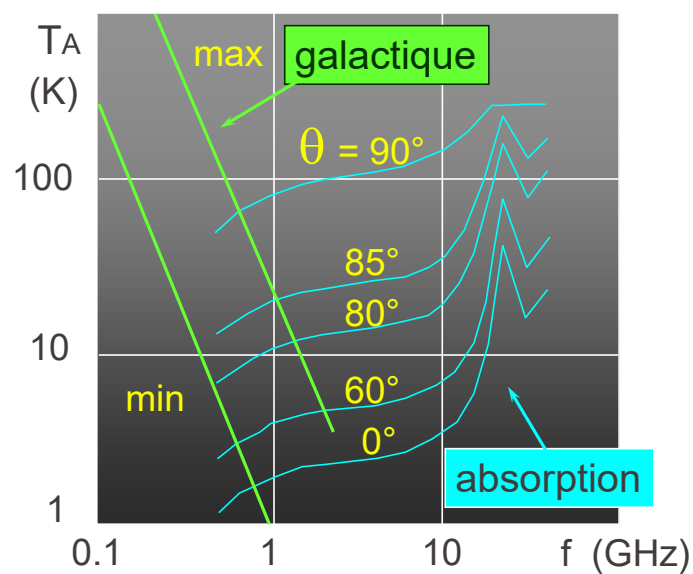
Le bruit capté par l'antenne dépend de

- son orientation
- le gain de l'antenne

© A.K. Skrivervik 33

EPFL Température d'Antenne

Rayonnement et antennes

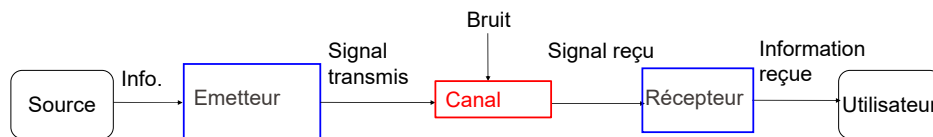


Courtesy, Prof. M. Mondin, Politecnico di Torino

© A.K. Skrivervik 34

EPFL Liaison sans fils générale

Rayonnement et antennes



© A.K. Skrivervik 35

EPFL

Rayonnement et antennes

- ★ Dans une liaison sans fils, l'évaluation des paramètres de la transmission passe par l'évaluation du bilan de liaison
- ★ Le point de départ est toujours l'équation de propagation dans l'espace libre

© A.K. Skrivervik 36

EPFL

Puissance reçue:

Atténuation due à la propagation

$$P_R = P_T G_T \frac{1}{\left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right)^2} G_R = P_T G_T \frac{1}{\alpha_0} G_R$$

En decibel:

$$P_R |_{dBW} = P_T |_{dBW} + G_T |_{dB} - \alpha_0 |_{dB} + G_R |_{dB}$$

$$= \text{EIRP} |_{dBW} - \alpha_0 |_{dB} + G_R |_{dB}$$

Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 37

EPFL

EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power)
ou **PIRE** (Puissance isotrope rayonnée équivalente)

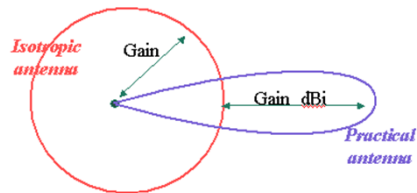
- ★ Est le produit (la somme en unités logarithmiques) de la puissance transmise et du gain de l'antenne d'émission
- ★ Proviens directement de la définition du gain d'une antenne
- ★ Représente la puissance appliquée à l'entrée d'une antenne isotrope pour obtenir la même densité de puissance que dans le cas réel

Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 38

EPFL EIRP (PIRE)

Rayonnement et antennes



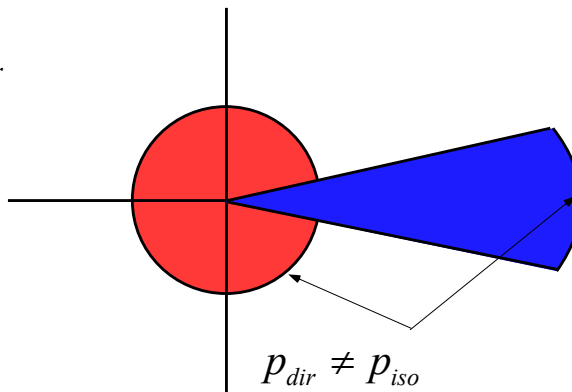
https://cdn.everythingrf.com/live/eirp_isotropic_700.gif

© A.K. Skriverik 39

EPFL EIRP (PIRE)

Rayonnement et antennes

$$P_{iso} = P_{dir}$$



$$p_{dir} \neq p_{iso}$$

$$p_{dir} = p_{iso} \mathcal{G}$$

$$p_{dir} [dB] = p_{iso} [dB] + G [dB]$$

© A.K. Skriverik 40

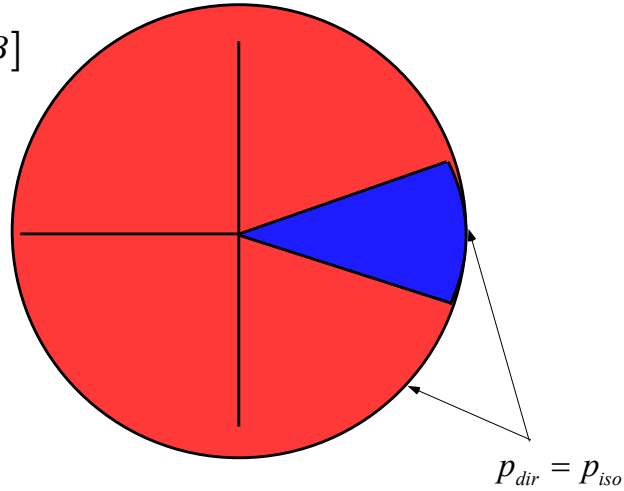
EPFL EIRP (PIRE)

$$P_{iso} \neq P_{dir}$$

$$P_{iso} = P_{dir} g = EIRP$$

$$P_{iso} [dB] = P_{dir} [dB] + G [dB]$$

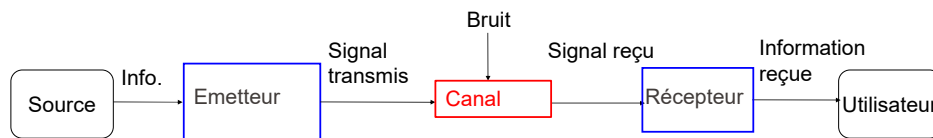
$$= EIRP [dB]$$



Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 41

EPFL Liaison sans fils générale



Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 42

EPFL

Rapport signal sur bruit

- ★ Pour évaluer le niveau relatif du bruit, nous utilisons le rapport suivant:

$$\gamma = \frac{P_R}{N_0}$$

où: P_R = puissance reçue

N_0 = Densité de puis. spectrale de bruit

- ★ Ce rapport est utilisé pour tout système de modulation, analogue ou digital.

Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 43

EPFL

- ★ Le rapport γ a la dimension d'une fréquence; en général cette expression est exprimée en logarithmes (dBHz)
- ★ Le Niveau de densité spectrale N_0 est égal à :

$$N_0 = K T_{op}$$

où K = est la const. de Boltzmann = $1.38 \cdot 10^{-23}$

T_{op} = est la température effective du récepteur ($= T_A + T_R$)

Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 44

EPFL

★ Donc

$$\gamma = \frac{P_R}{N_0} = \frac{P_R}{KT_{op}}$$

Ce qui donne en logarithme:

$$\gamma|_{\text{dBHz}} = P_R|_{\text{dBW}} - 10 \cdot \log_{10} K - 10 \cdot \log_{10} T_{op} + 228.6$$

Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 45

EPFL

★ En substituant l'expression pour $P_R|_{\text{dBW}}$

$$\gamma|_{\text{dBHz}} = \text{EIRP}|_{\text{dBW}} - \alpha_0|_{\text{dB}} + 228.6 + G_R|_{\text{dB}} - 10 \cdot \log_{10} T_{op}$$

$$10 \cdot \log_{10} \frac{G_R}{T_{op}} = \frac{G_R}{T_{op}} \Big|_{\text{dB/K}}$$

D'où:

$$\gamma|_{\text{dBHz}} = \text{EIRP}|_{\text{dBW}} - \alpha_0|_{\text{dB}} + 228.6 + \frac{G_R}{T_{op}} \Big|_{\text{dB/K}}$$

Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 46

EPFL

$$\gamma_{\text{dBHz}} = \text{EIRP}_{\text{dBW}} - \alpha_0_{\text{dB}} + 228.6 + \frac{G_R}{T_{\text{op}}}_{\text{dB/K}}$$

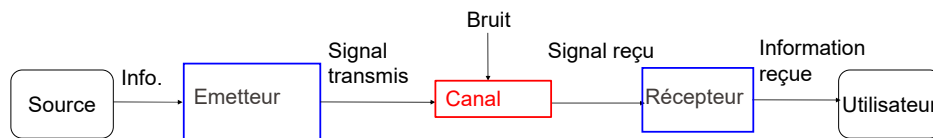
Diagram illustrating the components of the received signal level equation:

- caractéristique de l'Emetteur** (yellow box) points to EIRP_{dBW} .
- Attenuation due à la propagation** (blue box) points to $-\alpha_0_{\text{dB}}$.
- caractéristique du Récepteur** (green box) points to $\frac{G_R}{T_{\text{op}}}_{\text{dB/K}}$.

Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 47

EPFL Liaison sans fils générale



Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 48

EPFL

Rayonnement et antennes

- ★ Le rapport G_R/T_{op} qui apparait sans l'expression pour γ est souvent référé à l'antenne de réception uniquement ce qui est erroné
- ★ En réalité, comme la température effective est utilisée, ce rapport prend aussi en compte le récepteur
- ★ C'est pourquoi ce rapport fait référence à tout le récepteur

© A.K. Skrivervik 49

EPFL

S'il y a plusieurs porteuses

Rayonnement et antennes

- ★ Le paramètre EIRP prend normalement en compte la puissance totale fournie par les amplis de puissance de l'émetteur
- ★ Dans le cas où les amplis de puissance supportent Plusieurs porteuses, chacune aura une puissance

$$P_T/N$$

En supposant une distribution optimale de la Puissance

© A.K. Skrivervik 50

EPFL

- ★ Pour calculer γ pour chaque porteuse le bilan de puissance doit être modifié:

$$\gamma|_{\text{dBHz}} = \text{EIRP}|_{\text{dBW}} - \alpha_0|_{\text{dB}} + 228.6 + \frac{G_R}{T_{\text{op}}}|_{\text{dB/K}} - 10 \cdot \log_{10} N$$

Prend en compte
la présence de
N porteuses

Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 51

EPFL

Utilisation du paramètre γ

- a) Pour le cas d'une transmission **digitale** on s'intéresse aux valeurs de $\eta = E_b/N_0$

- ★ Avec la relation suivante:

$$E_b = P_R T_b = P_R / R_b \quad \text{Energie par bit}$$

R_b = data rate en bit/s

- ★ Donc:

$$\eta|_{\text{dB}} = \gamma|_{\text{dBHz}} - 10 \cdot \log_{10} R_b$$

Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 52

EPFL

Utilisation du parametre γ

b) Dans le cas d'une transmission **analogique** ce qui compte est le rapport signal sur bruit global défini comme P_R/P_N où P_N est la puissance totale de bruit

★ Nous avons: $P_N = N_0 B_R$

B_R = la bande passante du récepteur en Hz

★ Donc:

$$\left. \frac{P_R}{P_N} \right|_{\text{dB}} = \gamma_{\text{dBHz}} - 10 \cdot \log_{10} B_R$$

Rayonnement et antennes

© A.K. Skrivervik 53

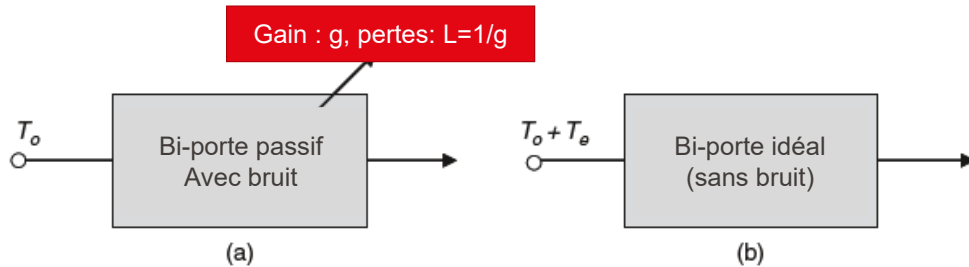
EPFL

Rayonnement et antennes

**Lien entre
atténuation et
bruit**

EPFL Lien entre bruit et atténuation

Rayonnement et antennes



© A.K. Skrivervik 55

EPFL Lien entre atténuation et bruit

Rayonnement et antennes

Dans le cas a), la puissance de bruit vaut: $N_{a0} = KT_0B$

Dans le cas b), la puissance de bruit vaut: $N_{b0} = gK(T_0 + T_e)B = \frac{K(T_0 + T_e)B}{L}$

Mais la puissance de bruit est la même dans les deux cas, donc $KT_0B = \frac{K(T_0 + T_e)B}{L}$

Et $T_e = (L-1)T_0$ Finalement: $F = L$

© A.K. Skrivervik 56