

Notions d'Antennes et Propagation

Jean-Jacques Laurin, PhD, Ing.

Département de génie électrique

École Polytechnique de Montréal

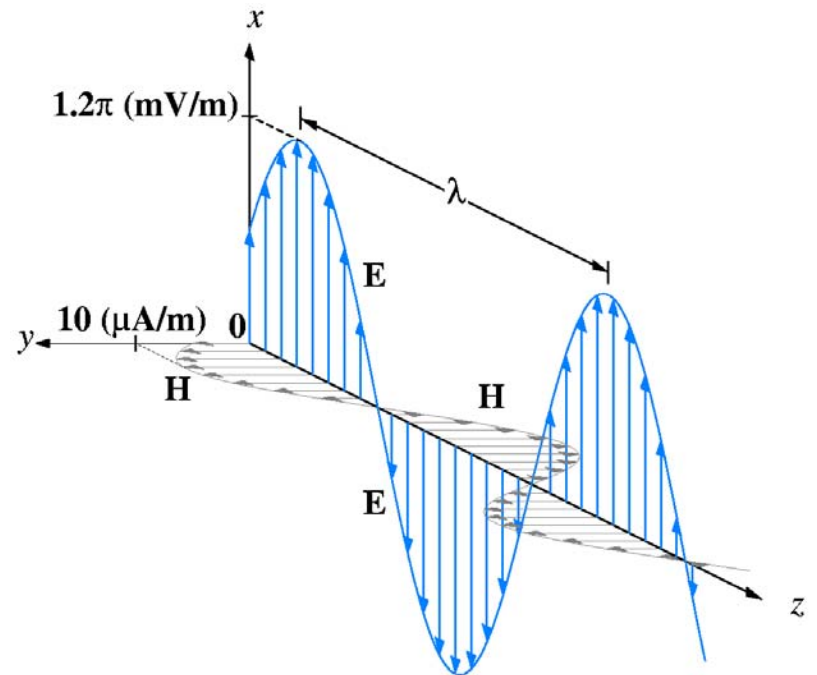
Plan de la présentation

1. Ondes électromagnétiques
2. Fréquences radio FM et TV
3. Antennes
4. Propagation
5. Limites d'exposition

1a. Ondes électromagnétiques

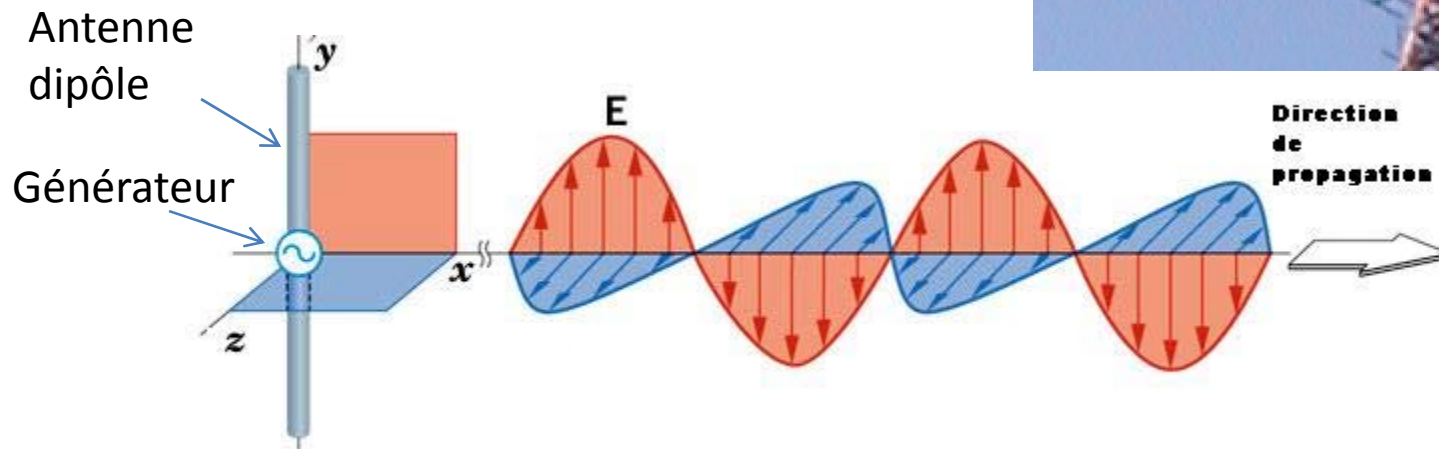
- Contient champ électrique E et champ magnétique H perpendiculaires
- E et H sont perpendiculaires à la direction de propagation
- λ : longueur d'onde

$$\lambda = \frac{\text{vitesse de la lumière}}{\text{fréquence}}$$



1b. Ondes électromagnétiques

- Polarisation: linéaire verticale, linéaire horizontale, circulaire, elliptique
- Type de la polarisation dépend de l'orientation des antennes



1c. Ondes électromagnétiques

- Densité de puissance de l'onde:

$$P = \frac{E^2}{377} = H^2 \times 377$$

- P: densité de puissance: watt/m²
- E: intensité du champ électrique: volt/m
- H: intensité du champ magnétique: ampère/m
- E et H son liés: $E = 377 \times H$

2. Fréquences radio FM et TV

Télévision VHF:

Canaux 2 à 6: 54 à 88 MHz

Canaux 7 à 13: 174 à 216 MHz

Télévision UHF:

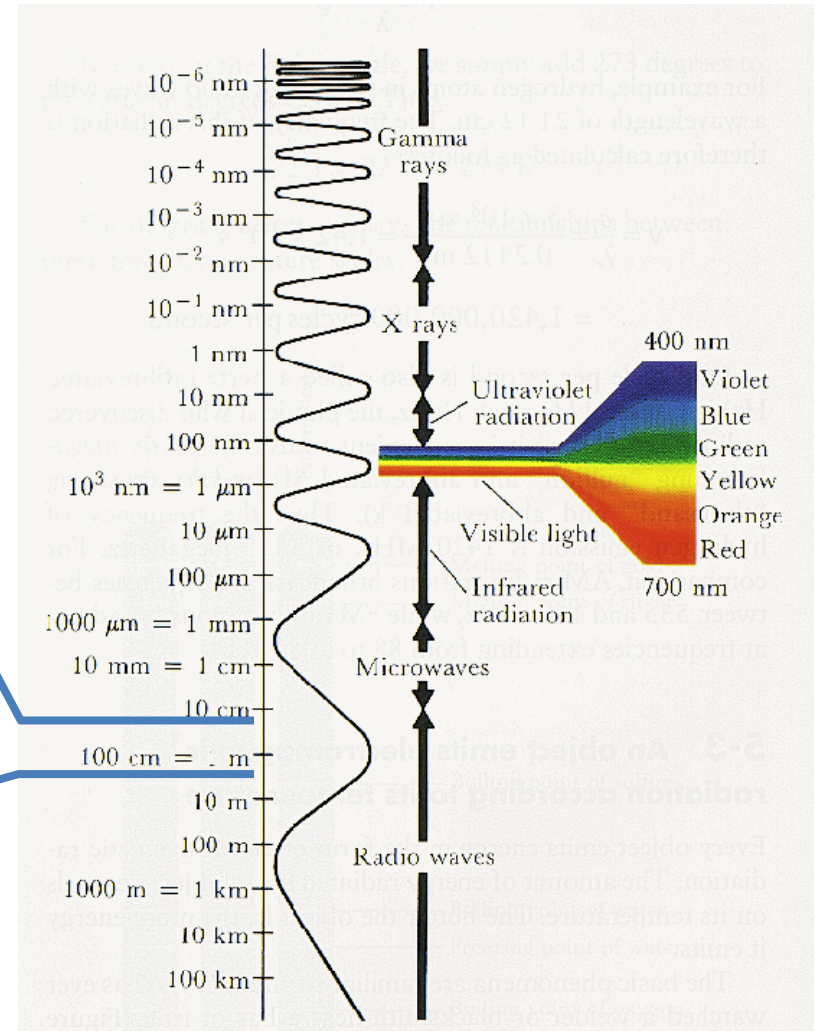
Canaux 14 à 69: 470 à 806 MHz

Radio FM analogique:

100 canaux disponibles
entre 88 MHz et 108 MHz

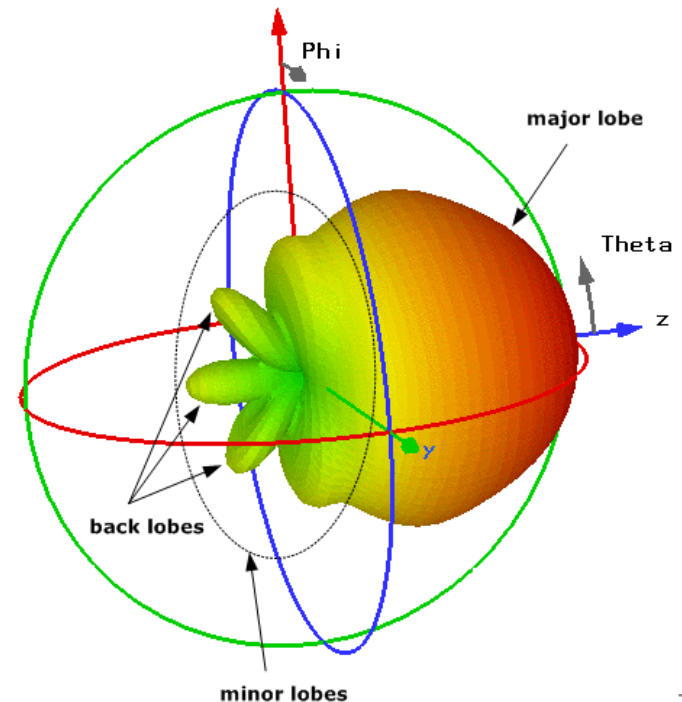
Radiodiffusion numérique:

1452-1492 MHz



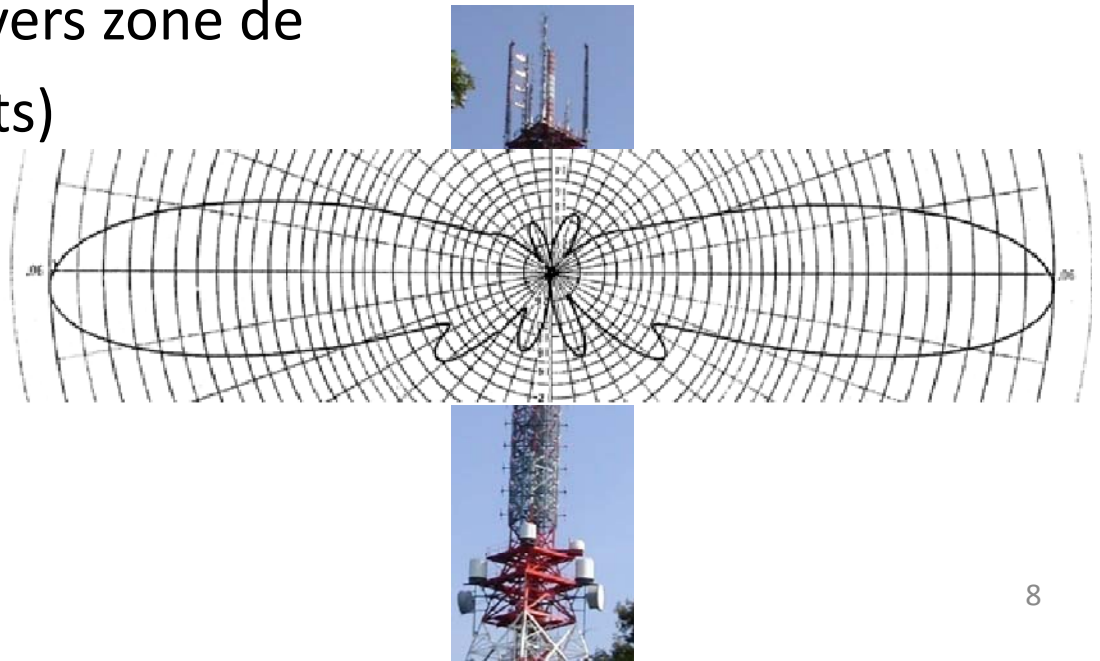
3a. Antennes

- L'intensité de rayonnement d'une antenne varie en fonction de:
 - La distance r :
 - P proportionnel à $1/r^2$
 - E proportionnel à $1/r$
 - La direction de propagation



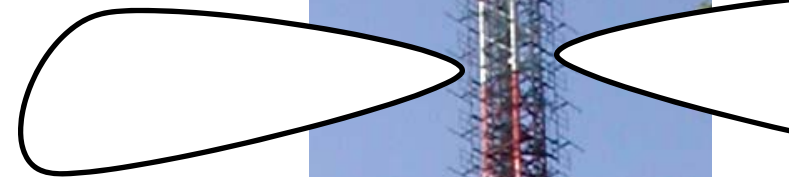
3b. Antennes

- Pour une antenne de radiodiffusion typique le rayonnement est
 - Omnidirectionnel en azimut
 - Directionnel en élévation:
Faisceau orienté vers zone de Couverture (clients)



3c. Antennes

- Réseau de plusieurs éléments permet de:
 - mieux orienter le faisceau vers la zone de couverture désirée;
 - perdre moins de puissance vers le ciel ou vers le sol proche.
- Ajouter des éléments requiert une tour plus longue



8 éléments



6 éléments

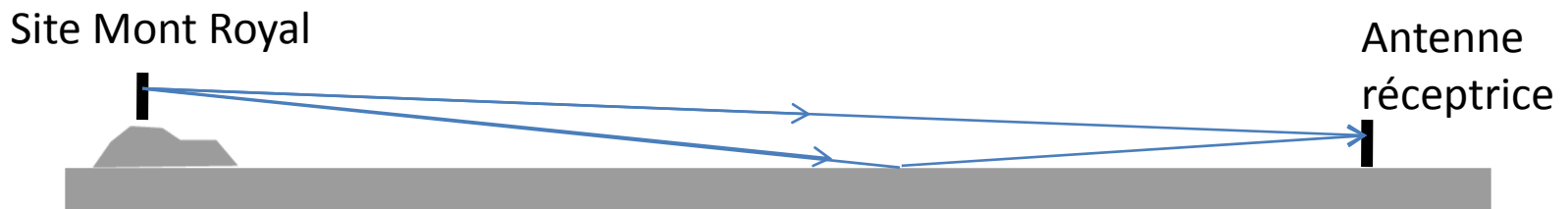


4a. Propagation

- Champ proche réactif:
 - E proportionnel à $1/r^2$ et $1/r^3$
 - $r < \lambda$; pire cas $r \approx 5$ mètres
- Champ proche en rayonnement
 - E proportionnel à $1/r$
 - $r < 2 \times (\text{taille antenne})^2 / \lambda$; pire cas $r \approx 250$ mètres
 - faisceau pas tout à fait formé
- Champ lointain en rayonnement
 - E proportionnel à $1/r$

4b. Propagation – effet du sol

- Pour $r <$ quelques kilomètres de l'antenne on a bien que $E \approx K_1 / r$
- Pour distances plus grandes la réflexion des ondes sur le sol réduit E considérablement car:
 - Interférence entre rayon direct et rayon réfléchi



4c. Propagation – effet du sol

- À cause du sol, à grandes distance on a que:

$$E \approx K_2 \times h_{\text{émetteur}} \times h_{\text{récepteur}} / r^2$$

- Conséquences:
 - Champ diminue plus rapidement avec la distance
 - Meilleure réception si on augmente la hauteur de son antenne réceptrice : $h_{\text{récepteur}}$
 - Plus grande zone de couverture si on augmente la hauteur de l'antenne émettrice $h_{\text{émetteur}}$ ou...
 - Augmenter $h_{\text{émetteur}}$ permet de réduire la puissance de l'antenne émettrice → incidence sur licence de radiodiffusion

4d. Propagation

27-6

Applications

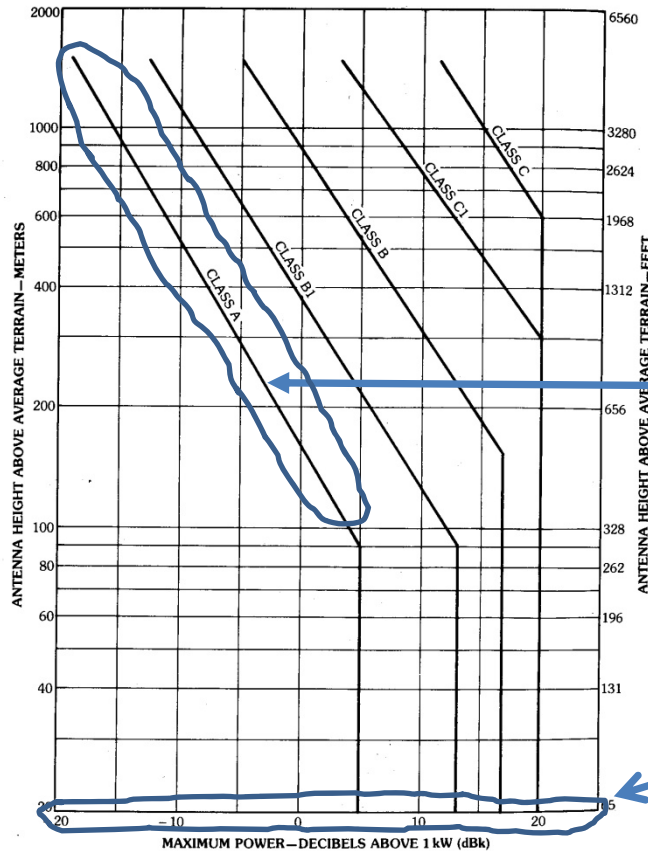


Fig. 3. Maximum effective radiated power versus antenna height for fm stations.

Base de l'antenne
du Mont Royal:
environ 210 m au-dessus
fleuve

ERP:
Puissance rayonnée effective
spécifiée au diffuseur
par le CRTC (FCC aux É-U)

- Donc: **compromis entre pollution visuelle et intensité des champs au voisinage immédiat de l'antenne** i.e.
- Antenne moins élevée requiert plus de puissance et produit un rayonnement plus fort au sol autour de l'antenne.

5a. Limites d'exposition

- Limites d'exposition humaines aux champs radiofréquences régies par le *Code de sécurité 6 de Santé Canada*
- Limites prescrites pour le grand public:

Fréquence (MHz)	Limite du champ E (volt/m)	Limite du champ H (amp./m)	Limite de puissance P (watt/m ²)
30 - 300	28	0,073	2
300 - 1500	$1,585 f^{0,5}$	$0,0042f^{0,5}$	$f/150$

NB: f est la fréquence donnée en unités de MHz

5b. Limites d'exposition

- Relation entre ERP de l'antenne et la densité de puissance reçue maximale:

$$P = \text{ERP} / (4 \times \pi \times r^2)$$

NB: ici ERP est en unités de watts

Conversion de dBk à watt:

$$\text{ERP (watt)} = 1000 \times 10^{\text{ERP(dBk)}/10}$$

5c. Limite d'exposition – exemple 1

- Hypothèses:
 - ERP = 0 dBk
 - Fréquence < 300 MHz
 - Distance à l'antenne $r = 100$ mètres
- Calculs
 - ERP en watts = $1000 \times 10^{0/10} = 1000$ watts
 - $P = 1000 / (4\pi r^2) = 1000 / (4\pi \times 10\,000) =$
 $= 0,008$ watt/m²
- Limite code 6: 2 watts/m²
- La limite est largement respectée

5d. Limite d'exposition – exemple 2

- Quelle est la distance sécuritaire à l'antenne dans le « pire » des cas?
- Hypothèses:
 - On se trouve au maximum du faisceau principal de l'antenne, donc très haut;
 - ERP maximum permis de 20 dBk;
 - Fréquence < 300 MHz;
 - Un seul émetteur transmet et les autres sont éteints.

5e. Limite d'exposition – exemple 2 (suite)

- Le ERP en watts est de $1000 \times 10^{20/10}$
= 100 000 watts
- À la limite du Code 6 on a $P = 2 \text{ watts/m}^2$
- Donc:
$$r = \sqrt{\frac{\text{ERP}}{2 \times 4\pi}} = 63 \text{ mètres}$$
- La limite est respectée pour $r > 63 \text{ mètres}$

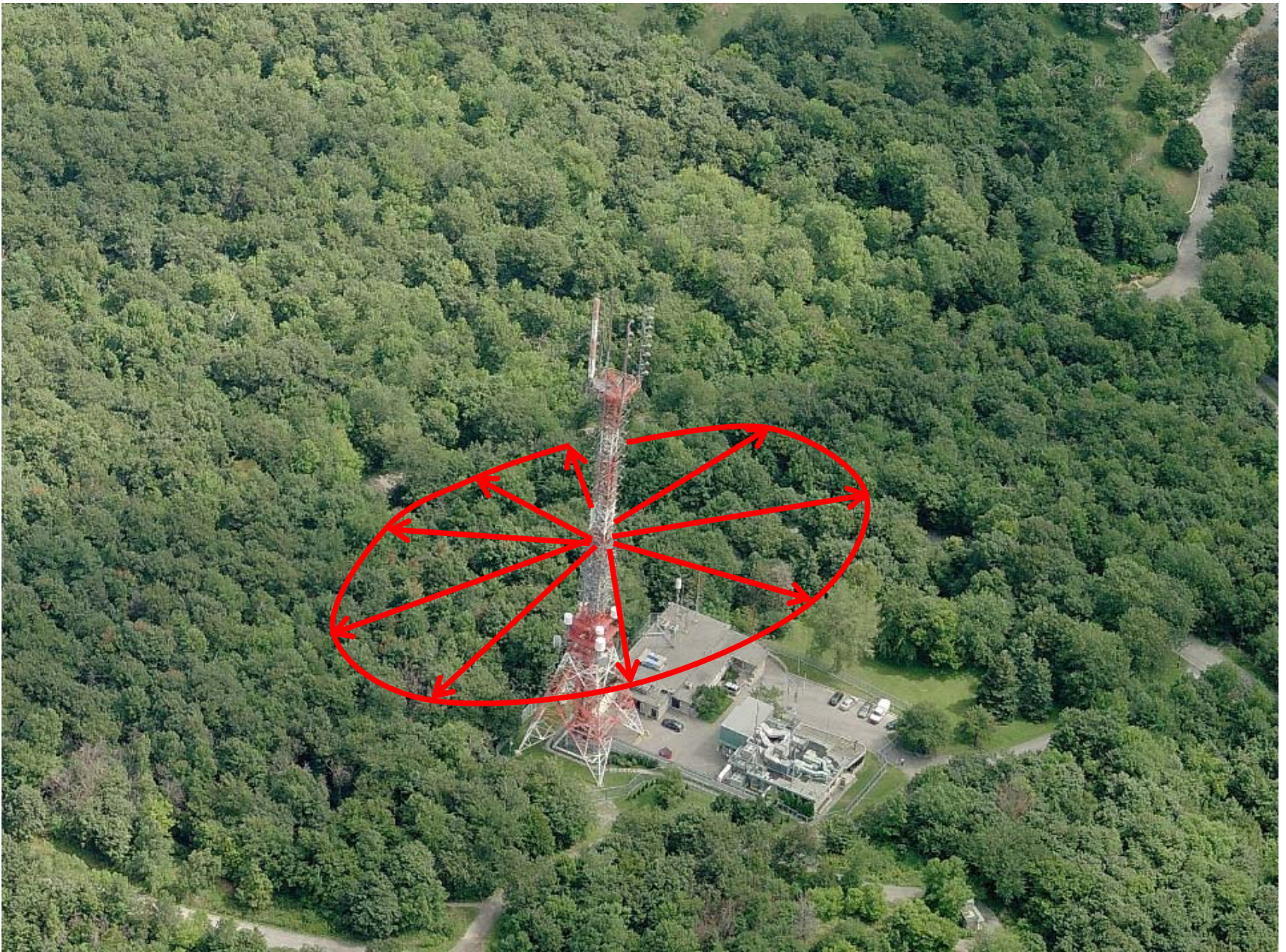


Ligne Trajet

Longueur : 63,00 Mètres

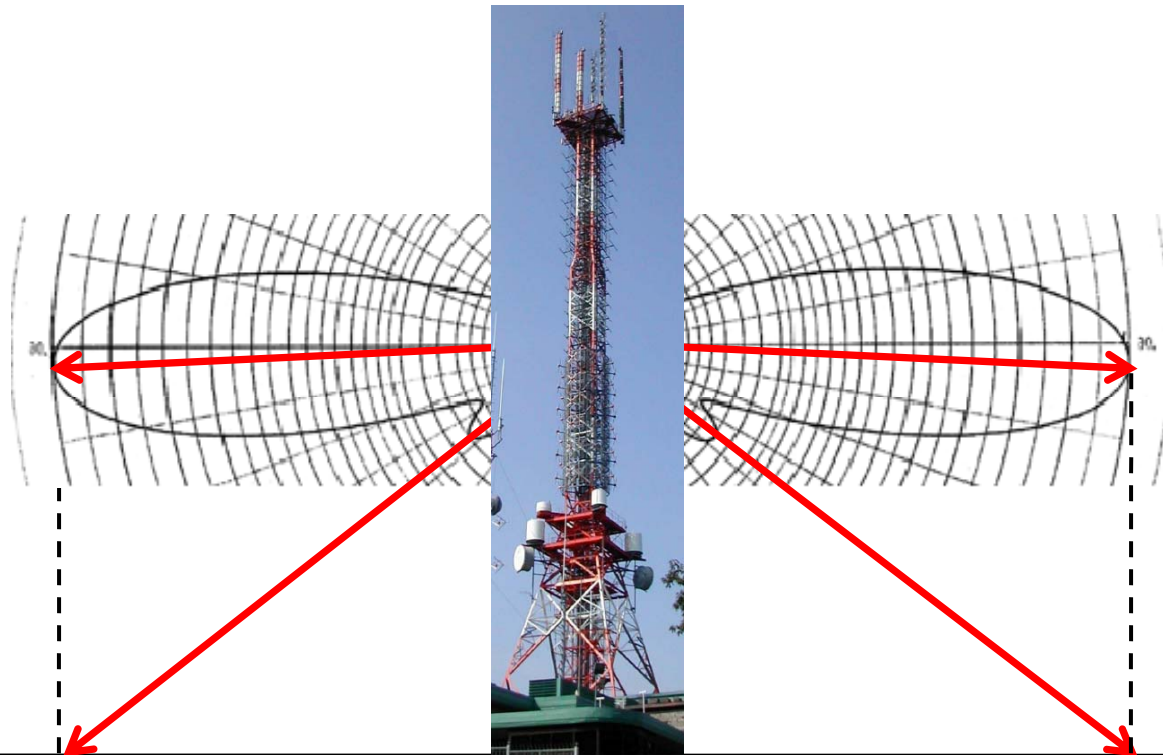
Navigation à la souris Effacer





5. Limites d'exposition – exemple 2

- NB: due à la forme du faisceau, et à la plus grande distance parcourue, les champs au sol à 63m de l'antenne sont beaucoup plus faibles



**Merci de votre
attention!**