

# Notions d'Antennes et Propagation

Jean-Jacques Laurin, PhD, Ing.  
Département de génie électrique  
École Polytechnique de Montréal

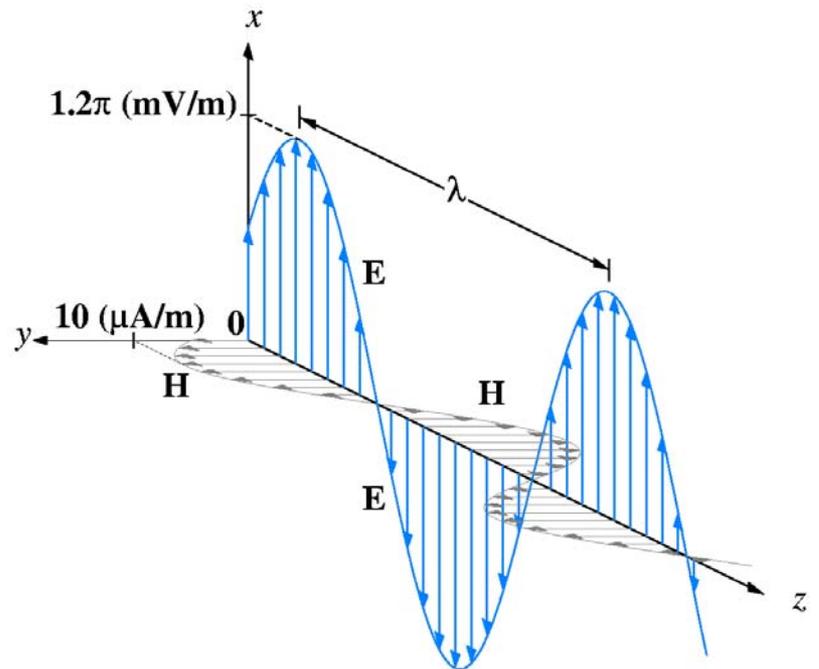
# Plan de la présentation

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

# 1a. Ondes électromagnétiques

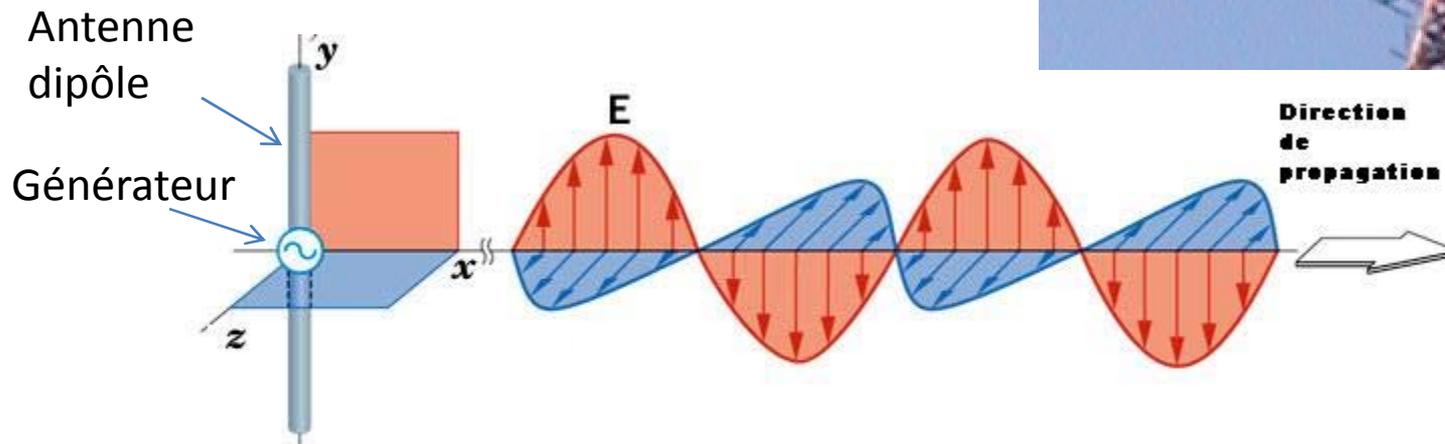
- Contient champ électrique  $E$  et champ magnétique  $H$  perpendiculaires
- $E$  et  $H$  sont perpendiculaires à la direction de propagation
- $\lambda$  : longueur d'onde

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



# 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/m<sup>2</sup>
- 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:

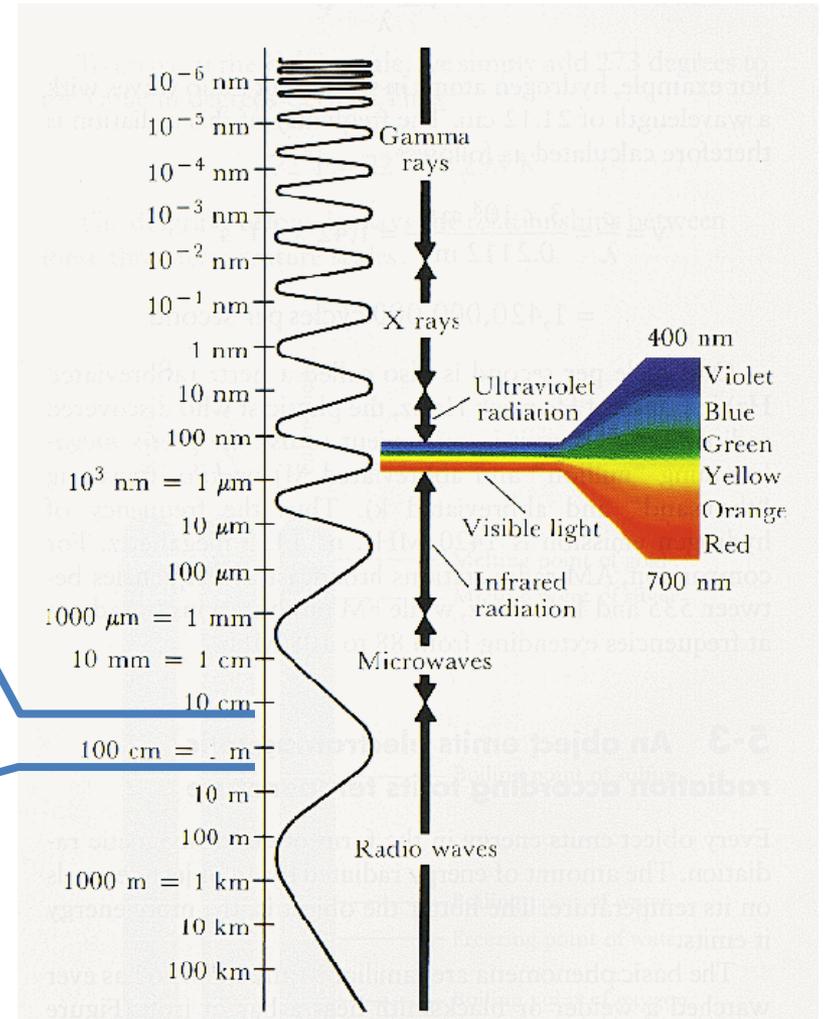
Canaux 14 à 69: 470 à 806 MHz

Radio FM analogique:

100 canaux disponibles  
entre 88 MHz et 108 MHz

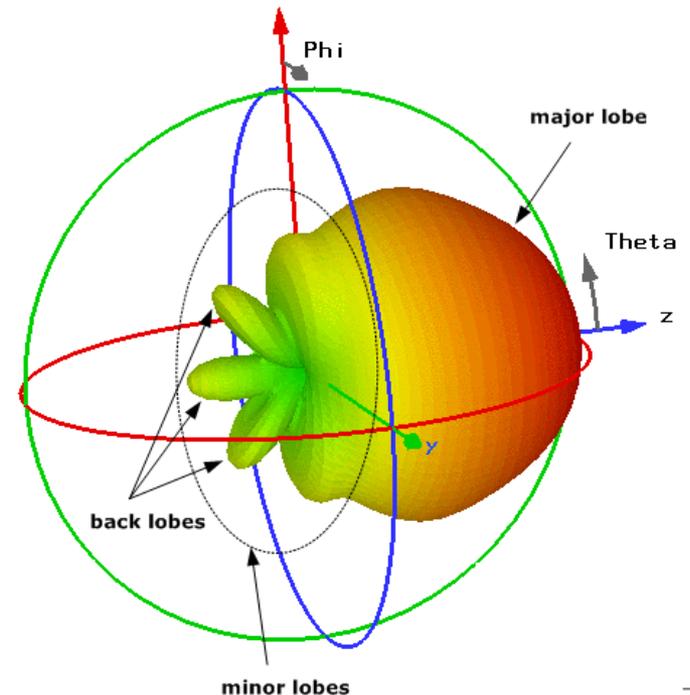
Radiodiffusion numérique:

1452-1492 MHz



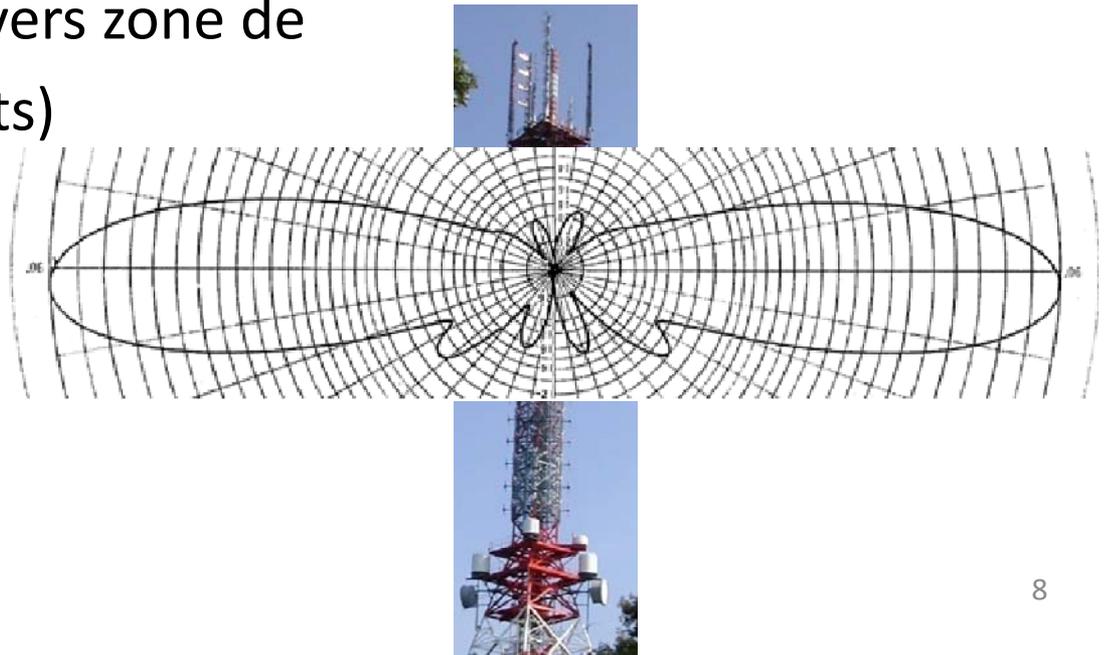
# 3a. Antennes

- 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



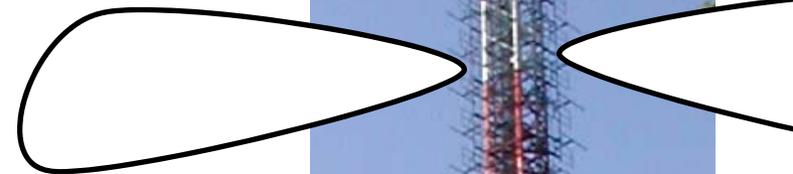
# 3b. Antennes

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

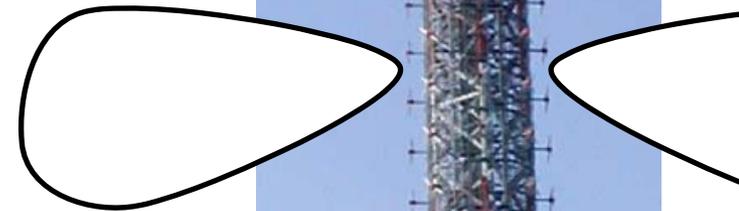


# 3c. Antennes

- 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

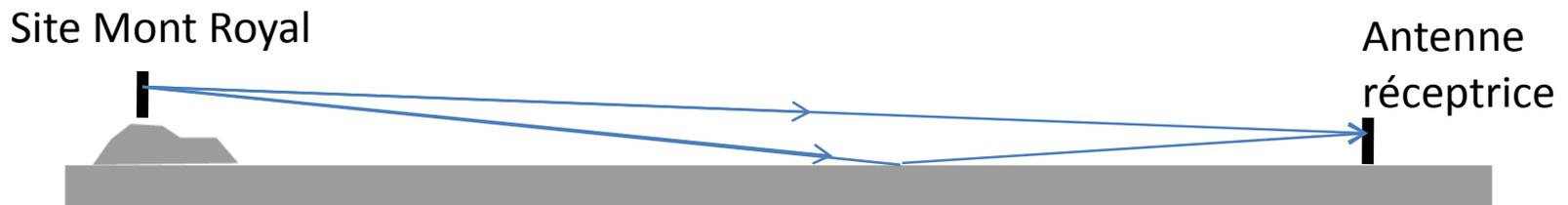


# 4a. Propagation

- 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

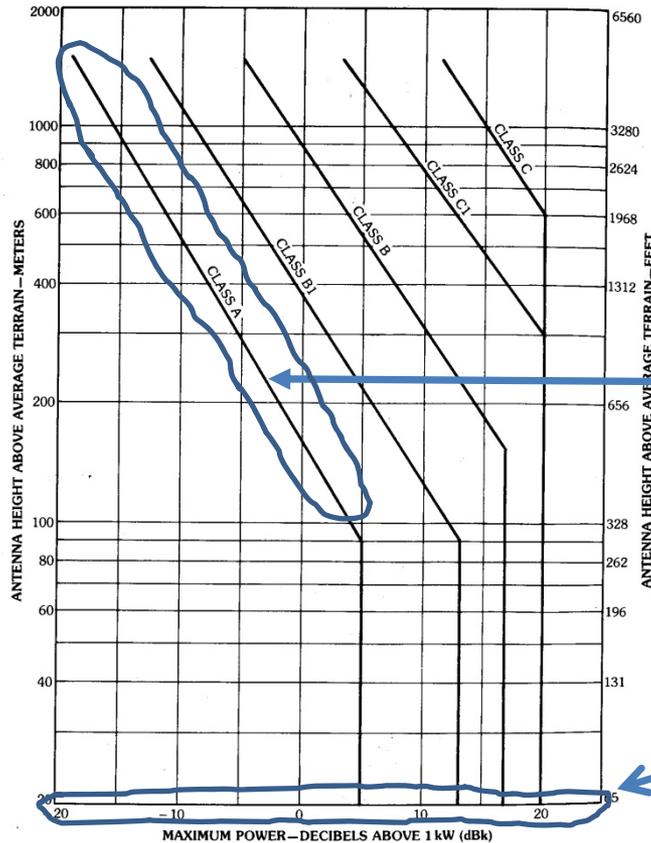


Fig. 3. Maximum effective radiated power versus antenna height for fm stations.

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 <sup>2</sup> )
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/m<sup>2</sup>
- Limite code 6: 2 watts/m<sup>2</sup>
- 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

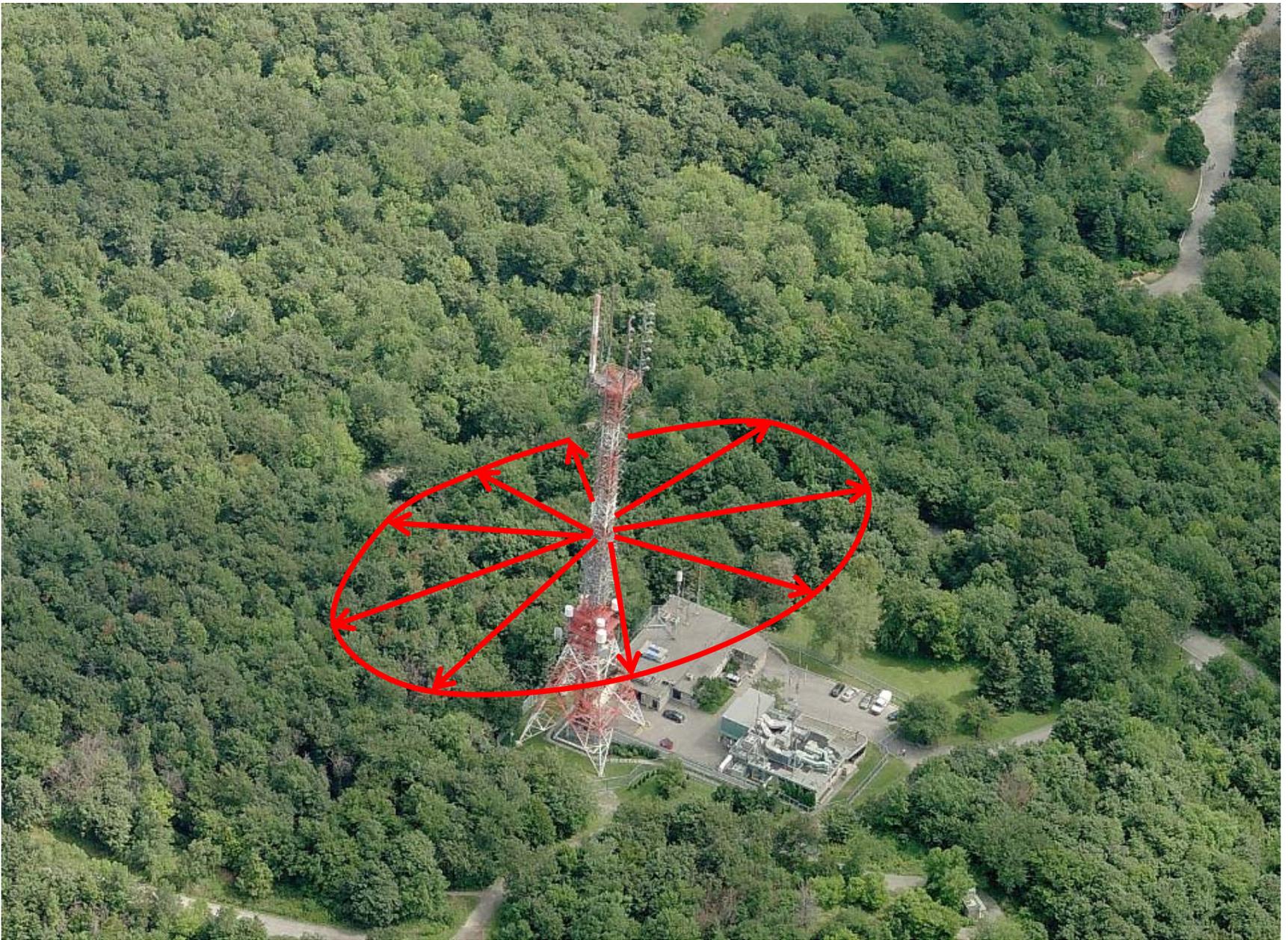
Longueur :    63,00    Mètres

Navigation à la souris    Effacer



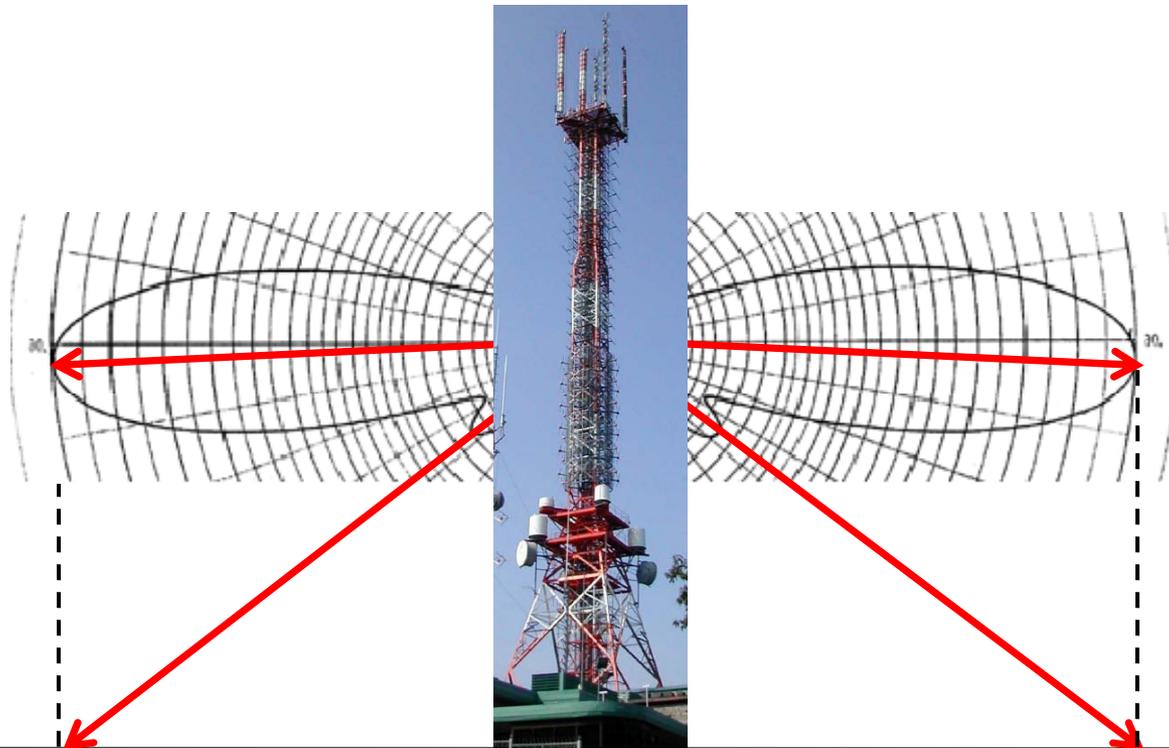
Camille-Hou





# 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!**