

# Réunion du Vendredi 12 janvier 2024

## Association des radioamateurs du Val d'Oise

### Calculer et réaliser une bobine pour la conception d'une antenne raccourcie

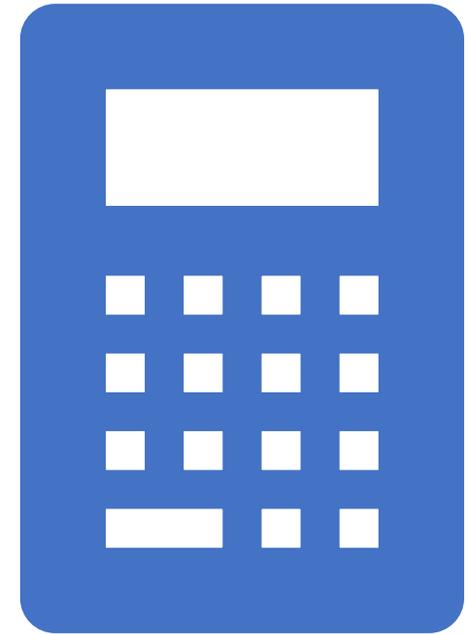
Calculer et réaliser une bobine pour la conception d'une antenne raccourcie (plus petite que le quart d'onde) pour une bande HF.

Comparaison de plusieurs méthodes

Application à un brin de 2,17m (celui de la HF-Pro2) et de diamètre 4mm à accorder sur 7,1MHz

Matériau utilisé = aluminium dans l'air sec

Bobine fixée à la base de l'antenne



# Calculer et réaliser une bobine pour la conception d'une antenne raccourcie

- Calcul de la longueur d'onde
- L'antenne  $\lambda/4$
- Impédance d'une antenne épaisse (dipôle),
- Capacité linéique d'une antenne raccourcie
- Model de l'antenne  $<\lambda/4$  et formule de Thomson"
- Calcul de la réactance capacitive de l'antenne en fonction de sa longueur
- Impédance caractéristique
- Méthode rapide et approximative pour calculer la valeur de la bobine L (H)
- Calculer la valeur de la bobine L (uH) avec la formule de NAGOAKA
- Méthode graphique approximative pour calculer la valeur de la bobine L (H)
- Calcul de L(uH), Jerry Hall - K1PLP, QST, September 1974
- Calcul de L(uH), d'après la formule pour les dipôles parue dans QST, September 1974
- Comparaison des résultats issues des 5 méthodes abordées
- L'environnement compte beaucoup
- Calculer la résistance de rayonnement
- Résistance de rayonnement approche graphique
- Résistance de rayonnement et efficacité de l'antenne
- Résistance de rayonnement et efficacité de l'antenne @7,1MHz
- Efficacité de l'antenne sur différentes bandes
- Augmenter l'efficacité de l'antenne

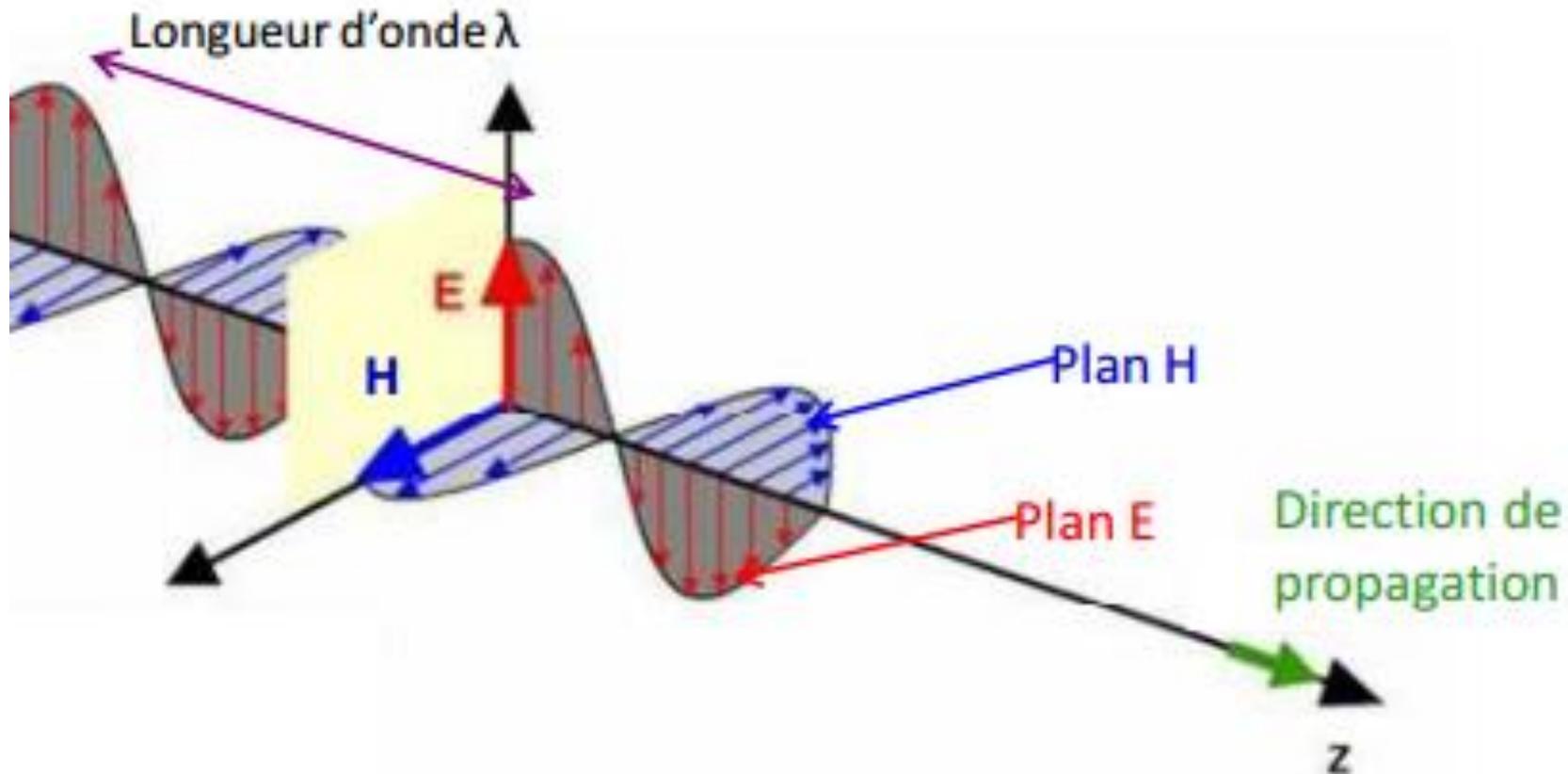
## Calcul de la longueur d'onde $\lambda$

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{\text{Vitesse de propagation du signal (m/s)}}{\text{Fréquence du signal (Hz)}}$$

$$\lambda \text{ (m)} = \frac{300}{f \text{ (MHz)}}$$

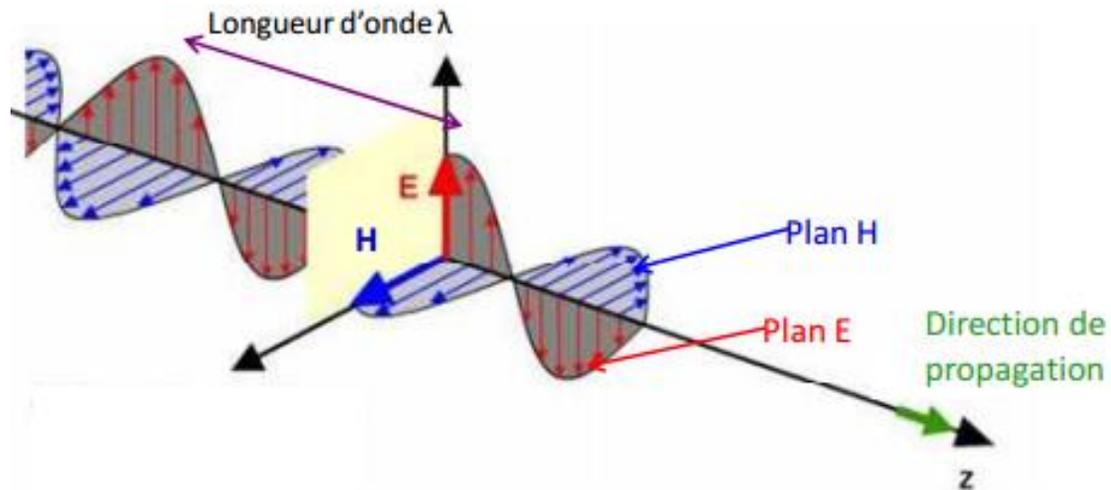
# Calcul de la longueur d'onde $\lambda$

**Etape 1** – Calcul de la vitesse de propagation de l'onde électromagnétique dans l'espace, dans un milieu sans perte et caractérisé par une constante diélectrique et magnétique réelle.



# Calcul de la longueur d'onde $\lambda$

$$\lambda = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r} \times f}$$



$\epsilon$  : permittivité électrique (F/m).

$\epsilon_0$  : permittivité diélectrique dans le vide ( $= 8.85e^{-12}$ )

$\epsilon_r$  : permittivité électrique relative telle que  $\epsilon = \epsilon_0 \times \epsilon_r$

$\mu$  : perméabilité magnétique (H/m).

$\mu_0$  : permittivité diélectrique dans le vide ( $= 4\pi \cdot 10^{-7}$ )

$\mu_r$  : permittivité magnétique relative telle que  $\mu = \mu_0 \times \mu_r$

Dans un milieu de propagation sans pertes, les champs E et H sont en phases et reliés par l'équation

$$\frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \eta$$

$\eta$  est appelé impédance d'onde du milieu.  
Dans le vide,  $\eta = 120\pi \approx 377 \Omega$

## Calcul de la longueur d'onde $\lambda$ à la fréquence de 7,1 MHz pour une antenne aluminium dans l'air sec

$v$  :  $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \times \mu}}$  . Dans le vide ou dans l'air, cette vitesse est notée  $c$  et est égale à

$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \times \mu_0}} = 3.10^8 \text{ m/s}$  . De manière générale, la vitesse peut s'écrire  $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \times \mu_r}}$  , en

fonction de la permittivité électrique relative  $\epsilon_r$  et la perméabilité magnétique relative du milieu  $\mu_r$ . Une onde qui se propage est appelée onde progressive.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{c}{f \times \sqrt{(\epsilon_r \times \mu_r)}}$$

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

$$\epsilon_r = 1,0006 \text{ (Air sec)}$$

$$\mu_r = 1,000022 \text{ (Aluminium)}$$

$$\lambda = \frac{299\,699\,264 \text{ (m/s)}}{7100000 \text{ (Hz)}} = \frac{299\,699\,264}{7100000} = 42,21 \text{ m}$$

# L'antenne $\lambda/4$

## SUCCESSFUL WIRE ANTENNAS

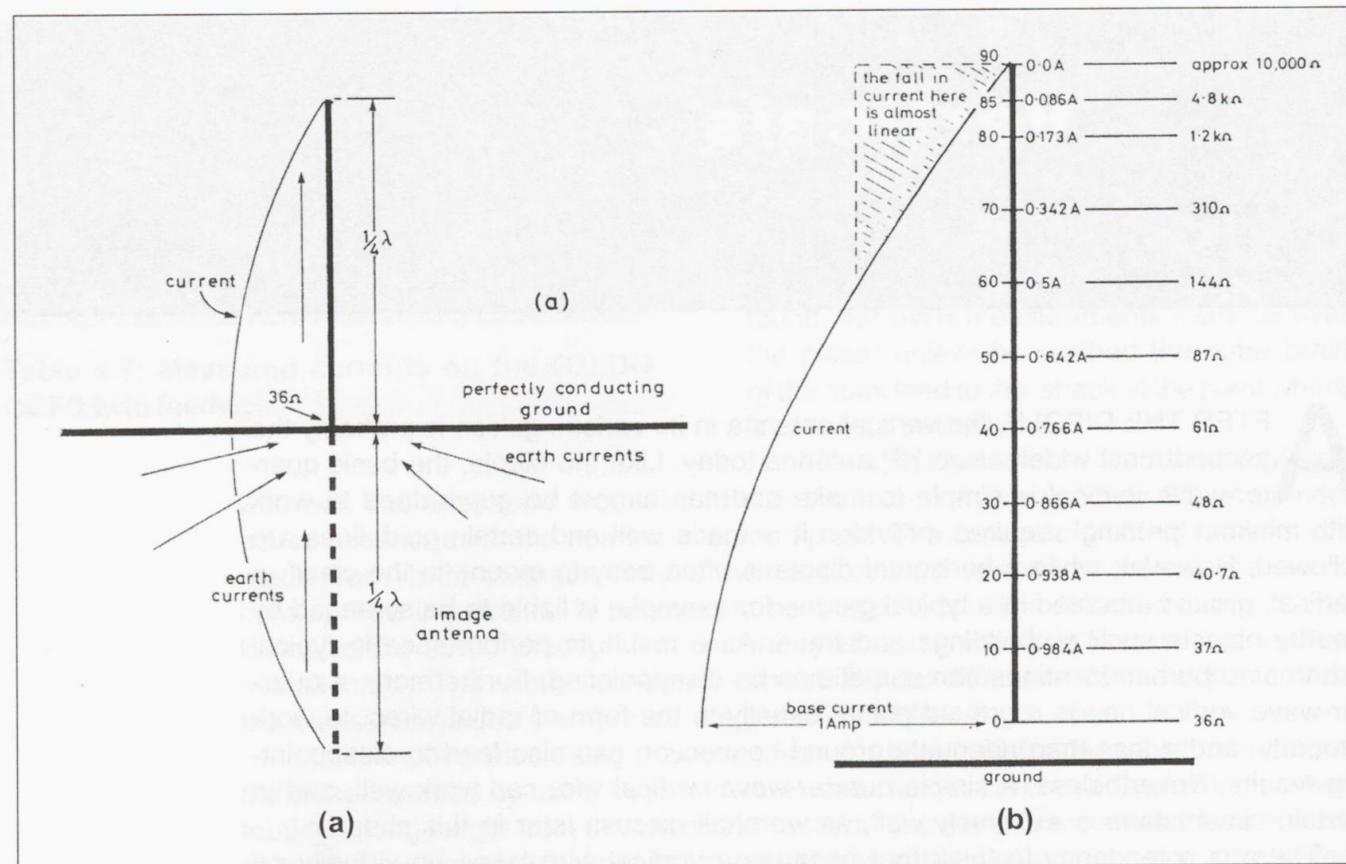
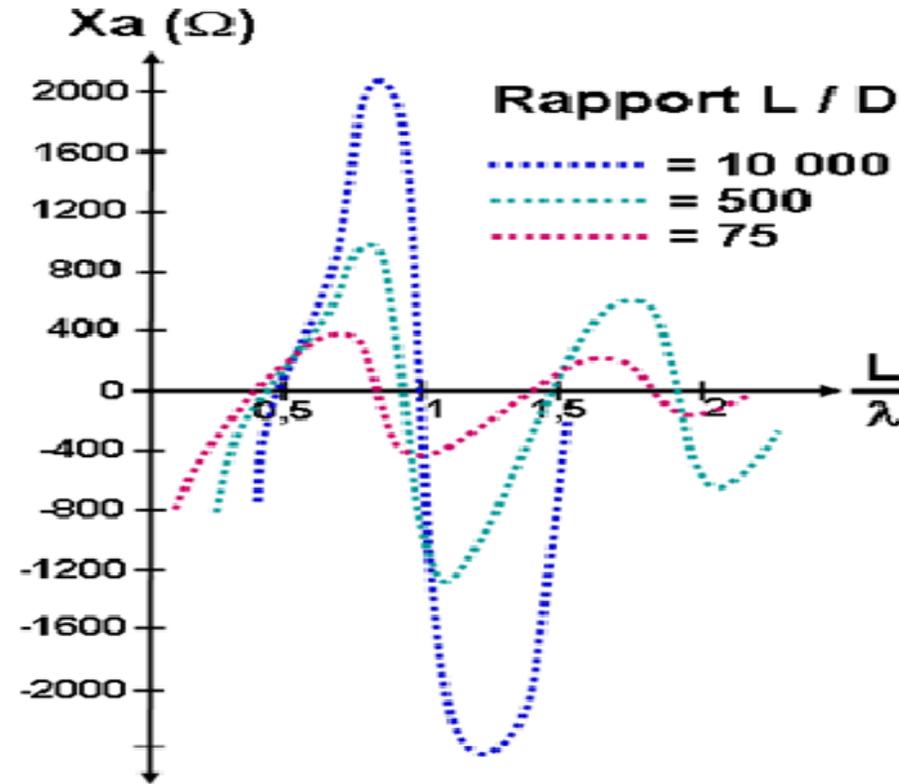
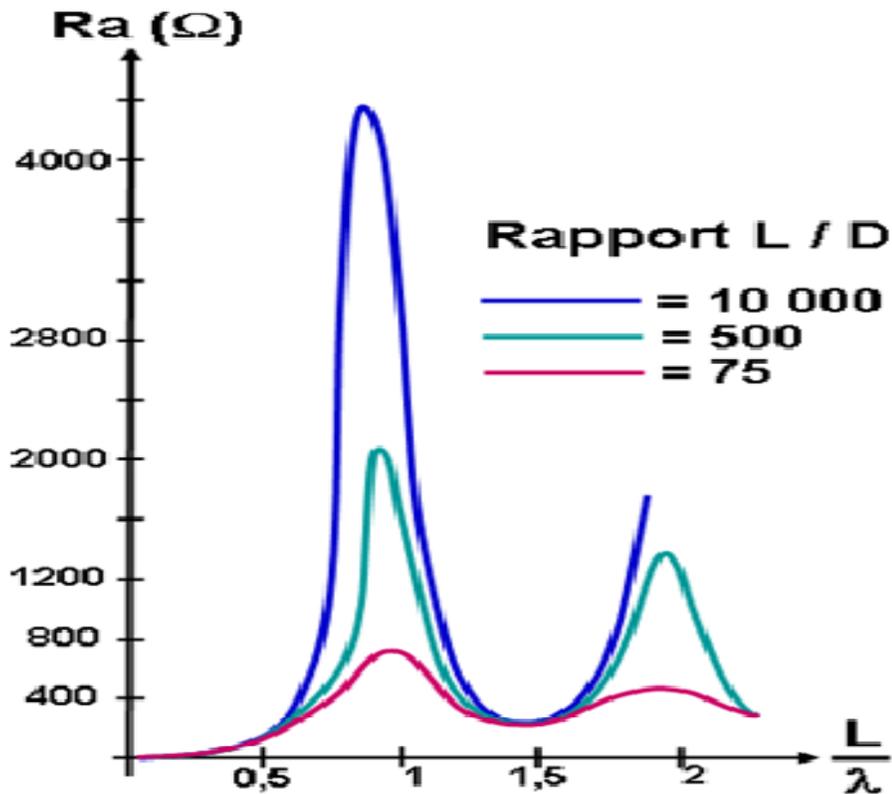


Fig 5.1: (a) The basic quarter-wave vertical antenna positioned over perfect ground, showing its earth image. Most of the earth return currents flow through the ground in the vicinity of the antenna. (b) A representation of a quarter-wave vertical antenna over perfect ground which is energised by a signal with a base current of 1A. The RF current at  $10^\circ$  points along its length is shown and also the impedance at these points. There is a rapid fall in current towards the top of the antenna and the impedance therefore rises greatly there. It is interesting to note that the fall in current over the final  $30^\circ$  of this antenna is almost linear.

# Impédance d'une antenne épaisse (dipôle), d'un rapport $L/D < 1000$



Quand le rapport  $L/D$  diminue :

- La fréquence de résonance diminue
- La résistance d'antenne aux ventres de courant ne change pratiquement pas
- La résistance d'antenne aux nœuds de courant diminue. Donc la variation de la résistance d'antenne en fonction de la fréquence est plus faible.
- La variation de la réactance est beaucoup plus lente.
- La bande passante électrique est beaucoup plus grande ( $Q$  plus faible).

# Méthode rapide et approximative pour calculer la valeur de la bobine L (H)

## Capacité linéique d'une antenne raccourcie, Cant en fonction du rapport H/d

Nous avons peut-être une valeur en tête ? 6pF/m ? 10 pF/m ?  
Comparons les valeurs en fonction du rapport hauteur H sur diamètre d, histoire d'être le plus général possible.

- Si on prend une antenne de 1 m de hauteur et 1 cm de diamètre H/d vaut 100 soit une capacité de 11 pF/m.
- Si maintenant on prend une antenne de 2 m de hauteur et 1 cm de diamètre H/d vaut 200 soit une capacité de 10 pF/m.
- Si on prend une antenne de 10 m de hauteur toujours 1 cm de diamètre alors on a une capacité de 8 pF/m.

**H=2,17m, d=0,004 m, H/d=542**

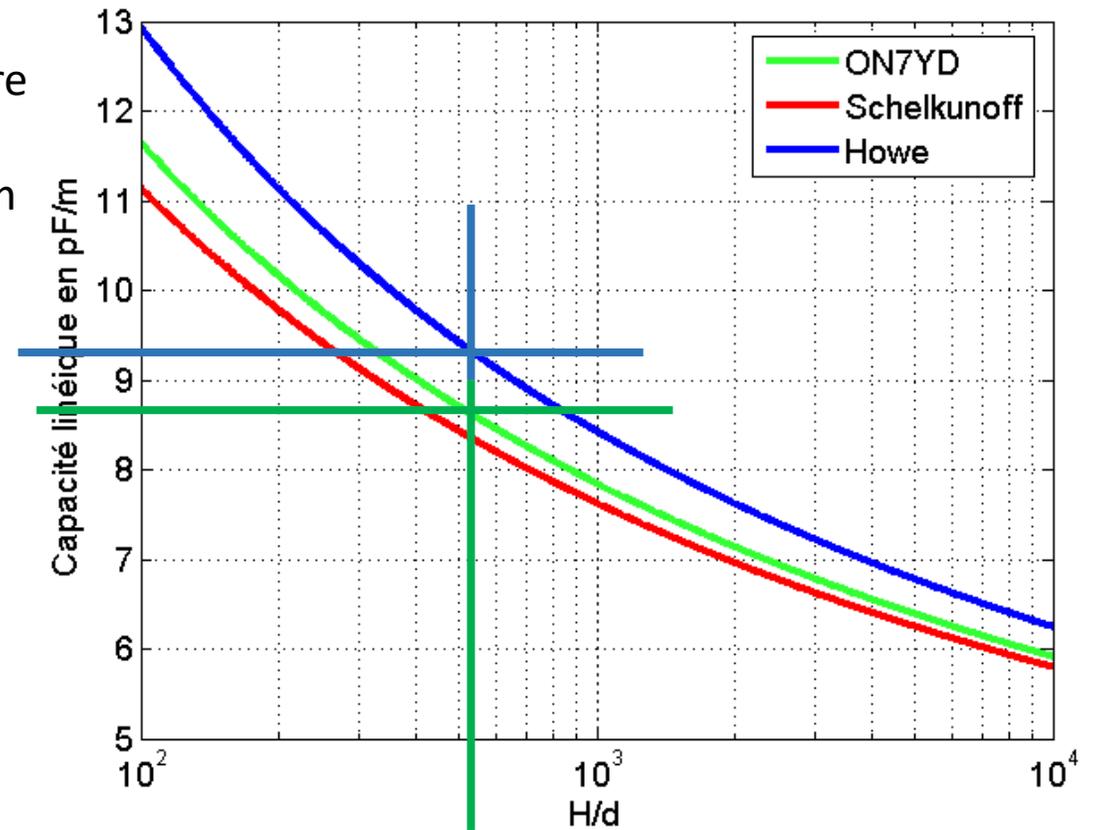
**C linéique = 8,8 pF (d'après le graphique courbe ON7YD)**

**Cant = 8,8 \* 2,17 = 19,096 pF ≈ 19pF**

**C linéique = 8,8 pF (d'après le graphique courbe Howe)**

**Cant = 9,25 \* 2,17 = 20,07 pF ≈ 20pF**

Quelle valeur pour H/d = 542 (cas d'une antenne de 2,17m de hauteur et 4 mm de diamètre ?



Source F4EOB, Thierry Alves

# Model de l'antenne $< \lambda/4$ et formule de Thomson

On a la résonance si  $|X_C| = |X_L|$

soit  $L\omega = 1/(C\omega)$  ce qui conduit à  $LC\omega^2 = 1$

Avec  $\omega = 2\pi f$

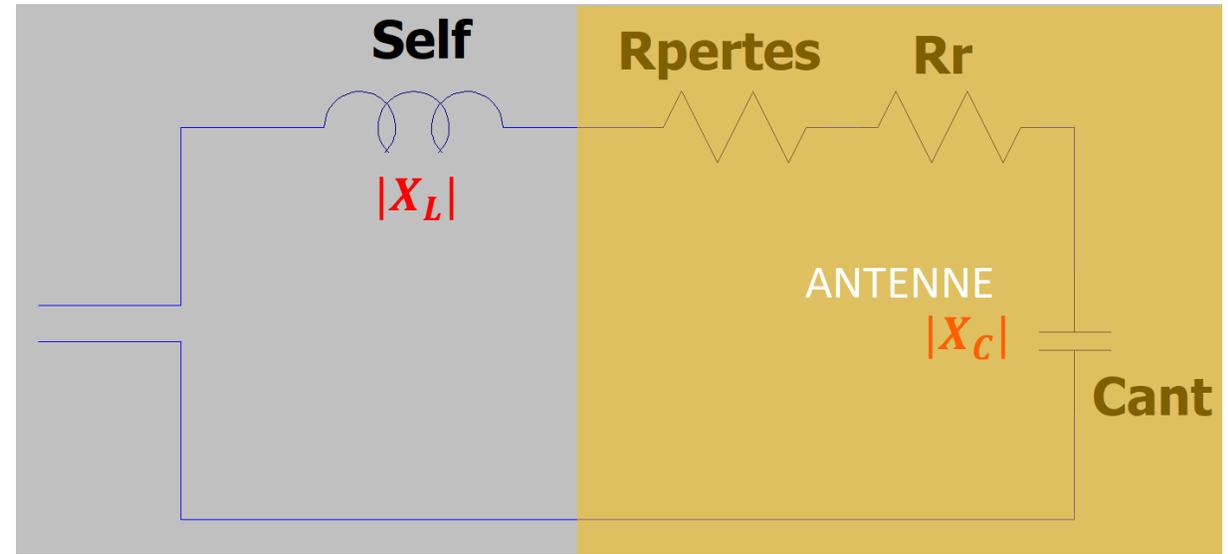
$L\omega = X_L$  et  $1/(C\omega) = |X_C|$

On a la résonance si  $|X_C| = |X_L|$  soit  $L\omega = 1/(C\omega)$  ce qui conduit à  $LC\omega^2 = 1$ .

$$L = \frac{|X_C|}{2 * \pi * f}$$

une antenne ouverte comme l'est un dipôle ou un monopole possède une réactance qui peut se calculer en utilisant la théorie des lignes. On modélise alors ce type d'antenne par une ligne en circuit ouvert donc la réactance est  $|X| = Z_0 \cot(h^\circ)$

Dans le cas de notre antenne il s'agit d'une réactance capacitive car la longueur de l'antenne est inférieure à  $\lambda/4$ . Nous pouvons donc nommer cette réactance  $X_c$ .



$$\eta = \frac{R_r}{R_r + R_g + R_c + R_l + R_{cor} + R_{réseau}} \approx \frac{R_r}{R_r + R_{pertes}}$$

# Calcul de la réactance capacitive de l'antenne en fonction de sa longueur @7,1MHz avec $Z_0$ fonction du rapport H/d :

$$Z_0 = 60 \left[ \ln\left(\frac{2H}{d}\right) - 1 \right] = 359,36 \text{ ohms}$$

$$h^\circ = \frac{360 * H}{\lambda} = \frac{360 * 2,17}{42,21} = 18,5^\circ$$

$$|X_L| = Z_0 \cot(h^\circ)$$

$$|X_L| = 359 * \cot(18,5^\circ) = 1123 \Omega$$

$$L = \frac{|X_C|}{2 * \pi * f} = \frac{1123}{2 * \pi * 7100000} = 2,517E^{-5} = 25,17 \mu\text{H}$$

*Rappel:*

$$\cot \theta = \frac{\cos \theta}{\sin \theta}$$

D = diamètre de l'antenne = 0,004m  
H = hauteur de l'antenne = 2,17m  
 $\lambda$  = Longueur d'onde à 7.1 MHz  
Z0 = Impédance caractéristique

# Calcul de la réactance capacitive de l'antenne en fonction de sa longueur @7,1MHz :

$$|X_C| = Z_0 * \cot\left(\frac{2 * \pi * l}{\lambda}\right) \quad \text{ohms} \quad \text{(VI)}$$

$Z_0$  = impédance caractéristique = 376,71  $\approx 120 * \pi$  ou plus précisément  $60 [\ln(\frac{2H}{a}) - 1] = 359,36$  ohms

$l$  = longueur équivalente à une ligne de transmission uniforme

$\lambda$  = longueur d'onde ( $H$ ,  $l$  et  $\lambda$  sont s'expriment dans la même unité)

Dans le cas particulier d'une antenne verticale de hauteur  $H$  et de rayon  $d$  ( $d \ll H$ ), (VI) il est communément établi que  $l$  peut-être remplacé par  $H$ .

$$|X_C| \approx -Z_0 * \cot\left(\frac{2 * \pi * H}{\lambda}\right) \quad \text{ohms}$$

$$|X_C| \approx -Z_0 * \frac{\cos\left(\frac{2 * \pi * H}{\lambda}\right)}{\sin\left(\frac{2 * \pi * H}{\lambda}\right)} \quad \text{ohms}$$

Dans un premier temps calcul avec  $Z_0 = 376,71$

$$|X_C| \approx -376,71 * \frac{\cos(0,323)}{\sin(0,323)} = 1125,38 \text{ ohms}$$

$$L = \frac{|X_C|}{2 * \pi * f} = \frac{1125,38}{2 * \pi * 7100000} = 2,52267E^{-5} = \mathbf{25,23\mu H}$$

D'après:

-Formule [3.16] Antennes, Théorie, conception et applications

Odile Picon et coll. Préface de Maurice Bellanger

- Formules [19-2, 19-4] Low-Frequency Antennas C.A. Martin and P.S. Carter RCA Laboratories, Rocky Point, New York

## Impédance caractéristique

$Z_0$  antenne basses fréquences et  $d \ll H \ll \lambda/4$

$$Z_0 = 60 \left[ \ln\left(\frac{2H}{d}\right) - 1 \right] = 359,36 \text{ ohms} \quad (\text{VII})$$

Une autre version de l'équation VII donnant la valeur de  $Z_0$  correspond mieux avec les valeurs mesurées expérimentalement dans le cas d'antennes verticales très courtes vis-à-vis de la longueur d'onde:

$$Z_0 = 60 \left[ \ln\left(\frac{H}{d}\right) - 1 \right] \quad (\text{VIII})$$

H = longueur de l'antenne verticale (m)  $\ll \lambda/4$

d = rayon de l'antenne (m)

Source:

*Chapter 19*

LOW-FREQUENCY ANTENNAS\*

C. A. MARTIN

*and*

P. S. CARTER

*RCA Laboratories  
Rocky Point, New York*

$$Z_0 = 60 \left[ \ln\left(\frac{H}{d}\right) - 1 \right] = 317,77 \text{ ohms}$$

# Méthode d'après la formule de calcul de la capacité de l'antenne afin de trouver la valeur $|X_L| = |X_C|$ et ainsi déduire la valeur de la bobine L (H)

Calculs d'après la formule (2-10) Géophysique murmures ionosphériques – Jean Jacques DELCOURT et Schelkunoff S.A. Antennas Theory and Practice (1952)

$$C_{ant} = \frac{2 * \pi * \epsilon_0 * H}{\ln\left(\frac{4 * H}{d}\right) - 1 - \ln(2)} \quad (III)$$

- $\epsilon_0 = 8,854187 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$
- $H = 2,17 \text{ m}$
- $d = 0,0004 \text{ m}$

$$C_{ant} = \frac{2 * \pi * 8,854187 \times 10^{-12} * 2,17}{\ln\left(\frac{4 * 2,17}{0,0004}\right) - 1 - \ln(2)} = 2,0156E^{-11} = \mathbf{20,16pF}$$

$$X_C = \frac{1}{C_{ant} * 2 * \pi * f} = \frac{1}{20,16E^{-12} * 2 * \pi * 7,1E^6} = 1112 \Omega$$

$$X_C = X_L = L * 2 * \pi * f \implies L = \frac{X_C}{2 * \pi * f} = \frac{1112}{2 * \pi * 7100000} = 2,4928E^{-5} = \mathbf{24,9\mu H}$$

$$|X_c| = f(H/\lambda)$$

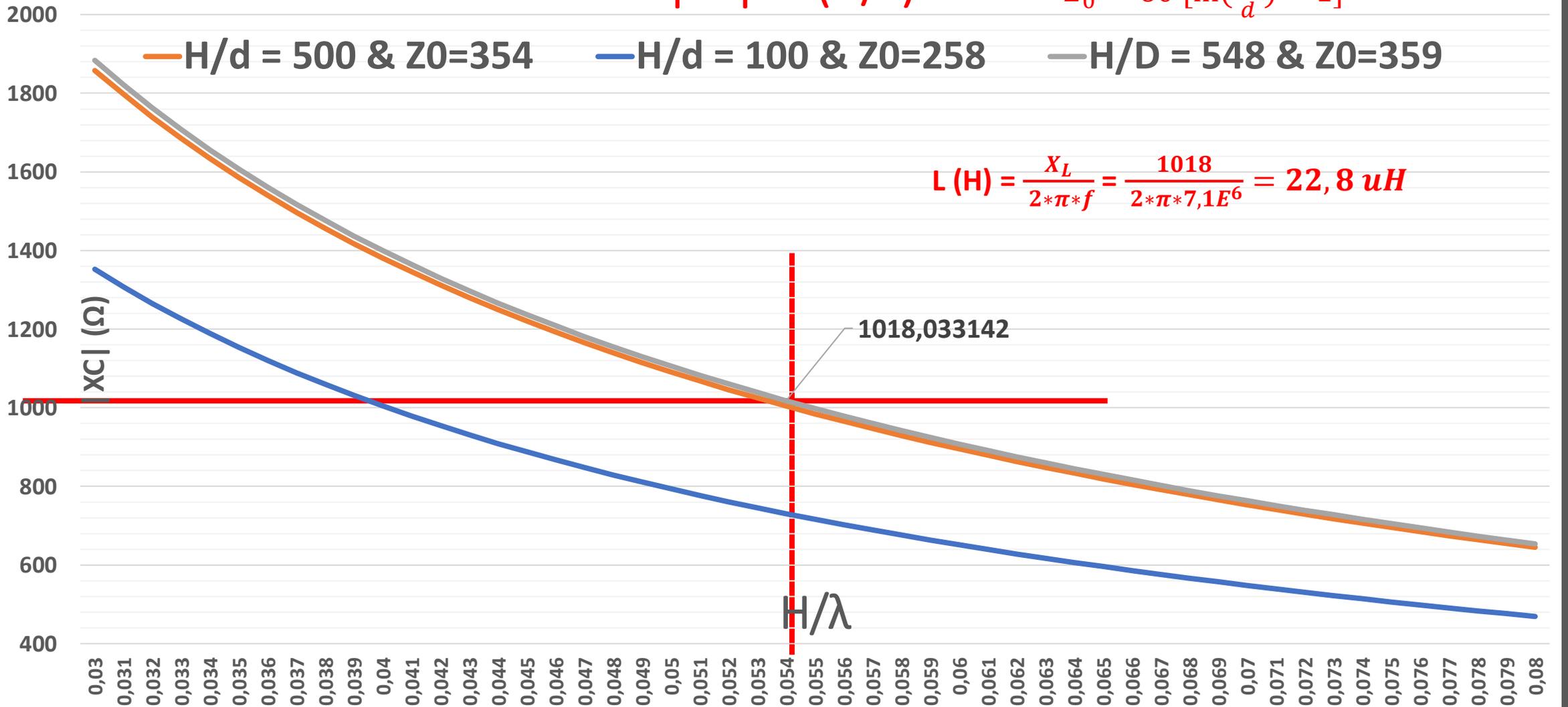
$$Z_0 = 60 \left[ \ln\left(\frac{2H}{d}\right) - 1 \right]$$

H/d = 500 & Z0=354

H/d = 100 & Z0=258

H/D = 548 & Z0=359

$$L(H) = \frac{X_L}{2 * \pi * f} = \frac{1018}{2 * \pi * 7,1E6} = 22,8 \mu H$$



# Méthode rapide et approximative pour calculer la valeur de la bobine L (H)

- Calcul de la longueur d'onde  $\lambda = C/F = 299,79 / 7,1 = 42,22\text{m}$   $C = 299\,792\,458\text{ m/s}$
- **Capacité linéique** d'une antenne raccourcie est d'environ **6pF/m** (cette valeur dépend du rapport hauteur de l'antenne / diamètre de l'antenne (H/D))
- Calcul de la capacité de l'antenne **Cant = 8,8\*2,17m = 19 pF**
- Calcul de la valeur de la bobine en fonction de la fréquence et de la capacité de l'antenne:

$$L(H) = \frac{1}{C_{ant}(F) * (2 * \pi * f(Hz))^2} \quad (I)$$

$$L_{ON7YD}(H) = \frac{1}{19E^{-12} * (2 * \pi * 7,1E^6)^2} = 26,4E^{-6} = \mathbf{26,4\ \mu H}$$

$$L_{Howe}(H) = \frac{1}{20E^{-12} * (2 * \pi * 7,1E^6)^2} = 25,12E^{-6} = \mathbf{25,1\ \mu H}$$

-

# Calculer la valeur de la bobine L (uH) avec la formule de NAGOAKA

Réalisation de la bobine: il faut calculer le nombre de spires (n) en fonction du diamètre (d) de la bobine et du diamètre du conducteur ou de sa longueur (l)

Un espace entre les spires égal au diamètre du fil ce qui est considéré comme les meilleurs conditions pour obtenir le meilleur facteur Qualité Q (coefficient de surtension)

Dans le cas d'une longueur finie, quelques millimètres ou centimètres pour les TSF, des formules de calculs approchés peuvent prendre la forme :

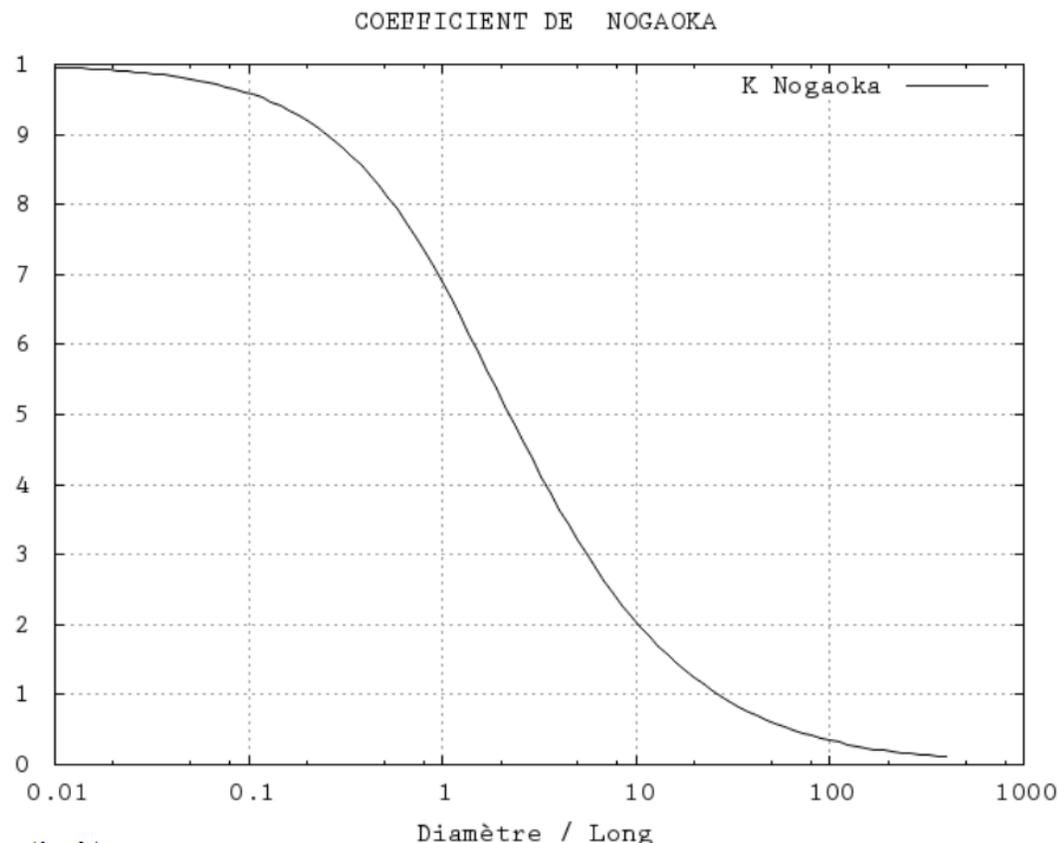
$$L(\mu H) = K \frac{(\pi n D)^2}{1000} l \quad (2)$$

Le paramètre  $K$  dépend de la « géométrie » de la bobine exprimée par le rapport  $D/l$ . Le savant japonais Hontaro Nagaoka a publié au début du XXème siècle une table permettant de déterminer  $K$  en fonction du rapport  $D/l$ .

Une autre formule plus pratique d'utilisation et de même précision utilise une constante  $K_1$  dérivée de  $K$ . Elle dépend de la même façon de du rapport  $D/l$ .

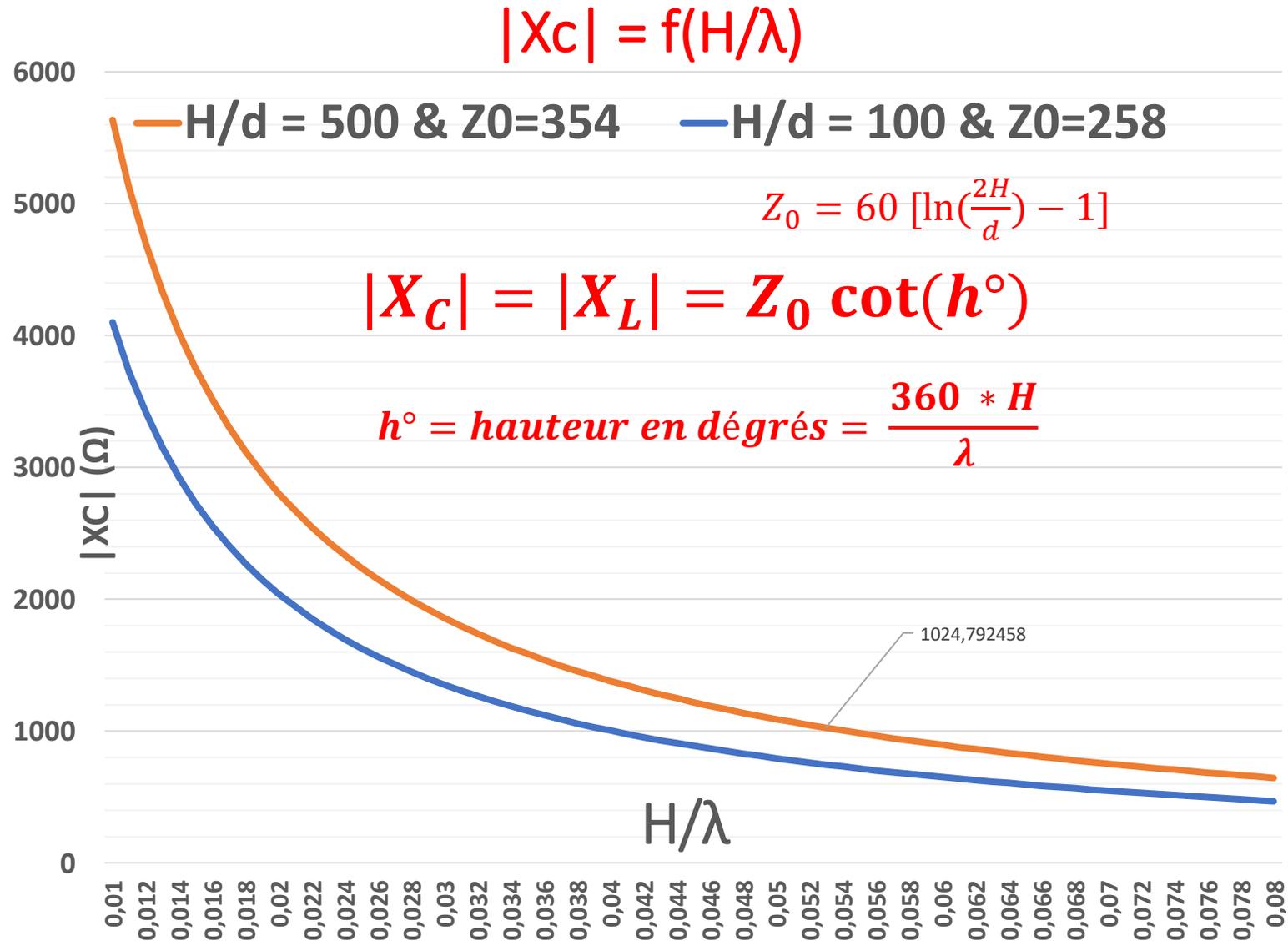
$$L(\mu H) = K_1 \frac{N^2 D}{100} \quad (3)$$

Pour information  $K_1$  est déduit de  $K$  par la relation :  $K_1 = \frac{\pi^2}{10} \left(\frac{D}{l}\right) K_{(D/l)}$  avec  $D$  et  $l$  en centimètres.



## Méthode graphique approximative pour calculer la valeur de la bobine L (H)

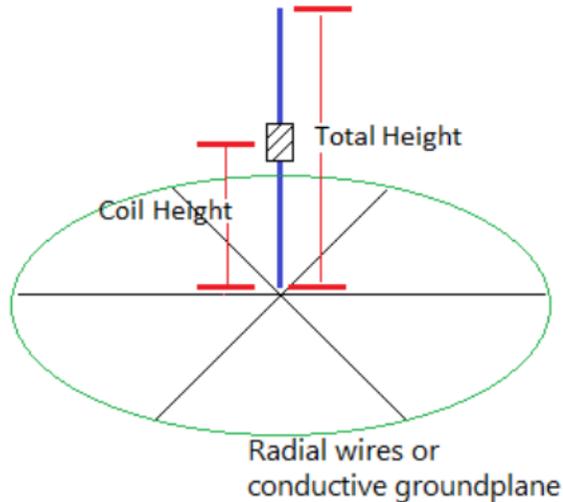
- Calcul de la longueur d'onde  $\lambda = C/F = 299,79 / 7,1 = 42,22\text{m}$
- Calcul du rapport  $H/\lambda = 2,17/42,22 = 0,05139$
- Détermination graphique de la réactance  $X_c$  (antenne capacitive car  $L < \lambda/4$ ) en fonction de  $H/\lambda$ ,  $|X_c| = 1018\Omega$
- Détermination de L en fonction de  $|X_c|$  tel que  $|X_L| = |X_c|$  pour annuler la capacitance de l'antenne et la placer à la résonance.
- $L(H) = \frac{X_L}{2*\pi*f} = \frac{1018}{2*\pi*7,1E^6} = 2,28E^{-5} = 22,8\mu\text{H}$
- **$L(H) = 23 \mu\text{H}$**



Grphe  $X_c = f(H/\lambda)$  pour  $H/d = 500$  et  $H/d = 100$  par F4IEW, Franck DURAND, d'après la formule de calcul (11) Mobile and Maritime HF Antennas, ARRL Antenna Handbook 24th Edition.



# Calcul de L(uH), d'après la formule pour les dipôles parue dans QST, September 1974



<https://www.66pacific.com/calculators/coil-shortened-vertical-antenna-calculator.aspx>

1m = 3,28084 pieds / 1mm = 0,0393701

Total height of antenna in feet

Distance from antenna base to the center of the coil in feet. (Enter "0" for a base loading coil.)

Diameter of the conductor in inches

Operating frequency in megahertz

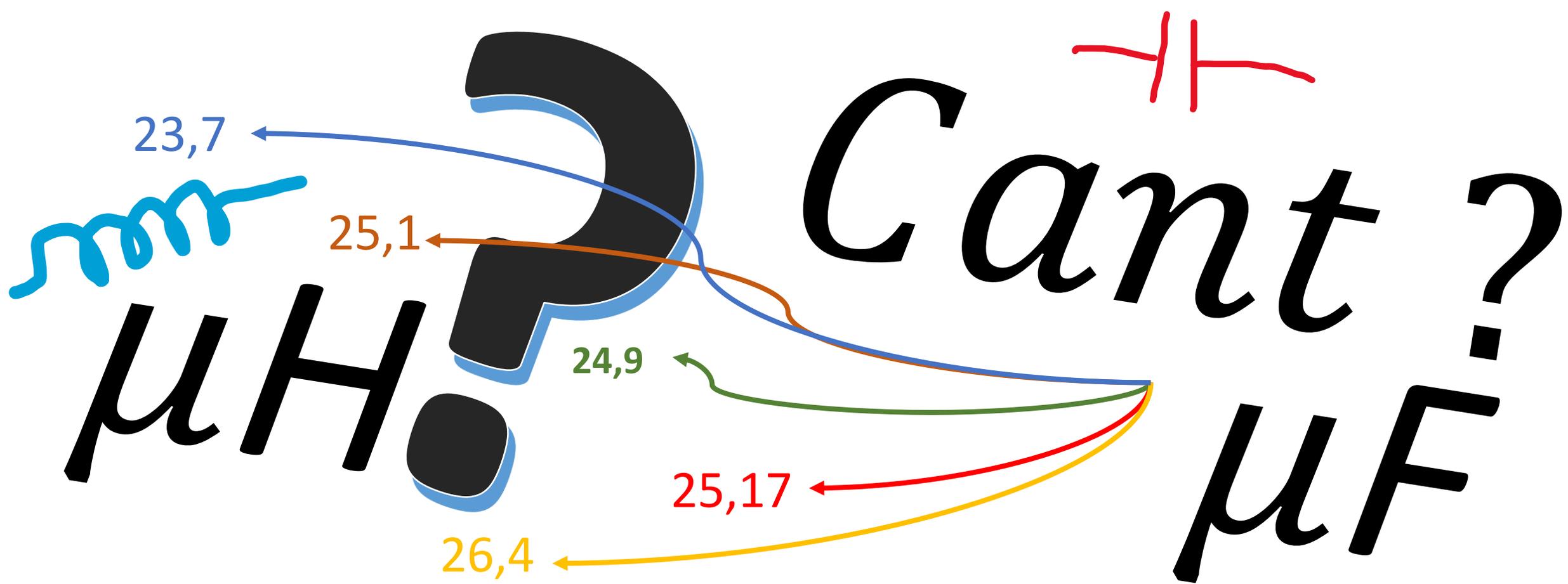
## Results

The required inductance of the coil is **23.7 microhenries**.

Use the [Coil Inductance Calculator](#) to design your loading coil. (Calculator opens in a separate page.)

## Comparaison des résultats issues des 5 méthodes abordées

#	Méthode	Valeur de L (uH)
1	Rapide basée sur la capacité linéique de 8,80pF/m, ON7YD (6 < C < 11) Rapide basée sur la capacité linéique de 9,25pF/m, Howe	26,4 <b>25,1</b>
2	Graphique sur la base des courbes tracés à partir de la formule $ X_L  = Z_0 \cot(h^\circ)$	23
3	Calcul d'après la formule donnant la capacité d'une antenne permettant de calculer Xc et de déduire $X_L = -X_c = 2 * \pi * f * L = 1 / (2 * \pi * f * C_{ant})$ puis L(H) $C_{ant} = \frac{2 * \pi * \epsilon_0 * H}{\ln\left(\frac{4 * H}{d}\right) - 1 - \ln(2)} \text{ (Farad)}$	24,9
4	Calcul d'après les formules donnant la réactance $X_L$ et l'impédance caractéristique $Z_0$ en fonction du rapport H/d $Z_0 = 60 \left[ \ln\left(\frac{2H}{d}\right) - 1 \right] \text{ et }  X_L  = Z_0 \cot(h^\circ)$	<b>25,17</b>
5	Utilisation de la calculette sur le site internet <a href="https://www.66pacific.com/calculators/coil-shortened-vertical-antenna-calculator.aspx">https://www.66pacific.com/calculators/coil-shortened-vertical-antenna-calculator.aspx</a>	23,7



L'environnement compte beaucoup et intervient sur la valeur de la capacité réelle de l'antenne par conséquent de la valeur de la self à insérer. Il sera donc nécessaire de réaliser une bobine (self) ajustable ou d'intervenir sur un ajustement de la hauteur de l'antenne pour le réglage final sur site.

## Calculer la résistance de rayonnement:

Si la résistance de rayonnement  $R_r$  est grande **cela réduit la perte de puissance active** liée à l'onde électromagnétique rayonnée par l'antenne.

Une grande résistance de rayonnement indique une forte capacité à convertir l'énergie électrique incidente (liée au courant qui « passe » dans la résistance de rayonnement) en énergie électromagnétique

### Puissance rayonnée par l'antenne omnidirectionnelle $< \lambda/4$ :

Elle s'obtient en intégrant sur la totalité de la sphère de rayon  $d$ , la puissance calculée en tous les points de cette sphère. La puissance est obtenue en élevant au carré la valeur du champ électrique, puis en divisant par 377 ( $P = E^2/R$ ).  $P_r = R_r \times I^2$

la résistance de rayonnement varie comme le carré du rapport  $l/\lambda$ .

$$Z_0 = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \sqrt{\frac{1,000022 * 4\pi \cdot 10^{-7}}{1,00006 * 8.85e^{-12}}} = 376,71 \approx 120 * \pi$$

$$R_r = \frac{\pi}{3} * Z_0 * \left(\frac{H}{\lambda}\right)^2 = \frac{120\pi^2}{3} \left(\frac{H}{\lambda}\right)^2 = 40\pi^2 \left(\frac{H}{\lambda}\right)^2$$

(IV)

*40 pour le monopole court, 80 pour le dipôle court et 160 pour le monopole court chargé avec répartition de courant presque constante. Et 320 pour le dipôle court chargé avec répartition de courant presque constante.*

$h$  (m) = hauteur de l'antenne

$\lambda$  (m) = longueur d'onde

La résistance de rayonnement pour notre antenne de 2,17m est donc :

$$R_r = 40\pi^2 \left(\frac{2,17}{42,21}\right)^2 = 1,043 \text{ Ohm}$$

## Résistance de rayonnement des antennes communes [\[ modifier \]](#) [\[ modifier le code \]](#)

Dans toutes les formules énumérées ci-dessous, la résistance au rayonnement est la résistance dite "en espace libre", que l'antenne aurait si elle était montée à plusieurs longueurs d'onde du sol (sans compter la distance à un **contrepois électrique** [\(en\)](#) élevé [\(en anglais : counterpoise\)](#), s'il y en a un). Les antennes installées auront des résistances au rayonnement plus ou moins élevées si elles sont montées près du sol (moins de 1 **longueur d'onde**) en plus de la résistance à la perte due au **champ électrique proche** de l'antenne qui pénètre dans le sol <sup>note 4, 1</sup>.

Type d'antenne	Résistance de rayonnement (en ohm)	Source
Dipôle <b>demi-onde</b> alimenté en son centre	73.1 <sup>note 5, note 6</sup>	(Kraus 1988, p. 227) (Balanis 2005, p. 216)
Dipôle court de longueur $\frac{1}{50}\lambda < \ell < \frac{1}{10}\lambda$	$20\pi^2 \left(\frac{\ell}{\lambda}\right)^2$	(Kraus 1988, p. 216) (Balanis 2005, p. 165,215)
Monopôle quart d'onde alimenté par la base sur un plan de masse parfait	36.5	(Balanis 2005, p. 217) (Stutzman et Thiele 2012, p. 80)
Monopôle court de longueur $\ell \ll \frac{1}{4}\lambda$ sur un plan de masse parfait	$40\pi^2 \left(\frac{\ell}{\lambda}\right)^2$	(Stutzman et Thiele 2012)
Antenne cadre résonante, un peu plus de $1 \times \lambda$ de circonférence	~100	(Weston 2017, p. 15) (Schmitt 2002, p. 236)
Petite boucle de surface $A$ avec $N$ tours (circonférence $\ll \frac{1}{3}\lambda$ )	$320\pi^4 \left(\frac{N A}{\lambda^2}\right)^2$	(Kraus 1988, p. 251) (Balanis 2005, p. 238)
Petite boucle de surface $A$ avec $N$ tours sur un bâton de ferrite de perméabilité relative effective $\mu_{\text{eff}}$	$320\pi^4 \left(\frac{\mu_{\text{eff}} N A}{\lambda^2}\right)^2$	(Kraus 1988, p. 259) (Milligan 2005, p. 260)

Les figures ci-dessus supposent que les antennes sont constituées de conducteurs fins et suffisamment éloignées des grandes structures métalliques, que les antennes dipôles sont suffisamment éloignées du sol et que les monopôles sont montés sur un **plan de masse** [☛](#) parfaitement conducteur.

La résistance au rayonnement du **dipôle demi-onde** de 73 est suffisamment proche de l'**impédance caractéristique** d'un **câble coaxial** commun de 50 ohms et de 75 ohms pour qu'il puisse généralement être alimenté directement sans avoir besoin d'un réseau d'**adaptation d'impédance**. C'est l'une des raisons pour lesquelles le dipôle demi-onde est largement utilisé comme **élément rayonnant actif** [\(en\)](#) dans les antennes <sup>21</sup>.

## Relation entre les monopôles et les dipôles [\[ modifier | modifier le code \]](#)

La résistance de rayonnement d'une antenne monopôle créée en remplaçant un côté d'une antenne dipôle par un plan de masse perpendiculaire est égale à la moitié de la résistance de l'antenne dipôle d'origine. Cela s'explique par le fait que le monopôle ne rayonne que dans la moitié de l'espace, l'espace au-dessus du plan, de sorte que le diagramme de rayonnement est identique à la moitié du diagramme du dipôle et que, par conséquent, avec le même courant d'entrée, il ne rayonne que la moitié de la puissance<sup>22</sup>.

Cela ne ressort pas clairement des formules du tableau car les différentes longueurs utilisent le même symbole,  $\ell$  l'antenne monopôle dérivée n'a toutefois que la moitié de la longueur de l'antenne dipôle d'origine. Ceci peut être démontré en calculant la résistance au rayonnement d'un dipôle court (longueur  $\ell_{di}$ ), qui est deux fois plus long que le monopôle correspondant ( $\ell_{mon}$ ) :

$$R_{rad,dip} = 20\pi^2 \left( \frac{\ell_{dip}}{\lambda} \right)^2 = 20\pi^2 \left( \frac{2\ell_{mon}}{\lambda} \right)^2 = 80\pi^2 \left( \frac{\ell_{mon}}{\lambda} \right)^2 \quad (\text{longueur du dipôle } \ell_{dip} = 2\ell_{mon}).$$

Si l'on compare cette formule à celle du monopôle court, on constate que le dipôle a une résistance au rayonnement deux fois supérieure à celle du monopôle :

$$R_{rad,mon} = 40\pi^2 \left( \frac{\ell_{mon}}{\lambda} \right)^2 \quad (\text{monopôle de longueur } \ell_{mon}).$$

Cela confirme la cohérence de la modélisation physique d'un dipôle à alimentation centrale comme deux monopôles, placés bout à bout, avec des points d'alimentation adjacents.

## Calcul [\[ modifier | modifier le code \]](#)

Calculer la résistance au rayonnement d'une antenne directement à partir de la force de réaction sur les électrons est très compliqué, et présente des difficultés conceptuelles pour tenir compte de la [force propre](#) de l'électron<sup>2</sup>. La résistance au rayonnement est plutôt calculée en calculant le [diagramme de rayonnement en champ lointain](#) de l'électron, le flux de puissance ([vecteur de Poynting](#)) à chaque angle, pour un courant d'antenne donné<sup>23</sup>. Ceci est intégré sur une sphère entourant l'antenne pour donner la puissance totale  $P_{rad}$  rayonnée par l'antenne. La résistance au rayonnement est ensuite calculée à partir de la puissance par [conservation de l'énergie](#), comme la résistance que l'antenne doit opposer au courant d'entrée pour absorber la puissance rayonnée par l'émetteur, en utilisant la [loi de Joule](#).  $R_{rad} = \frac{P_{rad}}{I_{RMS}^2}$  note 2.

# Résistance de rayonnement approche graphique:

LES ANTENNES – THÉORIE ET PRATIQUE

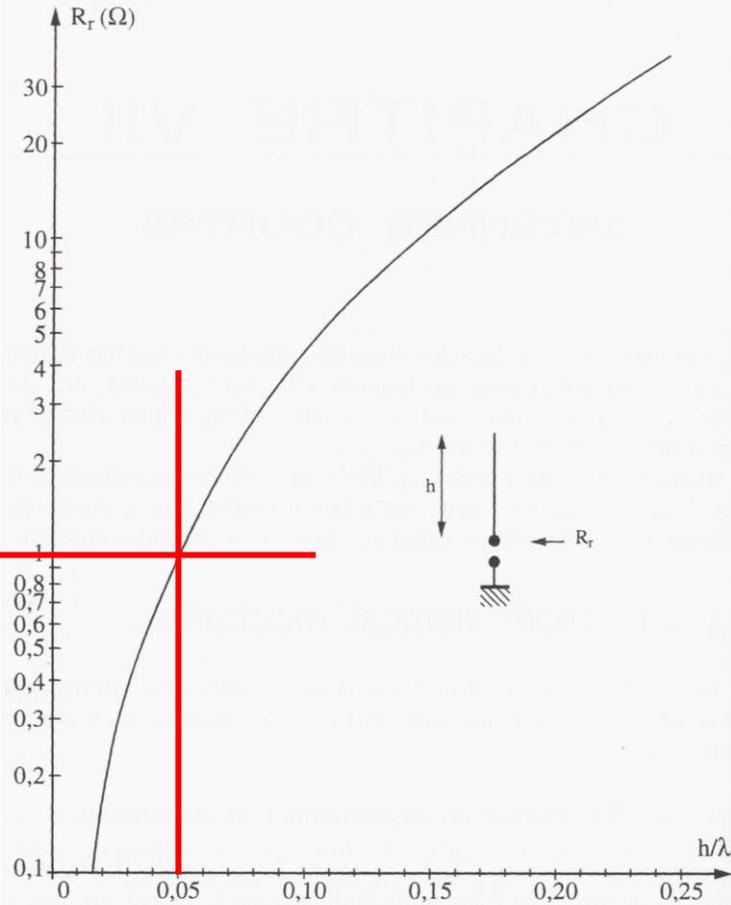


Fig. VII.1.1.a — Résistance de rayonnement du fouet vertical parfait au dessus d'un sol parfaitement conducteur en fonction de sa hauteur.

Franck DURAND, F4IEW - 2024

VII – Les antennes courtes

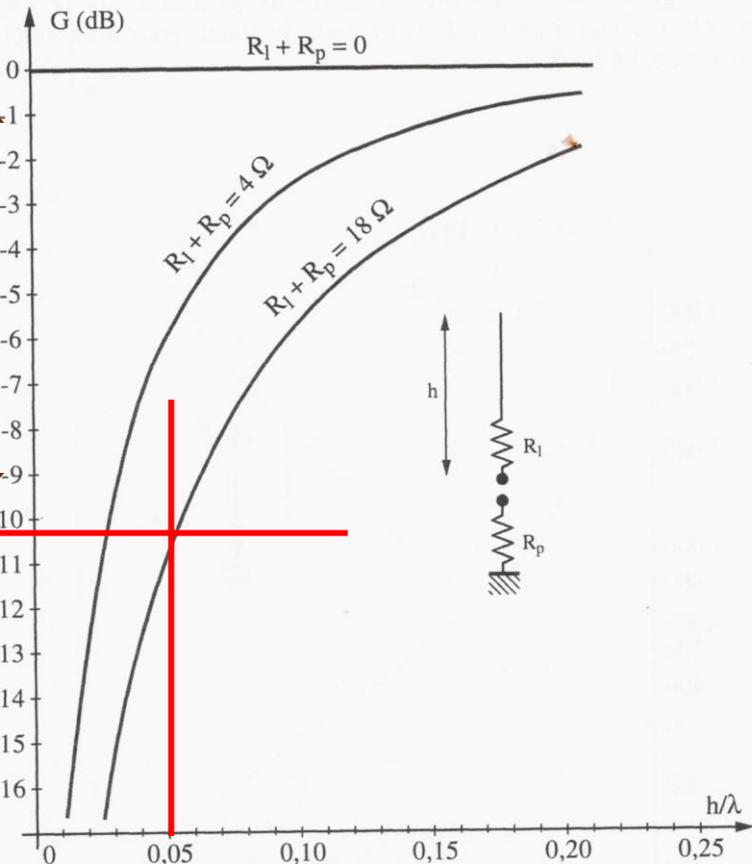


Fig. VII.1.1.b — Perte de gain du fouet raccourci en fonction de son plan de sol ( $R_l = 1 \Omega$ ).

# Résistance de rayonnement et efficacité de l'antenne @7,1MHz :

$$H' = \frac{360 * H}{\lambda} = \frac{360 * 2,17}{42,21} = 18,5^\circ$$

$R_r$

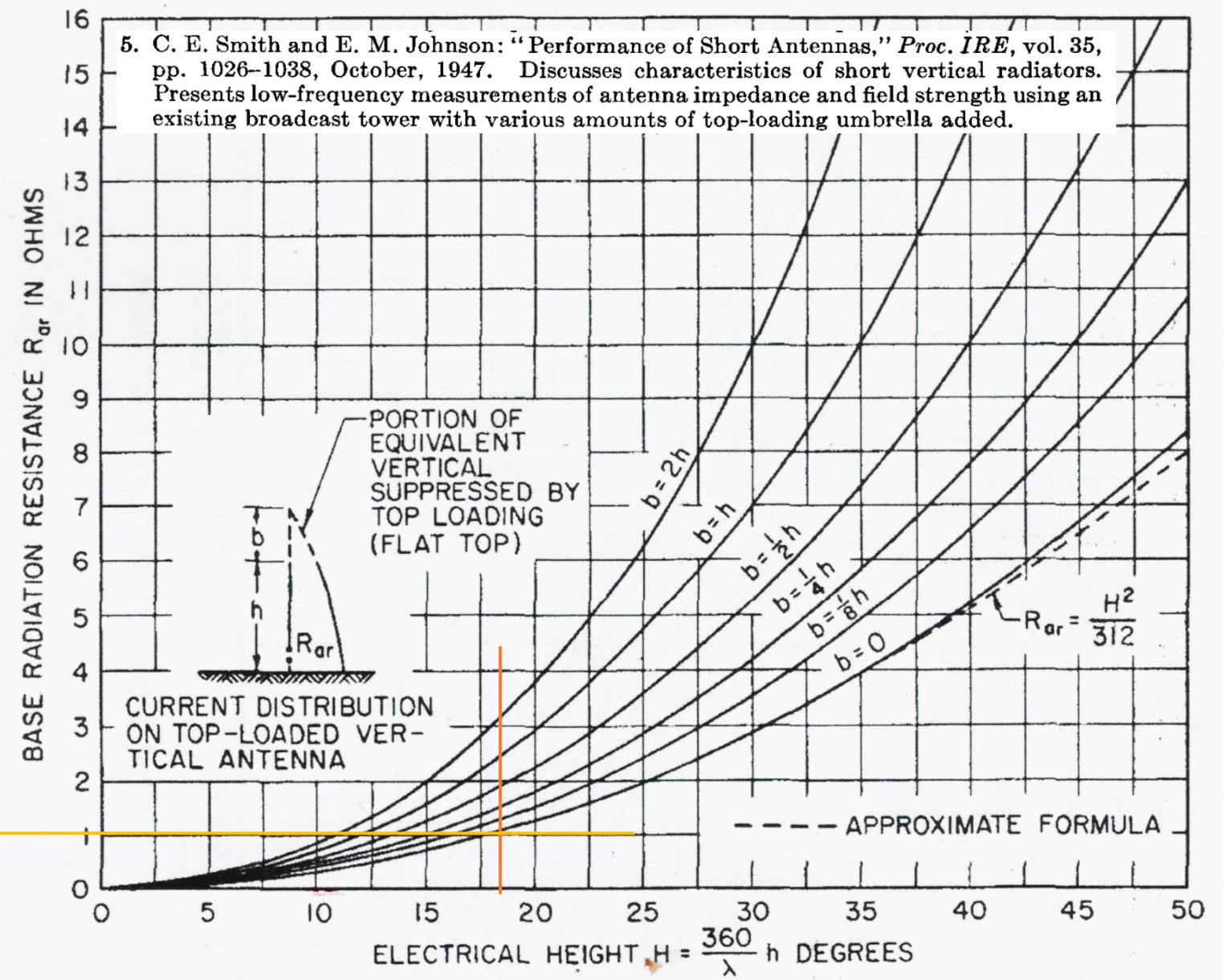
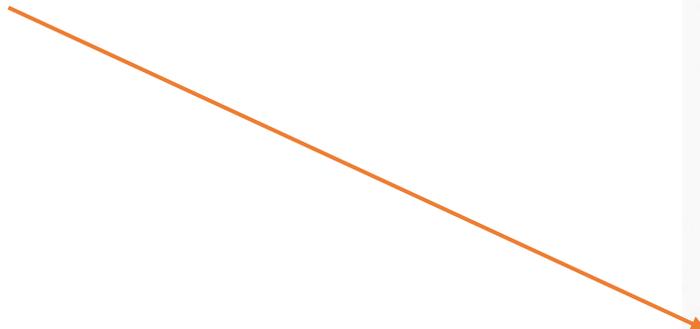


FIG. 19-1. Theoretical radiation resistance of vertical antenna for assumed sine-wave current distribution. (Reference 5.)

## Résistance de rayonnement et efficacité de l'antenne @7,1MHz :

$$\eta = \frac{R_r}{R_r + R_g + R_c + R_l + R_{cor} + R_{réseau}} \approx \frac{R_r}{R_r + R_{pertes}}$$

$R_r$  = résistance de rayonnement ( $\Omega$ )

$R_g$  = résistance du sol ( $\Omega$ )

$R_c$  = résistance du conducteur ( $\Omega$ )

$R_l$  = résistance due aux pertes dans la bobine à la base de l'antenne ( $\Omega$ )

$R_{cor}$  = résistances due aux pertes par effet corona si haute tension ( $\Omega$ ) (problème lors des altitudes élevées)

$R_{réseau}$  = Résistance due aux prises et système d'accord ( $\Omega$ )

Dans notre cas pratique :

$R_g$  = résistance du sol = 10  $\Omega$  (une très bonne conduction de sol)

$R_c$  = résistance du conducteur = 0,002  $\Omega$  négligeable dans notre cas

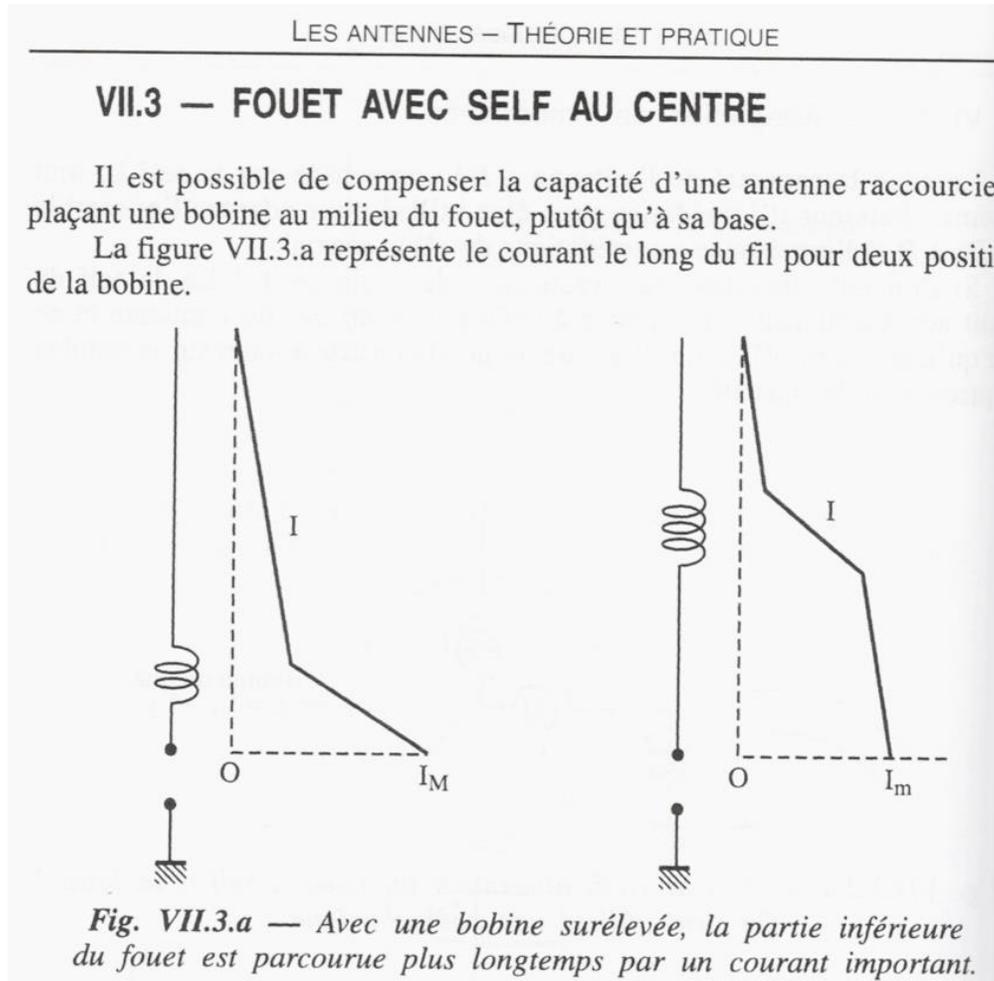
$R_l$  = XL/QL, négligeable dans notre cas

$$\eta \approx \frac{1,043}{1,043 + R_{pertes}} = \frac{1,043}{1,043 + 10} = 0,094 \text{ (environ 10\%)} \quad (V)$$

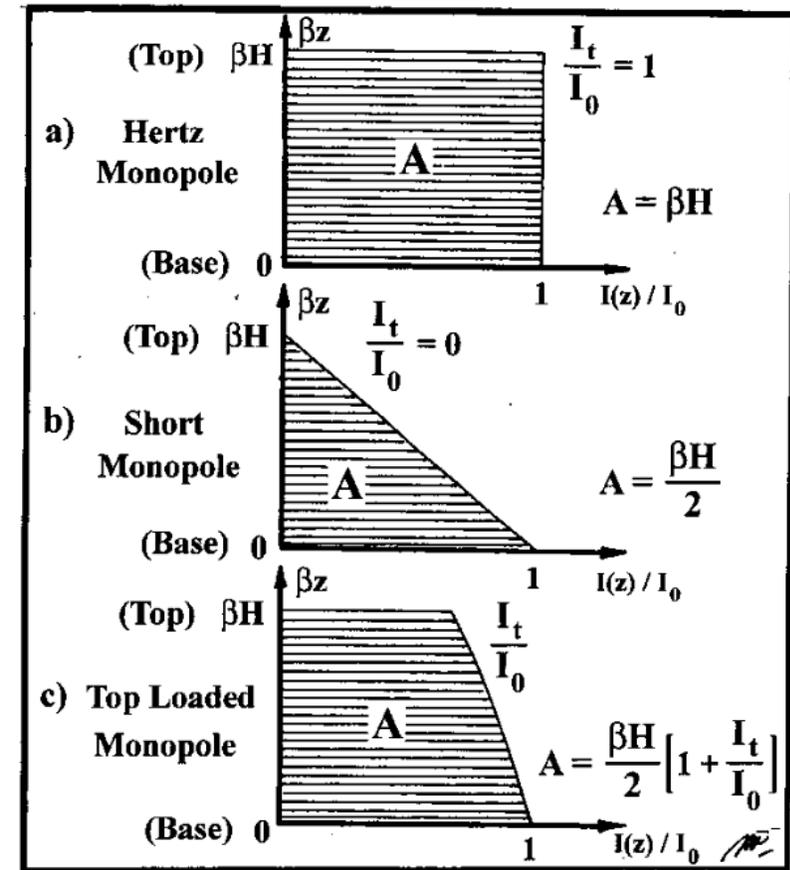
## Efficacité de l'antenne sur différentes bandes:

Bande ( $\lambda$ )	$R_r(\Omega)$	$R_{pertes}(\Omega)$	$\eta$	%
40m	1,043	10	0,094	10
30m	2,06	10	0,17	17
20m	4,645	10	0,317	31
16m	7,257	10	0,4205	42
15m	8,25	10	0,452	45
12m	12,9	10	0,563	56
10m	18.58	10	0,65	65

# Augmenter l'efficacité de l'antenne grâce à l'augmentation de la résistance de rayonnement par le placement de la bobine sur la partie supérieure de l'antenne ou par un chapeau capacitif:

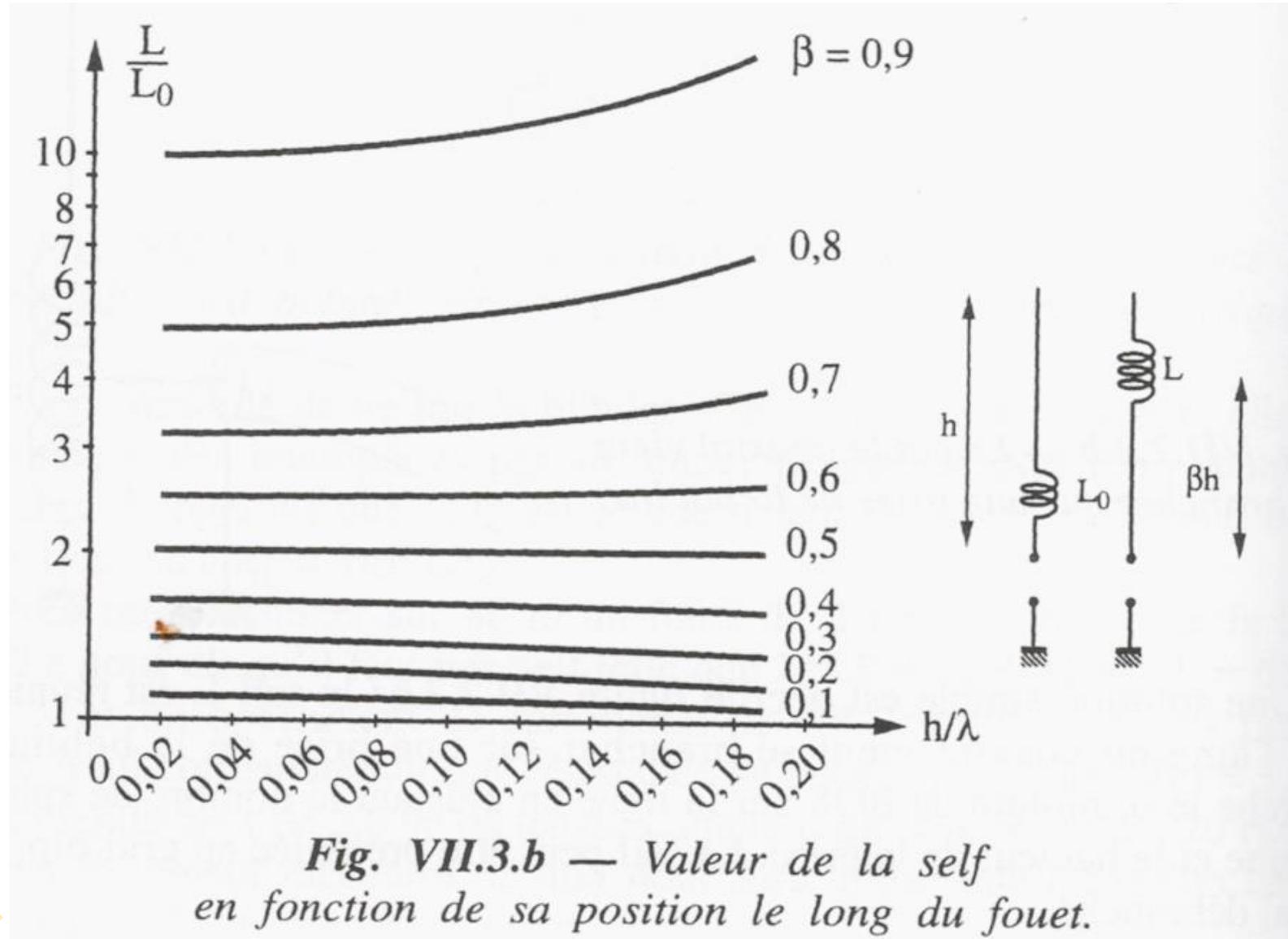


**Franck DURAND, F4IEW - 2024**

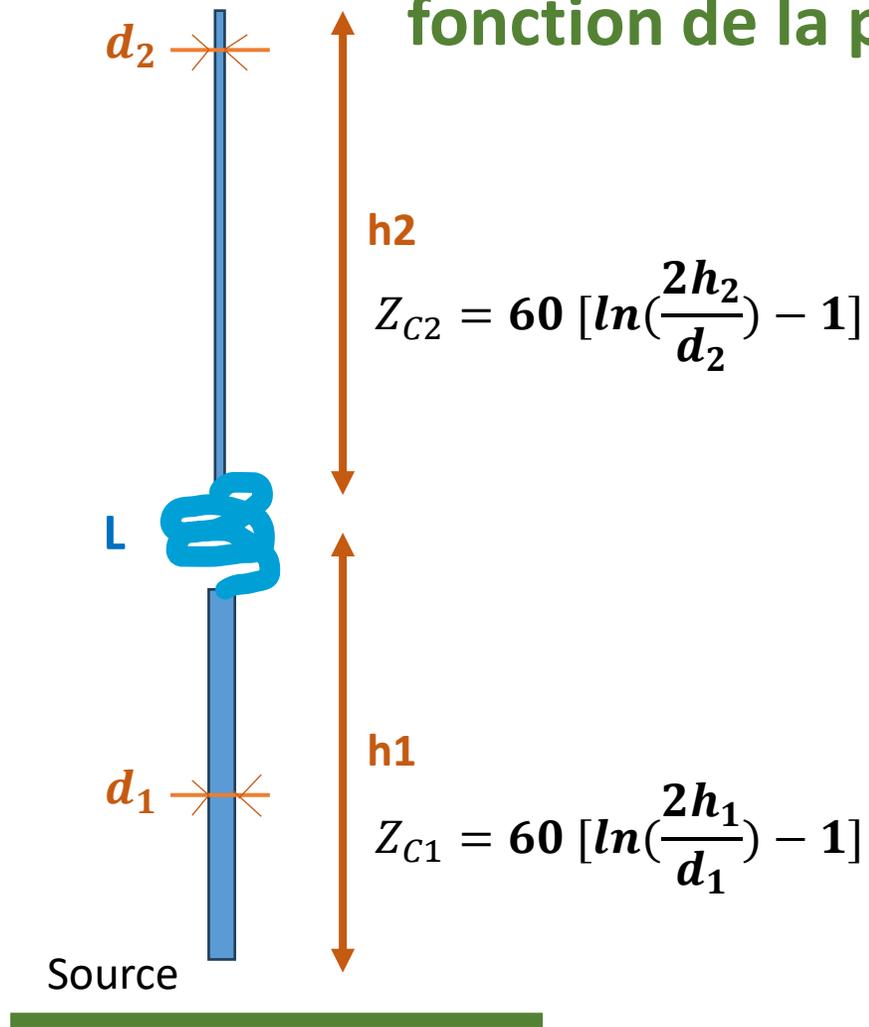


**Figure 7. The current distributions of the top-loaded antenna and their equivalent areas.**

# Augmenter l'efficacité de l'antenne par le placement de la bobine sur la partie supérieure de l'antenne



Augmenter l'efficacité de l'antenne par le placement de la bobine sur la partie supérieure de l'antenne, calcul de L en fonction de la position et du diamètre des deux parties:



$$Z_{C2} = 60 \left[ \ln\left(\frac{2h_2}{d_2}\right) - 1 \right]$$

$$X_L (\Omega) = Z_{C2}(\cot \beta h_2) - Z_{C1}(\tan \beta h_1)$$

$$\beta = \frac{360}{\lambda} \text{ ou } \frac{2\pi}{\lambda} \text{ en fonction du réglage de la calculatrice degrés ou radians}$$

$$L(H) = \frac{X_L}{2 * \pi * f}$$

$h_1, h_2, d_1, d_2$  doivent être pris dans la même unité

# Augmenter l'efficacité de l'antenne par le placement d'un chapeau capacitif sur la partie supérieure de l'antenne:

$$\eta \approx \frac{4}{4+R_{pertes}} = \frac{4}{4+10} = 0,285$$

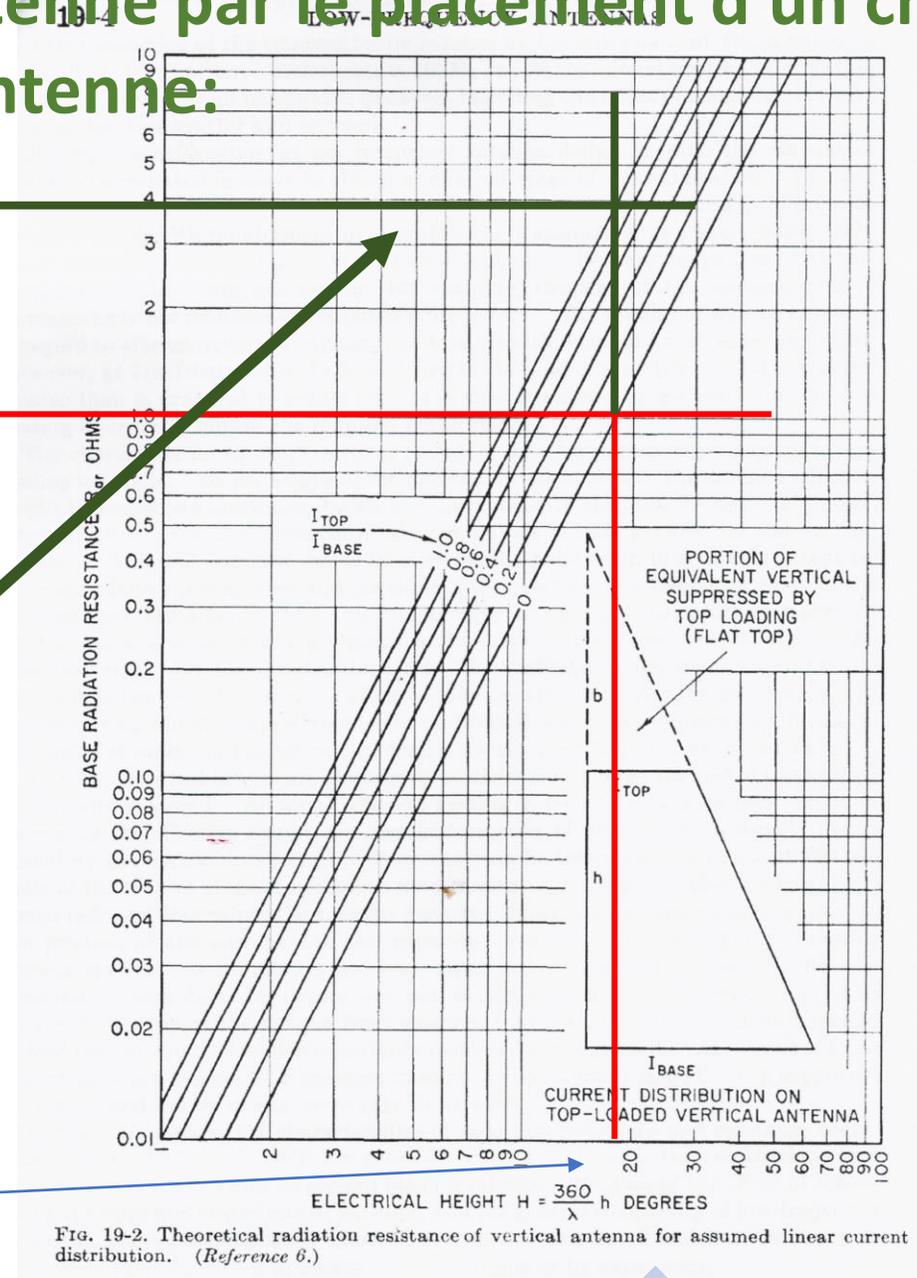
$$\eta \approx \frac{1,043}{1,043+R_{pertes}} = \frac{1,043}{1,043+10} = 0,094$$

Chapeau capacitif

**+ 19 %**

$$H' = \frac{360 * H}{\lambda} = \frac{360 * 2,17}{42,21} = 18,5^\circ$$

Franck DURAND, F4IEW - 2024



***Merci pour votre attention !***

***Questions ?***

[franck@f4iew.fr](mailto:franck@f4iew.fr)

[www.f4iew.fr](http://www.f4iew.fr)

## Références:

- « The ARRL ANTENNA BOOK FOR RADIO COMMUNICATIONS » 24th Edition
- « GEOPHYSIQUE, Murmures ionosphériques » Techniques de réception sous le seuil de 100 KHz, Jean-Jacques DELCOURT
- Les Antennes, D. Bensoussan – Dunod ISBN 2-04-012084-X, 1980
- *Source Successful wire Antennas, Edited by Ian Poole, G3YWX & Steve Telenius-Lowe, 9M6DXX/KHOUN*
- « Les Antennes théorie et pratique » par André Ducros F5AD – elektor – publitronic 3<sup>ème</sup> édition
- « LOW-FREQUENCY ANTENNAS » C.A. Martin and P.S. Carter RCA Laboratories Rocky Point, New York
- « Off-Center-Loaded Dipole Antennas », QST, September 1974 By Jerry Hall, K1PLP
- Antennas for 136kHz, ON7YD's Amateur Radio Web Site: <https://www.strobbe.eu/on7yd/136ant/#ShortMonopole>
- « Short Low-and Medium-Frequency Antenna Performance », Valentino Trainotti and Luis A. Dorado
- <https://www.66pacific.com/calculators/coil-shortened-vertical-antenna-calculator.aspx>