BALUNS ET FERRITES

Jacques Audet
VE2AZX Mai 2023

VE2AZX@amsat.org

Web: ve2azx.net

POURQUOI UTILISER UN BALUN ?

TYPES DE BALUN

VÉRIFICATIONS DU BALUN AVEC L'ANALYSEUR SWR ET RÉSULTATS

MESURES D'IMPÉDANCES DE FERRITES

VÉRIFICATIONS DES FERRITES AVEC LE L'ANALYSEUR SWR

UTILISATION DE FERRITES SUR LE FEEDER ET SUR LES CONDUCTEURS ENVIRONNANTS

POURQUOI UTILISER UN BALUN ?

BALUN = BALanced to Unbalanced - C'est un transformateur

Pour alimenter une charge balancée, Ex: dipôle

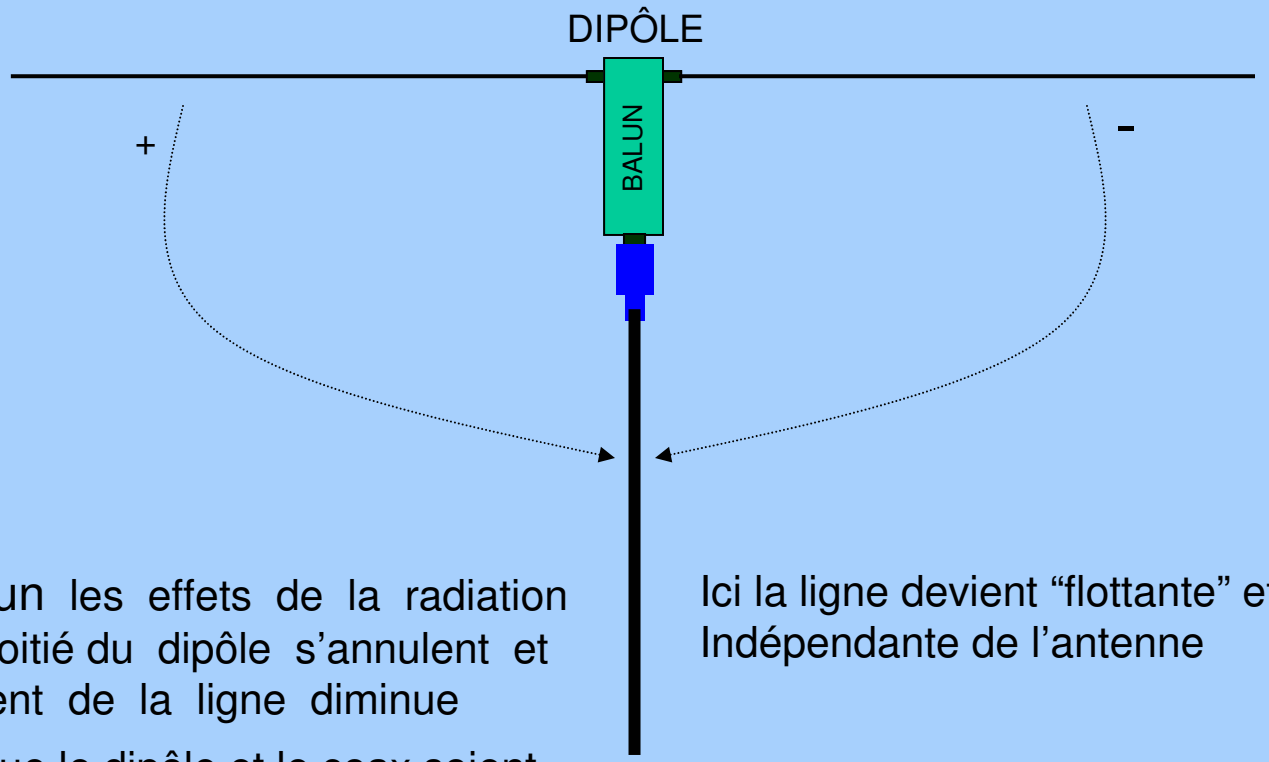
Diminue la radiation de la **ligne d'alimentation** (via le blindage)
Ne participe plus à la réception de signaux indésirables

La ligne d'alimentation devient indépendante de l'antenne:

- On peut changer sa longueur … la déplacer …

<u>Sans que le SWR change</u>.

POURQUOI UTILISER UN BALUN ?



Avec un balun les effets de la radiation de chaque moitié du dipôle s'annulent et le rayonnement de la ligne diminue

…En autant que le dipôle et le coax soient symétriques: coax à angle droit et dipôle parallèle au sol

Ici la ligne devient "flottante" et devient Indépendante de l'antenne

Avec une antenne NON symétrique …
Ex: antenne windom…
L'utilisation d'un balun de type COURANT est nécessaire. …

TYPES DE BALUN

VOLTAGE

- **TRANSFORMATEUR** AVEC ENROULEMENTS DONNANT UNE SORTIE BALANCÉE

- LES IMPÉDANCES IN-OUT SONT DÉTERMINÉES PAR LE RAPPORT DU NOMBRE DE TOURS. BEAUCOUP DE RAPPORTS POSSIBLES

- LIMITATIONS DE FRÉQUENCE

COURANT

- UTILISE UNE OU DES LIGNES DE TRANSMISSION

- PEUT UTILISER UN CÂBLE COAXIAL OU UNE LIGNE PARALLÈLE AVEC OU SANS FERRITES

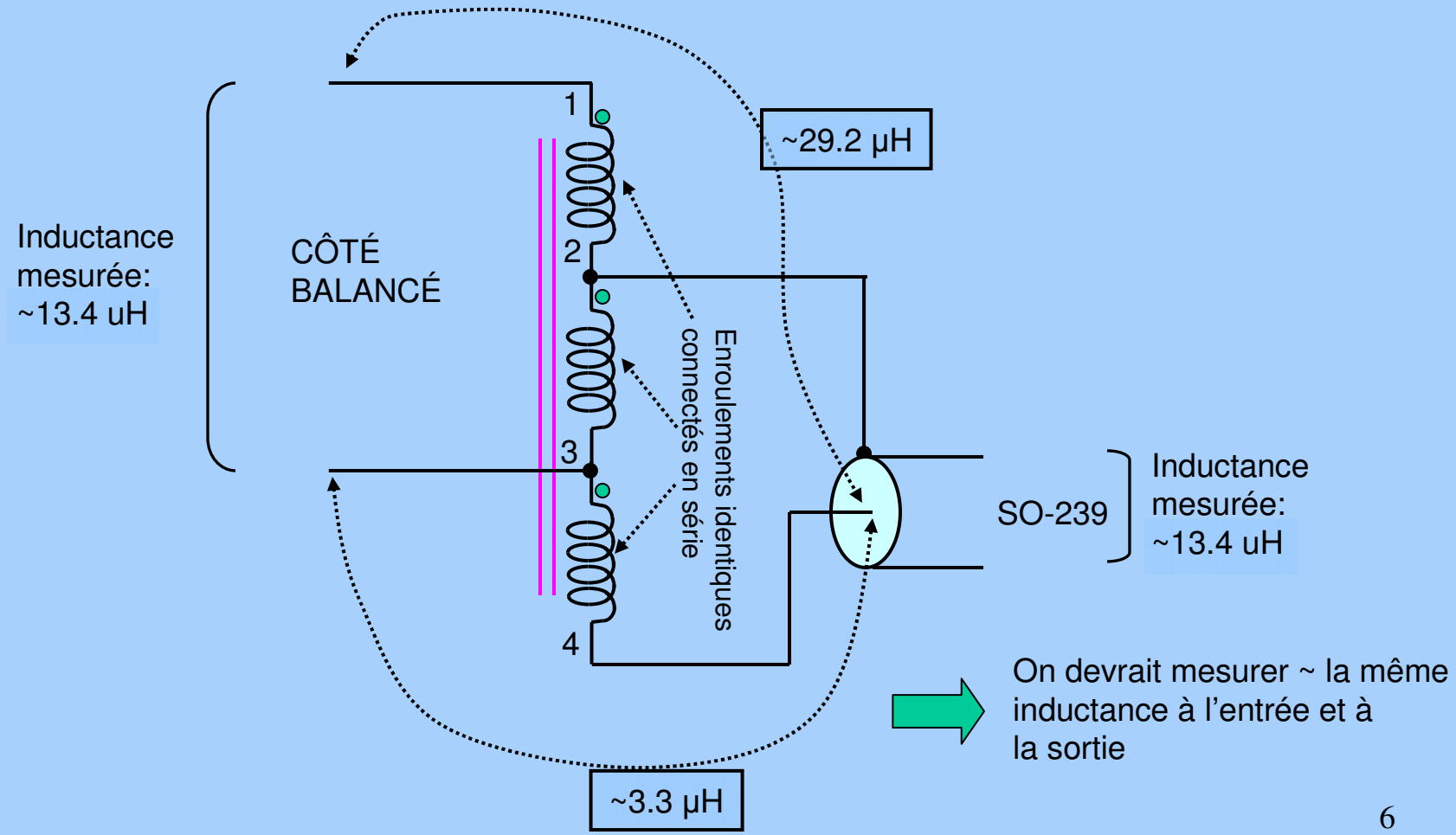
- RAPPORT D'IMPÉDANCES **1 : 1 , 4 : 1 , 9 : 1** POSSIBLES

- FONCTIONNEMENT SUR UNE PLUS LARGE BANDE DE FRÉQUENCES

BALUN VOLTAGE 1:1

- 3 ENROULEMENTS IDENTIQUES

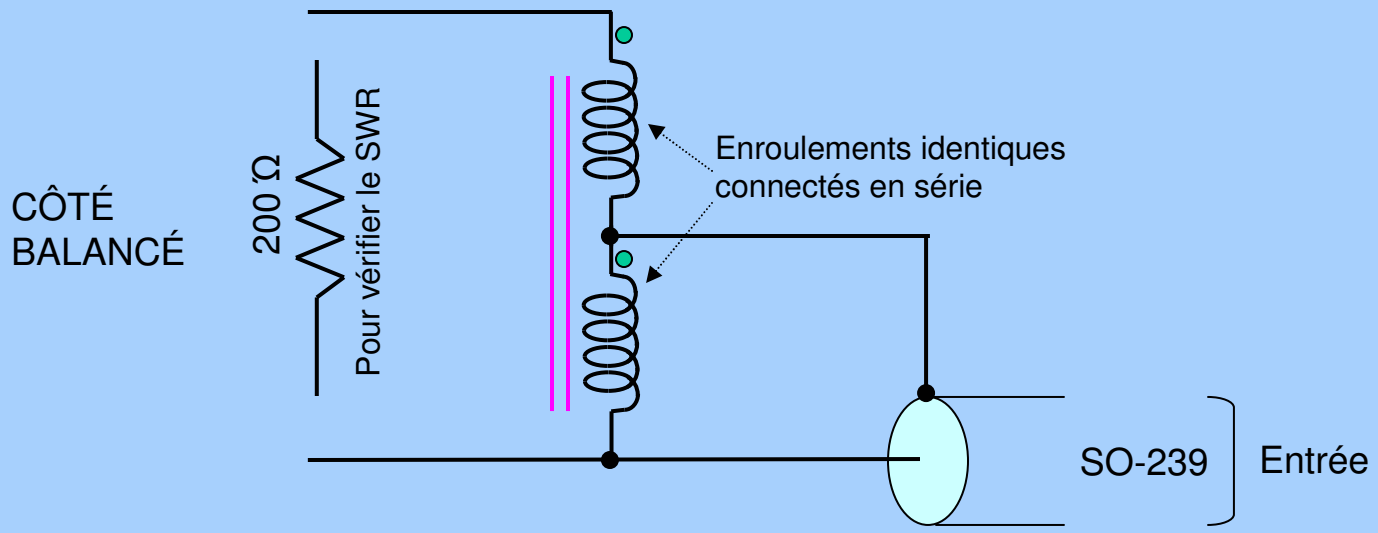
- GÉNÉRALEMENT 50 : 50 ohms



On devrait mesurer ~ la même inductance à l'entrée et à la sortie

BALUN VOLTAGE 4:1

- 2 ENROULEMENTS IDENTIQUES (Paire parallèle)

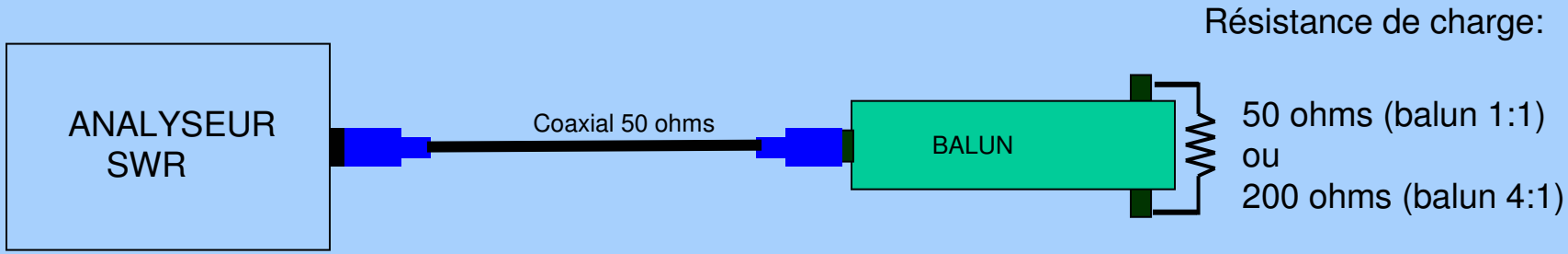


L'inductance mesurée à la sortie est ~ 4X l'inductance à l'entrée

VÉRIFICATION DU BALUN AVEC LE MFJ

Ces tests vérifient:

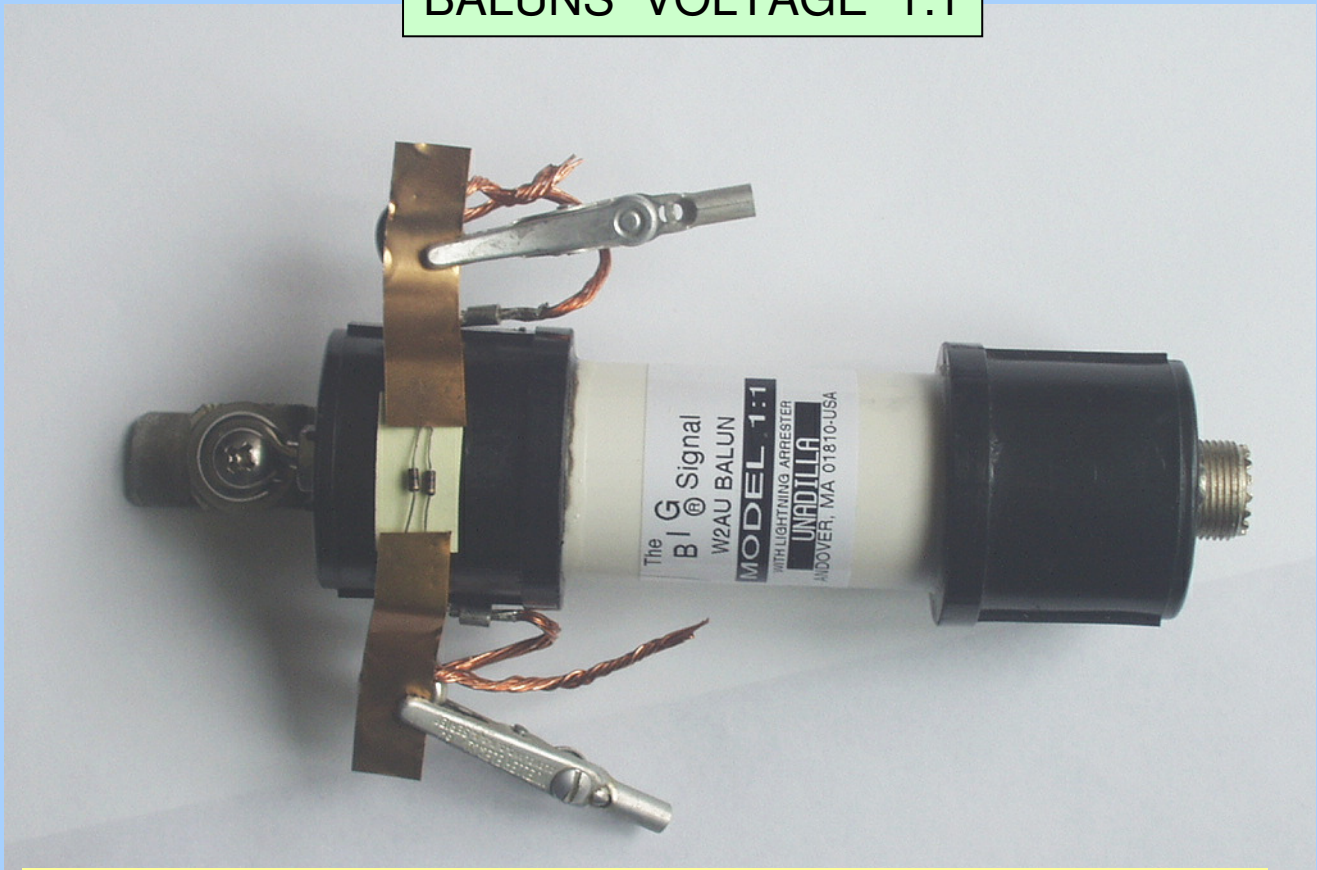
- L'inductance des enroulements
- La capacité distribuée des enroulements
- La qualité de l'isolation des conducteurs



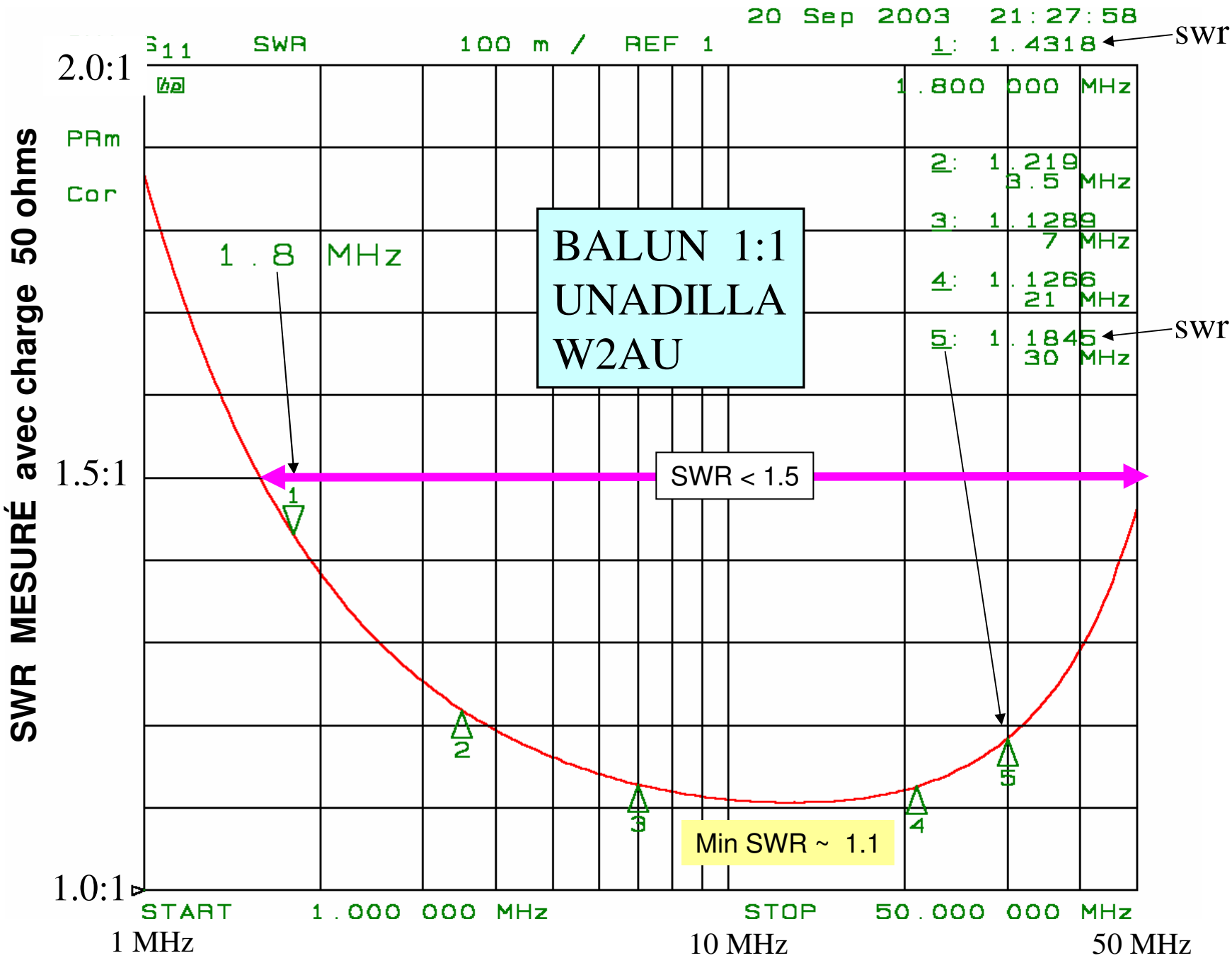
On devrait avoir un SWR inférieur à 1.5 entre 7 et 15 MHz

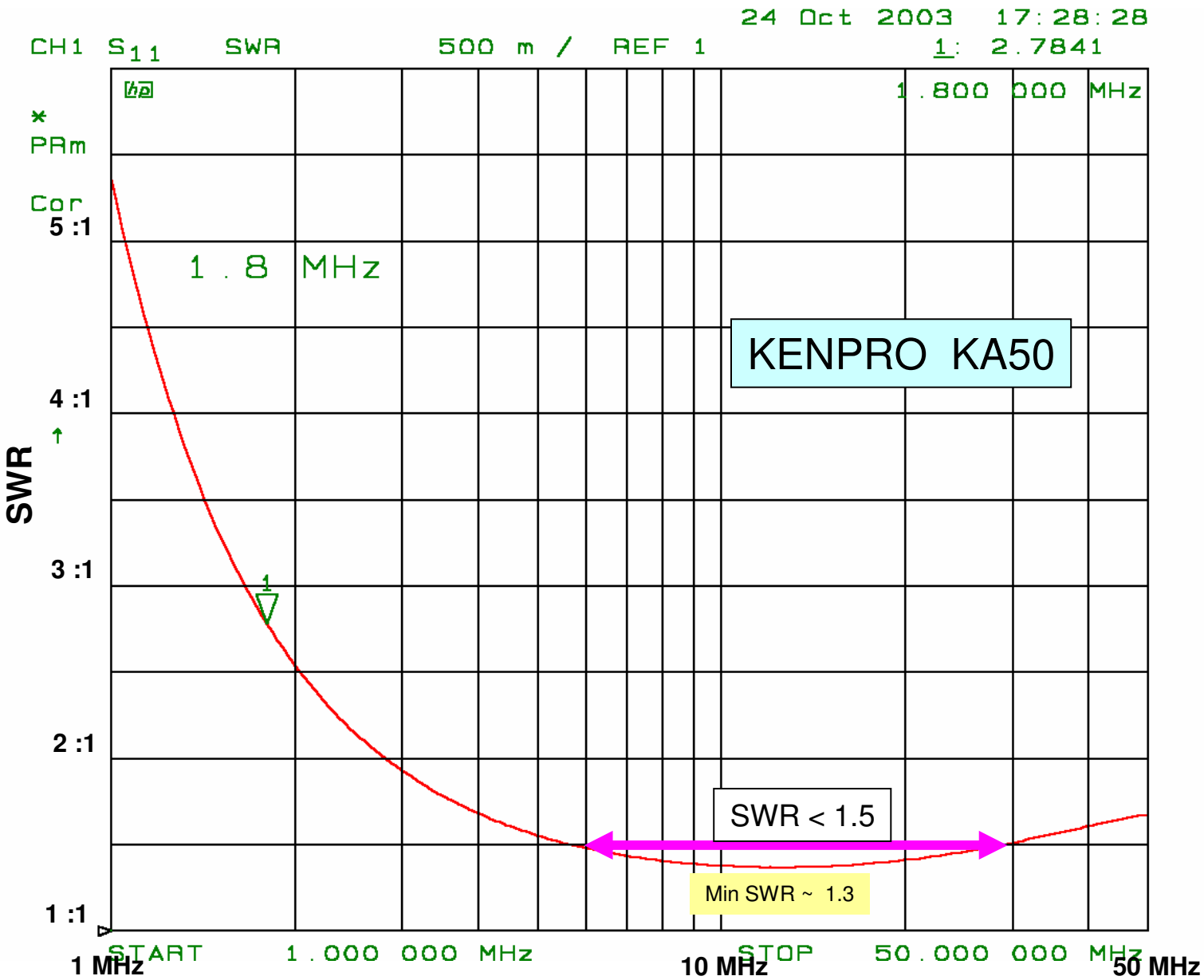
CONNECTION DE LA RESISTANCE DE CHARGE (50 Ω Ici)

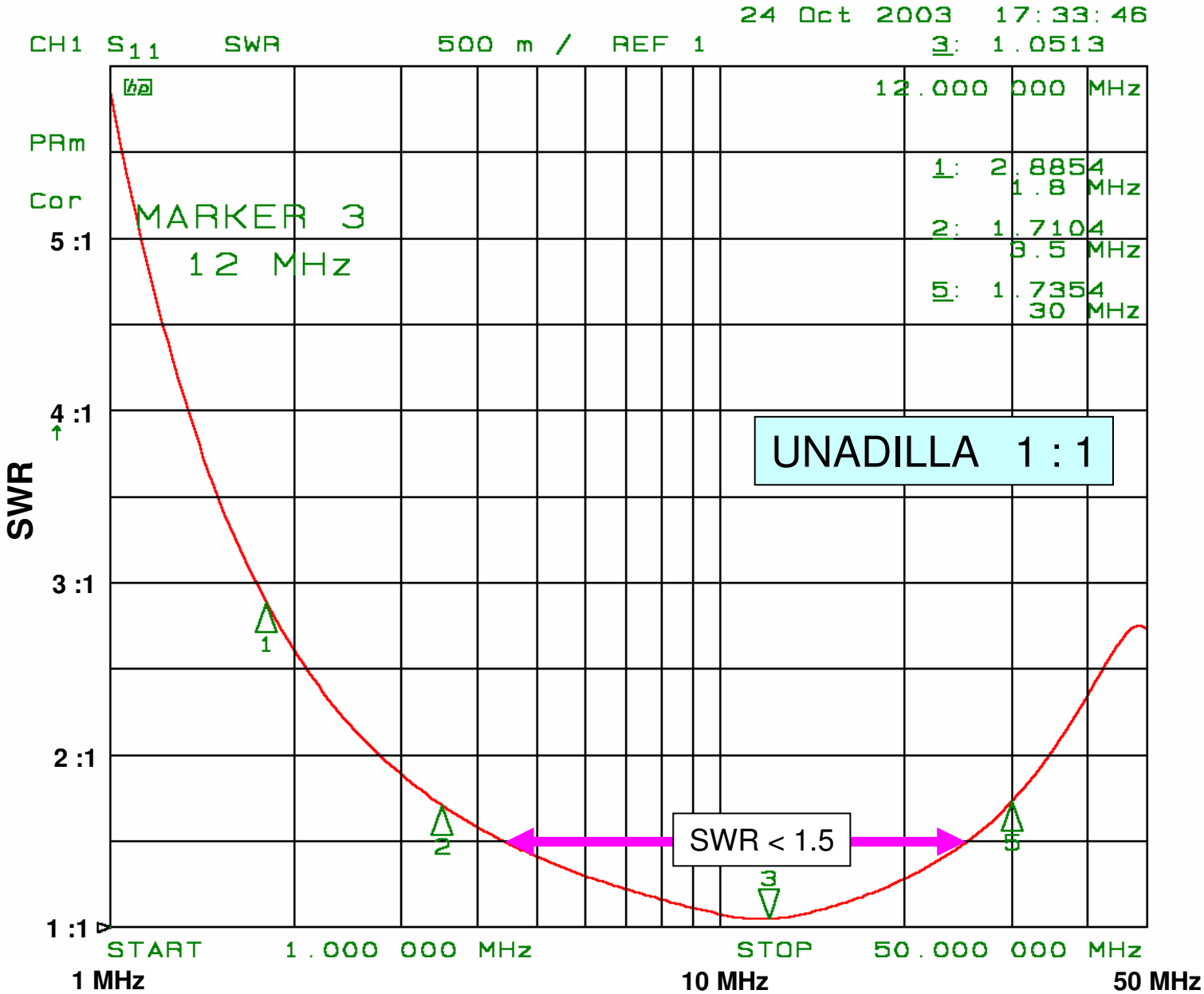
BALUNS VOLTAGE 1:1

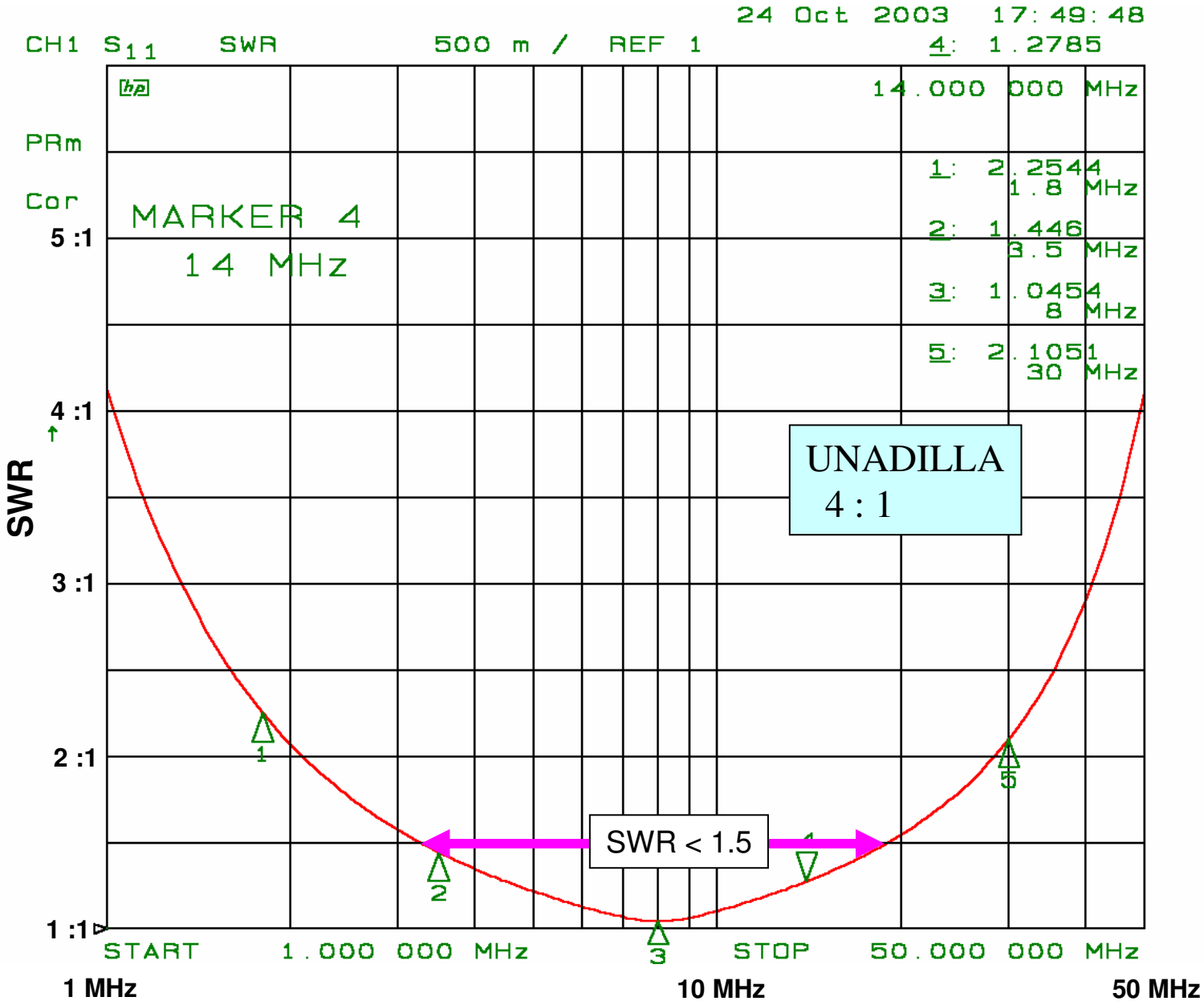


IL EST IMPORTANT D'UTILISER DES CONNECTIONS COURTES ET AVEC UN GROS CONDUCTEUR – ICI EN CUIVRE


20 Sep 2003 21:27:58
S11 SWR 100 m / REF 1
1: 1.4318
swr
1.800 000 MHz
PRm
Cor
2: 1.219
3.5 MHz
3: 1.1289
7 MHz
4: 1.1266
21 MHz
5: 1.1845
30 MHz
swr
1.8 MHz
BALUN 1:1
UNADILLA
W2AU
SWR < 1.5
Min SWR ~ 1.1
2.0:1
1.5:1
1.0:1
SWR MESURÉ avec charge 50 ohms
START 1.000 000 MHz
STOP 50.000 000 MHz
1 MHz
10 MHz
50 MHz


24 Oct 2003 17:28:28
CH1 S11 SWR 500 m / REF 1
1: 2.7841
1.800 000 MHz
*
PRm
Cor
5 :1
1.8 MHz
KENPRO KA50
4 :1
SWR
3 :1
2 :1
SWR < 1.5
Min SWR ~ 1.3
1 :1
START 1.000 000 MHz
STOP 50.000 000 MHz
1 MHz
10 MHz
50 MHz

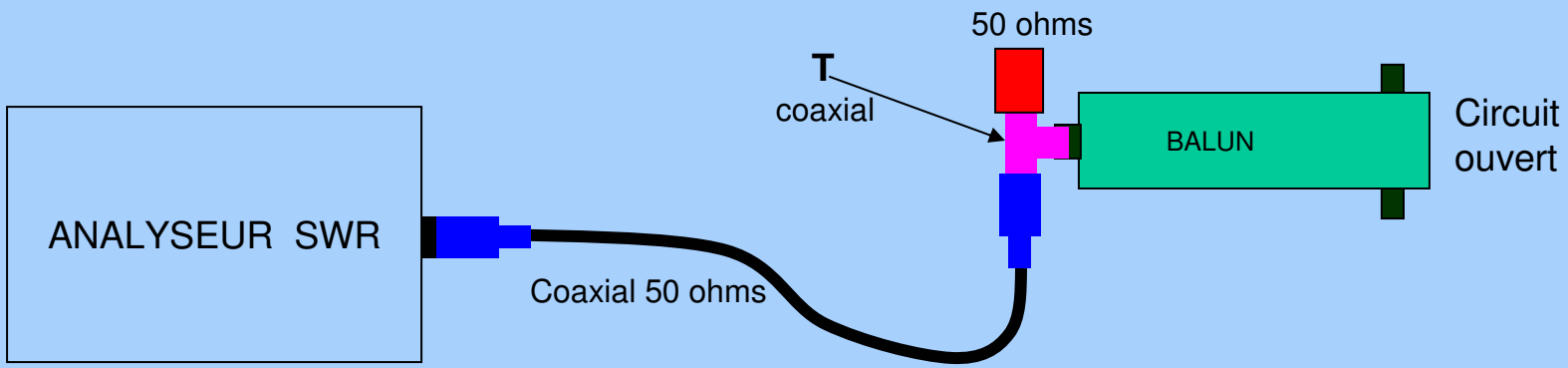

24 Oct 2003 17:33:46
CH1 S11 SWR 500 m / REF 1
3: 1.0513
12.000 000 MHz
PRm
Cor
MARKER 3
12 MHz
1: 2.8854
1.8 MHz
2: 1.7104
3.5 MHz
5: 1.7354
30 MHz
UNADILLA 1 : 1
SWR < 1.5
5 :1
4 :1
3 :1
2 :1
1 :1
SWR
START 1.000 000 MHz
STOP 50.000 000 MHz
1 MHz
10 MHz
50 MHz


24 Oct 2003 17:49:48
CH1 S11 SWR 500 m / REF 1
4: 1.2785
14.000 000 MHz
PRm
Cor
MARKER 4
14 MHz
1: 2.2544
1.8 MHz
2: 1.446
3.5 MHz
3: 1.0454
8 MHz
5: 2.1051
30 MHz
UNADILLA
4 : 1
SWR < 1.5
5 :1
4 :1
3 :1
2 :1
1 :1
SWR
START 1.000 000 MHz
STOP 50.000 000 MHz
1 MHz
10 MHz
50 MHz

TEST EN CIRCUIT OUVERT AVEC LE MFJ

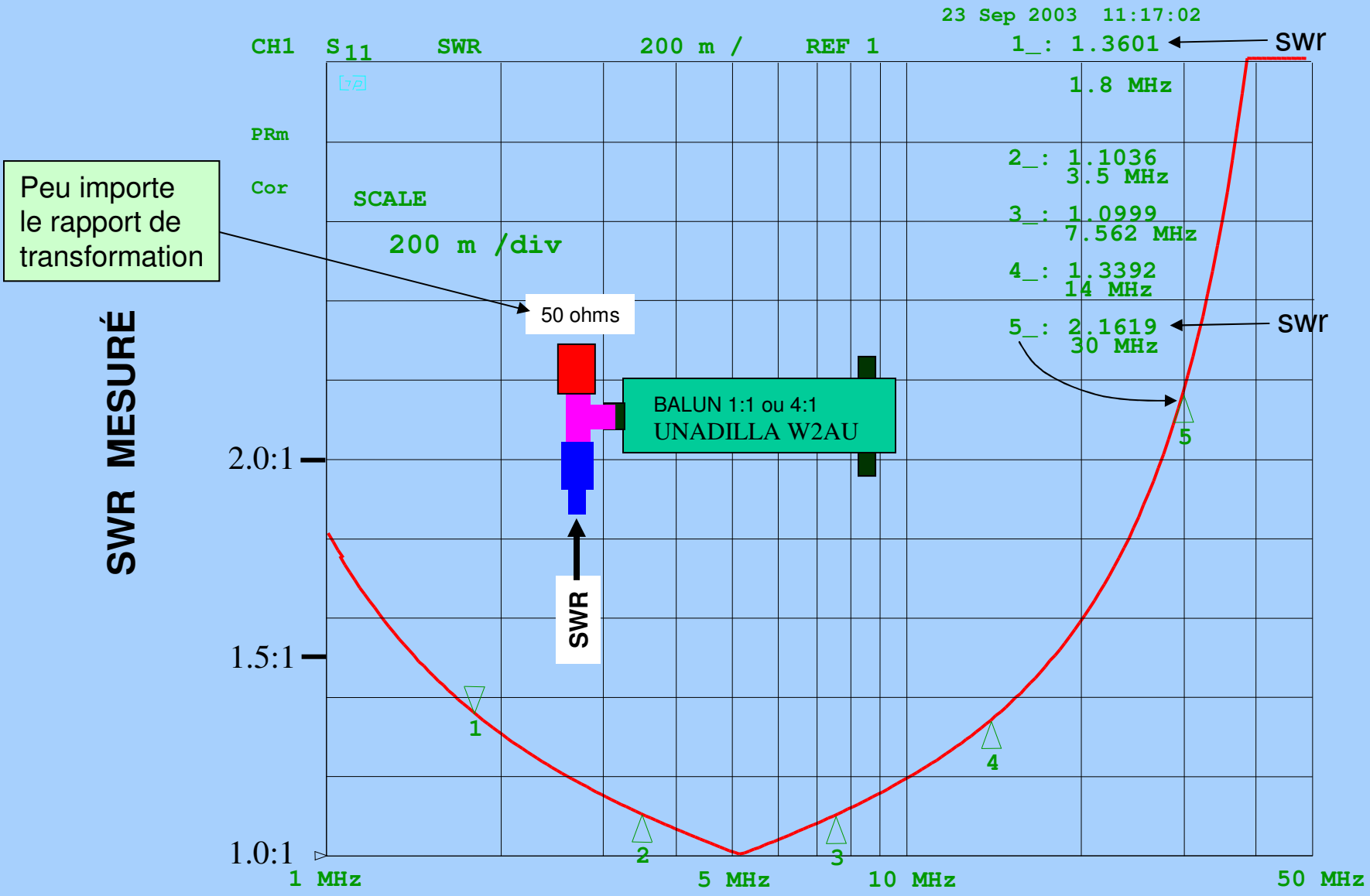
Ce test vérifie l'autotransformateur:

- L'inductance des enroulements
- La capacité distribuée des enroulements
- La qualité de l'isolation des conducteurs



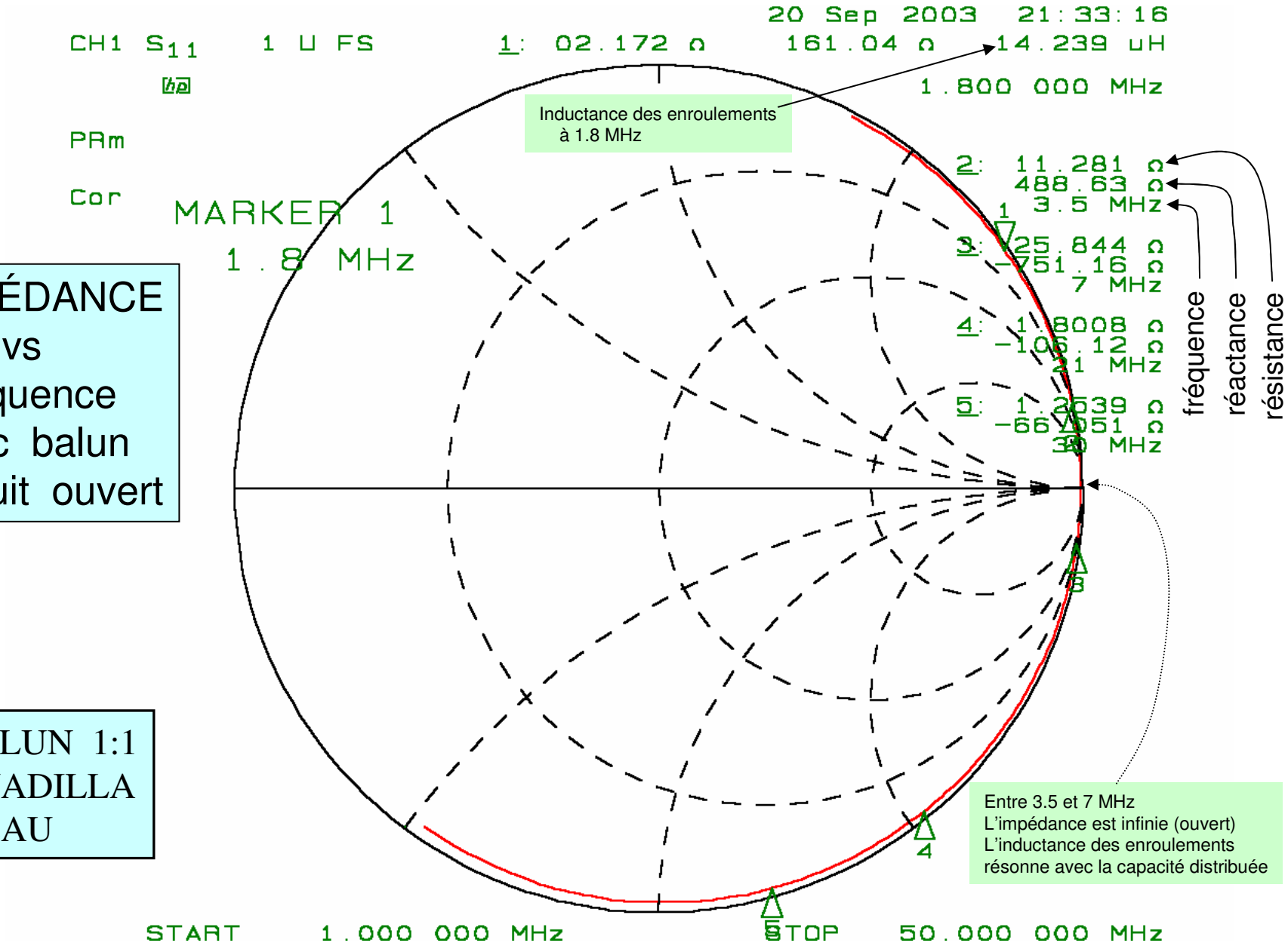
On devrait avoir un SWR inférieur à 1.1 entre 3.5 et 7.5 MHz

MESURE DU SWR - CIRCUIT OUVERT – 50 ohms à l'entrée



IMPÉDANCE
vs
Fréquence
avec balun
circuit ouvert

BALUN 1:1
UNADILLA
W2AU



BALUNS COURANT

Question

Combien y a-t-il de conducteurs indépendants pour le RF dans un câble coaxial ? 1, 2, 3 ou 4 conducteurs ?

Il y a **3** conducteurs:

- Le conducteur central,
- L'intérieur du blindage
- L'extérieur du blindage

Noter que le courant RF qui circule sur l'extérieur du blindage est indépendant du courant circulant à l'intérieur. Le courant pénètre très peu dans le conducteur, soit par l'intérieur du coax ou par l'extérieur. (Skin Effect)

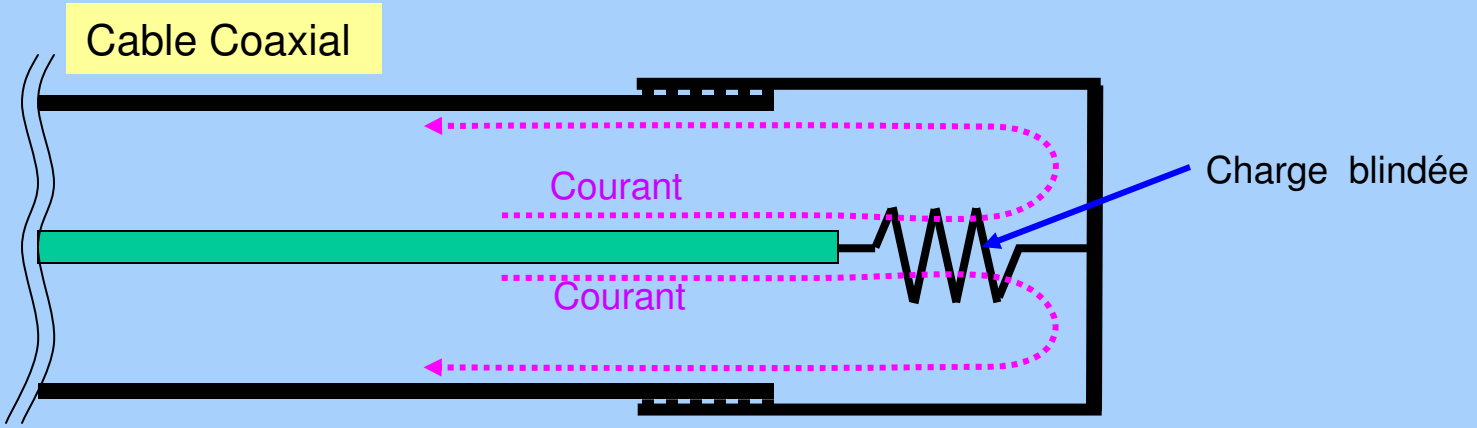
Noter aussi que le SWR n'a rien a voir avec le courant qui circule sur l'extérieur du coax. Pour le SWR, c'est à l'intérieur du câble que cela se passe.

CHARGE BLINDÉE

Lorsque la charge est blindée, le courant reste à l'intérieur du coax

Il n'y a PAS de courant sur l'extérieur du coax

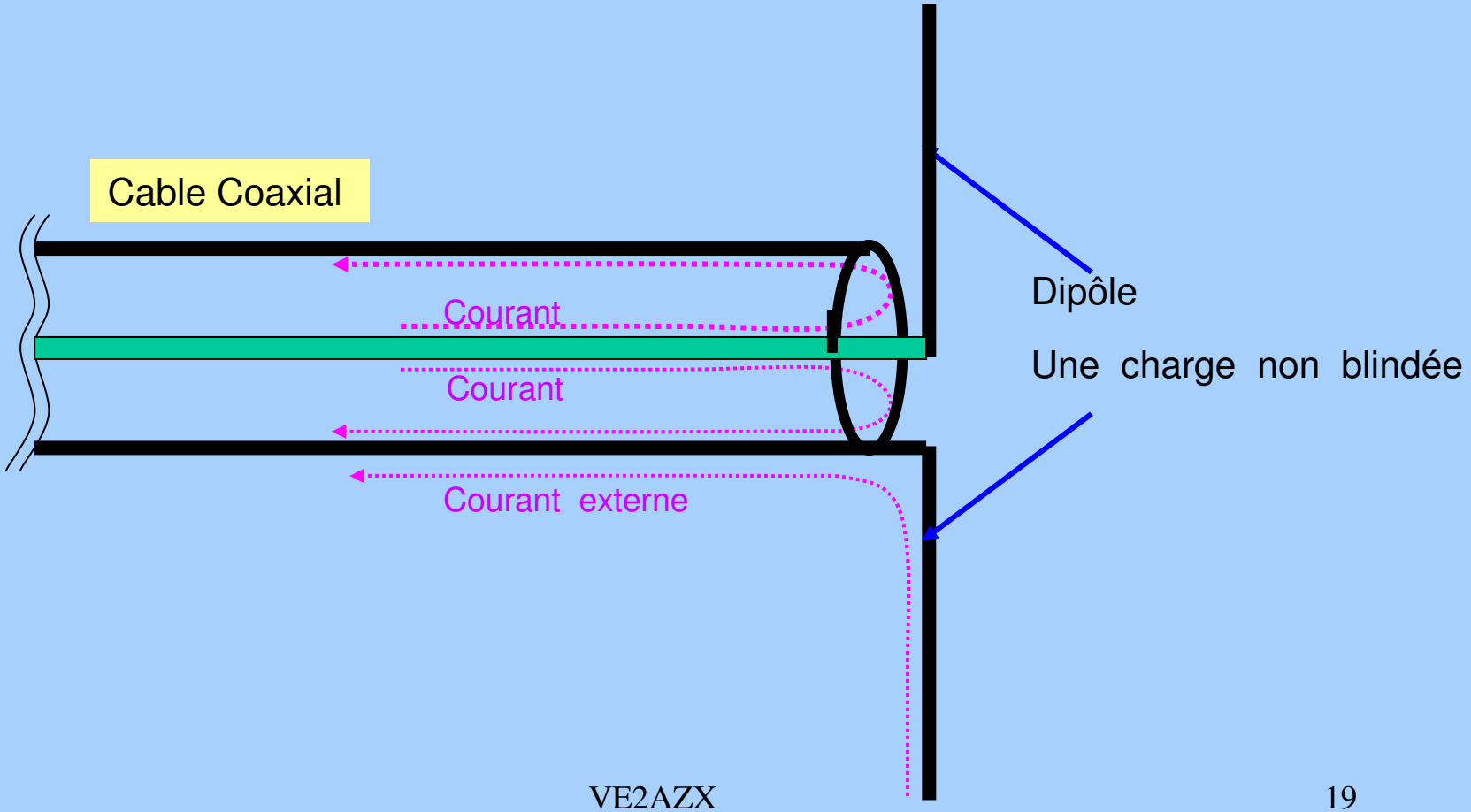
Dans ce cas, les ferrites placés sur l'extérieur du coax n'ont AUCUN effet



UNE CHARGE NON BLINDÉE

Un dipôle est une charge **non blindée**

Ici une partie du courant rayonné par l'antenne va se retrouver sur le blindage du coax – et le coax va rayonner.

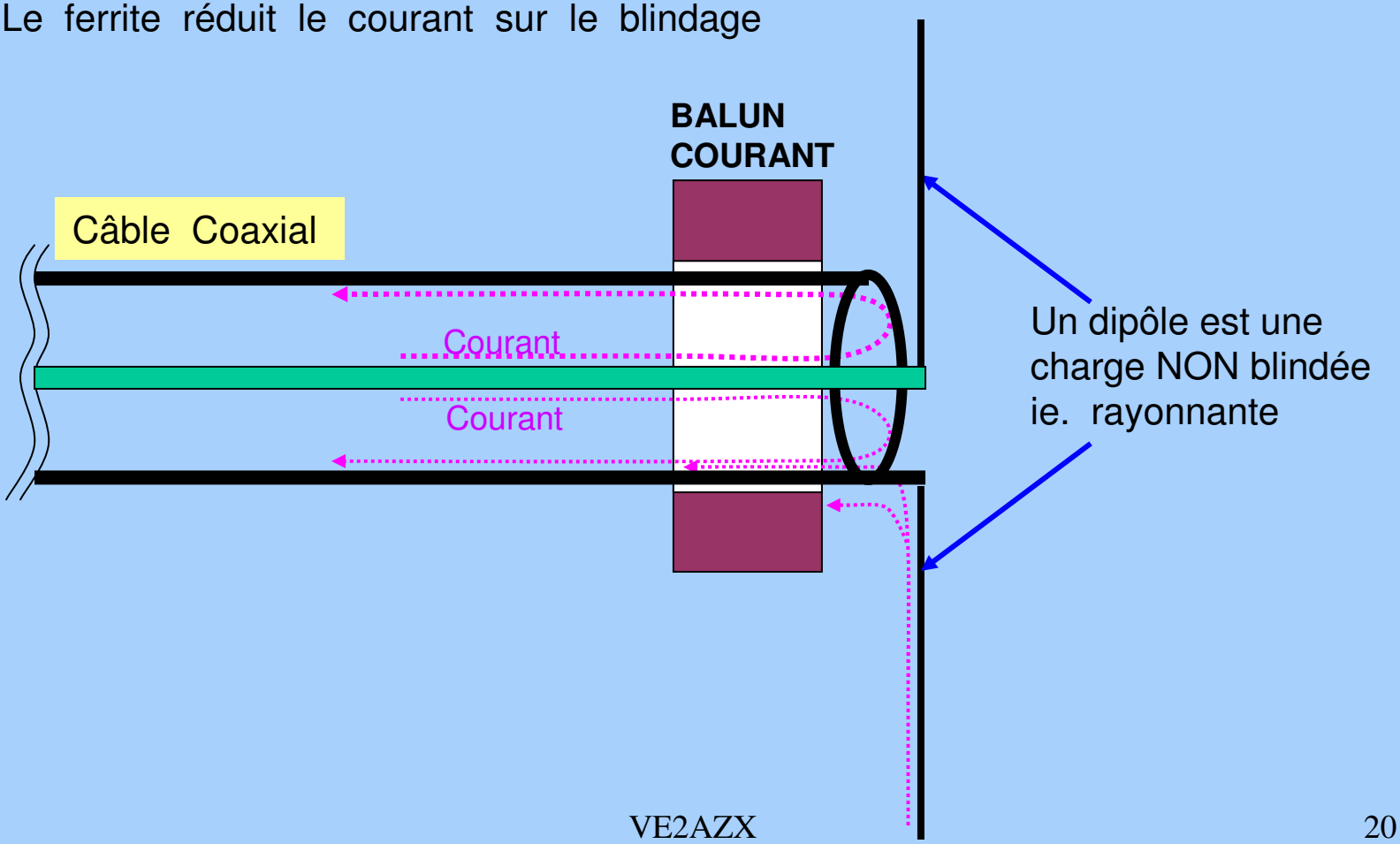


UNE CHARGE NON BLINDÉE

On place des ferrites qui ajoutent une resistance (RF) sur **L'EXTÉRIEUR** du coax

Le ferrite n'a AUCUN effet sur les courants à l'intérieur du coax

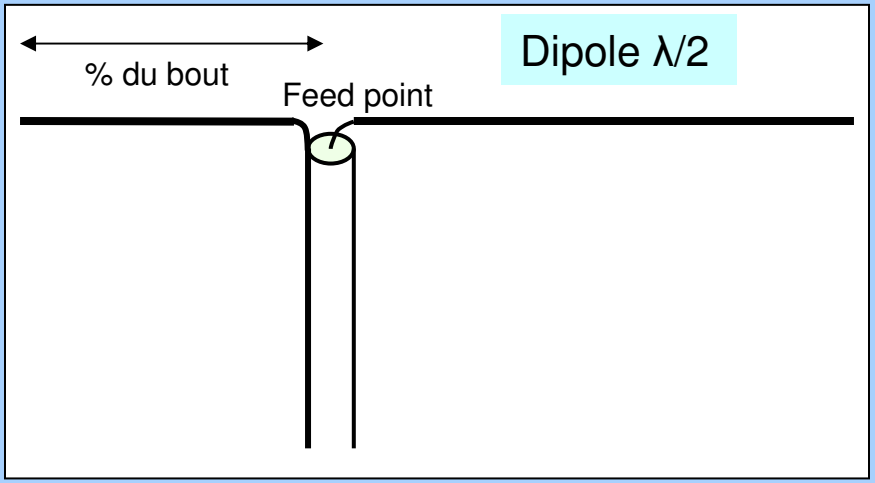
Le ferrite réduit le courant sur le blindage



BALUNS COURANT

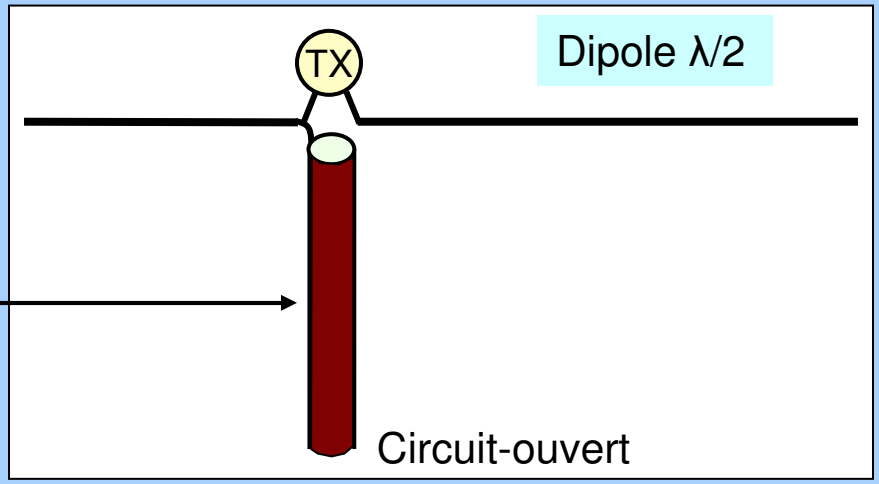
Quelle valeur de résistance est requise quand on alimente un dipole avec un câble coaxial ? (sans un balun)

Un câble coaxial alimente un dipôle au centre ou avec un offset



Circuit équivalent:
Le coaxial fait partie de l'antenne

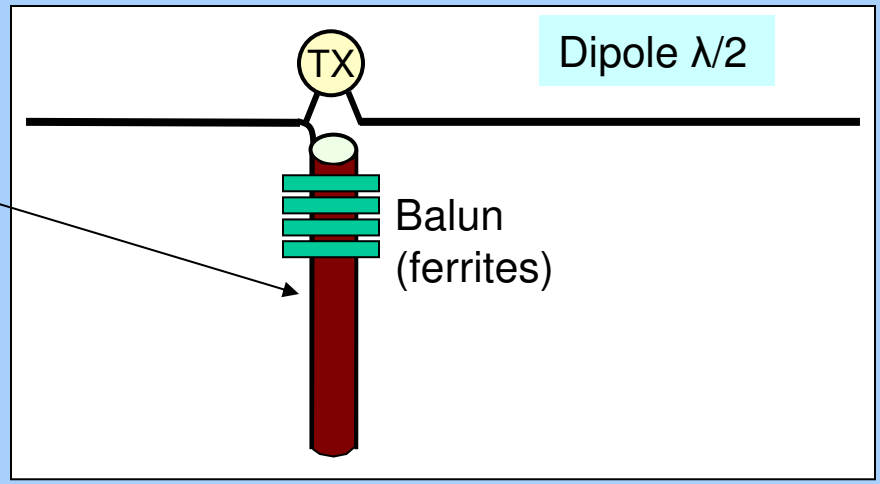
Stub λ/4 Représente <u>la pire longueur</u> de coax

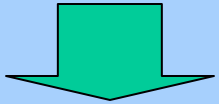


BALUNS COURANT

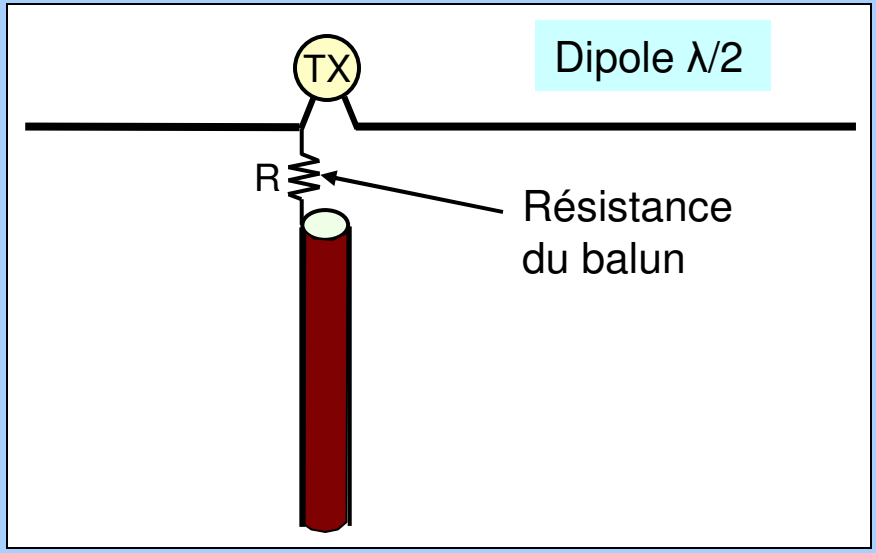
Alimentation avec un câble coaxial d'un dipole

Pour diminuer le courant dans le stub:
On insère un balun courant qui ajoute une résistance en série sur <u>l'extérieur</u> du coaxial





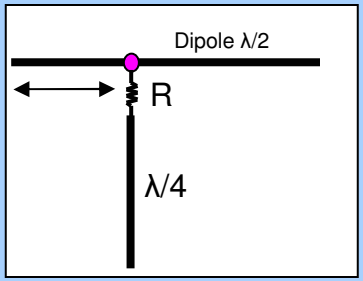
Circuit équivalent du balun

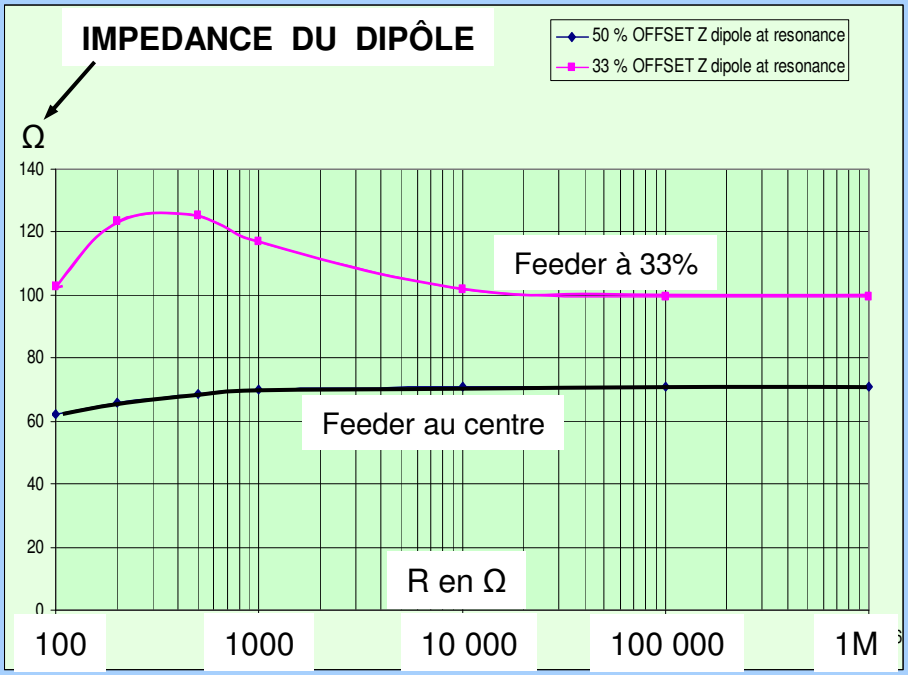


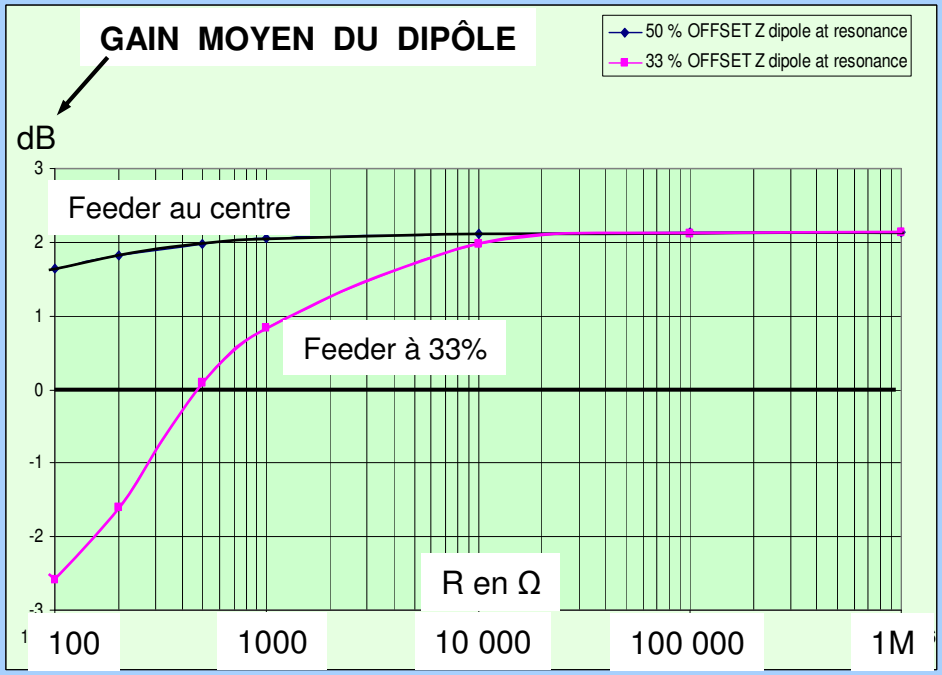
Quelle est la résistance minimum pour:
- avoir peu d'effet sur l'impédance de l'antenne ?
- avoir avoir peu d'effet sur le gain ?

BALUNS COURANT

Alimentation avec un câble coaxial d'un dipole



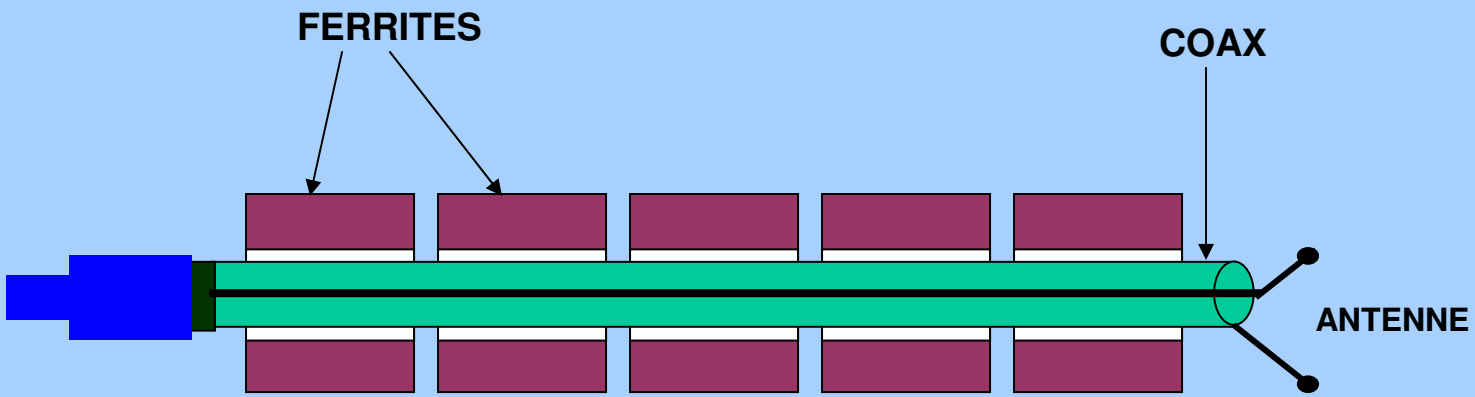




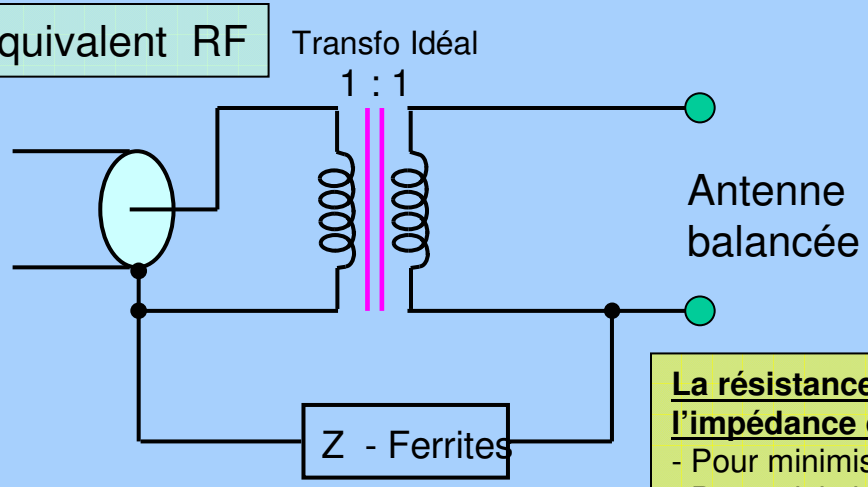
Alimentation au centre (50%): R > 1000 ohms
Alimentation à 33% du bout: R > 10000 ohms

On a intérêt à alimenter l'antenne au centre électrique

BALUNS COURANT



Circuit équivalent RF



<u>La résistance RF causée par les ferrites sur le câble, c'est l'impédance du balun courant. Doit être élevée (> 1000 ohms)</u>

- Pour minimiser le RF transmis et reçu par le feeder
- Pour minimiser l'augmentation de température à haute puissance
  Z ferrite > 5000 ohms

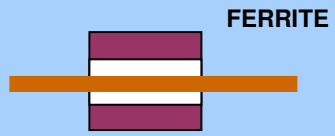
IMPÉDANCE DES FERRITES

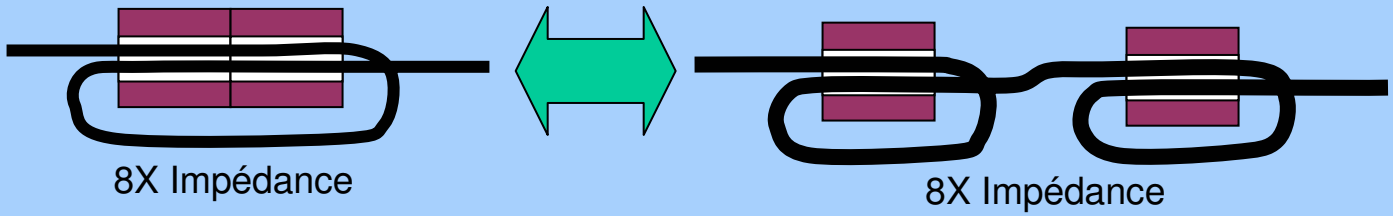
DÉPENDS DU…

- MATÉRIEL
- DE LA LONGUEUR
- DU VOLUME DE MATÉRIEL
- VARIE EN FONCTION DE LA FRÉQUENCE
- **POUR CALCULER L'IMPÉDANCE Z: (approx.)**

  IMPÉDANCE POUR UN TOUR ET POUR UNE FERRITE
  multiplié par…
  NOMBRE DE FERRITES
  multiplié par…
  (NOMBRE DE TOURS) au carré

- NOTE: 1 TOUR = FERRITE SUR UN FIL DROIT





IMPÉDANCE DES FERRITES

- **FERRITES VS POUDRE DE FER … DEUX MATÉRIAUX DIFFÉRENTS**

- **FERRITE**: POSSÈDE UNE PERMÉABILITÉ ÉLEVÉE (10 à 15000)
  DONC ON AURA UNE INDUCTANCE ÉLEVÉE POUR UN PETIT NOMBRE DE TOURS

  MAIS L'INDUCTANCE N'EST PAS STABLE

  OK POUR TRANSFO ET BALUNS

EXEMPLE: AMIDON -> FERRITES ET POUDRE DE FER

NUMÉROTATION - EXEMPLE: FT240-43

NOTE: FT-240-43 5943003801 https://www.fair-rite.com/product/toroids-5943003801/

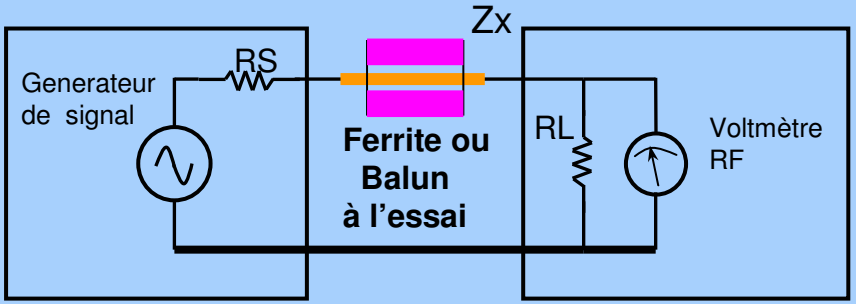
FT: FERRITE
240: DIAMÈTRE EXTÉRIEUR EN po. / 100 (ici 2.4 po.)
43: TYPE DE FERRITE, PERMÉABILITÉ = 800

- **POUDRE DE FER**: PERMÉABILITÉ BASSE … INDUCTANCE BASSE, DONNE UNE INDUCTANCE STABLE (EX.: VFO, FILTRES, TUNERS)

MESURES D'IMPÉDANCE de FERRITES et BALUNS COURANT

- Vérification de l'atténuation vs la fréquence
- Niveau de référence: = 0 dB = court-circuit à la place du ferrite
- **Permet de mesurer des impédances élevées >> 1000 ohms**

  Voir: http://ve2azx.net/technical/Series_Parallell-Impedance_with_VNA-Re_Im.xls
- Utiliser un VNA (mode S21) pour mesurer séparément les composantes résistives et inductive

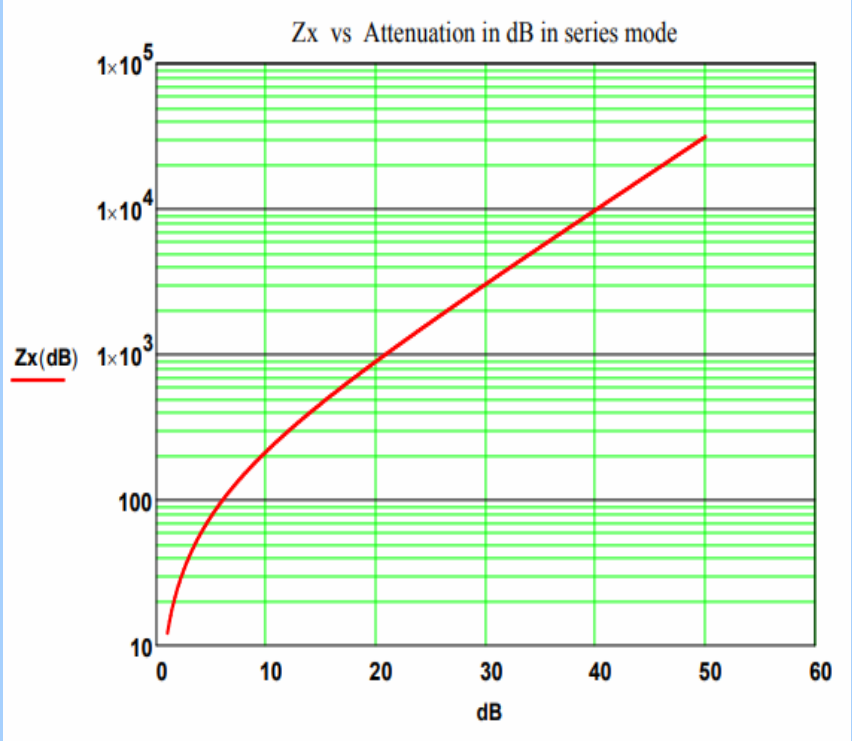


RS et RL sont généralement 50 ohms

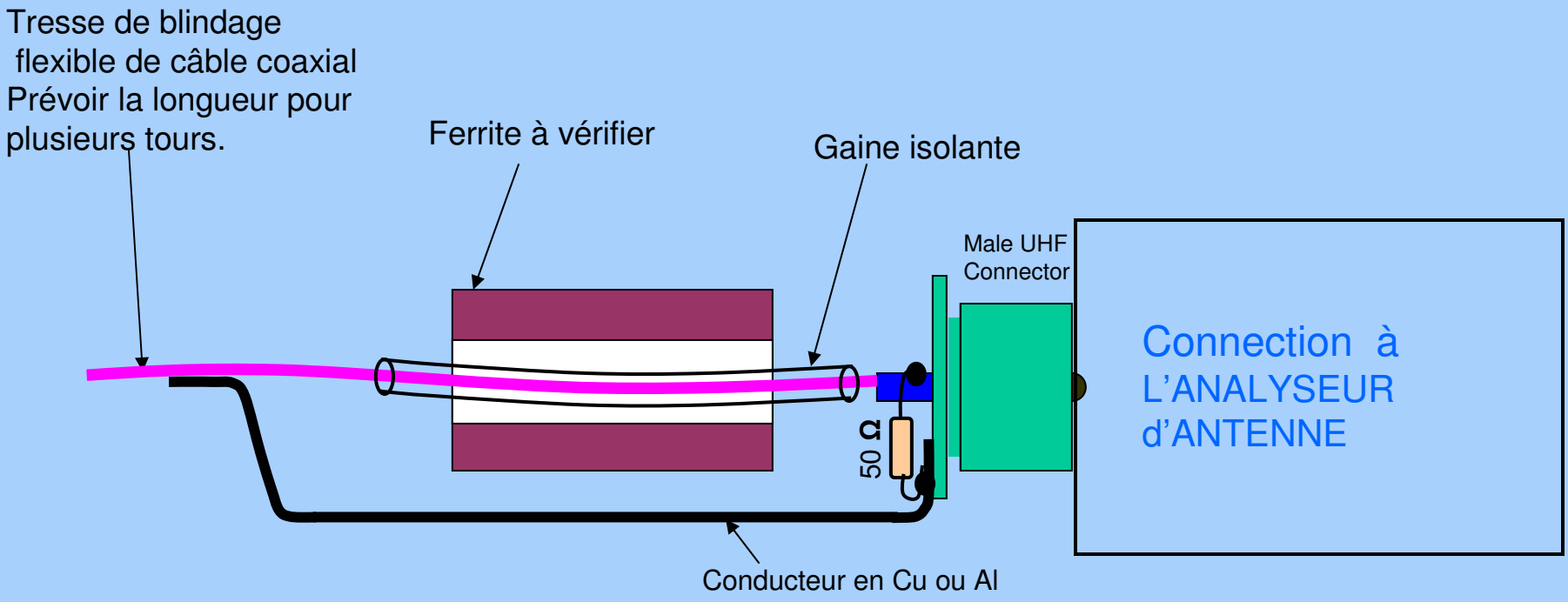
Balun Courant:
On mesure entre l'entrée en court-circuit et la sortie en court-circuit.

Pour calculer Zx à partir de l'atténuation (en + dB):

$$Zx = (RL + RS) \cdot \left(10^{\left[\frac{dB}{20}\right]} - 1\right)$$

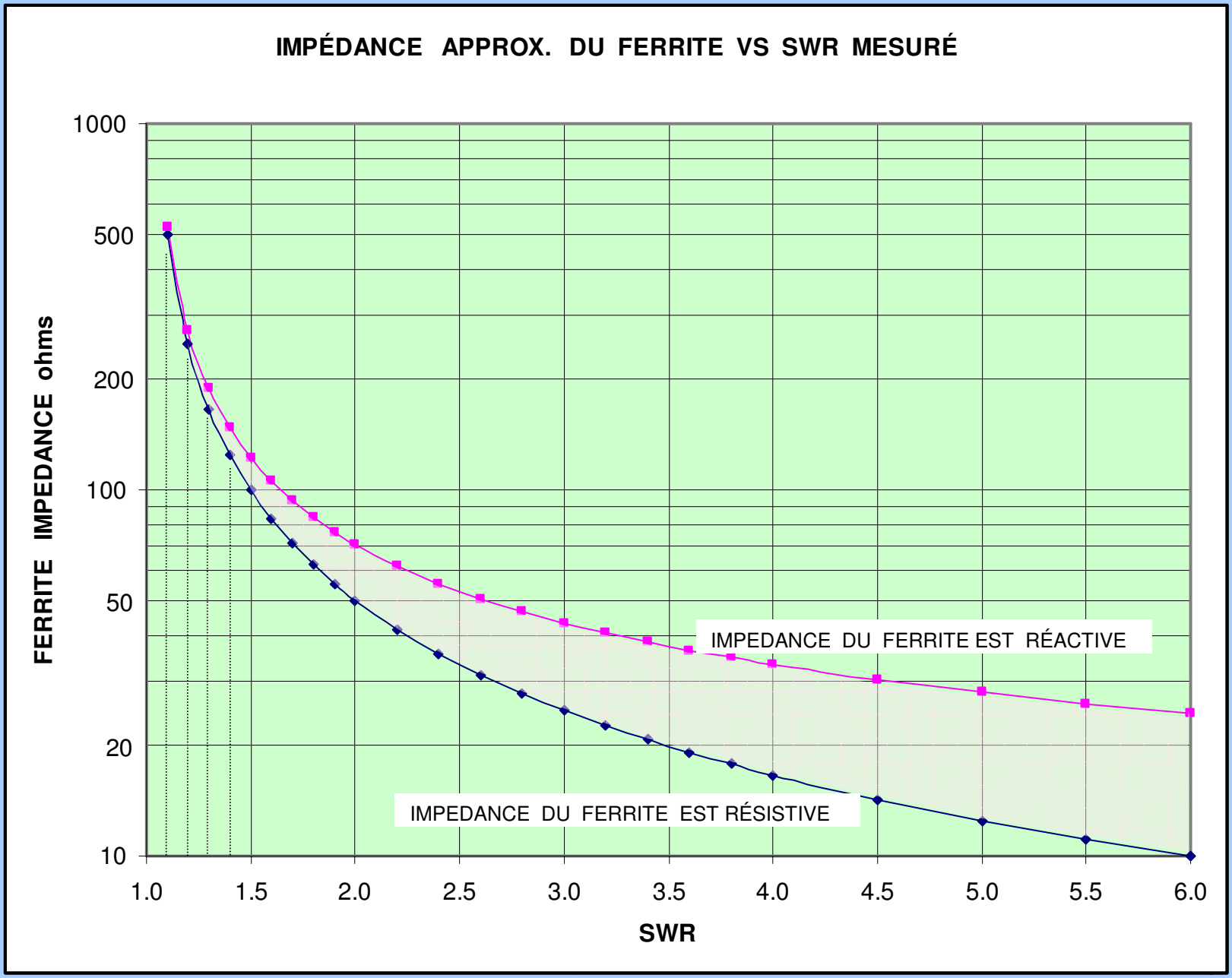


VÉRIFIEZ VOS FERRITES AVEC VOTRE ANALYSEUR SWR
OK pour mesure rapide de l'impédance < 500 Ω



Le ferrite est en parallèle avec la terminaison de 50 ohms

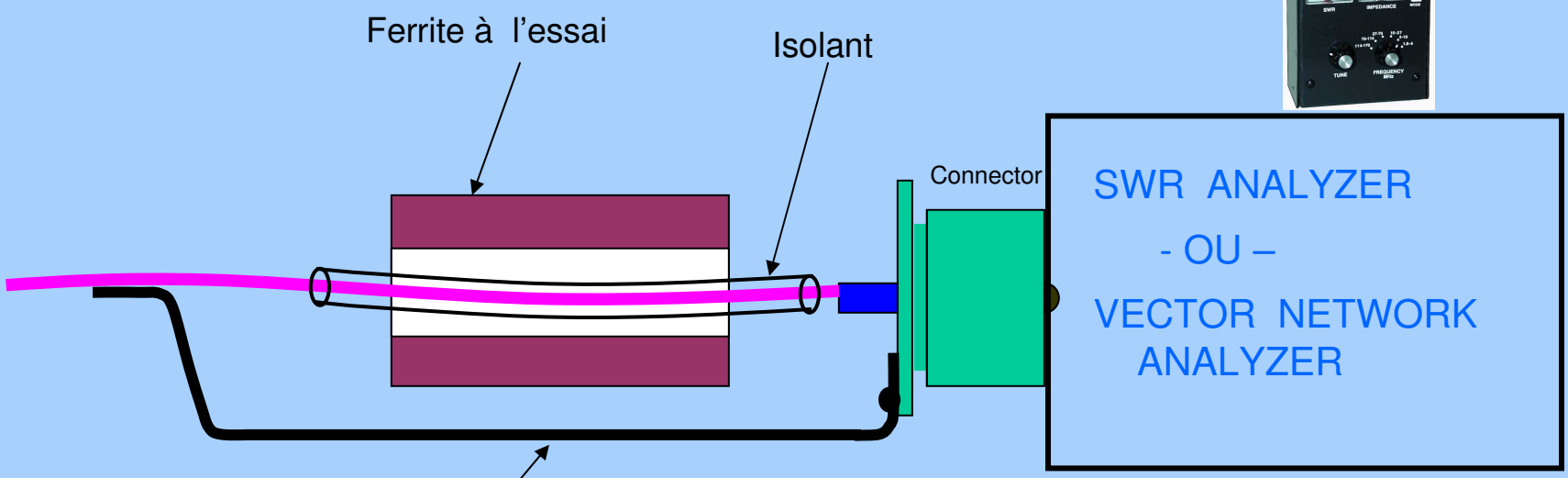
NOTE: On peut utiliser plusieurs sections de gaine isolante de ~2 po. chacune, sur le conducteur. C'est utile lorsqu'on veut faire plusieurs tours. (Le dessin montre un seul tour)


IMPÉDANCE APPROX. DU FERRITE VS SWR MESURÉ
FERRITE IMPEDANCE ohms
1000
500
200
100
50
20
10
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
SWR
IMPEDANCE DU FERRITE EST RÉACTIVE
IMPEDANCE DU FERRITE EST RÉSISTIVE

MEASURE DIRECTE DE L'IMPÉDANCE DES FERRITES

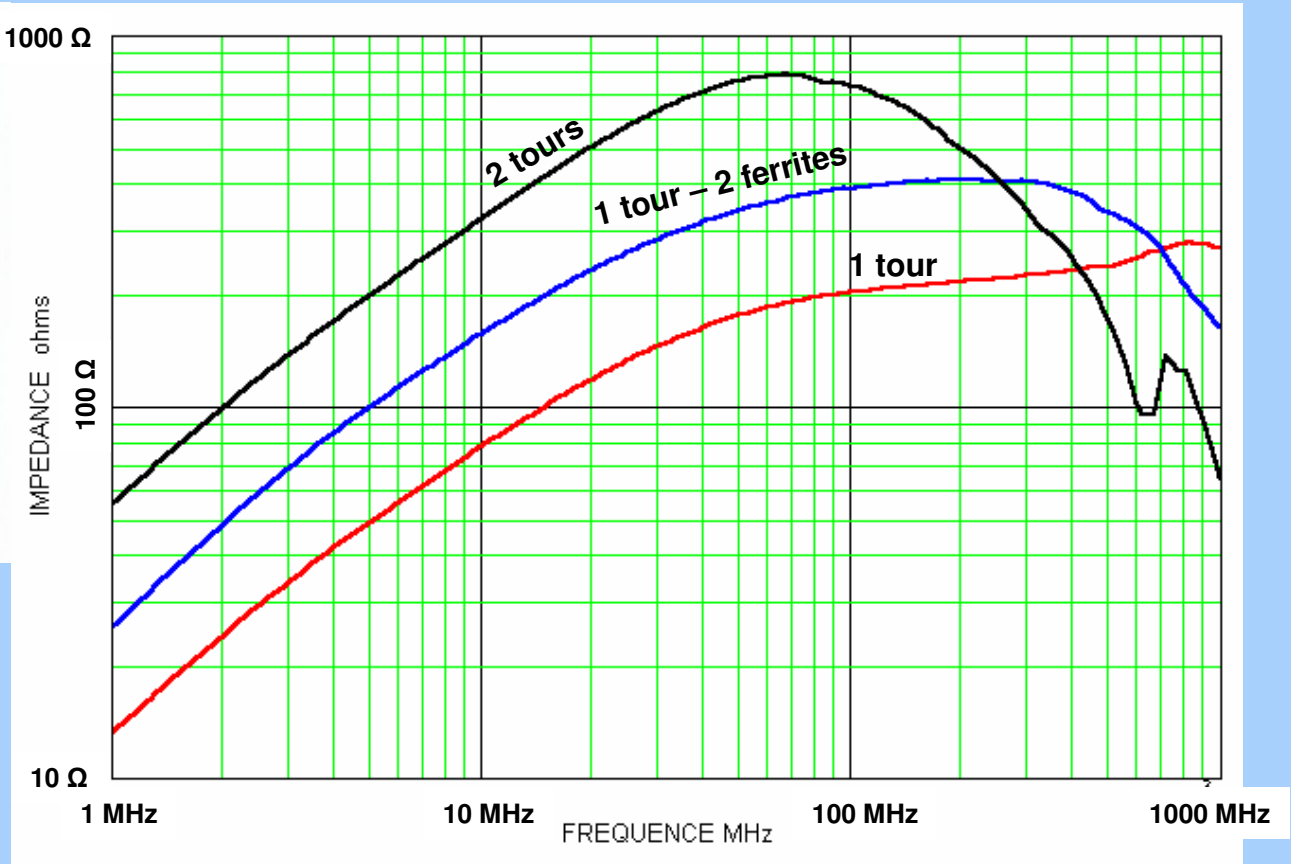
ON PEUT UTILISER UN SWR ANALYZER OU UN VECTOR NETWORK ANALYZER

Permet de mesurer séparément les composantes resistive et Inductive. **Limité à < 1000 ohms**



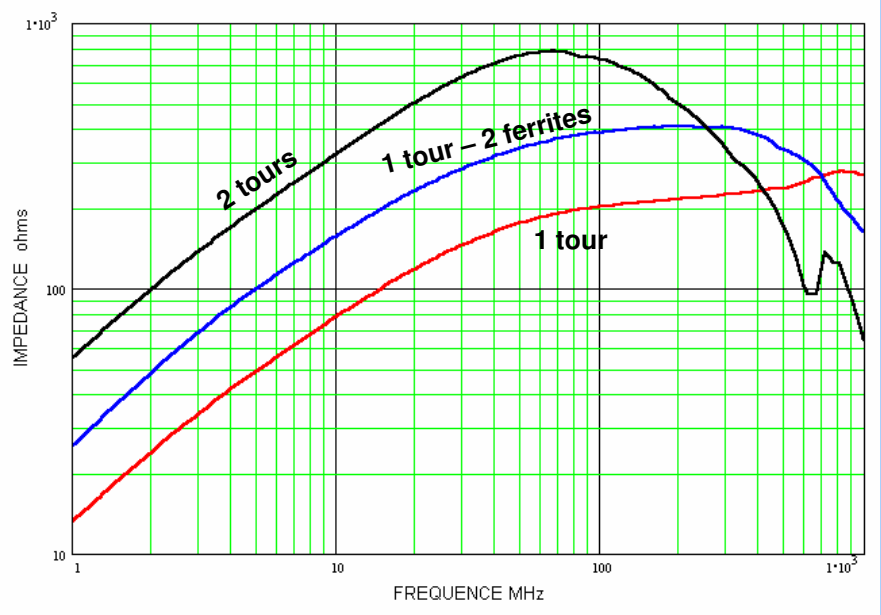
MESURES D'IMPÉDANCE

- FERRITE POUR RG-8
- 2 BLOCS SÉPARABLES



On a 80 ohms a 10 MHz avec 1 tour

MESURES D'IMPÉDANCE

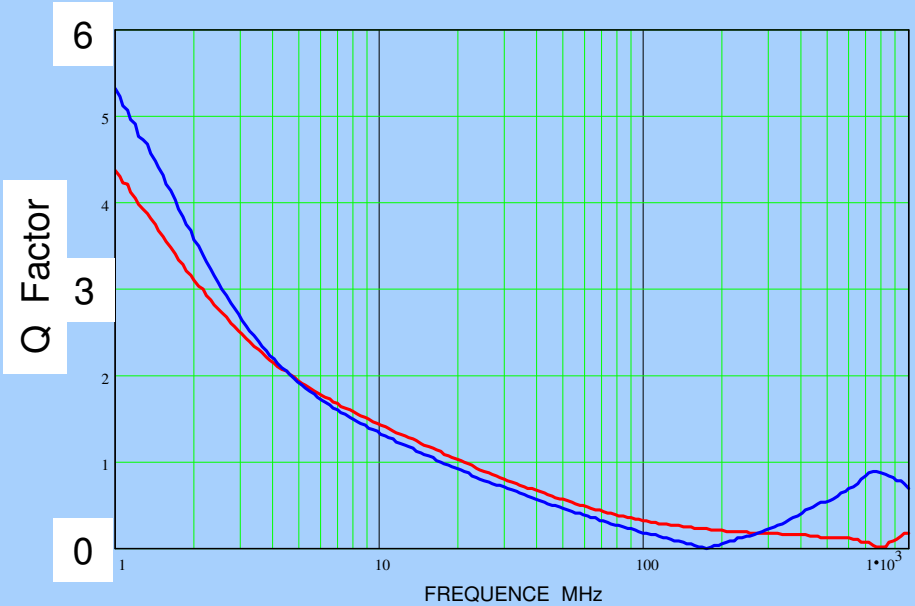


- LE FACTEUR DE QUALITÉ Q < 1 LORSQUE F > 20 MHz

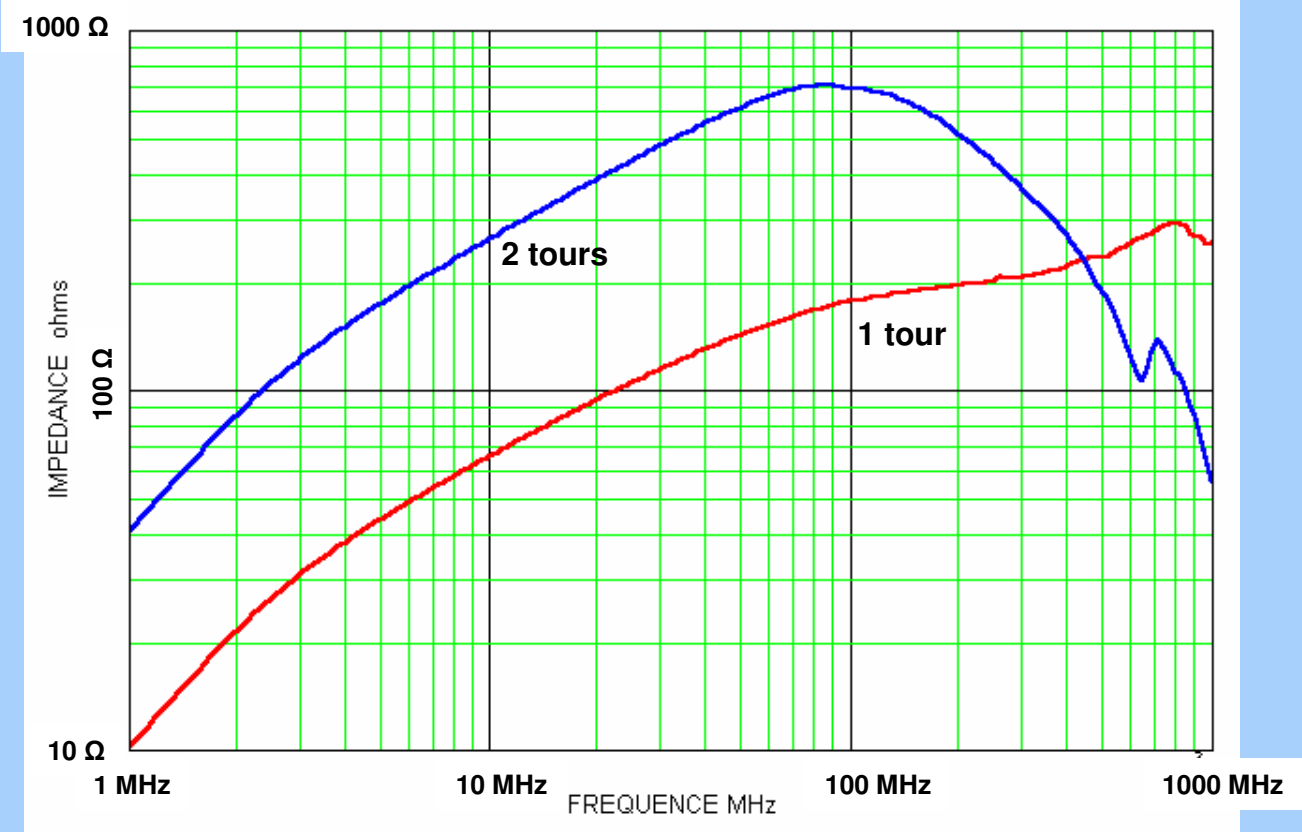
- L'IMPÉDANCE DEVIENT ~ RÉSISTIVE LORSQUE F > 20 MHz

- L'INDUCTANCE DIMINUE À MESURE QUE LA FRÉQUENCE AUGMENTE

- L'INDUCTANCE DISPARAÎT POUR F > 100 MHz



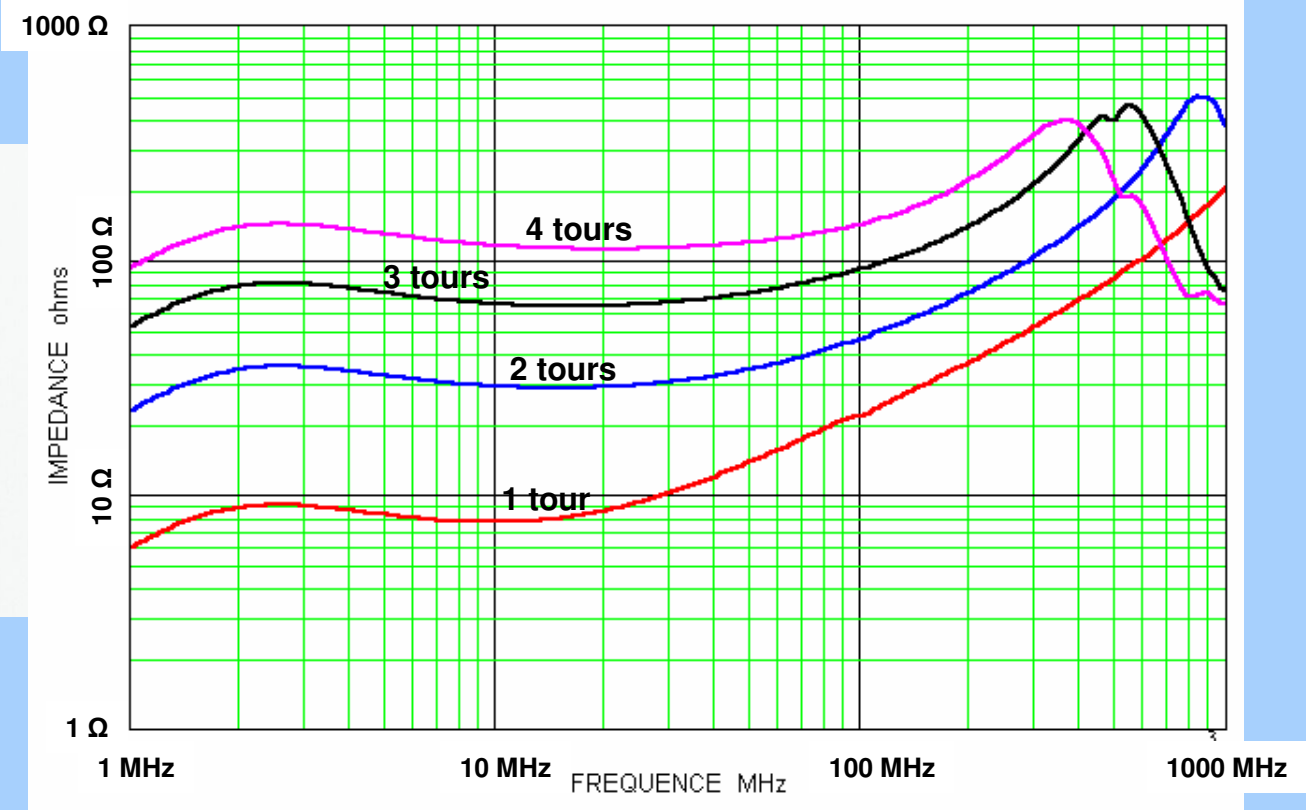
MESURES D'IMPÉDANCE



- IMPÉDANCE SEMBLABLE AU PRÉCÉDENT

MESURES D'IMPÉDANCE

FERRITE RECTANGULAIRE



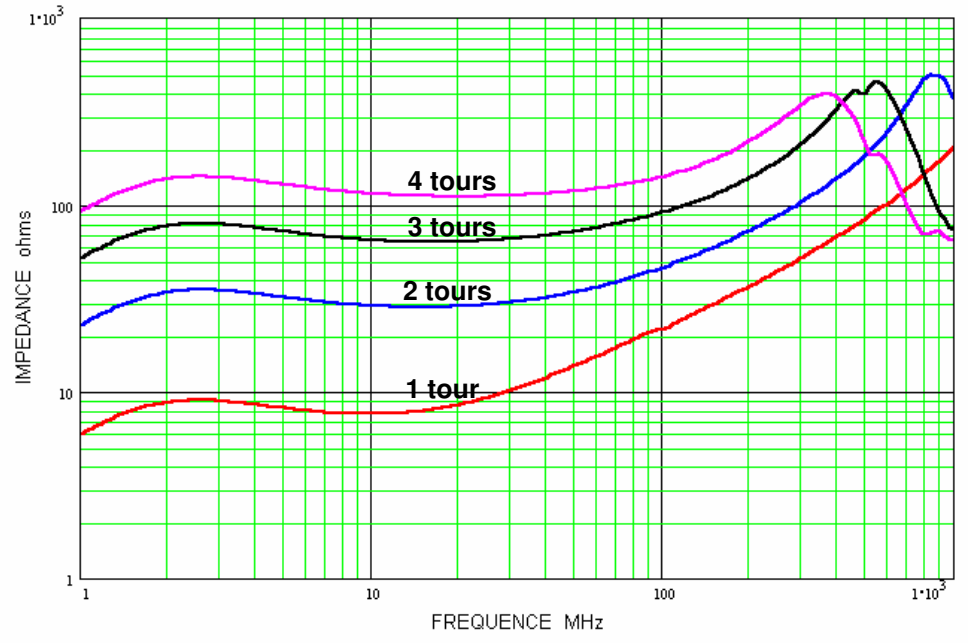
-Donne ~ 10 % DE L'IMPÉDANCE DES FERRITES PRÉCÉDENTS

- COUVRE UNE PLUS LARGE BANDE

- REQUIERT 8 TOURS SUR UN FERRITE POUR AVOIR 800 ohms

MESURES D'IMPÉDANCE

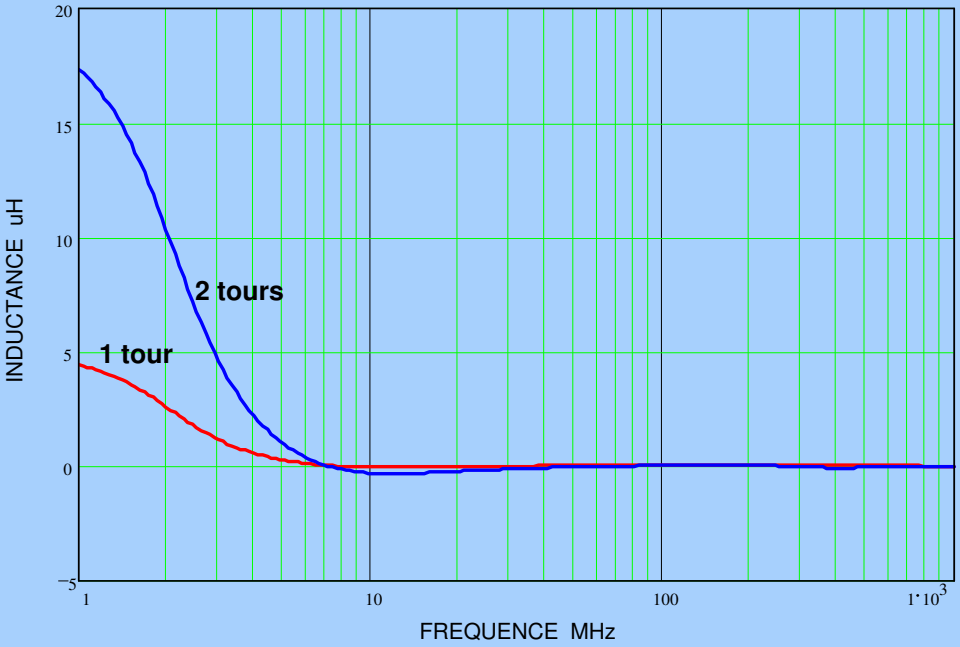
FERRITE RECTANGULAIRE



- **OPTIMISÉ POUR UNE LARGE BANDE DE FRÉQUENCES**

- **L'INDUCTANCE DISPARAÎT LORSQUE F > 6 MHz ET…**

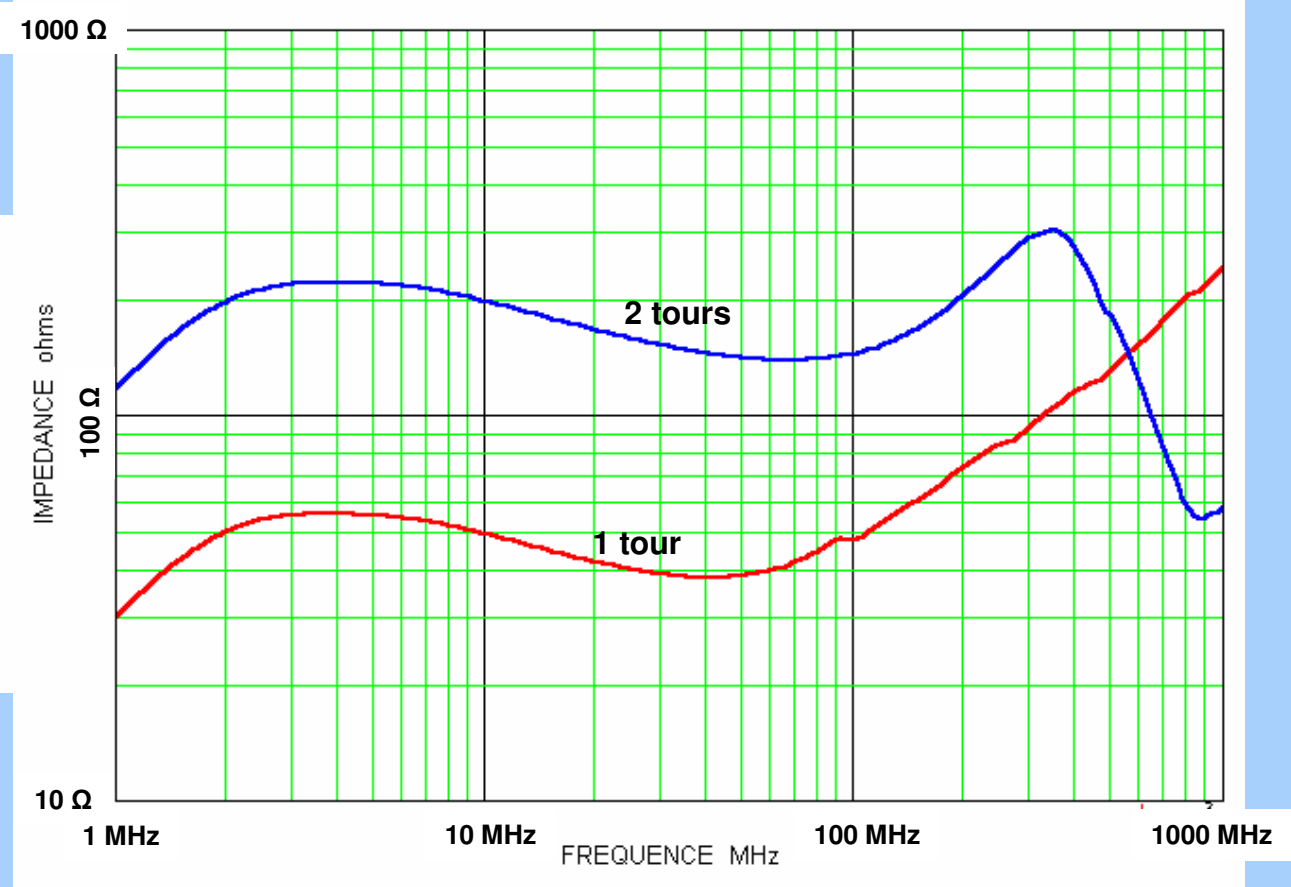
- **L'IMPÉDANCE DEVIENT ~RÉSISTIVE**



MESURES D'IMPÉDANCE

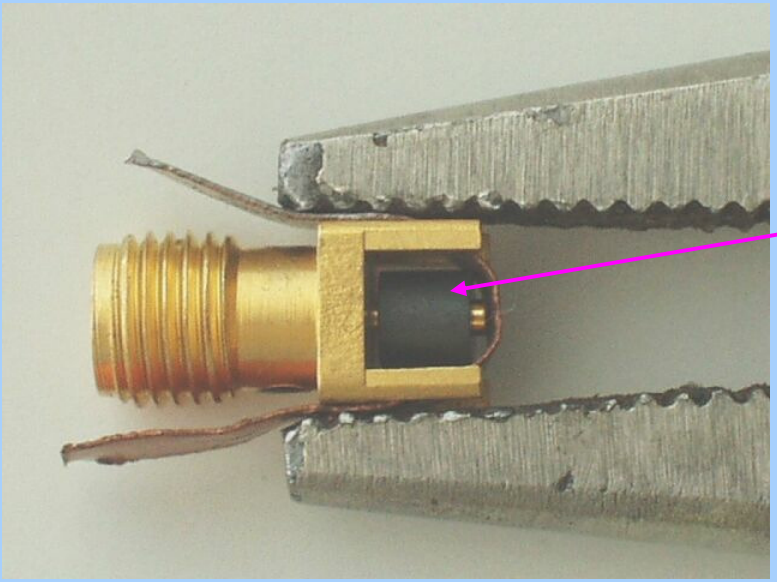
FERRITE RECTANGULAIRE

4 FERRITES



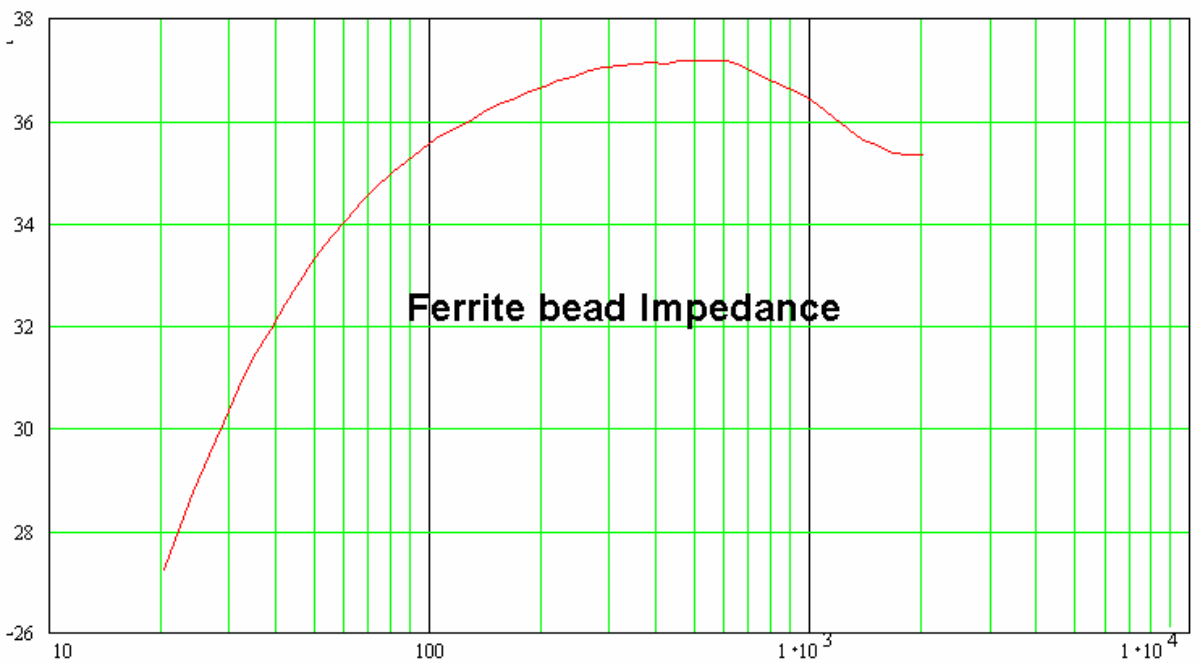
- QUATRE TOURS VONT DONNER ~ 800 ohms

MESURES D'UN FERRITE BEAD



FERRITE BEAD

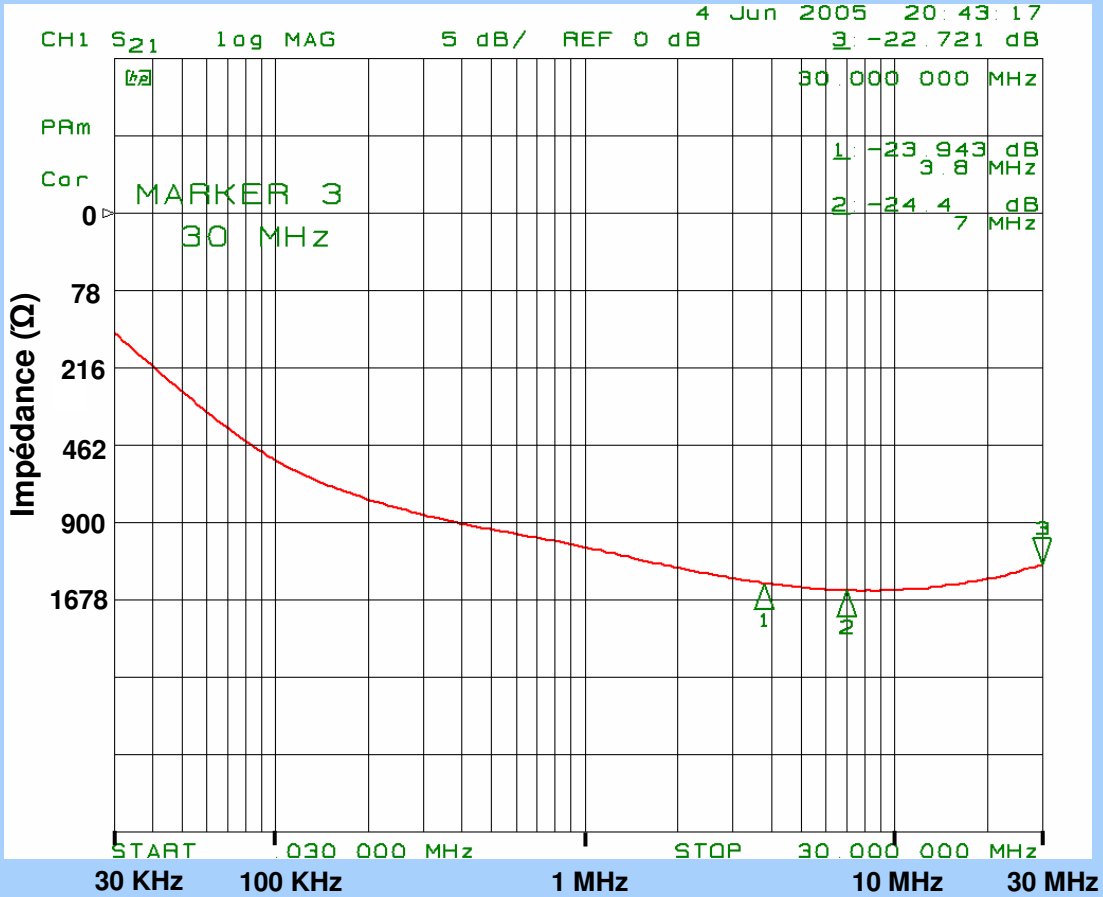
APPROX. 0.1 PO. LONG.



MESURES D'IMPÉDANCE

6 tores type F- bleu

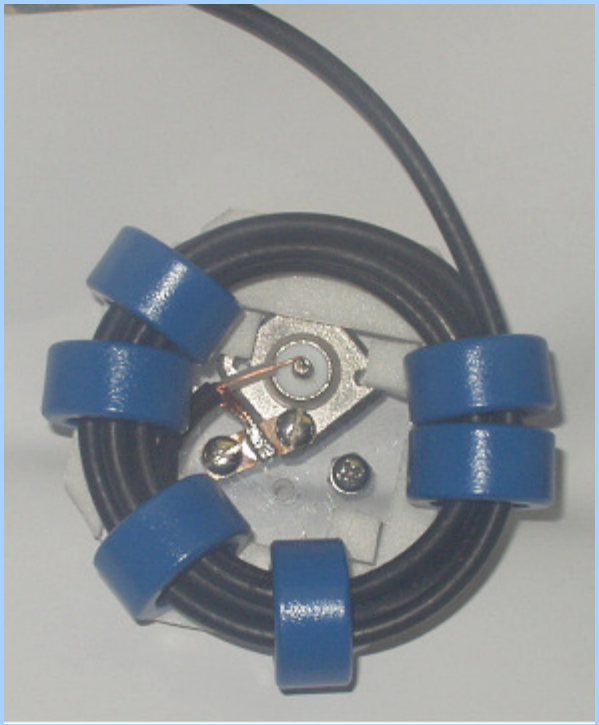
6 Tores 4 tours

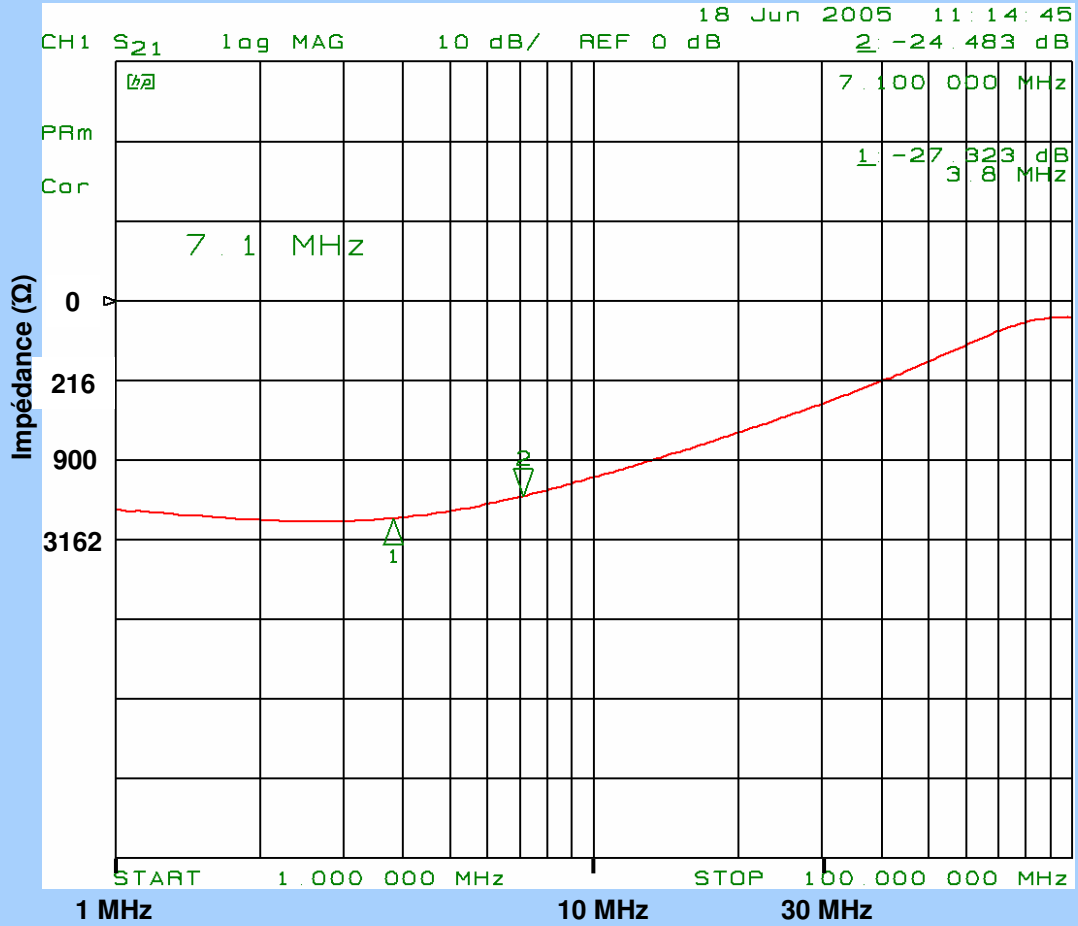


MESURES D'IMPÉDANCE

(mode réponse en fréquence
Avec ferrite en série)

6 tores type F- bleu

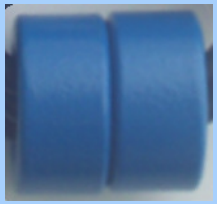


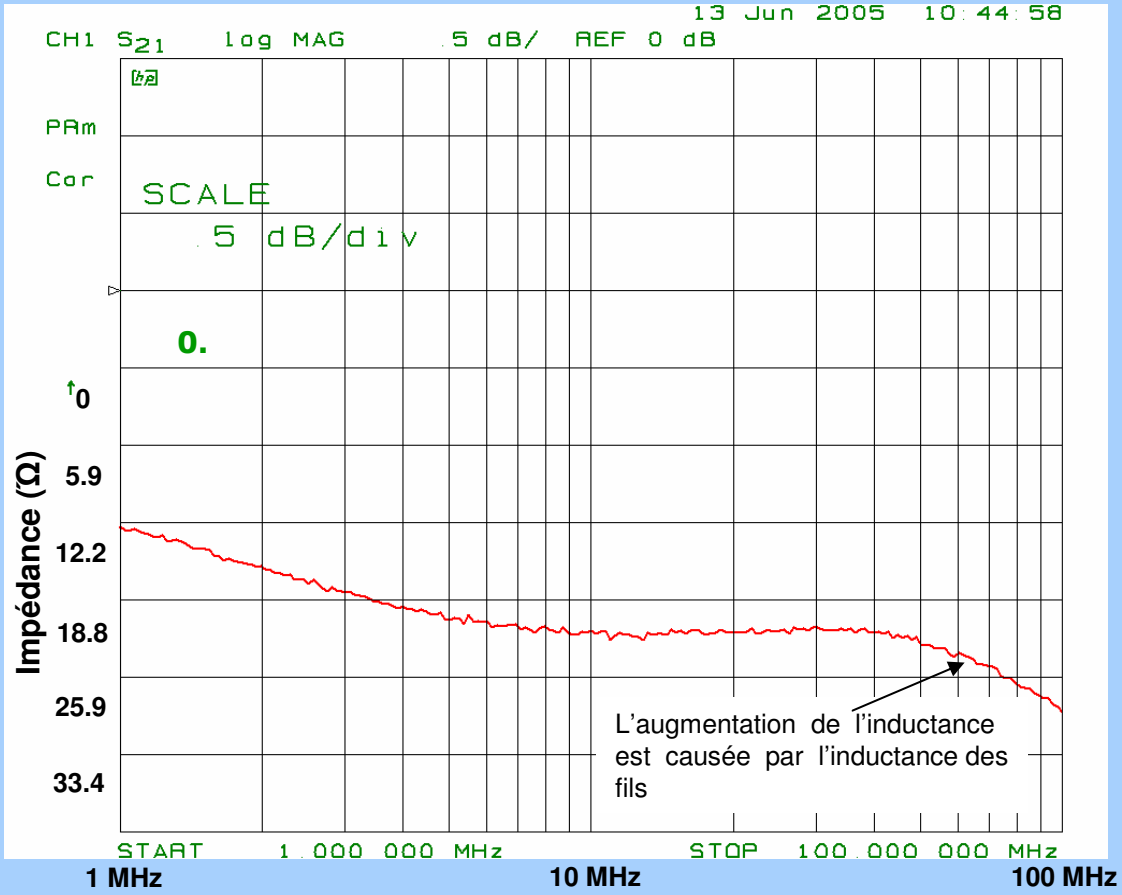


MESURES D'IMPÉDANCE

(mode réponse en fréquence
Avec ferrite en série)

2 tores type F - bleu
1 tour

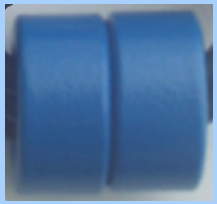


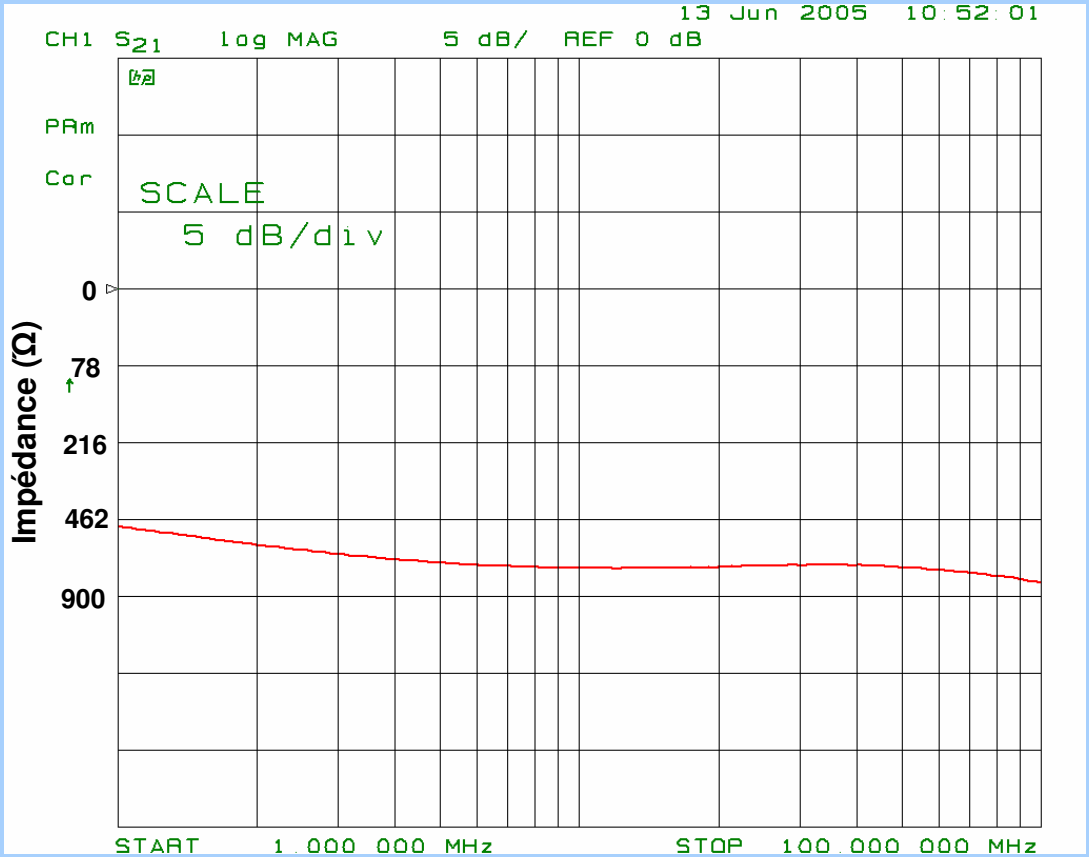


MESURES D'IMPÉDANCE

(mode réponse en fréquence
Avec ferrite en série)

2 tores type F - bleu
5 tours



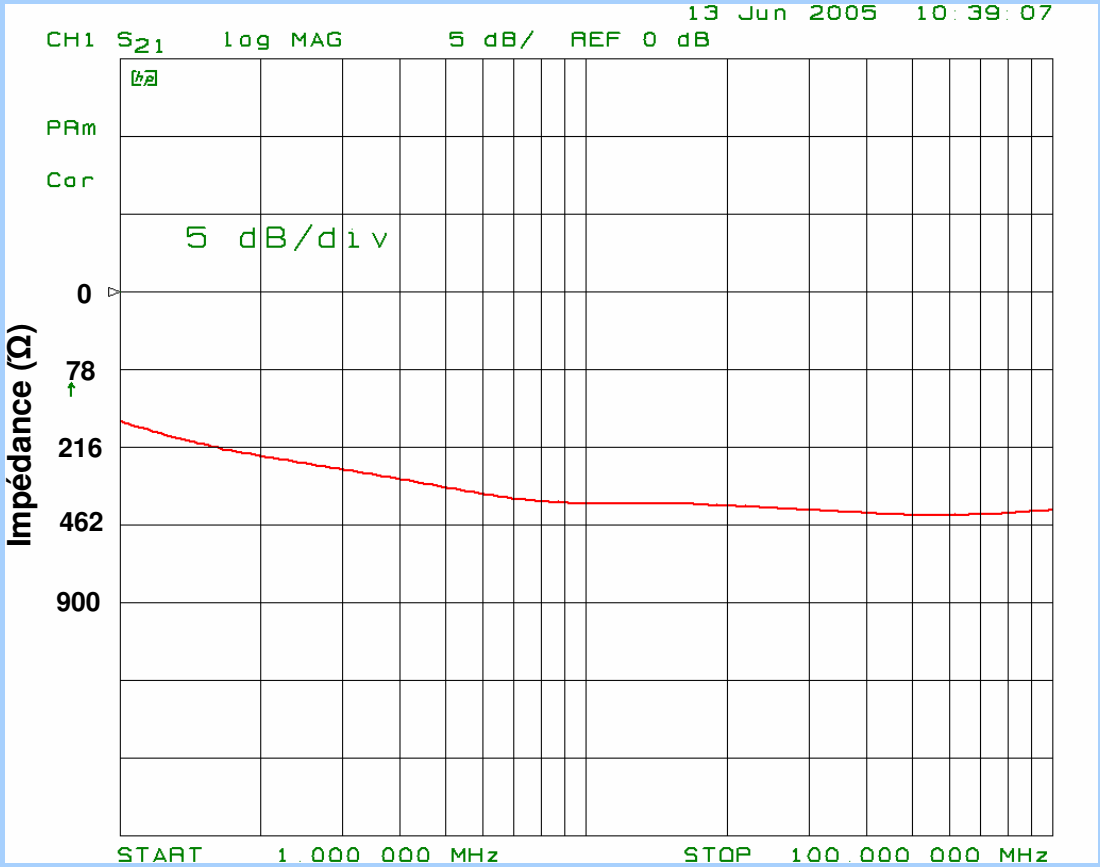


1 MHz 10 MHz 100 MHz

MESURES D'IMPÉDANCE

(mode réponse en fréquence
Avec ferrite en série)

Coax avec 25 beads #43



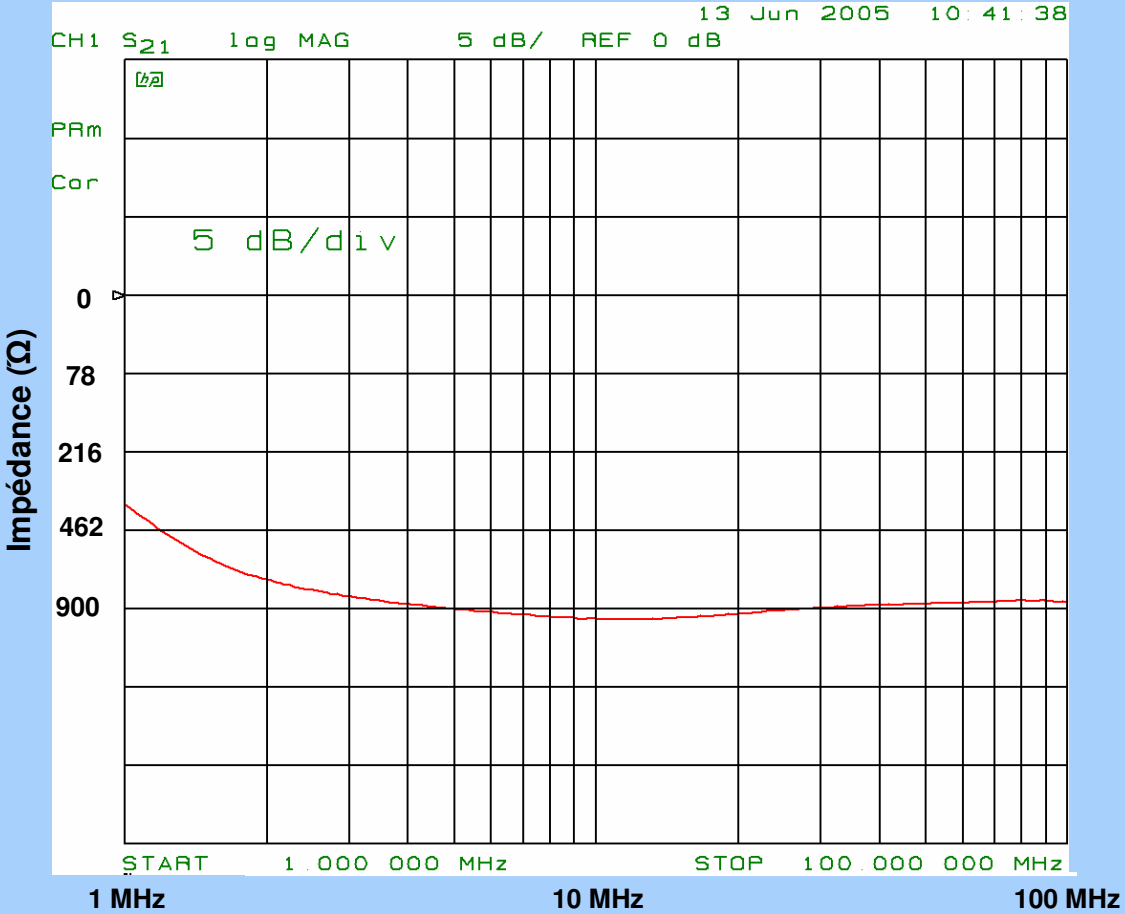
1 MHz 10 MHz 100 MHz

MESURES D'IMPÉDANCE

(mode réponse en fréquence
Avec ferrite en série)

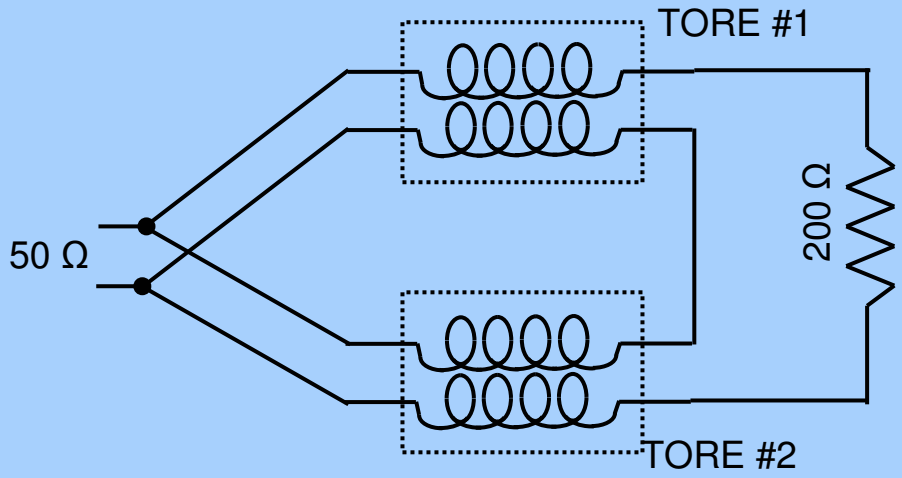
Fil #14 avec 50 beads #73

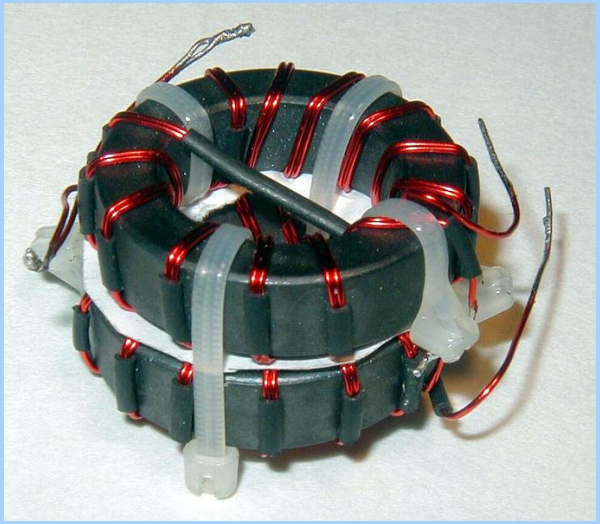
Excellent pour HF



BALUN COURANT DONNANT UN RAPPORT DE 4:1

- **BALUN COURANT UTILISANT 2 FILS PARALLÈLES AU LIEU D'UN COAX**
- **FORMANT UNE <u>LIGNE DE TRANSMISSION</u> COMPACTE**

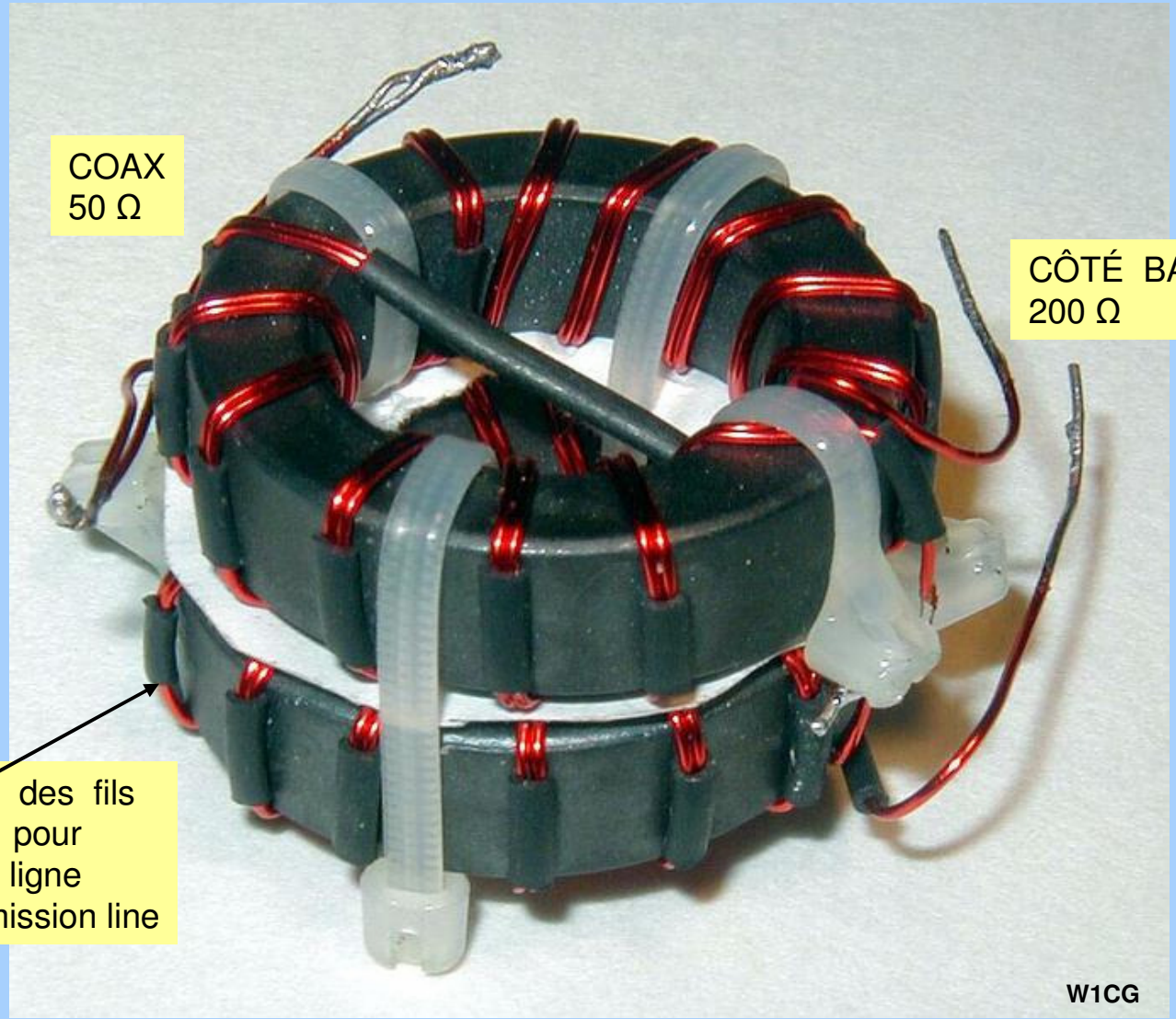




From: W1CG

NOTE: CE BALUN COURANT 4:1 EST SUPÉRIEUR AU BALUN VOLTAGE 4:1

- BALUN COURANT UTILISANT 2 FILS PARALLÈLES AU LIEU D'UN COAX
- FORMANT UNE LIGNE DE TRANSMISSION COMPACTE



Les entrées sont en parallèle

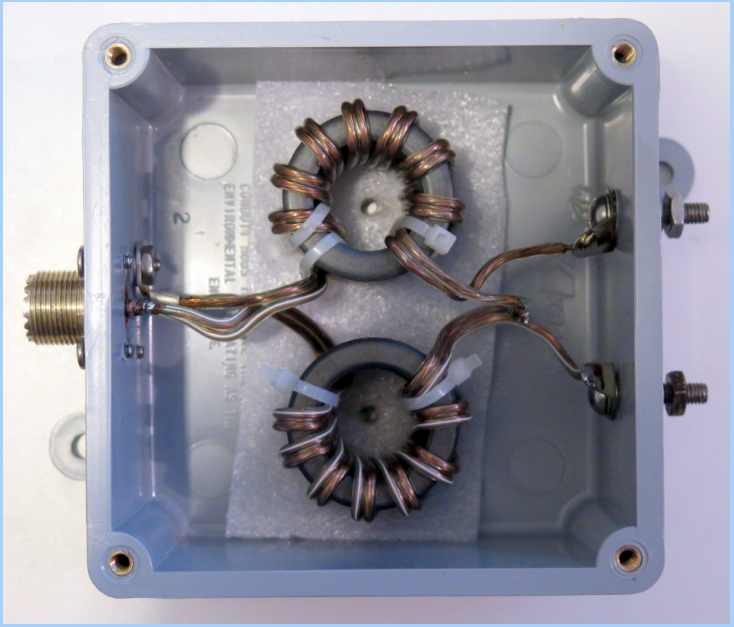
Les sorties sont en série

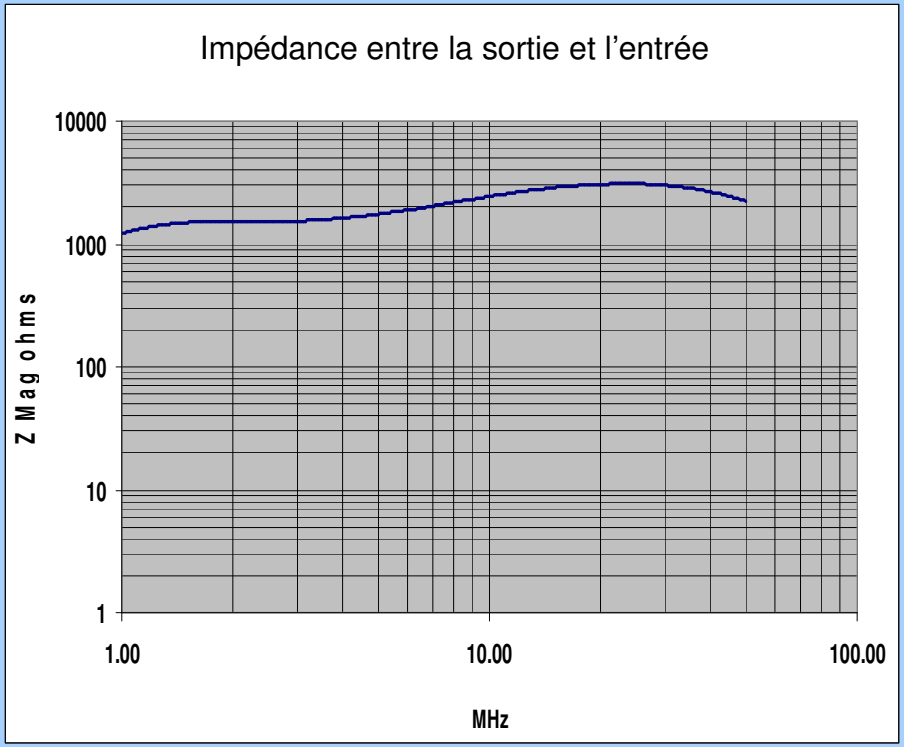
On utilise des fils parallèles pour faire une ligne de transmission line

BALUN COURANT DONNANT UN RAPPORT DE 4:1 (200Ω : 50 Ω)
Utilise du fil à lampe #18

Utilise (1) FT140-43 core et (1) FT140-77 core pour chaque tore

FT-140-43	5943002701	https://www.fair-rite.com/product/toroids-5943002701
FT-140-77	5978002701	https://www.fair-rite.com/product/toroids-5978002701

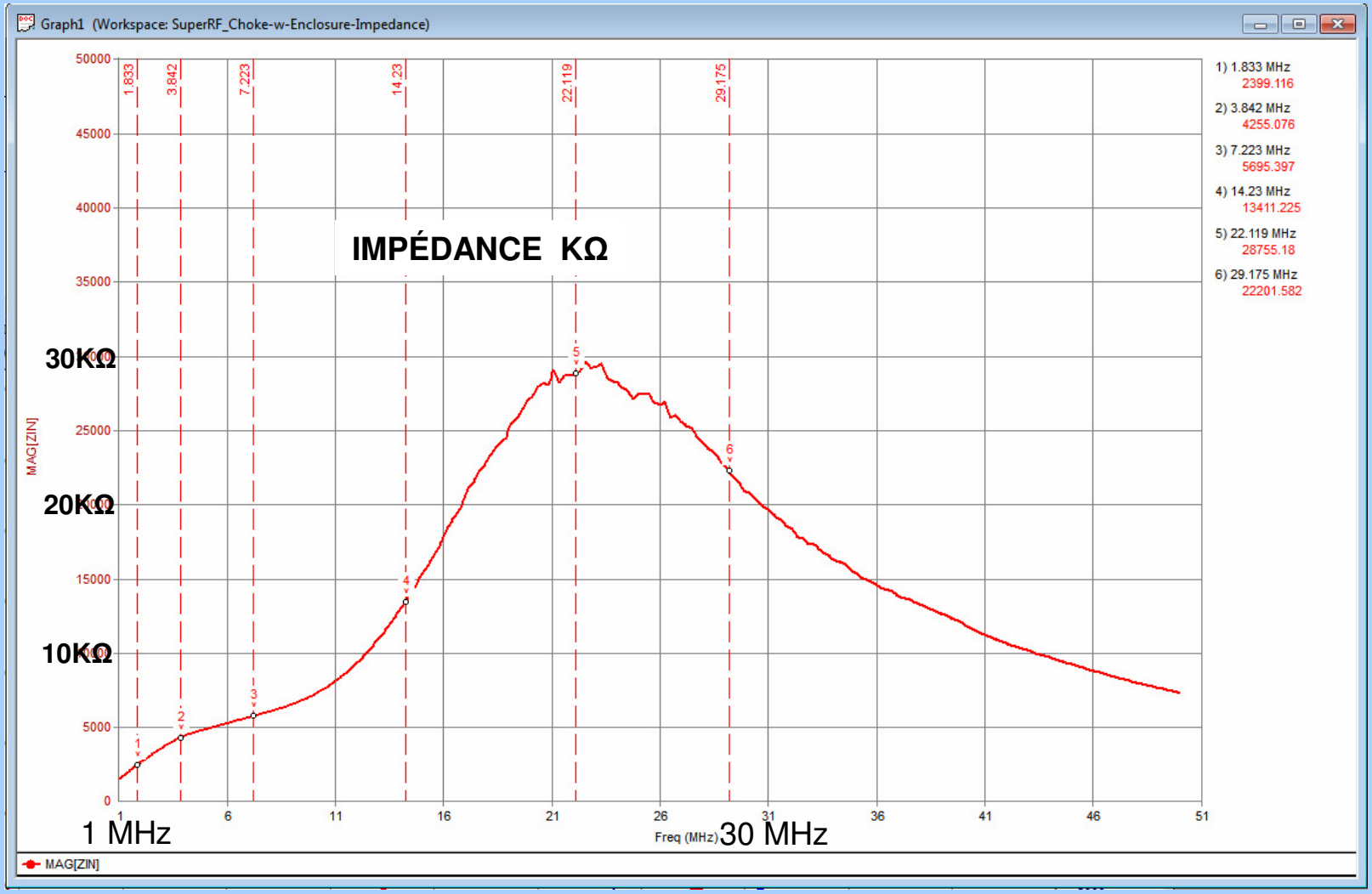




BALUN COURANT 1:1 à HAUTE PERFORMANCE

Les bobines sont disposées pour diminuer le couplage. Utilise du RG-8X.
Les ferrites sont collés au boîtier en plastique avec du foam tape.
Les deux petites bobines, sont maintenues en place par du carton épais..
Ref: http://ve2azx.net/technical/ChokeCurrentBalun.pdf
Ref: http://www.nonstopsystems.com/radio/pdf-ant/article-cost-effective-chokes.pdf

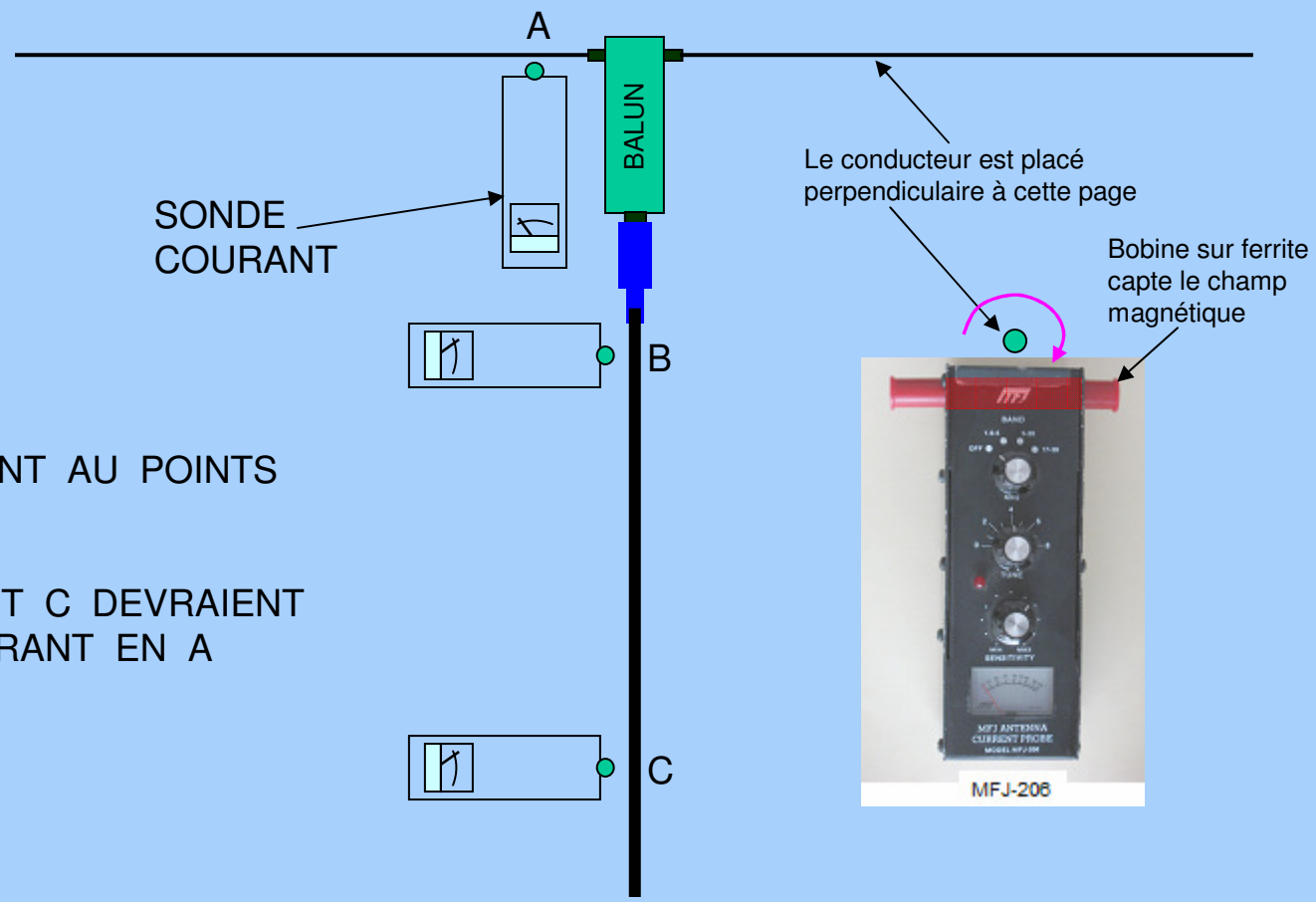
BALUN COURANT 1:1 à HAUTE PERFORMANCE



Impedance (Kohms) vs fréquence (MHz)

TESTS SUR LES ANTENNES

MESURES DE COURANT sur l'antenneet le feeder



MESURER LE COURANT AU POINTS A, B, C.

LES COURANTS B ET C DEVRAIENT ÊTRE < 10% DU COURANT EN A

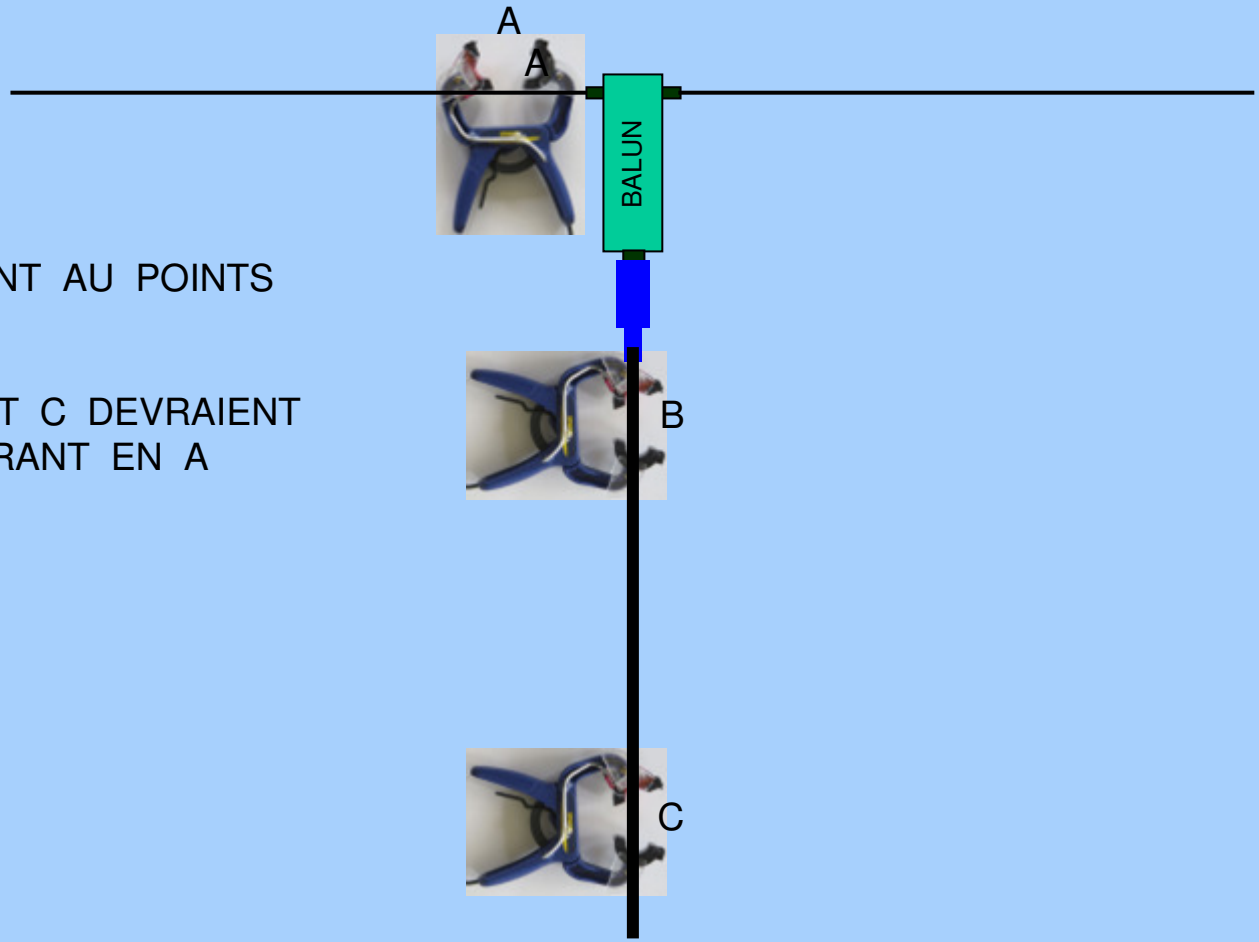
TESTS SUR LES ANTENNES

SONDE pour MESURE du COURANT sur l'antenne et le feeder

1 V / Amp dans 50 Ω

TESTS SUR LES ANTENNES

MESURES DE COURANT
sur l'antenneet le feeder

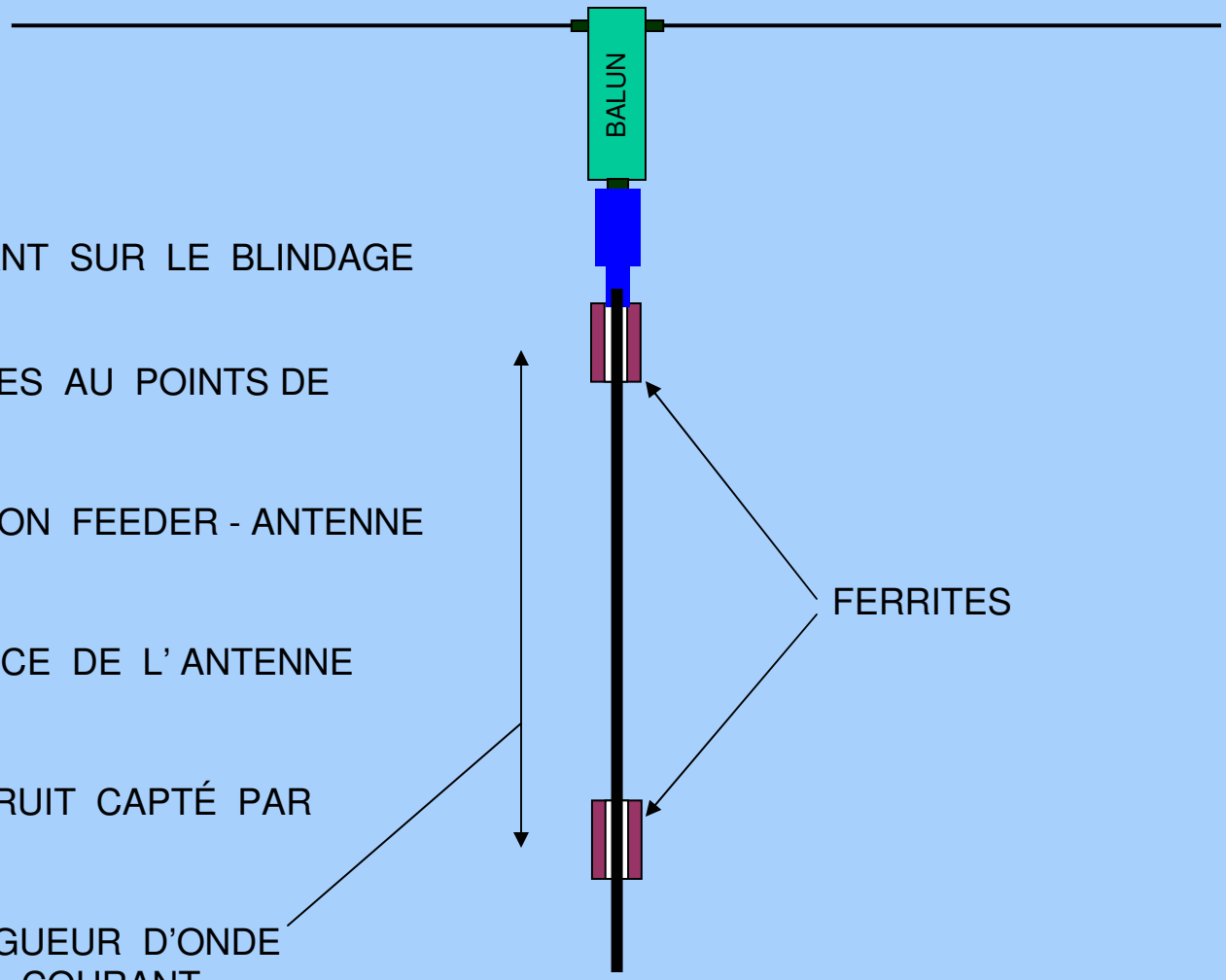


MESURER LE COURANT AU POINTS A, B, C.

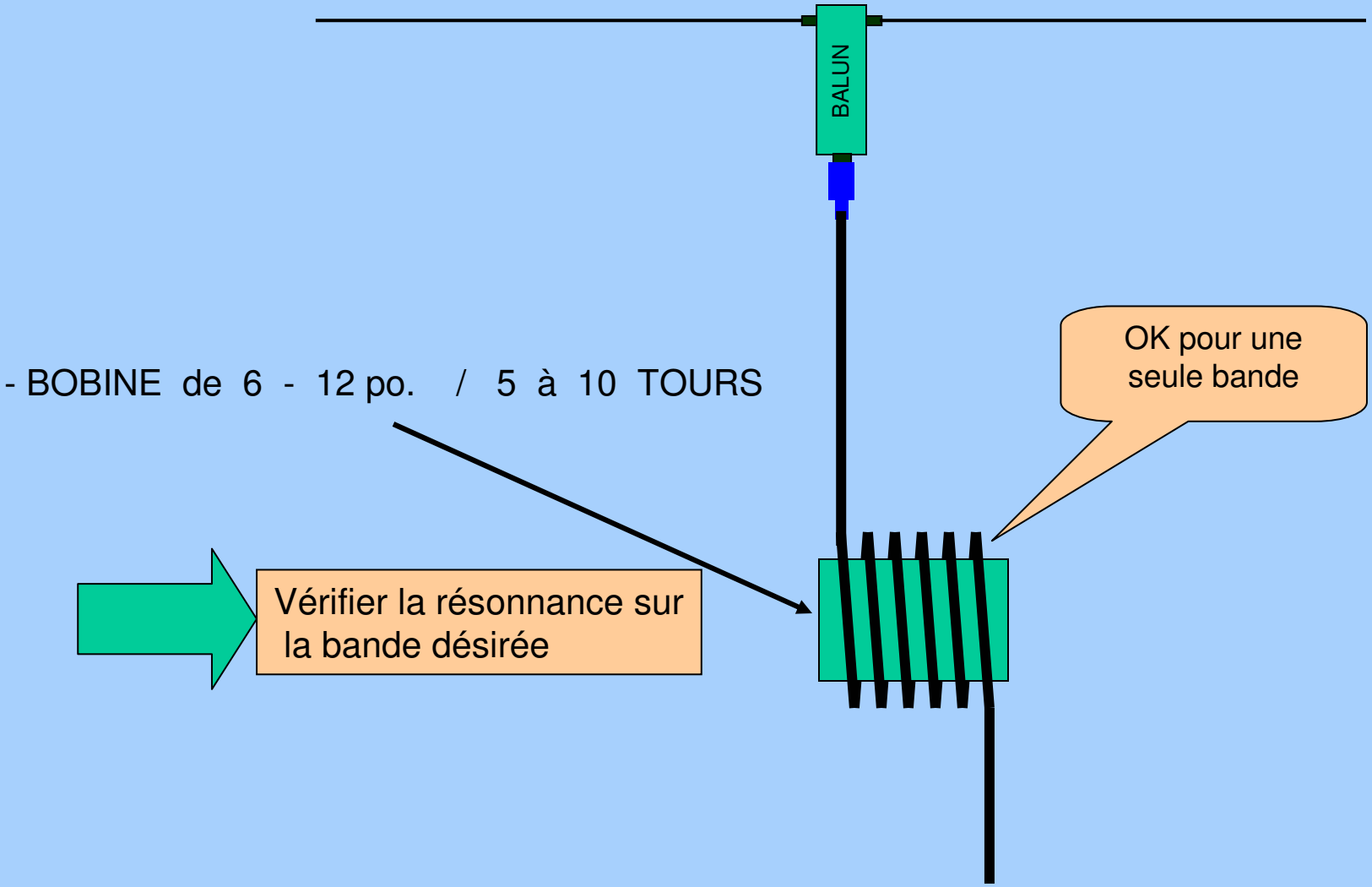
LES COURANTS B ET C DEVRAIENT ÊTRE < 10% DU COURANT EN A

ON PEUT UTILISER DES FERRITES AVEC UN BALUN VOLTAGE

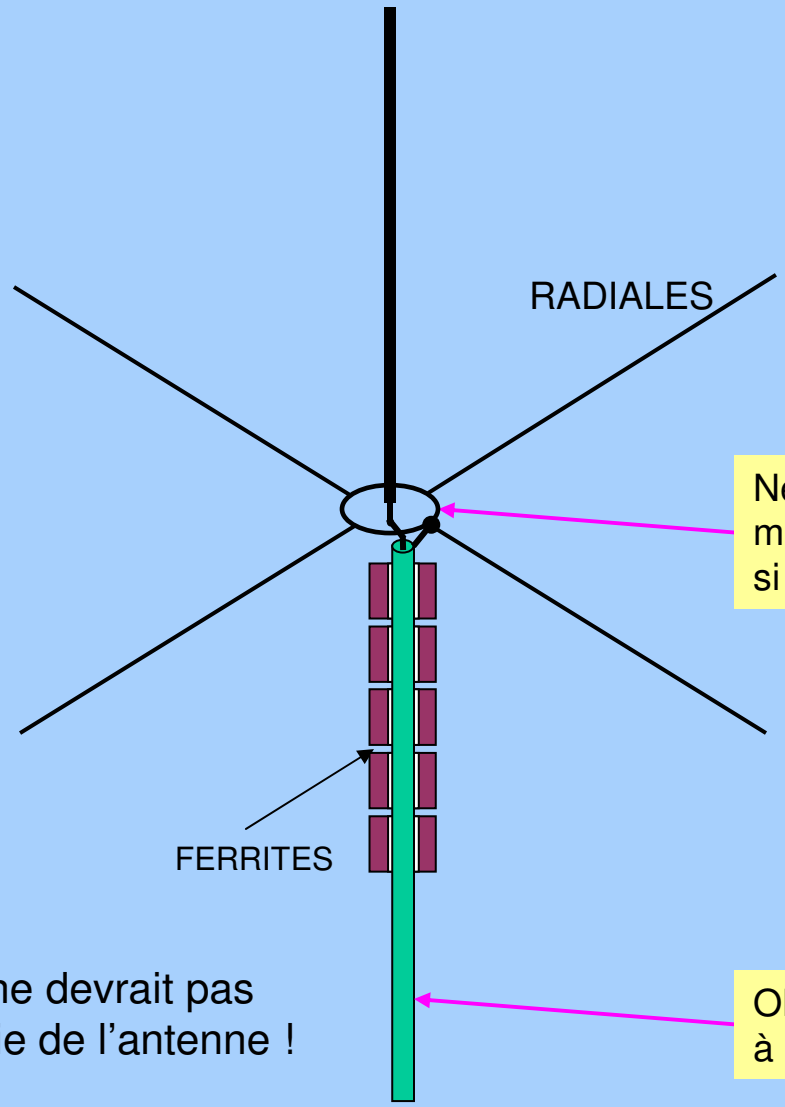
- MESURER LE COURANT SUR LE BLINDAGE
- PLACER DES FERRITES AU POINTS DE COURANT MAXIMUM
- AUGMENTE L'ISOLATION FEEDER - ANTENNE
- STABILISE L'IMPÉDANCE DE L' ANTENNE
- PEUT RÉDUIRE LE BRUIT CAPTÉ PAR LE FEEDER
- ESPACER ¼ DE LONGUEUR D'ONDE OU AU MAXIMUM DE COURANT



ON PEUT UTILISER UN ENROULEMENT DE CÂBLE COAXIAL



UTILISATION D'UN BALUN SUR UNE ANTENNE VERTICALE



Ne PAS connecter sur une mise à la terre à ce point, si on utilise quelques radiales

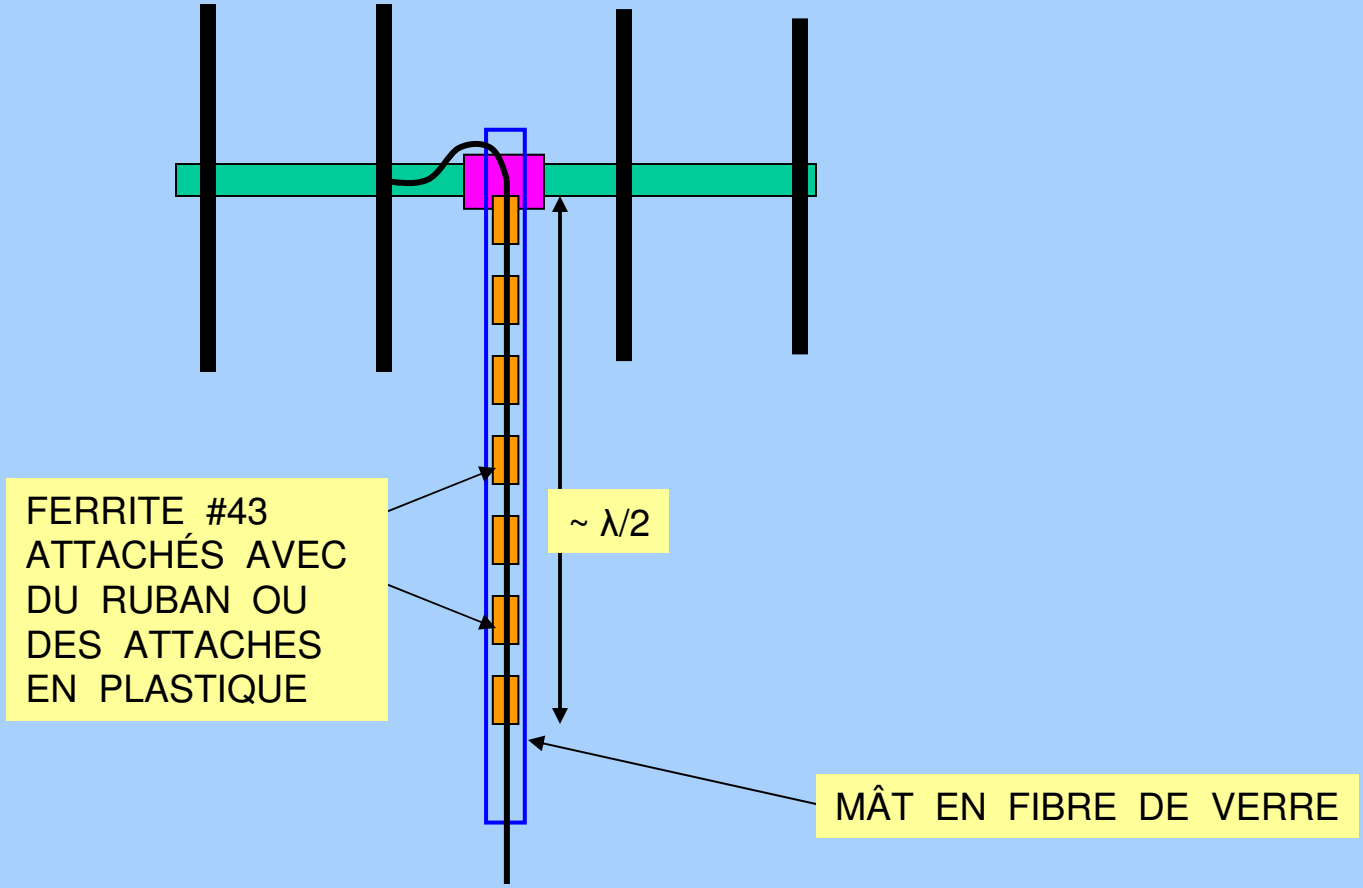
Le coax ne devrait pas faire partie de l'antenne !

OK pour la mise à la terre

UTILISATION DE FERRITES SUR LE FEEDER D'UNE YAGI VERTICALE

DIMINUE L'INTERACTION ENTRE COAX + MÂT AVEC L'ANTENNE YAGI

Ref: QEX Sept – Oct. 2006



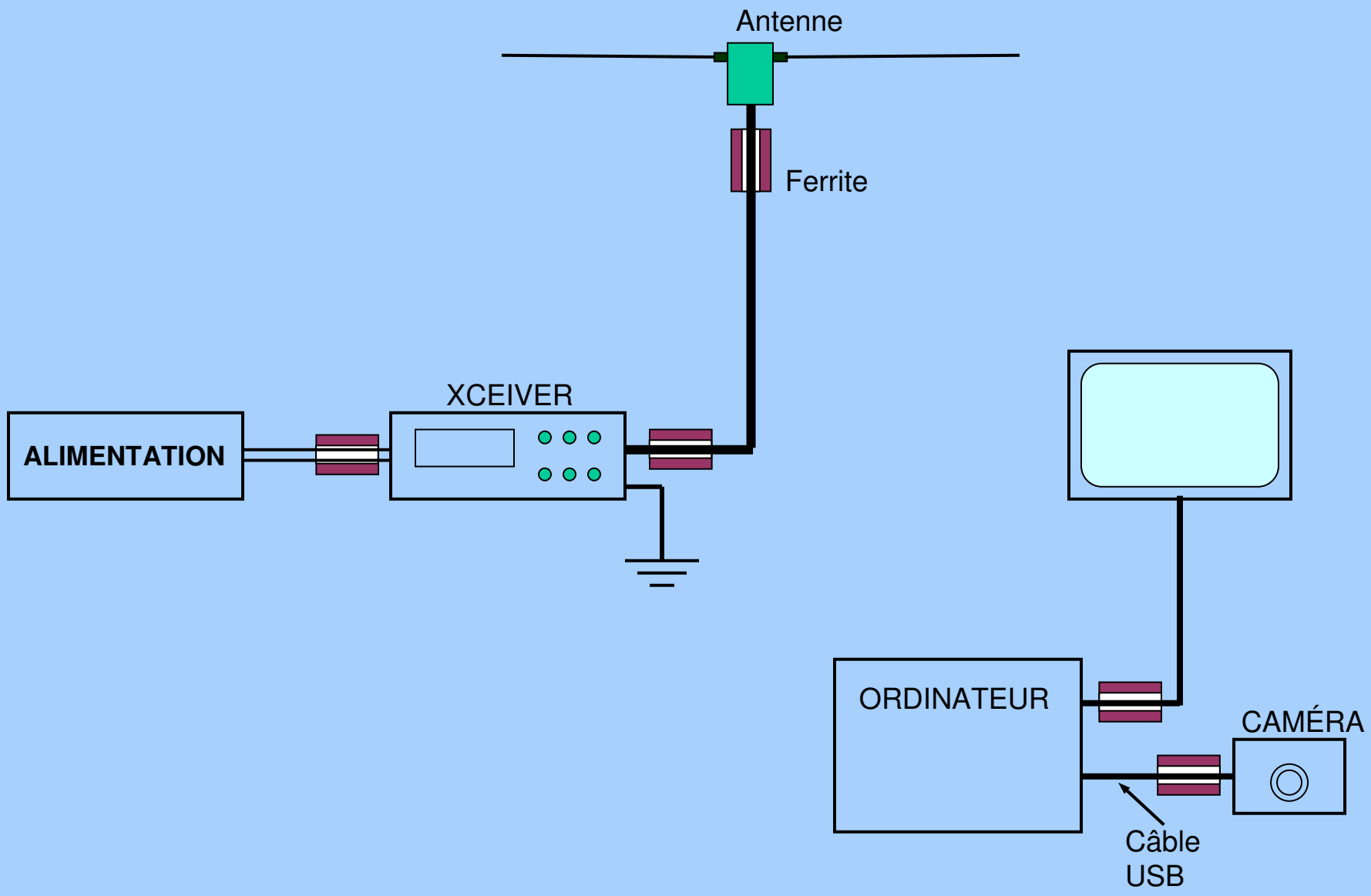
NOTES

- **BALUN VOLTAGE UTILISÉ SOUS SWR ÉLEVÉ:**

- VERIFIER L'ÉCHAUFFEMENT DU FERRITE
- DIMINUER LA PUISSANCE
- UTILISER DES FERRITES MIX 73 (μ=2500) OU 31 (μ=1500)
  POUR USAGE À HAUTE PUISSANCE: MIX 43 (μ=850) Voir Ref. 4
- LES PERTES DANS LE BALUN VONT AUGMENTER SI SWR EST ÉLEVÉ
- LES BALUNS VOLTAGE NE SONT PAS RECOMMENDÉS SI SWR > 5:1
  À MOINS QU'ILS SOIENT CONÇUS POUR UN TEL USAGE

- **LES BALUNS ONT UNE ATTÉNUATION TRÈS FAIBLE,**
  NORMALEMENT < 0.3 dB … QUAND LA CHARGE EST ADAPTÉE

ON UTILISE DES FERRITES…



À RETENIR

BALUN VOLTAGE EST SOUVENT UTILISÉ POUR CHARGES PLUS ÉLEVÉES QUE 50 OHMS. BEAUCOUP DE RAPPORTS D'IMPÉDANCE POSSIBLES

- FORCE DES TENSIONS ÉGALES À LA SORTIE

- PAS DE PROTECTION CONTRE LES COURANTS QUI CIRCULENT SUR L'EXTÉRIEUR DU COAX - GÉNÉRALEMENT

- PEUT ÊTRE COMBINÉ AVEC UN BALUN COURANT

BALUN COURANT CRÉE UNE RÉSISTANCE SUR L'EXTÉRIEUR DU CÂBLE COAXIAL (OU SUR TOUT CONDUCTEUR)

- AUSSI APPELÉS "COMMON MODE CHOKES"

- <u>DIMINUE LA RADIATION DU COAX ET LA CAPTATION DE SIGNAUX INDÉSIRABLES</u>

- STABILISE L'IMPÉDANCE DE L'ANTENNE ET PEUT DIMINUER LE BRUIT RX

- GÉNÉRALEMENT 50:50 ohms (AUSSI 50:200 DISPONIBLE)

À RETENIR

Extrait de la réf. 4:

On utilise généralement des “COMMON MODE CHOKES” pour:

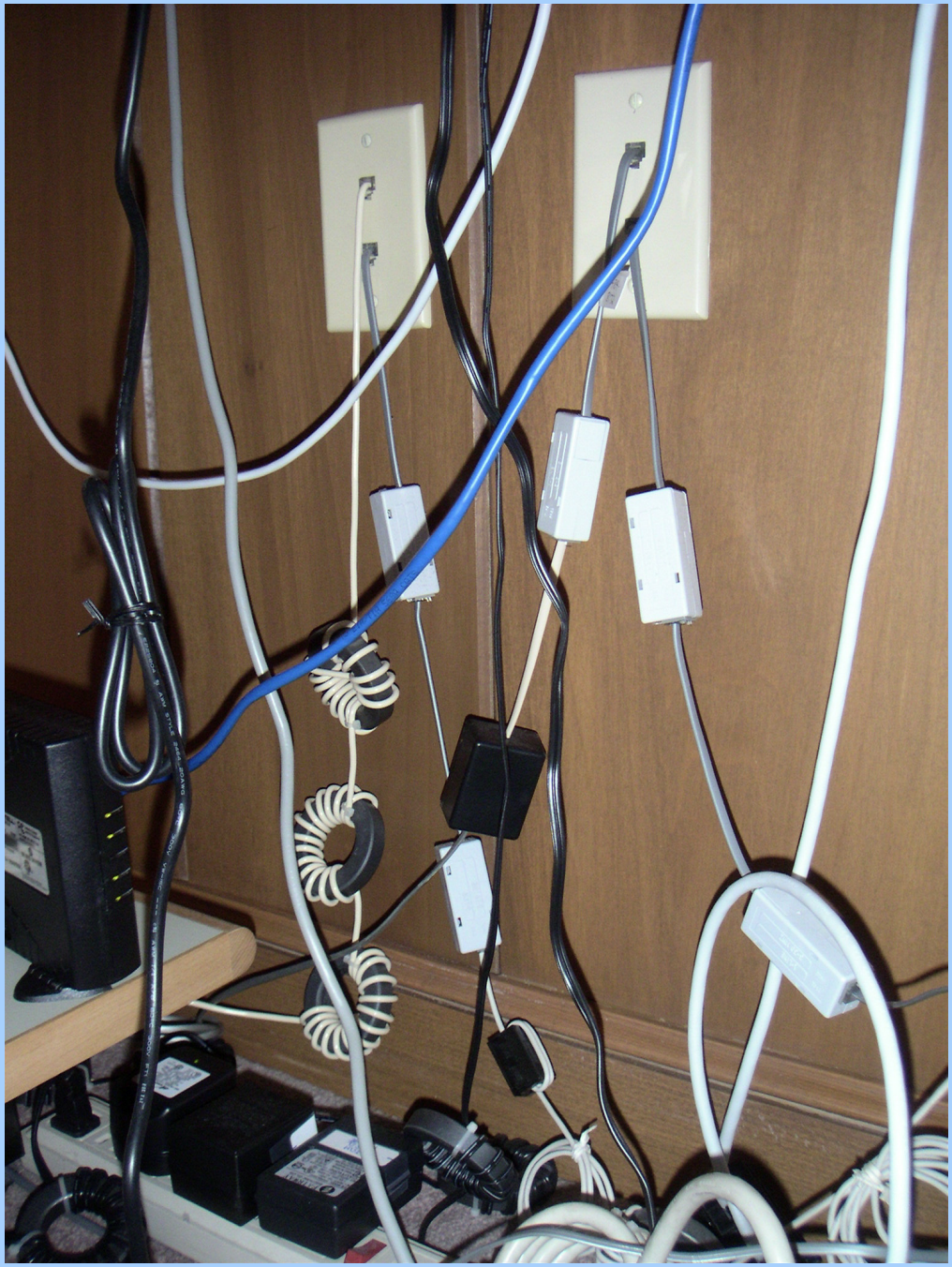
1- Réduire le niveau de RF provenant du TX qui est propagé en mode commun sur le **feeder** et causant des interférences (RFI) dans le shack ou ailleurs.

2- Réduire les **effets du RF transmis** … sur les circuits 60 Hz, TV, téléphone et autres câbles susceptibles de capter le signal transmis… sur tous les appareils de la maison et des voisins.

Extrait de la réf. 4:

Pour bloquer le bruit RF généré par tous les appareils de la maison.

Pour atténuer la propagation de ces bruits via la ligne 60 Hz, téléphone et autres câbles … vers votre radio via l'extérieur du coax et ensuite à votre antenne.



RÉFÉRENCES

1- Informations générales sur les baluns – Index des bons articles: (à la fin)
http://www.nonstopsystems.com/radio/frank_radio_baluns.htm

2- Cost effective ferrite chokes and baluns
http://www.ifwtech.co.uk/g3sek/in-prac/inpr1005_ext_v2.pdf

3- VE2AZX Web Site (cette présentation): http://ve2azx.net

4- Réduction des interférences à l'intérieur de la maison: Chuck Counselman W1HIS :
http://www.yccc.org/Articles/W1HIS/CommonModeChokesW1HIS2006Apr06.pdf

5- Différents documents sur RFI et chokes (HF et VHF)...
James "Jim" Brown K9YC http://k9yc.com/publish.htm

6- Sonde de courant VE2AZX
http://ve2azx.net/technical/RF_CurrentProbe_1VperAmp.pdf

7- FOURNISSEURS

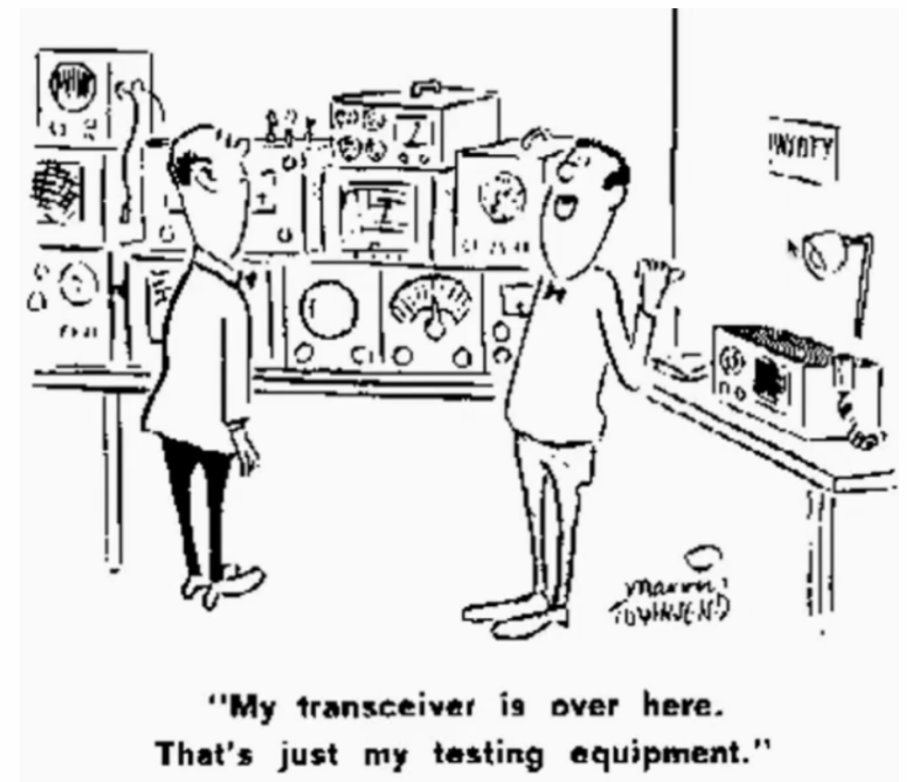
Digikey http://www.digikey.ca
Mouser Electronics https://www.mouser.ca/
Fair-Rite http://www.fair-rite.com
Amidon http://www.amidoncorp.com
ByteMark http://www.cwsbytemark.com/prices/toroidal.php
The Toroid King http://www.kitsandparts.com/index.php

Appendices

- Comment déterminer les caractéristiques des ferrites avec un analyseur vectoriel

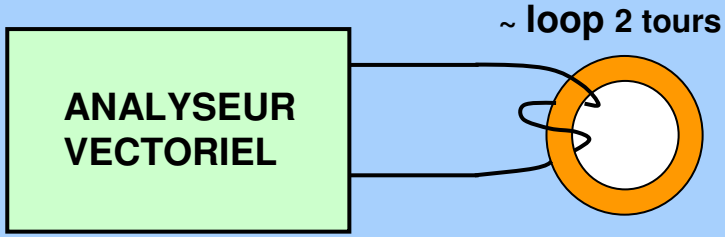
- Sonde passive pour le courant RF

- Citation de Lord Kelvin



Utilisation d'un analyseur vectoriel pour déterminer le type de ferrite

(Pas pour les tores en poudre de fer)

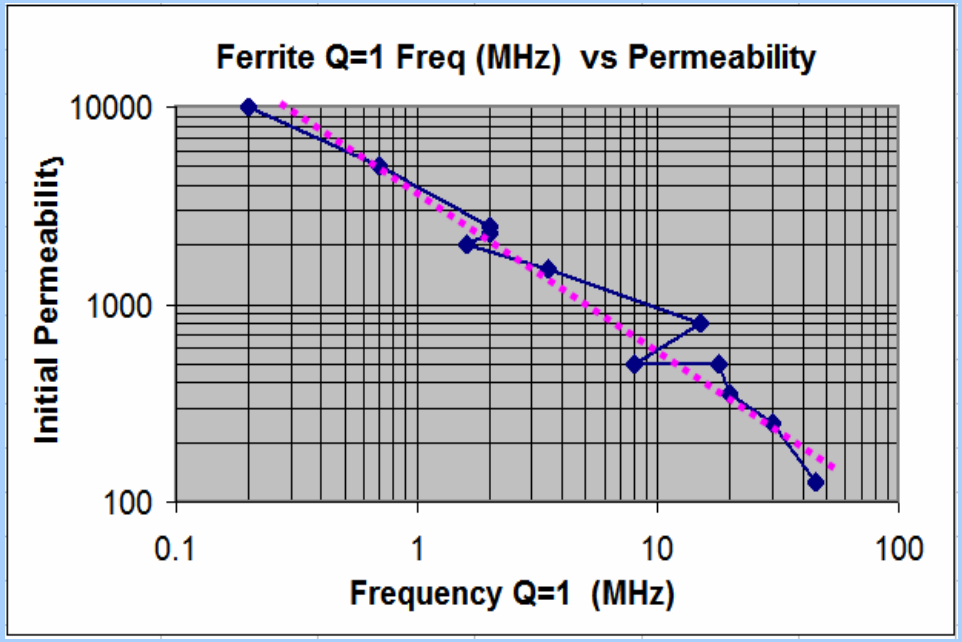


On mesure la résistance et la réactance vs fréquence.

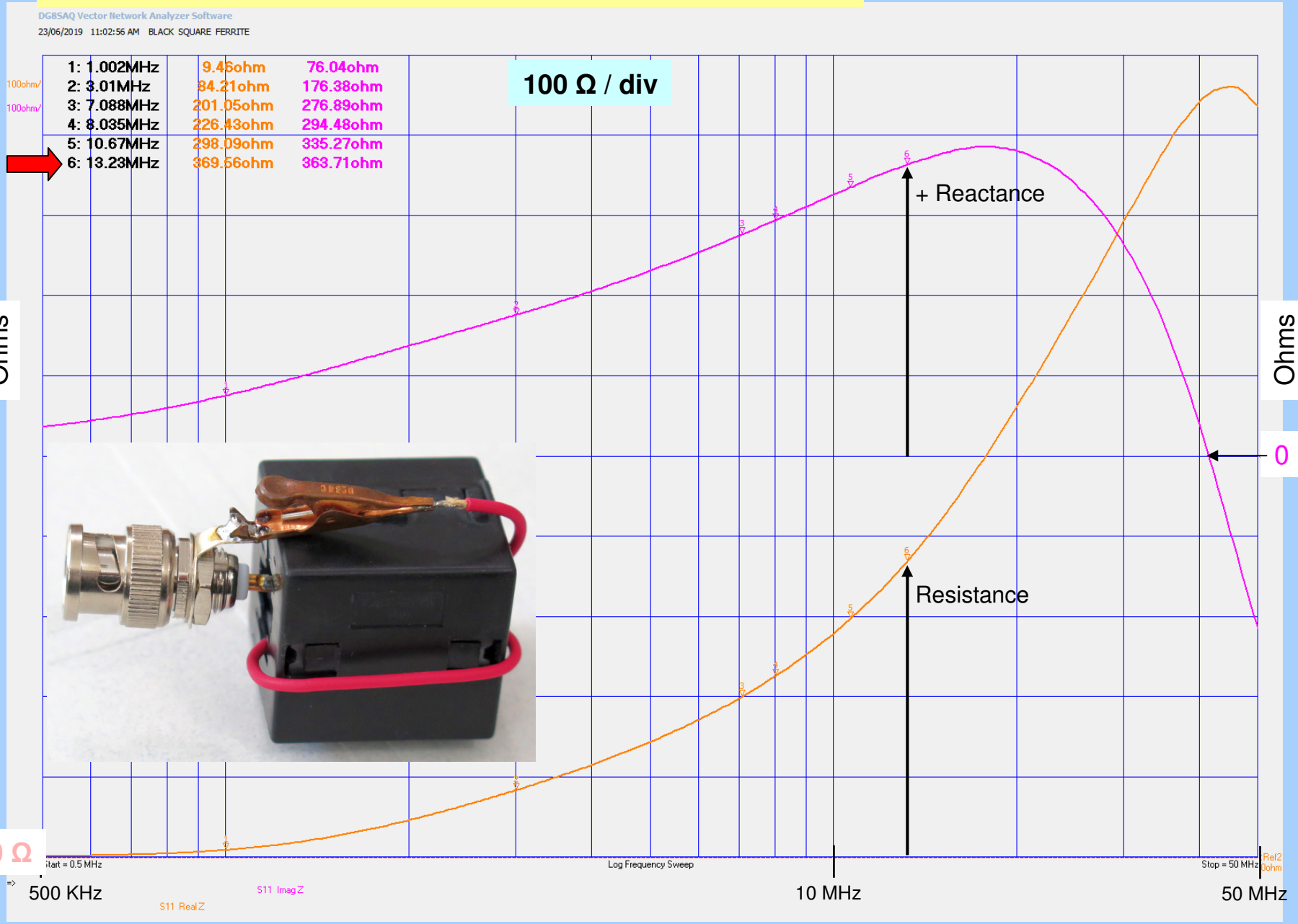
Trouver la fréquence où: Résistance = Réactance

La fréquence obtenue nous permet de découvrir la perméabilité: μ_i et le type de matériel ferrite,
Ainsi que sa gamme de fréquence optimum F: 0.2 * F à 10 * F

	Init Perm.	$F_{(X=R)}$	$F_{(X=R)\ MAX}$
Material	**μ_i**	**MHz**	**MHz**
61	125	45	
52	250	30	
51	350	20	
44	500	18	
46	500	8	
43	800	15	30
31	1500	3.5	10
77 (72)	2000	1.6	
78	2300	2	
73	2500	2	
75 (J)	5000	0.7	
76 (W)	10000	0.2	

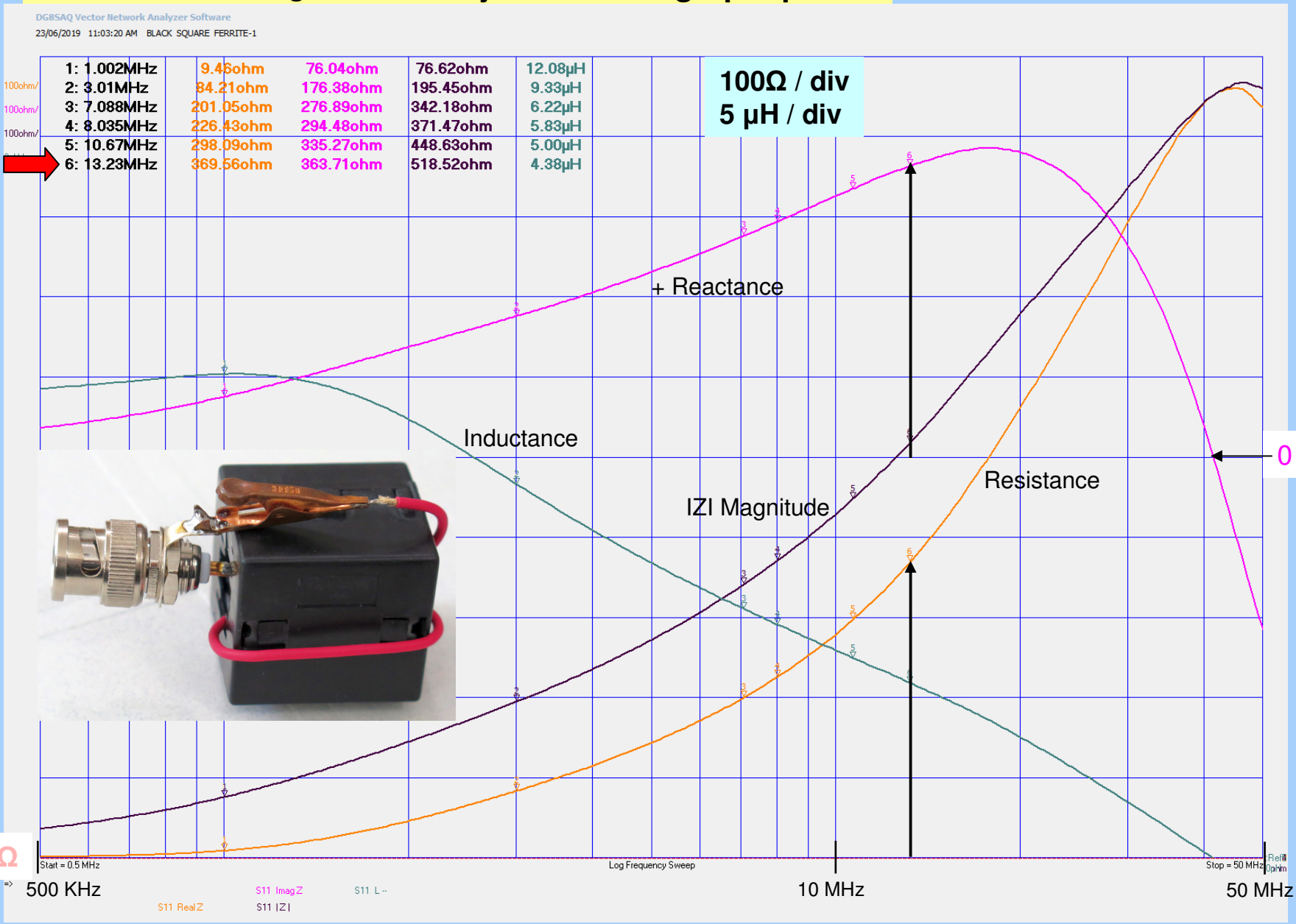


Examples de mesures: Clamp-on Ferrite μ ~ 800

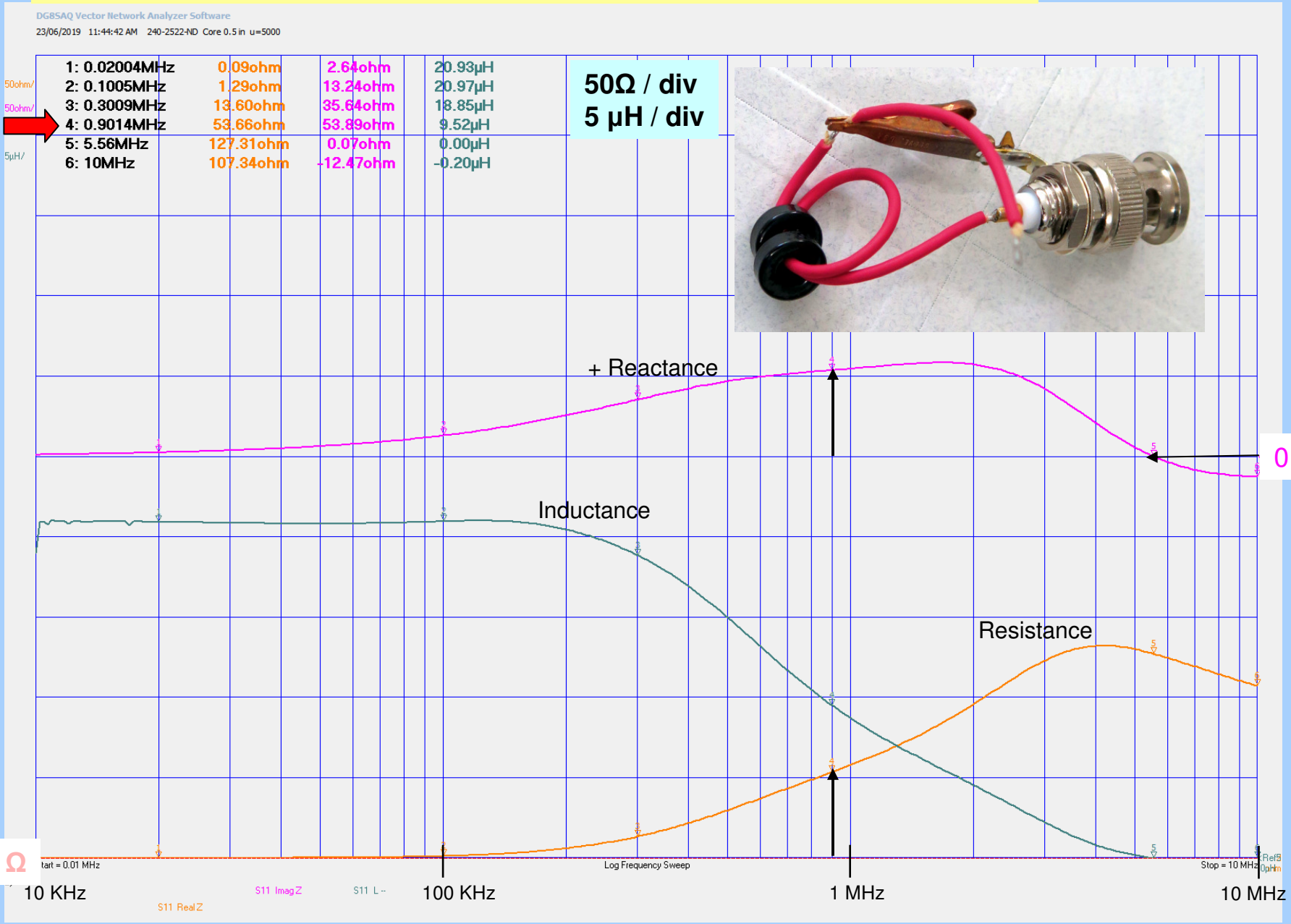


Examples de mesures: Clamp-on Ferrite μ ~ 800

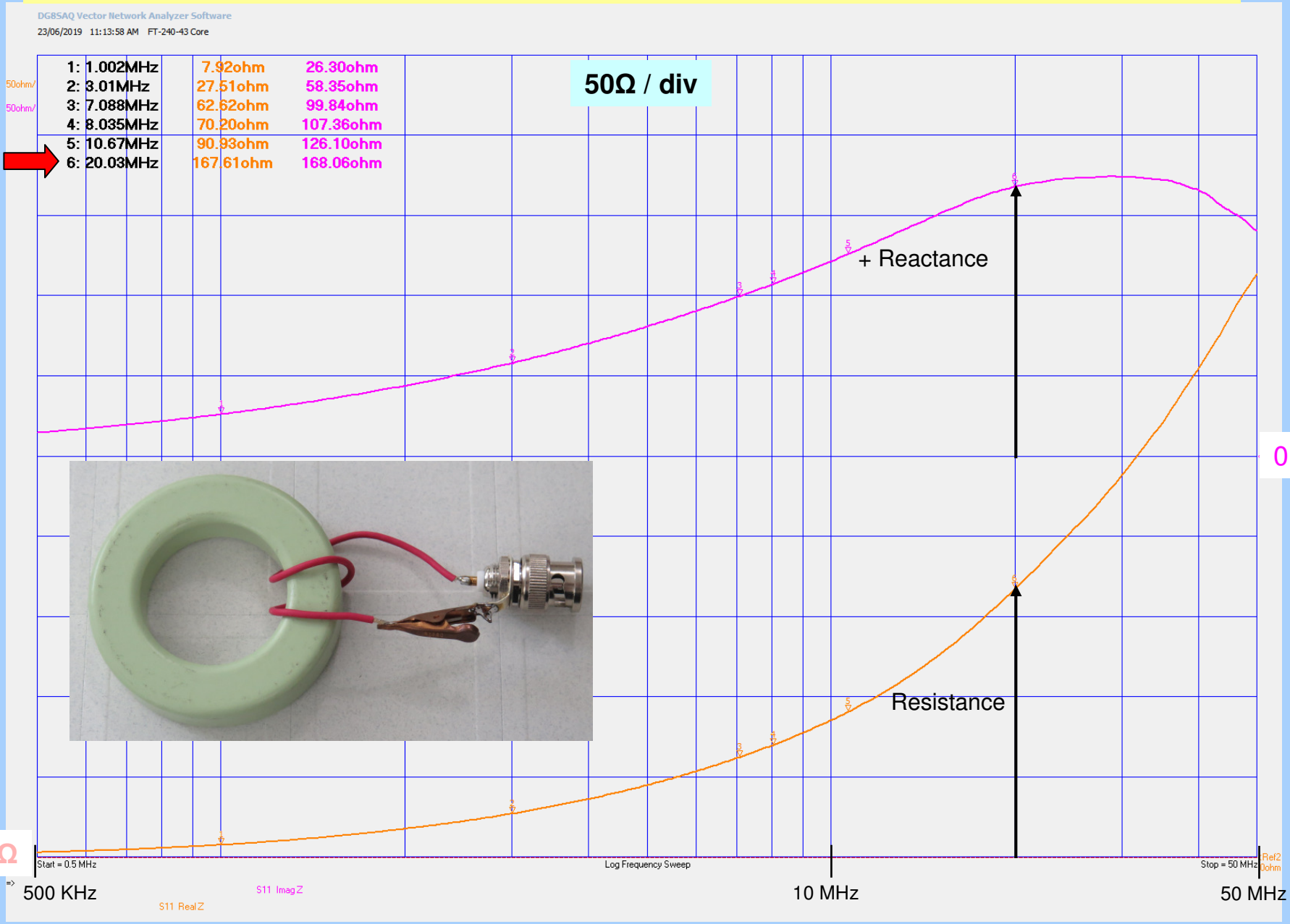
Inductance et magnitude de Z ajoutés sur le graphique



Examples de mesures: 0.5 in Ferrite μ = 5000 from specs



Examples de mesures: 2.4 in Ferrite μ = 800 from specs, #43 material



Sonde passive pour le courant RF

En développement

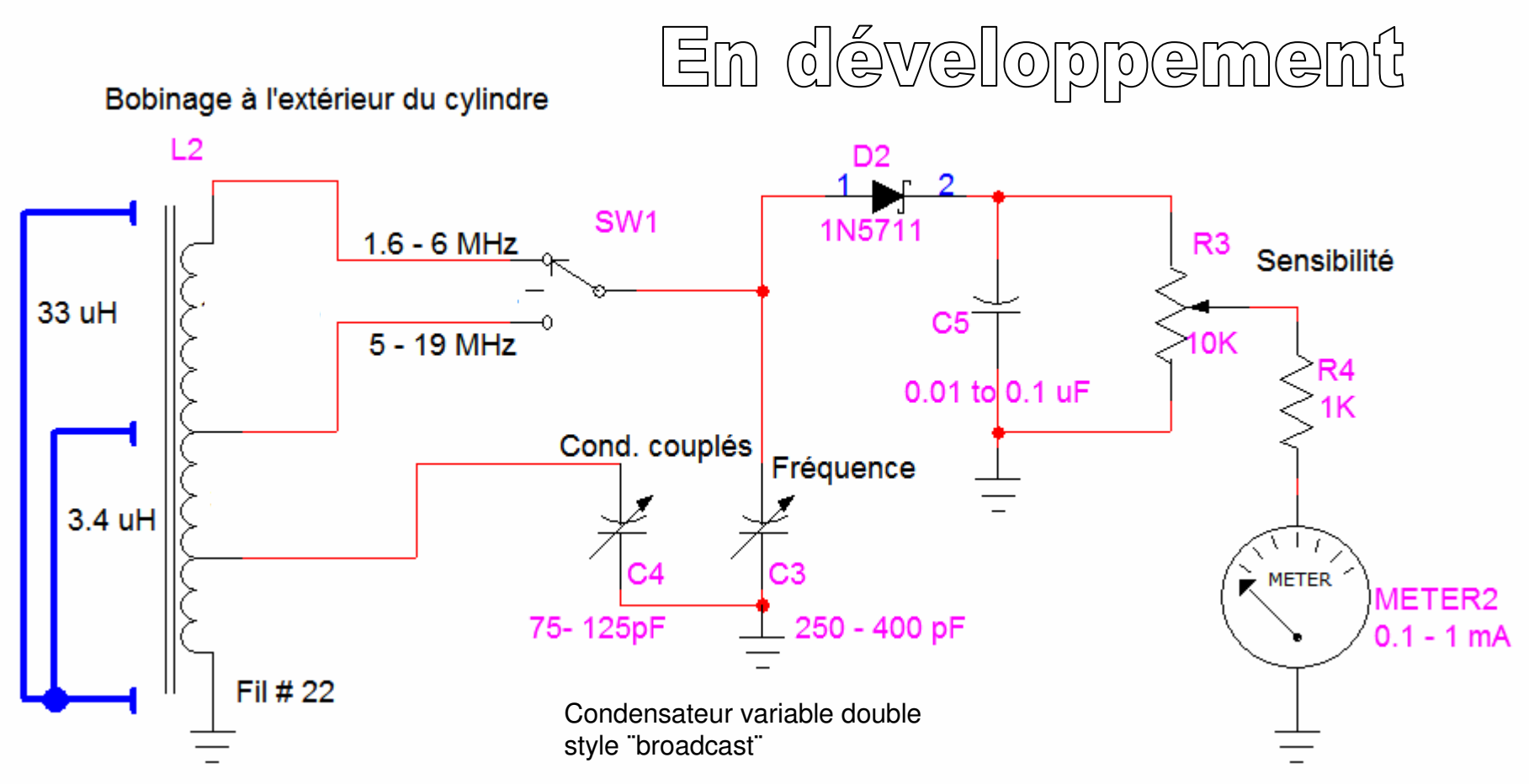
-Capte le champ magnétique RF autour des câbles

- 1.6 – 30 MHz

- Affiche l'intensité du courant.

- Circuit passif. Ne requiert pas d'alimentation/pile.

Version avec condensateur variable double



Citation de Lord Kelvin

En science physique, une première étape essentielle dans la direction de l'apprentissage de n'importe quel sujet est de trouver des principes de calcul numérique et des méthodes pour mesurer pratiquement une qualité qui y est liée.

Je dis souvent que lorsque vous pouvez mesurer ce dont vous parlez
et l'exprimer en chiffres, vous en savez quelque chose;
mais quand vous ne pouvez pas le mesurer, quand vous ne pouvez pas l'exprimer en chiffres,
votre connaissance est d'une nature maigre et insatisfaisante;
c'est peut-être le début de la connaissance,
mais vous n'avez guère, dans vos pensées, fait avancer l'état de la science,
quelle qu'en soit la matière. (1889-1894)

Lord Kelvin ou William Thompson était un célèbre physicien, mathématicien et ingénieur,
surtout connu pour ses travaux sur l'analyse mathématique de l'électricité.
Né d'un père mathématicien au 19e siècle, il a été instruit en mathématiques avancées
dès sa petite enfance et est devenu un mathématicien accompli alors qu'il était encore à l'école.

https://archive.org/details/popularlecturesa01kelvuoft/page/73/mode/1up