

# Adaptation d'impédances

## 1°) Impédance – Rappel

L'impédance caractérise la « résistance » qu'oppose un récepteur au passage d'un courant alternatif.

Elle peut être **résistive** si le récepteur se comporte comme une résistance pure, courant et tension sont alors en phase

Elle peut être **capacitive** si l'intensité est en avance de 90° sur la tension. L'impédance est alors « complexe » elle possède une partie résistive et une partie capacitive.

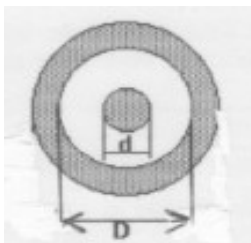
Elle peut être **inductive** si la tension est en avance de 90° sur l'intensité. L'impédance est alors « complexe » elle possède une partie résistive et une partie inductive.

## 2°) Transfert d'énergie - Rappel

Rappelons que le transfert d'énergie optimum se fera lorsque l'impédance de la charge est égale à l'impédance de sortie d'un générateur. On dit alors qu'il y a bonne adaptation.

## 3°) Impédance caractéristique d'un câble coaxial

### a) une formule de calcul



D est le diamètre intérieur du conducteur extérieur, la tresse (en mm)

d est le diamètre extérieur du conducteur intérieur, l'âme (en mm)

Z est l'impédance caractéristique du coaxial (en ohms)

$\epsilon_r$  désigne la permittivité relative du matériau isolant

$$Z = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right)$$

La **permittivité relative** du matériau isolant également est connue aussi sous le nom de **constante diélectrique**

Quelques exemples :

- pour l'air ou le vide :  $\epsilon_r = 1$
- pour le polypropylène :  $\epsilon_r = 2,2 - 2,3$

- pour le PFTE :  $\epsilon_r = 2,1$
- pour le polyéthylène :  $\epsilon_r = 2,3$

Par exemple, pour le RG58

$D = 3,15\text{mm}$

$d = 0,9\text{ mm}$

diélectrique : polyéthylène (PE)

$$Z = \frac{138}{\sqrt{2,3}} \cdot \log\left(\frac{3,15}{0,9}\right) = 49,5\ \Omega$$

### b) une autre formule de calcul

Le constructeur donne comme autres caractéristiques :

Un câble coaxial se comporte comme une résistance pure, une bobine et un condensateur. Les fabricants donnent alors :

L'inductance linéique  $L$  en Henry/m (l'inductance par mètre de câble)

La capacité linéique  $C$  en Farad/m (la capacité par mètre de câble)

L'impédance se calcule alors de la façon suivante :

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

### c) exemple 1 : le câble coaxial RG58

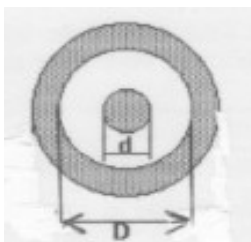
capacité linéique :  $80\text{pF/m}$

inductance linéique :  $210\text{nH/m}$

$$Z = \sqrt{\frac{210 \times 10^{-9}}{80 \times 10^{-12}}} = 51,2\ \Omega$$

### d) exemple 2

Un coaxial rigide est constitué de deux tubes de cuivre l'un dans l'autre séparés par de l'air.



$D = 39\text{ mm}$

$d = 17\text{ mm}$

Calculons l'impédance de ce coaxial

$$\frac{138}{\sqrt{1}} \cdot \log\left(\frac{39}{17}\right) = 49,8\Omega$$

e) exemple 3

Le câble coaxial RG59B/U a les caractéristiques suivantes :

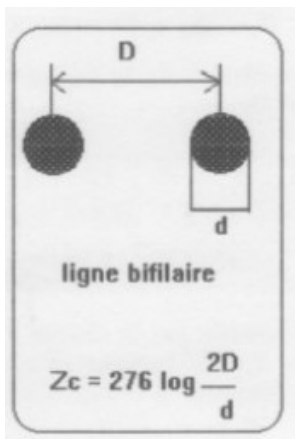
D = 3,87 mm

d = 0,58 mm

diélectrique PE

$$Z = \frac{138}{\sqrt{2,3}} \cdot \log\left(\frac{3,87}{0,58}\right) = 75,01 \Omega$$

#### 4°) Impédance caractéristique d'une ligne bifilaire



Par exemple :

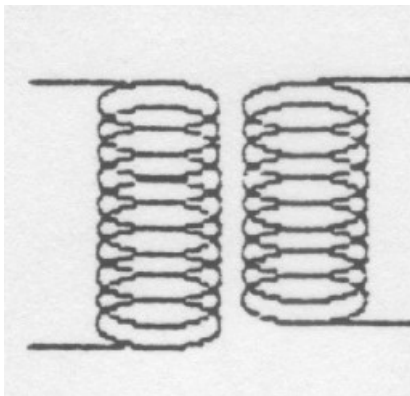
D = 134 mm

d = 1,8 mm

$$Z = 276 \cdot \log \frac{268}{1,8} = 599 \Omega$$

#### 5°) Adaptation par transformateur

a) Rappel sur les bobines et transformateurs



Un transformateur est constitué en fait de deux bobines proches l'une de l'autre, placées de telle sorte **qu'il y ait** une interaction entre elles. Chacune d'elles présente une impédance ( $Z = Lw$ ).

*Rappel :*

Voici la formule qui permet de calculer la valeur approchée de l'inductance d'une bobine dont le diamètre est faible devant la longueur :

$$L = (kn^2S)/l$$

k : coefficient qui dépend de l'environnement de la self

n : nombre de spires

S : section

l : longueur de la self

L s'exprime en henry (H). Ses sous-multiples sont le millihenry (mH) et le microhenry ( $\mu$ H)

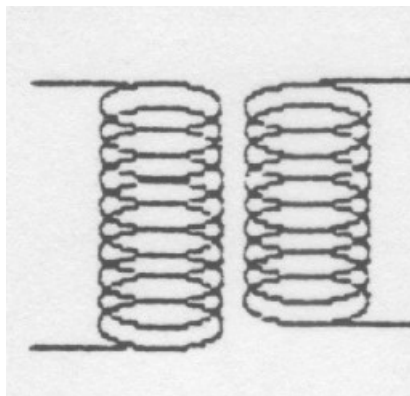
Remarquons que l'inductance n'est pas proportionnelle au nombre de spires mais à son carré.

Par conséquent :

- si on **double** le nombre de spires, sans changer la fréquence, l'inductance sera multipliée **par 4** et l'impédance ( $Z = Lw$ ) **par 4 également**.
- si on **triple** le nombre de spires, sans changer la fréquence, l'inductance sera multipliée **par 9** et l'impédance ( $Z = Lw$ ) **par 9 également**.
- si on multiplie le nombre de spires **par 10**, sans changer la fréquence, l'inductance sera multipliée par **100** et l'impédance ( $Z = Lw$ ) **par 100 également**.

#### b) Transformateurs et impédances

N1 spires  
Impédance Z1



N2 spires  
Impédance Z2

Prenons par exemple  $n_1 = 10$  spires,  $N_2 = 2$  spires et  $Z_1 = 100 \Omega$ .

Appliquons une tension efficace de 20V du côté de  $n_1$  spires. La tension efficace au secondaire sera donc de 4V efficaces (il y a 5 fois moins de spires)

La puissance au primaire sera donc  $P = U^2/Z_1 = 400/100 = 4W$

La puissance au secondaire sera donc  $P = U^2/Z_2 = 16/Z_2$

On a la même puissance au secondaire qu'au primaire, (le transformateur est supposé parfait) .

J'en conclus que  $16/Z_2 = 4$  donc  $Z_2 = 4 \Omega$

Il y a 5 fois moins de spires au secondaire ( $10/2 = 5$ ) et l'impédance est divisée par  $5^2 = 25$  ( $100/4 = 25$ )

**Le nombre de spires est divisé par 5, l'impédance est divisée par 25**

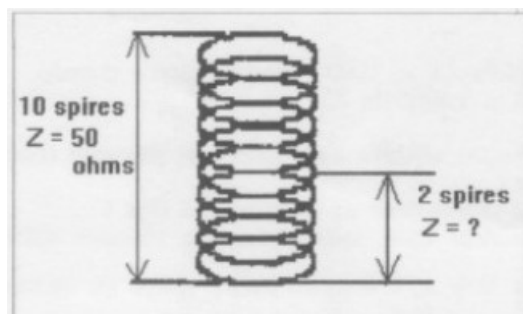
A retenir :

La plus grande impédance est du côté du plus grand nombre de spires

S'il y a  $n$  fois plus de spires au primaire qu'au secondaire, l'impédance au primaire est  $n^2$  plus grande que l'impédance au secondaire

S'il y a  $n$  fois plus de spires au secondaire qu'au primaire, l'impédance au secondaire est  $n^2$  plus grande que l'impédance au primaire

c) l'autotransformateur



L'autotransformateur ne comporte qu'une seule bobine avec une prise intermédiaire. Le calcul est le même que pour le transformateur.

Rapport du nombre de spires : 5

Rapport des impédances :  $5^2 = 25$

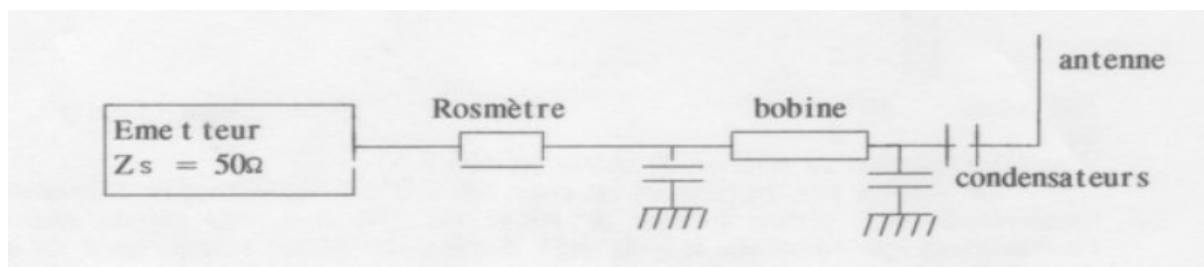
Impédance au secondaire :  $50/25 = 2 \Omega$

## 6°) Adaptation par bobine et condensateur.

L'impédance de sortie d'un émetteur à tube peut être réglée de 40 à 150 ohms environ, pour les émetteurs à transistors, de 40 à 80 ohms.

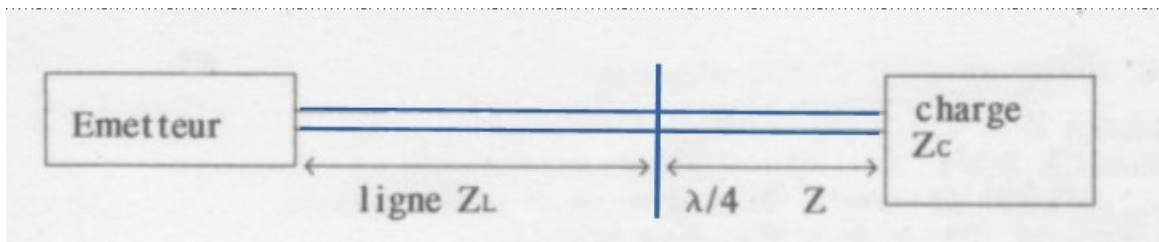
L'impédance d'une antenne varie avec la fréquence, s'il y a désadaptation, le ROS apparaît.

Pour permettre à l'émetteur de « voir » une impédance de 50 ohms et de fonctionner au mieux ainsi, on insère une boîte de couplage dans la ligne. Elle est composée d'une bobine avec des prises intermédiaires (autotransformateur) et de condensateurs variables.



En cas de désadaptation, il suffit de régler la boîte de couplage afin que le Rosmètre affiche  $ROS = 1$ . L'émetteur délivre ainsi sa puissance nominale. Il y a toujours désadaptation entre la boîte de couplage et l'antenne mais le fonctionnement de l'émetteur n'est pas perturbé.

## 7°) Adaptation par quart d'onde



L'impédance de sortie de l'émetteur est  $Z_e$ , en général  $50 \Omega$

L'impédance de la ligne  $Z_L$ , pour une bonne adaptation doit être égale à  $Z_e$

$Z_c$  est l'impédance de la charge.

Si  $Z_c$  n'est pas égal à  $Z_L$ , **il suffit d'intercaler une ligne de longueur  $\lambda/4$  (un quart d'onde, attention il s'agit d'un quart d'onde électrique et non pas physique, le coefficient de vélocité doit être utilisé) dont l'impédance  $Z$  se calcule de la façon suivante :**

$$Z = \sqrt{Z_c \times Z_L}$$

Remarque, la longueur de la ligne peut être aussi **un multiple impair de  $\lambda/4$  par exemple  $3 \lambda/4$  ;  $5\lambda/4$ .....**

#### Exemple 1 :

A la fréquence 14,200 Mhz, je veux connecter une antenne d'impédance 300 ohms avec un coaxial d'impédance 75 ohms, quelle est l'impédance de la ligne quart d'onde à utiliser, sa longueur physique, sa longueur électrique ?

Calcul de l'impédance :

$$Z = \sqrt{Z_c \times Z_L}$$

$$Z = \sqrt{300 \times 75} = 150 \text{ ohms}$$

Calcul de la longueur d'onde physique :

$$\lambda = 300 / 14,2 = 21,13 \text{ m}$$

Calcul de la longueur électrique si le coefficient de vélocité est 0,66

$$L = 21,13 \times 0,66 = 13,94 \text{ m}$$

Longueur du quart d'onde électrique :  $13,94 / 4 = 3,49 \text{ m}$  (au centième près)

#### Exemple 2 :

On veut adapter une antenne d'impédance 112,5 ohms à 144 MHz à un câble coaxial de 50 ohms.

Calculons l'impédance du câble utilisé comme quart d'onde :

$$Z = \sqrt{112,5 \times 50} = 75 \text{ ohms}$$

Calcul de la longueur d'onde physique :

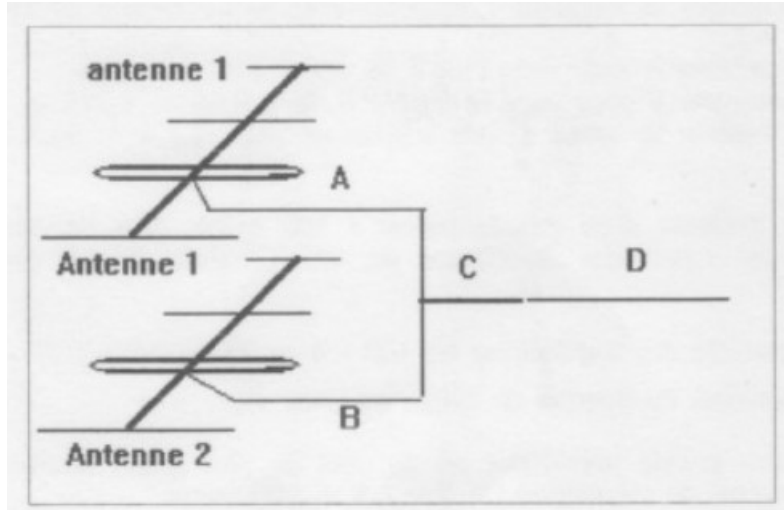
$$\lambda = 300/144 = 2,08 \text{ m}$$

Calcul de la longueur électrique si le coefficient de vélocité est 0,66

$$L = 2,08 \times 0,66 = 1,38\text{m}$$

Longueur du quart d'onde électrique :  $1,38 / 4 = 0,34\text{m}$

### Exemple 3



On veut coupler deux antennes 144 MHz d'impédance 50 ohms en parallèle.

A et B sont deux longueurs identiques de câble 50 ohms

D est un coaxial d'impédance 50 ohms

Calculons l'impédance du quart d'onde C (coefficient de vélocité 0,66) à insérer au point de jonction de A et B

Les deux antennes sont en parallèle donc l'impédance au point de jonction est  $50/2 = 25$  ohms.

Calculons l'impédance du quart d'onde adaptateur

$$Z = \sqrt{25 \times 50} = 35 \text{ ohms}$$

Calculons la longueur physique du quart d'onde :

$\lambda = 300/144 = 2,08 \text{ m}$  pour l'onde entière soit 0,52 pour le quart d'onde physique

Pour le quart d'onde électrique, il faut multiplier 0,52m par le coefficient de vélocité du câble.

$$0,52 \times 0,66 = 0,34\text{m}$$

### 8°) Cas particulier de la ligne demi-onde

Si l'impédance de sortie d'un émetteur est égale à l'impédance d'une antenne à une fréquence donnée, l'impédance de la ligne de transmission n'a aucune importance **à condition que sa longueur soit multiple d'une demi-longueur d'onde.**

Prenons par exemple un émetteur d'impédance de sortie 50 ohms, une antenne présentant une impédance de 50 ohms à 3,650 Mhz

Je ne dispose que d'un câble d'impédance caractéristique 75 ohms et de coefficient de vélocité 0,82.

Il suffit de prendre une longueur égale à un multiple d'une demi-onde.

Longueur d'onde d'un signal de 3,650 MHz

$$\lambda = 300/3,650 = 82,19 \text{ m}$$

$$\text{longueur électrique de l'onde} : 82,19 \times 0,82 = 67,4 \text{ m}$$

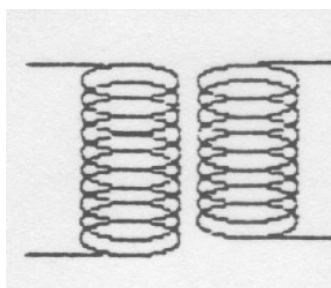
$$\text{Pour la demi-onde} : 67,4 / 2 = 33,7 \text{ m}$$

Avec 33,7m de câble 75 ohms, l'émetteur sera bien adapté à la charge. (on peut également utiliser des multiples de 33,7m)

## 9°) Exercices d'application (correction en fin de document)

Exercice 1 : compléter

n1 spires  
impédance Z1



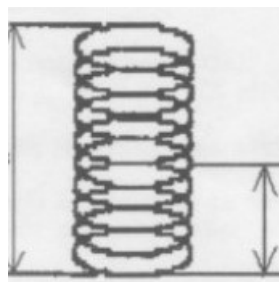
n2 spires  
impédance Z2

| primaire             |                     | secondaire             |                     |
|----------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| Nbre de spires<br>n1 | Impédance (Ω)<br>Z1 | Nombre de spires<br>n2 | Impédance (Ω)<br>Z2 |
| 20                   | 50                  | 10                     |                     |
| 100                  | 20                  | 10                     |                     |
| 10                   |                     | 50                     | 25                  |
| 10                   | 4                   | 100                    |                     |

Exercice2 :

n1 spires

impédance Z1



n2 spires

impédance Z2

n1 = 100 spires  
Z1 = 300 ohms

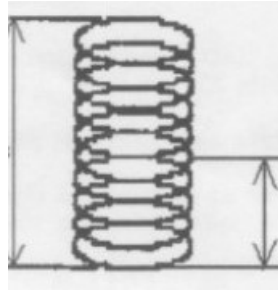
Z2 = ?

n2 = 10 spires

### Exercice3

$n_1$  spires

impédance  $Z_1$



$n_2$  spires

impédance  $Z_2$

$n_1 = ?$

$Z_1 = 64$  ohms

$n_2 = 4$  spires

$Z_2 = 4$  ohms

### Exercice 4

$Z_1$



$Z_2$

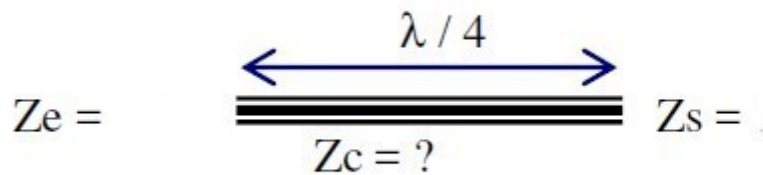
impédance du câble  $Z_c = 300$  ohms

$Z_1 = 300$  ohms

$Z_2 = 50$  ohms

Quelle est le ROS ?

### Exercice 5



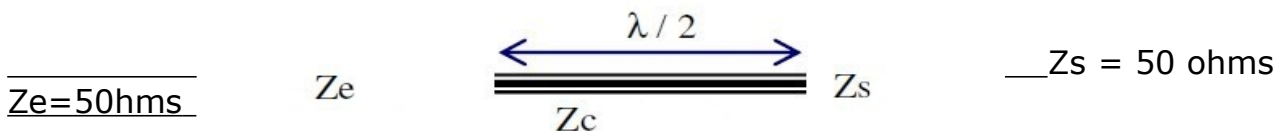
$Z_e = 50$  ohms

$Z_s = 75$  ohms

a) Quelle impédance  $Z_c$  faut-il prendre pour que le quart d'onde réalise une bonne adaptation ?

b) La fréquence utilisée est 21,300 MHz, quelle longueur choisir pour ce quart d'onde dont le coefficient de vélocité est 0,8

### Exercice 6



On a choisi 19,7 mètres d'un câble coaxial d'impédance caractéristique 75 ohms, de coefficient de vélocité 0,66 pour l'adaptation de  $Z_e$  et  $Z_s$  à la fréquence 50,2MHz. Qu'en pensez vous ?

## Correction des exercices

### Exercice 1

| primaire             |                              | secondaire             |                              |
|----------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|
| Nbre de spires<br>n1 | Impédance ( $\Omega$ )<br>Z1 | Nombre de spires<br>n2 | Impédance ( $\Omega$ )<br>Z2 |
| 20                   | 50                           | 10                     | 12,5                         |
| 100                  | 20                           | 10                     | 0,2                          |
| 10                   | 1                            | 50                     | 25                           |
| 10                   | 4                            | 100                    | 400                          |

### Exercice 2

$n1 = 100$  spires,  $n2 = 10$  spires, le rapport entre les deux est donc  $100/10 = 10$ .

Le rapport des impédances sera donc  $10^2 = 100$

La plus grande impédance est du côté du plus grand nombre de spires donc si  $Z1 = 300$  ohms,  $Z2 = 3$  ohms

### Exercice 3 :

Le rapport des impédances est  $64/4 = 16$ , donc le rapport du nombre de spires est 4 (racine carrée de 16)

$n2 = 4$  spires donc  $n1 = 16$  spires

### Exercice 4 :

$$ROS = 300/50 = 6$$

### Exercice 5 :

a)  $Z_c = \sqrt{Z_e \times Z_s} = \sqrt{50 \times 75} = 61,2 \Omega$

b) longueur d'onde physique :  $300 / 21,3 = 14,08$  m

longueur d'onde électrique :  $14,08 \times 0,8 = 11,27$  m

longueur du quart d'onde :  $11,27 / 4 = 2,82$  m

### Exercice 6 :

On sait que pour adapter deux impédances identiques, on peut utiliser n'importe quel câble coaxial à condition d'en prendre une longueur égale à un multiple de la demi-longueur d'onde . Vérifions :

Fréquence 50,2 MHz , longueur d'onde physique:  $300/50,2 = 5,98$ m

Longueur d'onde électrique :  $5,98 \times 0,66 = 3,94$  m

Longueur électrique de la demi-onde ;:  $3,94 / 2 = 1,97$ m

Une longueur de 19,7m va convenir car c'est un multiple de 1,97m

|                                                                                                           |                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Impédance au secondaire?                                                                               | 2. Impédance au primaire?                                                                     |
| $Z_P = 100\Omega$<br>20 spires<br>Primaire                                                                | $Z_P = ?$<br>10 spires<br>Primaire                                                            |
| 5 spires<br>$Z_S = ?$<br>Secondaire                                                                       | 2 spires<br>$Z_S = 2\Omega$<br>Secondaire                                                     |
| A. 500 $\Omega$<br>B. 6,25 $\Omega$                                                                       | C. 1000 $\Omega$<br>D. 12 $\Omega$                                                            |
| A. 50 $\Omega$<br>B. 100 $\Omega$                                                                         | C. 1 $\Omega$<br>D. 0,5 $\Omega$                                                              |
| 3. Nombre de spires ?                                                                                     | 4. Nombre de spires ?                                                                         |
| $Z_P = 80\Omega$<br>80 spires                                                                             | $Z_P = 20\Omega$<br>? spires                                                                  |
| ? spires<br>$Z_S = 5\Omega$                                                                               | 4 spires<br>$Z_S = 5\Omega$                                                                   |
| A. 2 spires<br>B. 20 spires                                                                               | C. 4 spires<br>D. 1 spire                                                                     |
| A. 8 spires<br>B. 2 spires                                                                                | C. 1 spire<br>D. 5 spires                                                                     |
| 5. Impédance Z ?                                                                                          | 6. Impédance de sortie ?                                                                      |
| 20 spires<br>Z ?<br>4 spires<br>10 $\Omega$                                                               | 10 spires<br>20 $\Omega$                                                                      |
| 2 spires ? $\Omega$                                                                                       | 2 spires ? $\Omega$                                                                           |
| A. 50 $\Omega$<br>B. 2 $\Omega$                                                                           | C. 250 $\Omega$<br>D. 1 $\Omega$                                                              |
| A. 5 $\Omega$<br>B. 1 $\Omega$                                                                            | C. 8 $\Omega$<br>D. 0,8 $\Omega$                                                              |
| 7. Impédance caractéristique                                                                              | 8. Impédance caractéristique                                                                  |
| d'une ligne à fils parallèles<br>La distance entre les fils est 15 cm. Le diamètre de chaque fil est 2 mm | d'une ligne coaxiale constituée de 2 tubes de cuivre de diamètres 5 cm et 1 cm                |
| A. 600 $\Omega$<br>B. 250 $\Omega$                                                                        | C. 1,2 k $\Omega$<br>D. 700 $\Omega$                                                          |
| A. 100 $\Omega$<br>B. 24 $\Omega$                                                                         | C. 96 $\Omega$<br>D. 47 $\Omega$                                                              |
| 9. Impédance de la ligne $\lambda/4$                                                                      | 10. Impédance de la ligne $\lambda/4$                                                         |
| qui permet d'adapter 2 antennes d'impédance 300 $\Omega$ en parallèle à un câble de 50 $\Omega$           | qui permet d'adapter une antenne d'impédance 73 $\Omega$ à un coaxial d'impédance 50 $\Omega$ |
| A. 300 $\Omega$<br>B. 150 $\Omega$                                                                        | C. 50 $\Omega$<br>D. 87 $\Omega$                                                              |
| A. 200 $\Omega$<br>B. 60 $\Omega$                                                                         | C. 10 000 $\Omega$<br>D. 50 $\Omega$                                                          |

Cours de préparation à la licence Radioamateur. Questionnaire n° 19. F6FTC