

Radio-Club de la Haute Île



F5KFF / F6KGL

Port de Plaisance

F-93330 Neuilly sur Marne

Bienvenue sur le cours de F6KGL

La séance de ce soir porte sur

Réglementation

Chapitre 5 – Deuxième partie

Lignes de transmission, désadaptation, CEM

Ce document a servi pour le cours enregistré le **22/11/2019**.

Ce document (*PDF*), le fichier audio (*MP3*) et les liens des vidéos (*Youtube*)
sont disponibles sur la page <https://f6kgl-f5kff.fr/lespodcasts/>

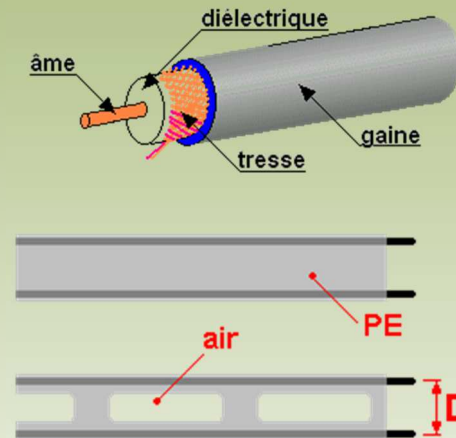


R-5.3) Lignes de transmissions

- La **ligne de transmission** est un dispositif utilisé pour **transférer l'énergie** de l'émetteur vers l'antenne ou de l'antenne vers le récepteur

La ligne de transmission peut être :

- asymétrique (coaxial),
- symétrique (ligne bifilaire)



- Le **transfert d'énergie** (ou de puissance) **est maximal** lorsque les impédances de la charge (*antenne*) et du générateur (*émetteur*) sont égales.
- La ligne de transmission a des **caractéristiques** propres :
 - son **impédance** (*en ohms, Ω*)
 - son **affaiblissement** linéique (*en décibels par mètre, dB/m*)
 - sa **vélocité** : *dans une ligne de transmission, les ondes se propagent moins vite que dans le vide (ou dans l'air), la vitesse dépend du diélectrique dont est constituée la ligne de transmission (mais ceci n'est pas au programme de l'épreuve de réglementation...)*



R-5.3) Lignes de transmissions



Pas de
schéma

Exemple : soit un câble de 20 mètres ayant une perte de 0,1 dB/m, quel est l'affaiblissement de ce câble ?

Réponse : *perte dans le câble = longueur du câble x affaiblissement linéique = 20 m x 0,1 dB/m = 2 dB*

*Si ce morceau de câble alimente une antenne d'un gain de 8 dBd, l'ensemble câble + antenne aura un gain de 6 dB
(gain de l'antenne de 8 dB – perte dans le câble de 2 dB : 8 – 2 = 6)*

Si cet ensemble (câble + antenne) est alimenté par un émetteur d'une puissance de 50 W, la puissance apparente rayonnée de l'ensemble sera de 200 W (6 dB correspondent à un rapport de 4 ; 50 x 4 = 200).



Calculs
simples !

Ce genre de question est fréquent mais les calculs devront être simples comme ici.

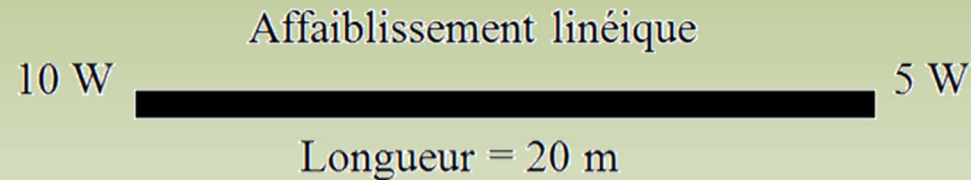
La question ne pourra pas porter ici sur le calcul de la puissance à la sortie du câble puisque -2 dB n'est pas un des 9 rapports en puissance à connaître.

En revanche, le calcul de la PAR (ou de la PIRE si le gain de l'antenne est donné en dB_{iso}) peut être demandé puisque le rapport de puissance correspondant à +6 dB doit être connu.

R-5.3) Lignes de transmissions

- Calcul d'affaiblissement linéique

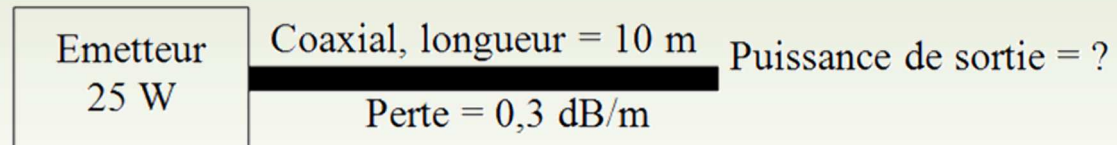
- affaiblissement linéique à partir des puissances d'entrée et de sortie



Réponse : $5 / 10 \equiv 1/2 \Rightarrow -3\text{dB}$; $-3\text{dB}/20 \equiv 0,15 \text{ dB/m}$



- Puissance de sortie



Réponse : $0,3 \text{ dB/m} \times 10 \text{ m} = 3 \text{ dB} \Rightarrow \times 1/2$; $25 \text{ W} / 2 = 12,5 \text{ W}$



Calculs
simples !

*voir page **CNFRA** dans Radio-REF de juin 2011*

R-5.3) Lignes de transmissions

- **Calcul d'affaiblissement linéique et PAR**

- *notion indispensable pour déclarer la PAR (arrêté du 17/12/07 modifié)*

- **Calcul de la PAR**

Perte = 0,3 dB/m
 Longueur = 10 m

Quelle est la
 PAR ?

10 W

Antenne = 9 dB

Réponse : Perte câble = 0,3 dB/m x 10 m ; gain total = -3 dB + 9 dB
 = +6 dB \Rightarrow x 4 ; PAR = 10 W x 4 = **40 W**



Calculs
 simples !

- **Calcul de la PIRE**

Quelle est la PIRE ?

50 W

câble
 Perte = 2 dB

Antenne = 12 dBi

Réponse : Perte câble = -2 dB, gain antenne = +12 dB, total = 10 dB
 \Rightarrow rapport de puissance de 10 \Rightarrow PIRE = 50 x 10 = **500 W**



R-5.3) Lignes de transmissions

- **TOS et désadaptation** :
 - Lorsque l'impédance de la ligne de transmission n'est pas la même que celle de la charge (*l'antenne, par exemple*), le transfert d'énergie n'est pas optimal :
 - il apparaît des **ondes stationnaires** sur la ligne
 - une partie de l'énergie émise **retourne** à l'émetteur.
 - Cette désadaptation se mesure par le **coefficient de réflexion**, noté ρ (rhô), qui est égal au **rapport**
 - du courant (tension ou intensité) **réfléchi**
 - divisé par le courant **émis** (ou courant **incident**),
 - ces deux valeurs étant exprimées **en volts ou en ampères**.
- $$\rho = U_{\text{réfléchi}} \text{ (V)} / U_{\text{émise}} \text{ (V)} = I_r \text{ (A)} / I_e \text{ (A)}$$
- *si la mesure est exprimée en watts, le calcul fera intervenir une racine carrée (ce qui rend cette formule hors programme de réglementation) :*

$$\rho = \sqrt{[P_r \text{ (W)} / P_e \text{ (W)}]}$$
- Le **TOS** est égal à 100 fois ρ : **TOS (%) = 100 x ρ**
 - **Attention** : ***le TOS n'est pas le taux de puissance réfléchi***



R-5.3) Lignes de transmissions

- Cette désadaptation se mesure aussi par le **Rapport d'Ondes Stationnaires** (ROS). Ce nombre est le rapport des impédances caractéristiques de la ligne (câble) et de la charge (antenne). Le ROS est toujours supérieur à 1/1 *si bien qu'il faut placer la plus forte impédance au numérateur (en haut de la fraction)*

$$\text{ROS} (/1) = \frac{\text{Z plus forte } (\Omega)}{\text{Z plus faible } (\Omega)}$$

- *Dans le programme de l'examen, seul le TOS est cité. Cependant, le projet de modification de l'arrêté du 21/09/00 envisage de remplacer TOS par ROS dans le programme.*
- *Formules de transformation :*

$$\text{ROS} = (1 + \rho) / (1 - \rho) \quad \rho = (\text{ROS} - 1) / (\text{ROS} + 1)$$
- *voir aussi pages 86 et 87 du cours (partie technique), rapports les plus courants :*



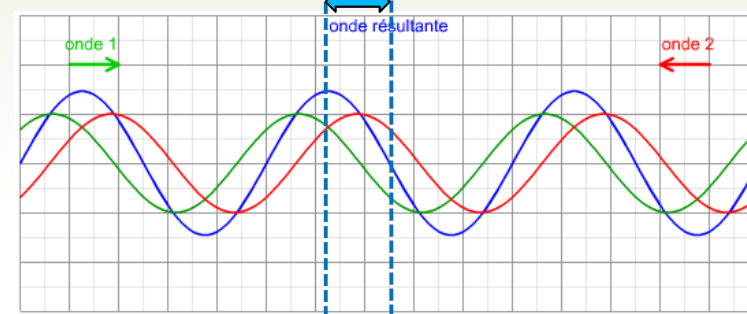
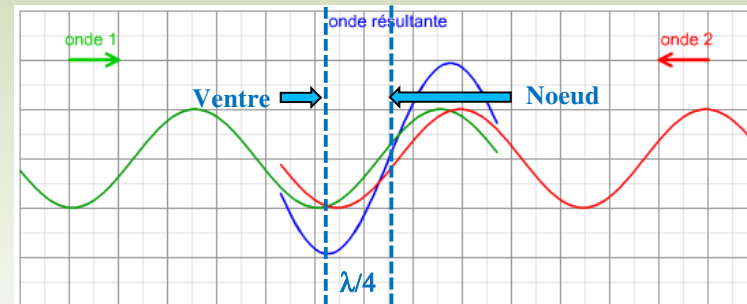
ROS (rapport des impédances)	1 / 1	1,1 / 1	1,25 / 1	1,5 / 1	2 / 1	3 / 1
TOS	0%	4,76%	11,1%	20%	33,3%	50%
ρ	0	0,048	0,111	0,2	0,333	0,5
Taux de puissance réfléchi	0%	0,23%	1,23%	4%	11,1%	25%

voir page CNFRA dans Radio-REF de mai 2009



R-5.3) Lignes de transmissions

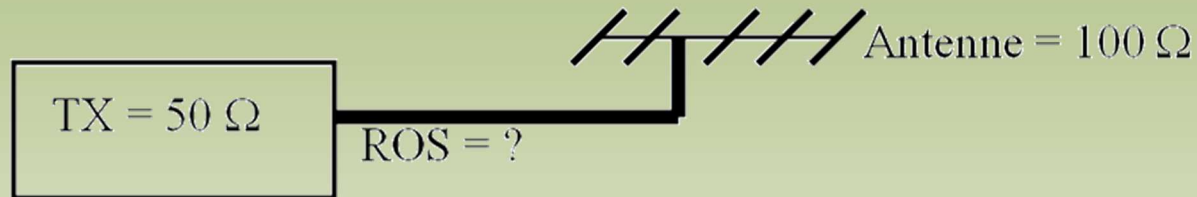
- Pourquoi appelle-t-on ce phénomène « ondes stationnaires » ?**
 - Parce que l'onde incidente (ou émise) et l'onde réfléchie sont de sens contraire et se superposent. L'endroit où sont les maxima (ventres) et les minima (nœuds) ne bougent pas par rapport à l'endroit de la désadaptation. Les ventres et les nœuds se répètent tous les quarts d'onde et bougent donc avec la fréquence de l'onde.
 - Pour mettre en évidence ce phénomène, rendez-vous sur ce lien : http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Ondes/ondes_stationnaires/stationnaires.php



R-5.3) Lignes de transmissions

- Calcul de ROS et de TOS

- **ROS**



Réponse : Z plus forte / Z plus faible = $100 / 50 = 2/1$



Calculs
simples !

- **TOS**

A l'entrée d'un câble, on mesure une tension incidente de 20 V et une tension réfléchie de 5 V.

Quel est le TOS présent dans le câble ?

Réponse : $\rho = U_{\text{réfléchie}}(V) / U_{\text{émise (ou incidente)}}(V) = 5/20 = 0,25$

TOS (%) = $100 \times \rho = 100 \times 0,25 = 25 \%$

Même question avec 20 W de puissance émise et 5 W de puissance réfléchie

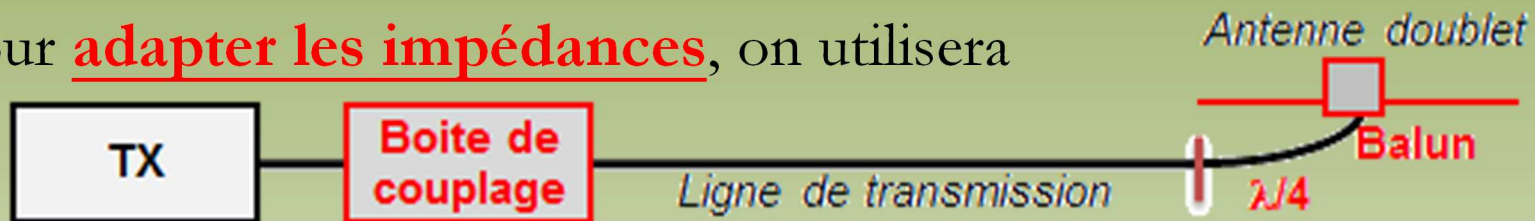
$\rho = \sqrt{[Pr (W) / Pe (W)]} = \sqrt{[5 / 20]} = \sqrt{[0,25]} = 0,5$; TOS (%) = $100 \times 0,5 = 50 \%$



Hors
programme !

R-5.3) Lignes de transmissions

- Pour **adapter les impédances**, on utilisera



- entre l'émetteur et la ligne de transmission
 - une **boîte de couplage** (ou boîte d'accord) .
- entre le câble et l'antenne, on peut insérer
 - un **balun** qui permet
 - l'adaptation symétrique/asymétrique de la connexion
 - l'adaptation des impédances si son rapport est différent de 1/1
 - une « **ligne quart d'onde** » (*cette notion sera vue plus en détail dans la partie Technique. Quelques questions d'examen de classe 3 ont été relevées sur ce sujet mais sont, à notre opinion, hors programme*).
 - dans ce cas, le morceau de câble utilisé aura pour impédance :

$$Z_{\text{câble}} = \sqrt{(Z_{\text{entrée}} \times Z_{\text{sortie}})}$$

- pour le calcul de la longueur du câble, tenir compte de son coefficient de vélocité

Exemple :

$$25 \Omega \quad \overset{\lambda/4}{\text{---}} \quad 100 \Omega$$

$Z_{\text{câble}} = ?$

Réponse : $Z_{\text{câble}} = \sqrt{(Z_{\text{entrée}} \times Z_{\text{sortie}})} = \sqrt{(25 \times 100)} = \sqrt{(2500)} = 50 \Omega$



Quelques questions
 qui, pour nous,
 sont hors
 programme !



R-5.4) Brouillage et protections des équipements électroniques



- La directive européenne 2014/30/CE définit ainsi la **Compatibilité ElectroMagnétique (CEM)** :
 - **aptitude** d'équipements à fonctionner dans leur environnement électromagnétique de façon satisfaisante sans produire eux-mêmes de perturbations électromagnétiques intolérables pour d'autres équipements dans cet environnement.
 - un équipement est un appareil ou une installation **mis dans le commerce** en tant qu'unité fonctionnelle indépendante.
 - une **perturbation électromagnétique** peut être :
 - un **bruit** électromagnétique,
 - un **signal non désiré**
 - ou une **modification du milieu de propagation** lui-même

*voir aussi page **CNFRA** dans Radio-REF d'avril 2009*



R-5.4) Brouillage et protections des équipements électroniques



- Appliqué à notre activité, **la CEM est la faculté** :
 - d'un émetteur de **ne pas perturber son environnement**,
 - d'un récepteur de **ne pas être perturbé** par son environnement.
- Un récepteur a un certain **niveau d'immunité** par rapport aux perturbations causées par son environnement électromagnétique.
 - lorsque les perturbations dépassent ce niveau, le **seuil de susceptibilité** du récepteur est atteint.
 - dans ce cas, des mesures de **durcissement** seront prises.
 - une perturbation est **conduite** lorsqu'elle est véhiculée par l'intermédiaire des conducteurs
 - une perturbation est **rayonnée** lorsqu'elle se propage dans l'espace environnant par un champ électromagnétique.



R-5.4) Brouillage et protections des équipements électroniques



- Pour limiter les **perturbations conduites**
 - le filtrage de l'alimentation secteur est obligatoire
 - les découplages seront particulièrement soignés car ils préviennent la remontée de la H.F. par la ligne d'alimentation
 - éviter que les lignes de transmission longent d'autres câbles (secteur, téléphone, TV) dans les gaines techniques
- Pour limiter les **perturbations rayonnées**
 - les blindages (*en particulier ceux des étages de puissances*) devront être efficaces
 - des filtres passe-bas seront utilisés pour bloquer les harmoniques indésirables en sortie d'émetteur
 - à puissance égale, la FM provoque des perturbations moindres.



R-5.4) Brouillage et protections des équipements électroniques



- **Deux autres sujets** (*qui sont au programme de l'épreuve de réglementation*) ont amené quelques questions d'examen :
- **l'intermodulation**
- **la transmodulation**
 - ces sujets seront développés dans la partie technique de ce cours car ils demandent des connaissances techniques pour les comprendre.
 - la **surmodulation** (*un autre phénomène lié à la modulation d'amplitude*) n'est pas citée dans le programme de l'épreuve de réglementation



R-5.4) Brouillage et protections des équipements électroniques



• Intermodulation

- créée par un mélange de fréquences au niveau d'un étage (ou d'un composant) **non linéaire** aussi bien à la sortie d'un émetteur que sur l'entrée d'un récepteur.
- l'amplificateur non linéaire fait apparaître des **mélanges** égaux à la somme et la différence des fréquences fondamentales et de leurs harmoniques.
 - **Exemple** : soient A et B , deux fréquences à amplifier. A la sortie de l'étage défaillant, en plus des deux fréquences amplifiées (A et B), on peut trouver :
 - $[A + A]$ et $[B + B]$, soit $(2 \times A)$ et $(2 \times B)$
 - $[A + B]$ et $[A - B]$, les mélanges « classiques »
 - issus de **distorsions quadratiques** (paires, **2nd ordre**)
 - et des **produits du troisième ordre** comme $(3 \times A)$, $(3 \times B)$, $[(2 \times A)+B]$, $[(2 \times B)+A]$ et des mélanges très perturbants comme $[(2 \times B)-A]$ et $[(2 \times A)-B]$, difficiles à filtrer si A et B sont proches.
 - issus de **distorsions cubiques** (impaires, **3^{ème} ordre**)



R-5.4) Brouillage et protections des équipements électroniques



- **Transmodulation** :

- problème lié au **récepteur** uniquement.
- lorsqu'un signal de **fréquence voisine** du signal que l'on veut recevoir est un **signal puissant** de forte amplitude, celui-ci va provoquer une **surcharge** de l'étage d'entrée du récepteur qui va alors manquer de linéarité (saturation).
- ce signal puissant, non désiré, va alors interférer avec le signal que l'on veut recevoir et moduler ce dernier.
- en conséquence, sera entendue non seulement la modulation du signal désiré mais également la nouvelle modulation
- **remarques** :
 - *dans le cas d'une intermodulation, les fréquences sont liées par une relation mathématique (produits d'ordre N).*
 - *la transmodulation est liée à un signal perturbateur modulé en amplitude.*

*voir aussi page **CNFRA** dans Radio-REF de juillet 2012*



R-5.5) Protections électriques

Protection des personnes et du matériel

règles de sécurité

- montage et maintenance des aériens sur un pylône
 - être équipé d'un harnais ou d'un baudrier,
 - jeux de mousquetons toujours attachés à la ligne de vie
- dangers de la haute fréquence (UHF et au-delà)



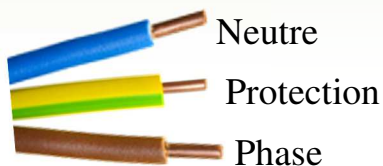
dangers de l'électricité

- tension de sécurité (< 50 V en milieu sec)
- brûlures (peau)
- électrisation (muscles)
 - contraction locale des muscles,
 - contraction des muscles respiratoires avec risque d'asphyxie,
 - fibrillation du cœur qui peut entraîner un arrêt circulatoire
 - *électrocution = décès par électrisation*
 - *Attention : LA HAUTE TENSION EST MORTELLE*



moyens de protection

- **compartiments fermés**
- repérage des fils (gaine de couleur **jaune-vert** = fil de protection)
- **mise à la terre** de toutes parties métalliques





R-5.5) Protections électriques

• Protection des personnes et du matériel

- caractéristiques et dangers de la foudre
 - qu'est ce que la foudre ?
 - décharge électrique entre les nuages et le sol
 - électricité statique dans l'antenne (situation orageuse)
 - **réduire le risque** de foudroiement
 - débrancher les câbles
 - disposer les câbles de manière à faire des coudes francs
 - installation d'un **parafoudre**
 - si le bâtiment est équipé d'une protection contre la foudre
 - relier l'antenne au plus droit à l'équipement du bâtiment



La Tour Eiffel, été 2013 à 6h54 du matin
Si c'est un montage photo, il est bien fait !



Raccord d'antenne et éclateurs d'équipotentialité

*voir aussi page **CNFRA** dans Radio-REF de mai 2012*



Les questions posées à l'examen

Nous ne reviendrons pas sur les questions avec calculs simples que nous avons vues (*affaiblissement linéique, PAR, PIRE, ROS, TOS*) et qui sont fréquentes.

- **Une ligne bifilaire est :**

- 1) symétrique
- 2) asymétrique
- 3) à haute impédance
- 4) utilisée essentiellement en VHF et au-delà

- 2, 3 et 4
- 1 et 3
- 1 et 4
- 2 et 3

- **Utilité d'un balun (1/1)**

- symétrie-asymétrie de l'antenne
- équilibrer les impédances
- augmenter la puissance émise
- diminuer les parasites atmosphériques

- **Quelle est la fonction de la boîte d'accord ?**

- Elle sert à raccorder une antenne à un amplificateur
- Aucune
- Elle sert à adapter les impédances de l'antenne et de l'émetteur
- Elle sert à adapter l'impédance de l'émetteur à l'impédance de sortie de l'antenne



Les questions posées à l'examen

Nous ne reviendrons pas sur les questions avec calculs simples que nous avons vues (*affaiblissement linéique, PAR, PIRE, ROS, TOS*) et qui sont fréquentes.

- Une ligne bifilaire est :

- 1) symétrique
- 2) asymétrique
- 3) à haute impédance
- 4) utilisée essentiellement en VHF et au-delà

- 2, 3 et 4
- 1 et 3 – *bonne réponse (symétrique et haute impédance)*
- 1 et 4
- 2 et 3

- Utilité d'un balun (1/1)

- symétrie-asymétrie de l'antenne – *bonne réponse*
- équilibrer les impédances
- augmenter la puissance émise
- diminuer les parasites atmosphériques

- Quelle est la fonction de la boîte d'accord ?

- Elle sert à raccorder une antenne à un amplificateur – « *accorder* » mais pas raccorder
- Aucune – *la boîte d'accord n'a peut-être pas d'utilité pour certains mais elle a une fonction*
- Elle sert à adapter les impédances de l'antenne et de l'émetteur – *bonne réponse*
- Elle sert à adapter l'impédance de l'émetteur à l'impédance de sortie de l'antenne
Bien lire la réponse (presque identique à la bonne réponse mais n'est pas juste)



Les questions posées à l'examen

- **La compatibilité électromagnétique est la faculté :**
 - d'une antenne à recevoir ;
 - d'un récepteur à recevoir plusieurs bandes ;
 - d'un émetteur à ne pas perturber son environnement
 - d'un récepteur à ne pas attirer la foudre
- **Quelle est la définition de l'intermodulation ?**
 - L'intermodulation est un mélange de fréquences indésirable généré par un étage ou un composant non linéaire
 - L'intermodulation est due à la saturation de l'étage RF d'entrée d'un récepteur
 - L'intermodulation est due à un gain micro trop élevé
 - L'intermodulation est l'autre terme définissant la fréquence image
- **Soient 2 fréquences $F1 = 110 \text{ kHz}$ et $F2 = 100 \text{ kHz}$, retrouvez les 2 produits d'intermodulation d'ordre 3 ?**
 - $10 \text{ et } 210 \text{ kHz}$
 - $100 \text{ et } 200 \text{ kHz}$
 - $310 \text{ et } 320 \text{ kHz}$
 - $340 \text{ et } 290 \text{ kHz}$



Les questions posées à l'examen

- **La compatibilité électromagnétique est la faculté :**
 - d'une antenne à recevoir ;
 - d'un récepteur à recevoir plusieurs bandes ;
 - d'un émetteur à ne pas perturber son environnement – *bonne réponse*
 - d'un récepteur à ne pas attirer la foudre

- **Quelle est la définition de l'intermodulation ?**
 - L'intermodulation est un mélange de fréquences indésirable généré par un étage ou un composant non linéaire – *bonne réponse*
 - L'intermodulation est due à la saturation de l'étage RF d'entrée d'un récepteur
 - L'intermodulation est due à un gain micro trop élevé
 - L'intermodulation est l'autre terme définissant la fréquence image

- **Soient 2 fréquences $F1 = 110 \text{ kHz}$ et $F2 = 100 \text{ kHz}$, retrouvez les 2 produits d'intermodulation d'ordre 3 ?**
 - 10 et 210 kHz
 - 100 et 200 kHz
 - 310 et 320 kHz – *bonne réponse*
 - 340 et 290 kHz

Les produits d'intermodulation d'ordre 3 sont les mélanges des 2 fréquences ($F1$ et $F2$) présentes à l'entrée d'un amplificateur non linéaire. A la sortie de cet amplificateur défectueux, on trouve des mélanges de 3 fréquences comme. Dans notre question : $110 + (2 \times 100)$ et $(2 \times 110) + 100$



Les questions posées à l'examen

- **Tension de protection électrique ?**
 - 10 V
 - 50 V
 - 110 V
 - 220 V

- **Quelle est la couleur d'un conducteur protection d'un câble secteur à 3 conducteurs ?**
 - Jaune-Vert
 - Marron
 - Rouge
 - Bleu

- **À quoi faut-il veiller lors de l'installation d'une antenne sur un bâtiment équipé d'une protection contre la foudre ?**
 - L'antenne doit être reliée à l'installation de protection par le chemin le plus isolé
 - L'antenne doit être reliée à l'installation de protection par le chemin le plus long
 - L'antenne ne doit pas être raccordée à l'installation de protection
 - L'antenne doit être reliée à l'installation de protection par le chemin le plus court



Les questions posées à l'examen

- **Tension de protection électrique ?**

- 10 V
- 50 V – *bonne réponse*
- 110 V
- 220 V

La tension de sécurité en milieu sec est de 50 V (et c'est également la tension maximum). La tension de sécurité en milieu humide ou à l'extérieur (cas des rotors d'antennes par exemple) est de 25 V

- **Quelle est la couleur d'un conducteur protection d'un câble secteur à 3 conducteurs ?**

- Jaune-Vert – *bonne réponse*
- Marron
- Rouge
- Bleu

- **À quoi faut-il veiller lors de l'installation d'une antenne sur un bâtiment équipé d'une protection contre la foudre ?**

- L'antenne doit être reliée à l'installation de protection par le chemin le plus isolé
- L'antenne doit être reliée à l'installation de protection par le chemin le plus long
- L'antenne ne doit pas être raccordée à l'installation de protection
- L'antenne doit être reliée à l'installation de protection par le chemin le plus court – *bonne réponse*

Radio-Club de la Haute Île



F5KFF / F6KGL

Port de Plaisance

F-93330 Neuilly sur Marne

Le cours de F6KGL

était présenté par F6GPX

Bon week-end à tous et à la semaine prochaine !

**Retrouvez-nous tous les vendredis soir au Radio-Club
de la Haute Île à Neuilly sur Marne (93) F5KFF-F6KGL,
sur 144,575 MHz (FM) ou sur Internet.**

Tous les renseignements sur ce cours et d'autres documents sont disponibles sur notre site Internet, onglet "*Les cours*" puis "*Certificat Radioamateur*"

f6kgl.f5kff@free.fr

<https://www.f6kgl-f5kff.fr>