



OnAirExam

onairexam.com

Cours de préparation à l'examen radioamateur — Canada, compétence supérieure

Certificat d'opérateur radioamateur d'ISDE, compétence supérieure : un chapitre pour chacun des 50 sujets de la banque de questions officielle.

Auteur, contact et licence

Auteur : F4HWJ – Alexandre LE BRUN

Application gratuite : onairexam.com

Contact : contact@onairexam.com · www.qrz.com/db/F4HWJ

Ce cours est mis à disposition sous licence Creative Commons Attribution – Pas d'utilisation commerciale 4.0 International (CC BY-NC 4.0). Vous pouvez le copier, l'imprimer et l'utiliser librement, notamment pour la formation à la licence radioamateur dans les radio-clubs, à condition de citer son auteur (F4HWJ – Alexandre LE BRUN). Il ne peut pas être vendu. creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.fr

Sommaire

Théorie avancée

A-001-001 La constante de temps

A-001-002 Champs, énergie et effet pelliculaire

A-001-003 Résonance d'un circuit RLC série

A-001-004 Résonance d'un circuit RLC parallèle

A-001-005 Le facteur de qualité (Q)

Composants et circuits avancés

A-002-001 Les semi-conducteurs

A-002-002 Les diodes spéciales

A-002-003 Le transistor bipolaire : alpha et bêta

A-002-004 Les transistors à effet de champ (TEC)

A-002-005 Le thyristor (SCR)

A-002-006 Les classes d'amplificateurs

A-002-007 Les montages amplificateurs

A-002-008 L'amplificateur opérationnel

A-002-009 Mélangeurs et multiplicateurs de fréquence

A-002-010 Les circuits logiques

A-002-011 Les cristaux de quartz

A-002-012 Les familles de filtres

Mesures

A-003-001 Valeur efficace et valeur de crête

A-003-002 Mesurer la puissance en crête (PEP)

A-003-003 Ondemètre dynamique et générateur de signaux

A-003-004 Le fréquencemètre et l'étalonnage

A-003-005 L'oscilloscope

A-003-006 Ampèremètres, voltmètres et wattmètres

Alimentations

A-004-001 Les redresseurs

A-004-002 Les filtres d'alimentation

A-004-003 Les régulateurs de tension

A-004-004 Régulation et protection

Émetteurs, modulation et traitement du signal

A-005-001 Les oscillateurs

A-005-002 L'amplificateur de puissance à tube

A-005-003 Neutralisation et oscillations parasites

A-005-004 Émetteurs BLU : modulateur équilibré et test à deux tonalités

A-005-005 La modulation de fréquence

A-005-006 FM, répéteurs et intermodulation

A-005-007 Traitement de la voix et du signal

A-005-008 Codes et protocoles numériques

A-005-009 L'étalement du spectre

Récepteurs

A-006-001 Conversion de fréquence et double conversion

A-006-002 Le mélangeur et les oscillateurs du récepteur

A-006-003 Bruit, sensibilité et gamme dynamique

A-006-004 Détection et commande automatique de gain

A-006-005 Image, désensibilisation, intermodulation et stabilité

Lignes de transmission et antennes

A-007-001 Les réseaux d'adaptation

A-007-002 Lignes quart d'onde et demi-onde, facteur de vélocité

A-007-003 Adapter l'antenne : gamma, T et stub

A-007-004 Tension et courant le long d'un dipôle

A-007-005 Polarisation circulaire, paraboles et Doppler

A-007-006 La puissance apparente rayonnée (PAR)

A-007-007 Hauteur de l'antenne et angle de rayonnement

A-007-008 Résistance de rayonnement, efficacité et faisceau

A-007-009 Guides d'onde et lignes sur circuit imprimé

Théorie avancée

A-001-001 La constante de temps

Circuits RC et RL

$$\tau = R \times C \quad \tau = \frac{L}{R}$$

- **Circuit RC** : en une constante de temps, le condensateur se charge à **63,2 %** de la tension appliquée, ou se décharge jusqu'à **36,8 %** de sa charge initiale.
- **Circuit RL** : en une constante de temps, le courant atteint **63,2 %** de sa valeur maximale.

Constantes de temps	Charge	Décharge
1	63,2 %	36,8 %
2	86,5 %	13,5 %

Exemples (R = 470 kΩ)

C	$\tau = R \times C$
100 μF	47 s
220 μF	103 s
470 μF	221 s

Force contre-électromotrice

La **force contre-électromotrice** (f.c.é.m.) est une **tension qui s'oppose** à la force électromotrice appliquée au circuit.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-001).

A-001-002 Champs, énergie et effet pelliculaire

L'effet pelliculaire

Plus la fréquence augmente, plus le courant RF circule dans une **très mince couche près de la surface** du conducteur : c'est l'**effet pelliculaire** (« skin effect »). La résistance d'un conducteur est donc **plus élevée en RF** qu'en courant continu.

Champs et énergie

- Autour d'un fil parcouru par un courant : un **champ électromagnétique**. Son orientation par rapport au flux d'électrons suit la **règle de la main gauche**.
- Entre les plaques d'un condensateur : un **champ électrostatique**.
- L'énergie emmagasinée dans ces champs est de l'**énergie potentielle**.

Composant	Propriété	Unité
Condensateur	Aptitude à emmagasiner une charge	Farad
Bobine	Inductance (énergie $W = \frac{1}{2}LI^2$)	Henry

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-001).

A-001-003 Résonance d'un circuit RLC série

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

La résistance n'influe pas sur la fréquence de résonance. Avec L en μH , C en pF et f en MHz :

$$f \approx \frac{159}{\sqrt{L \times C}}$$

L	C	f
50 μH	40 pF	3,56 MHz
40 μH	200 pF	1,78 MHz
50 μH	10 pF	7,12 MHz
25 μH	10 pF	10,1 MHz
3 μH	40 pF	14,5 MHz
4 μH	20 pF	17,8 MHz
8 μH	7 pF	21,3 MHz
3 μH	15 pF	23,7 MHz
4 μH	8 pF	28,1 MHz
1 μH	9 pF	53,1 MHz

Trouver C

$$C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L}$$

À 14,25 MHz avec L = 2,84 μH : **44 pF**.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-001).

A-001-004 Résonance d'un circuit RLC parallèle

La fréquence de résonance se calcule **comme en série** ; R n'intervient pas :

$$f \approx \frac{159}{\sqrt{L \times C}}$$

L en μH , C en pF, f en MHz.

L	C	f
1 μH	10 pF	50,3 MHz
2 μH	15 pF	29,1 MHz
5 μH	9 pF	23,7 MHz
2 μH	30 pF	20,5 MHz
15 μH	5 pF	18,4 MHz
3 μH	40 pF	14,5 MHz
40 μH	6 pF	10,3 MHz
10 μH	50 pF	7,12 MHz
200 μH	10 pF	3,56 MHz
90 μH	100 pF	1,68 MHz

Trouver L

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C}$$

À 14,25 MHz avec C = 44 pF : **2,8 μH** .

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-001).

A-001-005 Le facteur de qualité (Q)

Pour un circuit RLC **parallèle** :

$$Q = \frac{R}{X_L} \quad X_L = 2\pi fL$$

f	L	R	X_L	Q
14,128 MHz	2,7 μ H	18 k Ω	240 Ω	75,1
14,128 MHz	4,7 μ H	18 k Ω	417 Ω	43,1
14,225 MHz	3,5 μ H	10 k Ω	313 Ω	31,9
7,125 MHz	12,6 μ H	22 k Ω	564 Ω	39
7,125 MHz	8,2 μ H	1 k Ω	367 Ω	2,73
7,125 MHz	10,1 μ H	100 Ω	452 Ω	0,221
4,468 MHz	47 μ H	180 Ω	1 319 Ω	0,136
3,625 MHz	3 μ H	2,2 k Ω	68,3 Ω	32,2
3,625 MHz	43 μ H	1,8 k Ω	979 Ω	1,84
3,625 MHz	42 μ H	220 Ω	957 Ω	0,23

(Avec f en MHz et L en μ H, $2\pi fL$ donne directement des ohms.)

Pourquoi ajouter une résistance ?

Une résistance en parallèle **diminue le Q** et **augmente la largeur de bande** ($B = f/Q$), sans changer la fréquence de résonance.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-001).

Composants et circuits avancés

A-002-001 Les semi-conducteurs

- Le **silicium** et le **germanium** ont des caractéristiques à la fois métalliques et non métalliques : ce sont les matériaux de base des semi-conducteurs.
- À l'état **pur**, le silicium est un **isolant** ; un **semi-conducteur** est tantôt isolant, tantôt conducteur.
- **Doper**, c'est ajouter une faible quantité d'**impuretés**.
- L'**arséniure de gallium** s'emploie aux **fréquences micro-ondes**.

Type	Électrons libres par rapport au cristal pur	Porteurs majoritaires
N	Plus	Électrons libres
P	Moins	Trous

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-002).

A-002-002 Les diodes spéciales

Diode	Particularité	Usage
Zener	Tension constante malgré les variations de courant	Stabiliser une tension
Varactor (varicap)	Capacité qui varie avec la tension appliquée	Accord électronique
Schottky (« hot carrier »)	Commutation rapide, faible capacité	Mélangeurs et détecteurs VHF et UHF
À point de contact	Très faible capacité	Détecteur de RF
PIN	Couche intrinsèque entre P et N	Commutateur RF

Diodes à jonction

- Deux catégories selon la structure : diodes **à jonction** et diodes **à point de contact**.
- Caractéristiques nominales : le **courant direct maximal** et la **tension inverse de crête**.
- Le courant direct est limité par la **température de la jonction**.

Zener et puissance

- Une Zener de 10 V, 50 W à pleine dissipation : $I = 50/10 = 5$ A.
- Sa puissance nominale est donnée à 25 °C ; si la température augmente, la puissance utilisable est **moins grande**.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-002).

A-002-003 Le transistor bipolaire : alpha et bêta

Rapport	Définition	Montage
Alpha (α)	Variation du courant de collecteur par rapport au courant d' émetteur ; gain direct en courant	Base commune
Bêta (β)	Variation du courant de collecteur par rapport au courant de base	Émetteur commun ou collecteur commun

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

- α est un peu inférieur à 1 ; le gain en courant en émetteur commun ou collecteur commun est **élevé à très élevé**.

NPN et PNP

Transistor	Conduit quand la base devient...	Sens
NPN	Positive	De l'émetteur négatif vers le collecteur positif
PNP	Négative	De l'émetteur positif vers le collecteur négatif

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-002).

A-002-004 Les transistors à effet de champ (TEC)

- Les bornes d'un JFET : la **porte**, le **drain** et la **source** ; deux types : **canal N** et **canal P**.
- Le TEC a une **haute impédance d'entrée** ; le transistor bipolaire, une **basse** impédance d'entrée.

Enrichissement et appauvrissement

TEC	Avec une tension de porte nulle
À enrichissement	Pas de canal : aucun courant ; la tension de porte crée (enrichit) le canal
À appauvrissement	Le canal existe : le courant circule ; la tension de porte le réduit (appauvrit)

Dans un MOSFET canal N, ce sont les **électrons** qui circulent ; dans un canal P, les **trous**.

Électricité statique

- Les TEC et les circuits **CMOS** peuvent être **endommagés par des charges statiques**.
- La plupart des MOSFET ont une **diode Zener de protection** à la porte, contre le claquage de l'isolation par l'électricité statique ou des tensions excessives.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-002).

A-002-005 Le thyristor (SCR)

- Le **redresseur commandé au silicium** (SCR) fait partie des **thyristors**.
- Structure : **PNPN** ; bornes : **anode**, **cathode** et **gâchette** (porte), l'élément de contrôle.
- Deux états : **conducteur** et **non conducteur**.
- Déclenché par une **tension positive sur la gâchette**, il ressemble entre anode et cathode à une **diode à jonction**, un redresseur au silicium en **polarisation directe**.

Dans l'équipement radioamateur, le SCR sert surtout à la **protection contre les surtensions** (« crowbar ») des blocs d'alimentation.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-002).

A-002-006 Les classes d'amplificateurs

Classe	Conduction	Linéarité	Rendement
A	Le cycle complet (360°)	La meilleure	Le plus faible
AB	Plus de 180°, moins de 360°	Bonne	Moyen
B	180°	Moyenne	Bon
C	Moins de 180°	La plus mauvaise , le plus de distorsion	Le plus élevé

Pour un émetteur **CW, RTTY ou FM** (amplitude constante), la **classe C** donne le meilleur rendement. La BLU et l'AM demandent un amplificateur linéaire.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-002).

A-002-007 Les montages amplificateurs

Transistor bipolaire

Montage	Phase entrée / sortie	Particularité
Émetteur commun	Déphasée de 180°	Gain élevé
Base commune	En phase	Impédance d'entrée très basse par rapport à la sortie
Collecteur commun	En phase	Émetteur suiveur

Transistor à effet de champ

Montage FET	Équivalent bipolaire
Source commune	Émetteur commun
Drain commun (« source suiveuse »)	Collecteur commun
Porte commune	Base commune

En **source commune**, l'impédance d'entrée dépend surtout du **circuit de polarisation de la porte**, et l'impédance de sortie de la **résistance de charge du drain**.

La paire Darlington

Gain **élevé**, **haute** impédance d'entrée et **basse** impédance de sortie.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-002).

A-002-008 L'amplificateur opérationnel

Un **amplificateur opérationnel** est un amplificateur **différentiel**, à **couplage direct** et à **gain élevé**, dont les caractéristiques sont déterminées par des **composants externes**.

L'ampli-op idéal

Caractéristique	Valeur idéale
Impédance d'entrée	Infinie (très haute)
Impédance de sortie	Nulle (très basse)
Gain	Infini
Réponse en fréquence	Uniforme

- En boucle fermée, le **gain** est fixé par le **circuit de rétroaction externe**.
- La **tension de décalage** (« offset ») est le potentiel qui subsiste entre les entrées en boucle fermée.

Montage	Sortie
Inverseur	Déphasée de 180°
Non inverseur	En phase

Filtres actifs

Un filtre RC à ampli-op apporte du **gain** au lieu d'un affaiblissement d'insertion ; en radioamateur, il sert surtout de **filtre audio** dans les récepteurs.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-002).

A-002-009 Mélangeurs et multiplicateurs de fréquence

Le mélange

Le **mélange** combine deux signaux pour produire leur **somme** et leur **différence**. À la sortie : les fréquences **d'origine**, leur **somme** et leur **différence**.

- Un signal d'entrée **trop fort** produit des **signaux indésirables**.
- Passer de 5,3 MHz à 14,3 MHz (14,3 n'est pas un multiple de 5,3) : c'est un **mélangeur** (avec un oscillateur à 9 MHz).

Le multiplicateur de fréquence

- Il fonctionne en **classe C**, qui produit beaucoup d'harmoniques.
- Son circuit de sortie est **accordé sur une fréquence plus élevée** que la fréquence appliquée : une harmonique.

Dans le montage type (bobine L1 et condensateur variable C2 en série entre VCC+ et la masse, collecteur sur une prise de L1) :

Élément	Rôle
Condensateur d'entrée vers la base	Blocage CC
C2	Accorder L1 sur l'harmonique désirée ; L1 et C2 forment le multiplicateur
C3 (côté VCC+ de L1 vers la masse)	Découplage RF : met à la masse RF le côté alimentation de L1

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-002).

A-002-010 Les circuits logiques

Porte	Sortie
ET (AND)	« 1 » si toutes les entrées sont à « 1 »
OU (OR)	« 1 » si une des entrées est à « 1 »
NON (NOT, inverseur)	L' inverse de l'entrée
NON-ET (NAND)	« 0 » seulement si toutes les entrées sont à « 1 »
NON-OU (NOR)	« 0 » si une des entrées (ou toutes) est à « 1 »
OU exclusif (XOR)	« 1 » si une seule entrée est à « 1 »
NON-OU exclusif (XNOR)	« 1 » quand les entrées sont identiques, par exemple toutes à « 1 »

Bascules et multivibrateurs

- Une **bascule** (« flip-flop ») est un circuit logique séquentiel à **deux états stables** ; on l'appelle aussi **verrou** (« latch ») ou **multivibrateur bistable**.
- Dans un multivibrateur, quand un transistor conduit, l'autre est **en coupure**.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-002).

A-002-011 Les cristaux de quartz

L'effet piézoélectrique

Un cristal produit une tension quand on le **déforme**. Les **oscillateurs**, **filtres** et **microphones à cristal** fonctionnent sur ce principe ; les **filtres actifs** n'utilisent pas de cristaux.

Électriquement, un cristal est un **circuit syntonisé à facteur Q très élevé**.

Oscillateurs à cristal

- Avantage sur un oscillateur LC : une **stabilité de fréquence beaucoup plus grande**.
- Ils ne donnent **pas** une grande puissance de sortie.
- Un oscillateur dont la sortie est proche d'un multiple de la fréquence du cristal est un oscillateur en **mode partiel** (« overtone »).

Filtres à quartz

- Grâce au **Q élevé** du cristal, ils sont supérieurs aux filtres LC en bande étroite.
- Le **filtre en treillis** (« lattice ») est un filtre à bande étroite et à pente raide ; sa largeur de bande dépend de la **relation entre les fréquences des cristaux**.
- En BLU phonie, un bon filtre fait **2,4 kHz**.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-002).

A-002-012 Les familles de filtres

Trois grands groupes : **passe-haut**, **passe-bas** et **passe-bande**.

Filtre	Bande passante	Pentes
Butterworth	La plus uniforme (plate)	Moins abruptes
Tchebychev	Ondulations	Plus abruptes

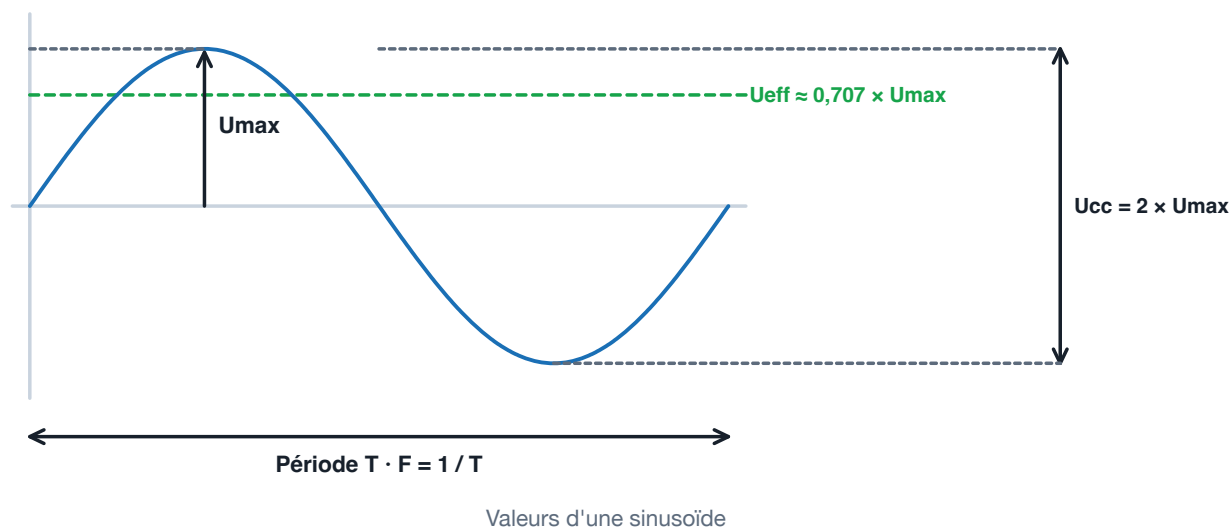
En VHF et au-dessus

- Les **cavités résonantes** servent de **filtres passe-bande étroits** en VHF et au-dessus ; elles ne conviennent pas à l'audio ni aux basses fréquences RF (elles seraient immenses).
- Une cavité quart d'onde pour 50 MHz : $\lambda = 6 \text{ m}$, donc environ **1,5 m** de long.
- Le **résonateur hélicoïdal** protège l'entrée d'un récepteur VHF/UHF contre la surcharge et les signaux non désirés.
- Pour une largeur de bande proche d'un canal de télévision, aucun de ces filtres ne convient.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-002).

Mesures

A-003-001 Valeur efficace et valeur de crête



- La **valeur efficace** (RMS) d'une tension alternative est celle qui **dissipe la même chaleur** dans une résistance qu'une tension continue de même valeur.
- Pour une sinusoïde, elle vaut **70,7 %** de la valeur de crête : $E_{eff} = 0,707 \times E_{crête}$. La fréquence n'intervient pas.
- La loi d'Ohm en alternatif s'applique aux **valeurs efficaces** ; les voltmètres CA sont **étalonnés en valeur efficace**.
- À l'oscilloscope, la valeur la plus facile à lire est la tension **crête à crête** : $E_{cc} = 2 \times E_{crête}$.

Donnée	Résultat
20 V de crête	14,14 V efficaces
17 V de crête	12 V efficaces
340 V crête à crête (170 V de crête)	120 V efficaces
120 V efficaces	$120 \times 1,414 \times 2 \approx 339,5$ V crête à crête

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-003).

A-003-002 Mesurer la puissance en crête (PEP)

La **puissance en crête de modulation** (PEP) est la puissance fournie pendant un cycle RF à la **plus haute crête de l'enveloppe** de modulation.

$$PEP = \frac{(0,707 \times E_{\text{crête}})^2}{R}$$

Avec un voltmètre sur une charge résistive : $P = E^2/R$.

À l'oscilloscope sur une charge fictive de 50 Ω

Tension crête à crête	Crête	Efficace	PEP
200 V	100 V	70,7 V	100 W
400 V	200 V	141,4 V	400 W
500 V	250 V	176,8 V	625 W
800 V	400 V	282,8 V	1 600 W

Pour une **porteuse non modulée**, l'enveloppe est constante : la **PEP est égale à la puissance moyenne** (1 060 W lus au wattmètre = 1 060 W PEP).

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-003).

A-003-003 Ondemètre dynamique et générateur de signaux

L'ondemètre dynamique (« dip meter »)

- C'est un **oscillateur à fréquence variable** dont le niveau d'activité se lit sur un indicateur.
- Il indique la **fréquence de résonance d'un circuit** non alimenté (il fournit lui-même l'énergie RF) : circuits syntonisés, **pièges d'antenne**.
- Il s'applique directement aux **circuits syntonisés en parallèle**.
- Il doit être couplé **légèrement** au circuit.
- Il ne mesure **pas directement** une capacité ni une inductance.
- Sa précision ne dépend **pas** de la puissance d'un émetteur.

Le générateur de signaux

- C'est un **oscillateur de grande stabilité**, sur une large gamme de fréquences et d'amplitudes.
- La graduation de son atténuateur n'est exacte que si l'atténuateur est **bien adapté** (chargé).
- Sensibilité SINAD 12 dB d'un récepteur FM : un **générateur RF** à sortie graduée, modulé FM par une tonalité, et un **analyseur de distorsion harmonique**.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-003).

A-003-004 Le fréquencemètre et l'étalonnage

Le fréquencemètre

- Il sert à **mesurer les fréquences** ; son horloge est un **oscillateur à cristal**.
- Sa précision dépend de sa **base de temps** ; sa réponse en fréquence, de la **vitesse des circuits logiques**. Pour l'améliorer : améliorer la base de temps.

Erreur en parties par million

L'erreur maximale vaut la fréquence en MHz multipliée par l'erreur en ppm, en hertz.

Précision	Erreur à 146,52 MHz
0,1 ppm	14,652 Hz
10 ppm	1 465,2 Hz

Oscillateurs de référence

- Haute stabilité : TCXO (compensé en température), OCXO (en enceinte thermostatée), asservi au GPS. Le **VCXO** (commandé en tension) n'est **pas**, en soi, de haute stabilité.
- Le **générateur de repères** (« marker ») est un oscillateur stable riche en **harmoniques** pour étalonner un cadran.
- On vérifie un oscillateur d'étalonnage par **battement nul** (« zero-beat ») avec une station horaire comme **WWV** ; la note de battement doit être **aussi basse que possible**.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-003).

A-003-005 L'oscilloscope

Performances

- Précision : la **base de temps** ; réponse : la **linéarité et la largeur de bande** des amplificateurs de déviation.
- La **largeur de bande** est la plus haute fréquence que l'oscilloscope peut afficher. Pour l'améliorer : un **balayage horizontal** plus rapide et un **amplificateur vertical** plus large.
- Un oscilloscope à **deux traces** affiche l'entrée et la sortie d'un circuit.
- Une sonde doit être **compensée** chaque fois qu'on la branche à un autre oscilloscope.

Usages

- C'est le meilleur instrument pour vérifier la **qualité d'un signal CW ou BLU** ; l'entrée verticale se raccorde à un **dispositif qui prélève un échantillon** de la sortie RF.
- Il ne mesure **pas directement l'excursion** d'une porteuse FM.

Figures de Lissajous

$$\frac{f_V}{f_H} = \frac{\text{boucles horizontales}}{\text{boucles verticales}}$$

Cas	Résultat
100 Hz horizontal, 150 Hz vertical	3 boucles horizontales, 2 verticales
100 kHz horizontal, 5 boucles verticales et 2 horizontales	$100 \times 2/5 = 40 \text{ kHz}$
Déphasage de 0° ou 180°	Une ligne droite en diagonale

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-003).

A-003-006 Ampèremètres, voltmètres et wattmètres

Étendre la gamme

Appareil	Résistance ajoutée
Ampèremètre	En parallèle (shunt)
Voltmètre	En série (multiplicateur) ; c'est ce qu'ajoute un multimètre en passant à une gamme plus haute

Exemples

- Galvanomètre $40\text{ }\mu\text{A}$, $96\text{ }\Omega$, porté à 1 mA : tension $40\text{ }\mu\text{A} \times 96\text{ }\Omega = 3,84\text{ mV}$; le shunt dérive $960\text{ }\mu\text{A} \rightarrow$ **$4\text{ }\Omega$** .
- Milliampèremètre 1 mA , $0,5\text{ }\Omega$, en voltmètre 20 V : $20/0,001 - 0,5 =$ **$19\text{ }999,5\text{ }\Omega$ en série**.
- Voltmètre 150 V , $150\text{ k}\Omega$, porté à 750 V : **$600\text{ }000\text{ }\Omega$ en série**.

Sensibilité

- Ampèremètre : le **courant qui donne la pleine échelle**.
- Voltmètre : en **ohms par volt** ; $150\text{ k}\Omega$ sur $150\text{ V} =$ **$1\text{ }000\text{ }\Omega/\text{V}$** ; $20\text{ k}\Omega/\text{V}$ correspond à un microampèremètre de **$50\text{ }\mu\text{A}$** .

Le wattmètre RF

Branché à la **sortie de l'émetteur** ; la plupart fonctionnent sous **$50\text{ }\Omega$** .

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-003).

Alimentations

A-004-001 Les redresseurs

Redresseur	Ondulation (secteur 60 Hz)	Particularité
Simple alternance	60 Hz	Une impulsion par cycle
Double alternance à prise médiane	120 Hz	Utilise la moitié du secondaire à chaque alternance
Double alternance en pont (4 diodes)	120 Hz	Pas de prise médiane ; tension moyenne la plus élevée , le double de la prise médiane avec le même transformateur

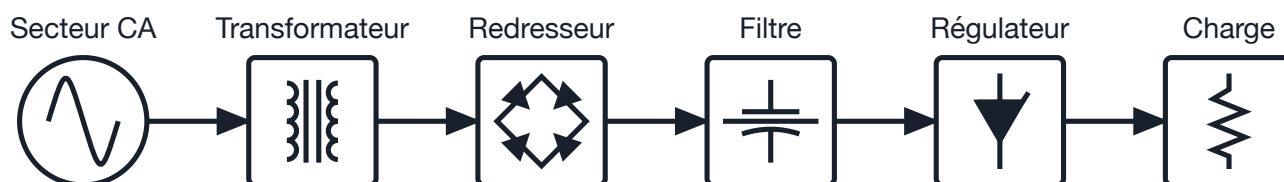
- Sans filtrage, un double alternance donne des **impulsions à deux fois la fréquence** du secteur.
- Le **doubleur de tension** double alternance utilise les **deux moitiés** de l'onde.

Tension inverse de crête

Montage	Tension inverse de crête
Simple alternance avec condensateur, charge très faible ou nulle	2,8 fois la tension efficace
Double alternance à prise médiane, quelle que soit la charge	2,8 fois la tension efficace

Diodes de redressement

- Valeurs à ne pas dépasser : la **tension inverse de crête** et le **courant moyen direct**.
- En haute tension, une **résistance et un condensateur** en parallèle sur chaque diode **égalisent les tensions** et absorbent les surtensions transitoires.



Alimentation régulée linéaire

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-004).

A-004-002 Les filtres d'alimentation

Deux types : à condensateur en tête et à bobine (inductance) en tête.

Filtre	Avantage
Condensateur en tête	Tension de sortie plus élevée (près de la crête)
Bobine en tête	Meilleure régulation (environ 0,9 fois la tension efficace) ; avec un redresseur double alternance, la meilleure régulation

- Une bobine en série laisse passer le **continu** et s'oppose à la **composante alternative**.
- Les bobines de filtrage se caractérisent par leur **inductance** et le **courant** qu'elles supportent.

La résistance de fuite (« bleeder »)

- Elle **décharge les condensateurs** à l'arrêt et **améliore la régulation**.
- Avec une bobine en tête, elle assure le **courant minimal** nécessaire.
- Le condensateur doit tout de même supporter la **tension de crête** du transformateur : si la résistance de fuite lâche, sans charge, il se charge jusqu'à la crête.

Attention à la résonance

La **première bobine et le premier condensateur** doivent être choisis avec soin : s'ils forment un **circuit résonant série** près de la fréquence d'ondulation, l'ondulation, les courants de crête et les tensions inverses deviennent très élevés.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-004).

A-004-003 Les régulateurs de tension

Deux types principaux : **linéaire** et à **découpage**.

Régulateur	Fonctionnement
Linéaire	La conduction de l'élément régulateur varie proportionnellement à la tension source ou au courant de charge
À découpage	L'élément de contrôle alterne entre marche et arrêt selon la ligne et la charge

Régulateurs linéaires

- La référence de tension stable est une **diode Zener**.
- Régulateur **série** : le **meilleur rendement**.
- Régulateur **en dérivation** (shunt) : présente une **charge constante** à la source.
- Mesure à distance (« remote sensing ») : un **branchement de rétroaction distinct** entre la charge et l'entrée de l'amplificateur d'erreur.

Le régulateur à trois bornes

Il réunit dans un seul boîtier une **référence de tension**, un **amplificateur d'erreur**, des **résistances de détection de courant** et un **transistor ballast**. Ses caractéristiques : la plage de tension d'entrée, la **tension de sortie** et le **courant de sortie maximal**.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-004).

A-004-004 Régulation et protection

Le transistor ballast

Sa dissipation est proportionnelle au **courant de charge** et à la **différence de tension** entre entrée et sortie :

$$P = (E_{\text{entrée}} - E_{\text{sortie}}) \times I_{\text{charge}}$$

La régulation

- La sortie est la plus pure et la mieux régulée **au point où se branche le réseau d'échantillonnage** (l'amplificateur d'erreur).
- La **résistance de charge** vaut la tension de sortie divisée par le courant total, y compris celui de la résistance de fuite.

Variations de la charge	Régulation
À long terme	Statique
À court terme (CW, BLU)	Dynamique : on l'améliore en augmentant le condensateur de sortie

Dans l'alimentation stabilisée

- Quatre diodes en pont forment le **redresseur**.
- Le condensateur électrolytique de filtrage alimente le **régulateur de tension**.
- Les **fusibles** conduisent l'alternatif avant le transformateur et le continu avant la sortie.
- Une **diode entre l'entrée et la sortie** du régulateur le protège contre les **tensions inverses**.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-004).

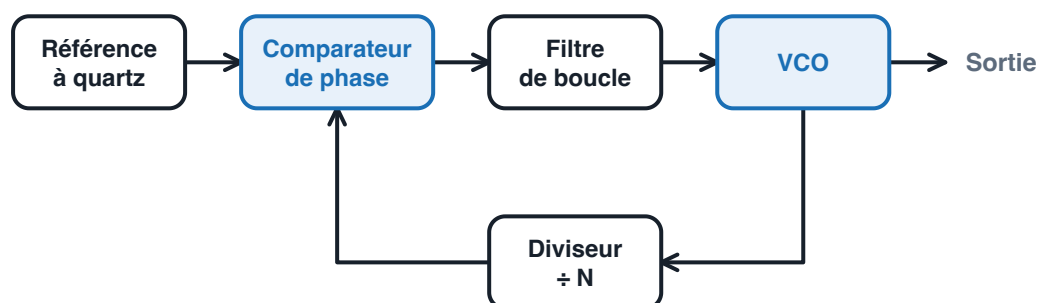
Émetteurs, modulation et traitement du signal

A-005-001 Les oscillateurs

Un oscillateur dépend d'une **rétroaction positive** (par exemple un VFO).

Oscillateur	Rétroaction positive
Hartley	Par une bobine à prise
Colpitts	Par un diviseur capacitif (deux condensateurs en série) ; stable , souvent utilisé en VFO
Pierce	Par couplage capacitif : un condensateur en série avec le crystal

- Pour une haute stabilité, les condensateurs de rétroaction sont **au mica argenté**.
- Un synthétiseur à **boucle à phase asservie** (PLL) exige une référence très stable : toute variation de phase de la référence produit du **bruit de phase** à la sortie.
- Un oscillateur suivi d'un amplificateur de classe C forme un **émetteur CW à deux étages**.



$$F_{\text{sortie}} = N \times F_{\text{référence}}$$

Synthétiseur à boucle à phase asservie

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-005).

A-005-002 L'amplificateur de puissance à tube

L'amplificateur en grille commune (triode)

Élément	Rôle
Entrée	Appliquée à la cathode
Anode vers le réseau en pi	Par un condensateur de blocage
Bobine d'arrêt RF de l'anode	Reliée au B+ (haute tension)
Bobine d'arrêt RF de la cathode	Reliée au B- (polarisation)
Transformateur relié au tube	Fournit la tension du filament
Condensateurs de chaque côté du filament vers la masse	Découplage

- Le retour du filament par la **prise médiane** de son transformateur empêche le courant alternatif de **moduler l'onde émise**.
- Sortie de 400 W à 400 mA avec 50 % de rendement : 800 W d'entrée, donc $800/0,4 = 2\,000$ V de B+.

Réglages et précautions

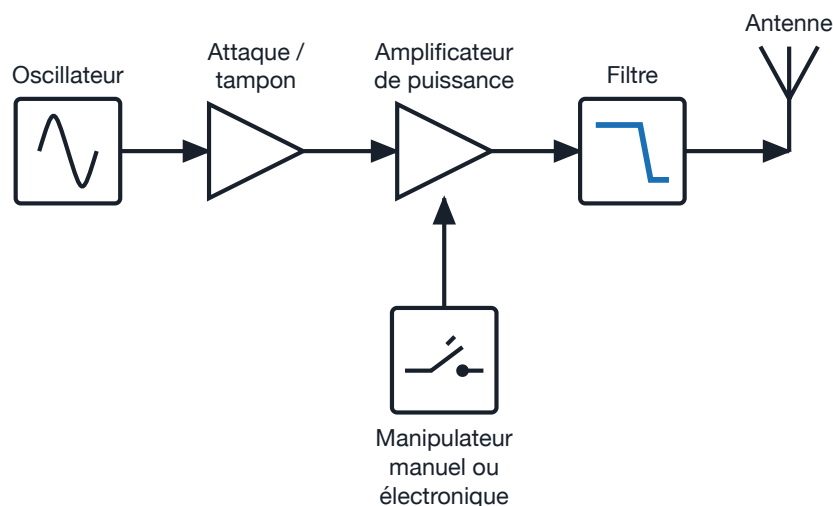
- Les commandes du **réseau en pi** permettent le **transfert efficace** de la puissance à l'antenne.
- Des **couplages par circuits accordés** entre les étages atténuent les harmoniques des premiers étages.
- Après des réglages internes d'un amplificateur VHF : **remettre tous les blindages**.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-005).

A-005-003 Neutralisation et oscillations parasites

L'émetteur CW à deux étages

- Le second transistor est l'**amplificateur de puissance**.
- Le transformateur RF entre les étages fait aussi **partie d'un circuit résonant**.
- La bobine d'arrêt RF et les condensateurs à la masse sur l'alimentation du collecteur forment un **filtre** qui empêche la RF de remonter dans l'alimentation.
- Manipuler l'**étage tampon** plutôt que l'oscillateur rend les **variations de fréquence** peu probables.



Émetteur à ondes entretenues (CW)

La neutralisation

- Elle **annule la rétroaction positive** due à la **capacité interélectrode** (tubes) et élimine les **oscillations parasites**.
- Bien neutralisé, l'étage montre un **changement minimal du courant de grille** quand on accorde le circuit de sortie.

Les oscillations parasites

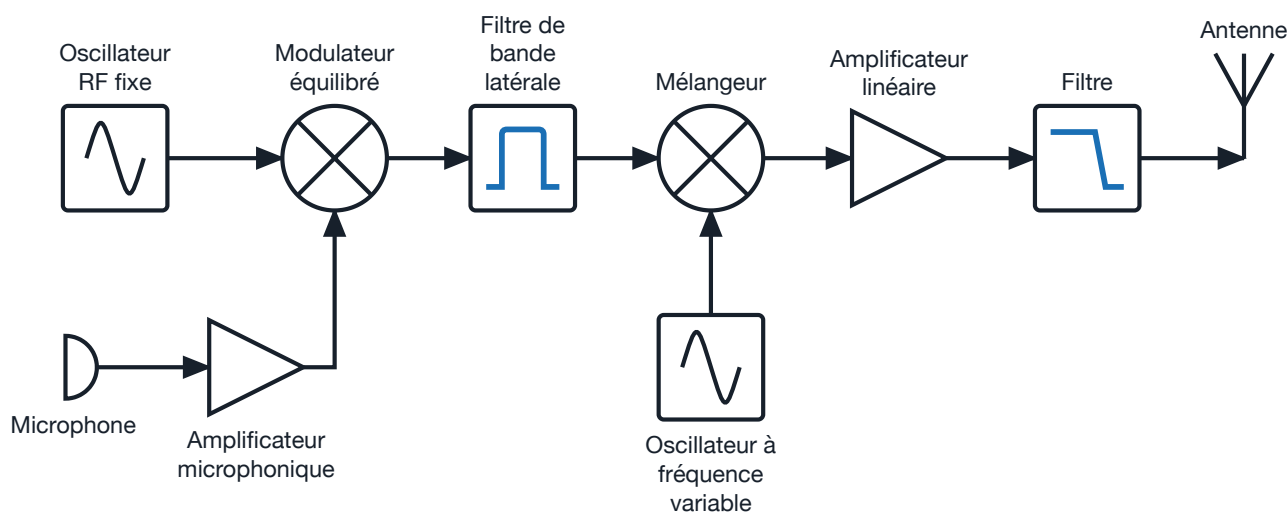
Elles prennent naissance surtout dans les **amplificateurs de puissance RF**, à cause de **résonances accidentelles** ou d'un étage **non neutralisé**.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-005).

A-005-004 Émetteurs BLU : modulateur équilibré et test à deux tonalités

Produire la BLU

- Le **modulateur équilibré** produit un signal à **double bande latérale, porteuse supprimée** ; c'est là que la porteuse est supprimée.
- Un **filtre** élimine ensuite la bande latérale non désirée.
- La porteuse doit être supprimée d'**au moins 40 dB** sous la puissance de crête.
- Par rapport à l'AM, la BLU donne environ **6 dB de gain à l'émetteur** et **3 dB au récepteur** (bande passante moitié moindre).



Émetteur BLU (SSB)

Le test à deux tonalités

- On injecte **deux signaux sinusoïdaux audio**, dans la bande passante de l'émetteur et **sans relation harmonique**, et on observe la sortie à l'**oscilloscope**.
- Il mesure la **linéarité** de l'amplificateur.
- La puissance de crête vaut **deux fois** la puissance de chaque tonalité.

L'écrtage (« flat topping »)

C'est une distorsion due à un **signal d'attaque excessif** : les crêtes de l'enveloppe sont aplaties.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-005).

A-005-005 La modulation de fréquence

Indice de modulation et facteur d'excursion

$$m = \frac{\Delta f}{f_{mod}}$$

Excursion	Fréquence modulante	Résultat
3 kHz	1 kHz	Indice 3
6 kHz	2 kHz	Indice 3
±5 kHz	3 kHz maximum	Facteur d'excursion 1,66
±7,5 kHz	3,5 kHz maximum	Facteur d'excursion 2,14

Le **facteur d'excursion** (« deviation ratio ») utilise l'excursion **maximale** et la fréquence modulante **maximale**.

Propriétés

- Sans modulation, la porteuse est sur sa **fréquence centrale**.
- L'excursion dépend **seulement de l'amplitude** du signal modulant.
- Une onde FM modulée par une seule tonalité a un **nombre infini de bandes latérales**.
- Largeur de bande (règle de Carson) : $2 \times (5 + 3) = 16 \text{ kHz}$.

Multiplication

L'excursion est multipliée avec la fréquence : de 12,21 MHz à 146,52 MHz ($\times 12$), il faut $5\,000/12 \approx \pm 416,7 \text{ Hz}$ à l'oscillateur.

Excursiomètres

Certains se basent sur la **réponse nulle à la fréquence porteuse** : il faut connaître la **fréquence de modulation et l'indice de modulation**.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-005).

A-005-006 FM, répéteurs et intermodulation

Modulation de phase

- Faire varier l'accord du circuit résonant d'un amplificateur : un **modulateur de phase**.
- Ce qui distingue un modulateur de phase d'un modulateur de fréquence : la **préaccentuation**.
- La **préaccentuation** atténue les basses fréquences audio (renforce les aigus).
- Le compresseur et l'écarter se placent **entre l'amplificateur audio et le modulateur**.
- Trois paramètres à vérifier : la **puissance**, l'**excursion** et la **stabilité en fréquence**.

Intermodulation entre répéteurs

- Deux répéteurs **très proches** : leurs signaux se mélangent dans un **amplificateur de puissance** et créent des signaux à la somme ou à la différence des fréquences.
- Remède : un **circulateur avec terminaison** (isolateur en ferrite) dans la ligne de l'émetteur ou du duplexeur.
- Produits du 3e ordre : $2f_1 - f_2$. Pour un récepteur sur 146,70 MHz et un émetteur sur 146,52 MHz : 146,34 MHz et 146,61 MHz.
- L'intermodulation n'est **pas** typiquement associée à un **étage de fréquence intermédiaire**.

Le duplexeur

Pour un répéteur 2 m, le filtre idéal du duplexeur est un **filtre à cavités**.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-005).

A-005-007 Traitement de la voix et du signal

Compression et ALC

- La **commande automatique de niveau** (ALC) maintient la puissance de crête relativement constante ; c'est une **compression RF**.
- La **compression** amplifie les signaux faibles et réduit l'amplification des forts.
- L'**écrêtage audio** augmente la **distorsion harmonique**. L'écriteur RF distord moins, mais il n'est **pas** plus facile à construire.
- Méthodes pour limiter les crêtes : écrêtage RF, compression, écrêtage audio ; l'« écrêtage spectral » n'en est pas une.
- La **division de fréquence** n'est pas un traitement des signaux analogiques.

Le traitement numérique (DSP)

Un **processeur de signal numérique** : convertisseur **analogique-numérique**, **transformation mathématique**, convertisseur **numérique-analogique** et **filtre passe-bas**. (Un « amplificateur de repliement » n'existe pas.)

Bits	Niveaux
8	$2^8 = 256$

Chaque bit ajouté au convertisseur ajoute environ **6 dB** de gamme dynamique.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-005).

A-005-008 Codes et protocoles numériques

Code	Bits d'information	Particularité
Baudot	5	Majuscules seulement
ASCII	7	Majuscules et minuscules
ASCII étendu ISO-8859	8	Caractères accentués
Varicode (PSK31)	Variable	Éléments de longueurs différentes

Détection et correction d'erreurs

- Le **CRC** (contrôle de redondance cyclique) sert à la **détection d'erreur** ; il est créé par un **algorithme de hachage**.

AMTOR	Méthode
Mode A (ARQ)	La station réceptrice demande la répétition automatique
Mode B (FEC)	Chaque caractère est émis deux fois

Réseaux

- AX.25** est le protocole du **radio-paquet**.
- Dans le modèle **OSI**, le branchement entre le TNC et l'ordinateur relève de la couche **physique**.
- L'**APRS** ne fait **pas** l'établissement automatique de liaison.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-005).

A-005-009 L'étalement du spectre

Dans un système à **étalement du spectre** (« spread spectrum »), la porteuse varie selon une **séquence binaire pseudo-aléatoire** prédéterminée, sur une large bande.

Technique	Principe
Sauts de fréquence (« frequency hopping »)	La fréquence de la porteuse change très rapidement, plusieurs fois par seconde, selon une liste de canaux pseudo-aléatoire
Séquence directe	Un flot très rapide de bits change la phase de la porteuse

- Difficile à intercepter : le récepteur doit être **synchronisé** avec l'émetteur.
- Résistant à l'interférence : les signaux qui ne suivent pas l'algorithme sont **supprimés** à la réception.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-005).

Récepteurs

A-006-001 Conversion de fréquence et double conversion

Le superhétérodyne

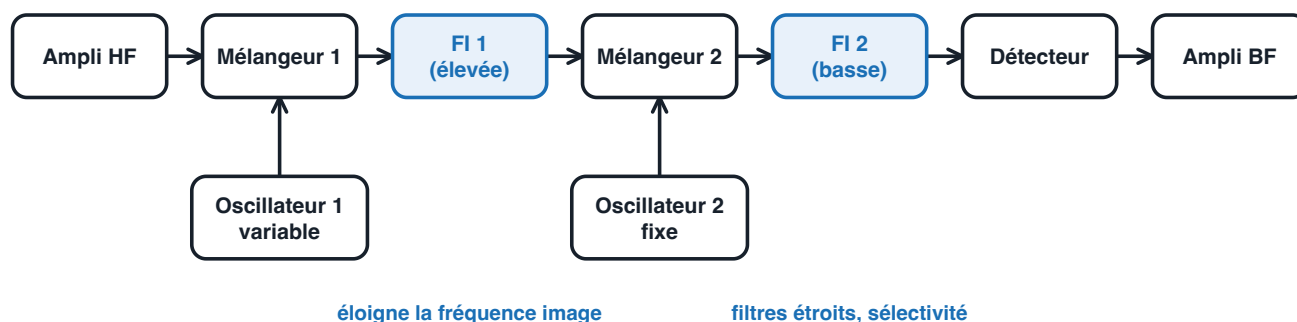
La conversion de fréquence améliore la **sélectivité** et permet une **conception optimale des circuits résonants** : les filtres travaillent sur une **fréquence intermédiaire** (FI) fixe.

- Le choix de la FI dépend du **rejet de la fréquence image** et des **réponses parasites**.
- Le **filtre à cristal** est dans les **circuits FI**.
- L'**amplificateur RF** a ses circuits d'entrée et de sortie accordés sur la fréquence reçue.
- Le **mélangeur** se trouve entre un étage accordable et un étage à fréquence fixe.
- OL à 16 MHz, FI de 9 MHz : la fréquence reçue est $16 - 9 = 7$ MHz.

La double conversion

Conversion	Rôle
Première (FI élevée)	Rejet de la fréquence image
Deuxième (FI basse)	Sélectivité

- Avantage : **moins de brouillage par la fréquence image** pour une même sélectivité d'entrée.
- Inconvénient : plus de **réponses parasites**, car plus d'oscillateurs et de fréquences de mélange.
- En BLU, elle comporte **deux étages FI et deux oscillateurs locaux**, plus le BFO.



Récepteur à double conversion

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-006).

A-006-002 Le mélangeur et les oscillateurs du récepteur

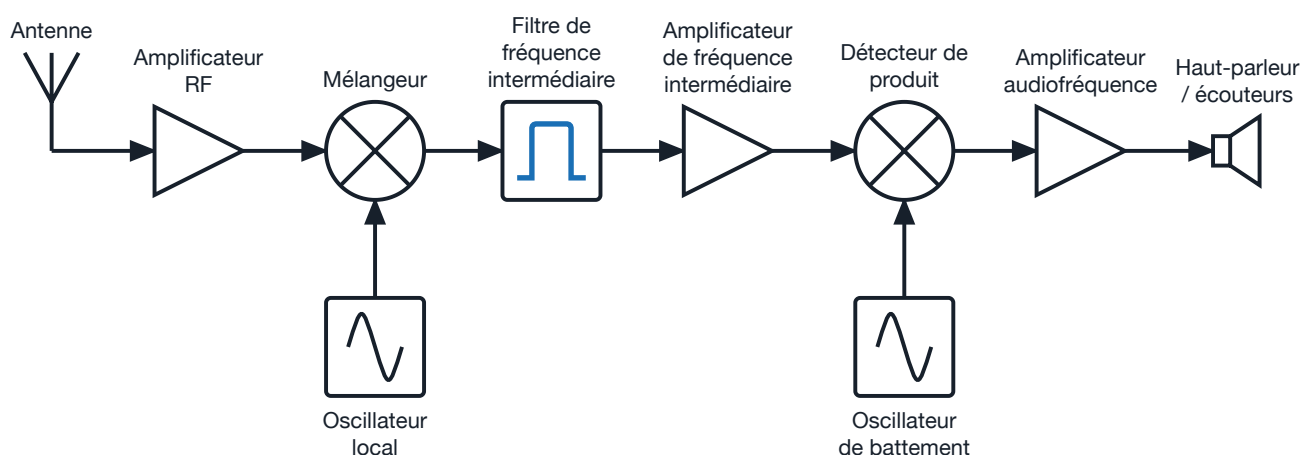
- Le **mélangeur** transforme la fréquence du signal capté en une **fréquence intermédiaire**.
- Signal de 3 600 kHz, FI de 9 MHz : l'oscillateur local fonctionne à $9\,000 - 3\,600 = 5\,400$ kHz.
- 14,250 MHz combiné à 13,795 MHz donne 455 kHz : c'est le **mélangeur**.
- L'amplificateur RF et le **premier mélangeur** sont accordés sur la même fréquence.
- Les oscillateurs doivent être **stables** et produire un **spectre pur**.

Circuits accordés

Circuit LC avec condensateur variable	Rôle
Avant l'amplificateur FI, avec un condensateur d'appoint (« trimmer »)	Accorder l' oscillateur local
À l'entrée du mélangeur, sans amplificateur RF	Accorder le présélecteur

Le BFO

- En BLU, il réintroduit la **porteuse supprimée** pour la détection.
- Décalé de 500 à 1 500 Hz, il produit un **batttement audible** (la note CW).



Récepteur superhétérodyne BLU (SSB) et ondes entretenues (CW)

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-006).

A-006-003 Bruit, sensibilité et gamme dynamique

Terme	Définition
Seuil du niveau de bruit (« noise floor »)	Le signal le plus faible détectable, juste au-dessus du bruit interne
Gamme dynamique	Rapport en dB entre le signal maximal admissible sans distorsion et le signal minimal détectable ; l'amplitude des signaux proches acceptée sans dégradation
Présélecteur	Les circuits résonants à l'entrée et à la sortie de l'étage RF

L'amplificateur RF

- Son rôle principal : **améliorer le facteur de bruit** du récepteur.
- Il doit avoir **juste assez de gain** pour que les signaux faibles dépassent le **bruit du mélangeur**.
- Le bruit d'un bon récepteur vient de l'**amplificateur RF et du mélangeur**.
- Plus le facteur de bruit est faible, plus la **sensibilité** est grande. En HF, c'est peu important : le **bruit externe** dépasse le bruit interne.

L'amplificateur FI

Il améliore la **sélectivité** et le **gain**.

Sensibilité en FM UHF

On l'exprime par l'**amplitude RF donnant un SINAD de 12 dB**.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-006).

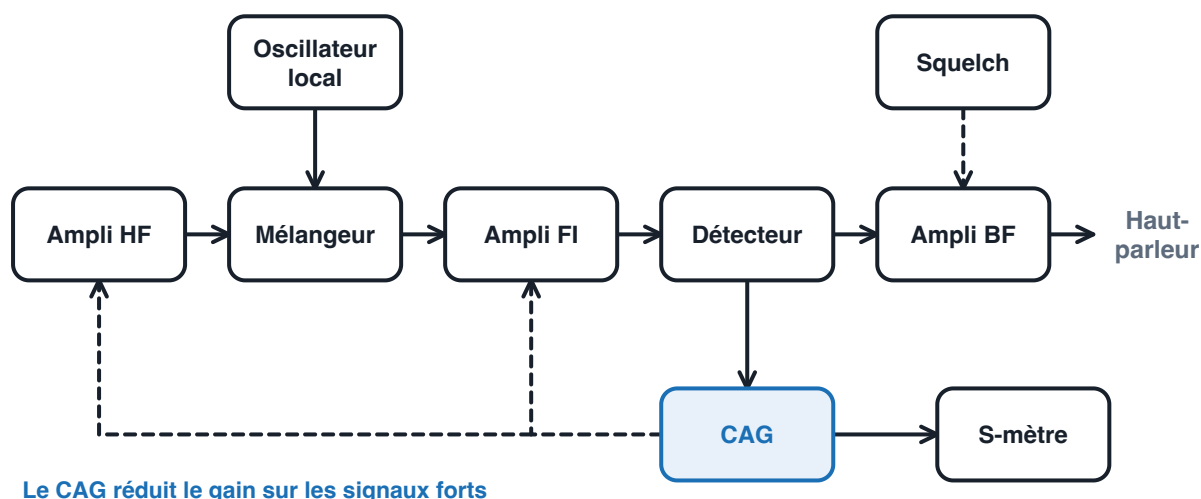
A-006-004 Détection et commande automatique de gain

Après la FI

- Le signal FI amplifié va au **détecteur** ; la sortie du détecteur va à l'**amplificateur AF**.
- Le **détecteur de produit** mélange le signal reçu (FI) avec une **porteuse produite localement** (le BFO) pour produire l'audio.
- En FM, un circuit de **désaccentuation** restaure les basses fréquences atténuées par la préaccentuation.

La commande automatique de gain (AGC)

- Quand le signal augmente, elle **réduit le gain**.
- Sa tension provient de la **FI** ou de **l'audiofréquence** et s'applique aux **amplificateurs RF et FI**.
- Ses deux paramètres : le **seuil** et le **délai** (temps de retour).
- Une distorsion seulement sur les **signaux forts** indique une défectuosité de l'**AGC**.



Récepteur superhétérodyne avec CAG

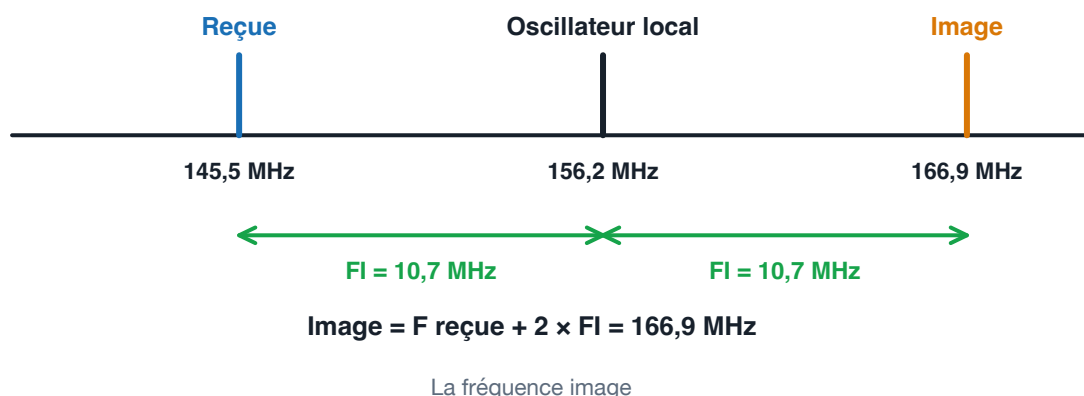
Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-006).

A-006-005 Image, désensibilisation, intermodulation et stabilité

La fréquence image

- Son taux de rejet est déterminé par le **présélecteur** de l'amplificateur RF.
- Une **FI en VHF** dans un récepteur HF éloigne la réponse image de la bande passante du filtre.

L'image est symétrique de la fréquence reçue par rapport à l'oscillateur local



Désensibilisation et intermodulation

- La **désensibilisation** est une perte de sensibilité causée par des **signaux très forts sur une fréquence proche** ; un **filtre à cavité** la réduit.
- L'**intermodulation** est causée par des circuits ou composants **non linéaires** : deux signaux ou plus se mélangent dans l'**étage d'entrée**.
- Une faible gamme dynamique cause désensibilisation, intermodulation et transmodulation, mais **pas** la rétroaction.
- En VHF, le comportement face aux forts signaux hors bande se juge par la **dynamique d'intermodulation du 3e ordre** avec un espacement de 10 MHz.

La stabilité

- Le manque de stabilité vient surtout de l'**oscillateur local** et du **bloc d'alimentation**.
- L'**exactitude du cadran** n'est pas une cause d'instabilité.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-006).

Lignes de transmission et antennes

A-007-001 Les réseaux d'adaptation

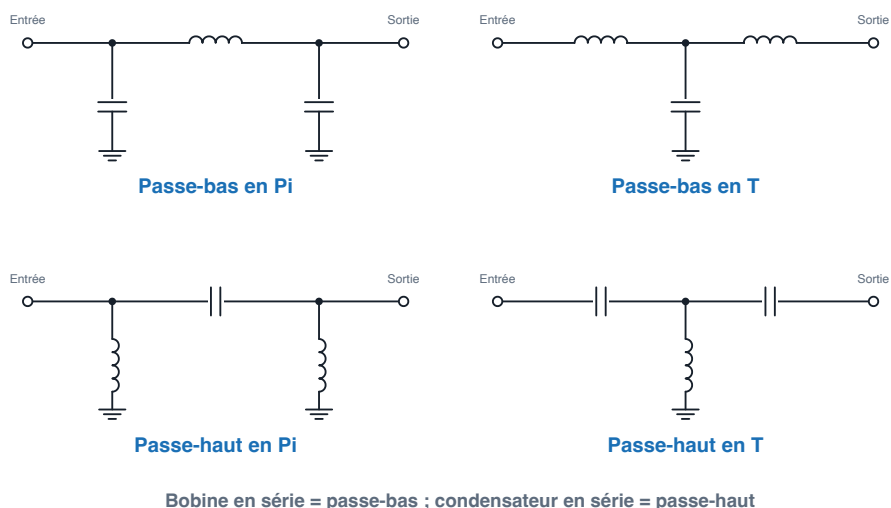
Un adaptateur **annule la composante réactive** de l'impédance, puis **transforme sa partie résistive**.

Réseau	Caractéristique
En L	Deux éléments : gamme d'adaptation limitée
En pi	Un condensateur et deux bobines, ou une bobine et deux condensateurs ; gamme d'adaptation la plus étendue
Pi-L	Une bobine de plus en sortie : meilleure suppression des harmoniques

- Les blocs d'accord « transformateur », « série » et « pi » ont une entrée de 50 Ω et s'adaptent aux impédances faibles ou élevées ; un bloc de type série ou transformateur **n'est pas** un bloc en pi, et inversement.
- Un bloc en L qui transforme 50 Ω vers une haute impédance (fil alimenté en bout) **ne convient pas** à une verticale à plan de sol, de basse impédance.

L'abaque de Smith

Il **simplifie les opérations mathématiques** sur les impédances (lignes, adaptation).



Les filtres LC en Pi et en T

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-007).

A-007-002 Lignes quart d'onde et demi-onde, facteur de vélocité

Lignes résonantes

Ligne	Extrémité	Impédance vue à l'entrée
Quart d'onde	Court-circuitée	Très haute
Quart d'onde	Ouverte	Très basse
Demi-onde	Ouverte	Très haute
Demi-onde	Court-circuitée	Très basse

La ligne quart d'onde **inverse** l'impédance ; la ligne demi-onde la **recopie**.

Le facteur de vélocité

- C'est la **vitesse de l'onde dans la ligne divisée par la vitesse de la lumière** (en espace libre).
- Il dépend du **diélectrique** : $V = 1/\sqrt{\epsilon_r}$. Coaxial au **polyéthylène** : **0,66**.
- L'onde va **plus lentement** dans le coaxial que dans l'air : la longueur physique est **plus courte** que la longueur électrique.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-007).

A-007-003 Adapter l'antenne : gamma, T et stub

Adaptateur	Description
En T	La ligne (haute impédance) est reliée à l'élément alimenté en deux points , symétriques de part et d'autre du centre
Gamma	Ligne asymétrique reliée au centre de l'élément et à un point d' un seul côté ; un seul dispositif mécanique et capacitif réglable
À segment de ligne (« stub »)	Une courte section de ligne branchée en parallèle à un point précis de la ligne d'alimentation

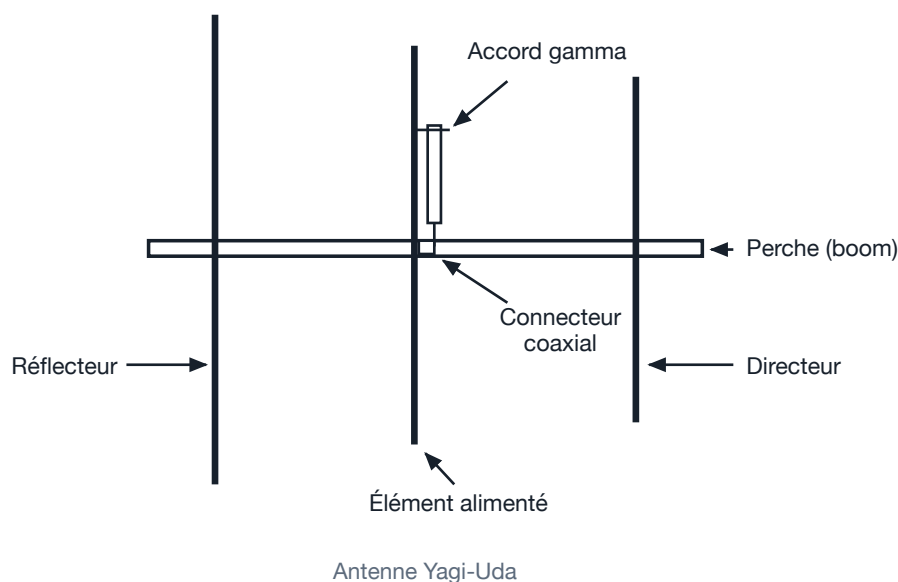
L'adaptation gamma sur une Yagi

- La **tresse** du coaxial est connectée au **centre** de l'élément alimenté.
- Le **conducteur central** passe par le **condensateur variable**, relié à la **tige gamma réglable**.

Longueur physique d'une ligne quart d'onde

$$L = \frac{300}{F} \times \frac{1}{4} \times V$$

Fréquence	Facteur de vitesse	Longueur
14,100 MHz	0,66	3,51 m
15 MHz	0,8	4 m

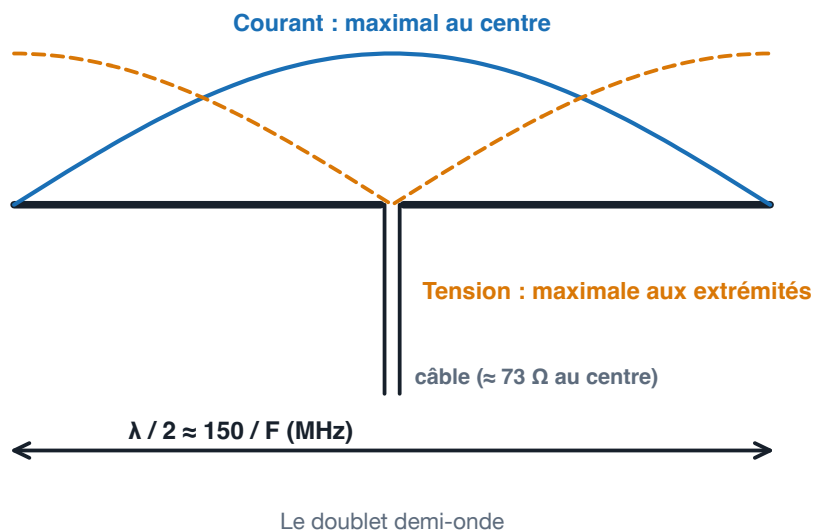


Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-007).

A-007-004 Tension et courant le long d'un dipôle

Position	Tension	Courant	Impédance
Centre	Minimale	Maximal	Minimale (environ 73 Ω)
Extrémités	Maximale	Minimal (nul)	Très élevée

- Le dipôle demi-onde est alimenté au point où le **courant est maximal** : au centre.
- L'impédance au centre est faible parce que la **tension est faible et le courant élevé** ($Z = E/I$).



Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-007).

A-007-005 Polarisation circulaire, paraboles et Doppler

Polarisation circulaire

- C'est une onde dont le **champ électrique tourne**.
- Deux dipôles **en croix** alimentés avec **90° de déphasage** la produisent ; l'**antenne hélice** aussi.
L'antenne à enroulement hélicoïdal chargée (fouet raccourci) ne la produit **pas**.
- Une hélice à polarisation **horaire** reçoit mieux les signaux à polarisation **horaire**.
- Une antenne hélice reçoit à la fois les signaux **horizontaux et verticaux**.

Pertes de polarisation

Entre deux antennes linéaires **croisées à 90°**, sur un lien VHF/UHF fixe : **20 dB ou plus**.

Le réflecteur parabolique

- Efficace parce que **toute l'énergie reçue converge** vers le foyer où se trouve l'antenne.
- Son gain dépend de son **diamètre en longueurs d'onde**.
- L'erreur de surface ne doit pas dépasser **0,1 λ** .
- On l'illumine au foyer, en offset ou en Cassegrain ; l'« excitation Newton » n'existe pas.

L'effet Doppler

Il devient significatif pour les contacts **via satellite**.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-007).

A-007-006 La puissance apparente rayonnée (PAR)

La **PAR** est la puissance de sortie de l'émetteur, moins les pertes de la ligne, plus le gain de l'antenne par rapport à un dipôle (dBd).

Méthode

1. Additionnez les gains et soustrayez les pertes, en dB.
2. Convertissez le total en facteur : +3 dB = $\times 2$, +6 dB = $\times 4$, +9 dB $\approx \times 8$, +10 dB = $\times 10$.
3. Multipliez la puissance de l'émetteur.

Émetteur	Pertes	Antenne	Bilan	PAR
100 W	3 dB	6 dBd	+3 dB	200 W
200 W	3 dB	9 dBd	+6 dB	800 W
100 W	1,3 + 0,2 dB	4,5 dBd	+3 dB	200 W
125 W	0,8 + 0,2 dB	10 dBd	+9 dB	1 000 W
1 000 W PEP	1 dB	10 dBd	+9 dB	8 000 W PEP
2 000 W PEP	1 dB	10 dBd	+9 dB	16 000 W PEP

- Pertes en watts : 200 W – 5 W = 195 W, puis +3 dBd → **390 W**.
- +3 dB **double** la PAR ; passer d'une antenne de 3 dBd à 9 dBd la multiplie par **4**.

ROS et pertes

Un ROS élevé augmente les pertes de la ligne par **échauffement du diélectrique et des conducteurs**.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-007).

A-007-007 Hauteur de l'antenne et angle de rayonnement

La hauteur au-dessus du sol

- Plus une antenne horizontale (Yagi, dipôle) est **haute**, plus l'angle de rayonnement du lobe principal **décroît**.
- Une antenne horizontale simple n'a de directivité marquée qu'à **une demi-longueur d'onde** ou plus du sol ; plus bas, les ondes réfléchies **déforment** son diagramme.
- Un dipôle à $\lambda/2$ du sol : le rayonnement **vers le haut est pratiquement annulé**.
- Le plan de sol effectif se situe de **quelques centimètres à 2 m sous le sol**.
- À plus de 3λ du sol, l'impédance d'un dipôle est voisine de **75 Ω** .

L'angle de rayonnement

- Pour la longue distance, l'angle doit être **inférieur à 30°** ; baisser l'angle vertical allonge chaque saut.
- Une **verticale quart d'onde** au sol, bien dégagée, rayonne à un **angle plus bas** qu'un dipôle à $\lambda/4$: meilleure pour le DX.

Courte distance et NVIS

- Une antenne horizontale **basse** est avantageuse en bas de la HF : le **sol agit comme réflecteur**.
- Pour le **NVIS** : une antenne horizontale à **moins d'un quart d'onde** du sol, et une fréquence **sous la fréquence critique**.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-007).

A-007-008 Résistance de rayonnement, efficacité et faisceau

Résistance de rayonnement

- C'est la **résistance équivalente** qui dissiperait la même puissance que celle rayonnée par l'antenne.
- La connaître permet d'**adapter l'impédance** pour un transfert maximal.
- Elle dépend de l'**environnement** de l'antenne et du **rapport longueur/diamètre** des conducteurs.

Efficacité

La résistance totale = résistance de **rayonnement** + résistance **ohmique**.

$$\eta = \frac{R_{\text{rayonnement}}}{R_{\text{totale}}} \times 100$$

Antenne	Calcul	Efficacité
Dipôle : 72 Ω et 2 Ω	72/74	97,3 %
Boucle compacte : 50 m Ω et 2 m Ω	50/52	96,15 %

Largeur du faisceau

L'angle entre les deux directions où le lobe principal a chuté de **3 dB** (demi-puissance).

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-007).

A-007-009 Guides d'onde et lignes sur circuit imprimé

Le guide d'onde

- Utilisé **au-dessus de 3 000 MHz**.
- Sa section doit mesurer au moins **une demi-longueur d'onde**.
- Il agit comme un **filtre passe-haut** : peu de pertes **au-dessus** de sa fréquence de coupure, des pertes énormes en dessous.
- Avantage sur le coaxial en micro-ondes : **très peu de pertes** (rayonnement, diélectrique, cuivre). Les pertes **par hystérésis** ne le concernent pas.
- Avant de réparer un cornet ou un guide d'onde : émetteur **hors tension et débranché**.

Lignes sur circuit imprimé

- Une ligne fabriquée sur circuit imprimé : **ligne microruban** (« microstrip ») ou **ligne à ruban** (« stripline »).
- La ligne microruban est **moins bien blindée** qu'un câble coaxial.

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure (section A-007).

Formules

Les formules qui servent aux calculs de la compétence supérieure.

Circuits

Grandeur	Formule
Constante de temps RC	$\tau = R \times C$
Constante de temps RL	$\tau = \frac{L}{R}$
Charge après 1 et 2 constantes de temps	63,2 % ; 86,5 %
Réactance d'une bobine	$X_L = 2\pi fL$
Réactance d'un condensateur	$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$
Fréquence de résonance	$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} ; f \approx \frac{159}{\sqrt{L \times C}}$ (MHz, μ H, pF)
Facteur Q d'un circuit parallèle	$Q = \frac{R}{X_L}$
Largeur de bande	$B = \frac{f}{Q}$
Alpha et bêta	$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} ; \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$

Mesures

Grandeur	Formule
Valeur efficace d'une sinusoïde	$E_{eff} = 0,707 \times E_{crête} ; E_{cc} = 2 \times E_{crête}$
Puissance en crête (PEP)	$PEP = \frac{(0,707 \times E_{crête})^2}{R}$
Erreur d'un fréquencemètre	Fréquence en MHz $\times$ erreur en ppm, en Hz
Sensibilité d'un voltmètre	$\Omega/V = \frac{1}{I_{pleine\ échelle}}$
Figures de Lissajous	$\frac{f_V}{f_H} = \frac{\text{boucles horizontales}}{\text{boucles verticales}}$

Modulation et numérique

Grandeur	Formule
Indice de modulation FM	$m = \frac{\Delta f}{f_{mod}}$
Facteur d'excursion	$\frac{\Delta f_{max}}{f_{mod\ max}}$
Largeur de bande FM (Carson)	$B = 2 \times (\Delta f + f_{mod})$
Intermodulation du 3e ordre	$2f_1 - f_2$

Grandeur	Formule
Niveaux d'un convertisseur à n bits	2^n ; environ 6 dB de dynamique par bit

Lignes et antennes

Grandeur	Formule
Facteur de vélocité	$V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}$; 0,66 pour le polyéthylène
Longueur physique d'une ligne	$L = \frac{300}{F} \times \text{fraction d'onde} \times V$
Puissance apparente rayonnée	Puissance – pertes (dB) + gain d'antenne (dBd)
Efficacité d'une antenne	$\eta = \frac{R_{\text{rayonnement}}}{R_{\text{rayonnement}} + R_{\text{ohmique}}}$

Repères en décibels

dB	Rapport de puissance
3	× 2
6	× 4
9	× 8
10	× 10

Source : banque de questions officielle d'ISDE, compétence supérieure.

Licence

Auteur, contact et licence

Auteur : F4HWJ – Alexandre LE BRUN

Application gratuite : onairexam.com

Contact : contact@onairexam.com · www.qrz.com/db/F4HWJ

Ce cours est mis à disposition sous licence Creative Commons Attribution – Pas d'utilisation commerciale 4.0 International (CC BY-NC 4.0). Vous pouvez le copier, l'imprimer et l'utiliser librement, notamment pour la formation à la licence radioamateur dans les radio-clubs, à condition de citer son auteur (F4HWJ – Alexandre LE BRUN). Il ne peut pas être vendu. creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.fr