

**Radio Club de la Haute Ile
93330 Neuilly sur Marne**

**PRÉPARATION à la LICENCE
de RADIOAMATEUR**

**Technique,
Réglementation et
Procédures de Trafic**

COURS et EXERCICES

par F6GPX

INTRODUCTION

L'objectif de ce fascicule est de rappeler les principales définitions et les formules à retenir pour passer les examens des différentes classes de la licence de radioamateur. Ce cours ne contient pas d'épreuves de lecture au son mais donne les éléments à connaître pour passer les épreuves de Télégraphie.

La décision n°2000-1364 en date du 22/12/00 de l'Autorité de régulation des télécommunications (ART, l'Administration de tutelle), publiée au JO du 03/02/01, fixe les conditions d'utilisation des installations de radioamateurs et de délivrance des certificats et des indicatifs d'opérateurs radioamateurs. L'arrêté du 21 septembre 2000 du ministère de l'économie, des finances et de l'industrie, publié au JO du 11/10/00, est relatif aux programmes d'examen des certificats d'opérateurs radioamateurs. La décision 97-452 du 17/12/97, publiée au JO le 13/3/98, concerne l'attribution des bandes de fréquences. D'autres textes viennent compléter cette décision.

1) Les différentes classes de licence :

L'ordre logique de passage des différentes classes de licence est : Novice, puis Radiotéléphoniste et enfin Radio télégraphiste. Seuls les deux dernières classes ont des équivalents CEPT, c'est-à-dire que les titulaires de ces classes de licence peuvent émettre dans tous les pays de la CEPT.

Classe	Équivalent CEPT	Examen	Bandes attribuées et puissances autorisées
3 (Novice) FØ	Sans équivalence	Réglementation	Bande 144 MHz, puissance réduite à 10 W Classe d'émission limitée
2 (Téléphoniste) F4	CEPT B	Réglementation + Technique ou classe 3 + Technique	Toutes bandes et tous modes au dessus de 30 MHz 120 W
1 (Télégraphiste) F8	CEPT A	Réglementation + Technique + Morse ou classe 3 + Technique + Morse ou classe 2 + Morse	Toutes bandes et tous modes 120 W au dessus de 30 MHz 250 W de 28 à 30 MHz 500 W en dessous de 28 MHz

Les différentes parties de l'examen sont indépendantes. Il faut nécessairement réussir l'épreuve de réglementation pour obtenir une licence. Par contre, on garde le bénéfice des autres parties pendant un an. Par exemple, un candidat se présentant pour la classe 2 (Réglementation + Technique) qui ne réussit que la partie Technique n'a à repasser que la Réglementation, la partie Technique lui étant acquise pour un an. En revanche, le même candidat ayant réussi l'épreuve de Réglementation aura une licence de classe 3 (Novice) tant qu'il n'aura pas réussi la partie Technique.

Pour passer l'examen, l'âge minimum requis est de 13 ans pour la licence Novice et 16 ans pour les deux autres licences. Les examens se passent dans des centres d'examen qui dépendent du SRR (Service Régional de Radiocommunication). Il faut s'inscrire en téléphonant aux services et en confirmant par l'envoi du chèque de règlement (Taxe d'examen = 200 FRF). Voir les coordonnées des centres d'examen en annexe.

2) Les différentes parties de l'examen : les examens de Réglementation et de Technique se passent sur un Minitel.

Le **décompte des points** est le même pour toutes les épreuves se passant sur le Minitel : 3 points pour une bonne réponse, -1 point pour une réponse fautive, pas de point pour pas de réponse.

2-a) Réglementation : la partie "Réglementation des radiocommunications et les conditions de mise en oeuvre des installations du service amateur" se compose de 20 questions à choix multiples auxquelles il faut répondre en 15 minutes. Il faut obtenir une moyenne de 30/60.

Malgré son nom, la partie Réglementation nécessite quelques connaissances de base en matière de radioémission (notions sur les antennes, les câbles, les atténuations et les protections)

2-b) Technique : La partie "Technique portant sur l'électricité et la radioélectricité" comporte 20 questions auxquelles il faut répondre en 30 minutes. Il faut obtenir une moyenne de 30/60.

Certains **certificats militaires** peuvent être convertis afin de dispenser les titulaires des épreuves de technique et/ou de télégraphie (arrêté du 9/5/95). L'épreuve de réglementation reste obligatoire.

Si le candidat a un taux d'invalidité supérieur à 70%, les épreuves sont adaptées à son handicap et le temps de l'examen est triplé (45 mn en réglementation et 1h30 en technique)

Lors du passage de la licence, on passe d'abord l'épreuve de réglementation puis la technique mais on ne connaît les résultats des deux épreuves qu'à la fin : ne vous laissez pas dérouter...

2-c) Examen de Morse : L'épreuve de lecture au son se déroule avec un micro-ordinateur. La vitesse est de 12 mots/minute (60 lettres/minute ou 720 mots/heure).

L'examen porte sur les 26 lettres de l'alphabet (pas de caractères accentués), les 10 chiffres, les 7 signes de ponctuation suivants : =, +, /, ?, ,(virgule) ., (Point), '(apostrophe) et les signes VA (Fin de transmission), AS (Attente) et Erreur (.....).

En premier, un texte d'essai en clair de 2 à 3 minutes permet de se familiariser avec la tonalité et l'ensemble du matériel. L'épreuve proprement dite de télégraphie auditive comporte un texte de 36 groupes de 5 lettres, chiffres ou signes (soit une durée de 3 minutes) suivi d'un texte en clair d'une durée de 3 minutes plus ou moins 5 %. Les candidats devront avoir commis 4 fautes maximum à chacune des 2 épreuves

Il n'y a pas d'examen portant sur la manipulation des signaux de code Morse. Il n'y a plus d'examen portant sur le code Q (qui fait partie de la Réglementation commune à toutes les classes de licence)

2-d) Les différents cas de figures selon les modules acquis lors de l'examen

Classe 3 : Réglementation = FØ :

Il faut nécessairement la partie Réglementation, obligatoire pour tous les modules

Classe 2 : Réglementation + Technique = F4.

Si l'on obtient la Technique et pas la Réglementation, on repart avec rien mais on conserve la Technique pendant un an. On peut repasser la Réglementation un mois après.

Si l'on a que la Réglementation, on repart avec un indicatif FØ (comme en classe 3).

Classe 1 : Réglementation + Technique + CW = F8

Si l'on obtient la Technique et la CW sans Réglementation, on repart sans indicatif mais on conserve les deux modules pendant un an. On peut repasser la Réglementation un mois après.

Si l'on obtient la Réglementation et la CW sans la Technique, on repart avec un indicatif FØ et on conserve la CW pendant un an. On peut repasser la Technique un mois après l'examen.

Si l'on obtient la Réglementation et la Technique sans la CW, on repart avec un indicatif F4 (comme en classe 2). On peut repasser la CW un mois après l'examen.

2-e) Stratégie pour passer la licence

Compte tenu du calcul des points l'examen, il faut « assurer » un certain nombre de réponse.

Si on ne répond qu'à 10 ou 11 questions, aucune faute n'est permise $(10 \times 3) - 1 = 29$;

Si on répond à 12 questions, une seule faute est admise : $(11 \times 3) - 1 = 32$

Si on répond à 13 questions, deux fautes sont permises : $(11 \times 3) - 2 = 31$

C'est l'objectif de 13 questions dont on est quasiment certain qu'il faut viser.

Enfin, ne jamais oublier que seule la réglementation permet de décrocher une licence.

3) Échec à une des parties de l'examen : En cas d'échec à l'une des épreuves, le candidat doit attendre un mois avant de repasser l'examen. Le candidat conserve pendant un an le bénéfice de l'épreuve dans laquelle il a obtenu une note au moins égale à 10/20. Ce sont ce que l'on appelle des "unités capitalisables".

4) Présentation de ce cours :

Ce cours se présente sous forme de chapitres et de sections.

Les premiers chapitres concernent la réglementation et abordent deux thèmes :

- . R pour la réglementation (les références entre parenthèses sont celles du Guide du Radioamateur, Édition Janvier 1995, réédité en 1999 et épuisé à ce jour)
- . T pour les connaissances de base de technique (les références entre parenthèses sont celles des chapitres consacrés à la technique pour les classes 1 et 2)

Les chapitres suivants traitent de la technique. Il existe trois niveaux techniques :

- . A pour les connaissances de base
- . B pour le programme de la licence
- . C pour des compléments (hors programme)

5) Exercices :

En complément de ce fascicule, il existe un recueil de 500 exercices permettant de mettre en application les différents sujets abordés dans le cours dans l'esprit des questions posées le jour de l'examen. Le recueil est composé de trois sections. Les sujets abordés concernent indifféremment la technique et la réglementation.

Chapitre par chapitre (séries 1 à 21)

Progression (séries 22 à 32)

Examens blancs (séries 33 à 50)

PLAN DU COURS

Chapitres

Sections Niveau

I - RÉGLEMENTATION

1) Les classes d'émission et les conditions techniques	
1) les classes d'émission	R
2) les conditions techniques d'émission.....	R
3) L'environnement réglementaire.....	R
4) Brouillages et protections des équipements électroniques	T
5) Protections électriques	T
2) Les fréquences et les puissances autorisées	
1) les fréquences attribuées	R
2) les puissances autorisées	R
3) Le code Q et l'alphabet morse et international	
1) l'alphabet d'épellation et morse	R
2) le code Q	R
3) déroulement d'un contact	R
4) teneur des conversations	R
4) Le carnet de trafic et les conditions d'exploitation	
1) carnet de trafic.....	R
2) cas particuliers d'exploitation.....	R
3) les opérateurs	R
4) les sanctions	R
5) formation des indicatifs.....	R
6) utilisation de la licence dans les pays de la CEPT	R
7) formation des indicatifs DOM-TOM et Corse	R
8) Petite histoire des indicatifs français.....	R
5) Antennes et lignes de transmission	
1) Puissance et énergie	T
2) Type d'antennes et caractéristiques	T
3) Ligne de transmission	T

II - TECHNIQUE

0) Rappel de mathématique et d'algèbre	
1) Transformation d'équation	A
2) Puissances de 10, multiples et sous-multiples.....	A
1) Lois d'Ohm et de Joule	
1) les bases de l'électricité	A
2) les lois d'Ohm et de Joule.....	A
3) les autres unités	B
4) la résistivité	B
5) le code des couleurs	A
6) loi des noeuds et des mailles ou loi de Kirchhoff	A
7) groupements série et parallèle (ou dérivation).....	A

Chapitres

Sections	Niveau
2) Courants alternatifs, selfs et condensateurs	
1) courants alternatifs sinusoïdaux	A
2) valeur maximum , efficace, moyenne, crête à crête	A
3) selfs et condensateurs	A
4) charge, décharge et constante de temps pour les condensateurs	B
5) calcul de l'impédance des selfs et condensateurs non parfaits	C
3) Transformateurs, piles et galvanomètres	
1) le transformateur parfait	A
2) le transformateur non parfait	C
3) les piles et accumulateurs	A
4) galvanomètre, voltmètre et ampèremètre	B
5) qualité des voltmètre	C
6) ohmmètre et wattmètre	C
7) microphone et haut-parleur	C
4) Les diodes et leurs montages	
1) les diodes	B
2) diagramme de fonctionnement d'une diode	C
3) les montages des diodes	B
4) alimentation	C
5) Décibels, circuits R-C et loi de Thomson	
1) le décibel	B
2) les circuits R-C	A
3) les circuits L-C	A
4) le filtre en PI	B
5) le coefficient de surtension des circuits oscillants	C
6) calcul de la fréquence de résonance avec L et C à calculer	C
6) Les transistors	
1) les transistors	B
2) gain des transistors	C
3) montages des transistors	B
4) les transistors FET et MOS-FET	C
5) les diodes thermoioniques	B
6) les autres tubes thermoioniques	C
7) Amplificateurs, oscillateurs et mélangeurs	
1) les classes d'amplification	B
2) la résistance de charge	C
3) liaisons entre les étages	B
4) les oscillateurs	C
5) les mélangeurs	B
6) les amplificateurs H.F.	C
7) les multiplicateurs	C

Chapitres

Sections Niveau

8) Amplificateurs opérationnels et circuits logiques	
1) présentation de l'ampli op	C
2) impédance et gain d'un ampli op	C
3) montage fondamental d'un ampli op	B
4) autres montages	C
5) circuits logiques	B
6) trigger de Schmitt	C
7) bascules R/S	C
9) Propagation et antennes	
1) relation longueur d'onde/fréquence	A
2) propagation	A
3) propagation en ondes réfléchies	C
4) le doublet demi-onde (dipôle)	A
5) l'antenne quart d'onde (ground plane)	A
6) antenne Yagi	B
7) gain d'une antenne	B
8) puissance apparente rayonnée	B
9) angle d'ouverture	B
10) compléments sur les antennes	C
10) Câbles coaxiaux et adaptations	
1) ligne d'alimentation	C
2) impédance et vitesse des câbles coaxiaux	B
3) TOS et ROS et désadaptation	B
4) relation ROS/TOS	C
5) ligne d'adaptation et coupleurs à cavités	C
11) Les synoptiques	
1) récepteur sans conversion	A
2) récepteur avec fréquence intermédiaire (FI)	A
3) fréquence image	B
4) sensibilité d'un récepteur	C
5) émetteur	A
6) intermodulation et compatibilité électromagnétique (CEM)	C
12) Les différents types de modulations	
1) schématisation des modulations	A
2) les démodulateurs	A
3) les modulateurs	A
4) la modulation d'amplitude	C
5) la modulation de fréquence	C
6) la CW	C
7) la bande latérale unique (BLU)	C

III - ANNEXES

- 1) programme de la licence (annexe 1 de l'arrêté du 20 septembre 2000)
- 2) bibliographie
- 3) adresses

PREMIÈRE PARTIE

RÉGLEMENTATION

1) Les CLASSES d'ÉMISSION et les CONDITIONS TECHNIQUES

1.1) - Les types de classes d'émission (4.1) se caractérisent par deux lettres et un chiffre : la première lettre indique le type de modulation; le chiffre indique la manière dont le signal est transmis; la deuxième lettre indique le type de signal à transmettre.

	Première lettre MODULATION		Chiffre ALLURE DU SIGNAL		Deuxième lettre TYPE DE SIGNAL
A	Amplitude (double bande latérale)	1	Tout ou rien	A	Télégraphie auditive
C	Amplitude (bande lat. résiduelle)	2	Sous porteuse modulante	B	Télégraphie automatique (Télex)
F	Fréquence			C	Fac-similé (=fax)
G	Phase	3	Analogique	D	Transmission de données (Packet)
J	B.L.U., porteuse supprimée	7	Numérique (plusieurs voies)	E	Téléphonie
R	B.L.U., porteuse réduite			F	Télévision

Attention : une classe d'émission se lit toujours de la droite vers la gauche. On indique le type de signal, puis la modulation et enfin l'allure du signal, si nécessaire (la téléphonie ne peut être qu'analogique par exemple)

Exemple de classe d'émission :

A1A = Télégraphie auditive; Modulation d'amplitude par tout ou rien (sans emploi de sous porteuse modulante) = CW

A3E = Téléphonie; Modulation d'amplitude double bande latérale = AM

F3E = Téléphonie; Modulation de fréquence = FM

J3E = Téléphonie; Modulation d'amplitude BLU; porteuse supprimée = BLU

G2D = Transmission de données ; Modulation de phase ;emploi d'une sous porteuse modulante = Packet-Radio en FM

En classe Novice (classe 3), les seules classes d'émission autorisées sont A1A, A2A, A3E, F3E, G3E et J3E.

Pour les classes 1 et 2, la liste des classes d'émissions autorisées est la suivante :

Type de signal	Télégraphie				Fax	Transmission de données		Téléphonie	Télévision
	manuelle		automatique			paquets			
	A	B	C	D	E	F			
Modulation	A1A	A2A	A1B	A2B	A3C	A1D	A2D	A3E	A3F-C3F
Amplitude	F1A	F2A	F1B	F2B	F3C-G3C	F1D-G1D	F2D-G2D	F3E-G3E	F3F-G3F
Fréquence/Phase					J3C-R3C	J1D		J3E-R3E	
BLU				J7B					
Allure du signal	sans	avec	sans	avec	analogique	sans	avec	analogique	analogique
	sous porteuse modulante		numérique			sous porteuse modulante			

Des émissions expérimentales, limitées à 1 watt de puissance crête et d'une durée maximale de trois mois, dans d'autres classes d'émission peuvent être effectuées sous réserve d'en avoir informé préalablement l'ART.

1.2) - Conditions techniques : la fréquence émise doit être connue et repérée avec une précision de ± 1 kHz pour les fréquences inférieures à 30 MHz ou de $\pm 1/10.000$ (10^{-4}) de la fréquence au dessus de 30 MHz. La précision sera au moins équivalente pour les fréquences supérieures à 1.260 MHz, selon l'état de la technique du moment. La stabilité des fréquences émises doit être telle que la dérive de fréquence ne doit pas excéder 5×10^{-5} (=1/20.000) de la valeur initiale au cours d'une période de fonctionnement continu de 10 minutes après 30 minutes de mise sous tension ininterrompue (4.3.1).

La **bande occupée** en FM ne doit pas dépasser une excursion de ± 3 kHz en dessous de 30 MHz et $\pm 7,5$ kHz au delà (4.3.2).

Les **rayonnements non essentiels** ne doivent pas être supérieurs à **-50 dB** pour une puissance de moins de 25 W et **-60 dB** au delà (4.3.3).

Le filtrage de l'alimentation de l'émetteur est obligatoire. Les perturbations réinjectées dans le réseau de distribution électrique ne devront pas dépasser 2mV pour des fréquences entre 0,15 et 0,5 MHz et 1mV entre 0,5 et 30 MHz. (Norme Européenne "VDE 871 Courbe B") (4.3.3).

Pour la classe J3E et R3E, donc **en BLU, il est nécessaire de posséder un générateur deux tons** (4.3.2).

En limite de bande, il doit être tenu compte de la précision relative du repérage, de la dérive possible des oscillateurs ainsi que de la largeur de bande transmise (4.3.1).

Après l'obtention de la licence, toute modification de la station doit être signalée à l'administration de tutelle. Si le matériel est de construction personnelle, le schéma et les caractéristiques de la station doivent être communiqués. Si le matériel est de fabrication commerciale agréée, il faut communiquer la marque, le modèle et le numéro de série de l'appareil.

Seules les antennes dont la dimension excède 4 mètres dans une de ses longueurs, ainsi que les éventuels pylônes supports de plus de 12 mètres sont soumis au régime déclaratif prévu à l'article L.422-2 du Code de l'Urbanisme (décret 86-72 du 15/1/86 pris pour l'application de la loi 86-13 du 6/1/86) (4.4).

1.3) L'environnement réglementaire

On peut distinguer trois niveaux réglementaires :

- **un niveau international (2.1.1), avec l'UIT** (Union Internationale des Télécommunications), dont le siège est à Genève et qui est chargée des télécommunications au sein des Nations Unies (ONU). L'UIT édite le Règlement des Radiocommunications (RR), traité international qui constitue la base des réglementations nationales en matière de radiocommunications. L'UIT (comme l'ONU) prend des Résolutions. Au sein de l'UIT, les radioamateurs sont représentés par l'IARU.

La résolution RR-1-7 définit le **service amateur** ainsi : Service de radiocommunication ayant pour objet l'instruction individuelle, l'intercommunication et les études techniques, effectué par des amateurs, c'est-à-dire par des personnes dûment autorisées, s'intéressant à la technique de la radioélectricité à titre uniquement personnel et sans intérêt pécuniaire. La même RR-1-7 définit le **service d'amateur par satellite** ainsi : Service de radiocommunication faisant usage de stations spatiales situées sur des satellites de la Terre pour les mêmes fins que le service d'amateur.

La résolution RR-32 définit les conditions d'exploitation des stations radioamateurs. Cette résolution comporte plusieurs notes où l'on peut lire notamment : l'indicatif est attribué par l'administration de chaque pays ; les communications se font en langage clair, il est interdit de transmettre des communications personnelles; la connaissance du code Morse est obligatoire pour les radioamateurs communicant sur des fréquences inférieures à 30 MHz ; lors des contacts, les indicatifs doivent être rappelés à de courts intervalles.

La **résolution RR-640** définit dans quelles mesures les administrations peuvent utiliser les bandes radioamateurs en cas de catastrophes.

- **un niveau européen (2.1.2) avec la CEPT** (Commission Européenne des administrations des Postes et Télécommunications) qui rassemble les autorités réglementaires nationales des pays européens au sens très large (bien au-delà de l'Union Européenne).

La CEPT émet des recommandations et des avis. La **recommandation T/R 61-01** envisage la libre circulation des radioamateurs sans formalité administrative dans les pays membres de la CEPT. **La recommandation T/R 61-02** prévoit l'harmonisation des réglementations nationales en matière de certificats radioamateur (HAREC) et, en particulier, préconise un programme technique pour les classes CEPT A et B et une épreuve de Morse à 5 mots/minutes pour la classe CEPT A. La vitesse pour le morse était auparavant de 12 mots/minute, vitesse retenue par la France et non modifiée à ce jour.

- **au niveau national (2.1.3 et 2.1.4)**, nous sommes régis par deux lois : la loi de 1990 sur la réglementation des télécommunications (LRT) et le code des Postes et Télécommunications (P&T), très ancien et plusieurs fois remanié.

L'article **L.33-3 (5°) du code des P&T** rappelle ce qu'est le service d'amateur en référence au RR-32. L'article **L.89 du code des P&T** indique que l'utilisation de fréquences radioélectriques en vue d'assurer soit l'émission, soit à la fois l'émission et la réception de signaux est soumise à autorisation administrative. **L'article D.459-3 du Code des P&T** définissant le statut des radioamateurs fait clairement référence au RR-1-7 de l'UIT. Enfin, **la loi L.86-1067** précise que le spectre hertzien constitue un élément du domaine public.

D'autre part, notre activité est gérée par l'**ART** (Autorité des Réglementations des Télécommunications), organe indépendant de l'Administration mis en place depuis 1997 pour réguler les télécommunications, qui émet des Décisions. Ces décisions doivent être homologuées par les ministères compétents avant publication au Journal Officiel. Les Décisions de l'ART 97-452 du 17/12/97, 2000-1364 du 22/12/00 et l'arrêté du 21/09/00 pris par le ministre de l'économie, des finances et de l'industrie, publiés au J.O., sont les textes régissant l'activité des radioamateurs français et font références aux textes de l'UIT et de la CEPT. Ces trois textes sont annexés au présent cours. Le Conseil Supérieur de l'Audiovisuel (**CSA**) gère les fréquences et détermine les bandes ouvertes au trafic radioamateur.

1.4) - Brouillage et protections des équipements électroniques - voir aussi Technique 11-6

La Compatibilité ElectroMagnétique (CEM) est la faculté d'un émetteur de ne pas perturber son environnement, en particulier un récepteur, ou la faculté d'un récepteur de ne pas être perturbé par un émetteur ou son environnement. Les blindages et les découplages des circuits d'alimentation sont des remèdes efficaces face aux problèmes de compatibilités électromagnétiques et aux problèmes d'auto-oscillation ou de perturbations entre les étages.

Un matériel électrique ou électromécanique ou électronique (et a fortiori radioélectrique) a un certain **niveau d'immunité** à son environnement électromagnétique. Lorsque les perturbations dépassent ce niveau, on atteint alors son **seuil de susceptibilité**. Il faut alors prendre des mesures de **durcissement** pour atteindre un meilleur niveau d'immunité.

Nous parlons d'**émission** lorsqu'il s'agit du générateur de perturbations électromagnétiques et de **susceptibilité** lorsqu'il s'agit de matériel perturbé, ou récepteur de perturbations. Les installations radioamateurs sont souvent confrontées à des problèmes d'émission vis à vis de leur voisinage.

Une perturbation (émission ou susceptibilité) est dite **conduite** lorsqu'elle est véhiculée par l'intermédiaire des conducteurs (fils, câbles, pistes de circuits imprimés,...). Une perturbation est dite **rayonnée** lorsqu'elle se propage dans l'espace environnant par un champ électromagnétique.

Le filtrage de l'alimentation secteur doit être particulièrement soigné afin de ne pas perturber les autres appareils susceptibles d'être brouillés. Mais le secteur n'est pas la seule cause de brouillage. On veillera que les blindages des étages de puissances et des filtres anti-harmoniques soient efficaces. Dans les montages réalisés par les radioamateurs, on soignera particulièrement les découplages qui préviennent la "remontée" de la H.F. par la ligne d'alimentation. On veillera aussi au passage des câbles d'alimentation des aériens. Ils sont souvent une source de brouillage quand ils sont tangents à d'autres câbles (secteur, PTT, ...). Le défaut de masse de l'émetteur est quelquefois à l'origine des problèmes de brouillages.

Au niveau de la susceptibilité des appareils brouillés, le brouillage peut provenir soit de l'alimentation secteur, soit du circuit d'entrée dans le cas de récepteurs radioélectriques (T.V., Chaîne HI FI, ...), soit des circuits internes de l'appareil (étage de détection par exemple) par couplage ou rayonnement direct. A ce dernier stade, la susceptibilité sera d'autant plus difficile à être durcie.

Tout produit d'**intermodulation** est créé 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. Le mélange correspond à la somme et la différence des fréquences fondamentales et de leurs harmoniques. Soient A et B, deux fréquences utilisées, on aura A+B et A-B mais aussi 2B-A et 2A-B, produit du troisième ordre, d'autant plus difficile à éliminer que A et B seront des fréquences voisines.

1.5) - Protection électrique - pas de référence à la partie Technique

Protection des personnes : la protection des personnes doit toujours être présente à l'esprit. Outre les sécurités au niveau des alimentations, en particulier en cas de haute tension, il faut avoir à l'esprit que la H.F., en particulier dans la gamme des micro-ondes, est particulièrement dangereuse. De même, il faut prendre conscience que la tension présente dans l'antenne pendant l'émission peut être dangereuse.

La sécurité des personnes doit être présente à l'esprit lors de la construction ou lors de l'entretien des aériens et des supports d'aériens (mâts et pylônes).

Alimentation par le secteur alternatif : prévoir toujours des compartiments fermés afin d'éviter tous risques d'électrocution, en particulier sur les alimentations en haute tension nécessaires au fonctionnement des amplificateurs à tubes.

La foudre est aussi un élément à prendre en compte lors de l'installation d'antennes et de pylônes en particulier. La foudre cherche toujours à passer par le chemin le plus court et le plus droit. En cas d'orage, il est prudent de cesser d'émettre et de débrancher les câbles de l'installation pour éviter que l'antenne ne se transforme en paratonnerre, ce pourquoi elle n'est pas prévue, ni le pylône qui la soutient.

2) Les FRÉQUENCES et les PUISSANCES AUTORISÉES

2.1) - Tableau des fréquences attribuées jusqu'à 120.020 MHz en France métropolitaine (région 1) et en Région 2 et en Région 3 (ART 97-452) – mis à jour en 05/01

Bandes (longueur d'onde)	Limites (en MHz) et Statuts			
	REGION 1	REGION 2	REGION 3	Commentaires
VLF 2222 m	0,1357-0,1378 (C et E)	0,1357-0,1378 (C et E)	0,1357-0,1378	1 Watt PAR maximum
M 160 m	1,810-1,830(C)	1,800-1,850 (A)	1,830-2,000	
F	1,830-1,850 (A)	1,850-2,000 (B)		
80 m	3,500-3,800 (B)	3,500-3,750 (A) 3,750-4,000 (B)	3,500-3,900	
D				
E 40 m	7,000-7,100 (A)	7,100-7,300(A)	7,000-7,100	Satellite 7,000-7,100 (A)
C				
A 30 m	10,100-10,150 (C)	10,100-10,150 (C)	10,100-10,150	
M				
E 20 m	14,000-14,350 (A)	14,000-14,350 (A)	14,000-14,350	Satellite 14,000-14,250 (A)
T				
R 17 m	18,068-18,168 (A)	18,068-18,168 (A)	18,068-18,168	Satellite 18,068-18,168 (A)
I				
Q 15 m	21,000-21,450 (A)	21,000-21,450 (A)	21,000-21,450	Satellite 21,000-21,450 (A)
U				
E 12 m	24,890-24,990 (A)	24,890-24,990 (A)	24,890-24,990	Satellite 24,890-24,990 (A)
H				
F 10 m	28,000-29,700 (A)	28,000-29,700 (A)	28,000-29,700	Satellite 28,000-29,700 (A)
V 6 m	50,200-51,200 (D)	50,000-54,000 (A)	50,000-54,000	
H 2 m	144,000-146,000 (A)	144,000-148,000 (A)	144,000-148,000	Satellite 144-146 (A)
F		220,000-225,000(B)		En région 2 uniquement
70 cm	430,000-434,000 (C) 434,000-440,000 (B)	430,000-440,000 (C) sauf 433,750-434,250	430,000-440,000	Sat T>E 435-440 (C)
U				
H 23 cm	1.240-1.300 (C)	1.240-1.300 (C)	1.240-1.300	Sat T>E 1.260-1.300 (C)
F				
13 cm	2.300-2.450 (C)	2.300-2.450 (C)	2.300-2.450	Satellite 2.400-2450 (C)
5 cm	5.650-5.850 (C)	3.300-3.500 (C) 5.650-5.925 (C)	3.300-3.500 5.650-5.850	Satellite 3.400-3.500 (C) Sat T>E 5.650-5.725 (C) Sat E>T 5.830-5.850 (C)
S				
H 3 cm	10.000-10.450 (C) 10.450-10.500 (A)	10.000-10.450 (C) 10.450-10.500 (A)	10.000-10.500	Satellite 10.450-10.500 (A)
F				
1,2 cm	24.000-24.050 (A) 24.050-24.250 (C)	24.000-24.050 (A) 24.050-24.250 (C)	24.000-24.050 24.000-24.250	Satellite 24.000-24.050 (A)
E 6 mm	47.000-47.200 (A)	47.000-47.200 (A)	47.000-47.200	Satellite 47.000-47.200 (A)
H 4 mm	75.500-76.000 (A) 76.000-81.000 (C)	75.500-76.000 (A) 76.000-81.000 (C)	75.500-76.000 76.000-81.000	Satellite 75.500-76.000 (A) Satellite 76.000-81.000 (C)
F 2,5 mm	119.980-120.020 (C)	119.980-120.020 (C)	119.980-120.020	
2 mm	142.000-144.000 (A) 144.000-149.000 (C)	142.000-144.000 (A) 144.000-149.000 (C)	142.000-144.000 144.000-149.000	Satel 142.000-144.000 (A) Satel 142.000-144.000 (C)
1,2 mm	241.000-248.000 (C) 248.000-250.000 (A)	241.000-248.000 (C) 248.000-250.000 (A)	241.000-248.000 248.000-250.000	Satel 241.000-248.000 (C) Satel 248.000-250.000 (A)

Voir Commentaires (A, B, C, D et E) page suivante

Le tableau de la page précédente est une synthèse de plusieurs pages du Guide du Radioamateur (pages 11, 27, 28, 29, 50, 51, 63, 64, 65 et 66 de l'édition d'avril 1999), des décisions du CSA et de l'ART et du Tableau d'utilisation des fréquences ART (version de mai 2001). Ce dernier tableau est disponible sur le site internet de l'ART.

On distingue toujours le service d'amateur du service d'amateur par satellite. Le service d'amateur par satellite prend toujours le statut de la bande pour le service d'amateur. On distingue les liaisons bilatérales, notées « Satellite » des liaisons unilatérales de la Terre vers l'Espace, notées « Sat T>E » ou de l'Espace vers la Terre, notées « Sat E>T ».

Le monde est découpé en 3 régions : Région 1 = Europe, Afrique, Proche Orient - Région 2 = Amériques - Région 3 = Asie, Océanie. Certains DOM-TOM sont donc en Région 2 ou 3, les fréquences attribuées ne sont donc pas les mêmes qu'en métropole. Les Départements d'Outre-Mer situés en Région 2 sont la Guyane, la Martinique et la Guadeloupe. La Réunion est en Région 1, comme la France Métropolitaine et la Corse. L'ART ne gère que la France métropolitaine et les DOM. Elle ne gère pas la région 3, c'est pourquoi cette région n'est pas mentionnée dans ses documents

Statuts :

A : Bande attribuée en exclusivité au service d'amateur avec une catégorie de service primaire (RR-415 et RR-419)

B : Bande partagée avec d'autres services de radiocommunication primaires : service d'amateur à égalité de droits (RR-346).

C : Bande partagée avec d'autres services de radiocommunication primaires ou secondaires : services d'amateur avec une catégorie de service secondaire (RR-417, 421, 422 et 423)

D : En Région 1 (France Métropolitaine, Corse et Réunion, la bande de fréquences 50,2 - 51,2 MHz est ouverte sous le régime RR-342. Cette dérogation, accordée par le CSA à titre précaire et révoquant, s'applique dans des zones géographiques limitées et aux conditions particulières suivantes : l'utilisation est autorisée en stations fixes et portables aux titulaires de certificats d'opérateur radioamateur des classes 1 et 2. Les classes d'émissions autorisées aux radioamateurs sont utilisables dans cette bande de fréquences. L'installation de stations répétitrices sur cette bande n'est pas autorisée. Si l'émission est autorisée, la puissance peut être limitée à 5 watts PAR, à 100 watts PAR ou à 120 watts, puissance crête à la sortie de l'émetteur, selon la zone géographique. Le CSA détermine les zones ouvertes au trafic radioamateur.

E : la bande 135,7 kHz à 137,8 kHz, dite bande des 136 kHz, est ouverte au service amateur à titre secondaire depuis le 30 décembre 1999 avec une puissance maximum PAR (Puissance Apparente Rayonnée) de 1 Watt, conformément à la recommandation CEPT/ERC/T/R 62-01.

Commentaires :

Avec la Décision ART 97-452, l'administration n'impose plus des bandes de fréquences pour les émissions de type particulier (Télévision par exemple). Il est néanmoins fait référence au RR-640 qui permet à chaque administration de réquisitionner les bandes radioamateurs en cas de catastrophes et on doit bien distinguer les bandes ouvertes au trafic amateur de celles autorisées pour le trafic d'amateur par satellite.

En région 2 et en région 3, les bandes attribuées au trafic radioamateur sont quelquefois plus larges.

2.2) - Puissances autorisées en Watts (Annexe 1 de ART 97-453):

Classes	Bandes de fréquences autorisées	Puissances crête deux signaux de l'étage final	Classes d'émission
Classe 1 CEPT A	Toutes les bandes de fréquences des services d'amateur et d'amateur par satellites autorisées en France	< 28 MHz : 500 W 28 - 30 MHz : 250 W > 30 MHz : 120 W	Tous modes (voir liste et commentaires) et Chapitre R1-1
Classe 2 CEPT B	Toutes les bandes de fréquences supérieures à 30 MHz	120 W	Tous modes (voir liste et commentaires)
Classe 3 NOVICE non CEPT	Bande de fréquences 144 à 146 MHz	10 W	Modes autorisés : A1A, A2A, A3E, G3E, J3E, F3E

Commentaires :

Puissance crête : il s'agit de la puissance en crête de modulation donnée par la recommandation UIT-R SM.326-6 en modulant l'émetteur à sa puissance de crête par deux signaux sinusoïdaux dans le cas de la BLU et en puissance porteuse pour les autres types de modulations (AM, FM, CW).

En cas de perturbation radioélectrique, les puissances indiquées peuvent être réduites à titre personnel temporairement par notification de l'ART.

Les émetteurs doivent être équipés d'au moins un indicateur de la puissance relative fournie à l'antenne. Les stations doivent également disposer d'une antenne fictive non rayonnante au moyen de laquelle les émetteurs doivent être réglés (4.3).

La réglementation limite la puissance mais pas le gain des antennes, sauf pour les fréquences supérieures à 1.300 MHz (1,3 GHz) où des limitations PIRE peuvent être imposées (3.8) et sur le 50 MHz.

Concernant les modes autorisés pour les classes 1 et 2, se reporter au Chapitre R-1.1

3) Le CODE Q et l'ALPHABET

3.1) - L'alphabet d'épellation et morse (6.3.4): le code Morse est donné à titre d'information, il n'est pas à connaître pour les licences novice ou radiotéléphoniste.

A	ALPHA	.-	B	BRAVO	-...	C	CHARLIE	-.-. .
D	DELTA	-..	E	ECHO	.	F	FOX-TROT	..-. .
G	GOLF	--.	H	HOTEL	I	INDIA	..
J	JULIETT	.-.-.-	K	KILO	-.-. .	L	LIMA	..-..
M	MIKE	--	N	NOVEMBER	-. .	O	OSCAR	---
P	PAPA	.-.-.	Q	QUEBEC	---.-	R	ROMEO	..-. .
S	SIERRA	...	T	TANGO	-	U	UNIFORM	..-. .
V	VICTOR	...-	W	WHISKEY	.-.-	X	X-RAY	-.-. .
Y	YANKEE	-.-. .	Z	ZOULOU	---..			
1		.-.-.-	2		..-.-	3		...--
4	-	5		6		-....
7		--... .	8		---.. .	9		----- .
0		-----	=		-.-. .-	+		..-.-. .
/		-..-. .	VA		...-.-. .	AS		..-. .
.		-.-.-. .	,		---..- .	?		..-.-..
Erreur							

Abréviations Morse : (uniquement pour la licence radiotélégraphiste)

AR	Fin de transmission	BK	Break : invitation à répondre	SIG	Signal
CQ	Appel général	CW	Code Morse	RX	Récepteur
DE	de	K	Invitation à répondre	TX	Transmetteur
MSG	Message	PSE	Please : s'il vous plaît	UR	Your : votre
RST	Report	R	Reçu	VA	Fin de liaison
AS	Attente				

3.2) - Le code Q (6.3.5) Toutes ces abréviations sont à connaître pour toutes les classes de licence. Les plus utilisées sont soulignées.

<u>QRA</u>	<u>Nom de la station</u>	QRB	Distance	QRG	Fréquence
QRH	Fréquence instable	QRI	Tonalité (1 à 9, T du RST)	<u>QRK</u>	<u>Intelligibilité</u> (1 à 5; R de RST)
QRL	Etre occupé	<u>QRM</u>	<u>Brouillage</u> (1 à 5)	<u>QRN</u>	<u>Parasite</u> (1 à 5)
<u>QRO</u>	<u>Augmenter Puissance</u>	<u>QRP</u>	<u>Diminuer Puissance</u>	QRQ	Transmettre plus vite
QRS	Transmettre plus lentement	<u>QRT</u>	<u>Cesser Transmission</u>	QRU	Avoir qqch pour qqun
<u>QRV</u>	<u>Etre prêt</u>	<u>QRX</u>	<u>Rappeler plus tard</u>	<u>QRZ</u>	<u>Appeler</u>
<u>QSA</u>	<u>Force des signaux</u> (1 à 9; S du RST)	QSB	Variation force des signaux	QSD	Manipulation défectueuse
QSK	Entendre entre les signaux	<u>QSL</u>	<u>Accusé de réception</u>	<u>QSO</u>	<u>Communiquer</u>
QSP	Retransmettre	QSU	Répondre sur...kHz	QSV	Transmettre des V
<u>QSY</u>	<u>Changer de fréquence</u>	<u>QTH</u>	<u>Position en lat. et long.</u>	<u>QTR</u>	<u>Heure exacte</u>

Les abréviations du code Q peuvent être formulées comme des questions si elles sont suivies d'un point d'interrogation. Sinon, il s'agit d'une réponse ou d'un avis. Une réponse en code Q peut être suivie d'une information complémentaire.

Exemples:

QRO? : Dois-je augmenter ma puissance d'émission ?
QRO : Veuillez augmenter votre puissance d'émission

QRV? : Êtes-vous prêt?
QRV : Je suis prêt

QSU? : Sur quelle fréquence dois-je vous répondre ?
QSU 14200 : Répondez-moi sur 14200 kHz

QRK? : Quelle est la force de mon signal?
QRK 5 : Votre signal a une force de 5

3.3) - Déroulement d'un contact

	TÉLÉGRAPHIE (3.9.2)	TÉLÉPHONIE (3.9.3)
Appel d'une station	3 fois au plus indicatif appelé DE (- . . .) 3 fois au plus indicatif appelant (la séquence peut être répétée 10 fois) +K (. - . - . - . -) S'il n'y a pas de réponse, attendre 5 minutes avant de recommencer l'appel.	3 fois au plus indicatif appelé "ICI" 3 fois au plus indicatif appelant "RÉPONDEZ" S'il n'y a pas de réponse, attendre 5 minutes avant de recommencer l'appel.
Appel général	Idem appel d'une station Sauf que CQ (- . - . - - . -)	Idem appel d'une station Sauf que "APPEL A TOUS"
Réponse à un appel	Indicatif station qui a appelé ou QRZ (Qui m'appelle?) "DE" Station appelante +K	Indicatif station qui a appelé ou "QUI M'APPELLE ?" "ICI" Station appelante ; "RÉPONDEZ"
Fin de liaison	Indicatif de sa propre station VA (. . . - . -)	Indicatif de sa propre station "TERMINE"

Les candidats se présentant aux examens de classe novice ou radiotéléphoniste doivent aussi connaître les procédures de trafic en télégraphie.

3.4) - Teneur des messages :

- Radio électricité;
- Informatique;
- Astronomie;
- Météorologie;
- Contenu d'une revue technique (sans faire de pub...);
- Réglementation;
- Vie associative;
- Adresse et numéro de téléphone personnels (sauf ceux des tiers);
- Radioguidage (sauf sur relais, sauf occasionnellement pour les manifestations amateurs)

Le titulaire de la licence doit veiller à respecter le **secret des correspondances** captées volontairement ou non, d'effectuer ses transmissions en **langage clair** ou dans un code reconnu par l'U.I.T., ne pas procéder à des émissions effectuées selon des procédés spéciaux qui ne permettraient pas à l'administration la réception et la **compréhension** des messages (3.9.1 et 3.9.6)

Pour les émissions en Fax, SSTV ou TV (3.9.4), tous les documents transmis doivent comporter l'indicatif de la station, les seules images dont la transmission est autorisée concernent des images représentant le titulaire de la licence, des pièces ou des schémas techniques, une mire portant l'indicatif de la station ou la reproduction d'une image déjà reçue pour comparaison.

4) Le CARNET de TRAFIC et les CONDITIONS D'EXPLOITATION

4.1)- Carnet de trafic (3.2) : Tout amateur est tenu de consigner dans un journal de trafic à pages numérotées, non détachables, les renseignements relatifs à l'activité de sa station; c'est-à-dire : **date**, **heure de commencement**, **heure de fin de contact** (UTC ou heure légale mais toujours la même), **indicatif** (correspondant ou relais), **fréquence**, **classe d'émission**. Éventuellement : lieu d'émission (obligatoire en portable); modifications apportées à l'installation. Le carnet de trafic doit être constamment à jour, présenté à toutes réquisitions des fonctionnaires chargés du contrôle et conservé pendant un an à compter de la dernière inscription.

Dans le cas où le journal de trafic est informatisé (arrêté du 1/12/83), il doit exister un ou plusieurs supports "mémoire de masse" repérés par des étiquettes collées et mentionnant les dates de début et de fin de période. Les enregistrements doivent être chaînés. De plus, il doit exister une édition papier du contenu de la mémoire de masse qui constitue à proprement parler le carnet de trafic.

4.2) - Cas particuliers d'exploitation (3.3) : Une station **transportable** (suffixe "P") est une station construite de manière à être déplacée mais ne peut pas fonctionner pendant son transport. Une station **mobile** (suffixe "M") peut fonctionner pendant les déplacements. La station ne peut être utilisée que dans un véhicule dont la carte grise est établie au nom du titulaire de la licence. La station ne peut pas être montée sur un aéronef. Pour une station **maritime mobile** (suffixe "MM"), le titulaire doit demander une autorisation spéciale à l'administration. Une autorisation du commandant de bord doit être jointe à la demande. Une station mobile fluviale est assimilée à une station mobile terrestre (suffixe /M).

Toute modification de la station (acquisition ou vente de matériel) ou tout changement de domicile doit être signalé à l'administration (ART-CGRP) dans les 2 mois.

4.3) - Une station peut être manoeuvrée par : le **titulaire** de la licence; un **opérateur supplémentaire** (au même titre que le permissionnaire de la station; il ne peut pas contacter le titulaire); un **opérateur occasionnel** (3.5) (un titulaire d'une licence française à titre exceptionnel), l'opérateur occasionnel ne peut pas contacter sa propre station, doit communiquer son indicatif après celui de la station utilisée, doit reporter le contact sur son carnet de trafic. L'indicatif d'un radio-club peut être utilisé seul, sous réserve que la liste des **opérateurs secondaires** (3.4) du radio-club concerné soit déclaré au préalable à l'administration.

4.4) - Les sanctions (3.8) : Les fonctionnaires de l'administration chargée des télécommunications et du ministère de l'Intérieur chargés du contrôle peuvent à tout instant pénétrer dans les stations.

Les infractions à la réglementation sont sanctionnées par l'Administration après notification à l'intéressé. Outre les sanctions pénales, la gradation des sanctions est : **rappel au règlement** (infraction bénigne; infraction caractérisée); **suspension de 3 mois** (non respect de la réglementation; récidive au rappel; émission non autorisée; utilisation d'un indicatif faux et trompeur); **suspension de 1 an** (émission hors bande; brouillage); **suspension longue durée** (faute grave, réhabilitation au cas par cas); **révocation de la licence**. La prescription et la récidive sont sur un an. Au delà du rappel au règlement, les associations sont consultées et l'intéressé peut être entendu. En cas de fraude à l'examen, l'épreuve est annulée et le candidat ne peut se représenter avant un an.

4.5) - Formation des indicatifs (5.2) : Depuis l'arrêté du 4 mai 1993, tous les indicatifs radioamateur ont été refondus. Le préfixe de la France (Métropole et DOM TOM, sauf Corse et indicatifs spéciaux est F. La sous localisation (Corse et DOM-TOM) reste codifiée de la même manière. Il est réservé des préfixes spéciaux (période limitée à une semaine): TM pour la France continentale, TO pour les DOM et TX pour les TOM (5.3) (TP est réservé au Conseil de l'Europe à Strasbourg.)

Le chiffre indique la classe de la licence : 0 pour la classe 3, 1 pour la classe 2 (classe B CEPT) et 4 pour l'extension ; 5 et 6 pour la classe 1 (classe A CEPT) et 8 pour l'extension ; 2, 3, 7 et 9 restent en réserve, une partie ayant déjà été affectée à des indicatifs individuels.

Pour les suffixes, les lettres AAA à UZZ sont réservées à la France continentale, AA à ZZ sont réservés aux indicatifs individuels à la Corse et aux DOM-TOM, KAA à KZZ sont affectés aux radio-clubs, VAA à VZZ sont réservés aux amateurs d'un état membre de la CEE installés depuis plus de trois mois en France (3.6.2), WAA à ZZZ sont en réserve.

La série des indicatifs F4XX est réservée aux stations expérimentales prévues à l'article D.459-2 du code des postes et télécommunications.

4-6) - Utilisation de la licence dans les pays de la CEPT :

Pour les radioamateurs des pays appliquant la recommandation CEPT (hors CEE) ou pour les pays hors CEPT mais qui ont conclu un accord de réciprocité avec la France, l'indicatif délivré par l'administration française est du format suivant : préfixe français (F, FY, TK, etc.) suivi d'une barre de fraction (/), de l'indicatif étranger, puis du suffixe /P ou /M (ex : F/W2SYP/P) (3.6.2).

De même pour les radioamateurs français titulaire d'une licence de classe 1 ou 2 se déplaçant dans un pays appliquant la recommandation CEPT ou ayant conclu un accord avec la France, l'indicatif utilisé sera le préfixe du pays suivi d'une barre de fraction, de l'indicatif français et du suffixe /P ou /M (ex : ON/F6XYZ/M est un radioamateur français en déplacement en mobile en Belgique) (2.1.2).

Liste des pays appliquant la Recommandation CEPT TR 61/01 (2.1.2) avec les préfixes à utiliser (classe 1 CEPT, classe 2 CEPT). Dans certains pays, il faut ajouter un chiffre correspondant à la localisation géographique (ex : Autriche, Espagne): Albanie (ZA, ZA), Allemagne (DL, DC), Autriche (OE, OE), Belgique (ON, ON), Bosnie Herzégovine (,), Bulgarie (LZ, LZ), Chypre (5B, 5B), Croatie (9A, 9A), Danemark (OZ, OZ), Îles Féroé (OY, OY), Groenland (OX, OX), Espagne (EA, EB), Estonie (ES, ES), Finlande (OH, OH), France et DOM-TOM, Grèce (SV, SV), Hongrie (HA, HG), Irlande (EI, EI), Islande (TF, TF), Italie (I, I), Liechtenstein (HB0, HB0), Lituanie (LY, LY), Luxembourg (LX, LX), Malte (9H, 9H), Moldavie (ER, ER), Monaco(3A, 3A), Norvège (LA, LA), Pays Bas (PA, PA), Roumanie(YO, YO), Russie (UA, UA), République Slovaque (OM, OM), Slovénie (S5, S5), République Tchèque (OK, OK), Pologne (SP, SP), Portugal (CT, CT), Açores (CU, CU), Royaume Uni (G, G et G., G.), Saint Marin (T7, T7), Suède (SM, SM), Suisse (HB9, HB9), Turquie (TA, TA), Ukraine (UB, UB), Cité du Vatican (HV, HV)

Pays non membres de la CEPT appliquant la recommandation CEPT TR 61/01 : États-Unis, Israël, Pérou, Nouvelle-Zélande.

Pays ayant conclu un accord de réciprocité avec la France : Australie, Brésil, Canada, Côte d'Ivoire, Japon, Kenya.

Ces trois listes sont à jour au 7/6/99. Certains pays peuvent être ajoutés à ces listes lorsqu'ils auront signé les accords.

4.7) - Pour la Corse et les DOM-TOM, l'indicatif est composé de 2 lettres propres au département ou au territoire, puis d'un chiffre pour indiquer la classe (0 pour un radio-club; 1 = groupe A ou Novice (classe 3); 3 = classe 2, 5 = classe 1) et de 2 lettres caractérisant le radioamateur. Les préfixes sont :

FG: Guadeloupe
FH: Mayotte
FJ: St Barthélémy
FK: Nouvelle Calédonie
FM: Martinique
FO: Polynésie Française et Clipperton
FP: St Pierre et Miquelon
FR: Réunion (Glorieuse, Juan de Nova, Tromelin)
FS: St Martin
FT: Terres Australes et Antarctiques (Crozet, Kerguelen, Nouvelle Amsterdam, Saint Paul et Terre Adélie)
FW: Wallis et Futuna
FX : Satellites français du service amateur
FY: Guyane
TK: Corse.

4.8) – Petite histoire des indicatifs français. Au début de l'histoire du radioamateurisme français, les correspondants n'avait pas d'indicatifs. Le premier QSO officiel français entre amateurs fut réussi en 1907 sur une distance de 3 kilomètres avec une bobine de Ruhmkorff et bobine d'allumage pour automobile... En 1908, le général Ferrié, officier du 8^e régiment du Génie, installe une station de TSF dans un baraquement en bois au pied de la Tour Eiffel. Lorsque la guerre éclate en 1914, la télégraphie militaire développée par Ferrié devient primordiale. Pendant cette période, les émissions d'amateur sont stoppées et le Génie militaire a besoin de ces opérateurs et de ces techniciens. Ils se retrouvent pour la plupart au 8^e Génie (qui deviendra le 8^e régiment des transmissions). A la fin de la guerre, la technique a largement évolué puisque l'on trouve partout des lampes triodes. Dès 1921, un réseau d'émission d'amateur fonctionne dans la région de Marseille et chacun s'identifie avec un indicatif personnel de son choix : on constate que presque tous les nouveaux amateurs utilisent " 8xxx ", signe de l'influence des anciens du 8^e Génie. L'administration des PTT délivre le 5 septembre 1921 la première autorisation d'émission d'amateur sous l'indicatif " 8AA ". Le préfixe de nationalité F n'existe pas. C'est le chiffre 8 qui indique la nationalité (aux Etats-Unis, c'est le chiffre 1), c'est pourquoi l'ancêtre de " Radio REF " est " le journal des 8 ". En 1923, c'est le premier QSO intercontinental entre 8AB et 1MO. Avec la création de l'IARU en 1925 (et du REF), l'émission d'amateur se structure et l'IARU instaure à partir du 1^{er} février 1927 un système de préfixe à deux lettres (EF pour la France) suivi d'un chiffre. Toutes les possessions françaises de l'époque donnent le chiffre 8 suivi de deux lettres. Ceci reste encore vrai dans de nombreux pays d'Afrique francophone. Puis, la France obtient de n'utiliser qu'une seule lettre pour ses indicatifs. Avant la 2nde guerre mondiale, la série des F8 est épuisée et on attribue des F3. Lors de la mobilisation de 1939, 250 membres du REF rejoignent les rangs du 8^e Génie, comme opérateurs radio. A partir de 1947, on commença à attribuer des indicatifs F9 puis des F2, des F5. Lors de la création de la licence " Téléphoniste " (vers 1970), on attribua des indicatifs suivi de trois lettres : F6 pour le télégraphistes, F1 pour les téléphonistes. Il y eut en 1989 un intermède au moment de la création de la licence novice pendant lequel l'indicatif est repassé à 2 lettres : F puis la deuxième lettre indiquant la classe de licence. Il reste des vestiges de ce système dans la formation des indicatifs en dehors de la Métropole. En 1993, on revint à un indicatif à 1 lettre (F) et on attribua la série F5XXX aux F1XXX ayant réussi l'examen de télégraphie. Puis, lorsque la série F1/F5 fut épuisée, en 1998, on attribua les séries F4/F8, la série F0XXX étant réservée aux novices. Les 8 étaient de retour...

5) ANTENNES et LIGNES de TRANSMISSION

5.1) - Puissances, rapports de puissance et décibels (dB) - voir aussi Technique 5.1

Les puissances sont calculées en watt (W). Le décibel (dB) est une unité permettant d'exprimer un rapport entre deux puissances, exprimées en watt. Pour la partie Réglementation, seuls sont à connaître les rapports suivants :

Décibel	0 dB	3 dB	6 dB	10 dB	20 dB
Gain	pas de gain	x 2	x 4	x 10	x 100

Ainsi, à la sortie d'un amplificateur dont le gain est de 6 dB, la puissance d'entrée est multipliée par 4. Pour une puissance d'entrée de 15 W, en sortie de l'amplificateur, la puissance de sortie sera de 60 W (15 x 4)

Les décibels peuvent aussi être utilisés pour calculer des pertes. Dans ce cas, le nombre de dB est négatif. Une perte de 6 dB est notée -6 dB et la puissance est divisée par 4 à la sortie d'un tel circuit atténuateur.

Les décibels peuvent aussi indiquer des niveaux relatifs : le gain d'une antenne se calcule par rapport à une antenne de référence (le doublet par exemple). Dans ce cas, la puissance rayonnée dans la direction la plus favorable est supérieure à la même puissance dans l'antenne de référence.

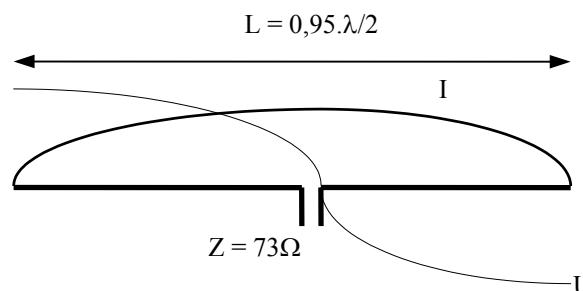
Le rendement détermine l'adaptation ou le transfert de puissance. Le rendement, toujours inférieur à 1, est le rapport de la puissance de sortie divisé par la puissance d'entrée présent sur l'élément adaptateur ou transformateur.

La puissance crête de la porteuse modulée est nommée aussi PEP. Elle est le double de la puissance dissipée

5.2) - Types et caractéristiques des antennes - Voir aussi Technique 9.4 à 9.10

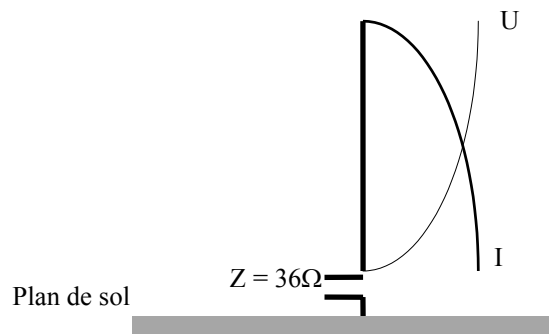
L'antenne doublet **demi-onde** : Dans une antenne, l'intensité est nulle à chaque extrémité du brin rayonnant. La tension est maximum aux extrémités du doublet. Au centre du doublet, l'intensité est maximum et la tension est nulle. L'impédance est donc faible au centre d'un dipôle. La tension est en déphasage de 90° par rapport à l'intensité. La longueur totale d'un doublet dépend du matériau utilisé et du rapport diamètre/longueur du brin rayonnant. En général, on prend $k = 95\%$. La longueur d'un brin est égale à la moitié de l'antenne.

Une antenne a les mêmes caractéristiques à l'émission qu'à la réception.



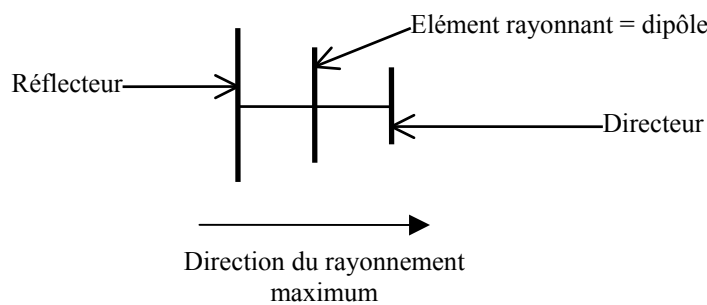
L'impédance au centre du dipôle varie en fonction de l'angle que forment les brins : s'ils sont alignés (angle de 180°), l'impédance est de 73Ω; s'ils forment un angle de 120°, l'impédance est de 52Ω; s'ils forment un angle droit (90°), l'impédance devient 36Ω. D'autres facteurs influent sur l'impédance, comme le sol (proximité et qualité) ou l'environnement immédiat de l'antenne (bâtiment, arbres,...)

L'antenne **quart d'onde** verticale : L'antenne verticale nécessite un **plan de sol** ou **plan de masse** afin de reconstituer électriquement le deuxième brin de l'antenne

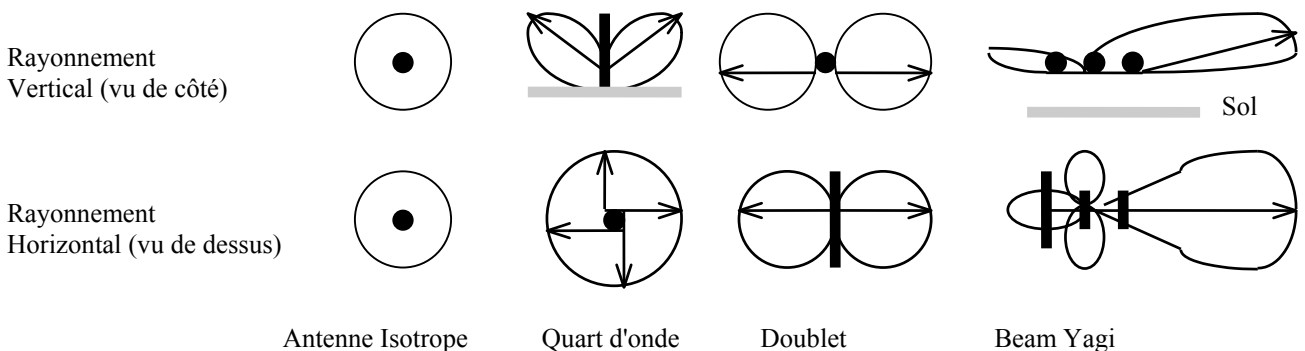


On peut utiliser un brin plus court que le quart d'onde, il faut dans ce cas rallonger artificiellement l'antenne grâce à une self positionnée à la base du brin ou au milieu de celui-ci. Le quart d'onde aura ainsi une impédance plus faible à sa résonance.

Antenne Yagi ou Beam : l'antenne doublet (ou dipôle) est l'antenne de base. Son lobe de rayonnement ressemble à un tore rond traversé par le brin de l'antenne. Le rayonnement est maximum perpendiculairement aux brins. Il est nul dans le prolongement des brins. Si les deux brins ne sont pas alignés ou si le sol est trop près de l'antenne, les lobes se déforment. En ajoutant des éléments près du brin, on arrive à déformer le lobe et à concentrer l'énergie dans une direction. Les éléments directeurs sont plus courts que le brin rayonnant, les éléments réflecteurs sont plus longs. Lorsqu'on augmente le nombre d'éléments sur ce type d'antenne, on diminue son impédance et on augmente son gain et donc son effet directif.

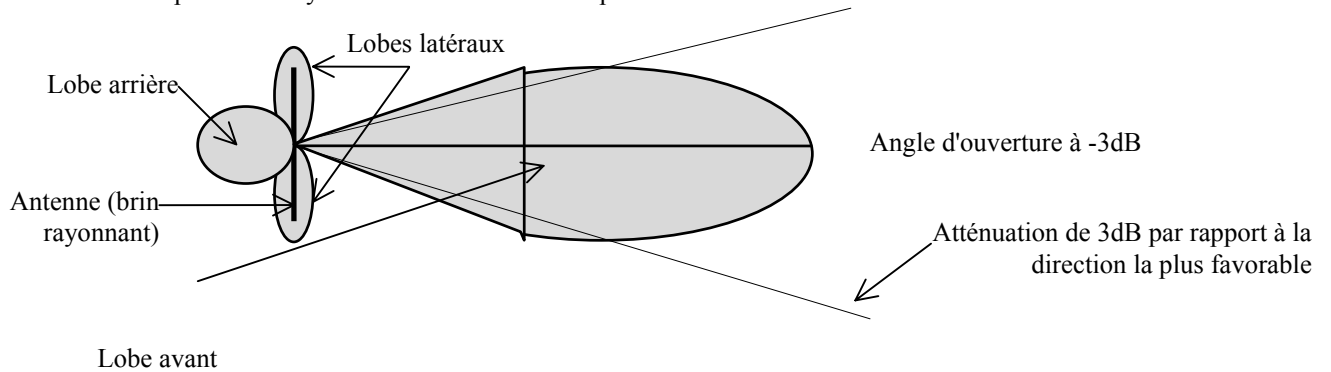


Gain d'une antenne : le gain se mesure dans la direction maximum de rayonnement. Le gain se calcule en dB par rapport à l'antenne doublet (dB_d) ou encore par rapport à l'**antenne isotrope** (dB_{iSO}). Celle-ci est une antenne idéale : un point qui rayonne et dont le lobe de rayonnement est une sphère. L'antenne doublet a un gain de 2,15 dB par rapport à l'antenne isotrope. Une autre mesure des antennes est le rapport avant/arrière (en dB). On peut dessiner les lobes de rayonnement dans le plan vertical ou horizontal.



La puissance apparente rayonnée (P.A.R. ou ERP en anglais) est la puissance d'alimentation de l'antenne multipliée par le gain de celle-ci par rapport au doublet en décimal (pas en dBd). Cette puissance correspond à la puissance qu'il faudrait appliquer à un dipôle pour avoir la même puissance rayonnée dans la direction la plus favorable de l'antenne. La puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) prend pour référence l'antenne isotrope.

L'angle d'ouverture d'une antenne est l'angle de direction pour lequel la puissance rayonnée est la moitié (-3dB) de la puissance rayonnée dans la direction la plus favorable.



Compléments sur les antennes :

Position des ventres de tension et d'intensité: on appelle un ventre l'endroit de l'antenne où la mesure (tension ou intensité) est maximum, un noeud est l'endroit de l'antenne où la mesure est nulle. A chaque extrémité d'une antenne ouverte (dipôle par exemple), on a un noeud d'intensité ($I=0$) car il ne peut y avoir de courant dans un fil qui se termine.

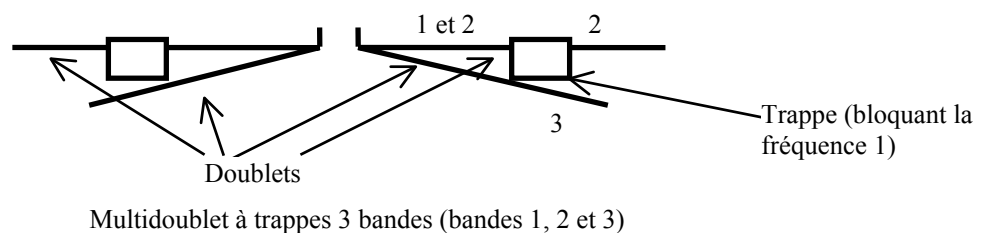
Plus exactement, à l'extrémité du brin, le courant fait demi-tour, ainsi, il y a autant d'intensité dans un sens que dans l'autre, on a donc l'illusion qu'il n'y a pas de courant. Par contre la tension est maximum en ce point (ventre de tension) : en faisant demi-tour, la valeur de la tension ne change pas, les tensions s'additionnent donc.

Du fait de la vitesse de propagation des ondes, tous les quarts d'onde, les valeurs changent. Ainsi en mesurant un quart d'onde électrique à partir de l'extrémité du brin, on a un ventre d'intensité et un noeud de tension. Les tensions et les intensités reprennent les valeurs constatées à l'extrémité du brin toutes les demi-ondes.

Ventre d'intensité et lobes de rayonnement : à chaque noeud d'intensité correspond un lobe de rayonnement. Selon la forme de l'antenne, les lobes se superposent ou s'annulent, donnant la directivité à l'antenne.

Polarisations : selon la position du brin rayonnant, on peut avoir des polarisations verticales ou horizontales. Certaines configurations d'antennes permettent des polarisations circulaires (rotation Droite ou Gauche). La polarisation des antennes joue un rôle important dans la faisabilité d'une liaison.

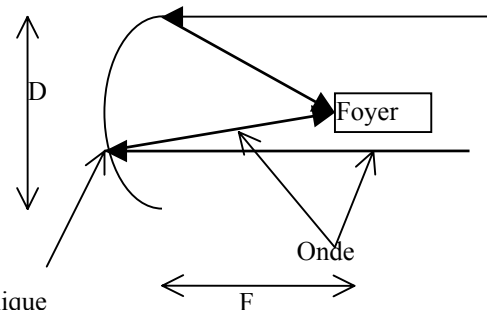
Multidoublet et Doublet avec trappes : une antenne doublet (ou dipôle) ne peut fonctionner que sur une fréquence. En reliant plusieurs dipôles par leur centre, on obtient un multi-doublet qui fonctionne sur autant de fréquences que l'on a de doublets accordés. Pour éviter de multiplier le nombre de doublets, ce qui nécessite une mise au point délicate, on utilise des trappes qui bloquent les ondes les plus courtes et raccourcissent artificiellement les brins. On peut évidemment combiné ces deux techniques comme ci-dessous.



Couplages d'antennes : on peut augmenter le gain d'une antenne en la couplant à une autre. Ainsi deux antennes identiques couplées auront un gain supplémentaire de 3dB par rapport à une seule antenne. Quatre antennes auront un gain de 6 dB et 8 antennes auront un gain de 9 dB. On voit qu'en doublant le nombre d'antennes couplées, on n'augmente le gain total que de 3 dB.

Antennes ouvertes et antennes fermées : une antenne est ouverte lorsque son brin rayonnant est libre aux extrémités. (Exemple : quart d'onde, long-fil, sloper, dipôle, Yagi, Levy, hélice, log-périodiques). Une antenne est fermée lorsque le brin rayonnant forme une boucle. (Exemples : trombone, loop, quad)

Réflecteurs paraboliques : certaines antennes, utilisées dans les hautes fréquences emploient des réflecteurs paraboliques qui réfléchissent les ondes et concentrent les rayonnements sur un foyer, où est placé l'antenne (généralement un doublet). La distance entre le foyer et la parabole est appelée la focale (F). D étant le diamètre de la parabole, le rapport F/D détermine l'angle d'illumination de l'antenne située dans le foyer.



Réflecteur parabolique

5.3) - Lignes de transmission - Voir aussi Technique 10.1 à 10.3

La **ligne d'alimentation** asymétrique (coaxial) ou symétrique (feeder ou échelle à grenouille) ou encore guide d'onde est un dispositif utilisé pour **transférer l'énergie** de l'émetteur vers l'antenne ou de l'antenne vers le récepteur. La qualité du coaxial se mesure par sa perte (en dB/m). Cette perte n'a aucun rapport avec son impédance caractéristique. Dans un câble, les intensités dans les deux fils (ou âme et tresse) sont égales et de valeurs contraires. L'intensité étant la cause du rayonnement, le câble ne rayonne pas puisque les intensités s'annulent mutuellement.

L'Impédance caractéristique des lignes se calcule en fonction de la forme de la ligne. Un câble coaxial a une impédance caractéristique. Si à son entrée, on applique un signal qui a la même impédance que le câble, on retrouvera le même signal à la sortie (exceptées les pertes).

TOS, ROS et désadaptation : Lorsque l'impédance du câble n'est pas la même que celle de l'antenne, il apparaît des ondes stationnaires sur la ligne. Cette désadaptation se mesure selon la puissance réfléchie (TOS ou Taux d'Ondes Stationnaires) ou selon le rapport des impédances (ROS ou Rapport d'Ondes Stationnaires).

$$\text{ROS} = \frac{Z \text{ plus forte}}{Z \text{ plus faible}}$$

$$\text{TOS (\%)} = \frac{\text{Puissance Réfléchie}}{\text{Puissance Emise}} = \frac{P_R}{P_E}$$

DEUXIEME PARTIE

TECHNIQUE

0) RAPPELS de MATHÉMATIQUES et d'ALGÈBRE

L'objet de ce chapitre préliminaire est de rappeler les principes mathématiques nécessaires à la compréhension et au traitement des formules énoncées ci-dessus. Ce rappel est succinct mais doit permettre de répondre à tous les cas de figures. Il est important de comprendre ces principes et de les appliquer à l'aide d'une calculatrice dans des exemples concrets.

0-1) -A- Transformation d'équation : une équation est une expression mathématique qui indique que les deux termes de chaque côté du signe = sont égaux. Chacun des deux termes peut être composé de données et/ou d'inconnues. La transformation d'équation permet de calculer les inconnues à partir des données. La transformation des équations s'effectue différemment selon l'opération.

OPERATIONS	ADDITION SOUSTRACTION	MULTIPLICATION DIVISION	PUISSANCE RACINE
Equation	$A + B = C - D$	$A \times B = C / D$	$A^2 = B$ ou $C = \sqrt{D}$
Transformation	Changement de signe quand le terme passe de l'autre côté $+ \Rightarrow -$ et $- \Rightarrow +$	Changement de signe quand le terme passe de l'autre côté $x \Rightarrow /$ et $/ \Rightarrow \times$	Changement de puissance des 2 côtés à la fois $^2 \Rightarrow \sqrt{\quad}$ et $\sqrt{\quad} \Rightarrow ^2$
Exemple X inconnu	$X + A = C - D$ $X = C - D - A$	$X \times A = C \times D$ $X = \frac{C \times D}{A}$	$X^2 = B$ ou $\sqrt{X} = D$ $X = \sqrt{B}$ ou $X = D^2$

La place des parenthèses est capitale : il faut calculer ce qu'il y a dans les parenthèses avant de continuer. De plus, les opérations, lorsqu'elles sont combinées, doivent être traitées dans un ordre précis : puissance (ou racine), puis multiplication (ou division), enfin addition (ou soustraction). La position des parenthèses remet en cause cet ordre.

Exemple : dans l'équation $A = B \times C + D^2$, on calcule D^2 , puis $B \times C$ et on additionne le tout. Dans l'équation $A = B \times (C + D)^2$, on calcule $C + D$ que l'on met au carré et ce résultat est multiplié par B.

Dans une multiplication, on remplace le signe de multiplication (\times) par un point (exemple : $A \cdot B = A \times B$) ou même sans rien (exemple $AB = A \times B$). Mais attention : $\sqrt{AB} = \sqrt{A \times B}$, par contre $(\sqrt{A}) \times B$ s'écrira $B\sqrt{A}$ pour éviter toute confusion.

En radioélectricité, les opérations sur les additions sont peu utilisées, excepté dans le calcul des résistances ou des capacités équivalentes. Par contre, la combinaison multiplication-puissance est fréquente.

Exemple : loi de Thomson : si $Z_L = Z_C$, alors $2\pi F L = \frac{1}{2\pi F C}$, donc $(2\pi F)^2 = \frac{1}{LC}$,
donc $F^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC}$, d'où la formule connue : $F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

0-2) -A- Puissances de 10, multiples et sous multiples : compte tenu des unités utilisées, il arrive souvent que nous devons utiliser des 0 avant la virgule (farad par exemple) ou après la virgule (hertz par exemple). Une erreur de calcul est vite arrivée si on oublie un 0. La solution consiste à jongler avec les multiples et les puissances de 10, les multiples étant des puissances de 10 qui vont de 3 en 3 (3, 6, 9 ou -3, -6,...).

Lors des opérations de multiplications, les puissances de 10 s'additionnent (ou se soustraient pour les divisions) : $10^3 \times 10^6 / 10^2 = 10^{(3+6-2)} = 10^7$. Elles se divisent par 2 avec les racines carrées (10^6 devient 10^3) et sont multipliées par 2 lors de l'élevation au carré (10^{-3} devient 10^{-6}). La puissance change de signe lorsqu'elle passe en dessous ou au dessus du trait de fraction ($1/10^3 = 10^{-3}$ et $10^6 = 1/10^{-6}$).

Attention à la racine carrée lors de l'utilisation des puissances de 10 : seules les puissances de 10 paires ($10^6, 10^{12}, 10^{-6}, 10^{-12}, \dots$) sont utilisables.

Symbole	Puissances de 10	Multiples et sous-multiples							
		G giga 10^9	M méga 10^6	k kilo 10^3	UNITE	m milli 10^{-3}	μ micro 10^{-6}	n nano 10^{-9}	p pico 10^{-12}
R (ohm)	Ω		M Ω	k Ω	Ω				
I (ampère)	A				A	mA	μ A		
U (volt)	V			(kV)	V	mV	μ V		
P (watt)	W			kW	W	mW			
F (hertz)	Hz	GHz	MHz	kHz	(Hz)				
L (henry)	H					mH	μ H	nH	
C (farad)	F						μ F	nF	pF

Pour passer d'un multiple à l'autre, déplacer la virgule de trois chiffres à chaque multiple.

Exemple : $1000 \mu\text{A} = 1,000 \text{mA} = 1 \text{mA}$ (transformation $\mu \Rightarrow \text{m}$)

$0,25 \text{V} = 0,250 \text{V} = 250 \text{mV}$ (transformation UNITE $\Rightarrow \text{m}$)

On peut remarquer qu'il est rarement utilisé plus de 4 multiples pour une même unité. La plupart du temps, seulement 3 multiples sont nécessaires. Rappelez-vous des mesures que vous maîtrisez mieux : millimètre, mètre, kilomètre ou encore tonne ("mégagramme"), kilogramme, gramme.

Exemples de calcul :

1) Calculer I pour $U=2\text{mV}$ et $R=5\text{k}\Omega$. $2\text{mV} = 2 \times 10^{-3} \text{Volts}$ $5\text{k}\Omega = 5 \times 10^3 \text{ Ohms}$
 $I = U/R = 2 \times 10^{-3} / 5 \times 10^3 = 2/5 \times 10^{(-3-(+3))} = 2/5 \times 10^{-6} = 0,4 \mu\text{A} = 400\text{nA}$.

2) Loi de Thomson : soit une self de $40 \mu\text{H}$ et un condensateur de 160pF , quelle est la fréquence de résonance de l'ensemble?

$$\begin{aligned} \text{La loi de Thomson est : } f &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2,3,14 \cdot \sqrt{(40 \cdot 10^{-6}) \cdot (160 \cdot 10^{-12})}} \\ &= \frac{1}{6,28 \cdot \sqrt{(40 \cdot 160 \cdot 10^{-18})}} = \frac{10^9}{6,28 \cdot \sqrt{6400}} = \frac{10^9}{6,28 \cdot 80} = \frac{10^9}{502,4} \\ &= 0,00199 \cdot 10^9 = 1,99 \cdot 10^6 = 1,99 \text{ MHz} \end{aligned}$$

$$\text{autre formule : } \frac{159}{\sqrt{(L(\mu\text{H}) \cdot C(\text{pF}))}} = \frac{159}{\sqrt{(160 \cdot 40)}} = \frac{159}{\sqrt{6400}} = \frac{159}{80} = 1,9875 \text{ MHz}$$

1) LOIS d'OHM et de JOULE

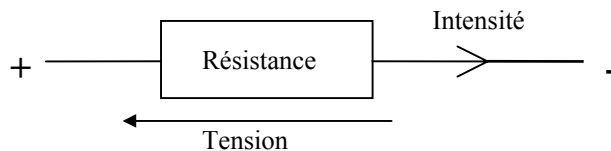
1.1) -A- Les bases de l'électricité reposent sur quatre grandeurs : l'Intensité notée I (le débit) mesurée en ampère (A) qui correspond à une quantité d'électrons ($6,25 \cdot 10^{18}$) par seconde ; la Tension ou différence de potentiel, notée U (la pression), mesurée en volt (V) ; la Résistance notée R et mesurée en ohm (Ω) et la Puissance dégagée notée P et mesurée en watt (W).

Une résistance se dessine comme un rectangle. La valeur de la résistance est notée à l'intérieur du rectangle. La mention Ω n'est pas obligatoire.

La tension se mesure entre deux points et se dessine par une flèche entre deux points. La pointe de la flèche est dirigée vers le potentiel le plus élevé. La tension peut aussi s'appeler "différence de potentiel" (ddp), "voltage" ou force électromotrice (fém) ou force contre-électromotrice (fcém) selon les cas.

L'intensité se mesure en un point et se dessine par une flèche sur le circuit. Le sens de la flèche indique le sens du courant (du + vers le -). Les flèches de tension et d'intensité sont donc en sens opposé (pour un récepteur ou une charge).

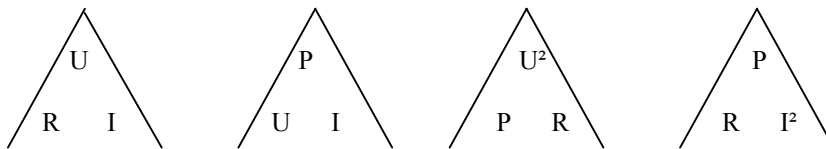
En prenant des références hydrauliques, on peut dire que la tension est une différence de pression (et se mesure donc entre deux points d'un circuit) alors que l'intensité est un débit qui se mesure en insérant un instrument de mesure en un point du circuit. La résistance est comparable à un « rétrécissement du tuyau ». La chaleur dégagée par la résistance provient de l'échauffement (frottements) dû au passage des électrons.



1.2) -A- Les lois d'Ohm ($U=R \cdot I$) et de Joule ($P=U \cdot I$)

Données	P en Watts	U en Volts	I en Ampères	R en Ohms
P (W)		$R = U^2/P$	$R = P/I^2$	$I = \sqrt{(P/R)}$
U (V)	$I = P/U$		$R = U/I$	$P = U^2/R$
I (A)	$U = P/I$	$P = U \cdot I$		$P = R \cdot I^2$
R (Ω)	$U = \sqrt{(P \cdot R)}$	$I = U/R$	$U = R \cdot I$	

Ces équations peuvent aussi se représenter sous forme de triangle :



Cachez du doigt l'inconnue et vous obtenez la formule à appliquer.

Lorsque les données sont en bas (l'inconnue est en haut du triangle), les données sont multipliées pour obtenir l'inconnue. Lorsque l'inconnue est en bas, les données sont divisées (celle du haut par celle du bas). Lorsque l'on cache une inconnue au carré, le résultat est une racine carrée (exemple : $U = \sqrt{(P \cdot R)}$).

Exemple 1 : soit une résistance de 1.500Ω parcourue par un courant $0,1$ A.
Quelle est la tension à ses bornes ? Quelle est la puissance dissipée ?

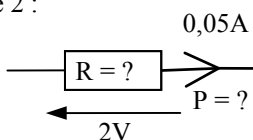
$$U = R \cdot I = 1.500 \times 0,1 = 150 \text{ V}$$

$$P = U \cdot I = 150 \times 0,1 = 15 \text{ W}$$

$$\text{ou } P = R \cdot I^2 = 1.500 \times 0,1 \times 0,1 = 15 \text{ W}$$

$$\text{ou encore } P = U^2/R = (150 \times 150) / 1.500 = 22.500/1.500 = 15 \text{ W}$$

Exemple 2 :



$$P = U \cdot I = 2 \times 0,05 = 0,1 \text{ W}$$

$$R = U/I = 2/0,05 = 40 \Omega$$

$$\text{ou } R = P/I^2 = 0,1/(0,05 \times 0,05) = 0,1/0,0025 = 40 \Omega$$

1.3) -B- Autres unités :

L'intensité en ampère est un débit (avec une référence de temps). Un coulomb (C) est une quantité d'électrons (que l'on préfère noter Q plutôt que I). Un ampère est un coulomb par seconde.

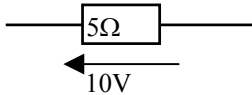
$$Q(C) = (P(W) / U(V)) \cdot t(s)$$

De même, il existe une unité d'énergie: le Joule (J). Un Watt est un Joule par seconde.

$$P(J) = U(V) \cdot I(A) \cdot t(s)$$

Exemple :

Calculer Q en Coulomb et P en Joules



Temps (t) = 30 secondes

Réponses :

$$Q(C) = (U/R) \cdot t = (10/5) \cdot 30 = 2 \cdot 30 = 60C$$

$$P(J) = (U^2/R) \cdot t = (10 \cdot 10/5) \cdot 30 = (100/5) \cdot 30 = 20 \cdot 30 = 600J$$

La puissance en Watts peut exprimer une puissance thermique (on convertira des Watts en calories), une puissance chimique (sous l'effet de l'électrolyse, l'eau se décompose en oxygène et hydrogène) ou une puissance mécanique (on convertira des Watts en cheval vapeur).

1 ch (cheval vapeur), soit 75 kg m/s développe une puissance de 736 W (75 kg m/s x 9,807 m/s²)

1.4) -B- La résistivité :

La résistivité est le pouvoir d'un matériau à résister au passage du courant électrique continu. La résistance d'un corps dépend de sa résistivité, donc de sa nature mais aussi de ses dimensions. Pour une même résistivité, elle est proportionnelle à sa longueur et inversement proportionnelle à sa section selon la relation :

$$\mathbf{R(\Omega) = \rho(\Omega/m) \cdot L(m) / s(m^2)}$$

avec ρ = résistivité du matériau; L = longueur du fil; s = section du fil

On distingue les conducteurs qui ont une faible résistivité (jusqu'à 1Ω/cm) et les isolants (plus de 100MΩ/cm). Entre ces deux extrémités se trouvent les semi-conducteurs. La résistivité est toujours donnée pour une température du matériau de 25°C. D'une façon générale, la résistivité d'un conducteur augmente avec sa température. On dit que son coefficient de température est positif. Par contre, la résistivité des isolants en règle générale diminue en fonction de la température : leur coefficient de température est négatif.

Résistivité de quelques matériaux : Cuivre = $1,6 \cdot 10^{-8} \Omega/cm$; Aluminium = $2,6 \cdot 10^{-8} \Omega/cm$; Fer = $10 \cdot 10^{-8} \Omega/cm$; Germanium (Ge) = 60 kΩ/cm ; Silicium (Si) = 230 kΩ/cm

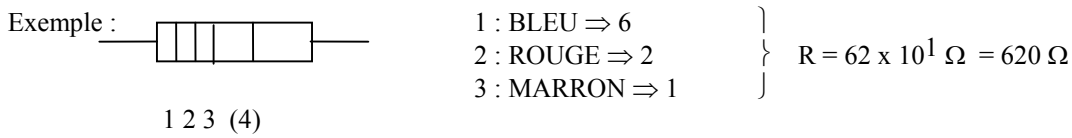
Exemple : un fil métallique a une longueur de 1 mètre, une section de 2 mm² et une résistance de 6 Ω. Quelle résistance aura ce même fil si sa longueur est de 2 mètres et sa section de 6 mm²?

Réponse : La longueur est multipliée par 2 et la section par 3 $\Rightarrow R = \rho \cdot L/S = 6\Omega \cdot (2/3) = 4\Omega$

1.5) -A- Le code des couleurs.

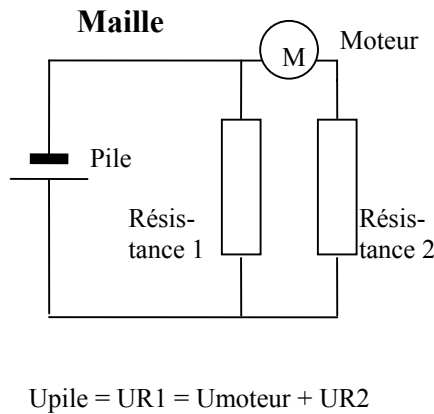
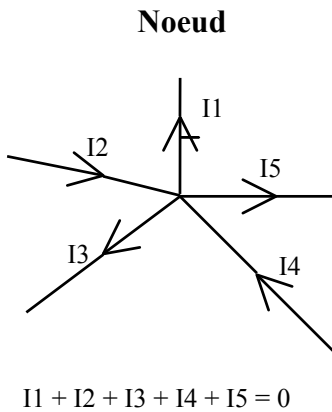
Mnémotechnique Initiale du mot = initiale de la couleur	Couleur des bagues	1ère bague 1er chiffre Dizaine	2ème bague 2è chiffre Unité	3ème bague multiplicateur Nombre de 0	4ème bague tolérance +/-
Ne	Noir		0	x1	Sans bague : 20%
Mangez	Marron	1	1	x10	1%
Rien	Rouge	2	2	x100	2%
Ou	Orange	3	3	x1.000	
Je	Jaune	4	4	x10.000	
Vous	Vert	5	5	x100.000	0,5%
Battrai	Bleu	6	6	x1 M	0,25%
Violemment	Violet	7	7	x10 M	0,1%
Grand	Gris	8	8	(x100 M)	
Bêta	Blanc	9	9	(x1.000 M)	
	Or			x0,1	5%
	Argent			x0,01	10%

Les bagues doivent être à gauche de la résistance et se lisent de la gauche vers la droite.

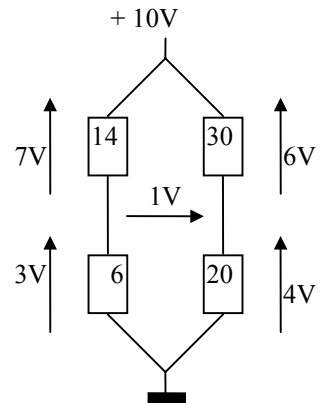


1.6) -A- Loi des noeuds et des mailles ou loi de Kirchhoff :

"Rien ne se perd, rien ne se crée" : la somme algébrique des courants passant en un noeud est nulle. La somme algébrique des tensions en une maille est nulle. Le pont de Wheatstone est une application de la loi des mailles.



Pont de Wheatstone

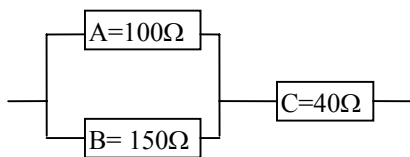


1.7) -A- Groupements Série et Parallèle (ou Dérivation)

	Groupement Série	Groupement Parallèle (ou Dérivation)
Schéma		
Résistance Equivalente	$R_t = R_1 + R_2 + \dots$	$R_t = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ (Produit sur Somme) (=les Pieds sur le Sol) ou $1/R_t = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$
Tension	Prorata des résistances $U_{R1} = U_t \cdot (R_1 / R_t)$ $U_t = U_{R1} + U_{R2} + \dots$	Constante $U_t = U_{R1} = U_{R2} = \dots$
Intensité	Constante $I_t = I_{R1} = I_{R2} = \dots$	Prorata inverse des résistances $I_{R1} = I_t \cdot (R_t / R_1)$ $I_t = I_{R1} + I_{R2} + \dots$

Lorsque l'on veut calculer la résistance équivalente d'un réseau complexe (enchevêtrement de résistances montées en série et en parallèle), on calcule la résistance équivalente de l'ensemble le plus élémentaire pour remonter au plus complexe.

Exemple : quelle est la résistance équivalente de cet ensemble ?



- Etape 1 : R totale (ensemble AB)
 $R_{AB} = \frac{150 \times 100}{150 + 100} = \frac{15000}{250} = 60$
- Etape 2 : R totale (AB et C)
 $R_{Totale} = R_{AB} + 40 = 60 + 40 = 100$

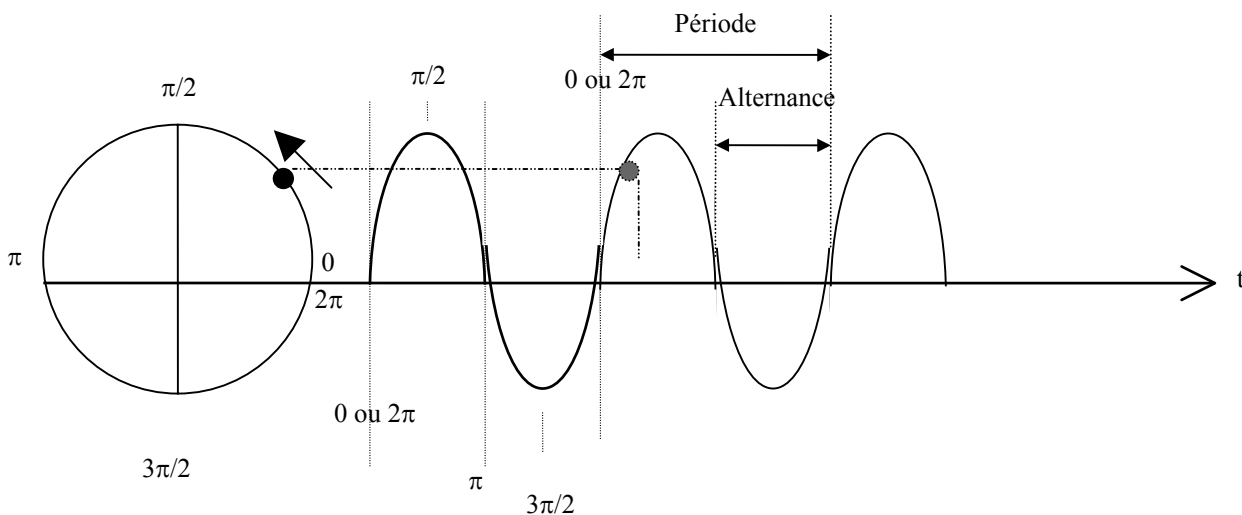
Avec une calculette, il faudrait entrer les données suivantes :

Entrée de données	Résultat affiché
100, fonction 1/x	0,01
Mise en mémoire (+)	
150, fonction 1/x	0,00666...
Mise en mémoire (+)	
Rappel de la mémoire	0.01666...
Fonction 1/x	60
+ 40 =	100

2) COURANTS ALTERNATIFS, SELFS et CONDENSATEURS

2.1) -A- Courants Alternatifs Sinusoïdaux

Sur un cercle, dont le rayon est 1, faisons bouger le point marqué d'un rond et examinons sa hauteur dans le temps. Le temps pendant lequel le point fait un tour s'appelle **période** ou cycle. La période est composée de deux **alternances** (positives et négatives) Le nombre de périodes par seconde est donné en **hertz** (Hz). Le temps, en secondes, d'une période est l'inverse de la fréquence en hertz, soit $t(s)=1/Fq(Hz)$, ou $t(ms)=1/Fq(kHz)$, ou encore $t(\mu s)=1/Fq(MHz)$. La **pulsation** (ω) est la distance que parcourt le point en une seconde, en radians par seconde(rad/s).



$$\omega \text{ (rad/s)} = 2\pi F \text{ (Hz)} = 6,28.F \text{ (Hz)}$$

Exemple : Quelle est la pulsation d'un signal dont la fréquence est de 10 MHz ?

$$\omega = 2\pi F = 6,28.10\ 000\ 000 = 62\ 800\ 000 \text{ rad/s}$$

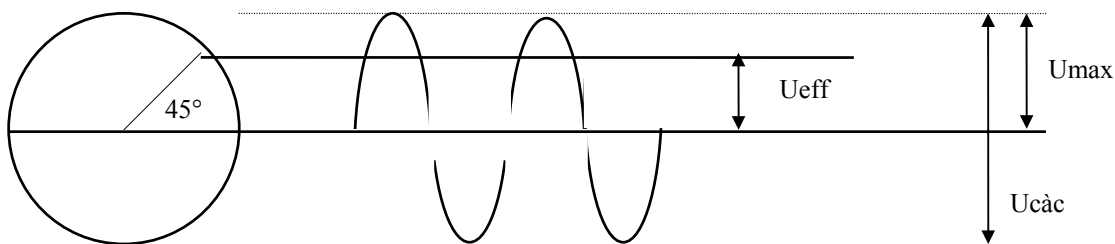
2.2) -A- Valeur maximum, efficace, moyenne, crête à crête.

On appelle **valeur maximale** (U_{max} ou I_{max}) la valeur la plus grande. On appelle **valeur efficace** (U_{eff} ou I_{eff}) la valeur pour laquelle les lois d'Ohm et de Joule peuvent être appliquées.

$$U_{max} = \sqrt{2}.U_{eff} = 1,414.U_{eff} \text{ ou } U_{eff} = (1/\sqrt{2}).U_{max} = (\sqrt{2}/2).U_{max} = 0,707.U_{max}$$

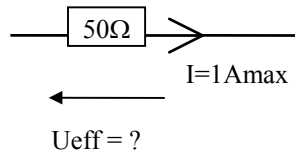
La **valeur moyenne** (lue par le galvanomètre) est la moyenne arithmétique du courant ou de la tension. La valeur **crête à crête** ($U_{càc}$ ou $I_{càc}$) est la valeur entre 2 extrêmes, soit 2 fois la valeur maximale pour un courant sinusoïdal.

$$U_{càc} = 2.U_{max} = 2\sqrt{2}.U_{eff}$$

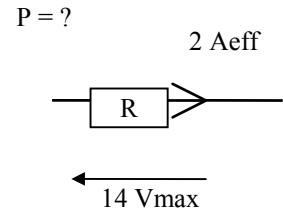


Exemples :

$I_{eff} = I_{max} \cdot 0,707$
 $I_{eff} = 1A \cdot 0,707$
 $I_{eff} = 0,707A$
 $U = R \cdot I$
 $U = 50 \cdot 0,707$
 $= 35,35 V$

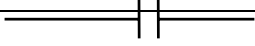

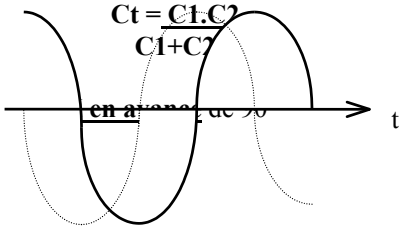
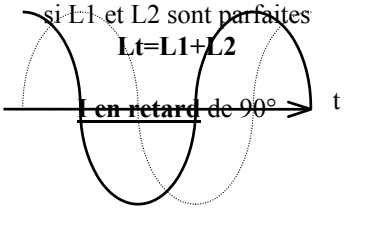


$P = U_{eff} \cdot I_{eff}$
 $U_{eff} = U_{max} \cdot 0,707$
 $U_{eff} = 14 \cdot 0,707 = 10V$
 $P = 10V \cdot 2A$
 $P = 20W$



ATTENTION : Seules les valeurs efficaces doivent être utilisées dans les calculs en courants alternatifs et surtout dès que la puissance (P) entre dans le calcul.

2.3) -A- Selfs et Condensateurs

	Condensateur	Self ou bobine
		
Fonctions	Laisse passer les tensions alternatives Effet électrostatique	Atténue les tensions alternatives Effet électromagnétique
Schéma		
Unités	farad (F) μF , nF, pF	henry (H) mH, μH
Formules	$C = \frac{d \cdot S}{E}$ d=constante diélectrique S=surfaces en vis à vis E=épaisseur du diélectrique Formule simplifiée* avec diélectrique = air ou vide $C(pF) = 8,8542 \cdot S (cm^2) / E (1/10 mm)$ $C(F) = Q(C) / U(V)$ ou $Q = C \cdot U$ Q=quantité emmagasinée en Coulomb U=tension aux bornes de C	$L = F \cdot N^2 \cdot D^2$ F=facteur de forme N=nombre de spires D=diamètre de la self Formule de Nagaoka simplifiée avec L en mH, n = nb de spires, d = diamètre de la self en cm, L = longueur de la self en cm $L = \frac{100 d}{4d + 11 L} \cdot n^2 \cdot d^2$
Impédance	Capacitance = $1/\omega C$ $Z(\Omega) = \frac{1}{2\pi F(Hz) \cdot C(F)}$ $Z(\Omega) = \frac{159}{F(MHz) \cdot C(nF)}$	Inductance = ωL $Z(\Omega) = 2\pi F(Hz) \cdot L(H)$ $Z(\Omega) = 6,28 \cdot F(MHz) \cdot L(\mu H)$
Montage Parallèle	$C_t = C_1 + C_2$	$L_t = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$
Série	Inverse des résistances $C_t = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$	Comme les résistances si L1 et L2 sont parfaites $L_t = L_1 + L_2$
Déphasage/U		
I =		
U =		

* La constante diélectrique des condensateurs varie selon le diélectrique employé (1 pour l'air ou le vide, 2 pour le PE, 2,3 pour le téflon, 3 à 4 pour le papier, 4,5 pour la fibre de verre, 5 à 7 pour le mica, 10 pour le verre, 10 à 10 000 pour les céramiques).

Le **code des couleurs des condensateurs** est identique à celui des résistances. Pour un condensateur, les couleurs se lisent du haut vers le bas (les pattes) et sont souvent au nombre de 5 : 1er chiffre, 2ème chiffre, Multiplicateur (comme pour les résistances). L'unité de base est le picofarad. Les deux dernières couleurs indiquent la tolérance (blanc : 10%, noir : 20%) et la tension à ne pas dépasser (rouge : 250 V, jaune : 400 V). Mais d'autres présentations existent aussi...

Le condensateur fonctionne grâce à l'effet **électrostatique** entre ses deux lames. C'est l'effet que l'on observe en frottant une règle en plexiglas avec un chiffon et qui attire de petits morceaux de papier. C'est aussi l'effet de la petite décharge électrique que l'on se prend en touchant un objet métallique après que l'on se soit trop frotté les pieds sur la moquette...

La self, quant à elle, fonctionne grâce à ses propriétés électromagnétiques. Par définition, le Henry (H) est l'inductance propre d'une bobine (sans ferrite) parcourue par un courant de 1 ampère et traversée par un flux total de 1 weber. On a donc la relation : $L = N \cdot \Phi / I$ avec L en henry (H), N est le nombre de spires de la bobine, Φ est le flux d'induction créé par la bobine en webers, I est le courant en ampère (A)

Les grandeurs électromagnétiques sont :

- le champ magnétique (noté H) se mesurant en ampère par mètre (A/m) pour les fils et en ampère-tours (A.t) pour les bobines,
- l'induction magnétique (notée B) qui est la valeur du champ H agissant sur une surface plane et perpendiculaire à ses lignes de force (l'unité est le Tesla (=10.000 Gauss)) est égale à 1 A.t sur une surface d'1 m² à l'intérieur des spires de la bobine (ou 1A/m sur une surface de 1m² autour d'un fil)
- le flux d'induction magnétique(noté Φ), calculé en weber (Wb) est la force électromagnétique créant aux bornes de la bobine une force électromotrice de 1 volt pendant 1 seconde

Pour calculer une self simple avec n spires, de rayon r et de longueur L (ces deux dimensions étant en pouces = 25,4 mm), on peut utiliser la formule simplifiée suivante :

$$L(\mu H) = \frac{n^2 \cdot r^2}{9 \cdot r + 10 \cdot L}$$

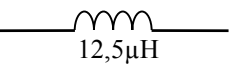
Exemple 1 : un condensateur a une capacité de 100 pF. Quelle sera sa valeur si on diminue de moitié la surface des lames en vis à vis?

$$C = d \cdot S / E ; \text{ si } S/2 \Rightarrow C/2 \Rightarrow C = 100/2 = 50 \text{ pF}$$

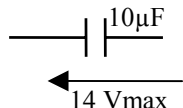
Exemple 2 : une self a une valeur de 5 μ H et possède 40 spires. Quelle sera sa valeur avec seulement 10 spires (en nH)?

$$L = F \cdot N^2 \cdot D^2 ; \text{ si } N/4 \Rightarrow L/16 \Rightarrow L = 5\mu H/16 = 0,3125 \mu H = 312,5 \text{ nH}$$

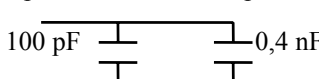
Exemple 3 :

F = 8 MHz  Z = ? $Z = \omega L = 2\pi FL = 6,28 \cdot 8 \cdot 10^6 \cdot 12,5 \cdot 10^{-6}$
 $= 6,28 \cdot 8 \cdot 12,5 = 6,28 \cdot 100 = 628\Omega$

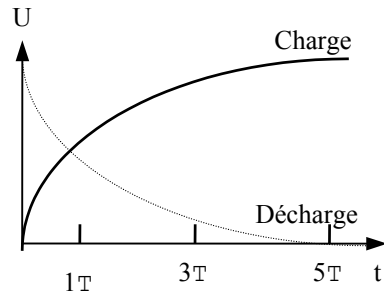
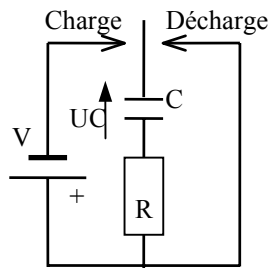
Exemple 4 :

F = 15 kHz  I_{eff} = ? $Z = 1/\omega C = 1/(2\pi FC) = 1/(6,28 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6})$
 $Z = 10^3/(6,28 \cdot 15 \cdot 10) = 1000/(6,28 \cdot 150) \approx 1\Omega$
 $14 \text{ Vmax} \cdot 0,707 \approx 10 \text{ Veff} ; I = U/R = 10 \text{ V}/1\Omega = 10 \text{ Aeff}$

Exemple 5 : Calculer la capacité équivalente (en pF)

 $0,4 \text{ nF} = 400 \text{ pF}$
 $C = C1 + C2 = 100 \text{ pF} + 400 \text{ pF} = 500 \text{ pF}$

2.4) -B- Charge, décharge et constante de temps pour les condensateurs :



$$T(s) = R(\Omega) \cdot C(F)$$

Temps	Charge		Décharge	
1T	63%	2/3	37%	1/3
2T	87%	8/9	13%	1/9
3T	95%	26/27	5%	1/27
4T	98,2%	80/81	1,8%	1/81
5T	99,3%	1	0,7%	0

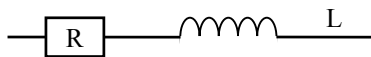
A chaque constante de temps T , le condensateur se charge (ou se décharge) des deux tiers environ (63,2% exactement) de la tension restant à ses bornes. Au bout de $1T$, on a $U_C = 2/3V$. Au bout de $2T$, la tension sera $8/9 \times V$ (ou $V - (1/9)V$). A $3T$, on aura $26/27 \times V$, etc... On considère qu'au bout de $5T$ (plus de 99%), le condensateur est chargé. Le raisonnement est inverse pour la décharge (moins de 1% de la tension résiduelle).

En charge, la tension aux bornes du condensateur est : $U(V) = E(V) \times (2,718^{-(t(s)/R(\Omega)C(F))})$. En décharge, la formule devient : $U(V) = E(V) \times (1 - (2,718^{-(t(s)/R(\Omega)C(F))}))$. $E(V)$ est la force électromotrice aux bornes du circuit, $U(V)$ est la tension aux bornes du condensateur, R et C sont calculés en Ohm et Farad, t est calculé en secondes. 2,718 est le nombre e (base du logarithme népérien égal à $(1+1/n)^n$).

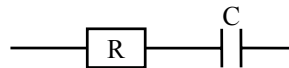
L'établissement du courant et de la tension dans une bobine (ou l'interruption du courant) fonctionne avec les mêmes caractéristiques. La constante de temps est dans ce cas $T(s) = L(H) / R(\Omega)$. Lors de l'interruption brusque du courant et lorsque L a une valeur importante par rapport à R , une tension inverse peut atteindre plusieurs dizaines de fois que la tension présente. C'est la **loi de Lenz**.

2.5) -C- Calcul de l'impédance de selfs et condensateurs non parfaits :

Les selfs et les condensateurs ne sont jamais parfaits : ils ont toujours une partie résistive (résistance du fil) qui ne s'ajoute pas à l'impédance (déphasage de 90°).



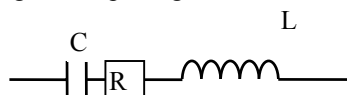
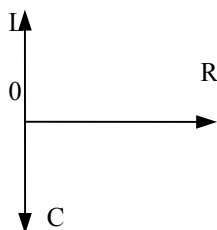
$$Z = \sqrt{(R^2 + Z_L^2)} = \sqrt{(R^2 + X_L^2)}$$



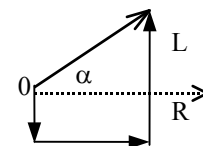
$$Z = \sqrt{(R^2 + Z_C^2)} = \sqrt{(R^2 - X_C^2)}$$

Facteur Q : le coefficient de qualité des selfs et des condensateurs (facteur Q) est le rapport de l'impédance de la self ou du condensateur par rapport à sa résistance pure. $Q = Z/R = 2\pi FL/R = 1/(2\pi FCR)$. Le facteur Q dépend donc de la fréquence. Quand la résistance pure est petite, le coefficient de qualité est important et meilleur est le composant.

Une capacité a toujours une composante réactive (self) à cause de la forme de son fil (en boucle) et une self a une composante capacitive à cause de l'espacement entre ses spires. Le déphasage de tension de la self est de $+90^\circ$, celui du condensateur de -90° . On ne peut donc pas les additionner. On raisonne avec les vecteurs. En partant de 0 et en gardant la même échelle en Ω , le vecteur d'impédance de la self va vers le haut, celui du condensateur vers le bas, le vecteur de la résistance va vers la droite. La résultante donne la valeur de l'impédance et son angle de déphasage.



$$Z = \sqrt{(R^2 + (X_L - X_C)^2)}$$



C
 $Z = \text{longueur } 0L$
 $\alpha = \text{déphasage}$

De même, les résistances, du fait de leur mode de fabrication ont des composantes réactives (spirale creusée dans le matériau pour ajuster la résistance) et capacitives (les embouts des résistances). Il a été constaté que,

quelque soit le type de résistance (CMS ou à fils) et la puissance, les résistances de faible valeur (jusqu'à 100 Ω) ont un comportement réactif (self). En revanche, les résistances de valeur supérieure à 300 Ω ont un comportement capacitif. Aux alentours de 150-200 Ω , les résistances ont un bon comportement en haute fréquence (jusqu'à quelques GHz). On peut utiliser ces résistances en les montant en série ou en dérivation pour obtenir la valeur de la résistance désirée.

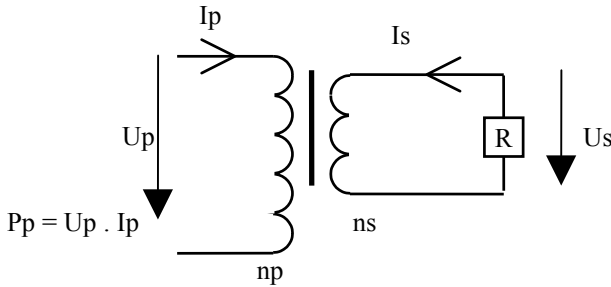
Les condensateurs ne sont pas non plus parfaits et ont toujours un courant de fuite. On calcule le courant de fuite des condensateurs (sauf ceux à air qui n'ont pas de courant de fuite) avec la formule suivante :

$$I (A) = 0,02 C(F) \times U(V) - U \text{ étant la tension de charge du condensateur.}$$

Enfin, en HF, le courant ne se déplace qu'à la superficie des fils des conducteurs, c'est ce que l'on appelle l'effet de peau. Il ne sert donc à rien d'utiliser du fil de 2,5 mm² monobrin (type alimentation secteur) mais plutôt plusieurs fils de petits diamètre, ce qui augmente la section dans laquelle peut se déplacer le courant HF

3) TRANSFORMATEURS, PILES et GALVANOMETRES

3.1) -A- Un transformateur est composé d'au moins deux enroulements enroulés autour d'un même circuit magnétique (empilement de tôles minces, ferrite ou air). L'énergie est appliquée sur le **primaire** et est récupérée sur le ou les **secondaires**. Un transformateur possède plusieurs caractéristiques : le **nombre de spires** de ses enroulements (n_p pour le primaire et n_s pour le secondaire) donne le rapport de transformation $T = n_s/n_p$; la **puissance** du transformateur (puissance utile délivrée au secondaire P_s en VA (voltampères)); le **rendement** η (rapport de la puissance à la sortie du ou des secondaires (P_s) sur la puissance d'entrée (P_p) exprimé en %. Un transformateur parfait a un rendement de 100 %. Un transformateur ne transforme que des courants alternatifs (et si possible sinusoïdaux).



$$T = \text{Rapport de transformation} = n_s/n_p$$

$$P_s = U_s \cdot I_s = U_p \cdot I_p = P_p$$

$$U_s = U_p \cdot T \quad \text{ou} \quad U_p = U_s / T$$

$$T = U_s / U_p \quad \text{ou} \quad T = I_p / I_s$$

$$I_s = I_p / T \quad \text{ou} \quad I_p = I_s \cdot T$$

$$Z_s = Z_p \cdot T^2 \quad \text{ou} \quad Z_p = Z_s / T^2 \quad \text{ou} \quad T = \sqrt{(Z_s/Z_p)}$$

$$T = n_s/n_p = U_s/U_p = I_p/I_s$$

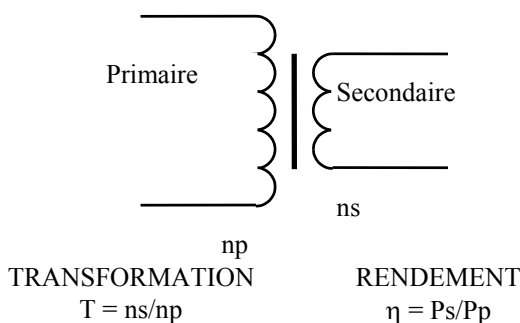
Exemple 1 : un transformateur est alimenté en 200 volts à son primaire. Il possède 30 enroulements au secondaire et 300 spires au primaire. Quelle sera la tension au secondaire ?

Réponse : $T = n_s/n_p = 30/300 = 1/10$; $U_s = U_p \cdot T = 200V/10 = 20V$

Exemple 2 : sur le secondaire d'un transformateur est branché une résistance de 200 ohms. On mesure 10 Veff à ses bornes. On mesure d'autre part sur le primaire du transformateur une intensité de 2,8 Amax. Quel est le rapport de transformation du transformateur ?

Réponse : $I_s = UR/R = 10V/200\Omega = 0,05 \text{ A} = \text{Intensité du secondaire}$;
 $2,8 \text{ Amax} \cdot 0,707 \approx 2 \text{ Aeff} = \text{Intensité du primaire}$; $T = I_p/I_s = 2/0,05 = 40$ (le transformateur est élévateur)

3.2) -C- Transformateur non parfait : un transformateur a un rendement qui est le rapport entre la puissance sur le secondaire et la puissance sur le primaire. $\eta(\%) = (P_s(W)/P_p(W)) \cdot 100$. Un rendement de 80% est courant pour les transformateurs d'alimentation. En utilisation normale, le rendement influe plus sur le courant que sur la tension. Plus on charge le transfo, plus la tension baisse (5%) et un transfo sous-utilisé (ou sous-dimensionné) a un mauvais rendement . Le rendement est optimum pour la puissance conseillée (en VA) par le constructeur. Le rendement influe aussi sur le rapport de transformation des impédances.



$$P_s = U_s \cdot I_s = P_p \cdot \eta$$

$$P_p = U_p \cdot I_p$$

$$U_s = U_p \cdot T$$

$$I_s = (I_p \cdot \eta) / T$$

$$Z_p = U_p / I_p$$

$$Z_s = U_s / I_s$$

$$= (U_p \cdot T) / (I_p / T \cdot \eta)$$

$$= (U_p \cdot T^2 \cdot \eta) / I_p$$

$$= Z_p \cdot T^2 \cdot \eta$$

$$\text{ou} \quad Z_p = Z_s / (T^2 \cdot \eta)$$

Le courant alternatif dans l'enroulement primaire engendre dans le circuit magnétique un flux alternatif. Ce flux variable engendre dans la tôle des courants induits dits **courants de Foucault** et provoque l'échauffement du matériau. Pour limiter ces pertes, le circuit magnétique sera feuilleté. Les pertes par courants de Foucault sont proportionnelles au carré de la fréquence, ce qui justifie la diminution de l'épaisseur des tôles quand la fréquence augmente. Pour les fréquences élevées (au delà de la B.F.), le feuilletage ne suffit plus, on emploie alors des poudres magnétiques ferritées (ferrite). La ferrite permet aussi d'augmenter le facteur Q d'un **circuit accordé**.

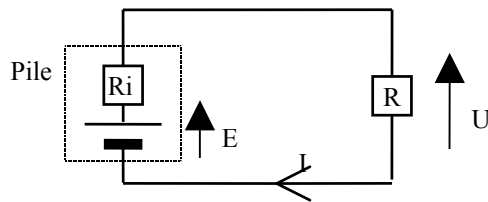
3.3) -A- Les piles et les accumulateurs sont des réserves d'énergie de courant continu. Seuls les accumulateurs sont rechargeables, ils accumulent l'énergie chimique. **Une pile est une source, Un accumulateur est une source ou une charge.** Une pile (ou un accumulateur) possède des caractéristiques propres : sa **force électromotrice**, ou fem (E), en volt est la tension à ses bornes sans charge; sa **résistance interne** (Ri) en ohm est la résistance chimique de la pile. Cette résistance est quasiment nulle pour les accus.

$$R_i = (E - U) / I = (E / I) - R$$

$$E = (R + R_i) \cdot I$$

$$Q(\text{en Ah}) = I \cdot t(\text{en heures})$$

$$Q(\text{en C}) = I \cdot t(\text{en secondes})$$



La **quantité d'énergie emmagasinée** dans une pile est calculée en coulomb (C) avec la relation **Q(C) = I(A) . t(s)** ou en ampère-heure (Ah) avec la relation : **1 Ah = 3600 C** ou 1 C = 1 Ah / 3600

Exemple 1 : aux bornes d'une pile dont la Fém est de 9 volts, on branche une résistance de 200 ohms. On constate un courant de 40 mA dans la résistance. Quelle est la résistance interne de la pile ?

Réponse : $U_R = R \cdot I = 200\Omega \cdot 0,04A = 8V$; $U_{ri} = E - U_R = 9V - 8V = 1V$; $r_i = U_{ri}/I = 1V/0,04A = 25\Omega$

Autre méthode : $r_i = (E/I) - R = (9V/0,04A) - 200\Omega = 225 - 200 = 25\Omega$

Exemple 2 : Un accumulateur dont la force électromotrice est de 12 volts et dont la résistance interne est négligeable se décharge en 3 heures lorsqu'on le branche sur une résistance de 10 ohms. Quelle est la capacité de l'accumulateur (en coulombs) ?

Réponse : $I = U_R/R = E/R = 12V/10\Omega = 1,2A$; $Q(C) = I(A) \cdot t(s) = 1,2 \cdot 3 \cdot 3600 = 12\,960\,C$

3.4) -B- Les galvanomètres sont des appareils de mesure d'intensité. Le courant déplace la bobine mobile surmontée d'une aiguille qui indique la déviation. Le galvanomètre a une **résistance interne** propre (Ri) et une **intensité de déviation maximum** (Ig). Un galvanomètre ne peut lire que de faibles intensités (intensité de déviation maximale, de l'ordre du milliampère, voire moins) ou de faibles tensions (Résistance interne x Imax de déviation, soit quelques microvolts). Des montages spécifiques permettent de lire des intensités plus élevées (grâce à un shunt) ou des tensions supérieures (grâce à une résistance en série). Le galvanomètre est alors monté en ampèremètre ou en voltmètre.

VOLTMETRE

$$U_T = U_R + U_G$$

$$U_G = R_i \cdot I_g$$

$$U_R = R \cdot I_g$$

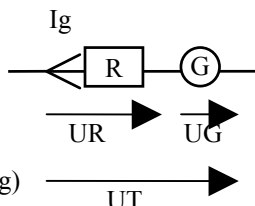
$$R = (U_T / I_g) - R_i$$

$$= (U_T/I_g) - (U_g/I_g)$$

$$= (U_T - U_g) / I_g$$

$$= (U_T - U_g) \times (R_g / U_g)$$

Ig doit être le plus faible possible



AMPEREMETRE

$$I_T = I_g + I_r$$

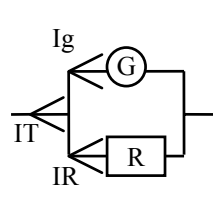
$$I_g = U_g / R_i$$

$$I_r = U_g / R$$

$$R = U / (I_T - I_g) \text{ ou}$$

$$= (R_i \cdot I_g) / (I_T - I_g)$$

$$= R_g / ((I_T - I_g) - 1)$$



Ug doit être le plus faible possible

Exemple :

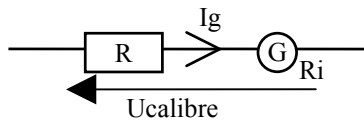
Nous possédons un galvanomètre dont les caractéristiques sont les suivantes : intensité de déviation maximum = $20\mu\text{A}$ et résistance interne = 10Ω . Comment réaliser un voltmètre dont le calibre est de 10 volts et un ampèremètre dont le calibre est 1 ampère ?

Réponse : Dans un voltmètre, la résistance est en série ; $U_G = I_G \cdot R_i = 0,000\ 02 \cdot 10 = 0,000\ 2\text{V}$; $U_R = U_{\text{cal}} - U_G = 10 - 0,000\ 2 = 9,999\ 8\text{V}$; $R = U_R / I_G = 9,999\ 8 / 0,000\ 02 = 499\ 990\Omega \approx 500\text{k}\Omega$
Autre méthode = $R = (U_{\text{cal}} / I_G) - R_i = (10 / 0,000\ 02) - 10 = 500\ 000 - 10 = 499\ 990\Omega$

Dans un ampèremètre, la résistance est parallèle ; $I_R = I_{\text{cal}} - I_G = 1\text{A} - 0,000\ 02\text{A} = 0,999\ 98\text{A}$; $R = U / I = U_G / I_R = 0,000\ 2\text{V} / 0,999\ 98\text{A} = 0,000\ 2\Omega$
Autre méthode : $R = (R_i \cdot I_G) / (I_{\text{cal}} - I_G) = (10 \cdot 0,000\ 02) / (1 - 0,000\ 02) = 0,000\ 2 / 0,999\ 98 = 0,000\ 2\Omega$

3.5) -C- Qualité des voltmètres (Ω/V) : Le rapport de la résistance totale du voltmètre sur le calibre en volts donne la qualité du Voltmètre. Ce rapport est directement fonction de la sensibilité du galvanomètre. Un Voltmètre a toujours le même rapport Ω/V quelque soit le calibre utilisé.

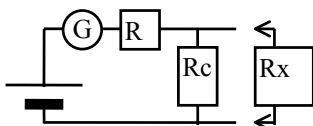
QUALITE D'UN VOLTMETRE
 $Q = (R + R_i) / U_{\text{calibre}} = \Omega/\text{V}$
 $Q = 1 / I_g = \Omega/\text{V}$



Pour les ampèremètres, le paramètre important est la résistance interne du galvanomètre. Plus celle-ci sera faible, meilleur sera l'appareil. Un bon appareil de mesure multimètre sera donc un appareil avec un galvanomètre de faible résistance interne et nécessitant une faible intensité de déviation maximum. Donc l'appareil multimètre idéal aura la tension de déviation maximum la plus faible possible.

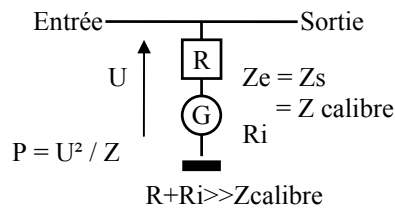
3.6) -C- Ohmmètre et wattmètre : Un ohmmètre est composé d'un ampèremètre avec lequel on détermine le courant traversant la résistance à mesurer. Un wattmètre est composé d'un voltmètre qui indique la puissance sous une impédance connue.

OHHMETRE
Nécessite une pile

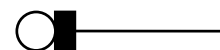


R_x est la résistance à mesurer
 R_c = résistance de calibre
 R limite le courant dans G

WATTMETRE
Pour une impédance fixe



3.7) -A- Le microphone est constitué d'une membrane qui recueille les vibrations de l'air et les transforme en variation de grandeurs électriques (en général tension). L'impédance d'un micro électret (phénomène piézo-électrique) est très élevée. Un micro céramique nécessite une alimentation (généralement une pile). Le micro le plus répandu reste le micro dynamique d'impédance moyenne (environ $1\text{k}\Omega$).



Microphone
(représentation synoptique)

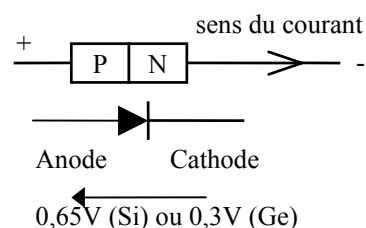
Le haut-parleur restitue les vibrations de l'air au rythme de l'intensité parcourue dans sa bobine. Son impédance est souvent très faible (quelques ohms).



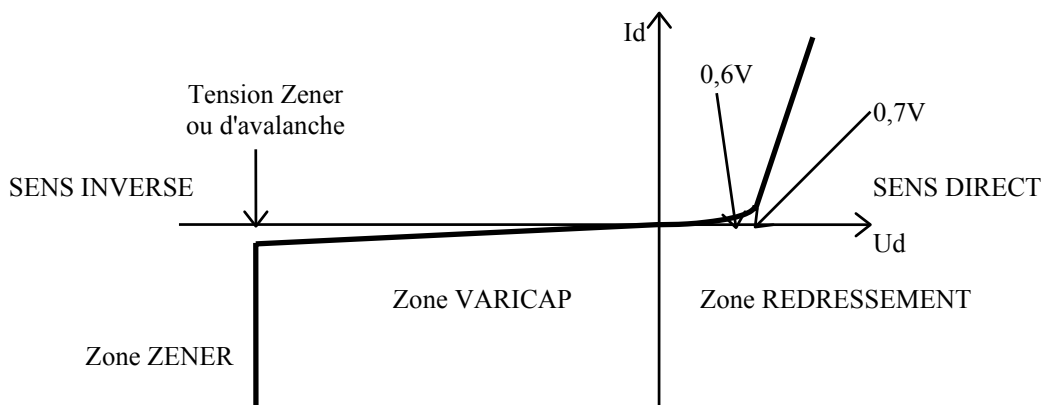
Haut-parleur
(représentation synoptique)

4) Les DIODES et leurs MONTAGES

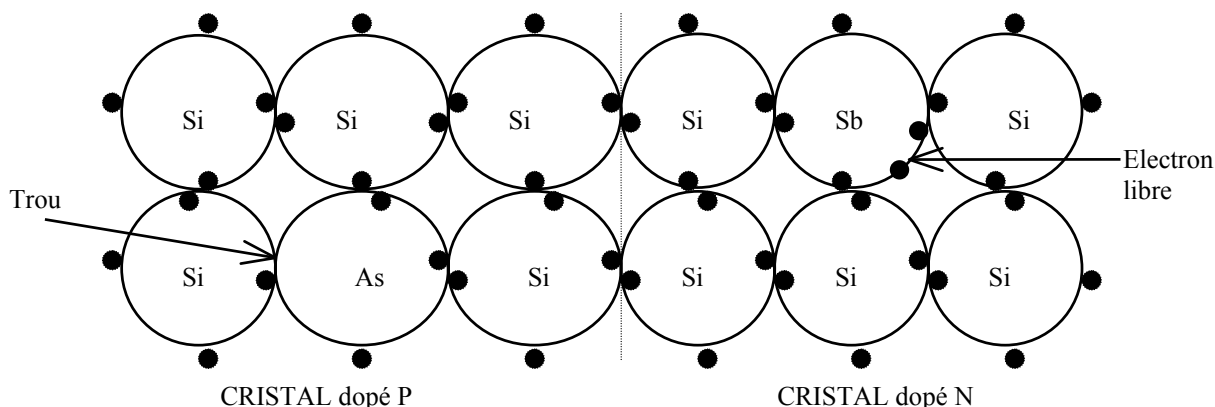
4.1) -B- Les diodes sont des composants actifs qui **laissent passer le courant dans un seul sens** : celui de leur flèche. Les diodes sont formées de deux cristaux semi-conducteurs en Silicium ou en Germanium accolés et dopés N ou P. Le courant électrique va dans le sens $P \Rightarrow N$. Lorsque la diode est passante, l'anode est reliée au + et la cathode au -. En sens inverse, la résistance est très importante (plusieurs centaines de $k\Omega$).



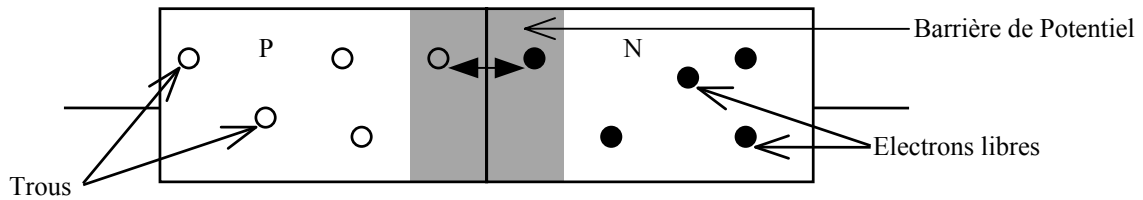
4.2) -C- Les diodes ont une chute de tension dans le sens direct de 0,6 ou 0,7 V pour les diodes Silicium (Si) et 0,3 V pour les Germanium (Ge). En sens direct, dès que la tension augmente au dessus du seuil (0,7 ou 0,3 V selon le cas), l'intensité dans la diode augmente très vite. En sens inverse, les diodes ont une résistance interne très élevée: plus la tension est élevée, plus leur barrière de potentiel s'élargit, c'est l'**effet Varicap**. Elles peuvent supporter des tensions inverses importantes jusqu'à leur tension de claquage (**tension Zener**). A ce moment, la résistance de la diode est nulle.



Les semi-conducteurs sont des cristaux qui, lorsqu'ils sont purs, ne sont pas conducteurs car ils ne possèdent pas d'électrons libres. En revanche, lorsque l'on introduit certains types d'impuretés (Antimoine (symbole chimique : Sb), Arsenic (As), Gallium (Ga)) en quantités infimes (10^{-8}), le cristal devient conducteur. Les impuretés ajoutent des électrons libres (et dopent le cristal en type N) ou, au contraire, ajoutent des "trous" (et dopent le cristal de type P).



Dans les cristaux dopés N, les électrons se déplacent en "chassant" les électrons déjà en place dans les atomes d'impureté de type N et qui sont instables car pas "liés" à d'autres atomes. Dans les cristaux dopés P, ce sont toujours les électrons qui se déplacent mais, dans ce cas, ils "bouchent" les trous créés par les impuretés de type P. Les "trous" sont des particules fictives qui se déplacent en sens inverse des électrons.



En l'absence de tension aux bornes de la diode, les électrons de la zone N se recombinent avec les trous de la zone P aux alentours de la jonction, créant la barrière de potentiel très résistante. Lorsque qu'on alimente la diode en sens inverse (zone N reliée au + et zone P reliée au -), les électrons désertent la zone N, attirés par la tension positive et les trous de la zone P sont bouchés par les électrons apportés par la tension négative ; la diode devient très résistante. En revanche, lorsqu'on alimente la diode en sens direct, les électrons de la zone N sont attirés par le potentiel positif branché sur la zone P et se recombinent avec les trous à la jonction. La tension de seuil est nécessaire pour que les électrons puissent "sauter" la barrière de potentiel.

4.3) -B- On distingue trois sortes de diodes : Redressement, Varicap et Zener

Diodes	Redressement	Varicap	Zener
Fonctions	Redresse le courant alternatif	condensateur à capacité variable	stabilisateur de tension
Schéma		<p>Tension de commande du circuit</p> <p>La fréquence de LC varie en fonction de la tension d'alimentation de la diode Varicap La diode est montée en inverse</p>	<p>La diode Z est une soupape qui stabilise la tension U_z R est la charge. R_z soulage la diode Zener. La diode est montée en inverse.</p>

4.4) -C- Dans une alimentation, le condensateur de filtrage transforme la valeur de la tension de sortie en tension crête. De même, les diodes font chuter de 1 volt environ à chaque passage, soit 2 volts en tout. Dans le cas d'un pont, comme présenté ci-dessous.

Eléments	Redressement Pont	Effet diodes	Lissage du condensateur
Forme du courant			
Calcul	Alternance 2 redressée U_s ne change pas.	Passage dans 2 diodes Chute de 2.1V	Filtrage $U_s = (U \cdot 1,414) - (2 \cdot 1V)$

Un régulateur est monté en série après le condensateur. L'élément est stabilisateur lorsqu'il est en parallèle sur la charge.

5) DECIBELS, CIRCUITS R-C et LOI DE THOMSON

5.1) -B- Le décibel (dB) est une unité permettant d'exprimer un **rapport** entre deux puissances, exprimées en watt

Gain (en dB) = $10 \log (P_s/P_e)$. P_s : puissance de sortie, P_e : puissance d'entrée

Dizaine de dB	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Gain	1.	10.	100.	10^3 .	10^4 .	10^5 .	10^6 .	10^7 .	10^8 .	10^9 .
Unité de dB	<u>0</u>	1	2	<u>3</u>	4	5	<u>6</u>	7	8	<u>9</u>
Gain	<u>1</u>	1,25	1,58	<u>2</u>	2,5	3,16	<u>4</u>	5	6,3	<u>8</u>

Exemple :

Gain \Rightarrow dB :

Gain = 8 \Rightarrow 9 dB

Gain = 400 = $4 \cdot 100 \Rightarrow$ 26 dB

Table de conversion simplifiée :

Gain

dB

1 0

2 3

4 6

8 9

dB \Rightarrow Gain

6 dB = 4

13dB = $10 \times 2 = 20$

20dB = $100 \times 1 = 100$

dB 9

2 6

1 3

2 0

↑

↘

↘

↘

Gain

8

4 00

2 0

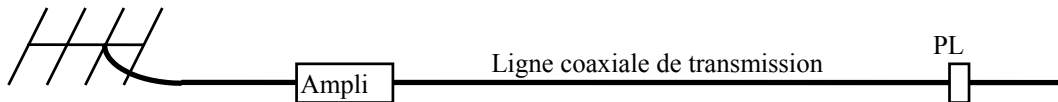
1 00

Un nombre de dB négatif indique une atténuation et non un gain.

Exemple : -6dB = $1/(1 \times 4) = 1/4$

Les décibels se calculent avec des logarithmes et possèdent donc leurs caractéristiques : ils transforment les gains successifs (multiplication) en addition, les pertes (division) en soustraction, les puissances en multiplication et les racines en division.

Exemple:



Antenne 19dB
Gain=80

Ampli 20dB
Gain=100

33m Coaxial (-3dB/100m)
Perte=0,5 pour 100m

-2dB
Perte=0,7

Réponse :

Perte du câble coaxial au mètre : $3\text{dB}/100 = 0,03\text{dB}$

Perte du câble coaxial : $0,03\text{dB}/\text{m} \times 33\text{m} = 1\text{dB}$ (perte=0,8)

Gain de l'ensemble : $19\text{dB} + 20\text{dB} - (3\text{dB}/100 \times 33) - 2\text{dB} = 36\text{dB}$ (gain=4000)

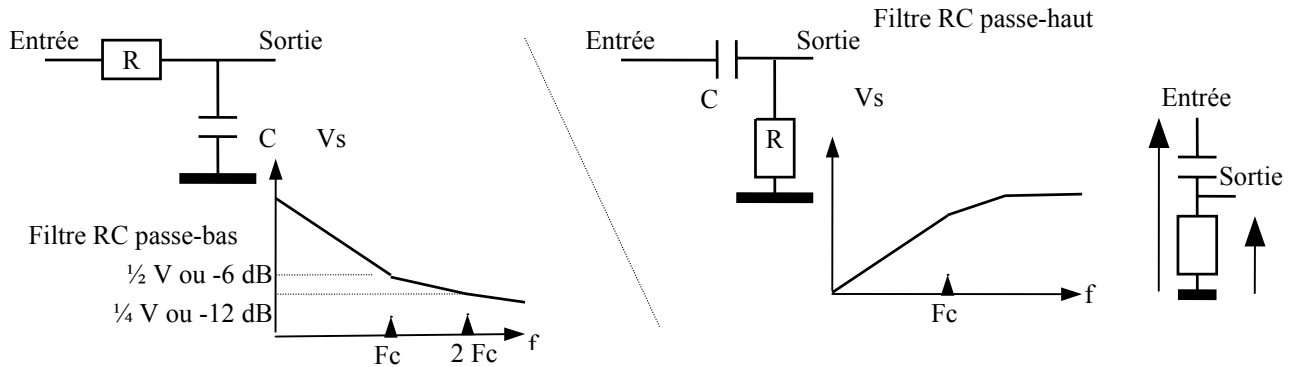
Sur les calculatrices, pour passer du gain au décibel : afficher le gain (ex : 20), utiliser la fonction LOG (résultat = 1,3) et multiplier par 10 (résultat = 13) : gain de 20 = 13dB.

Pour passer des décibels au gain, afficher les décibels (ex : 13), diviser par 10 (résultat = 1,3), utiliser la fonction 10^x (10 puissance x, généralement proche de la fonction LOG) (résultat = 20).

5.2) -A- Un circuit RC a une fréquence de résonance ou fréquence de coupure, appelée F_c . Les filtres RC sont essentiellement dédiés à la B.F. (quelques Hz). A la fréquence de résonance, on a $Z_C=R$, d'où :

$$F(\text{Hz}) = \frac{1}{2\pi R(\Omega)C(\text{F})} = \frac{159}{R(\text{k}\Omega) \cdot C(\mu\text{F})}$$

L'atténuation est de 6 dB à la résonance puis de 6 dB par octave (voir définition en 5.3)



Mnémotechnique : Dans un filtre passe bas, le condensateur est en bas. Le condensateur est en haut dans un filtre passe-haut

Il existe aussi des circuits RL fonctionnant de la même manière que les circuits RC. La fréquence de coupure de ces filtres est : $F = R / (2\pi L)$. Un circuit passe bas aura la self en haut du circuit et inversement pour un passe haut.

Exemple : Quelle est le fréquence de coupure d'un filtre RC Passe-haut avec $R=200\Omega$ et $C=5\mu\text{F}$?

Réponse : $F = 159 / (R(\text{k}\Omega) \cdot C(\mu\text{F})) = 159 / (0,2 \cdot 5) = 159 / 1 = 159 \text{ Hz}$

5.3) -A- Les circuits LC ont une fréquence de résonance ou de coupure, appelée F_o . On a $Z_C=Z_L$ (loi de Thomson), d'où :

$$F_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{6,28\sqrt{L \cdot C}}$$

$$F(\text{MHz}) = \frac{159}{\sqrt{L(\mu\text{H}) \cdot C(\text{pF})}}$$

	Filtre Série (Passe bande)	Filtre Parallèle (Bouchon)
Schéma		
Impédance	Nulle à la Fréquence F_o	Infinie pour F_o
Réponse en Fréquence Résonance		
	Filtre Passe Haut	Filtre Passe Bas
Schéma		
Réponse en Fréquence Coupure		

Exemple : Quelle est la fréquence de résonance d'un circuit bouchon avec $L=32\mu\text{H}$ et $C=200\text{pF}$?

$F(\text{MHz}) = 159 / (\sqrt{L(\mu\text{H}) \cdot C(\text{pF})}) = 159 / (\sqrt{32 \cdot 200}) = 159 / (\sqrt{6400}) = 159 / 80 \approx 2 \text{ MHz}$

Le filtre bouchon est un filtre utilisé pour bloquer les signaux H.F. désirés. L'impédance très élevée à la fréquence de résonance, F_0 , empêche la H.F. de sortir.

La fréquence que donne la loi de Thomson est appelée **fréquence de résonance** dans le cas des circuits bouchon ou série et **fréquence de coupure** dans le cas des circuits passe bas et passe haut.

Pour baisser la fréquence de résonance (ou de coupure) d'un circuit, on peut soit augmenter la valeur du condensateur, soit augmenter la valeur de la self (en particulier en introduisant un noyau magnétique dans la self). Inversement, pour augmenter la fréquence, il faut réduire la valeur du condensateur et/ou de la self. Pour doubler la fréquence de résonance, il suffit de diviser par quatre la valeur du condensateur ou de la self (effet de la racine carrée). Inversement, il faut multiplier par 4 la valeur de la self ou du condensateur pour diviser par deux la fréquence de résonance du circuit.

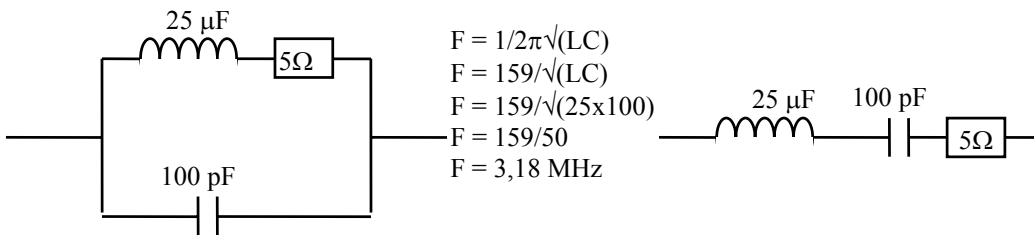
Une **octave** (par référence à la musique) est l'harmonique 2 d'une fréquence. La deuxième octave est l'harmonique 3. La décade est l'harmonique 10 d'une fréquence.

Pour les circuits passe haut et passe bas, à la fréquence de coupure, l'atténuation est de 6 dB par cellule (RC, LC ou RL). En effet, pour cette fréquence, on a la moitié de la tension en sortie ($Z_C = Z_L$ ou $Z_C = R$), donc le quart de la puissance ($P=U^2/R$), donc une atténuation de 6 dB.

Au delà de la fréquence de coupure, **l'ordre d'atténuation** de tous les circuits passe bas est de 6 dB par octave et par élément actif (L ou C). Ainsi, le filtre passe bas RC a une atténuation de 6 dB/octave. Le filtre passe bas LC a une atténuation de 12 dB/octave. On dit aussi que c'est un filtre du deuxième ordre.

Un filtre passe bas composé de deux circuits LC passe bas en série fonctionnant sur la même fréquence aura une atténuation 60 dB à l'harmonique 3 (12 dB à la coupure puis 24 dB (4x6) par octave, donc deux fois pour l'harmonique 3).

Calcul de l'impédance de circuit bouchon et passe bande non parfait



$$\begin{aligned}
 F &= 1/2\pi\sqrt{LC} \\
 F &= 159/\sqrt{LC} \\
 F &= 159/\sqrt{25 \times 100} \\
 F &= 159/50 \\
 F &= 3,18 \text{ MHz}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 1/Z &= 1/(\omega L + R) + 1/(\omega C) \\
 Z &= L / (R \times C) \text{ à la résonance} \\
 \text{ou } Z(\text{k}\Omega) &= L(\mu\text{F}) / (R(\text{k}\Omega) \times C(\text{pF})) \\
 Z &= 25 / (0,005 \times 100) \\
 Z &= 25 / 0,5 = 25 \times 2 = 50 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z &= \sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2} \\
 \text{A la résonance, } Z_L &= Z_C \\
 \text{donc } Z_L - Z_C &= 0 \\
 Z &= R \\
 Z &= 5 \Omega
 \end{aligned}$$

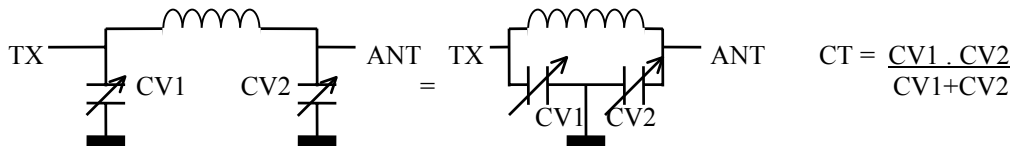
Calcul du facteur Q d'un circuit bouchon : $Q = Z/R = \frac{L/(R \times C)}{R}$

Dans notre exemple de circuit bouchon ci dessus, on aura :
 $Q = 25 \cdot 10^{-6} / (100 \cdot 10^{-12} \times 5) / 5 = 25 \cdot 10^6 \times (100 \times 5) / 5 = 50000 / 5 = 10000$

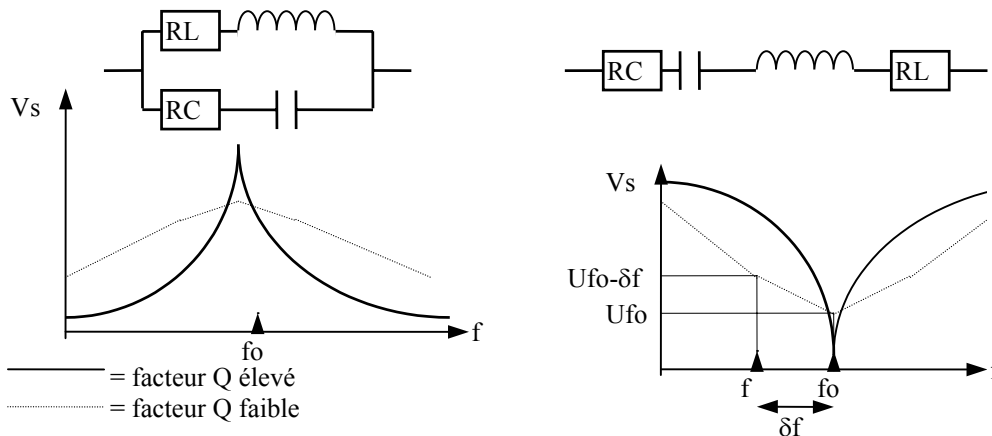
Calcul de la bande passante (B) à -3 dB d'un circuit bouchon à sa fréquence de résonance (F0) : $B = F_0 / Q$

Dans notre exemple ci dessus, on aura : $B = 3,18 \text{ MHz} / 10000 = 0,318 \text{ kHz} = 318 \text{ Hz}$. (c'est un très bon filtre...)

5.4) -B- Le filtre en PI (par référence à la lettre grecque Π) est un filtre passe-bas anti-harmonique qui a la particularité d'avoir une impédance d'entrée et une impédance de sortie différentes. Ainsi l'impédance du câble et donc de l'antenne est accordée à l'impédance du transceiver grâce aux deux condensateurs variables. L'atténuation de ce filtre est de 18 dB par octave (3 éléments actifs). Le filtre en PI est un filtre du troisième ordre.



5.5) -C- Le coefficient de surtension des circuits oscillants est le facteur Q à la résonance. Plus le facteur Q est important, plus le filtre est sélectif et pointu, plus ses flancs sont raides. Le facteur Q est un nombre sans unité qui caractérise la plus ou moins grande capacité du circuit (ou du composant) à effectuer un travail. La valeur de Q est comprise, pour une bonne qualité, entre 60 et 200. Pour le calcul du facteur Q, voir paragraphe 5-3



Le facteur Q détermine la "pente" de la courbe de réponse en fréquence. La pente

$$Q_{co} = \frac{f_0}{2\delta f \cdot \sqrt{((U_{f_0}/U_{f_0-\delta f})^2 - 1)}}$$

Attention : la bande passante du circuit (B_{co}) est le double de δf : $B_{co} = 2\delta f$

La relation qui unit bande passante d'un circuit oscillant à -3dB (B_{co}), fréquence de résonance (F_0) de ce circuit et facteur de qualité (Q_{co}) de celui ci est la suivante : **$F_0 = B_{co} \cdot Q_{co}$** ou encore $B_{co} = F_0/Q_{co}$

Lorsque l'atténuation à la fréquence f est de 10 dB par rapport à la fréquence de résonance, on a $Q_{co} = F_0 / (B_{co} / 3,52)$

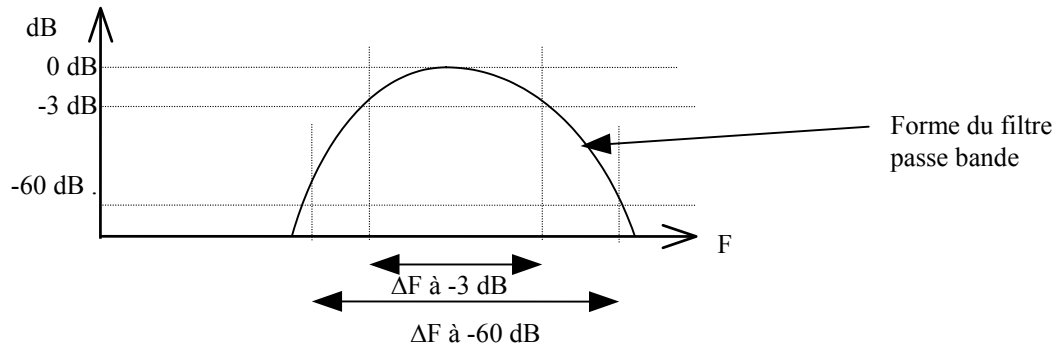
Dans un circuit RL ou RC en série, on a $Q = Z/R$. On sait que le facteur Q de l'ensemble du circuit oscillant

$$(Q_{co}) = \frac{Q_L \cdot Q_C}{Q_L + Q_C} \text{ . A la résonance, on a } Z_L = Z_C, \text{ donc : } Q = \frac{Z_C}{R_C + R_L} = \frac{Z_L}{R_C + R_L}$$

En remplaçant $R_C + R_L$ par R_{co} , on a $R_{co} = Z_L/Q = Z_C/Q$

La résistance en parallèle équivalente due aux pertes induites par R_{co} dans un circuit bouchon à la résonance est égale à l'impédance de la self (ou du condensateur) multiplié par le facteur Q : $R = Z_L \cdot Q = Z_C \cdot Q$

Le **taux de sélectivité** d'un filtre passe bande se mesure comme le rapport (en %) de la bande passante à -3 dB sur la bande passante à -60 dB. Le facteur de forme est l'inverse. Plus le coefficient de surtension est élevé, plus les flancs sont raides et plus le taux de sélectivité se rapproche de 100%.



$$\text{Taux de sélectivité (en \%)} = \frac{\Delta F \text{ à } -3 \text{ dB}}{\Delta F \text{ à } -60 \text{ dB}} \times 100 \quad \text{Facteur de forme} = 100 / \text{Taux de Sélectivité}$$

5.6) -C- Calcul de la fréquence de résonance avec L et C à calculer :

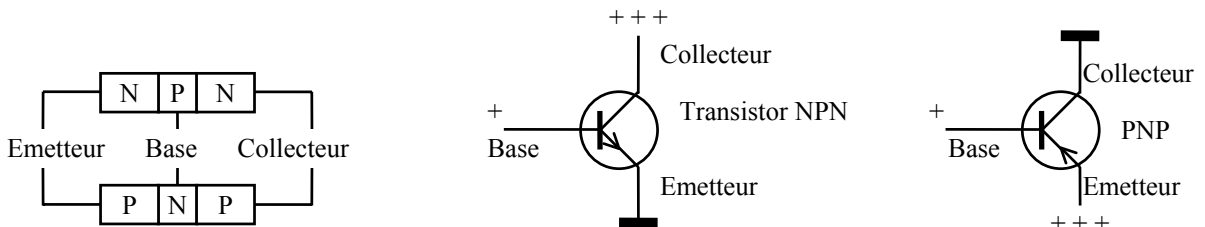
La formule de base est $F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, donc $C = \frac{1}{4\pi^2 F^2 L}$ ou $L = \frac{1}{4\pi^2 F^2 C}$.

Avec C en pF, L en μH et F en MHz, on a $C = \frac{25281}{F^2 L}$ ou $F = \frac{25281}{F^2 C}$

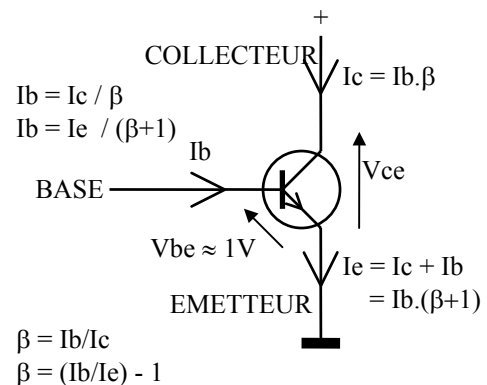
On peut aussi déduire la pulsation : $2\pi F \text{ (r/s)} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

6) Les TRANSISTORS et leurs MONTAGES

6.1) -B- Un **transistor** est composé de deux diodes montées tête-bêche. Un transistor peut donc être **NPN ou PNP**. On différencie les deux transistors par le sens de leur flèche. Quand la flèche Pénètre, il s'agit d'un PNP; quand elle Ne Pénètre pas, il s'agit d'un NPN. Le sens de la flèche indique le sens du courant dans le transistor. Un transistor est composé d'un **émetteur**, d'une **base** où est appliqué le signal d'entrée et d'un **collecteur** où l'on recueille le signal amplifié. La première lettre du type du transistor donne la polarité où doit être branché l'émetteur du transistor (NPN=émetteur au -, PNP=émetteur au +). Le collecteur est branché à la polarité inverse de l'émetteur. La base est connectée à une polarité intermédiaire.



6.2) -B- Gain d'un transistor : Le courant collecteur est directement fonction du courant de base. Quelle que soit la tension collecteur, on a **$I_c = I_b \cdot \beta$** ou **$I_b = I_c / \beta$** . Le β (bêta) est le gain du transistor. Le gain du transistor est toujours donné par le constructeur pour du courant continu et pour une température de 20°C. Le gain augmente avec la température, d'où les problèmes liés à l'emballement thermique. Le gain du transistor diminue lorsque la fréquence à amplifier augmente. On appelle **fréquence de coupure** la fréquence pour laquelle le gain du transistor n'est plus que de 70% du gain initial.



Exemple : on applique sur la base d'un transistor dont le gain (β) est de 80 un courant de 500 μA . Quelle intensité doit-on constater sur le collecteur du transistor (en mA)?

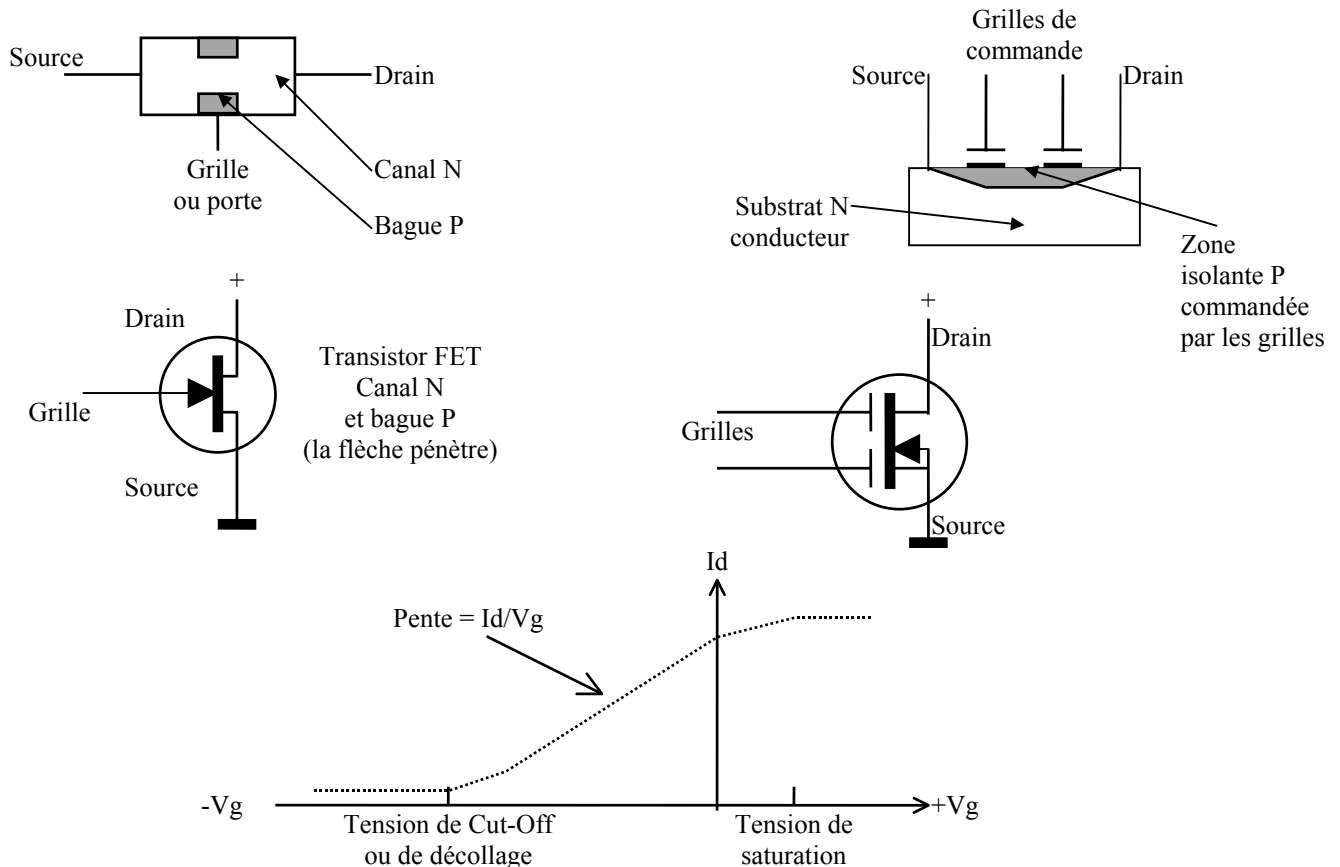
Réponse : $I_c = I_b \cdot \beta = 500 \mu\text{A} \cdot 80 = 40\,000 \mu\text{A} = 40 \text{ mA}$

6.3) -C- Les transistors peuvent être montés de trois manières différentes et ont des caractéristiques spécifiques pour ces trois montages.

Caractéristiques	Emetteur commun	Collecteur commun	Base commune
Montage			
Gain en intensité en tension	$I_c = I_b \cdot \beta$, Gain = β Moyen	$I_e = I_b \cdot (\beta + 1)$, Gain = $\beta + 1$ Pas de gain (<1)	$I_c \approx I_e$, Gain = $\beta / (\beta + 1) < 1$ Élevé
Z Entrée/Sortie	Moyenne / Élevée	Élevée / Basse	Basse / Très élevée
Déphasage	180°	Pas de déphasage	Pas de déphasage

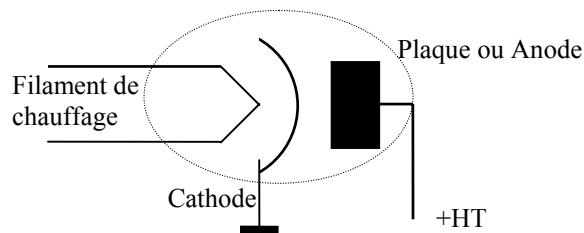
6.4) -C- Les transistors FET (transistors à effet de champ) et MOS-FET (Substrat à Oxyde de

Métal) sont des transistors spéciaux qui se comportent différemment. Ils **s'apparentent** plus **aux tubes thermoioniques** qu'aux transistors. L'entrée s'appelle la **source**, la sortie s'appelle le **drain**, et la ou les commandes se nomment **portes ou grilles**. Le canal (ou le substrat) est un élément semi-conducteur de type N. La porte est un semi-conducteur de type P et entoure le canal. La jonction PN au niveau de la porte est isolante lorsque la tension de la porte est négative par rapport au canal. Lorsque la tension inverse sur la porte augmente, le canal se rétrécit et l'intensité diminue. On ne parle pas de gain mais de **pen**te, qui est le rapport de l'intensité du drain sur la tension appliquée à la porte (I_d/V_g). L'impédance d'entrée du circuit est très grande (de l'ordre de l'impédance de la diode montée en sens inverse). L'impédance de sortie est très faible et varie en fonction de la tension de porte (V_g). Dans le cas d'un MOS-FET double porte, G1 est la grille de commande où le signal est à appliquer, la tension de G2 est ajustée pour obtenir le gain maximum. Dans le cas d'un mélangeur, les signaux à mélanger sont appliqués sur G1 et G2.



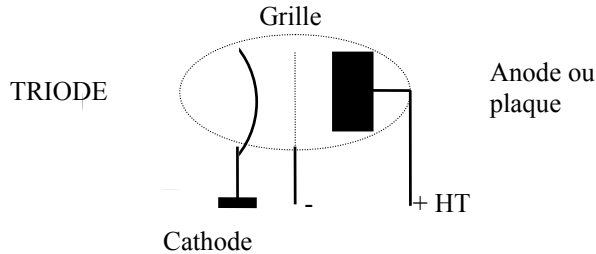
6.5) -C- Les tubes thermoioniques sont encore employés dans les amplificateurs de puissance. Les diodes

thermoioniques (appelées aussi valves) ont été les premiers tubes thermoioniques mis au point au début du 20^è siècle. Dans une ampoule en verre ou en céramique, dans laquelle on a fait le vide, se trouve une électrode, la **cathode**, constituée d'un fil métallique porté à haute température par un **filament** (souvent alimenté en 6,3 V). La température élevée de la cathode génère un émission d'électrons. Ceux-ci sont récupérés par **l'anode**, ou plaque, lorsque sa tension est positive par rapport à la cathode. Le courant sera d'autant plus fort que la tension plaque sera élevée (50 V et plus).



6.6) - C Les autres tubes thermoioniques

On peut faire varier l'intensité plaque en insérant entre anode et cathode une **grille de commande**, alimentée négativement par rapport à la cathode (-6 V à 0 V). Plus la tension grille est négative, plus le courant plaque est faible. Ce tube s'appelle une **triode**. Dans les schémas, les filaments de chauffage ne sont souvent pas représentés.



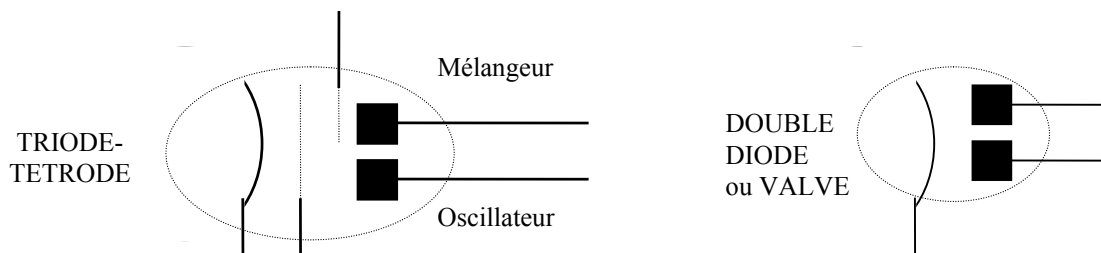
En augmentant la fréquence d'utilisation du tube, des effets capacitifs entre grille et plaque nuisent au bon fonctionnement du tube. Pour éviter ce phénomène, on insère une électrode supplémentaire entre grille et plaque : **l'écran**. Celui-ci est alimenté à la moitié de la tension plaque et augmente l'isolement entre l'entrée et la sortie du tube. Le tube s'appelle alors **tétrode**.

On obtient un résultat similaire avec la méthode du **neutrodynage** : un condensateur ajustable est branché entre grille et plaque.

Dans la lampe **pentode**, on ajoute une troisième grille, la **suppresseuse**, qui est reliée à la cathode. Sans cette grille, le choc des électrons sur la plaque les fait rebondir et retournent sur l'écran.



Il existe d'autres tubes avec des fonctions spécifiques et des électrodes supplémentaires. Certaines ampoules accueillent plusieurs tubes intégrant différentes fonctions (ex : double triode, oscillateur-mélangeur, double diode)

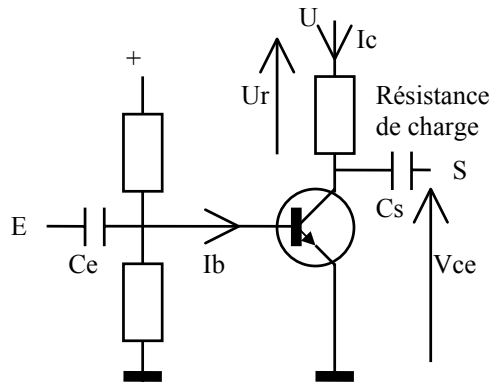


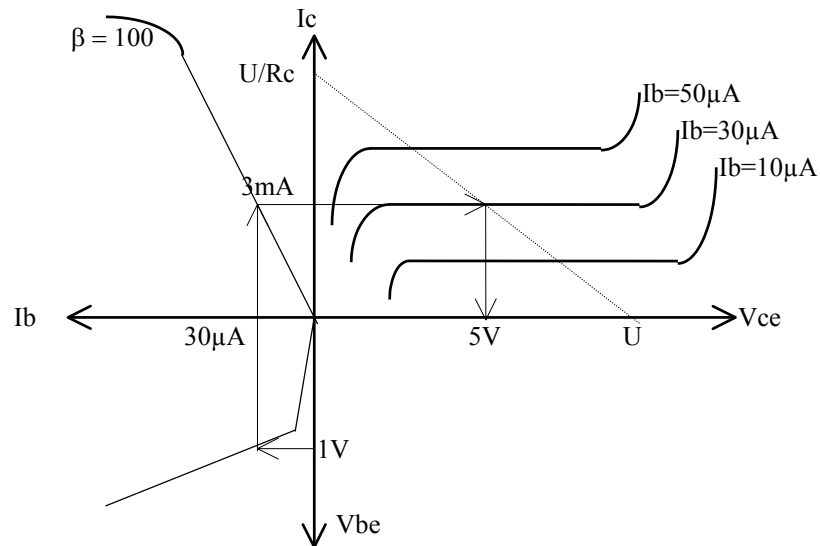
7) AMPLIFICATEURS, OSCILLATEURS et MELANGEURS

7.1) -B- Les classes d'amplification

	Classe A	Classe B	Classe C
Schéma			
Forme du signal amplifié			
Commentaire	Montage classique Génère peu d'harmoniques	2 transistors, 2 transfos peut générer des harmoniques impaires (3F, 5F, 7F, ...)	peu courant (CW) génère des harmoniques (2F, 3F, 4F, ...)
Rendement	30 à 35%	50%	70 à 80% et +

7.2) -C- La résistance de charge (R_c) est le dispositif normalement utilisé en classe A pour récupérer les variations de tension aux bornes du transistor. Les variations de tension sur le condensateur d'entrée, C_e , créent les variations de I_b (effet diode de la jonction base-émetteur). Les variations d' I_b créent les variations d' I_c ($I_c = \beta \cdot I_b$) quelque soit la tension V_{ce} . I_c est traduit en tension sur R_c ($U = R \cdot I$), puis récupérée sur le condensateur de sortie, C_s , pour transmettre le signal à l'étage suivant. La résistance de charge détermine la **droite de charge** de l'amplificateur dont la pente est négative. Quand I_b est nul, I_c est nul, U_r est nul; la sortie est au potentiel d'alimentation (+). D'autre part, le courant maximum dans R_c est $U(+)/R_c$.



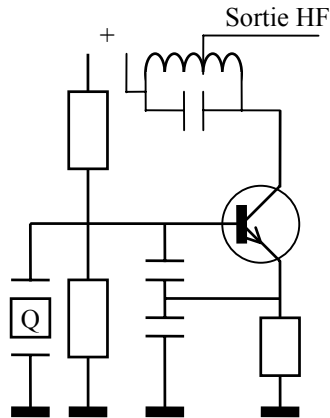


Le graphique est composé de 3 quadrants. Celui du bas représente la variation du courant de base en fonction de la tension entre base et émetteur : c'est une courbe qui ressemble à celle de la diode en sens passant. Le quadrants de gauche représente le rapport I_c / I_b , c'est-à-dire le gain (β) du transistor. Le quadrant de droite représente les valeurs de I_c en fonction de V_{ce} pour des courants de base fixés. La droite de charge, marquée en pointillé, indique les points de fonctionnement de l'amplificateur. Quand on a $I_b = 30 \mu A$, on a $I_c = 3mA$ et $V_{ce} = 5V$ et pour avoir $I_b = 30 \mu A$, il faut une tension V_{be} de 1 V.

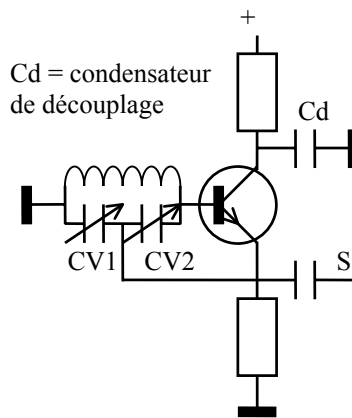
En lisant ce graphique, on voit bien que si on augmente V_{be} , V_{ce} sera plus faible, ce qui explique le déphasage de 180° que génère le montage.

7.3) -B- Liaisons entre les étages : les différents étages d'un montage peuvent être liés de différentes manières. En **direct**, le collecteur est relié à la base du transistor de l'étage suivant. Pour éviter des problèmes de niveau de tension, on peut rajouter un **condensateur** dans le cas de courant alternatif. Toujours dans ce cas et pour adapter des impédances, on utilise la liaison par **transformateur**.

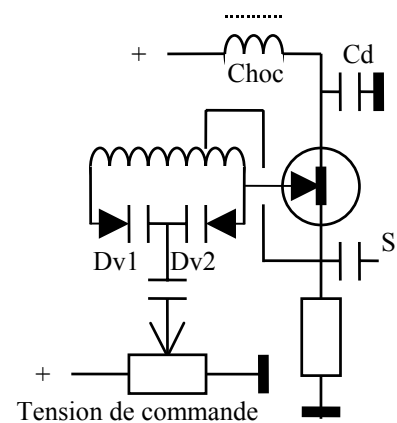
7.4) -C- Un oscillateur est un circuit générateur de signaux sinusoïdaux de fréquence calculée. Il existe des oscillateurs à fréquence fixe (à quartz) (**VXO**) et à fréquence variable. Ces derniers peuvent commandés mécaniquement avec un CV (**VFO**), électriquement avec une diode Varicap (**VCQ**) ou électroniquement avec un synthétiseur **PLL** (Bouclage de Phase) ou **DDS** (Synthèse Directe de Fréquence).



Oscillateur à Quartz, système Colpitts fréquemment utilisé avec les quartz
Très stable, facile à mettre au point
Possibilité d'utiliser le circuit LC de sortie en multiplicateur de fréquence



VFO système Clapp, réinjection par point milieu du CV. CV1 et CV2 sont les deux cages d'un condensateur variable mécaniquement liées.

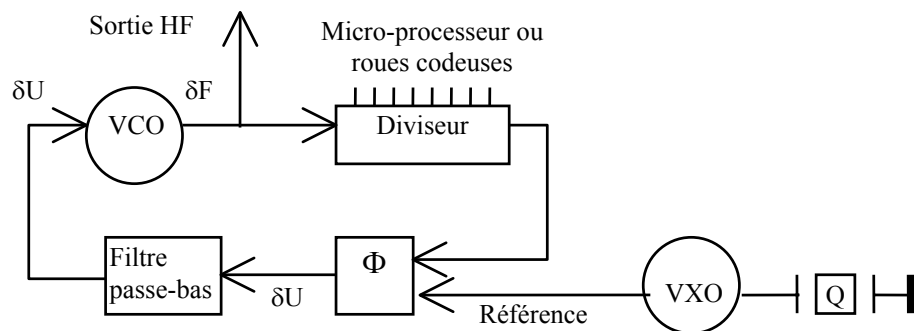


VCO Varicap à transistor FET système Hartley, réinjection par la self. La self de choc et Le condensateur de découplage évitent que la H.F. "remonte" dans l'alimentation

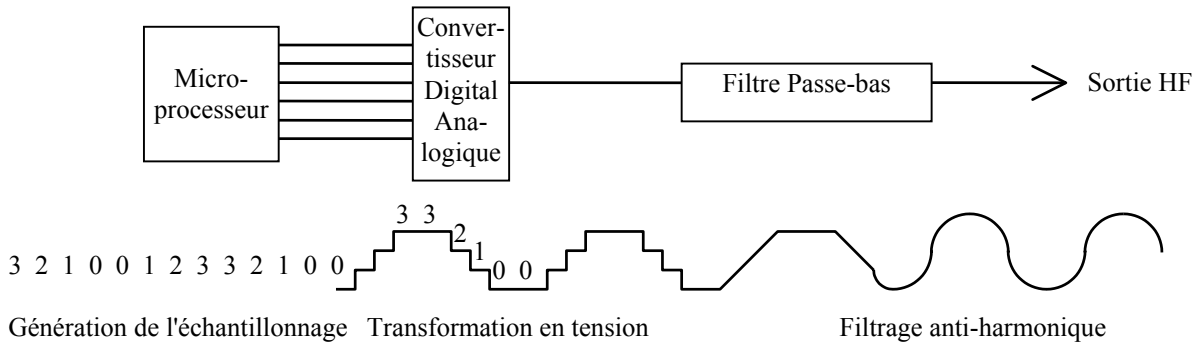
Les quartz utilisent l'effet piézo-électrique pour fonctionner. Lorsqu'une pression est exercée sur les faces d'une lame de quartz, des décharges électriques y apparaissent. Inversement, si on applique une tension à ses faces, la lame se dilate ou se contracte selon la polarité appliquée. Le quartz est composé d'une lame de roche de quartz coincée entre les deux plaques d'un condensateur. La vitesse de propagation du courant dans la masse du quartz est d'environ 5700 m/s. Lorsque la fréquence de la tension coïncide avec la fréquence propre du quartz, fréquence liée à ses dimensions, il y a résonance. Par exemple, une lame de quartz de 0,3mm d'épaisseur (e), résonne en demi-onde (l'onde fait un aller-retour dans le quartz) sur 9,5 MHz :

$$f_q \text{ (MHz)} = \frac{5,7}{2 \cdot e \text{ (mm)}} = \frac{5,7}{2 \cdot 0,3} = 9,5 \text{ MHz}$$

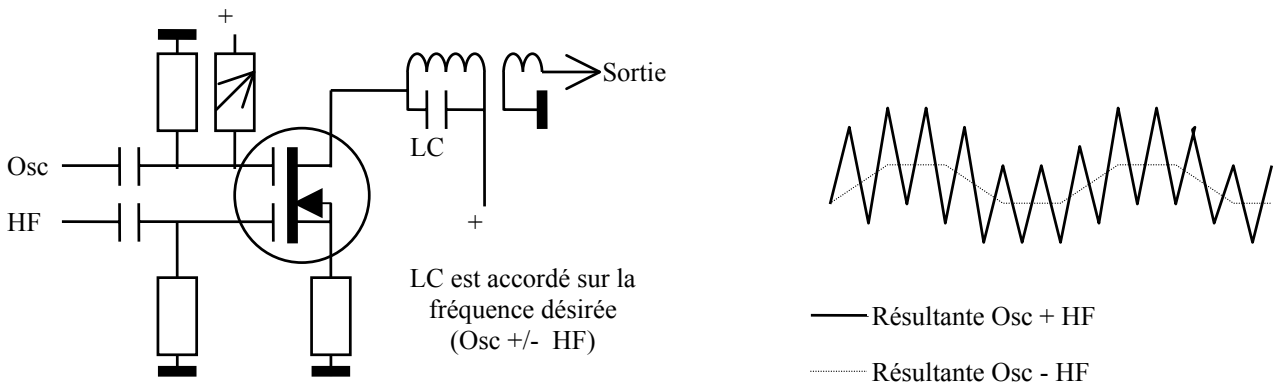
Un PLL fonctionne autour d'un VCO dont la fréquence est divisée logiquement (sortie en 0 ou 1), puis comparée à une fréquence de référence (VXO Quartz). En cas de déphasage, la tension de sortie du comparateur (Φ) corrige la fréquence du VCO. Le filtre évite les à-coups et stabilise le système.



Un DDS fonctionne autour d'un microprocesseur et d'un convertisseur Digital/Analogique. Avec un programme adapté, le microprocesseur génère la fréquence par "échantillonnage". En sortie du microprocesseur, on trouve un convertisseur Digital/Analogique qui transforme les chiffres issus du microprocesseur en tension. Le signal est ensuite filtré pour éliminer les harmoniques (signaux "carrés") générés par le convertisseur.



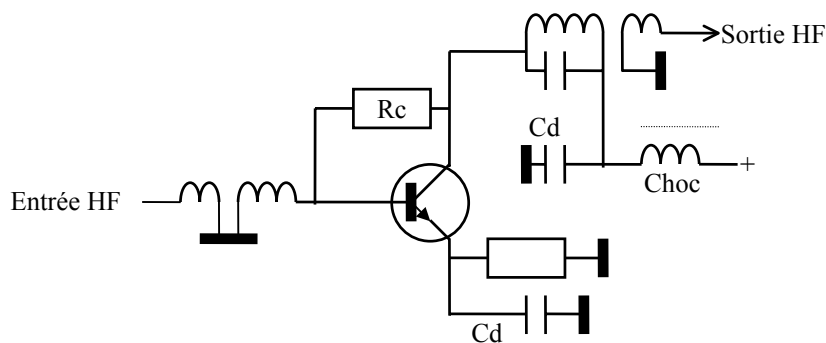
7.5) -B- Un mélangeur est un circuit multiplicateur de tension (ampli non linéaire). Si F1 et F2 sont les deux fréquences à mélanger, à la sortie du circuit, on obtient F1+F2 et F1-F2. Un filtre à la sortie permet de sélectionner une fréquence.



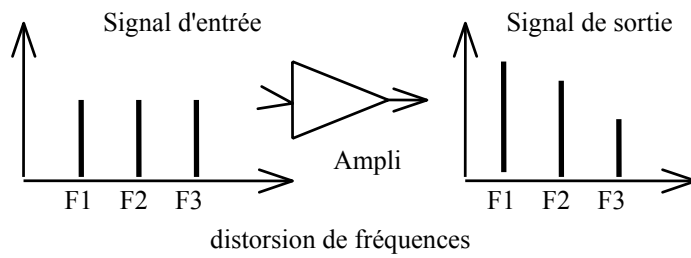
Exemple : A l'entrée d'un mélangeur, on a deux fréquences : 5 MHz et 8 MHz. Quelles fréquences trouve-t-on à la sortie du mélangeur ?

- 1) $5 + 8 \text{ MHz} = 13 \text{ MHz}$; 2) $5 - 8 \text{ MHz} = 8 - 5 \text{ MHz} = 3 \text{ MHz}$.

7.6) -C- Un amplificateur H.F. est constitué de circuits spécifiques, en particulier de lignes de découplages (condensateur à la masse (Cd) et self de choc sur l'alimentation) pour éviter les auto-oscillations, de filtres H.F. (circuit bouchon) et transformateurs pour adapter les impédances entre les étages. Rc est une résistance de contre-réaction pour limiter les auto-oscillations et réguler le courant du transistor.

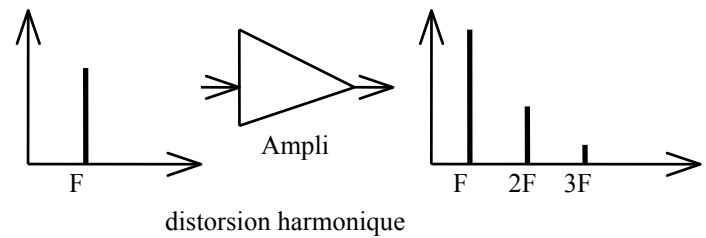


Il arrive souvent qu'un amplificateur HF ne soit pas linéaire. Il y a dans ce cas des distorsion qui peuvent être de deux types : distorsions de fréquences et distorsions harmonique. Les deux distorsions sont souvent combinées.



Le signal de sortie n'est pas le même de que signal d'entrée : les fréquences élevées sont atténuées par rapport aux fréquences basses

Dans le cas d'un amplificateur ayant une distorsion harmonique, s'il n'existe qu'une fréquence en entrée, plusieurs signaux harmoniques (en général $2F$ et $3F$, et parfois plus) seront présents en sortie, à des niveaux plus faibles. Le taux d'harmonique (en % ou en dB) est le rapport de la puissance du signal (ou des signaux) parasite sur le signal désiré.

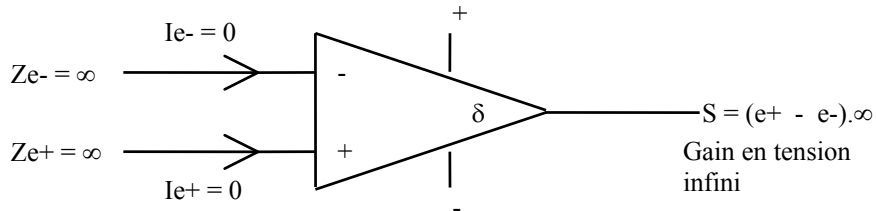


7.7) -E- Un **multiplicateur** est un circuit amplificateur monté en classe C (générateur d'harmoniques) dont le filtre de sortie est accordé sur une fréquence harmonique de la fréquence d'entrée ($\times 2$, $\times 3$ ou $\times 5$ maximum). Si on souhaite multiplier une fréquence par 9, on passe par deux multiplicateurs par 3.

Il faut noter que le spectre d'un signal passant par un multiplicateur est modifié. Par exemple, un signal FM d'excursion de 3 kHz passant dans un doubleur de fréquence aura une excursion de 6 kHz (3×2) à la sortie du circuit.

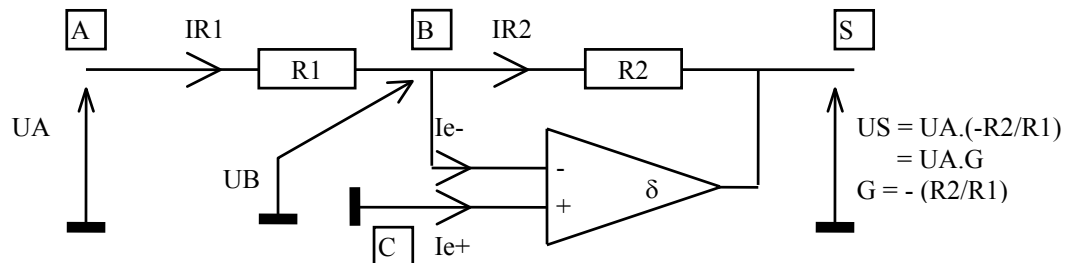
8) AMPLIFICATEURS OPERATIONNELS et CIRCUITS LOGIQUES

8.1) -C- Les **Amplificateurs Opérationnels**, ou "Ampli Op" sont des amplificateurs linéaires et se représentent sous forme de triangle dont la pointe est la sortie. Ils se représentent sous forme de circuits intégrés. Un ampli op possède deux entrées : une normale (+) et une inverseuse (-), une sortie différentielle (δ) et une alimentation en + et en -



8.2) -C- Les amplificateurs opérationnels ont une **impédance d'entrée infinie** : on suppose qu'il n'y a pas de courant dans les entrées. Le **gain de sortie est infini** : la moindre différence de potentiel entre les deux entrées fait basculer la tension de sortie vers le + ou le - suivant la valeur des tensions présentes sur les entrées et suivant que le signal est appliqué sur l'entrée inverseuse ou non.

8.3) -B- Le **montage fondamental** est dessiné ci-dessous. Le montage fait appel à une contre-réaction grâce à la résistance R2. Le point B est stabilisé par rapport à la tension présente en C.



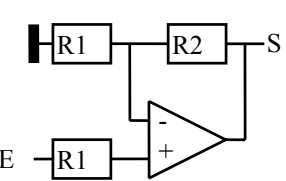
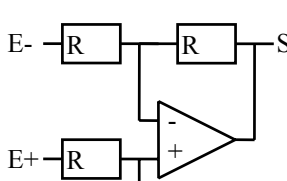
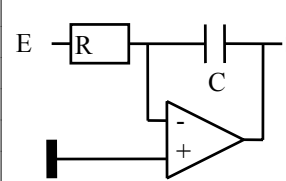
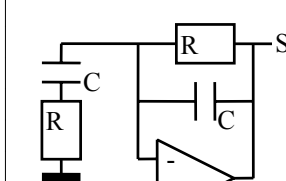
Si $U_B > U_C$, alors U_S diminue (entrée négative et gain infini), alors U_B diminue (contre-réaction par R_2) et $U_B < U_C$, alors U_S augmente et U_B aussi. Le système se stabilise autour de U_C . On a $U_C = U_B = 0V$ (masse).

Avec R_1 entre A et B, on a $I_{R1} = U_A / R_1$. L'impédance d'entrée est infinie ($I_{e-} = 0$), donc $I_{R1} = I_{R2}$. La sortie S sera à la tension $U_{R2} = U_A \cdot (-R_2 / R_1) = U_S$. Le gain (G) en tension est donc négatif et est égal à $-(R_2 / R_1)$. Il n'y a pas de gain en intensité.

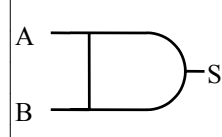
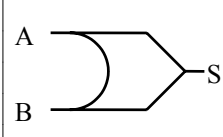
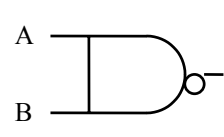
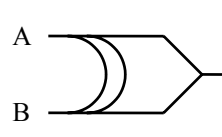
Exemple : On a monté un amplificateur opérationnel en inverseur. Le gain du montage est de -3 avec une résistance à l'entrée (R_1) de 10 000 ohms. Quelle est la valeur de la résistance de contre-réaction (R_2) ?

Réponse : $G = -R_2 / R_1 \Rightarrow R_2 = -G \cdot R_1 = -(-3) \cdot 10\,000 = 3 \cdot 10\,000 = 30\,000 = 30\,k\Omega$

8.4) -C- Autres montages

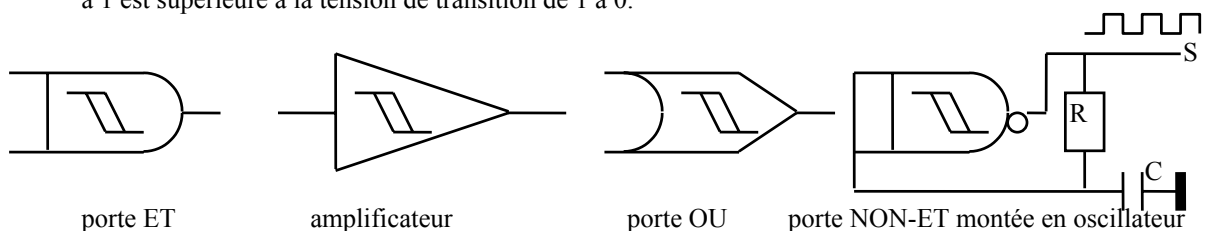
Non inverseur	Soustracteur	Intégrateur	Filtre RC
 <p>$G = (R2/R1) + 1$ $US = UE.G$</p>	 <p>$G = -1$ car R est constant $US = (UE+) - (UE-)$</p>	 <p>$T = R.C$ (en secondes) Au bout de $5T$, le condensateur C est chargé : $US = UE$</p>	 <p>Filtre de bande 2 cellules (6 dB/octave) $F = 1/(2\pi.R.C)$</p>

8.5) -B- Circuits logiques : les portes ET, OU, NON ET, et OU EXCLUSIF.

Circuits	ET (AND ou &)	OU (OR ou >>)	NON ET (NAND)	OU Ex (EXOR)
Schéma				
Table de vérité				
A	B	Sortie	Sortie	Sortie
1	1	1	1	0
1	0	0	1	1
0	1	0	1	1
0	0	0	0	0

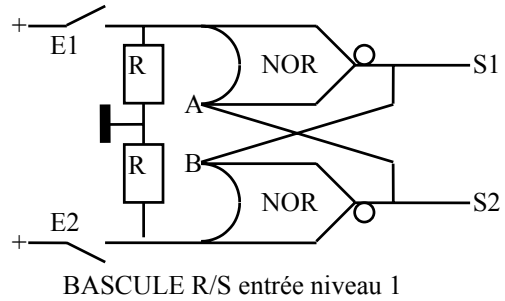
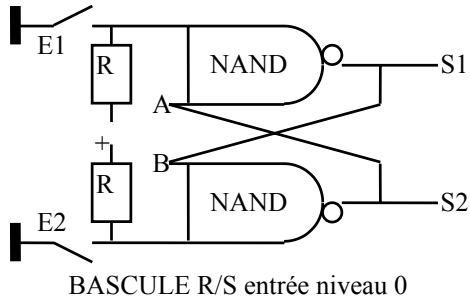
Les niveaux logiques sont à 1 pour une certaine tension proche de 5V et à 0 pour 0V (logique TTL). La sortie d'une porte ET (bout arrondi) est à 1 quand les deux entrées A et B sont à 1. La sortie d'une porte OU (bout pointu) est à 1 si une entrée est à 1. Une porte NON (différenciée par un rond sur la sortie) a sa logique inversée. La sortie d'une porte OU EXCLUSIF est à 1 si une et une seule entrée est à 1. Les circuits logiques peuvent avoir plus de 2 entrées. On peut également inverser la logique d'entrée de la porte si on trouve un rond sur celle-ci.

8.6) -C- Trigger de Schmitt : la logique TTL fonctionne avec des tensions 0V et 5V ; mais que se passe-t-il lorsque la tension appliquée n'est pas une des extrêmes ou que se passe-t-il lorsque la tension passe de 0 à 5V (ou l'inverse)? L'endroit, mal défini, entre le 0 et le 1 est dû à l'hystérésis. Il est une valeur médiane pour laquelle le circuit auto-oscille, ce qui impose une transition rapide de 0 à 1 (et inversement). Le trigger de Schmitt est conçu spécialement pour éviter cet inconvénient : la tension de transition de l'état 0 à 1 est supérieure à la tension de transition de 1 à 0.



Du fait de leur instabilité, les triggers de Schmitt peuvent être montés en oscillateurs (générateurs de signaux carrés) grâce à un condensateur (C) contrôlé par une résistance (R) en contre-réaction.

8.7) -C- Bascule R/S : (R = Reset = Remise à Zéro ; S = Set = Remise à 1). Il s'agit de garder en mémoire la dernière instruction présente sur E1 ou sur E2 grâce à deux portes NAND (NON-ET) (entrée et sortie à 0) ou deux portes NOR (NON-OU) (entrée et sortie à 1). Si le dernier interrupteur actionné est E1, S1 sera à 1 et S2 à 0 et inversement si le dernier signal est apparu sur E2.



Basculer R/S NAND ; E1 est à 0, on considère que A est à 0, S1 est à 1 (sortie inverseuse), E2 est à 1 (grâce à R), B aussi (=S1); S2 est à 0 (sortie inverseuse), A est donc bien à 0 et S1 reste à 0 (même si E1 n'est plus à 1). La bascule s'inverse si E2 passe à 0 (S2 passe à 1 et S1 à 0)

Basculer R/S NOR ; E1 est à 1, on considère que A est à 1, S1 est à 0 (sortie inverseuse), E2 est à 0, B aussi (=S1); S2 est à 1 (sortie inverseuse), A est donc bien à 1 et S1 reste à 0 (même si E1 n'est plus à 1). La bascule s'inverse si E2 passe à 1 (S2 passe à 0 et S1 à 1).

9) PROPAGATION et ANTENNES

9.1) -A- Relation longueur d'onde/fréquence : Les ondes se propagent dans le vide et dans l'air à la vitesse de la lumière (300.000 km/s). La longueur d'onde, notée λ (lambda), est la distance entre deux points identiques d'une onde. On a la relation $\lambda(m) = 300.000.000/F(Hz)$ ou $\lambda(m) = \frac{300}{F(kHz)}$ ou $F(kHz) = \frac{300.000}{\lambda(m)}$

$$\lambda(m) = \frac{300}{F(MHz)} \quad \text{ou} \quad F(MHz) = \frac{300}{\lambda(m)}$$

Exemple :

Quelle est la longueur d'onde d'une fréquence de 14,1 MHz?

Réponse :

$$L(m) = \frac{300}{14,1} = 21,27 \text{ m}$$

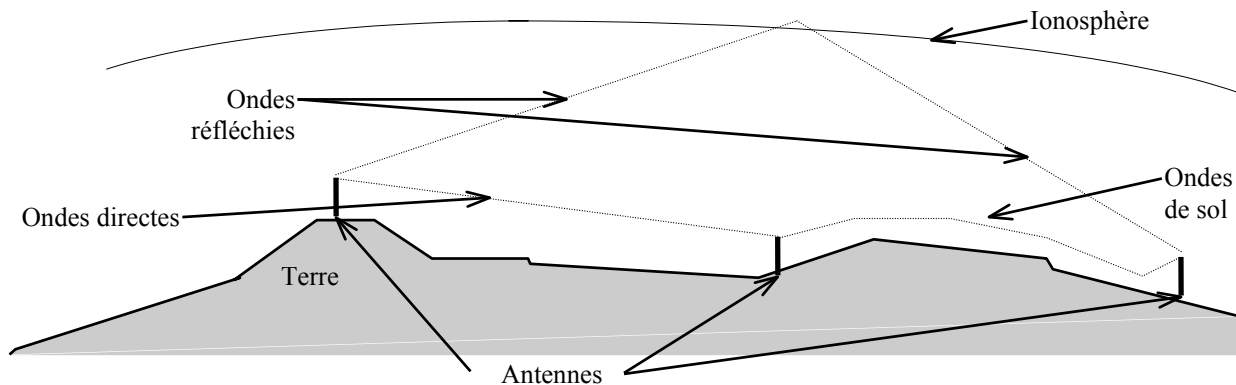
Quelle est la fréquence dont la longueur d'onde est de 3 cm ?

$$F(MHz) = \frac{300}{0,03} = 10\,000 \text{ MHz} = 10 \text{ GHz}$$

9.2) -A- Propagation : Les ondes électromagnétiques se propagent dans l'air ou le vide de la même manière que l'onde formée par un caillou que l'on jette au milieu d'une mare : des ronds concentriques se déplacent à partir du centre. Lorsque l'onde atteint un bord de la mare, l'onde se réfléchit et repart selon l'angle avec lequel elle a heurté le bord. Si on voit nettement l'onde se déplacer, l'eau, en revanche, ne se déplace pas. Pour s'en convaincre, il suffit d'observer une feuille flottant sur l'eau qui va être ballottée au passage de l'onde créée par le caillou jeté mais qui ne sera pas emportée par l'onde.

Les ondes peuvent se propager de différentes façons : en **ondes directes**, les antennes sont en vue l'une et l'autre; en **ondes de sol**, les ondes suivent le relief terrestre; en **ondes réfléchies**, les ondes rebondissent sur les hautes couches de l'atmosphère, fortement ionisées (ionosphère, couches E et F), redescendent sur la terre, d'où elles sont une nouvelle fois renvoyées dans l'espace. Un bond ne peut dépasser 4 000 km du fait de la courbure de la terre et de l'altitude de réflexion.

Fréquences	Longueurs d'onde	Ondes	Gamme	Propagation
En dessous de 30 kHz	> 10 km	Myriamétriques	TGO / VLF	Sol
30 kHz - 300 kHz	10 km - 1.000 m	Kilométriques	GO / LF	Directes; Sol
300 kHz - 3 MHz	1.000 m - 100 m	Hectométriques	PO / MF	Sol; Réfléchies
3 MHz - 30 MHz	100 m - 10 m	Décamétriques	OC / HF	Réfléchies
30 MHz - 300 MHz	10 m - 1 m	Métriques	THF / VHF	Sol; Réfléchies
300 MHz - 3 GHz	1 m - 10 cm	Décimétriques	UHF / UHF	Directes; Sol
3 GHz - 30 GHz	10 cm - 1 cm	Centimétriques		Directes
30 GHz - 300 GHz	1 cm - 1 mm	Millimétriques		Directes
au dessus de 300 GHz	< 1 mm	Micro-ondes		Directes



9.3) - C - La propagation en ondes réfléchies : La **ionosphère** est la zone de l'atmosphère terrestre dans laquelle l'existence d'ions et d'électrons libres est suffisamment abondante pour influencer sur les caractéristiques de propagation des ondes électromagnétiques. La ionosphère s'étend entre 50 et 2 000 km d'altitude. Elle se divise en 3 régions : D (50 à 90 km), E (90 à 130 km) et F (130 à 2 000 km).

La **région D** doit être traversée par les ondes pour atteindre les couches E et F et disparaît dès la tombée de la nuit. La densité d'électrons libres (100 électrons par cm³) dans cette zone n'est pas suffisante pour réfléchir les ondes vers la terre. Au contraire, elle atténue les signaux qui la traversent. Pour minimiser cette atténuation, en particulier sur les bandes basses, on utilise des antennes ayant un angle de radiation faible (on vise l'horizon).

A l'intérieur de la **région E**, peu active au milieu de la nuit, une zone particulière est le siège d'une ionisation anormale, c'est la couche E sporadique. Lorsque la ionisation est importante (jusqu'à 100.000 électrons libres par cm³), la réflexion des ondes se fait dans cette couche de basse altitude, une seule réflexion est possible sauf lorsque cette ionisation est suffisamment répartie, ce qui est rare et impossible à prévoir.

La région la plus haute de la ionosphère, la **couche F**, possède la densité d'électrons la plus élevée et elle est prépondérante pour propager les ondes H.F. à longue distance. La partie basse de la région F (130 à 200 km) est appelée zone F1 tandis que le reste est appelé F2. La zone F2 est dense en électrons libres (1.000.000 électrons par cm³) et est responsable des "bonnes conditions de propagation". Des réflexions multiples sur cette couche permettent de "faire le tour de la terre" en faisant plusieurs "bonds". Pendant la nuit, les couches F1 et F2 fusionnent en une seule couche F.

Un circuit est le parcours de l'onde d'un point à un autre. Les conditions de propagation varient tout au long de ce parcours. Le lieu de réflexion de l'onde sur la terre est primordial : l'atténuation est minimale sur la mer (0,3 dB) mais devient critique sur terre (7dB sur un champ, plus de 10dB en zone urbaine)

Plus la fréquence croît, plus l'onde a de chances de traverser les couches sans être réfléchi, elle se perd alors dans l'espace. **La fréquence maximum utilisable (FMU)** est la fréquence pour laquelle une onde sera propagée d'un point à l'autre de la terre par réflexion sur les couches E ou F avec l'angle de départ le plus proche de l'horizon.

Les signaux se dirigeant vers la couche F2 doivent traverser la couche D, dont l'absorption augmente quand la fréquence diminue, puis la couche E qui est aussi capable de réfléchir les ondes H.F. Si la FMU de la couche E est trop haute, les signaux vers ou venant de la couche F2 seront stoppés. Cette limite plancher de la fréquence utilisable est appelée **Fréquence Minimum Utilisable (LUF)** pour la couche D et **Fréquence de coupure de la couche E (ECOF)**.

altitude (km)	JOUR	NUIT	Densité en électrons libres par cm ³ , selon l'altitude (couche ionosphériques) et selon la période de la journée (NUIT ou JOUR)
300	F2 10 ⁶		
200	F1 10 ⁶	F 10 ⁴	
120	E 10 ⁵	E 10 ³	
70	D 10 ²		

On doit donc utiliser pour un circuit une fréquence comprise entre FMU et LUF ou ECOF. Mais il se peut, à certaines heures de la journée, que ECOF ou LUF soit supérieure à FMU. La liaison, dans ce cas, a peu de chances d'être réalisable. Les fréquences FMU, LUF et ECOF peuvent être évaluées à partir des prévisions du flux solaire Φ (Phi), valeur comprise entre 60 et 250, et du nombre de tâches solaires (souvent noté IR5, valeur comprise entre 0 et 200). Ce sont deux indicateurs de l'**activité solaire**. Les calculs de prévision de propagation sont basés sur une puissance de 100 W dans un dipôle. La fréquence optimum de travail (FOT) correspond à 80% de la FMU.

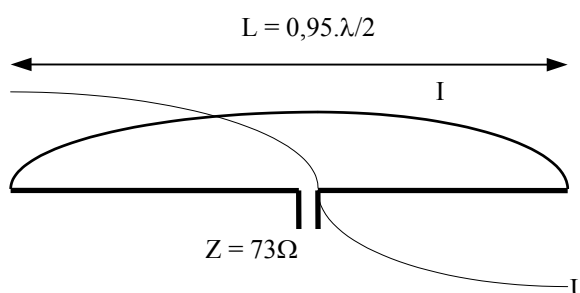
Les ondes de sol, appelées aussi ondes de surface, se propagent en restant très près de la surface de la Terre. Elles y subissent très vite une forte absorption et ce, d'autant plus que leur fréquence est élevée. Bien entendu, le profil du relief entre l'antenne d'émission et celle de réception est déterminant. Les espérances de distances de propagation en fonction de la fréquence sont les suivantes : 300 kHz : 2.000 km - 4 MHz : 100 km - 10 MHz : 50 km. . Mais la conductivité du sol a aussi une grande importance. Ainsi, pour un trajet maritime pour lequel la conductivité de la mer est très élevée, il est possible, à 2 MHz, d'obtenir une

portée supérieure à 500 kilomètres. On voit le peu d'efficacité de l'onde de sol sur les fréquences décimétriques et au delà. Il faut noter que seule une onde en polarisation horizontale peut exciter une onde de sol

D'autres modes de propagation existent mais sont peu utilisés par les radioamateurs car très peu fiables ou nécessitant des puissances élevées. Ce sont les diffusions troposphériques et les Duct (sorte de guide d'ondes), les réflexions sur les traînées de météorites et les aurores boréales. Ces modes sont utilisés essentiellement en VHF et UHF.

9.4) -A- L'antenne doublet **demi-onde** : Dans une antenne, l'intensité est nulle à chaque extrémité du brin rayonnant. La tension est maximum aux extrémités du doublet. Au centre du doublet, l'intensité est maximum et la tension est nulle. L'impédance est donc faible au centre d'un dipôle. La tension est en déphasage de 90° par rapport à l'intensité. La longueur totale d'un doublet dépend du matériau utilisé et du rapport diamètre/longueur du brin rayonnant. En général, on prend $k = 95\%$. La longueur d'un brin est égale à la moitié de l'antenne.

Une antenne a les mêmes caractéristiques à l'émission qu'à la réception.



On retiendra, pour le calcul de la longueur d'un doublet, la formule suivante :

$$\text{Longueur du doublet demi-onde : } L(\text{m}) = k \cdot \lambda(\text{m}) / 2 = 0,95 \cdot \lambda / 2 = \frac{0,95 \cdot 300}{2 \cdot F(\text{MHz})} = \frac{142,5}{F(\text{MHz})}$$

Exemple : quelle est la longueur d'un doublet accordé sur 3,6 MHz ?

$$\text{Réponse : } L(\text{m}) = \frac{142,5}{3,6} = 39,58 \text{ m}$$

L'impédance au centre du dipôle varie en fonction de l'angle que forment les brins : s'ils sont alignés (angle de 180°), l'impédance est de 73Ω; s'ils forment un angle de 120°, l'impédance est de 52Ω; s'ils forment un angle droit (90°), l'impédance devient 36Ω. D'autres facteurs influent sur l'impédance, comme le sol (proximité et qualité) ou l'environnement immédiat de l'antenne (bâtiment, arbres,...)

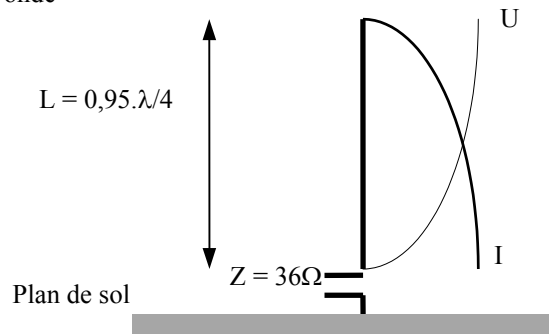
9.5) -A- L'antenne **quart d'onde** verticale : L'antenne verticale nécessite un **plan de sol** ou **plan de masse** afin de reconstituer électriquement le deuxième brin de l'antenne.

$$\text{Longueur du brin quart d'onde: } L(\text{m}) = k \cdot \lambda(\text{m}) / 4 = 0,95 \cdot \lambda / 4 = \frac{0,95 \cdot 300}{4 \cdot F(\text{MHz})} = \frac{71,25}{F(\text{MHz})}$$

Exemple : quelle est la longueur d'un quart d'onde accordé sur 21,2 MHz?

$$L(m) = \frac{71,25}{21,2} = 3,36 \text{ m}$$

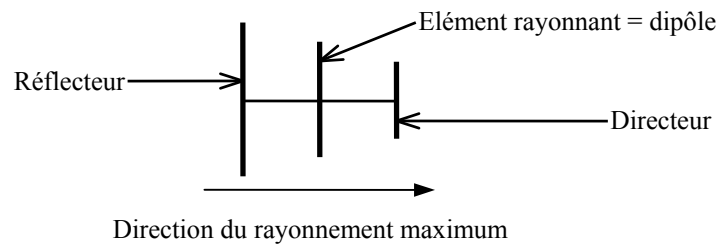
$$L = 0,95 \cdot \lambda / 4$$



On peut utiliser un brin plus court que le quart d'onde, il faut dans ce cas rallonger artificiellement l'antenne grâce à un self positionnée à la base du brin ou au milieu de celui-ci. Le quart d'onde aura ainsi une impédance plus faible à sa résonance.

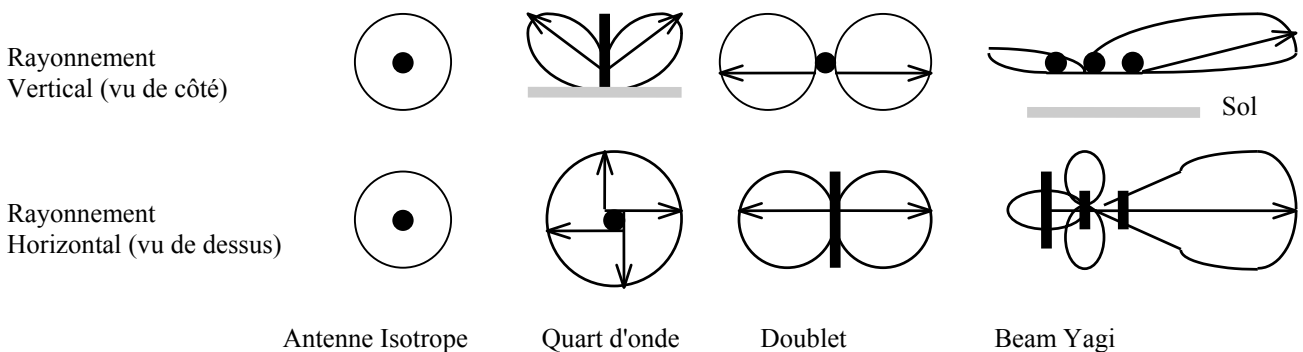
9.6) -B- Antenne Yagi ou Beam

: l'antenne doublet (ou dipôle) est l'antenne de base. Son lobe de rayonnement ressemble à un tore rond traversé par le brin de l'antenne. Le rayonnement est maximum perpendiculairement aux brins. Il est nul dans le prolongement des brins. Si les deux brins ne sont pas alignés ou si le sol est trop près de l'antenne, les lobes se déforment. En ajoutant des éléments près du brin, on arrive à déformer le lobe et à concentrer l'énergie dans une direction. Les éléments directeurs sont plus courts que le brin rayonnant, les éléments réflecteurs sont plus longs. Lorsqu'on augmente le nombre d'éléments sur ce type d'antenne, on diminue son impédance et on augmente son gain et donc son effet directif.



9.7) -B- Gain d'une antenne

: le gain se mesure dans la direction maximum de rayonnement. Le gain se calcule en dB par rapport à l'antenne doublet (dB_D) ou encore par rapport à l'**antenne isotrope** (dB_{ISO}). Celle-ci est une antenne idéale : un point qui rayonne et dont le lobe de rayonnement est une sphère. L'antenne doublet a un gain de 2,15 dB par rapport à l'antenne isotrope. Une autre mesure des antennes est le rapport avant/arrière (en dB). On peut dessiner les lobes de rayonnement dans le plan vertical ou horizontal.

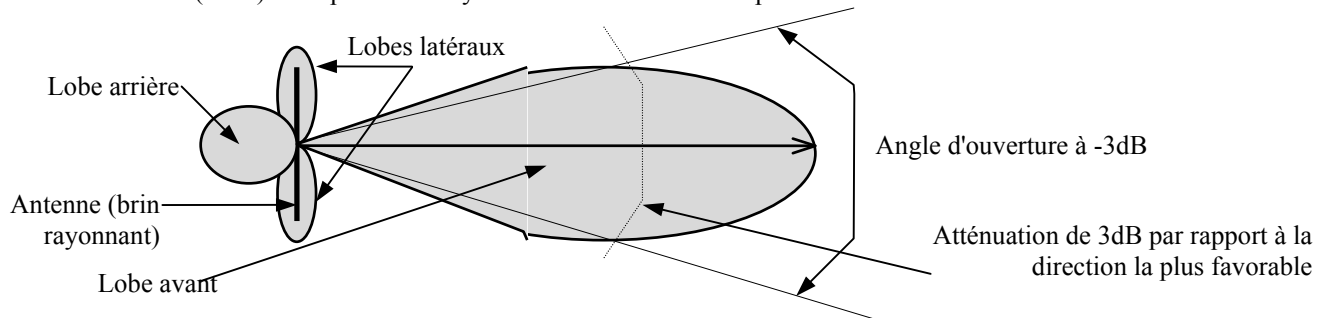


9.8) -B- La puissance apparente rayonnée (P.A.R. ou ERP en anglais) est la puissance d'alimentation de l'antenne multipliée par le gain de celle-ci par rapport au doublet en décimal (pas en dBd). Cette puissance correspond à la puissance qu'il faudrait appliquer à un dipôle pour avoir la même puissance rayonnée dans la direction la plus favorable de l'antenne. La puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) prend pour référence l'antenne isotrope.

Exemple : quelle est la P.A.R. d'un émetteur de 100W utilisant une antenne de 13 dBd ?

13 dB = Gain de 20 (voir chapitre 4-1) ; $100W \cdot 20 = 2000W$ P.A.R., soit 2kW P.A.R. en supposant des pertes nulles dans le système d'alimentation de l'antenne (coaxial, prises, ...)

9.9) -B- L'angle d'ouverture d'une antenne est l'angle de direction pour lequel la puissance rayonnée est la moitié (-3dB) de la puissance rayonnée dans la direction la plus favorable.



9.10) - C - Compléments sur les antennes :

Position des ventres de tension et d'intensité : on appelle un ventre l'endroit de l'antenne où la mesure (tension ou intensité) est maximum, un nœud est l'endroit de l'antenne où la mesure est nulle. A chaque extrémité d'une antenne ouverte (dipôle par exemple), on a un nœud d'intensité ($I=0$) car il ne peut y avoir de courant dans un fil qui se termine.

Plus exactement, à l'extrémité du brin, le courant fait demi-tour, ainsi, il y a autant d'intensité dans un sens que dans l'autre, on a donc l'illusion qu'il n'y a pas de courant. Par contre la tension est maximum en ce point (ventre de tension) : en faisant demi-tour, la valeur de la tension ne change pas, les tensions s'additionnent donc.

Du fait de la vitesse de propagation des ondes, tous les quarts d'onde, les valeurs changent. Ainsi en mesurant un quart d'onde électrique à partir de l'extrémité du brin, on a un ventre d'intensité et un nœud de tension. Les tensions et les intensités reprennent les valeurs constatées à l'extrémité du brin toutes les demi-onde.

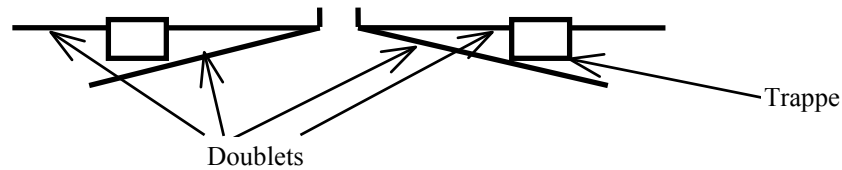
Ventre d'intensité et lobes de rayonnement : à chaque nœud d'intensité correspond un lobe de rayonnement. Selon la forme de l'antenne, les lobes se superposent ou s'annulent, donnant la directivité à l'antenne.

Impédance : l'impédance de l'élément rayonnant dépend de sa forme et de son environnement, la valeur moyenne pour un trombone demi-onde est de 300Ω et de 200Ω pour une boucle (loop) en onde entière. On peut estimer l'impédance d'un fil grâce à l'abaque de Smith (en forme d'escargot).

Polarisations : selon la position du brin rayonnant, on peut avoir des polarisations verticales ou horizontales. Certaines configurations d'antennes permettent des polarisations circulaires (rotation Droite ou Gauche). La polarisation des antennes joue un rôle important dans la faisabilité d'une liaison.

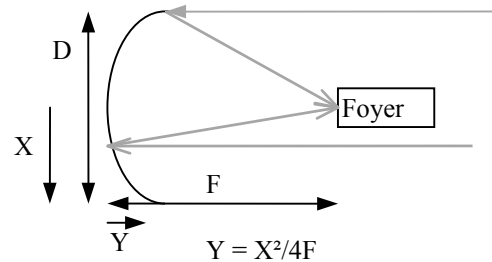
Couplages d'antennes : on peut augmenter le gain d'une antenne en la couplant à une autre. Ainsi deux antennes identiques couplées auront un gain supplémentaire de 3dB par rapport à une seule antenne. Quatre antennes auront un gain de 6 dB et 8 antennes auront un gain de 9 dB. On voit qu'en doublant le nombre d'antennes couplées, on n'augmente le gain total que de 3 dB.

Multi-doublet et Doublet avec trappes : une antenne doublet (ou dipôle) ne peut fonctionner que sur une fréquence, en reliant plusieurs dipôles par leur centre, on obtient un multi-doublet qui fonctionne sur autant de fréquences que l'on a de doublets accordés. Pour éviter de multiplier le nombre de doublets, ce qui nécessite une mise au point délicate, on utilise des trappes qui bloquent les ondes les plus courtes et raccourcissent artificiellement les brins. On peut évidemment combiner ces deux techniques comme ci-dessous.



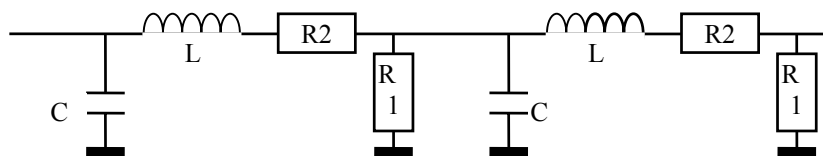
Antennes ouvertes et antennes fermées : une antenne est ouverte lorsque son brin rayonnant est libre aux extrémités. (Exemple : quart d'onde, long-fil, sloper, dipôle, Yagi, Levy, hélice, log-périodiques). Une antenne est fermée lorsque le brin rayonnant forme une boucle. (Exemples : trombone, loop, quad)

Réflecteurs paraboliques : certaines antennes, utilisées dans les hautes fréquences emploient des réflecteurs paraboliques qui réfléchissent les ondes et concentrent les rayonnements sur un foyer, où est placé l'antenne (généralement un doublet). La distance entre le foyer et la parabole est appelée la focale (F). Le rapport F/D détermine l'angle d'illumination de l'antenne située dans le foyer.



10) CABLES COAXIAUX et ADAPTATIONS

10.1) -C- La ligne d'alimentation asymétrique (coaxial) ou symétrique (feeder ou échelle à grenouille) ou encore guide d'onde est un dispositif utilisé pour transférer l'énergie de l'émetteur vers l'antenne ou de l'antenne vers le récepteur. La qualité du coaxial se mesure par sa perte (en dB/m). Cette perte n'a aucun rapport avec son impédance caractéristique. On peut représenter un coaxial comme une self, deux résistances et un condensateur. Les résistances donnent la perte, le rapport $\sqrt{L/C}$ (en unité, Henry et Farad, par mètre) donne l'impédance caractéristique du câble (en Ω). Dans un câble, les intensités dans les deux fils (ou âme et tresse) sont égales et de valeurs contraires. L'intensité étant la cause du rayonnement, le câble ne rayonne pas puisque les intensités s'annulent mutuellement.

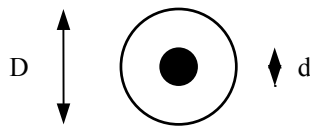



$$Z(\Omega) = \sqrt{ZL \times Zc} = \sqrt{L(H)/C(F)}$$

exemple : Quelle est l'impédance d'un câble ayant comme caractéristiques $L=0,25\mu\text{H/ml}$ et $C=100\text{pF/ml}$?

$$Z = \sqrt{(0,25 \cdot 10^{-6} / 100 \cdot 10^{-12})} = \sqrt{2500} = 50\Omega$$

10.2) -B- L'Impédance caractéristique des lignes se calcule en fonction de la forme de la ligne. Un câble coaxial a une impédance caractéristique. Si à son entrée, on applique un signal qui a la même impédance que le câble, on retrouvera le même signal à la sortie (exceptées les pertes). Dans un câble, la vitesse de propagation, des ondes est plus lente que dans l'air ou dans le vide. La vélocité est la vitesse du courant dans le câble (en % de la vitesse dans l'air ou le vide). La vélocité est fonction du diélectrique utilisé. Soit ϵ le coefficient du diélectrique, la vélocité est égale à $1/\sqrt{\epsilon}$. Les diélectriques utilisés sont le polyéthylène (PE) dont le coefficient ϵ est 2,3 et le téflon ($\epsilon = 2$). Pour l'air sec ou le vide, $\epsilon = 1$. Le coefficient de vélocité est de 66% ($=1/\sqrt{2,3}$) (diélectrique en PE) en règle général mais peut atteindre 90% (câble semi-aéré en PE microcellulaire). Un guide d'onde n'a pas d'impédance caractéristique et sa vélocité est de 100%.

	Coaxial rond	Feeder
ϵ = Coefficient du diélectrique utilisé = 2,3 pour le PE = 2 pour le téflon = 1,1 avec des écarteurs = 1 pour l'air ou le vide		
Impédance	$(138 / \sqrt{\epsilon}) \times \log(D/d)$	$(276 / \sqrt{\epsilon}) \times \log(D/d)$
Vélocité ($=1 / \sqrt{\epsilon}$)	66% à 90%	95%

Les formule des calculs de l'impédance du câble sont directement issu du rapport de l'inductance linéique (en Henry/m) d'un fil à la capacité linéique (en Farad/m) de la même longueur. Intervient aussi dans le calcul la résistance linéique (souvent très faible) et la conductance linéique (très importante quand la fréquence augmente). Ces deux derniers termes sont négligeables par rapport à l'inductance et à la capacité dans les applications du domaine radioamateur.

10.3) -B- TOS, ROS et désadaptation : Lorsque l'impédance du câble n'est pas la même que celle de l'antenne, il apparaît des ondes stationnaires sur la ligne, cette désadaptation se mesure selon la puissance réfléchie (TOS ou Taux d'Ondes Stationnaires) ou selon le rapport des impédances (ROS ou Rapport d'Ondes Stationnaires).

ROS = Z plus forte / Z plus faible

Exemple $Z_{\text{coax}} = 50\Omega$; $Z_{\text{doublet}} = 75\Omega$; donc $ROS = 75/50 = 1,5$

$Z_{\text{coax}} = 50\Omega$; $Z_{1/4 \text{ onde}} = 36\Omega$; donc $ROS = 50/36 = 1,39$

TOS (%) = Puissance Réfléchie / Puissance Emise = P_R/P_E

Exemple $P_E = 100W$; $P_R = 4W$; donc $TOS = 4/100 = 4\%$

En mode différentiel, l'énergie chemine entre âme et gaine, le courant en surface de l'âme est en tout endroit égal et opposé au courant en surface interne de la gaine. En mode commun, l'énergie chemine à l'extérieur en surface autour de la gaine. Dans ce cas, le ROS change avec la longueur du coaxial et celui-ci fonctionne comme une antenne long fil

10.4) -B- Relation ROS/TOS

$$ROS = \frac{1+\sqrt{TOS}}{1-\sqrt{TOS}} \text{ ou encore } TOS = \frac{(ROS-1)^2}{(ROS+1)^2} = (ROS-1/ROS+1)^2$$

$$\text{Exemple } TOS=4\% \text{ alors } ROS = \frac{1+\sqrt{(0,04)}}{1-\sqrt{(0,04)}} = \frac{1,2}{0,8} = 1,5$$

$$ROS = 1,5 \text{ alors } TOS = \frac{(1,5-1)^2}{(1,5+1)^2} = \frac{0,25}{6,25} = 4\%$$

10.5) -B- Lignes d'adaptation et coupleurs à cavités. On peut adapter des impédances par des lignes (morceaux de coaxial) d'une longueur électrique d'un quart d'onde (attention au coefficient de vélocité). Par contre, une ligne demi-onde est "transparente" quelque soit son impédance.

Pour une impédance caractéristique du câble de Z_C , Z_e et Z_s étant respectivement les impédances d'entrée et de sortie, on obtient $Z_C^2 = Z_e \times Z_s$ avec un câble d'une longueur d'un quart d'onde (ou multiple impair de $\lambda/4$, attention à la vélocité) En transformant l'équation, on trouve : $Z_e = Z_C^2/Z_s$ ou $Z_s = Z_C^2/Z_e$ ou encore $Z_C = \sqrt{(Z_e \cdot Z_s)}$. Avec un câble d'une longueur d'une demi-onde (ou multiple de $\lambda/2$), on a $Z_e = Z_s$ quelque soit Z_C

Exemple : Pour adapter les impédances suivantes :

$Z_e = 50\Omega$; $Z_s = 100\Omega$, quelle sera l'impédance du câble $\lambda/4$

Réponse :

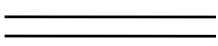
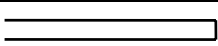
$Z_L = \sqrt{(50 \cdot 100)} = \sqrt{5000} = 70,7 \Omega$ pour un câble de longueur de $\lambda/4$

Il faut un morceau de coaxial 75Ω (valeur approchée) d'une longueur quart d'onde pour adapter à 50Ω une antenne ayant une impédance de 100Ω .

Dans ce cas, on a $Z_e = Z_L^2/Z_s = 75^2/100 = 56,25\Omega$, soit 1,125 de ROS ($56,25/50$) au lieu de 2 ($100/50$)

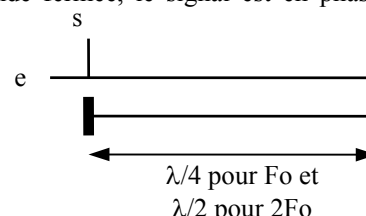
L'impédance des circuits quart d'onde et demi-onde diffèrent selon qu'ils sont fermés ou ouverts. Ces circuits peuvent être des coaxiaux (attention au coefficient de vélocité) ou de simples fils (=lignes), en particulier dans le cas des circuits fermés.

Le tableau ci-dessous résume les différents cas:

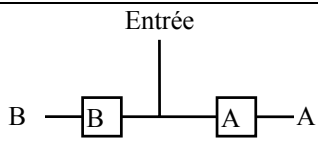
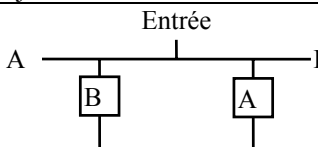
Ligne		quart d'onde $\lambda/4$	demi-onde $\lambda/2$
Ouverte		Impédance nulle	Impédance infinie
Fermée		Impédance infinie	Impédance nulle

Dans le cas de la ligne quart d'onde fermée, le signal est en déphasage de 180° par rapport à l'entrée, l'impédance est donc infinie, en revanche, pour la ligne demi-onde fermée, le signal est en phase et l'impédance est nulle.

On peut donc court-circuiter une harmonique 2 avec une ligne quart d'onde fermée. Pour $\lambda/4$, l'impédance est infinie pour la fréquence F_0 . Pour une fréquence double, on obtient $\lambda/2$, l'impédance est alors nulle. L'harmonique 2 et toutes les harmoniques paires sont à la masse.



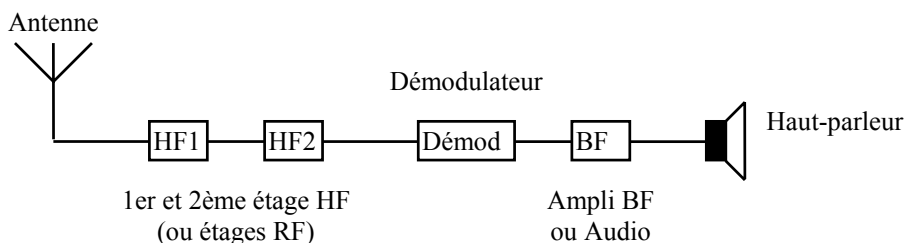
Les coupleurs à cavités sont souvent adoptés pour coupler des paires d'émetteurs/récepteurs sur une seule antenne dès que l'espacement des fréquences utilisées est au moins de 6 % de la fréquence d'utilisation (espacement de 900 kHz pour une utilisation sur 150 MHz). Les coupleurs à cavité sont bidirectionnels (émission / réception) et peuvent être montés en série (coupleurs passe bande) ou en dérivation (coupleurs réjecteurs). On peut bien entendu combiner les montages.

	Passé bande	Réjecteur
Montage		
Avantages	On peut ajouter facilement un autre élément (plusieurs fréquences) Filtre par rapport à l'environnement	Peu de pertes d'insertion Possibilité de coupler des fréquences plus proches (3% au lieu de 6%)
Inconvénients	Pertes d'insertion	Nombre de filtres important s'il y a plus de 2 éléments (et 2 fréquences)

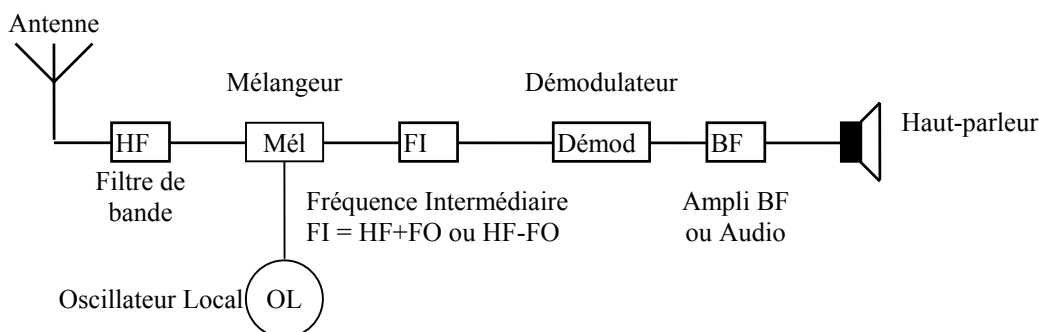
11) Les SYNOPTIQUES

11.1) -A- Récepteur sans conversion : Un synoptique de récepteur se lit de l'antenne vers le haut parleur.

Un récepteur sans conversion se compose d'une série d'amplis H.F. accordés sur la fréquence à recevoir. Les fréquences d'accord de HF1 et HF2 varient en même temps, généralement par un moyen mécanique.



11.2) -A- Récepteur avec fréquence intermédiaire (FI): Sans conversion, un récepteur est difficile à accorder sur une bande; surtout si l'on multiplie les étages H.F. En changeant la fréquence de réception, on peut travailler sur les étages FI. L'étage H.F. devient un filtre de bande. Le rôle de l'amplificateur FI est d'améliorer la sensibilité et la sélectivité du récepteur.



La fréquence de l'Oscillateur Local (OL) est calculée de telle manière que l'on a :

$$\begin{aligned} FO \text{ (fréquence de l'OL)} &= FI - HF \\ \text{ou } FO &= HF + FI \end{aligned}$$

Si FO est supérieure à FI, le récepteur est supradyné ; si FO est inférieure à FI, le récepteur est infradyne.

Certains récepteurs modernes ont plusieurs fréquences intermédiaires permettant de filtrer plus efficacement.

11.3) -B- Problème de la fréquence image : La fréquence intermédiaire est la résultante du mélange de la fréquence H.F. à recevoir et de la fréquence FO de l'oscillateur local. La FI peut donc être supradyné (HF+FO) ou infradyne (HF-FO). La fréquence image (FIm) est la fréquence obtenue par le mélange inverse de la FI.

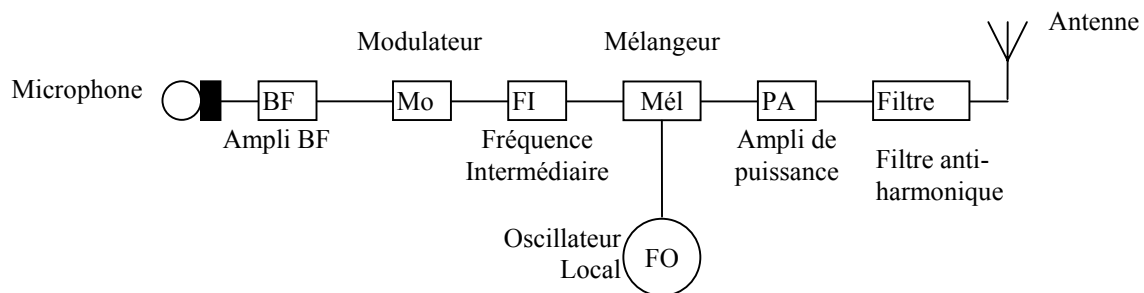
Exemple : HF=14MHz; FO=5MHz; FI=9MHz, alors FIm=9-5=4MHz. Si le filtre d'entrée H.F. est de mauvaise qualité et laisse passer le 4 MHz (=FIm), alors la fréquence image sera entendue en plus du 14 MHz que l'on veut recevoir. **FIm = HF ± 2.FO** (4 = 14 - (2x5))

11.4) -C- La sensibilité d'un récepteur se mesure par son signal d'entrée minimum. Une liaison radio est jugée bonne si le bruit propre du récepteur est très en dessous du signal à recevoir. Plus un récepteur est sensible, plus il "sortira" les signaux faibles. La puissance du signal se mesure au S-mètre. Un signal de S9 correspond à une tension de $50\mu\text{V}$ sur l'entrée du récepteur (charge de 50Ω) en dessous de 30 MHz. La puissance du signal S9 est donc de $P=U^2/R = 50\mu\text{V} \cdot 50\mu\text{V}/50\Omega = 50 \text{ pW}$. Entre chaque point S, il y a 6 dB, l'échelle des S pour les fréquences inférieures à 30 MHz est ainsi définie :

S	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9+10dB	9+20dB	9+30dB
dB/S9	-54	-48	-42	-36	-30	-24	-18	-12	-6	0	+10	+20	+30
$\mu\text{V}/50\Omega$	0,1	0,2	0,4	0,8	1,5	3	6	12	25	50	160	500	1600

Les récepteurs modernes ont couramment une sensibilité de l'ordre de S1 ou S0.

11.5) -A- Emetteur : Un synoptique d'émetteur se lit du micro vers l'antenne. De même que pour les récepteurs, il peut y avoir une ou plusieurs fréquences intermédiaires. Un émetteur est obligatoirement équipé d'un filtre anti-harmoniques (filtre "en pi") pour éviter les rayonnements non essentiels. Ce filtre permet aussi d'adapter l'impédance de l'antenne par rapport à celle de la sortie de l'amplificateur de puissance.



11.6) -C- Tout produit d'intermodulation est créé 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. Le mélange correspond à la somme et la différence des fréquences fondamentales et de leurs harmoniques. Soient A et B, deux fréquences utilisées, on aura A+B et A-B mais aussi 2B-A et 2A-B, produit du troisième ordre, d'autant plus difficile à éliminer que A et B seront des fréquences voisines.

La Compatibilité ElectroMagnétique (CEM) est la faculté d'un émetteur de ne pas perturber son environnement, en particulier un récepteur, ou la faculté d'un récepteur de ne pas être perturbé par un émetteur ou son environnement. Les blindages et les découplages des circuits d'alimentation sont des remèdes efficaces face aux problèmes de compatibilité électromagnétique et aux problèmes d'auto-oscillation ou de perturbations entre les étages.

Un matériel électrique ou électromécanique ou électronique (et a fortiori radioélectrique) a un certain **niveau d'immunité** à son environnement électromagnétique. Lorsque les perturbations dépassent ce niveau, on atteint alors son **seuil de susceptibilité**. Il faut alors prendre des mesures de **durcissement** pour atteindre un meilleur niveau d'immunité.

Nous parlons d'**émission** lorsqu'il s'agit du générateur de perturbations électromagnétiques et de **susceptibilité** lorsqu'il s'agit de matériel perturbé, ou récepteur de perturbations.

Une perturbation (émission ou susceptibilité) est dite **conduite** lorsqu'elle est véhiculée par l'intermédiaire des conducteurs (fils, câbles, pistes de circuits imprimés,...). Une perturbation est dite **rayonnée** lorsqu'elle se propage dans l'espace environnant par un champ électromagnétique.

12) Les DIFFERENTS TYPES de MODULATIONS

12.1) -A- Les différents types de modulation :

	AM - A3E Modulation d'Amplitude	BLU - J3E Bande Latérale Unique	CW - A1A Télégraphie AM	FM - F3E Modul. de Fréquence
Représentation en fonction du temps		La BLU ne peut pas être représentée en fonction du temps HF		
Représentation type Minitel				
Représentation en fonction de la fréquence			La CW ne peut pas être représentée en fonction de la fréquence	

En AM, la H.F. est modulée par la B.F. : la B.F. fait une enveloppe (marquée - - - - dans le schéma ci-dessus) autour de la H.F. En représentant l'AM en fonction de la fréquence, on retrouve la porteuse au centre de la modulation et deux bandes latérales de chaque côté transportant le message B.F.

La BLU est créée à partir de l'AM dont on supprime la porteuse et une bande latérale afin d'optimiser la puissance émise: la porteuse ne transporte aucun message, les deux bandes latérales transportent le même message.

La CW est simplement de la H.F. modulée en tout ou rien.

En FM, la fréquence de la porteuse est modulée au rythme de la B.F. Lorsque la B.F. est au maximum, la fréquence est maximum, et vice versa. L'excursion (ou swing) en fréquence est l'écart entre la fréquence centrale et la fréquence extrême. La bande passante (ou occupée) est le double de l'excursion et est l'écart entre les deux fréquences extrêmes.

12.2) -A- Les démodulateurs :

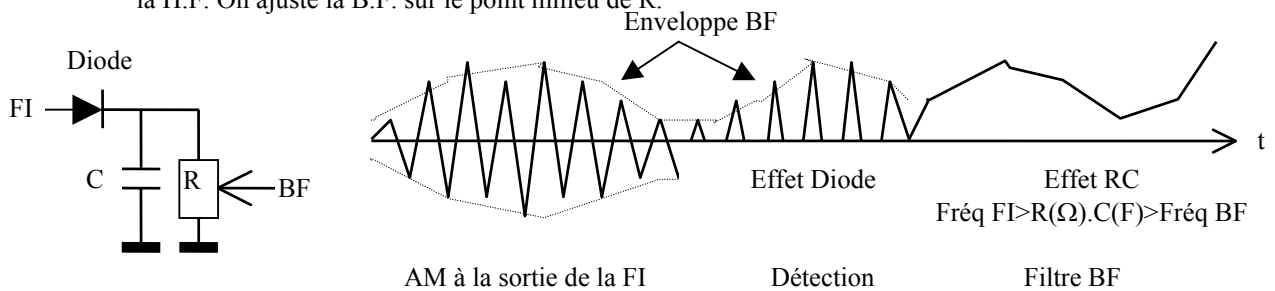
	AM	BLU	CW	FM
Nom	Détection ou détecteur d'enveloppe	Oscillateur de battement de fréquence (BFO) et détecteur de produit (DP) ou mélangeur		Discriminateur ou Désaccentuateur
Schéma synoptique		<p>Fréquence BFO \approx Fréquence FI</p>		

12.3) -A- Les modulateurs :

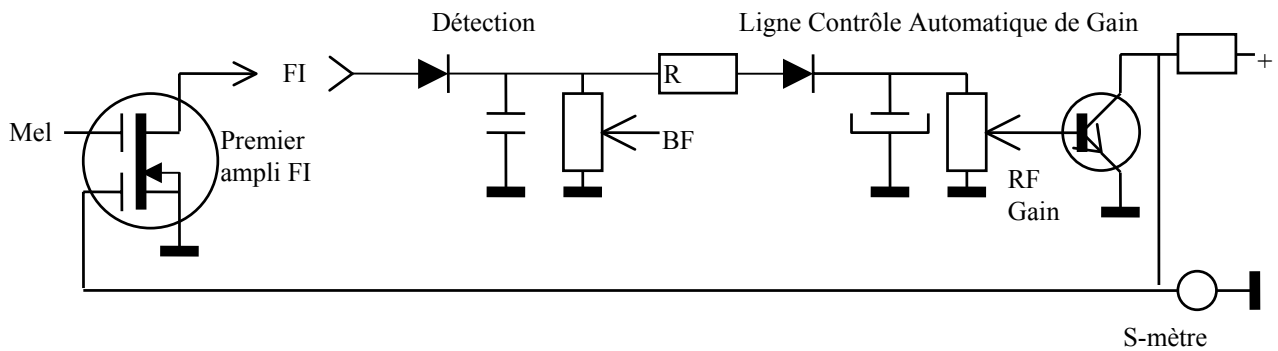
	AM	BLU	CW	FM
Principe	Oscillateur suivi d'un mélangeur BF	Mélangeur équilibré et filtre à Quartz (Q)	Coupure de l'alimentation de l'oscillateur ou du PA	Oscillateur à Varicap ou Préaccentuateur
Schéma synoptique				

12.4) -C- La Modulation d'amplitude

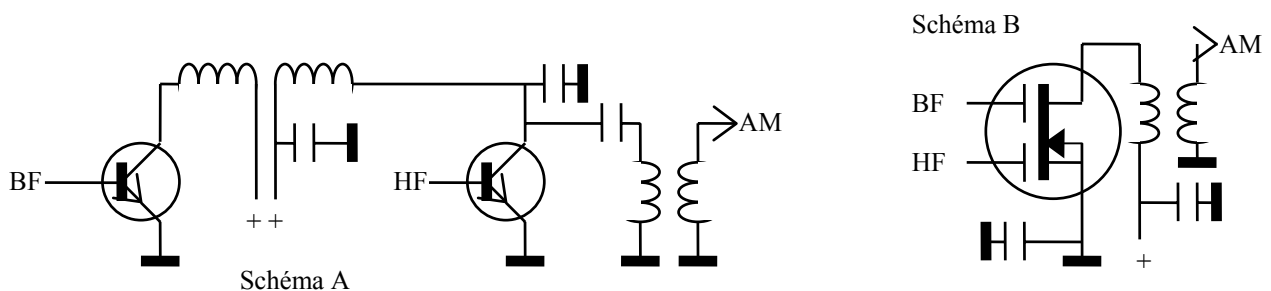
12.4-a) La **détection** (ou détecteur d'enveloppe) est constituée d'une diode suivie d'un circuit RC passe-bas pour filtrer la H.F. On ajuste la B.F. sur le point milieu de R.



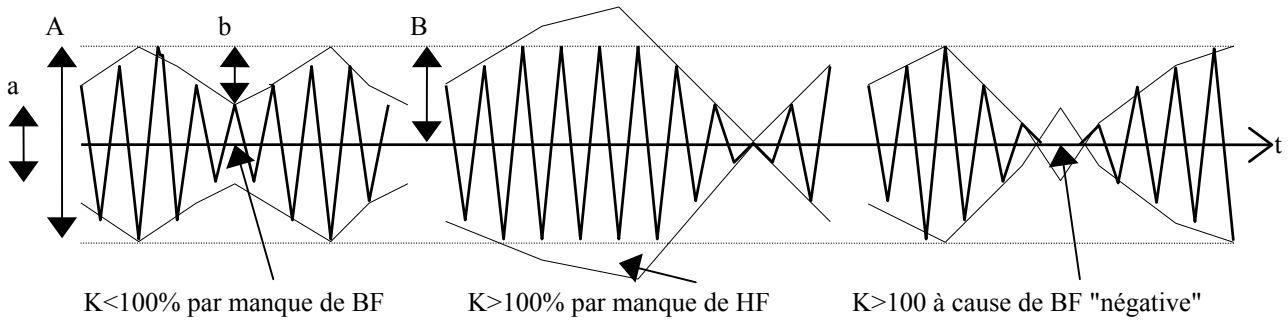
12.4-b) Le **contrôle automatique de gain** (CAG) est un dispositif qui permet d'avoir le même niveau B.F. quelque soit la force du signal H.F. à l'entrée du récepteur. La tension à la sortie du CAG permet d'ajuster le gain d'un ampli FI à transistor FET double porte. La CAG peut aussi agir sur le gain du premier étage HF.



12.4-c) On peut **moduler l'AM** de différentes façons : en alimentation de l'ampli final (A) ou en mélangeant HF et BF grâce à un FET (B).

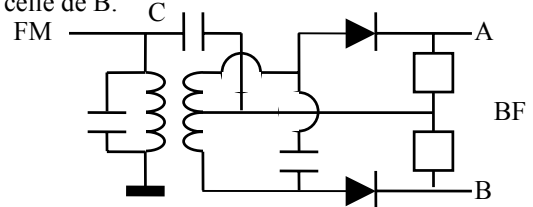
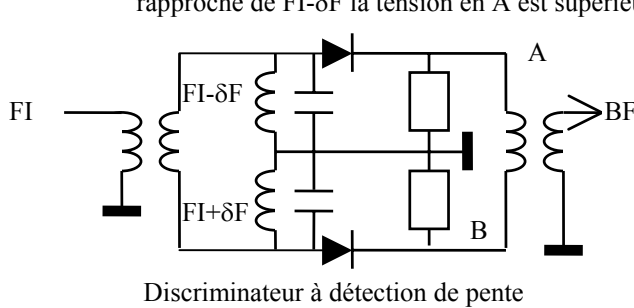


12.4-d) Le **taux de modulation** de l'AM est le rapport en % $K=(A-a)/(A+a)$ ou $K=b/B$



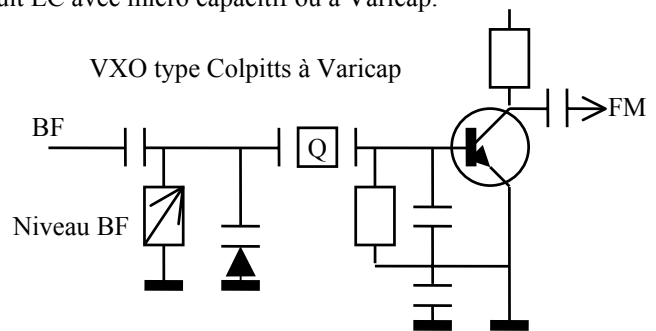
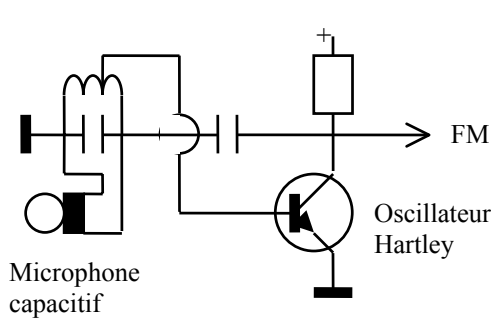
12.5) -C- La Modulation de fréquence

12.5-a) Un **discriminateur FM** (ou désaccentuateur) à détection de pente est composé de deux circuits oscillants calculés pour les fréquences extrêmes d'excursion (convertisseur équilibré). Quand la fréquence se rapproche de $FI-\delta F$ la tension en A est supérieure à celle de B.

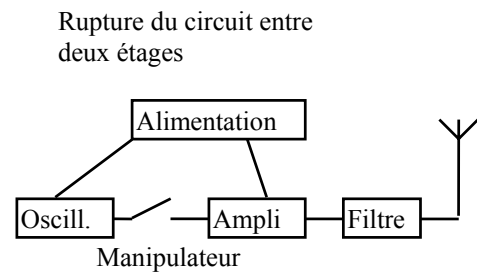
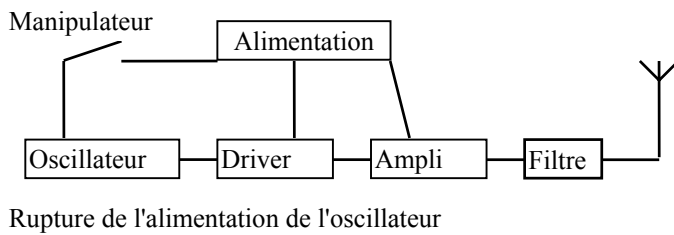


12.5-b) Le **squelsh** (ou silencieux) coupe l'alimentation BF en l'absence de H.F. (ou en cas d'un niveau HF trop faible) à la sortie FI, ce qui évite le souffle B.F. dû à l'absence de signal à l'entrée du discriminateur.

12.5-c) Un **modulateur FM** est bâti autour d'un circuit LC avec micro capacitif ou à Varicap.

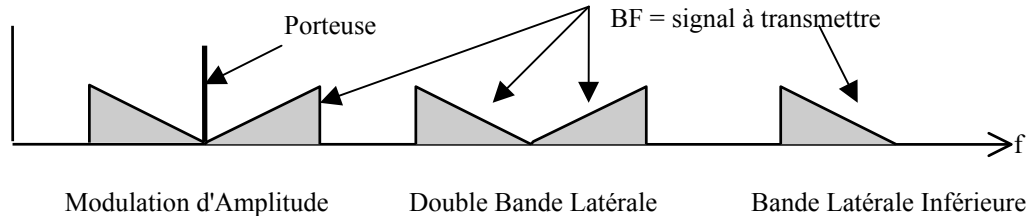


12.6) -C- La CW (Continuous Wave) : on peut moduler la CW par rupture d'alimentation sur différents étages: oscillateur, FI, ampli final. On peut aussi moduler par rupture de liaison entre les étages.



12.7) -C- La Bande Latérale Unique (BLU)

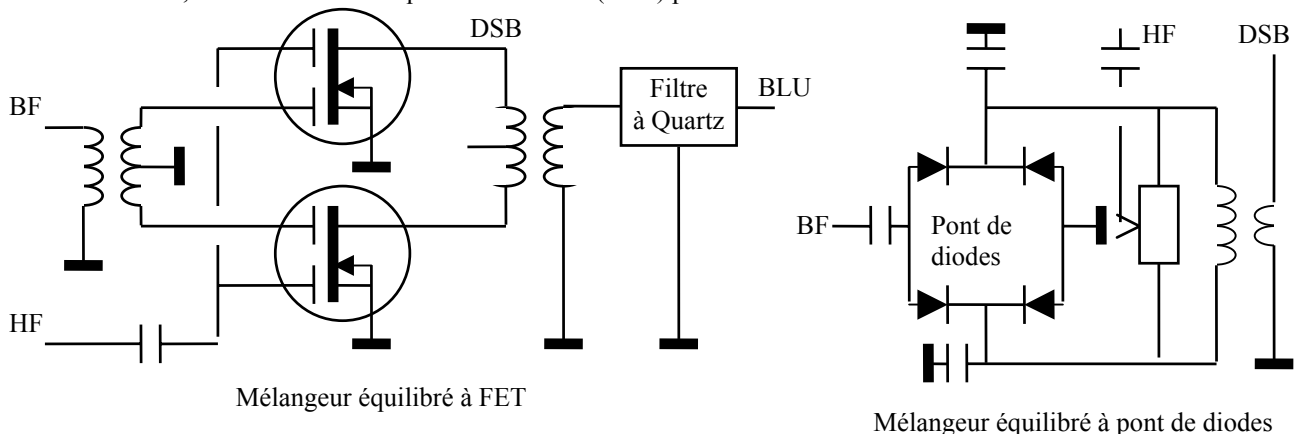
12.7-a) **Modulation BLU** : la BLU est une forme de modulation d'amplitude. Quand on représente l'AM en fonction de la fréquence, on s'aperçoit que la porteuse ne transmet aucun signal B.F. mais que les signaux B.F. se situent au dessus et au dessous de la porteuse : les fréquences B.F. et porteuse sont mélangées, on a donc la résultante porteuse+BF et porteuse-BF. La B.F. est donc présente deux fois dans les deux bandes latérales. Pour réduire le spectre d'occupation et les puissances mises en jeu, on ne conserve que la bande latérale inférieure ou supérieure.



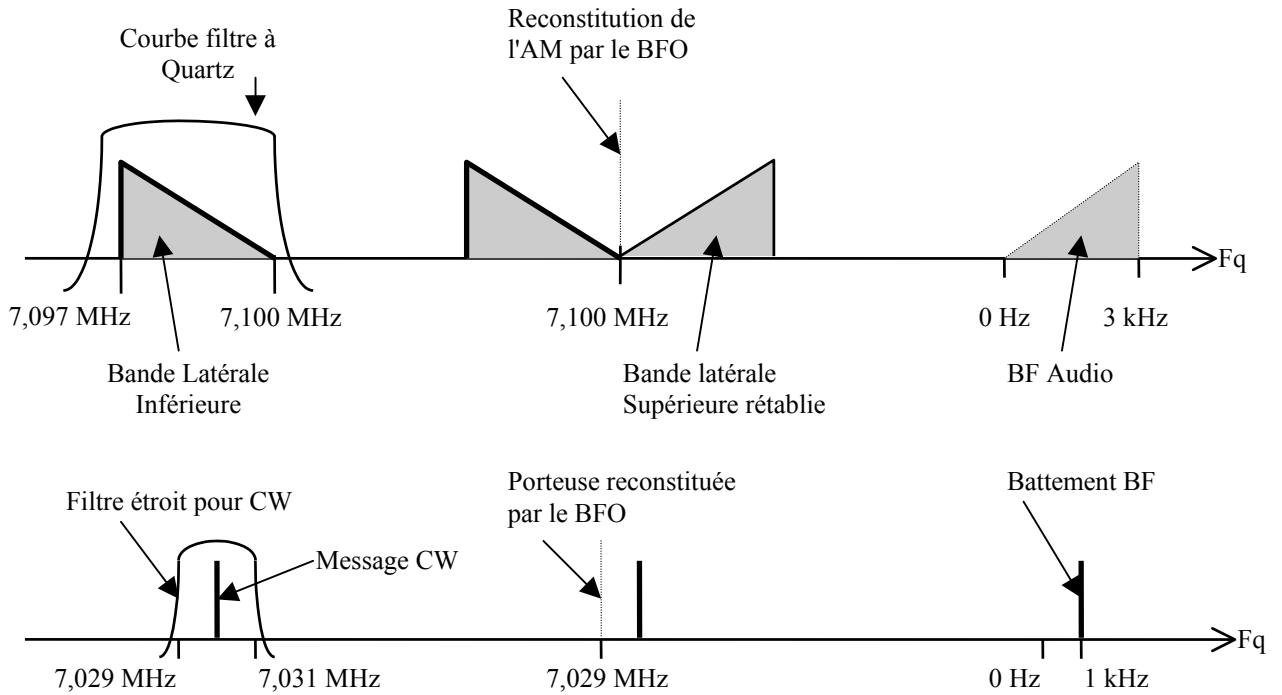
Mathématiquement la tension AM s'écrit ainsi ($k =$ taux de modulation): $S(t) = (1+k \cos \omega t) \cdot \cos \Omega t$,
 donc $S(t) = \cos \Omega t + k \cos \omega t \cdot \cos \Omega t$;
 donc $S(t) = \cos \delta t + 1/2k (\cos (\omega+\Omega)t + \cos (\omega-\Omega)t)$

Si $k=100\%$ (dans le meilleur des cas), on voit que les 2/3 de la tension provient de la porteuse. Le reste est réparti par moitié dans les deux bandes latérales . En puissance PEP (Peak Enveloppe Power), puissance crête de l'émetteur ($=U^2_{eff}/Z=U^2_{max}/2Z$), la porteuse contient les deux tiers de la puissance émise, les deux bandes latérales sont donc 6 dB en dessous de la puissance de la porteuse.

12.7-b) **Pour générer de la BLU**, on utilise un mélangeur équilibré qui génère de la double bande latérale (DSB = BLI + BLS) puis on filtre la bande que l'on désire avec un filtre à quartz. Lorsqu'il n'y a pas de signal B.F., le transformateur de sortie est équilibré. Il n'y a donc pas de H.F. Par contre, en présence d'un signal B.F., l'ensemble est déséquilibré et la H.F. (DSB) passe.



12.7-c) Le système qui permet de **démoduler la CW et la BLU** se nomme un BFO. Il rétablit la porteuse supprimée à l'émission pour générer de l'AM. Le mélangeur du BFO est suivi d'une détection AM. Le BFO (**Oscillateur de Battement de Fréquence**) est un oscillateur fixe qui fonctionne sur la fréquence FI à démoduler. En CW, la fréquence du BFO est proche de la fréquence FI, le mélange FI et BFO donne une fréquence audible (800 Hz environ). En BLU, la fréquence du BFO correspond à la fréquence théorique de la porteuse supprimée à l'émission.



TROISIEME PARTIE

ANNEXES

Programme de la licence

Bibliographie

Adresses

ARRETE du 21 septembre 2000 - PROGRAMMES DES EPREUVES

1re partie : « La réglementation des radiocommunications et les conditions de mise en oeuvre des installations des services d'amateur »

(Identique pour les certificats d'opérateurs des services d'amateur des classes 1, 2 et 3)

Chapitre 1^{er}

Réglementation internationale

1. Règlement des radiocommunications de l'UIT :

Définition du service d'amateur et du service d'amateur par satellite ;
Définition d'une station d'amateur ;
Article S 25 du règlement des radiocommunications ;
Bandes de fréquences du service d'amateur ;
Régions radioélectriques de l'UIT ;
Identification des stations radioamateurs, préfixes européens nationaux et dépendances ;
Composition des indicatifs d'appel, utilisation des indicatifs d'appel ;
Utilisation internationale d'une station amateur en cas de catastrophes nationales ;
Signaux de détresse ;
Résolution no 640 du règlement des radiocommunications de l'UIT.

2. Réglementation de la CEPT :

Les recommandations et les décisions de la CEPT concernant les radioamateurs.

Chapitre 2

Réglementation nationale

Connaissance des textes essentiels du code des postes et télécommunications.
Connaissance de la réglementation nationale du service d'amateur et d'amateur par satellite.

Chapitre 3

Brouillages et protections

1. Brouillage des équipements électroniques :

Brouillage avec le signal désiré ;
Intermodulation ;
Détection par les circuits audio.

2. Cause de brouillage des équipements électroniques :

Champ radioélectrique rayonné par une chaîne d'émission ;
Rayonnements non essentiels de l'émetteur ;
Effets indésirables sur l'équipement : par l'entrée de l'antenne, par d'autres lignes, par rayonnement direct, par couplage.

3. Puissance et énergie :

Rapports de puissance correspondant aux valeurs en dB suivantes : 0 dB, 3 dB, 6 dB, 10 dB et 20 dB (positives et négatives) ;
Rapports de puissance entrée/sortie en dB d'amplificateurs et/ou d'atténuateurs ;
Adaptation (transfert maximum de puissance) ;
Relation entre puissance d'entrée et de sortie et rendement : $\eta = P \text{ entrée} / P \text{ sortie} \times 100\%$
Puissance crête de la porteuse modulée [PEP].

4. Protection contre les brouillages :

Mesures pour prévenir et éliminer les effets de brouillage ;
Filtrage, découplage, blindage.

5. Protection électrique :

Protection des personnes et des installations radioamateurs ;
Alimentation par le secteur alternatif ;
Hautes tensions ;

Foudre ;
Compatibilité électromagnétique.

Chapitre 4

Antennes et lignes de transmission

1. Types d'antennes :

Doublet demi-onde alimenté au centre, alimenté par l'extrémité et adaptations ;
Doublet avec trappe accordée, doublet replié ;
Antenne verticale quart d'onde [type GPA] ;
Aérien avec réflecteurs et/ou directeurs [Yagi] ;
Antenne parabolique.

2. Caractéristiques des antennes :

Impédance au point d'alimentation ;
Polarisation ;
Gain d'antenne par rapport au doublet par rapport à la source isotrope ;
Puissance apparente rayonnée [PAR] ;
Puissance isotrope rayonnée équivalente [PIRE] ;
Rapport avant/arrière ;
Diagrammes de rayonnement dans les plans horizontal et vertical.

3. Lignes de transmission :

Ligne bifilaire, câble coaxial ;
Pertes, taux d'onde stationnaire ;
Ligne quart d'onde impédance ;
Transformateur, symétriseur ;
Boîtes d'accord d'antenne.

Chapitre 5

Extrait du code Q international

ABRÉVIATION	QUESTION	RÉPONSE OU AVIS
QRA	Quel est le nom de votre station ?	Le nom de ma station est ...
QRG	Voulez-vous m'indiquer ma fréquence exacte ou la fréquence exacte de ... ?	Votre fréquence exacte (ou le fréquence exacte de ...) est de ... kHz (ou MHz)
QRH	Ma fréquence varie-t-elle ?	Votre fréquence varie.
QRK	Quelle est l'intelligibilité de mes signaux (ou des signaux de ...) ?	L'intelligibilité de vos signaux (ou des signaux de ...) est : 1. Mauvaise 2. Médiocre 3. Assez bonne 4. Bonne 5. Excellente
QRL	Êtes-vous occupé ?	Je suis occupé (ou je suis occupé avec ...). Prière de ne pas brouiller
QRM	Êtes-vous brouillé ?	Je suis brouillé : 1. Je ne suis nullement brouillé 2. Faiblement 3. Modérément 4. Fortement 5. Très fortement
QRN	Êtes-vous troublé par des parasites ?	Je suis troublé par des parasites : 1. Je ne suis nullement troublé par des parasites 2. Faiblement 3. Modérément 4. Fortement 5. Très fortement
QRO	Dois-je augmenter la puissance d'émission ?	Augmentez la puissance d'émission.
QRP	Dois-je diminuer la puissance d'émission ?	Diminuez la puissance d'émission.
QRT	Dois-je cesser la transmission ?	Cessez la transmission.
QRU	Avez-vous quelque chose pour moi ?	Je n'ai rien pour vous.
QRV	Êtes-vous prêt ?	Je suis prêt.
QRX	À quel moment me rappellerez-vous ?	Je vous rappellerai à ... heures (sur ... kHz [ou MHz]).
QRZ	Par qui suis-je appelé ?	Vous êtes appelé par ... sur ... kHz (ou MHz).
QSA	Quelle est la force de mes signaux (ou des signaux de ...) ?	La force de vos signaux (ou des signaux de ...) est : 1. À peine perceptible 2. Faible 3. Assez bonne 4. Bonne 5. Très bonne.
QSB	La force de mes signaux varie-t-elle ?	La force de mes signaux varie.
QSL	Pouvez-vous me donner accusé de réception ?	Je vous donne accusé de réception.
QSO	Pouvez-vous communiquer avec ... directement (ou par relais) ?	Je puis communiquer avec ... directement (ou par l'intermédiaire de ...).
QSP	Voulez-vous retransmettre à ... gratuitement ?	Je peux retransmettre à ... gratuitement.
QSY	Dois-je passer à la transmission sur une autre fréquence ?	Passez à la transmission sur une autre fréquence (ou sur ... kHz [ou MHz]).
QTH	Quelle est votre position en latitude et en longitude (ou d'après tout autre indication) ?	Ma position est ... latitude ... longitude (ou d'après tout autre indication).
QTR	Quelle est l'heure exacte ?	L'heure exacte est ...

Table internationale d'épellation phonétique

LETTRES à transmettre	MOT DE CODE	PRONONCIATION du mot de code
A	Alfa	AL FAH
B	Bravo	BRA VO
C	Charlie	TCHAR LI ou CHAR LI
D	delta	DEL TA
E	Echo	EK O
F	Fox-trot	FOX TROTT
G	Golf	GOLF
H	Hotel	HO TELL
I	India	IN DI AH
J	Juliett	DJOU LI ETT
K	Kilo	KI LO
L	Lima	LI MAH
M	Mike	MA IK
N	November	NO VEMM BER
O	Oscar	OSS KAR
P	Papa	PAH PAH
Q	Quebec	KE BEK
R	Romeo	RO ME O
S	Sierra	SI ER RAH
T	Tango	TAN GO
U	Uniform	YOU NI FORM ou OU NI FORM
V	Victor	VIK TOR
W	Whiskey	OUISS KI
X	X-ray	EKSS RE
Y	Yankee	YANG KI
Z	Zoulou	ZOU LOU

Les syllabes accentuées sont en caractères gras.

2e partie : « La technique de l'électricité et de la radioélectricité » pour l'accès aux certificats d'opérateur des services d'amateur de classe 2 et 1

Chapitre 1^{er}

1. Electricité, électromagnétisme et radioélectricité

1.1. Conductivité :

Conducteur, semi-conducteur et isolant ;
Courant, tension et résistance ;
Les unités : l'ampère, le volt et l'ohm ;
La loi d'Ohm ($U = R.I$) ;
Puissance électrique ($P = U.I$) ;
L'unité : le watt ;
Energie électrique ($W = P.t$) ;
La capacité d'une batterie (ampère-heure).

1.2. Les générateurs d'électricité :

Générateur de tension, force électromotrice (FEM), courant de court circuit, résistance interne et tension de sortie ;
Connexion en série et en parallèle de générateurs de tension.

1.3. Champ électrique :

Intensité du champ électrique ;
L'unité ;
Blindage contre les champs électriques.

1.4. Champ magnétique :

Champ magnétique entourant un conducteur ;
Blindage contre les champs magnétiques.

1.5. Champ électromagnétique :

Ondes radioélectriques comme ondes électromagnétiques ;
Vitesse de propagation et relation avec la fréquence et la longueur d'onde $v = f\lambda$;
Polarisation.

1.6. Signaux sinusoïdaux :

La représentation graphique en fonction du temps ;
Valeur instantanée, amplitude : $[E_{\max}]$;

Valeur efficace [RMS] : $U_{eff} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$;

Valeur moyenne ;
Période et durée de la période ;
Fréquence ;
L'unité : le hertz ;
Différence de phase.

1.7. Signaux non sinusoïdaux :

Signaux basse fréquence ;
Signaux carrés ;
Représentation graphique en fonction du temps ;
Composante de tension continue, composante d'onde fondamentale et harmoniques.

1.8. Signaux modulés :

Modulation d'amplitude ;
Modulation de phase, modulation de fréquence et modulation en bande latérale unique ;

Déviaton de fréquence et indice de modulation : $m = \frac{\Delta f}{f_{\text{mod}}}$

Porteuse, bandes latérales et largeur de bande ;
Forme d'onde.

1.9. Puissance et énergie :

Puissance des signaux sinusoïdaux : $P = I^2 R$; $P = \frac{U^2}{R}$ ($U = U_{\text{eff.}}$; $I = I_{\text{eff.}}$)

Chapitre 2

2. Composants

2.1. Résistance :

Résistance ;
L'unité : l'ohm ;
Caractéristiques courant/tension ;
Puissance dissipée ;
Coefficient de température positive et négative.

2.2. Condensateur :

Capacité ;
L'unité : le farad ;
La relation entre capacité, dimensions et diélectrique

(aspect quantitatif uniquement) : $X_C = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

Déphasage entre la tension et le courant ;
Caractéristiques des condensateurs, condensateurs fixes et variables : à air, au mica, au plastique, à la céramique et condensateurs électrolytiques ;
Coefficient de température ;
Courant de fuite.

2.3. Bobine :

Bobine d'induction ;
L'unité : le henry ;
L'effet du nombre de spires, du diamètre, de la longueur et de la composition du noyau (effet qualitatif uniquement) ;
La réactance $[X_L]$ $X_L = 2\pi fL$;
Facteur Q ;
L'effet de peau ;
Pertes dans les matériaux du noyau.

2.4. Applications et utilisation des transformateurs :

- Transformateur idéal [$P_{\text{prim}} = P_{\text{sec}}$]
- La relation entre le rapport du nombre de spires et

- Le rapport des tensions : $\frac{U_{\text{sec}}}{U_{\text{prim}}} = \frac{N_{\text{sec}}}{N_{\text{prim}}}$

- Le rapport des courants : $\frac{I_{\text{sec}}}{I_{\text{prim}}} = \frac{N_{\text{prim}}}{N_{\text{sec}}}$

Le rapport des impédances (aspect qualitatif uniquement) ;
Les transformateurs.

2.5. Diode :

Utilisation et application des diodes.

Diode de redressement, diode Zener, diode LED diode émettrice de lumière, diode à tension variable et à capacité variable VARICAP ;

Tension inverse, courant, puissance et température.

2.6. Transistor :

Transistor PNP et NPN ;

Facteur d'amplification ;

Transistor effet champ canal N et canal P, FET ;

La résistance entre le courant drain et la tension porte ;

Le transistor dans :

- le circuit émetteur commun source pour FET ;

- le circuit base commune porte pour FET ;

- le circuit collecteur commun drain pour FET ;

Les impédances d'entrée et de sortie des circuits précités ;

Les méthodes de polarisation.

2.7. Divers :

Dispositif thermoionique simple ;

Circuits numériques simples.

Chapitre 3 Circuits

3.1. Combinaison de composants :

Circuits en série et en parallèle de résistances, bobines, condensateurs, transformateurs et diodes ;

Impédance ;

Réponse en fréquence.

3.2. Filtre :

Filtres séries et parallèles ;

Impédances ;

Fréquences caractéristiques ;

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

Facteur de qualité d'un circuit accordé : $Q = \frac{2\pi fL}{R_S}$; $Q = \frac{R_P}{2\pi fL}$; $Q = \frac{f_{res}}{B}$

Largeur de bande ;

Filtre passe bande, filtres passe-bas, passe-haut, passe-bande et coupe-bande composés d'éléments passifs, filtre en Pi et filtre en T ;

Réponse en fréquence ;

Filtre à quartz.

3.3. Alimentation :

Circuits de redressement demi-onde et onde entière et redresseurs en pont ;

Circuits de filtrage ;

Circuits de stabilisation dans les alimentations à basse tension.

3.4. Amplificateur :

Amplificateur à basse fréquence BF et à haute fréquence HF ;

Facteur d'amplification ;

Caractéristique amplitude/fréquence et largeur de bande ;
Classes de polarisation A, A/B, B et C ;
Harmoniques distorsions non désirées.

3.5. Détecteur :

Détecteur de modulation d'amplitude (AM) ;
Détecteur à diode ;
Détecteur de produit ;
Détecteur de modulation de fréquence (FM) ;
Détecteur de pente ;
Discriminateur Foster-Seeley ;
Détecteurs pour la télégraphie (CW) et pour la bande latérale unique (BLU).

3.6 Oscillateur :

Facteurs affectant la fréquence et les conditions de stabilité nécessaire pour l'oscillation ;
Oscillateur LC ;
Oscillateur à quartz, oscillateur sur fréquences harmoniques.
3.7. Boucle de verrouillage de phase PLL :
Boucle de verrouillage avec circuit comparateur de phase.

Chapitre 4

4. Récepteurs

4.1. Types :

Récepteur superhétérodyne simple et double.

4.2. Schémas synoptiques :

Récepteur CW [A1A] ;
Récepteur AM [A3E] ;
Récepteur SSB pour la téléphonie avec porteuse supprimée [J3E] ;
Récepteur FM [F3E].

4.3. Rôle et fonctionnement des étages suivants (aspect schéma synoptique uniquement) :

Amplificateur HF ;
Oscillateur [fixe et variable] ;
Mélangeur ;
Amplificateur de fréquence intermédiaire ;
Limiteur ;
Détecteur ;
Oscillateur de battement ;
Calibrateur à quartz ;
Amplificateur BF ;
Contrôle automatique de gain ;
S-mètre ;
Silencieux [squelch].

4.4. Caractéristiques des récepteurs (description simple uniquement) :

Canal adjacent ;
Sélectivité ;
Sensibilité ;
Stabilité ;
Fréquence-image, fréquences intermédiaires ;
Intermodulation ; transmodulation.

Chapitre 5

5. Emetteurs

5.1. Types :

Emetteurs avec ou sans changement de fréquences ;
Multiplication de fréquences.

5.2. Schémas synoptiques :

Emetteur CW [A1A] ;
Emetteur SSB avec porteuse de téléphonie supprimée [J3E] ;
Emetteur FM [F3E].

5.3. Rôle et fonctionnement des étages suivants (aspect schéma synoptique uniquement) :

Mélangeur ;
Oscillateur ;
Séparateur ;
Etage d'excitation ;
Multiplieur de fréquences ;
Amplificateur de puissance ;
Filtre de sortie filtre en pi ;
Modulateur de fréquences SSB de phase ;
Filtre à quartz.

5.4. Caractéristiques des émetteurs (description simple uniquement) :

Stabilité de fréquence ;
Largeur de bande HF ;
Bandes latérales ;
Bande de fréquences acoustiques ;
Non-linéarité ;
Impédance de sortie ;
Puissance de sortie ;
Rendement ;
Déviation de fréquence ;
Indice de modulation ;
Claquements et pialements de manipulation CW ;
Rayonnements parasites HF ;
Rayonnements des boîtiers.

Chapitre 6

6. Propagation et antennes

6.1. Propagation :

Couches ionosphériques ;
Fréquence critique ;
Fréquence maximale utilisable ;
Influence du soleil sur l'ionosphère ;
Onde de sol, onde d'espace, angle de rayonnement et bond ;
Evanouissements ;
Troposphère ;
Influence de la hauteur des antennes sur la distance qui peut être couverte ;
Inversion de température ;
Réflexion sporadique sur la couche E ;
Réflexion aurorale.

6.2. Caractéristiques des antennes :

Distribution du courant et de la tension le long de l'antenne ;
Impédance capacitive ou inductive d'une antenne non accordée.

6.3. Lignes de transmission :

Guide d'ondes ;

Impédance caractéristique ;
Vitesse de propagation ;
Pertes, affaiblissement en espace libre ;
Lignes ouvertes et fermées comme circuits accordés.

Chapitre 7

7. Mesures

7.1. Principe des mesures :

Mesure de :

- tensions et courants continus et alternatifs ;
- erreurs de mesure ;
- influence de la fréquence ;
- influence de la forme d'onde ;
- influence de la résistance interne des appareils de mesure ;
- résistance ;
- puissance continue et haute fréquence puissance moyenne et puissance de crête ;
- rapport d'onde stationnaire en tension ;
- forme d'onde de l'enveloppe d'un signal à haute fréquence ;
- fréquence ;
- fréquence de résonance.

7.2. Instruments de mesure :

Pratique des opérations de mesure :

- appareil de mesure à cadre mobile, appareil de mesure multi-gamme multimètre ;
- ROS mètre ;
- compteur de fréquence, fréquencemètre à absorption ;
- ondemètre à absorption ;
- oscilloscope et analyseur de spectre.

Feuille d'évaluation de l'examen du / /19 .

Question n°	A	B	C	D	Rien	Thème
1-						
2-						
3-						
4-						
5-						
6-						
7-						
8-						
9-						
10-						
11-						
12-						
13-						
14-						
15-						
16-						
17-						
18-						
19-						
20-						

Technique:
20 questions en 30 minutes ; 30/60

Règlementation :
20 questions en 15 minutes ; 30/60

NE REPONDEZ AUX QUESTIONS QUE SI VOUS ETES SUR DE VOTRE REPONSE.

NE PERDEZ PAS DE TEMPS SUR UNE QUESTION QUI VOUS SEMBLE DIFFICILE

LORSQUE VOUS PENSEZ AVOIR TERMINE, VERIFIEZ UNE DERNIERE FOIS SI TOUTES VOS REPONSES ONT BIEN ETE ENREGISTREES.

POUR REpondre A UNE QUESTION,
Tapez la lettre de votre réponse puis "ENVOI"

SI VOUS PASSEZ UNE QUESTION,
Tapez "SUITE"

POUR ANNULER UNE REPONSE,
Tapez "E" puis "ENVOI"

QUAND VOUS AVEZ TERMINE
Tapez "F-I-N" puis "ENVOI"

DECOMPTE DES POINTS :
3 points pour une bonne réponse ; -1 point pour une mauvaise réponse ; 0 point pour pas de réponse

BIBLIOGRAPHIE et ADRESSES

Réglementation :

Guide du Radioamateur (édition 1999) édité par l'ART. Ce guide est vendu 40 Francs et est disponible auprès des associations (REF,URC) et auprès de la l'Administration de Tutelle. Ce guide est à ce jour épuisé. Mais tous les textes sont disponibles sur internet : www.art-telecom.fr.

Technique :

Revue :

Radio REF, revue du REF-Union

Mégahertz Magazine – SRC – BP 88 35890 Laillé – Tél : 02.99.42.52.73 – megahertz-magazine.com

Livres :

Bases d'électricité et de radioélectricité, SIGRAND F2XS, ETSF

L'émission et la réception d'amateur, RAFFIN F3AV, ETSF

Que sais-je - les transistors, PUF

Que sais-je - les amplis opérationnels, PUF

Entraînement :

Plusieurs possibilités d'entraînement : les deux serveurs de l'ART et REF :

36 14 code AMAT, le serveur de l'ART où sont disponibles l'annuaire des radioamateurs, les renseignements administratifs et des exercices d'entraînement à la licence.

36 15 code REF, le serveur du Réseau des Emetteurs Français.

Sur le net : le site du radio club F6KQH : <http://www.enserb.fr/f6kqh/spera.html>

Adresses :

Association :

Réseau des Emetteurs Français, REF-Union (Organe officiel IARU)

32 rue de Suède, B.P. 7429, 37074 TOURS Cedex 2 -

Tel : 02 47 41 88 73 - Fax : 02 47 41 88 88 - Site : www.ref-union.org

Union des Radio Clubs, 25 allée des Princes, 95440 Ecouen

CFRR, 26 rue Dagorno, 75012 Paris

IDRE, BP 113, 31604 MURET Cedex

Administration de tutelle :

Autorité de Régulation des Télécommunications (ART)

7 square Max HYMANS - 75730 PARIS Cedex 15

Tél : 01 40 47 71 98 - Site internet : <http://www.art-telecom.fr>

Gestion des indicatifs et des dossiers des radioamateurs :

A.R.T. - C.G.R.P.

Route de la Queue en Brie - NOISEAU - B.P. 61 - 94371 SUCY en Brie Cedex

Tél. : 01 45 95 33 69 - Fax : 01 45 90 91 67

Centres d'examen :

Toutes les coordonnées des centres d'examen sont disponibles sur Minitel : 3614 Code AMAT. Ces centres sont situés à : Villejuif (94), 112 rue E.Vaillant (01 47 26 00 33) ; Boulogne sur Mer (03 21 80 12 07) ; Villers les Nancy, 7 allée de Longchamp (03 83 44 70 00) ; St André de Corcy (01), route de Neuville (04 72 26 80 05) ; Marseille, La Madrague de Montredon (04 91 25 07 00) ; Tournefeuille (31), 4 Bd M.Proust (05 61 15 94 30) ; Donges (44), La Pommerai (02 40 45 36 36) ; Arcachon ; Brest.

BONNE CHANCE ET A BIENTOT SUR L'AIR

F6GPX, Jean-Luc