

⦿ Électricité ⦿

⦿ Radioélectricité ⦿

⦿ Réglementation ⦿



Cours de base pour la formation :
Certificat Restreint de Radiotéléphoniste (CRR)

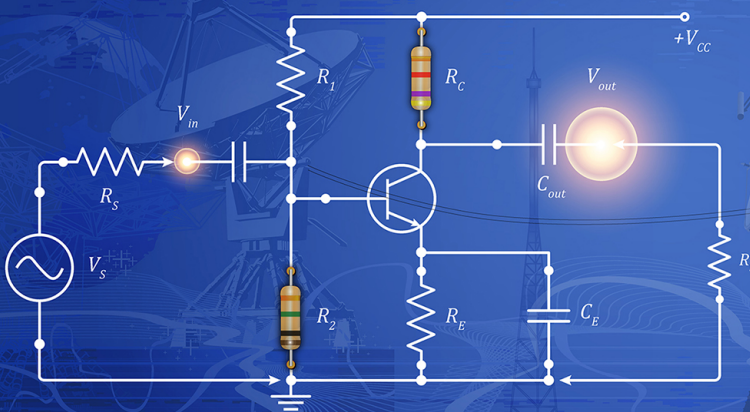


Tout ce que vous devez savoir pour commencer



THÉORIE DU RADIOAMATEUR

Cours simplifié, exemples & exercices





ROYAUME DU MAROC



ASSOCIATION ROYALE DES RADIO-AMATEURS DU MAROC
(A.R.R.A.M)

THÉORIE DU RADIOAMATEUR

COURS DE BASE POUR LA FORMATION CERTIFICAT RESTREINT
DE RADIOTÉLÉPHONISTE (CRR)

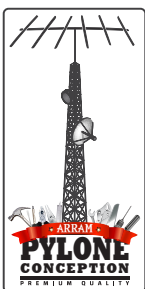
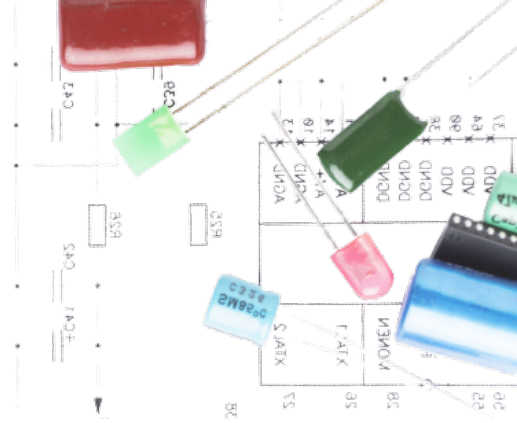
Réglementation, Électricité & Radioélectricité

2^{ème} édition

Janvier 2021



274 Rue Rouifia Ben Thabit, Aviation Souissi – Rabat
Tél. : +212 (0) 537 67 37 03 – Télécopie : +212 (0) 537 67 47 57
<https://www.aram.ma/> – aram.cn8mc@gmail.com – info@aram.ma



Réalisé par :

► **Al Alae BELOUALI (CN8ABO) :**

Réédition, mise à jour, illustrations, infographie & design.

Cet ouvrage est la version rééditée (annotée, amendée & complétée...) de la 1^{ère} édition des «Cours d'électricité, radioélectricité et réglementation des radiocommunications» de l'Association Royale des Radio-Amateurs du Maroc.

Un merci spécial à M. **Hamid EJDIOUI (CN8VL)** pour son soutien et sa contribution à la réalisation de cet ouvrage.

Merci également à tout le personnel de l'Association Royales des Radio-Amateurs du Maroc, aux membres actifs ainsi qu'aux visiteurs d'avoir fait de cet établissement un succès !

Dans cet ouvrage, la forme masculine désigne tant les femmes que les hommes.

ISBN : 978-9920-34-148-6

Préparation au Certificat Restreint de Radiotéléphoniste du service Amateur

**Ce document est mis à disposition selon les termes suivants :
«Attribution - Pas de modification - Pas d'utilisation commerciale».**



أعوذ بالله من الشيطان الرجيم

« إِنَّمَا الْمُؤْمِنُونَ إِخْوَةٌ فَأَصْلِحُوا بَيْنَ أَخَوَيْكُمْ وَاتَّقُوا اللَّهَ لَعَلَّكُمْ تُرْحَمُونَ ﴿١٣﴾ يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا لَا يَسْخَرُ قَوْمٌ مِّن قَوْمٍ عَسَىٰ أَن يَكُونُوا خَيْرًا مِنْهُمْ وَلَا نِسَاءٌ مِّن نِّسَاءٍ عَسَىٰ أَن يَكُنَّ خَيْرًا مِنْهُنَّ وَلَا تَلْمِزُوا أَنفُسَكُمْ وَلَا تَنَابَزُوا بِاللُّقَابِ بِئْسَ الْأَسْمُ الْفُسُوقُ بَعْدَ الْإِيمَانِ وَمَن لَّمْ يَتُبْ فَأُولَٰئِكَ هُمُ الظَّالِمُونَ ﴿١٤﴾ يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا اجْتَنِبُوا كَثِيرًا مِّنَ الظَّنِّ إِنَّ بَعْضَ الظَّنِّ إِثْمٌ وَلَا تَجَسَّسُوا وَلَا يَغْتَب بَّعْضُكُم بَعْضًا أَيُحِبُّ أَحَدُكُمْ أَن يَأْكُلَ لَحْمَ أَخِيهِ مَيْتًا فَكَرِهْتُمُوهُ وَاتَّقُوا اللَّهَ إِنَّ اللَّهَ تَوَّابٌ رَّحِيمٌ ﴿١٥﴾ يَا أَيُّهَا النَّاسُ إِنَّا خَلَقْنَاكُمْ مِّن ذَكَرٍ وَأُنثَىٰ وَجَعَلْنَاكُمْ شُعُوبًا وَقَبَائِلَ لِتَعَارَفُوا إِنَّ أَكْرَمَكُمْ عِنْدَ اللَّهِ أَتْقَاكُمْ إِنَّ اللَّهَ عَلِيمٌ خَبِيرٌ ﴿١٦﴾ »

[سورة الحجرات / الآيات 10-13]

« Les croyants ne sont que des frères. Établissez la concorde entre vos frères, et craignez Allah, afin qu'on vous fasse miséricorde. Ô vous qui avez cru! Qu'un groupe ne se raille pas d'un autre groupe : ceux-ci sont peut-être meilleurs qu'eux. Et que des femmes ne se raillent pas d'autres femmes : celles-ci sont peut-être meilleures qu'elles. Ne vous dénigrez pas et ne vous lancez pas mutuellement des sobriquets (injurieux). Quel vilain mot que «perversion» lorsqu'on a déjà la foi. Et quiconque ne se repent pas... Ceux-là sont les injustes. Ô vous qui avez cru! Évitez de trop conjecturer [sur autrui] car une partie des conjectures est péché. Et n'espionnez pas; et ne médisez pas les uns des autres. L'un de vous aimerait-il manger la chair de son frère mort? (Non!) vous en aurez horreur. Et craignez Allah. Car Allah est Grand Accueillant au repentir, Très Miséricordieux. Ô hommes! Nous vous avons créés d'un mâle et d'une femelle, et Nous avons fait de vous des nations et des tribus, pour que vous vous entreconnaissiez. Le plus noble d'entre vous, auprès d'Allah, est le plus pieux. Allah est certes Omniscient et Grand-Connaisseur ».

[Al-Hujurat (les chambres) / Versets 10-13]



إِنَّا لِلَّهِ وَإِنَّا إِلَيْهِ رَاغِبُونَ

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا صَلُّوا عَلَيْهِ وَسَلِّمُوا تَسْلِيمًا

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	20
CADRE RÉGLEMENTAIRE	
Union Internationale des Télécommunications (UIT).....	21
Union Internationale des Radioamateurs (UIRA).....	21
Agence Nationale ANRT	21
Service Radioamateur	22
Association Royale des Radioamateurs.....	22
Buts de l'Association	22
Buts de l'amateurisme	23
Qualités et principes de base	23
Documents officiels du Radioamateur.....	24
Carnet de station.....	24
Examen de certification radio	25
CHAPITRE I : RÉGLEMENTATION	
1.1 TERMES ET DÉFINITIONS	27
1.1.1 Termes généraux.....	27
1.1.2 Types de transmission	29
1.1.3 Caractéristiques supplémentaires	29
1.2 FRÉQUENCE	29
1.2.1 Règle générale.....	29
1.2.2 Répartition des fréquences.....	29
1.3 BROUILLAGE	30
1.4 DISPOSITIONS ADMINISTRATIVES CONCERNANT LES STATIONS	31
1.4.1 Secret.....	31
1.4.2 Licence.....	31
1.4.3 Identification des stations.....	31
1.4.4 Inspection des stations mobiles.....	31
1.4.5 Personnel des stations de service mobile	32
1.5 PROCÉDURE	32
1.5.1 Opérations préliminaires.....	32
1.5.2 L'appel.....	33
1.5.3 Transmissions des messages	33
1.5.4 Accusés de réception «QSL»	34
1.5.5 Essais.....	34
1.6 SÉCURITÉ - URGENCE	34
1.6.1 Transmission d'un signal de détresse par une station qui n'est pas elle-même en détresse.....	37
1.6.2 Signal d'urgence.....	38

1.6.3	Signal de sécurité	38
1.6.4	Fréquences de détresse	39
1.7	CODE MORSE	40
1.8	CONDITION D'EXPLOITATION	40
1.9	CONDITIONS DE CONTRÔLE	41
1.10	CONDITIONS TECHNIQUES	41
1.11	PRINCIPES GÉNÉRAUX	43
1.12	RÉGIME DES AGRÉMENTS	43
1.13	INFRACTIONS ET SANCTIONS PÉNALES	44
1.14	CODE «Q» ET ABRÉVIATIONS	47
 CHAPITRE II : ÉLECTRICITÉ		
2.1	CONSTITUTION DE LA MATIÈRE	60
2.1.1	Notion de la matière	60
2.1.2	Constitution de la matière	60
2.1.3	Corps pur, corps composé et corps simple	60
2.1.3.1	Définitions	60
2.1.4	Élément chimique – Atome – Molécule	61
2.1.5	Constitution de l'atome	61
2.1.6	État électrique d'un atome	62
2.1.7	Mouvement des électrons	62
2.1.8	Propriété essentielle des électrons	63
2.2	COURANT CONTINU	63
2.2.1	Corps bon conducteurs et corps mauvais conducteurs	63
2.2.2	Nature du courant électrique	64
2.2.3	Caractéristiques générales	65
2.2.3.1	Notion de corps conducteurs	65
2.2.4	Effets du courant électrique	65
2.2.4.1	Notion du circuit	65
2.2.5	Quantité d'électricité	67
2.2.6	Intensité du courant électrique	68
2.2.6.1	Mesure de l'intensité d'un courant	68
2.2.6.2	Loi des nœuds	69
2.2.7	Différence de potentiel	70
2.2.7.1	Généralités	70
2.2.7.2	Unité de différence de potentiel	71
2.2.7.2.1	Symbole de la DDP	71
2.2.7.2.2	Définition de la DDP	71
2.2.7.2.3	Définition du volt	71
2.2.7.3	Mesure de la différence de potentiel	72
2.2.7.4	Notion de résistance	72
2.2.7.5	Mesure de la résistance électrique	73

2.2.7.5.1	Unité de la résistance.....	73
2.2.7.5.2	Calcul de la résistance d'un conducteur.....	74
2.2.7.5.3	Complément sur la résistivité.....	76
2.2.7.5.4	Forme des résistances.....	76
2.2.8	Puissance fournie par un courant à une portion de circuit.....	77
2.2.8.1	Mesure de la puissance électrique.....	78
2.2.8.1.1	Méthode de l'Ampèremètre et du Voltmètre.....	78
2.2.8.1.2	Mesure de la puissance à l'aide d'un Wattmètre.....	78
2.2.8.2	Énergie électrique fournie à une portion de circuit.....	79
2.2.9	La résistance.....	79
2.2.9.1	Définition de la résistance pure.....	80
2.2.9.2	Loi d'Ohm pour une résistance pure.....	80
2.2.9.3	Utilisation de la loi d'Ohm.....	81
2.2.9.4	Groupement des résistances.....	82
2.2.9.4.1	Résistances associées en série.....	82
2.2.9.4.2	Résistances associées en parallèle.....	83
2.2.9.4.2.1	Définition et mesure.....	83
2.2.9.4.2.2	Théorème des conductances.....	84
2.2.10	Les générateurs.....	85
2.2.10.1	Définition.....	85
2.2.10.2	Loi d'Ohm pour un générateur.....	85
2.2.10.3	Générateurs associés en série.....	85
2.2.10.4	Générateurs associés en parallèle.....	86
2.2.11	Applications des groupements de résistors.....	87
2.2.11.1	Éléments de réglages.....	87
2.2.11.1.1	Résistance additionnelle.....	87
2.2.11.1.2	Rhéostats.....	88
2.2.11.1.2.1	Définition.....	88
2.2.11.1.2.2	Différents types.....	89
2.2.11.1.2.3	Emploi d'un rhéostat en potentiomètre.....	89
2.2.11.2	Mesure précise de résistance par le pont de Wheatstone.....	91
2.2.11.3	Équilibre du pont.....	91
2.2.12	Les condensateurs.....	92
2.2.12.1	Définition.....	92
2.2.12.2	Charge et décharge d'un condensateur.....	94
2.2.12.3	Association en parallèle.....	96
2.2.12.4	Association en série.....	97
2.3	LES APPAREILS DE MESURE.....	98
2.3.1	Les galvanomètres.....	98
2.3.1.1	Principe.....	98
2.3.1.2	Le galvanomètre à cadre mobile.....	98
2.3.1.3	Le galvanomètre thermique.....	98

2.3.2	Mesure des tensions	99
2.3.2.1	Le voltmètre	99
2.3.2.1.1	Unité de mesure	99
2.3.2.1.2	Calcul de la résistance d'un voltmètre	100
2.3.2.1.3	Réalisation d'un voltmètre à plusieurs sensibilités	100
2.3.2.2	L'ampèremètre.....	101
2.3.2.2.1	Mesure des intensités.....	101
2.3.2.2.2	Unité de mesure.....	101
2.3.2.2.3	Shunt d'un ampèremètre.....	101
2.3.2.2.4	Réalisation d'un ampèremètre à plusieurs sensibilités	102
2.3.2.2.5	Mesure en alternatif	103
2.4	LES RÉCEPTEURS USUELS.....	104
2.4.1	Définitions.....	104
2.4.2	La puissance mise en jeu dans un récepteur.....	104
2.4.3	Loi d'Ohm relative à un récepteur	106
2.4.4	Lois relatives aux circuits électriques à une maille	108
2.4.5	La force électromotrice d'un générateur.....	109
2.5	LES GÉNÉRATEURS (SUITE)	109
2.5.1	Définitions et caractéristiques externes	111
2.5.2	Courant débité par un générateur dans un résistor linéaire	111
2.5.3	Puissance et rendement d'un générateur.....	111
2.5.4	Groupements de générateurs.....	112
2.5.4.1	Groupement en série.....	112
2.5.5	Générateur unique.....	113
2.6	LES TRANSFORMATEURS	113
2.6.1	Définition	113
2.6.2	Principe de fonctionnement	114
2.6.3	Caractéristiques d'un transformateur	114
2.6.3.1	Fonctionnement à vide.....	114
2.6.3.2	Fonctionnement avec charge	117
2.7	MAGNÉTISME	118
2.7.1	Généralité sur l'électromagnétique	118
2.7.2	L'induction.....	120
2.7.3	Le coefficient de Self-induction.....	121
2.7.4	La bobine de self-induction en alternatif.....	122
2.8	COURANT ALTERNATIF.....	123
2.8.1	Définition	123
2.8.2	Les différentes formes du courant électrique.....	123
2.8.3	Définition de la période	124
2.8.4	Définition de la fréquence.....	124
2.8.5	Caractéristiques d'un courant alternatif (sinusoïdal)	125

2.8.6 Valeurs efficaces	126
2.8.7 Notion de phase et de déphasage	126
2.8.8 Notion d'impédance	128
2.8.9 Construction de Fresnel	128
2.8.10 Impédance des condensateurs	129
2.8.11 Résistance pure parcourue par un courant alternatif.....	130
2.8.11.1 Définition	130
2.8.12 Résistance pure et inductance en série (circuit RL série).....	130
2.8.13 Circuit RLC série	132
2.9 PHÉNOMÈNE DE LA RÉSONANCE	137
2.9.1 Conditions de la résonance.....	137
2.9.2 Propriétés de la résonance.....	138
 CHAPITRE III : RADIOÉLECTRICITÉ	
3.1 LES SEMI-CONDUCTEURS	140
3.1.1 Diode à pointe.....	140
3.1.2 Diode à jonction	140
3.1.3 Les transistors	141
3.1.3.1 Transistor PNP	143
3.1.3.2 Transistor NPN	143
3.1.3.3 Les trois montages fondamentaux	144
3.1.3.3.1 Montage émetteur commun.....	144
3.1.3.3.2 Montage base commune.....	144
3.1.3.3.3 Montage collecteur commun.....	145
3.1.3.4 Gain du transistor	145
3.1.3.5 Transistor à effet de champ	147
3.1.3.6 Transistor à effet de champ à grille isolée MOSFET (ou TECMOS).....	149
3.2 UTILISATION DU COURANT ALTERNATIF	150
3.2.1 Alimentation avec diodes à semi-conducteurs.....	153
3.2.2 Tension inverse de crête.....	153
3.3 L'AMPLIFICATION BASSE FRÉQUENCE	154
3.3.1 Le quadripôle	154
3.3.2 Les trois cas à envisager	154
3.3.3 Notion du gain et application du décibel.....	155
3.3.3.1 Gain en puissance	155
3.3.3.2 Gain en tension.....	156
3.4 MODULATION	157
3.4.1 Principe	157
3.4.2 Modulation d'amplitude (AM).....	158
3.4.2.1 Taux de modulation	158
3.4.2.2 Fréquence et bande latérale de modulation	159
3.4.2.3 Spectre de fréquence	159
3.4.2.4 Systèmes d'émission utilisés en modulation d'amplitude.....	160

3.4.2.5	Interprétation mathématique de la modulation d'amplitude.....	162
3.4.2.7	Généralités sur la BLU (SSB) et la BLI (LSB)	163
3.4.2.6	Puissance mise en jeu dans une onde modulée en amplitude	164
3.4.2.8	Modulation d'amplitude sans porteuse.....	165
3.4.3	Modulation de fréquence (FM).....	166
3.4.3.1	Émission en modulation de fréquence.....	166
3.4.3.2	Procédé de modulation	167
3.4.3.2.1	Microphone HF	167
3.4.3.2.2	Modulation par diode à capacité variable	168
3.4.3.2.3	Modulation par noyau en ferrite saturé.....	168
3.4.3.3	Avantages de la modulation de fréquence (FM)	169
3.4.3.4	Inconvénients de la modulation de fréquence (FM).....	169
3.4.3.5	Conclusion	169
3.4.4	Notions sommaires sur la BLU (SSB).....	170
3.4.4.1	Généralités.....	170
3.4.4.2	Principaux avantages du système BLU (SSB).....	170
3.4.4.3	Gain en portée	171
3.4.5	Traduction pratique de la BLU (SSB)	171
3.4.6	Suppression de la porteuse.....	171
3.4.7	Principe du modulateur équilibré.....	172
3.4.8	HF sans modulation	173
3.4.9	Bande latérale unique BLU (SSB).....	174
3.4.9.1	Schéma synoptique simple.....	175
3.4.10	Les filtres à quartz.....	175
3.4.11	BLU (SSB) par déphasage	177
3.4.12	BLU par filtre mécanique	178
3.4.13	Réception de la BLU	178
3.4.13.1	Le détecteur de produit	178
3.5	COMPOSITION D'UN ÉMETTEUR SIMPLE	179
3.5.1	Neutrodynage	181
3.6	RÉCEPTEUR RADIO	182
3.6.1	Généralités	182
3.6.2	Principe sommaire	182
3.6.3	Changement de fréquence.....	182
3.7	PROPAGATION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES	183
3.7.1	Généralités.....	183
3.7.2	Classification des ondes.....	184
3.7.2.1	L'onde ionosphérique.....	185
3.7.3	Les facteurs de propagation.....	186
3.7.3.1	Le sol.....	186
3.7.3.2	L'atmosphère	187
3.7.3.2.1	La réfraction atmosphérique.....	187
3.7.3.2.2	Les perturbations atmosphériques	188

3.7.3.2.3	La troposphère.....	188
3.7.3.2.4	L'ionosphère	188
3.7.3.3	La fréquence	188
3.7.4	Propagation en fonction de la fréquence	189
3.7.4.1	Généralités	189
3.7.4.2	Définition	190
3.7.4.3	Les ondes kilométriques LF.....	190
3.7.4.4	Les ondes hectométriques MF	191
3.7.4.5	Les ondes décamétriques HF	191
3.7.4.6	Les ondes métriques VHF	192
3.7.4.7	Les ondes décimétriques et centimétriques UHF et SHF	193
3.7.4.8	Les antennes	193
3.7.5	Choix des éléments d'une radiocommunication.....	193
3.7.5.1	Exposé du problème	193
3.7.5.2	Choix du mode de propagation	193
3.7.5.3	Choix de la fréquence	194
3.7.5.3.1	Cas de l'onde de sol	194
3.7.5.3.2	Cas de l'onde ionosphérique	194
3.7.5.4	Choix de l'antenne	194
3.7.5.4.1	Antenne pour onde de sol.....	194
3.7.5.4.2	Antenne pour onde ionosphérique.....	194
3.7.6	Ordres de grandeur des fréquences à utiliser en AM.....	194
3.8	LES ANTENNES	195
3.8.1	L'induction.....	195
3.8.2	Le rayonnement	195
3.8.3	Notion d'antenne	196
3.8.4	Les lignes de transmissions	196
3.8.4.1	Rôle des lignes HF.....	196
3.8.4.2	Principaux types de lignes	196
3.8.4.3	Caractéristiques des lignes de transmissions HF	197
3.8.4.4	Notion d'impédance sur une ligne.....	198
3.8.4.4.1	Définition de l'impédance	198
3.8.4.4.2	Impédance d'entrée d'une ligne	198
3.8.4.4.3	Impédance en un point quelconque de la ligne.....	199
3.8.4.5	Propagation de l'onde sur une ligne infinie	200
3.8.4.6	Propagation de l'onde sur une ligne de longueur finie	200
3.8.5	Caractéristiques principales des antennes.....	202
3.8.5.1	Diagramme de rayonnement ou directivité	203
3.8.5.2	Gain d'une antenne.....	204
3.8.5.3	Les antennes de réception	204
3.8.5.3.1	Sélectivité.....	204
3.8.5.3.2	Directivité	204
3.8.5.3.3	Position de l'antenne	204

3.8.6 Les principaux types d'antennes.....	205
3.8.6.1 Antenne fouet	205
3.8.6.2 Les antennes filaires.....	206
3.8.6.2.1 L'antenne doublet.....	207
3.8.6.3 Avantages et inconvénients	208
3.8.7 Conseils pratiques pour l'installation des antennes.....	209
3.8.7.1 Précautions de base	209
3.8.7.1.1 Impédance inadaptée	209
3.8.7.2 Précautions diverses.....	209
3.8.7.3 Précautions particulières à prendre pour l'utilisateur.....	209

CHAPITRE IV : SÉCURITÉ AUX ACTIVITÉS

4.1 DANGERS DU COURANT ÉLECTRIQUE	211
4.1.1 Effets du courant électrique sur l'organisme	211
4.1.1.1 Brûlures.....	211
4.1.1.2 Contractions musculaires.....	211
4.1.1.3 Paralysie des centres nerveux	211
4.1.1.4 Intensité dangereuse.....	211
4.1.2 Précautions à prendre pour éviter l'électrocution.....	212
4.1.3 Mesures à prendre en cas d'accident	213
4.1.3.1 Méthode de la respiration artificielle Schaefer.....	213
4.1.3.2 Traitement des brûlures	214
4.2 DANGER D'INCENDIE.....	214
4.2.1 Causes	214
4.2.2 Prévention.....	215
4.2.3 Extinction.....	215

CHAPITRE V : PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

5.1 AVANTAGES DE LA PRÉSERVATION DE L'ENVIRONNEMENT	217
5.2 CONSÉQUENCES DE LA DÉGRADATION DE L'ENVIRONNEMENT	218
5.3 L'IMPACT HUMAIN SUR L'ENVIRONNEMENT.....	218

CHAPITRE VI : ÉPREUVES, EXERCICES & QUESTIONNAIRES

6.1 ÉPREUVES D'ÉLECTRICITÉ	221
6.2 QUESTIONNAIRE RADIOÉLECTRICITÉ	232
6.3 EXAMENS POUR L'OBTENTION DU CRR	235
Session 17 Octobre 2015	235
Session 28 Février 2009.....	245
Session 14 Juin 1996.....	256
Session 28 Décembre 1995	260
Session 06 Juin 1995.....	262
Session 04 Septembre 1992	263
Session 05 Juin 1992.....	264

Session 06 Février 1992.....	265
Session 13 Septembre 1991.....	266
Session 16 Janvier 1991.....	267
Session 25 Juillet 1990.....	268
Session 28 Juillet 1989.....	269

ANNEXE A

Journal de trafic.....	271
Liste des relais.....	272
Spectre radiofréquence.....	273
Modes de transmission.....	275
Notation scientifique.....	279
Terre et masse.....	279
Résistivité des matériaux.....	280
Perméabilité des matériaux.....	280
Lexique radio pro Fr.....	281
Lexique radio pro En.....	282

LISTE DE RÉFÉRENCES	284
----------------------------------	-----

LISTE DES IMAGES

Image A	Carnet de trafic de la station CN8ABO.....	25
Image 1.1	Un plaidoyer urgent de <i>George Platt Lynes</i> à <i>Monroe Wheeler</i> , à bord du S.S. France, 19 février 1927.....	33
Image 2.1	Ampèremètres analogiques à aiguille.....	69
Image 2.2	Voltmètres analogiques à aiguille.....	72
Imgs. int.*	Différents types de résistances.....	76
Image 2.3	Quelques types de wattmètres.....	79
Image 2.4	Quelques types de générateurs.....	85
Image 2.5	Quelques types de rhéostats.....	88
Image 2.6	Quelques types de condensateurs.....	92
Imgs. int.	Différents types de condensateurs.....	93
Imgs. int.	Galvanomètre à cadre mobile.....	99
Image 2.7	Petits transformateurs de 12V et 24V.....	113
Imgs. int.	Différents types de diodes.....	140
Image 3.1	Exemples des premiers prototypes du transistor.....	141
Imgs. int.	Transistors bipolaires à jonction (BJT).....	142
Image 3.2	Exemples de lampes & tubes électroniques (<i>vacuum tube</i>).....	143
Imgs. int.	Différents types de transistors.....	147
Image 3.3	Exemples de modulateurs en anneau.....	165
Imgs. int.	Oscillateur.....	168

Imgs. int.	Diode <i>varicap</i>	168
Imgs. int.	Noyau en ferrite	168
Imgs. int.	Exemples de quartz.....	174
Image 3.4	Exemples de filtres à quartz	175
Imgs. int.	Exemple de filtre mécanique.....	177
Image 3.5	Principaux types de lignes de transmission	197
Imgs. int.	Isolateur central et isolateur d'extrémité	207

* Imgs. int. : image intégrée à une figure.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Alphabet radio international	34
Tableau 1.2	Fréquences de détresse pour le service radioamateur	39
Tableau 1.3	Fréquences internationaux pour l'appel d'urgence.....	39
Tableau 1.4	Code morse international	40
Tableau 1.5	Bandes de fréquences attribuées au service amateur.....	42
Tableau 1.6	Extrait du code Q international.....	57
Tableau 2.1	Représentation schématique de quelques types de résistances	77
Tableau 2.2	Représentation schématique de quelques types de condensateurs.....	94
Tableau 3.1	Caractéristiques normalisées des émissions en modulation FM.....	167
Tableau 3.2	Comparaison entre les antennes Fouet et Filaire.....	208

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Régions de l'UIT.....	30
Figure 2.1	Représentation d'une molécule d'Hydrogène (Corps Simple) et d'une molécule d'eau (Corps Composé).....	61
Figure 2.2	Constitution de la matière et structure de l'atome.....	62
Figure 2.3	Mouvement désordonnés des électrons	63
Figure 2.4	Déplacement des électrons dans le même sens et la même direction	63
Figure 2.5	Sens du courant électrique et déplacement des électrons.....	64
Figure 2.6	Schéma du voltamètre utilisé pour l'électrolyse de l'eau.....	66
Figure 2.7	Bornes de batterie reliées par Conducteur filiforme	67
Figure 2.8	Montage de circuit simple en parallèle.....	69
Figure 2.9	Circuit dans lequel le récepteur est moteur électrique	71
Figure 2.10	Voltmètre branché en parallèle.....	72
Figure 2.11	Mesure de la résistance électrique	73
Figure 2.12	Influence de la longueur, la section et la nature du conducteur	74
Figure 2.13	Schémas de principe du potentiomètre et rhéostat.....	77
Figure 2.14	Mesure de la puissance par la méthode voltampèremétrique.....	78

Figure 2.15	Mesure de la résistance électrique (loi d'Ohm).....	80
Figure 2.16	Schémas pour l'application de la loi d'Ohm.....	81
Figure 2.17	Branchement en série de l'ampèremètre et R_1	82
Figure 2.18	Branchement en série de l'ampèremètre, R_1 et R_2	82
Figure 2.19	Branchement en série de l'ampèremètre, R_1 , R_2 et R_3	83
Figure 2.20	Ensemble de résistances pures associées en parallèle.....	83
Figure 2.21	Schéma du montage de l'expérience.....	84
Figure 2.22	Générateurs associés en série.....	86
Figure 2.23	Générateurs associés en parallèle.....	86
Figure 2.24	Schéma de montage en parallèle.....	87
Figure 2.25	Schéma de Montage d'une résistance additionnelle.....	87
Figure 2.26	Schémas des deux types principaux du rhéostat.....	89
Figure 2.27	Schéma du montage de l'étude à vide.....	89
Figure 2.28	Schéma du montage de l'étude à charge.....	90
Figure 2.29	Schéma du montage pont de Wheatstone.....	91
Figure 2.30	Circuit permettant de réaliser la charge et la décharge.....	94
Figure 2.31	État électrique avant, pendant et après la charge.....	95
Figure 2.32	Association des condensateurs en parallèle.....	96
Figure 2.33	Association des condensateurs en série.....	97
Figure 2.34	Principes des deux types du galvanomètre.....	99
Figure 2.35	Schéma de principe d'un voltmètre.....	100
Figure 2.36	Schéma de principe d'un voltmètre à plusieurs sensibilités.....	100
Figure 2.37	Schéma du montage du Shunt.....	101
Figure 2.38	Schéma de principe d'un ampèremètre à plusieurs sensibilités.....	102
Figure 2.39	Schéma du voltmètre à redresseurs.....	103
Figure 2.40	Symboles de quelques récepteurs usuels.....	103
Figure 2.41	Schéma équivalent d'un récepteur.....	106
Figure 2.42	Association du générateur G_3 en opposition.....	107
Figure 2.43	Comportement d'un électromoteur dans un circuit.....	108
Figure 2.44	Branche extraite d'un circuit et schéma équivalent.....	108
Figure 2.45	Symboles schématiques des générateurs.....	109
Figure 2.46	Circuit extérieur.....	110
Figure 2.47	Générateur réel et générateur équivalent de Thévenin.....	110
Figure 2.48	Circuit après orientation dans le sens du courant.....	111
Figure 2.49	Groupement des générateurs et schéma équivalent.....	112
Figure 2.50	Générateur unique équivalent au groupement de plusieurs générateurs....	113
Figure 2.51	Symboles de quelques types de transformateurs.....	114
Figure 2.52	Représentation du primaire et secondaire d'un transformateur.....	114
Figure 2.53	Schéma de montage fonctionnement avec charge.....	117
Figure 2.54	Diagramme complexe de la puissance en régime alternatif.....	117
Figure 2.55	Sens du champ magnétique autour d'un conducteur.....	118
Figure 2.56	Sens du champ magnétique dans un solénoïde.....	119
Figure 2.57	Cycles d'hystérésis de l'aimantation d'un matériau ferromagnétique.....	120

Figure 2.58	Résistance et self-induction en courant alternatif	123
Figure 2.59	Plusieurs types de courants variables.....	124
Figure 2.60	Notion de phase et de déphasage entre la tension U et l'intensité I	128
Figure 2.61	La représentation de Fresnel de U_L	129
Figure 2.62	Représentation de vectorielle de U_C	129
Figure 2.63	Représentation vectorielle de I et U aux bornes de la résistance pure	130
Figure 2.64	Schéma d'un circuit RL série.....	131
Figure 2.65	Diagramme vectoriel d'un circuit RL série.....	131
Figure 2.66	Dipôles orientés selon la convention récepteur	132
Figure 2.67	Schéma d'un circuit RLC série	132
Figure 2.68	Diagramme vectoriel du circuit RLC série	134
Figure 2.69	Triangle des tensions de l'ensemble RLC	134
Figure 2.70	Triangle des impédances de l'ensemble RLC	135
Figure 2.71	Triangles des tensions et des impédances (cas $U_C > U_L$).....	136
Figure 2.72	Représentation de la tension et de l'impédance (cas $U_C = U_L$)	137
Figure 3.1	Quelques types de diodes.....	140
Figure 3.2	Polarisation sens direct et inverse d'une diode	141
Figure 3.3	Transistors bipolaires à jonction (BJT)	142
Figure 3.4	Les états du transistor	142
Figure 3.5	Polarisation de la base du transistor PNP.....	143
Figure 3.6	Montage émetteur commun NPN	144
Figure 3.7	Montage base commune NPN.....	145
Figure 3.8	Montage collecteur commun NPN.....	145
Figure 3.9	Circuit permettant de relever les caractéristiques du transistor	146
Figure 3.10	Caractéristiques de transfert d'un transistor BJT NPN.....	146
Figure 3.11	Symboles de quelques types de transistors FET	147
Figure 3.12	Structure et fonctionnement ($U_{SG} < 0$) d'un JFET.....	148
Figure 3.13	Circuit permettant de relever la transconductance du JFET	148
Figure 3.14	Caractéristiques de transfert d'un JFET (BF245C).....	149
Figure 3.15	Structure et fonctionnement d'un MOSFET	149
Figure 3.16	Exemple d'un étage amplificateur	150
Figure 3.17	Redressement simple alternance	151
Figure 3.18	Redressement avec filtrage CLC.....	151
Figure 3.19	Redressement double alternance	152
Figure 3.20	Alimentation avec entrée inductive.....	152
Figure 3.21	Alimentation avec transformateur à point milieu	153
Figure 3.22	Alimentation avec pont de diode et transfo sans point milieu	153
Figure 3.23	Schéma montrant la tension inverse de crête	154
Figure 3.24	Représentation symbolique d'un quadripôle.....	154
Figure 3.25	Organe de transmission amplificateur de tension	156
Figure 3.26	Modulation en amplitude	158
Figure 3.27	Spectre de fréquence de modulation AM.....	159
Figure 3.28	Bandes latérales inférieures et supérieures	160

Figure 3.29	Modulation double bande latérale avec porteuse (DBAP)	160
Figure 3.30	Émission en AM avec porteuse commandée	161
Figure 3.31	Modulation double bande latérale sans porteuse (DBSP)	161
Figure 3.32	Émission en bande latérale unique (BLU)	161
Figure 3.33	Modulation par un signal BF contenant des fréquences entre f_{\min} et f_{\max} ...	163
Figure 3.34	Générateur de signal modulé en AM débitant sur R	163
Figure 3.35	Modulation par modulateur en anneau	166
Figure 3.36	Allure du signal modulé en fréquence	166
Figure 3.37	Spectre d'un signal modulé en fréquence	167
Figure 3.38	Schéma d'un microphone HF (ou RF)	168
Figure 3.39	Modulation par diode à capacité variable (<i>varicap</i>)	168
Figure 3.40	Modulation par noyau de ferrite saturé	168
Figure 3.41	Schéma synoptique d'un récepteur FM.....	170
Figure 3.42	Spectre d'un signal modulé en amplitude	170
Figure 3.43	Limitation de la largeur de bande en AM	171
Figure 3.44	Schéma de principe du modulateur équilibré.....	172
Figure 3.45	Schéma du montage shunt.....	173
Figure 3.46	Schéma du montage série.....	173
Figure 3.47	Schéma du montage	174
Figure 3.48	Schéma de réponse typique de filtre à quartz	174
Figure 3.49	Schéma synoptique simple de l'émetteur	175
Figure 3.50	Étude du circuit équivalent d'un quartz	176
Figure 3.51	Principe de fonctionnement des filtres à quartz	177
Figure 3.52	Schéma synoptique de la BLU par déphasage	177
Figure 3.53	Exemple simple avec un tube	178
Figure 3.54	Exemple simple avec un transistor.....	178
Figure 3.55	Schéma synoptique d'un émetteur simple.....	179
Figure 3.56	Quelques types couramment utilisés	179
Figure 3.57	Différentes façons du couplage à l'antenne	180
Figure 3.58	Capacité interne d'un tube	181
Figure 3.59	Circuit de neutrodynage.....	181
Figure 3.60	Éléments du processus de détection.....	183
Figure 3.61	Schéma synoptique simple d'un récepteur.....	183
Figure 3.62	Propagation des ondes électromagnétiques.....	184
Figure 3.63	L'onde de sol avec ses trois composantes.....	185
Figure 3.64	L'onde ionosphérique et la zone de silence.....	186
Figure 3.65	Facteurs de propagation des ondes radio.....	187
Figure 3.66	Comportement de l'onde kilométrique.....	190
Figure 3.67	Comportement de l'onde hectométrique	191
Figure 3.68	Comportement de l'onde décamétrique.....	192
Figure 3.69	Comportement de l'onde métrique.....	192
Figure 3.70	Circuit inductivement couplé	195
Figure 3.71	Diagramme de rayonnement.....	195

Figure 3.72	Circuits oscillants TX et RX simples.....	196
Figure 3.73	Schéma équivalent d'une ligne de transmission.....	198
Figure 3.74	Chaîne de transmission.....	199
Figure 3.75	Schéma équivalent de la chaîne de transmission.....	199
Figure 3.76	Ligne adaptée en régime sinusoïdal.....	200
Figure 3.77	Onde stationnaire sur ligne non adaptée.....	201
Figure 3.78	Valeurs de U et I le long de la ligne à l'instant t	201
Figure 3.79	Champ électromagnétique autour d'un conducteur.....	202
Figure 3.80	Propagation des ondes électromagnétiques.....	203
Figure 3.81	Exemple de diagrammes de directivité.....	203
Figure 3.82	Antenne fouet (quart d'onde).....	205
Figure 3.83	Diagramme de rayonnement simplifié.....	206
Figure 3.84	Antenne filaire horizontale.....	206
Figure 3.85	Antenne doublet.....	207
Figure 3.86	Diagramme de rayonnement simplifié.....	208

LISTE DES ACRONYMES

UIT	Union International des Télécommunications	<i>International Telecommunication Union</i>
TIC	Technologies de l'Information et de la Communication	
UIRA (IARU)	Union Internationale des Radio-Amateurs	<i>International Amateur Radio Union</i>
TSF	Télégraphie Sans Fil	
CRR	Certificat Restreint de Radiotéléphoniste	
ANRT	Agence Nationale de Réglementation des Télécommunications	
OACI (ICAO)	Organisation de l'Aviation Civile Internationale	<i>International Civil Aviation Organization</i>
<i>TLF</i>	Énormément Basses Fréquences	<i>Tremendously Low Frequencies</i>
<i>ELF</i>	Extrêmement Basses Fréquences	<i>Extremely Low Frequencies</i>
<i>SLF</i>	Super Basses Fréquences	<i>Super Low Frequencies</i>
<i>ULF</i>	Ultra Basses Fréquences	<i>Ultra Low Frequencies</i>
<i>VLF</i>	Très Basses Fréquences	<i>Very Low Frequencies</i>
BF (<i>LF</i>)	Basses Fréquences	<i>Low Frequencies</i>
<i>MF</i>	Moyennes Fréquences	<i>Medium Frequencies</i>
<i>HF</i>	Hautes Fréquences	<i>High Frequencies</i>
<i>VHF</i>	Très Hautes Fréquences	<i>Very High Frequencies</i>
<i>UHF</i>	Ultra Hautes Fréquences	<i>Ultra High Frequencies</i>

<i>SHF</i>	Super Hautes Fréquences	<i>Super High Frequencies</i>
<i>EHF</i>	Extrêmement Hautes Fréquences	<i>Extremely High Frequencies</i>
<i>THF</i>	Énormément Hautes fréquences	<i>Tremendously High Frequencies</i>
AF	Audiofréquence	<i>Audio frequency</i>
RF	Radiofréquence	<i>Radio frequency</i>
CC (<i>DC</i>)	Courant Continue	<i>Direct Current</i>
CA (<i>AC</i>)	Courant Alternatif	<i>Alternatif Current</i>
DDP	Différence De Potentiel	
A	Ampère	
mA	milliampère	
μ A	microampère	
C	Coulomb	
s	second	
Ah	Ampère-heure	
V	Volt	
kV	kilovolt	
mV	millivolt	
μ V	microvolt	
W	Watt	
J	Joule	
Ω	Ohm	
k Ω	kilohm	
M Ω	mégaohm	
m Ω	milliohm	
$\mu\Omega$	microhm	
Ω m	Ohm-mètre	
M Ω m	Mégohmmètre	
m Ω m	microhmmètre	
F	Farad	
μ F	microfarad	
nF	nanofarad	
pF	picofarad	
H	Henry	
H/m	Henry par mètre	
A/m	Ampère par mètre	
T	Tesla	
Wb	Weber	
n·m ⁻¹	nombre de spires par mètre	
Hz	Hertz	
rad·s ⁻¹	radian par seconde	
BJT	Transistors bipolaires à jonction	<i>Bipolar Junction Transistor</i>
TEC (<i>FET</i>)	Transistor à Effet de Champ	<i>Field Effect Transistor</i>
<i>JFET</i>	Transistor à Effet de Champ à Jonction	<i>Junction Field Effect Transistor</i>

MOS	Métal Oxyde Semi-conducteur	<i>Metal Oxide Semiconductor</i>
TECMOS	Métal Oxyde Semi-conducteur	<i>Metal Oxide Semiconductor Field</i>
MOSFET	Transistor à Effet de Champ	<i>Effect Transistor</i>
IGBT	Transistor bipolaire à grille isolée	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i>
E-MOSFET	MOSFET à enrichissement	<i>Enhancement MOSFET</i>
D-MOSFET	MOSFET à appauvrissement	<i>Depletion MOSFET</i>
EC (CE)	Émetteur Commun	<i>Common Emitter</i>
BC (CB)	Base Commune	<i>Common Base</i>
CC (CC)	Collecteur Commun	<i>Common Collector</i>
V _{CC}	Alimentation du circuit Collecteur	
V _{BB}	Alimentation du circuit Base	
dB	Décibel	
AM	Modulation d'Amplitude	<i>Amplitude Modulation</i>
FM	Modulation de Fréquence	<i>Frequency Modulation</i>
PM	Modulation de Phase	<i>Phase Modulation</i>
CW	Onde Porteuse	<i>Carrier Wave</i>
DBAP (DSB-FC)	Modulation Double Bande Avec Porteuse	<i>Double-SideBand Full Carrier</i>
DBSP (DSB-SC)	Modulation Double Bande Sans Porteuse	<i>Double-SideBand Suppressed- Carrier</i>
SSB-SC	Bande Latérale Unique sans porteuse	<i>Single-SideBand Suppressed-Carrier</i>
LSB	Bande Latérale Inférieure	<i>Lower SideBand</i>
BLS (USB)	Bande Latérale Supérieure	<i>Upper SideBand</i>
BLU (SSB)	Bande Latérale Unique	<i>Single-SideBand</i>
BLI (ISB)	Bande Latérale Indépendante	<i>Independent SideBand</i>
DBL (DSB)	Double Bande Latérale	<i>Double-SideBand</i>
VFO	Oscillateur à Fréquence Variable	<i>Variable Frequency Oscillator</i>
PA	Amplificateur de Puissance final	<i>Power Amplifier</i>
I	Isotrope	
kBd	kiloBaud	
Étage FI	Ampli de Fréquence Intermédiaire	
ROS (SWR)	Rapport d'Ondes Stationnaires	<i>Standing Wave Ratio</i>
UV	Ultraviolet	
CO	Circuit Oscillant	

Dans cet ouvrage, les variables sont toujours en *italic* sauf cas particuliers.

Les unités de mesure figurent entre crochets [...] quand elles sont mentionnées pour la première fois.

INTRODUCTION

La radiocommunication est la télécommunication effectuée au moyen d'ondes radioélectriques dans l'espace. Ces ondes électromagnétiques comportent un champ électrique couplé à un champ magnétique et constituent une propagation d'énergie.

La modulation constante des propriétés de l'onde radioélectrique : l'amplitude, la fréquence, la phase ou la largeur d'une impulsion est le moyen par lequel l'information est transportée.

La radiocommunication est constituée en général d'une antenne radioélectrique émettrice, une antenne réceptrice, un émetteur qui produit le signal modulé, un récepteur (démodulateur) et bien évidemment un espace dans lequel l'onde radioélectrique est conduite.

Le radioamateurisme est un loisir qui permet aux personnes qui veulent comprendre le comment et le pourquoi des radiocommunications, d'opérer sur des fréquences qui leurs sont réservées afin d'établir des contacts avec d'autres radioamateurs. Par conséquent, le radioamateur exerce la radio d'amateur. Ceci a vu le jour au début du 20^{ème} siècle avec l'avènement de la télégraphie, du téléphone et des premières stations de radio.

Les radioamateurs sont des personnes curieuses de nature qui pratiquent, sans intérêt pécuniaire, une activité technique permettant d'expérimenter les techniques de transmission et d'acquérir des connaissances dans les domaines de l'électronique et de la radio. Ils sont toujours à la recherche d'informations qui peuvent les aider à tirer le meilleur parti du potentiel du radioamateurisme. Par conséquent, ce loisir leur permet d'établir des contacts radio et de développer des liens d'amitié avec d'autres radioamateurs du monde entier.

Les radioamateurs ont le droit de concevoir et de réaliser leurs équipements d'émission-réception et peuvent émettre de multiples façons : en phonie, en morse, ils peuvent également transmettre des messages écrits, des images fixes, des fichiers informatiques ou de la télévision. Beaucoup d'avancées technologiques sont dues aux radioamateurs, ils ont même construit des satellites qui permettent d'échanger des messages avec tous les pays du monde.

Un examen officiel permet de vérifier le niveau de compétence des candidats avant de les autoriser à construire leur matériel et à l'utiliser en émission.

La radiocommunication amateur, telle que pratiquée par des millions d'individus dans le monde, est reconnue comme étant un service par les pays membres de l'Union Internationale des Radioamateurs UIRA.

L'Union Internationale des Télécommunications UIT est une agence spécialisée qui gère le secteur de télécommunication global, elle donne des définitions et établit des normes applicables à l'échelle mondiale.

Chaque pays est toutefois responsable du cadre réglementaire associé à cette activité sur son territoire.

Ce hobby s'est considérablement développé au fil des ans. Les moyens à notre disposition sont maintenant beaucoup plus performants et imposants et les méthodes que nous pouvons utiliser sont plus impressionnantes et efficaces, rendant ainsi tout le plaisir d'établir des contacts nationaux et internationaux sur les bandes de fréquence dédiées aux radioamateurs.

CADRE RÉGLEMENTAIRE

La radiocommunication est une activité qui, par nature est internationale et en plein développement qu'il devenait nécessaire d'harmoniser les techniques, les procédures et les moyens afin d'en améliorer la réglementation. Des organismes à compétence mondiale et nationale ont vu le jour pour répondre à ce besoin.

Ces organismes agissant à différentes échelles produisent les textes à portée réglementaire, les règles qui sont complétées et mises à jour régulièrement et contrôlent leur mise en application. Tous les acteurs de la radiocommunication et les utilisateurs dépendent de tels organismes. Nous allons donc les passer et voir dans quel cadre réglementaire vous évoluerez au titre de radioamateur.

Union Internationale des Télécommunications (UIT)

Fondée en 1865 en vue de faciliter la connectivité internationale des réseaux de communication, l'Union Internationale des Télécommunications est l'institution spécialisée des Nations Unies pour les technologies de l'information et de la communication (TIC), basée à Genève (Suisse). Elle compte 193 États membres et 700 membres et associés du secteur.

L'UIT attribue dans le monde entier des fréquences radioélectriques et des orbites de satellite, élabore les normes techniques qui assurent l'interconnexion harmonieuse des réseaux et des technologies et s'efforce d'améliorer l'accès aux TIC pour les communautés mal desservies.

Union Internationale des Radioamateurs (UIRA)

L'Union Internationale des Radioamateurs (UIRA) est une confédération internationale d'organisations radioamateurs nationales qui établit un forum d'affaires courantes et de représentation collective au sein de l'Union Internationale des Télécommunications. L'UIRA sous le nom d'Union Internationale des Amateurs de TSF a été formée en 18 avril 1925 pendant son premier Congrès à Paris. Le protocole fut écrit en trois langues : anglais, français et espéranto.

L'UIRA est une organisation centrale dont les fonctions et les contributions au radioamateurisme sont similaires à celles de l'UIT. Le mandat de l'UIRA est d'influer, sur les décisions de l'UIT en matière technologique et sociale et sur celles de plusieurs organismes radioamateurs. L'union représente les intérêts du service radioamateur du monde entier auprès des organisations internationales compétentes, promouvant les intérêts de ce service et cherchant à protéger et à améliorer ses privilèges de spectre.

L'UIRA exerce ce pouvoir par l'intermédiaire du vote des associations tel que décrit dans la constitution. Chaque pays ou territoire ne peut avoir qu'une seule association « membre ».

Agence Nationale ANRT

L'Agence Nationale de Réglementation des Télécommunications (ANRT) est l'autorité nationale visant à réguler les télécommunications au Maroc. Chargée de délivrer les autorisations pour l'exploitation de réseaux de radiocommunication, d'agréeer les équipements de télécommunication, de veiller à la conformité technique des équipements et services de télécommunications des opérateurs par rapport aux exigences et normes prévues par la réglementation et de s'assurer du respect des engagements et obligations des

titulaires de licences en matière de conditions d'exploitation et d'établissement des réseaux publics de télécommunications.

Service Radioamateur

Le service radioamateur permet aux amateurs de différents pays d'échanger, en langage clair, des messages d'ordre technique ayant pour objet l'instruction individuelle, l'intercommunication et les études techniques à caractère purement personnel et non lucratif.

Association Royale des Radioamateurs

Fondée en 1965, l'Association Royale des Radio-Amateurs du Maroc (ARRAM) est une Association nationale non gouvernementale indépendante reconnue d'Utilité Publique¹.

Regroupant les radioamateurs du Maroc ainsi que toutes personnes s'intéressant à la technique radioélectrique dans un but personnel, et sans intérêt pécuniaire. L'association prête le concours bénévole de ses membres ou de son matériel, aux chercheurs, aux laboratoires, aux services publics ou militaires en cas de catastrophes ou de besoin en vues d'essais techniques ou applications des ondes.

Elle opère dans l'animation technique de toutes questions relatives à la mission d'amateur. Aussi dans l'encadrement éducatif, culturel, social et le développement de la recherche scientifique. Elle facilite les essais et la recherche pour réaliser le développement durable du citoyen Marocain.

L'association qui s'est fixée pour promouvoir le radio-amateurisme au Maroc, dispense bénévolement des cours théoriques et pratiques (dans son siège et par correspondance) concernant les télécommunications, prenant ainsi à sa charge la formation des futurs radioamateurs et l'accomplissement de leurs démarches administratives liées à l'obtention de la licence.

Le siège de l'Association réserve un bon accueil, et en permanence dispense ses conseils à toute personne désirant avoir les plus amples renseignements sur l'amateurisme radio.

L'association met à la disposition de ses membres, un atelier radio équipé en appareils nécessaires pour le réglage, la réparation et éventuellement le montage des postes radio, sous la conduite d'un technicien.

L'association s'interdit de prendre part à aucune polémique, à aucune campagne politique ou confessionnelle, ou commerciale, elle ne saurait intervenir dans une question ne se rapportant pas aux buts assignés de l'activité de l'association.

Buts de l'ARRAM

L'association royale a pour but d'unir les radioamateurs ainsi que les personnes s'intéressant à la technique radioélectrique dans un but uniquement personnel, et sans intérêt pécuniaire.

En particulier, elle est destinée à :

1. Créer un lien amical entre les radioamateurs du Maroc, leur faciliter leurs essais grâce à des échanges de vues, de renseignements techniques etc.
2. Organiser des essais nationaux ou internationaux et prêter le concours bénévole de ses membres ou de son matériel, aux chercheurs, aux laboratoires et aux services

¹ - L'Association Royale des Radio-Amateurs du Maroc (ARRAM) est reconnue d'Utilité Publique par Arrêté du Premier Ministre n° 752.82.2 daté du 30 Novembre 1982.

publics ou militaires en vue d'essais techniques ou application des ondes courtes ou ultra-courtes (HF, VHF, UHF) ;

3. Représenter en toutes circonstances les radioamateurs du Maroc, que ce soit au Maroc ou à l'étranger ;
4. Entrer en relation avec les pouvoirs publics et les administrations intéressées en vue d'étudier dans un esprit de collaboration avec eux, toute question relative à l'émission d'amateur.

Buts de l'amateurisme

- Expérimentation des techniques de transmission ;
- Apprentissage et développement des perceptions scientifiques ;
- Acquisition des connaissances techniques dans les domaines de la radio, de l'électricité, et de l'électronique ;
- Développement des liens d'amitié entre amateurs de différents pays ;
- Se mettre au service de sa communauté en soutenant les services publics et organisations d'urgences en cas de besoin.

Qualités et principes de base

Les qualités indispensables et principes de base qui doivent régir notre code de conduite en tant que radioamateur :

- **Fidélité** : le radioamateur offre son appui et son encouragement aux autres radioamateurs, il est amical, loyal et serviable. À la demande il donne conseils, assistance ainsi que coopération et considération pour les objectifs des autres.
- **Responsabilité sociale** : notre matrix est l'onde hertzienne, beaucoup d'opérateurs sont y connectés, nous sommes des collègues, des amis, les autres radioamateurs sont nos frères et sœurs, chacun de nous est prévenant envers les autres, il rend mille services !
- **Tolérance** : apprendre à mieux se comprendre et s'enrichir de la diversité de l'autre. Les autres ne sont pas peut être de votre avis, et votre avis n'est pas nécessairement le seul valable. Ne pas respecter les opinions des autres si elles sont contraires aux vôtres, c'est nier le droit à la pensée différente. Le monde est divers, et ne vous appartient pas en exclusivité. Soyez tolérant, apprenez à coexister et à améliorer votre self-control.
- **Compréhension** : savoir se mettre dans la peau de l'autre pour mieux le comprendre et se connecter avec la partie la plus intime de son âme demande beaucoup d'humilité et d'intelligence émotionnelle. Tout le monde n'a pas votre professionnalisme ou votre expertise. Les capacités et les compétences varient d'une personne à l'autre. Si vous pensez devoir intervenir, agissez positivement plutôt que de façon négative (ridiculiser, persifler...).
- **Foi en soi** : l'impossible est un possible qui n'a simplement pas encore eu lieu, pour venir à bout des choses, le premier pas est de les croire possibles. Le radioamateur qui veut aboutir croit en soi et à ce qu'il fait.
- **Discipline** : l'interaction que ce mot implique n'a besoin d'aucun commentaire !!!

- **Équilibre** : le radioamateur doit être réaliste et déterminé. Il doit savoir ce qu'il veut et ce qu'il fait, il ne doit pas laisser interférer loisir (radioamateurisme) et devoirs (famille, travail, étude...).
- **Compétence** : le radioamateur suit de près l'évolution de la technique et de la science, son instruction personnelle est l'un de ses soucis primordiaux, c'est ce qui le motive à chercher tous les éléments qui lui manquent pour progresser.
- **Curiosité scientifique** : - dans le sens noble du terme - guide vers la créativité ! Savoir comment ça marche, quels sont ses composants, quel est son principe de fonctionnement...
- **Donner l'exemple** : ce que vous êtes parle plus haut que ce que vous dites.

Documents officiels du Radioamateur

Étant donné les connaissances techniques requises pour pouvoir se servir du matériel électronique (de radiocommunication), la licence est conditionnée par la réussite, suite à un examen au Certificat d'Opérateur Radiotéléphoniste.

Après avoir obtenu le certificat d'opérateur radiotéléphoniste, un indicatif d'appel (indicatif unique au niveau international) est attribué à l'amateur, qu'il pourra utiliser sur une station autorisée par l'ANRT. Il peut également avoir sa propre station. Pour en bénéficier, il devra préalablement demander une licence pour exploitation et verser des redevances.

Les documents officiels pour acquérir et exploiter une station radioélectrique d'amateur sont donc :

1. Certificat Restreint de Radiotéléphoniste (CRR) ;
2. Licence d'amateur (autorisation d'exploitation de station d'amateur) ;
3. Carnet de trafic¹.

Carnet de station

Le titulaire d'une autorisation d'exploitation de station radioélectrique (licence) doit consigner dans un journal de bord (carnet de trafic ou carnet de station) les renseignements relatifs à l'activité de sa station :

- Date et heure de communication ;
- Indicatif du correspondant (et de l'utilisateur si station de radio-club) ;
- Fréquence d'émission ;
- Classe d'émission ;
- Lieu d'émission (en cas de trafic en portable ou en mobile).

Le journal de bord doit être :

- Constamment à jour ;
- Présenté aux agents chargés du contrôle ;
- Conservé pendant un an à compter de la dernière inscription.

¹ - Appelé également *log de trafic* ou *journal de bord*, ce carnet est indispensable au radioamateur que l'est le carnet de bord d'un capitaine du bateau ou le carnet de vol d'un pilote d'avion. Exemple : voir Annexe A page 271.

Remarque : le journal de trafic pouvait être soit :

- Tenu sur un journal à pages numérotées et non détachables (Recommandé) ;
- Tenu informatiquement (logiciel, *logger*).

Il pouvait également être adapté pour les handicapés et les non-voyants (enregistrement vocal de trafic).



Image A – Carnet de trafic de la station CN8ABO.

Examen de certification radio

Comme tout examen, celui-ci nécessite des connaissances, et là il s'agit d'aptitudes techniques particulièrement en électricité, radioélectricité et en réglementation ainsi qu'en télégraphie le cas échéant.

L'ANRT organise les examens d'aptitude pour l'utilisation des stations radioélectriques embarquées ou pour l'utilisation du service radioamateur.

L'organisation d'examens pour l'obtention de certificats d'opérateurs radio est régie par l'article 25 du règlement des radiocommunications et les articles 27, 28, 29, 30 et 31 de la décision du Premier Ministre ANRT/DG/N°27/00 du 1^{er} Mars 2000 relative aux modalités de gestion et de surveillance du spectre des fréquences radioélectriques.



Chapitre I
RÉGLEMENTATION

1 RÉGLEMENTATION

Le règlement des radiocommunications tel qu'il a été défini par l'UIT a pour objet de faire adopter un plan pour les radiocommunications. Établie à Genève en 1959 au cours d'une conférence groupant 83 pays de l'UIT, ce règlement est une sorte de code international des ondes dans lequel, il serait impossible de réaliser une télécommunication dans de bonnes conditions. Dans l'état actuel de la technique des radiocommunications l'éther est encombré d'une quantité innombrable de sources hertziennes qui doivent être disciplinées, classifiées et ordonnées. Le règlement traite donc :

1. **Terminologie** : comporte des définitions de termes généraux concernant les radiocommunications, les divers systèmes d'émission et de réception, etc. afin qu'aucune confusion sur la signification d'un mot dans le règlement ne se produise ;
2. **Fréquence** : concerne les dispositions générales d'assignation et d'emploi des fréquences ainsi que les modalités d'enregistrement des fréquences au bureau international ;
3. **Mesure contre les brouillages** : règlement des caractéristiques techniques des appareils, les taux de brouillage ou de radiation non essentiels, etc.
4. **Disposition administrative** : concernant les stations et le personnel appelé à les opérer ;
5. **Conditions de fonctionnement des stations** : traite la procédure radio des dispositions à prendre dans le cas d'urgence, de détresse et d'une manière générale dans les cas où la vie humaine est mise en danger.

De plus, la conférence administrative des radiocommunications de Genève en 1959 a adopté un ensemble de résolutions, et de recommandations, qui ont pour but de préparer l'avenir des télécommunications. Notamment en ce qui concerne l'emploi de procéder l'émission, l'encombrement des bandes de fréquences etc.

La première étude du règlement des radiocommunications se présente sous la forme d'un condensé des divers chapitres et appliqués à la radiotéléphonie.

1.1 TERMES ET DÉFINITIONS

Certains termes employés dans le règlement des radiocommunications vont trouver ici leur définitions afin qu'aucune confusion ne vienne prendre place dans l'étude du règlement. Toutefois, ces termes et définitions ne sont pas nécessairement applicables dans d'autre cas.

1.1.1 Termes généraux

- a) **Radio** : préfixe s'appliquant à l'emploi des ondes radioélectriques ;
- b) **Télécommunication** : toute transmission, émission ou réception de signes, de signaux écrites, d'images, de sons ou de renseignements de toute nature, par fil, radioélectricité, optique ou autres systèmes électromagnétiques ;
- c) **Ondes radioélectriques ou ondes Hertziennes** : ondes électromagnétiques dont la fréquence est par convention inférieure à 3000 GHz, se propageant dans l'espace sans guide artificiel ;

- d) **Exploitation Simplex-Alternat¹** : mode d'exploitation suivant lequel la transmission est rendue possible alternativement dans les deux sens de la voie de télécommunication, par exemple, au moyen d'un système à commande manuelle ;
- e) **Exploitation Duplex** : mode d'exploitation suivant lequel la transmission est possible simultanément dans les deux sens de la voie de télécommunication ;
- f) **Exploitation Semi-duplex** : mode d'exploitation Simplex à une extrémité de la voie de télécommunication et d'exploitation Duplex à l'autre ;
- g) **Téléphonie** : système de télécommunication établi en vue de la transmission de la parole ou dans certains cas d'autres sons ;
- h) **Télévision** : système de télécommunication assurant la transmission d'images non permanentes d'objets fixes ou mobiles ;
- i) **Télégraphie²** : système de télécommunication assurant la transmission des écrits par l'utilisation d'un code de signaux ;
- j) **Fac-similé** : système de télécommunication assurant la transmission d'images fixes, avec ou sans demi-teintes, en vue de leur reproduction sous une forme permanente ;
- k) **Station** : une ou plusieurs émetteurs ou récepteurs, ou un ensemble d'émetteurs et récepteurs y compris les appareils accessoires, nécessaires pour assurer un service de radiocommunication ou pour le service de radioastronomie, en un emplacement donné. Chaque station est classée d'après le service auquel elle participe d'une façon permanente ou temporaire ;
- l) **Station fixe** : service de radiocommunication entre points fixes déterminés ;
- m) **Station mobile** : station du service mobile destinée à être utilisée lorsqu'elle est en mouvement, ou pendant des haltes en des points non déterminés ;
- n) **Service mobile** : service de radiocommunication entre mobile et station terrestre ou entre stations mobiles ;
- o) **Largeur de bande nécessaire** : pour une classe d'émission donnée, largeur de la bande de fréquences juste suffisante pour assurer la transmission de l'information à la vitesse et avec la qualité requises dans des conditions données.
- p) **Largeur de bande occupée** : largeur de la bande de fréquence telle que, au-dessous de sa fréquence limite inférieure et au-dessus de sa fréquence limite supérieure, soient émises des puissances moyennes égales chacune à un pourcentage donné 0,5% de la puissance moyenne totale d'une émission donnée ;
- q) **Rayonnement non essentiel** : rayonnement sur une ou des fréquences situées en dehors de la largeur de bande nécessaire et dont le niveau peut être réduit sans affecter la transmission de l'information correspondante. Les rayonnements harmoniques, les rayonnements parasites et les produits d'intermodulation sont compris dans les rayonnements non essentiels, mais les rayonnements au voisinage immédiat des limites de la bande nécessaire et qui sont le résultat du processus de modulation utile pour la transmission en sens exclus ;
- r) **Brouillage nuisible** : toute émission, tout rayonnement ou toute induction qui compromet le fonctionnement d'un service de radionavigation ou d'autres services

1 - Lorsque l'on transmet sur une fréquence différente de celle que l'on écoute ; on est en *Split*.

2 - Télégramme : écrit destiné à être transmis par télégraphie en vue de sa remise au destinataire. Sauf indication contraire, ce terme comprend aussi le radiotélégramme.

de sécurité ou qui cause une grave détérioration de la qualité d'un service de radiocommunication fonctionnant conformément au présent règlement, le gêne ou l'interrompt de façon répétée ;

- s) **Désignation des émissions** : les émissions sont désignées d'après leur classe et largeur de bande nécessaire ;
- t) **Classe d'émission** : ensemble des caractéristiques d'une émission, telles que le type de modulation de la porteuse principale, la nature du signal de modulation, le genre d'information à transmettre, et éventuellement d'autres caractéristiques. Chaque classe est désignée par un ensemble de symboles normalisés ;
- u) **Types de modulation de l'onde porteuse principale** : Amplitude / Fréquence ou phase / Impulsion / BLU (SSB).

1.1.2 Types de transmission¹

- Absence de toute modulation destinée à transmettre une information ;
- Télégraphie, pour réception auditive ;
- Télégraphie, pour réception automatique ;
- Transmission de données, télémessure, télécommande ;
- Téléphonie (y compris la radiodiffusion sonore) ;
- Fac-similé ;
- Télévision (vidéo).

1.1.3 Caractéristiques supplémentaires

- Double bande latérale ;
- Bande latérale unique à onde porteuse complète ;
- Bande latérale unique à onde porteuse réduite ou de niveau variable ;
- Bande latérale unique à onde porteuse supprimée ;
- Deux bandes latérales indépendantes ;
- Bande latérale résiduelle ;
- Impulsion.

1.2 FRÉQUENCE

1.2.1 Règle générale

Les pays membres de l'UIT s'engagent à se conformer aux prescriptions du tableau des répartitions des bandes de fréquences ainsi qu'aux autres prescriptions du règlement pour assigner des fréquences aux stations qui révèlent de leur autorité.

1.2.2 Répartition des fréquences

Du point de vue de l'attribution des bandes de fréquences, le monde est divisé en «Régions» :

¹ - Les modes de transmission sont détaillés à l'annexe A, titre «Modes de transmission» page 275.

- a) **Région 1** : l'Afrique, l'Europe, l'Arabie Saoudite, la Turquie, la fédération de Russie et quelques pays ex- Union des Républiques Socialistes Soviétiques U.R.S.S.
- b) **Région 2** : les deux Amériques et le Groenland ;
- c) **Région 3** : l'Océanie avec l'Australie, l'Inde, la Chine et le Japon.

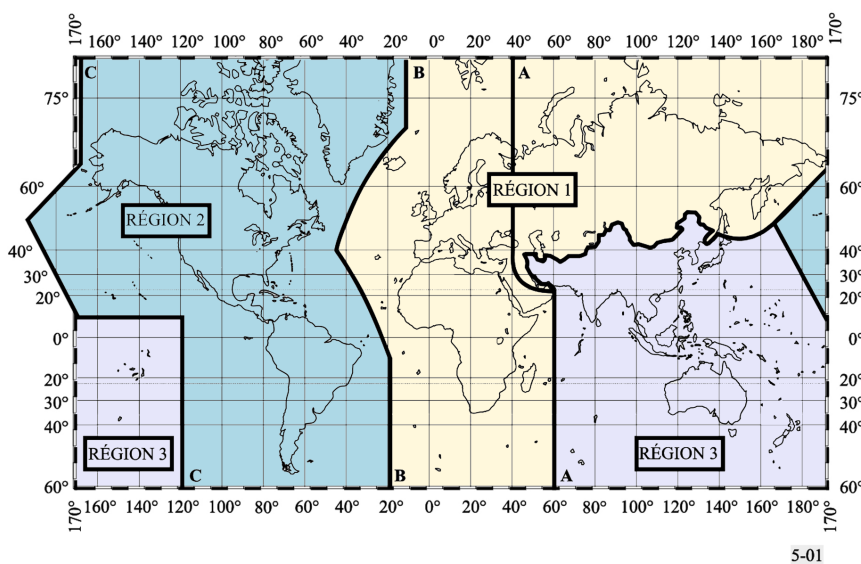


Figure 1.1 – Régions de l'UIT¹.

Le type d'attribution des fréquences est commun à l'intérieur de chaque région.

Les bandes sont partagées suivant les fréquences entre les services suivants :

- Radiodiffusion – Télévision ;
- Mobile maritime, terrestre aéronautique ;
- Radionavigation, maritime et aéronautique ;
- Services fixes, mobiles, amateurs, métrologique ;
- Radiolocalisation.

1.3 BROUILLAGE

Les caractéristiques techniques des appareils et des émissions obéissent aux stipulations du règlement des communications. Ainsi le choix des appareils et des différents types d'émissions, de réceptions et de mesures doit être fondé sur les plus récents progrès de la technique. De plus, un contrôle international des émissions a été institué auquel participent les administrations des pays membre de l'UIT.

Ces mesures générales tendent à réduire autant que faire se peut les brouillages et faciliter au maximum les radiocommunications. En particulier, le règlement des radiocommunications interdit :

- Les transmissions inutiles ;

¹ - Source : Règlement des radiocommunications, Articles, UIT. Les couleurs sont ajoutées par l'auteur.

- La transmission de signaux superflus ;
- La transmission de signaux faux ou trompeurs ;
- La transmission de signaux dont l'identité n'est pas donnée.

En ce qui concerne les stations, leur puissance sera étudiée pour les besoins de transmission, ainsi que leur emplacement, la directivité de leur antenne et le type d'émission employé.

Enfin, les administrations des pays de l'UIT prennent toutes les mesures pour réduire les brouillages d'origine industrielle et signalent à l'UIT les infractions à la convention et au règlement des radiocommunications pour que les dispositions soient prises à l'encontre des responsables de brouillage.

1.4 DISPOSITIONS ADMINISTRATIVES POUR LES STATIONS

1.4.1 Secret

Les administrations s'engagent à prendre les mesures nécessaires pour faire interdire et supprimer :

- a) L'interception sans autorisation des radiocommunications qui ne sont pas destinées à l'usage général du public ;
- b) La divulgation du contenu ou simplement de l'existence, la publication ou tout usage quelconque, sans autorisation, des renseignements de toute nature obtenus en interceptant les radiocommunications.

1.4.2 Licence

Aucune station d'émission ne peut être établie ou exploitée par un particulier ou par une entreprise quelconque sans une licence délivrée par le gouvernement du pays dont relève la station en question.

Le titulaire d'une licence est tenu de garder le secret des télécommunications. Il lui est interdit de capter les correspondances de radiocommunications autres que celles qu'il est appelé à recevoir, et que dans le cas où de telles correspondances sont involontairement reçues, elles ne doivent être ni reproduites, ni communiquées à des tiers ni utilisées pour une fin quelconque et leur existence même ne doit pas être révélée.

1.4.3 Identification des stations

Il est interdit à toute station d'émettre sans signal d'identification ou en utilisant un signal d'identification trompeur. Une station est identifiée soit par un indicatif d'appel (*Call sign*) soit par les types d'identification suivants : nom de la station, emplacement de la station, nom de l'exploitant, marque officielle d'immatriculation ou toute indication susceptible d'être identifiée internationalement. Chaque Station doit transmettre son signal d'identification aussi souvent qu'il est possible en pratique, pendant ses émissions, y compris les émissions d'essai, de réglage, ou expérimentales et qu'au minimum une (1) fois par Heure.

1.4.4 Inspection des stations mobiles

Les gouvernements ou les administrations compétentes des pays où une station mobile fait escale peuvent exiger la production de la licence pour examiner l'opérateur de la station mobile, ou la personne responsable de la station doit se prêter à cette vérification. La licence

doit être conservée de façon à être produite sur demande. De plus, les inspecteurs sont en droit d'exiger la production du certificat d'opérateur.

1.4.5 Personnel des stations de service mobile

Le service d'une station mobile est placé sous l'autorité supérieure du commandant ou de la personne responsable du véhicule portant la station mobile, celui qui détient cette autorité doit exiger que chaque opérateur observe le règlement des radiocommunications.

Le service de toute station mobile doit être assuré par un opérateur titulaire d'un certificat délivré ou reconnu par le gouvernement dont dépend la station. Il existe deux (2) certificats de radiotéléphoniste :

- Le Certificat Restreint ;
- Le Certificat Général.

Le titulaire d'un Certificat Restreint de Radiotéléphoniste (CRR) peut assurer le service radiotéléphoniste lorsque :

La puissance de l'onde porteuse n'excède pas 50 Watts où la commande de l'émetteur ne comporte que la manœuvre d'organes externes et simples sans qu'il soit nécessaire d'effectuer un réglage manuel des éléments qui déterminent la fréquence et lorsque la puissance de l'émetteur ne dépasse pas 250 Watts.

Le certificat restreint de radiotéléphoniste est délivré aux candidats qui ont fait preuve des connaissances et aptitudes professionnelles énumérées ci-après :

- a) La connaissance pratique de l'exploitation et de la procédure radiotéléphoniques ;
- b) L'aptitude à la transmission correcte et à la réception correcte en téléphonie ;
- c) La connaissance générale des règlements des radiocommunications téléphoniques et notamment de la partie des règlements relative à la sécurité de la vie humaine.

1.5 PROCÉDURE

La procédure radiotéléphonique a pour but de permettre la transmission de messages et communications avec le maximum de rapidité tout en évitant les brouillages, erreurs et perte du temps.

1.5.1 Opérations préliminaires

Avant d'émettre, une station prend les précautions voulues pour s'assurer que ses émissions ne brouilleront pas des transmissions en cours, si un tel brouillage est probable, la station attend un arrêt opportun de la transmission qu'elle pourrait brouiller.

Dans le cas où même opérant ainsi l'émission de cette station vient à brouiller une transmission déjà en cours, on applique les règles suivantes :

- a) La station mobile dont l'émission brouille une communication doit cesser à la première demande de la station fixe ou de la station mobile déjà en communication ;
- b) La station qui demande cette cessation doit indiquer la durée approximative de l'attente imposée à la station dont elle fait suspendre l'émission.

1.5.2 L'appel¹

L'appel est constitué comme suit :

1. Trois (3) fois ou plus l'indicatif d'appel ou tout autre signal d'identification de la station appelée ;
2. Le mot «ICI» ;
3. Trois fois ou plus l'indicatif d'appel ou tout autre signal d'identification de la station appelante.

CN8MC, CN8MC, CN8MC
ICI
CN8ABO, CN8ABO, CN8ABO

Après l'établissement de contact, l'indicatif d'appel ou tout autre signal d'identification ne peut être émis qu'une seule fois.

1.5.3 Transmissions des messages

Il convient que les transmissions des messages ou radiotélégrammes² s'effectuent de la façon suivante :

NUMÉRO – NOMBRE DE MOT – DATE – HEURE – AUTORITÉ ORIGINE – AUTORITÉ DESTINATAIRE – URGENCE – TEXTE DU MESSAGE – SIGNATURE

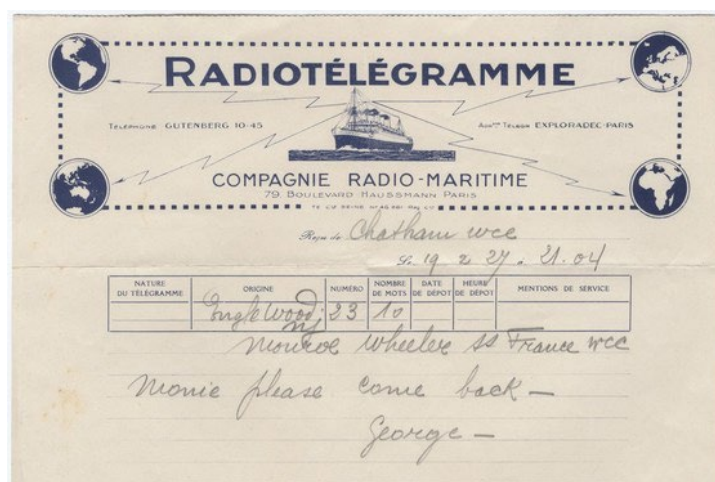


Image 1.1 – Un plaidoyer urgent de *George Platt Lynes* à *Monroe Wheeler*, à bord du S.S. *France*, 19 février 1927³.

Les messages sont enregistrés sur un livre portant le N° 1 au premier message transmis chaque jour. Le livre de station dont le modèle est annexé doit être tenu au fur et à mesure des transmissions et devra porter toute indication utile au fonctionnement de la station et du réseau.

1 - Aux règles générales on ajoutera pour les liaisons en phonie :

- + écouter attentivement si la fréquence n'est pas occupée par une autre station ;
- + utiliser les analogies officielles et parler distinctement ;
- + éviter les analogies fantaisistes ou locales, les insinuations, les mots d'argot ou le langage codé ;
- + si la qualité de la liaison l'exige, répéter plusieurs fois les indicatifs et les informations importantes.

2 - Message télégraphique transmis par ondes radioélectriques (on dit aussi, par abréviation, Radiogramme).

3 - Source : *Glenway Wescott Papers*.

Lorsqu'au cours de la transmission d'un message, il est nécessaire d'appeler certaines expressions ou mots difficiles on utilise le tableau suivant :

A - Alpha	B - Bravo	C - Charlie	D - Delta	E - Echo
F - Foxtrot	G - Golf	H - Hotel	I - India	J - Juliette
K - Kilo	L - Lima	M - Mike	N - November	O - Oscar
P - Papa	Q - Quebec	R - Romeo	S - Sierra	T - Tango
U - Uniforme	V - Victor	W - Whiskey	X - X-Ray	Y - Yankee
Z - Zulu	1 - Unité	2 - 2 Fois 1	3 - 2 + 1	4 - 2 x 2
5 - 3 + 2	6 - 3 x 2	7 - 4 + 3	8 - 4 x 2	9 - 5 Plus 4

Tableau 1.1 – Alphabet radio international¹.

Lors de la transmission de chiffres, chaque chiffre est transmis séparément et la transmission de chaque groupe ou série de groupe doit être précédée par des mots en chiffres, en cas de difficulté, on utilise le tableau d'appellation mentionné dessus.

Les nombres écrits en lettre sont prononcés comme ils sont écrits en faisant leurs transmissions par les mots (en toutes lettres).

1.5.4 Accusés de réception «QSL»

L'accusé de réception d'un radiotélégramme est donné à la manière suivante :

1. L'indicatif d'appel de la station émettrice ;
2. Le mot «ICI» ;
3. L'indicatif d'appel de la station directrice ;
4. Reçu votre ...N°...

La fin du travail entre deux stations est indiquée par chacune d'elle au moyen du mot «**TERMINÉ**».

1.5.5 Essais

Lorsqu'il est nécessaire pour une station d'émettre des signaux d'essais ou de réglage susceptible de brouiller le travail des autres stations, le consentement de ces stations ou de la station directrice doit être obtenue avant d'effectuer de telle émissions. Les signaux d'essais doivent comprendre l'indicatif d'appel ou tout autre signal d'identification de la station qui émet pour essais. Ces émissions doivent être réduites au minimum.

1.6 SÉCURITÉ - URGENCE

L'appel ou le message de détresse ne sont pas émis que sur l'ordre du commandant ou de la personne responsable du navire ou tout autre véhicule portant la station mobile.

- a) L'appel de détresse en radiotéléphonie comprend² :

1 - C'est l'alphabet phonétique de l'OTAN (*NATO*), désigné officiellement comme l'alphabet Orthographe internationale radiotéléphonique, et communément appelé l'alphabet phonétique de l'OACI (*ICAO*).

2 - Si la station peut émettre le message de détresse immédiatement après l'appel de détresse, il peut omettre les éléments 1 et 2 de son message.

1. Le signal de détresse «MAYDAY» (prononcé trois fois)¹ ;
2. Le mot «ICI» ;
3. L'indicatif d'appel ou toute forme d'identification de la station en détresse.

MAYDAY, MAYDAY, MAYDAY
ICI
CN8ABO, CN8ABO, CN8ABO

d) Le message de détresse comprend :

1. Le signal de détresse «MAYDAY» ;
2. Le nom ou toute forme d'identification de la station mobile en détresse ;
3. Les renseignements relatifs à la position ;
4. La nature de la détresse et la nature du secours demandé ;
5. Tout autre renseignement qui pourrait faciliter les secours.

MAYDAY
PIPER² CN-TCH SUR 121.5, À TOUT AVION OU CONTRÔLE
POSITION 7 MILES AU SUD-OUEST DE GMMT³
ALTITUDE 4000 PIEDS
VITESSE 80 NŒUDS
CAP 040⁴
TRANSPONDEUR 7700⁵
DEUX PERSONNES À BORD
MOTEUR EN FEU, DEMANDE ANTI-INCENDIE ET
ASSISTANCE MÉDICALE APRÈS ATERRISSAGE FORCÉ
PIPER CN-TCH

Les stations du service mobile qui reçoivent un message de détresse d'une station mobile se trouvant sans doute possible dans leur voisinage doivent en accuser réception immédiatement.

L'accusé de réception d'un message de détresse est donné sous la forme suivante :

MAYDAY
PIPER CN-TCH, PIPER CN-TCH, PIPER CN-TCH
ICI
TOUR MOHAMED V, TOUR MOHAMED V, TOUR MOHAMED V
REÇU MAYDAY

Le trafic de détresse concernant le secours immédiat nécessaire à la station mobile est dirigé par la station en détresse ou par une autre station désigné par le mobile en détresse.

1 - Prononcé comme l'expression française «m'aider».

2 - Piper Aircraft, Inc. est un fabricant d'avions d'aviation générale.

3 - 121.5 MHz : la civile fréquence aéronautique d'urgence ou de détresse, GMMT : code OACI de l'aéroport de Tit Mellil.

4 - La direction magnétique vers laquelle l'avion (mobile) est orienté (ou la direction où pointe l'étrave d'un navire).

1 pied = 30,48 cm, 1 nœud = 1,852 km/h.

5 - Le code transpondeur 7700 est utilisé en cas de détresse, urgence et interception et alerte générale. Le transpondeur est un récepteur-émetteur radioélectrique répondant automatiquement à un signal extérieur en provenance d'un radar, d'un système de localisation.

La station en détresse ou la station qui dirige le trafic de détresse peut imposer le silence à toutes les stations du service mobile de la région, soit à une station qui troublerait le trafic. Suivant le cas, elle adresse ses instructions «À TOUS» ou à une station seulement. Elle fait usage du signal «SILENCE MAYDAY».

Lorsqu'elle le juge indispensable, toute station du service mobile proche de la station en détresse peut également imposer le silence. Elle emploie à cet effet :

- Le mot *silence* suivi du mot *détresse* et de son propre indicatif.

L'emploi du signal silence *mayday* est réservé à la station mobile en détresse et à la station qui exerce la direction du trafic de détresse.

La station en détresse impose le silence à une station déterminée (le Cessna CN-TBB brouille le trafic de détresse) :

CESSNA CN-TBB
ICI
PIPER CN-TCH
SILENCE MAYDAY
TÉRMINÉ

Une station autre que la station en détresse impose le silence à toutes les autres stations :

À TOUTES LES STATIONS, À TOUTES LES STATIONS, À TOUTES LES STATIONS
ICI
BEECH CN-TBG
SILENCE DÉTRESSE
TÉRMINÉ

Toute station du service mobile qui a connaissance d'un trafic de détresse et qui ne peut elle-même porter secours à la station en détresse doit néanmoins suivre ce trafic jusqu'à ce qu'elle acquière la certitude qu'un secours a été assuré.

L'appel de détresse a priorité absolue sur toutes les autres communications. Toutes les stations qui l'entendent doivent cesser immédiatement toutes les émissions susceptibles de troubler le trafic de détresse.

Cet appel ne doit pas être adressé à une station déterminée et ne doit pas en être accusé réception avant que le message qui le suit ait été transmis.

Une station terrestre recevant un message de détresse doit prendre sans délai les mesures nécessaires pour aviser les autorités compétentes de la mise en œuvre des moyens de sauvetage.

Lorsque le trafic de détresse est terminé ou que l'observation du silence n'est plus nécessaire sur une fréquence qui a été utilisée pour le trafic de la détresse, la station qui a exercé la direction de ce trafic transmet sur cette même fréquence un message adressé «À TOUS» indiquant que le trafic normal a repris.

Ce message présente la forme suivante :

1. Le signal de détresse «MAYDAY» ;
2. L'appel «À TOUS» prononcé trois (3) fois ;
3. Le mot «ICI» ;
4. L'indicatif d'appel ;

5. L'heure du message ;
6. Le nom et l'indicatif d'appel de la station en détresse ;
7. Le mot : «**SILENCE FINI**».

MAYDAY
 À TOUTES LES STATIONS, À TOUTES LES STATIONS, À TOUTES LES STATIONS
 ICI
 TOUR MOHAMED V
 1430A¹
 PIPER CN-TCH
 SILENCE FINI
 TÉRMINÉ

1.6.1 Transmission d'un signal de détresse par une station qui n'est pas elle-même en détresse

Une station mobile ou une station terrestre qui apprend qu'une station mobile est en détresse doit transmettre un message de détresse dans chacun des cas suivants :

- a) La station en détresse n'est pas en mesure de transmettre elle-même le message de détresse ;
- b) Le commandant ou la personne responsable de tout autre véhicule non en détresse ou encore la personne responsable de la station terrestre estime que d'autres secours sont nécessaires ;
- c) Bien que n'étant pas en mesure d'apporter du secours, elle a entendu un message de détresse dont il n'a pas été accusé réception.

La transmission du message de détresse est toujours précédée de l'appel définie ci-après. En outre, chaque fois que c'est possible, cet appel est lui-même précédé du signal d'alarme radiotéléphoniste.

Cet appel comprend :

1. Le signal de détresse «**MAYDAY RELAY**» prononcé trois (3) fois ;
2. Le mot «ICI» ;
3. L'indicatif d'appel ou tout autre identification de la station qui transmet (prononcé trois fois) ;

MAYDAY RELAY, MAYDAY RELAY, MAYDAY RELAY
 ICI
 BEECH CN-TBG, BEECH CN-TBG, BEECH CN-TBG,
 MAYDAY
 PIPER CN-TCH
 MOTEUR HORS SERVICE, MOTEUR EN FEU, ATERRISSAGE FORCÉ
 POSITION 7 MILES AU SUD-OUEST DE GMMT,
 ALTITUDE 4000 PIEDS, VITESSE 80 NŒUDS , CAP 040
 DEUX PERSONNES À BORD
 PIPER CN-TCH

¹ - 1430A : Uu (Unité) Quatre Trois Zéro Alpha (14:30h), Alpha veut dire : selon la zone horaire UTC+01:00.

Lorsqu'une station du service mobile transmet un message de détresse dans les conditions spécifiées précédemment, elle doit prendre toute disposition afin d'informer les autorités susceptibles d'apporter du secours.

1.6.3 Signal d'urgence

En radiotéléphonie, le signal d'urgence consiste en trois (3) répétitions du mot «PAN PAN» prononcé comme le mot français «PANNE».

Le signal d'urgence indique que la station appelante a un message très urgent à transmettre concernant la sécurité d'un navire, d'un aéronef, d'un véhicule ou d'une personne.

PAN PAN, PAN PAN, PAN PAN
 À TOUS, À TOUS, À TOUS
 ICI
 NOUHAILA 07, NOUHAILA 07, NOUHAILA 07
 POSITION 7° 32' 39.707" W, 34° 16' 13.044" N
 12 PERSONNES À BORD DONT UN BLESSÉ, DEMANDONS ASSISTANCE
 MÉDICALE, ACCOSTONS AU PORT MARBA. CHALUTIER BLEU DE 25 MÈTRES DE
 LONG AVEC 2 DRAPEAUX MAROCAINS

Exemple d'annulation du message d'urgence :

PAN PAN
 DE
 NOUHAILA 07, NOUHAILA 07, NOUHAILA 07
 PAN PAN FINI
 NOUS N'AVONS PLUS BESOIN D'ASSISTANCE MÉDICALE
 TERMINÉ (À VOUS...)

Le signal d'urgence a la priorité sur toutes les autres communications sauf sur celles de détresse. Toutes les stations mobiles ou terrestres qui l'entendent doivent prendre soin de ne pas brouiller les transmissions du message qui suit le signal d'urgence.

1.6.3 Signal de sécurité

En radiotéléphonie, le signal de sécurité consiste en trois (3) répétitions du mot «SÉCURITÉ», il est transmis avant l'appel.

Le signal de sécurité annonce que la station va transmettre un message concernant la sécurité de la navigation ou donnant des avertissements météorologiques importants.

(Sur le canal 16)
 SÉCURITÉ, SÉCURITÉ, SÉCURITÉ
 À TOUTES, À TOUTES, À TOUTES LES STATIONS
 ICI
 NOUHAILA 07, NOUHAILA 07, NOUHAILA 07
 ÉPAVE DANGEREUSE
 (NOUHAILA 07 passe sur le canal 6)
 SÉCURITÉ, SÉCURITÉ, SÉCURITÉ
 ICI
 NOUHAILA 07, NOUHAILA 07, NOUHAILA 07
 LONGITUDE 7° OUEST LATITUDE 34° NORD
 SIGNALONS UNE ÉPAVE TRÈS DANGEREUSE POUR LA NAVIGATION

Toutes les stations qui perçoivent le signal de sécurité doivent écouter jusqu'à ce qu'elles aient acquises la certitude que ce message ne les concerne pas. Elles ne doivent faire aucune émission susceptible de brouiller le message.

1.6.4 Fréquences de détresse

Pour le trafic intercontinental, l'Union Internationale des Radioamateurs (UIRA) recommande l'utilisation, pour les secours en cas de catastrophe, des fréquences suivantes :

Fréquence	L.O	Commentaire
21.360	15m	Bande Latérale Supérieure (USB), tous modes, Régions 1, 2 & 3.
18.160	17m	
14.300	20m	
7.110	40m	(ou 7.060 MHz). Bande Latérale Inférieure (LSB), tous modes, Région 1.
3.760	80m	

Tableau 1.2 – Fréquences de détresse pour le service radioamateur.

Le tableau ci-dessous représente les moyens radiotéléphoniques internationaux disponibles pour l'appel d'urgence :

Fréquences	Utilisations	Remarques
2182 kHz*	Bande des 137,5m, fréquence de détresse en mer par la radiotéléphonie en USB de la bande 1.605 MHz à 4 MHz.	En AM par émetteur de secours
3023 kHz	Fréquence d'urgence aéronautique en radiotéléphonie en USB.	Interconnexion (air/mer/terre)
4125 kHz*	Fréquence auxiliaire à 2182 kHz. (air/mer/terre), inter-aéronef en USB.	$P_{\max} = 1 \text{ kW}$
5680 kHz	Fréquence d'urgence aéronautique en radiotéléphonie en USB.	Interconnexion (air/mer/terre)
6215 kHz	Fréquence auxiliaire à 2182 kHz en USB.	$P_{\max} = 1 \text{ kW}$
121.500 MHz	Fréquence d'urgence aéronautique en vue d'un aéronef en AM.	Dégagement sur 123.1 MHz
156.500 MHz	Voie 10 ou canal 10 utilisé en Europe sur les lacs, les fleuves et les rivières.	$P_{\max} = 1 \text{ W}$ en FM
156.8 MHz*	Voie 16 ou canal 16 de détresse en mer des ondes métriques en radiotéléphonie en FM.	Dégagement sur le canal 06 : 156.3 MHz
406 à 406.1 MHz	Radiobalises de localisation de sinistre (RLS) en transmission du MMSI.	Radiorallèlement sur 121.500 MHz.
500 kHz	Bande des 600m, fréquence internationale de détresse en radiotélégraphie. SOS.	SMDSM système mondial de détresse et de sécurité en mer

Tableau 1.3 – Fréquences internationales pour l'appel d'urgence¹.

“ Une station de radioamateur en situation de détresse peut utiliser tout moyen de radiocommunications ”.

1 - * : Les stations du service mobile terrestre situées dans des régions inhabitées, peu peuplées ou isolées peuvent, pour les besoins de la détresse et de la sécurité, se servir de ces fréquences.

1.7 CODE MORSE

Le code Morse international ou l'alphabet Morse international, est un code permettant de transmettre un texte à l'aide de séries d'impulsions courtes et longues, qu'elles soient produites par des signes, une lumière, un son ou un geste.

A	— •	J	• — — —	S	• • •	1	• — — — —
B	— • • •	K	— • —	T	—	2	• • — — —
C	— • — •	L	• — • •	U	• • —	3	• • • — —
D	— • •	M	— —	V	• • • —	4	• • • • —
E	•	N	— •	W	• — —	5	• • • • •
F	• • — •	O	— — —	X	— • • —	6	— • • • •
G	— — •	P	• — — •	Y	— • — —	7	— — • • •
H	• • • •	Q	— — • —	Z	— — • •	8	— — — • •
I	• •	R	• — •	0	— — — — —	9	— — — — •

Tableau 1.4 – Code morse international.

1.8 CONDITIONS D'EXPLOITATION

1. La station est établie, exploitée par le permissionnaire à ses frais et risques. L'état n'est soumis à aucune responsabilité à raison des opérations du permissionnaire ;
2. Le réglage préliminaire de l'émetteur se fera sur antenne fictive. Le permissionnaire s'assurera que le spectre émis est à l'intérieur des bandes de fréquences du service amateur ;
3. La station doit servir exclusivement à l'échange, avec d'autres stations d'amateurs autorisés, de communications utiles au fonctionnement des appareils, à l'exclusion de toute correspondance ayant un caractère d'utilité actuelle et personnelle et toute émission de radiodiffusion (disque entiers, concerts, cours ou conférence etc.)¹ de télévision, de photo télégraphie ou de fac-similé ;
4. Le secret des correspondances doit être inviolablement gardé ;
5. Un certificat de radiotéléphoniste ou de radiotélégraphiste doit être tenu par le permissionnaire ;
6. La station autorisée est une station fixe qui ne doit être utilisée qu'à l'emplacement désigné par le permissionnaire dans sa demande. La station **ne peut être déplacée ni cédée sans autorisation spéciale**. La demande de transfert ou de cession doit être adressée à l'Agence Nationale de Réglementations des Télécommunication ANRT ;
7. L'indicatif d'appel de la station doit être transmis fréquemment et en tous cas au début et à la fin de chaque communication ;
8. Les émissions doivent être interrompues au moins cinq (5) minutes après chaque période de quinze (15) minutes ;

¹ - Quelques sujets sont à exclure de toute conversation de radioamateur :

- + la religion ;
- + la politique ;
- + le commerce : vous ne pouvez pas faire de la publicité pour vos affaires ;
- + les remarques désobligeantes à l'égard d'un quelconque groupe (ethnique, religieux, racial, sexuel...) ;
- + de l'humour sexiste : raconter des plaisanteries ;
- + tout sujet n'ayant pas la moindre relation avec le radioamateurisme.

9. Le permissionnaire est tenu de consigner toutes les communications échangées à partir de sa station dans un journal qui doit être présenté à toute réquisition ;
10. Tout trafic avec les pays avec lesquels le Maroc a suspendu le service des télécommunications est **INTERDIT**¹ ;

1.9 CONDITIONS DE CONTRÔLE

1. L'Agence Nationale de Réglementation des Télécommunications ANRT exerce un contrôle permanent sur les conditions techniques de l'exploitation de la station. Le Ministère de l'intérieur, la Direction Générale de la Sûreté Nationale et l'ANRT assurent le contrôle de la teneur des émissions. Les agents de l'ANRT et de l'intérieur chargé du contrôle peuvent à tout instant pénétrer dans le local où est installée la station.
2. La station est assujettie à **une taxe annuelle de contrôle actuellement fixée à 100 DH hors taxe [120 DH TTC]**². Cette taxe est due pour l'année entière quelle que soit la date de mise en service de la station.

Elle est exigible dès la délivrance de la licence pour la première année et dans le courant du mois de Janvier pour les années suivantes. Le permissionnaire qui n'a pas, avant le 30 Novembre de l'année en cours, demandé par lettre à l'ANRT, l'annulation de la licence, est tenu d'acquitter la taxe de contrôle pour l'année suivante.

3. La licence d'amateur peut être révoquée sans indemnité, notamment dans les cas suivants :
 - Si le permissionnaire ne respecte pas les engagements souscrits dans sa demande d'autorisation ;
 - S'il capte des correspondances qu'il n'est pas autorisé à recevoir ou s'il viole le secret de celle qu'il a captées fortuitement ;
 - S'il apporte un trouble quelconque aux récepteurs de radiodiffusion ou au fonctionnement des services publics et privés de radiocommunications ;
 - S'il utilise un indicatif d'appel différent de celui qui lui a été attribué ;
 - S'il communique avec des stations non autorisées ;
 - S'il émet avec une puissance supérieure à celle autorisée ou en dehors des bandes de fréquences attribuées au service d'amateurs ;
 - S'il ne paie pas dans le délai réglementaire la taxe annuelle de contrôle³.

1.10 CONDITIONS TECHNIQUES

1. La puissance d'alimentation de l'anode de l'étage final **ne doit en aucun cas dépasser cent (100) watts** ;
2. La fréquence émise doit être aussi constante et exempte de radiations non essentielles que l'état de la technique le permet ;

1 - Jusqu'à nouvel ordre ou jusqu'à l'annonce officielle de la levée de l'état de suspension.

2 - Annexe 1 de l'arrêté du Ministre de l'industrie, du commerce et des nouvelles technologies n°623-08 du 18 Rabii II 1429 / 26 Mars 2008 fixant les redevances pour assignation de fréquences radioélectriques.

3 - Le paiement de la taxe annuelle est exigible dès la délivrance de la licence pour la première année et dans le courant du mois de Janvier pour les années suivantes (doit se faire avant le 31 Janvier).

3. L'émetteur doit être d'une antenne fictive pour les réglages et essais en «LOCAL» ;
4. La largeur de bande occupée par l'émission doit être entièrement comprise dans l'une des bandes des fréquences suivantes attribuées au service amateur¹ :

Fréquences		D.I	L.O	Commentaire
1810 à 1850	kHz	HF	160m	Bande exclusivement réservée aux amateurs.
3500 à 3800			80m	Bande partagée avec les services fixe et mobile sauf mobile aéronautique.
7000 à 7100			40m	Bande exclusivement réservée aux amateurs.
10100 à 10150			30m	Bande partagée avec le service fixe.
14000 à 14350			20m	Bandes exclusivement réservées aux amateurs.
18068 à 18168			17m	
21000 à 21450			15m	
24890 à 24990			12m	
28 à 29.7			10m	
144 à 146	MHz	VHF	2m	
430 à 440		UHF	70 cm	Bande partagée avec la radiolocalisation.
1240 à 1300			24 cm	Dans ces bandes, le service d'amateur est un service secondaire dont les stations ne doivent pas causer de brouillages nuisibles aux stations des services primaires. (bande exclusive : 10.450 à 10.5).
2300 à 2540		13 cm		
5650 à 5850		5 cm		
10 à 10.5		SHF	3 cm	
24 à 24.05			1,2 cm	Bande exclusivement réservée aux amateurs.
24.05 à 24.25				Bande partagée avec la radiolocalisation.
47 à 47.2		GHz	EHF	6 mm
76 à 81	4 mm			Bande partagée avec la radiolocalisation et la radioastronomie (bande exclusive : 77.5 à 78).
122.25 à 123	2,4 mm			Bande partagée avec les services fixe et mobile.
134 à 136	2 mm			Bande partagée avec la radioastronomie et la radiolocalisation.
136 à 141				Dans cette bande, le service d'amateur est un service secondaire.
241 à 250	1,2 mm			Ne pas causer de brouillages nuisibles aux stations des services primaires (bande exclusive : 248 à 250).

Tableau 1.5 – Les bandes de fréquences attribuées au service amateur.

¹ - Décision du Chef du Gouvernement n° 3-06-18 du 26 Joumada II 1439 / 15 Mars 2018 portant publication du Plan National des fréquences. Pour toute information, consulter le Bulletin Officiel du 06 Avril 2018, Page 826.

Le service concerné de l'ANRT a organisé une réunion pour mettre en place les procédures techniques afin que l'attribution de la bande des 6m (50-52 MHz) au service amateur n'ait aucun impact négatif lors de son utilisation à titre secondaire, et ce, suite à une demande formulée par l'ARRAM.

1.11 PRINCIPES GÉNÉRAUX¹

Article 2 :

Sont soumis à licence l'établissement et l'exploitation de tous réseaux publics de télécommunications empruntant le domaine public ou utilisant le spectre des fréquences radioélectriques.

Article 3 :

Sont soumis à autorisation l'établissement et l'exploitation de réseaux indépendants à l'exception des réseaux internes.

Article 4 :

Sont soumis à agrément :

- Les installations radioélectriques ;
- Les équipements terminaux qui sont destinés à être raccordés à un réseau public de télécommunications ;
- Les laboratoires d'essais et mesures des équipements de télécommunications.

Article 5 :

Est soumise à déclaration la fourniture de services à valeur ajoutée, fixés par voie réglementaire, utilisant les capacités disponibles des réseaux de télécommunications visés à l'article 2 ci-dessus.

Article 6 :

Sont établis librement les réseaux internes et les installations radioélectriques exclusivement composées d'appareils de faible puissance et de faible portée.

Article 7 :

L'établissement et/ou l'exploitation de réseaux s'effectuent dans les conditions d'une concurrence loyale, et dans le respect, par les exploitants des réseaux publics, du principe d'égalité de traitement des usagers. L'accès de ces derniers aux réseaux publics doit être assuré dans des conditions objectives, transparentes et non discriminatoires.

1.12 RÉGIME DES AGRÉMENTS²

Article 15 :

Les équipements terminaux sont fournis librement, sans autorisation préalable. Toutefois, lorsqu'ils sont destinés à être connectés à un réseau public de télécommunications, ils doivent faire l'objet d'un agrément préalable délivré par l'ANRT ou par un laboratoire d'essais et mesures d'équipements des télécommunications lui-même agréé par l'agence. L'agrément des équipements est exigé dans tous les cas pour les installations radioélectriques, qu'elles soient destinées ou non à être connectées à un réseau public de télécommunications. L'agrément doit être notifié dans un délai ne dépassant pas les deux mois. Tout refus d'agrément doit être motivé.

1 - Chapitre II de la version consolidée de la Loi n°24-96 relative à la poste et aux télécommunications, telle qu'elle a été modifiée et complétée.

2 - Chapitre V de la version consolidée de la Loi n°24-96 relative à la poste et aux télécommunications, telle qu'elle a été modifiée et complétée.

Article 16 :

Les équipements terminaux ou installations soumis à l'agrément mentionné ci-dessus ne peuvent être fabriqués pour le marché intérieur, importés, détenus en vue de la vente, mis en vente, distribués à titre gratuit ou onéreux, connectés à un réseau public de télécommunications ou faire l'objet de publicité que s'ils sont agréés au préalable par l'ANRT ou par un laboratoire d'essais et mesures dûment agréé à cet effet par ladite agence dans les conditions fixées par l'administration.

L'agrément des équipements terminaux et installations radioélectriques visés à l'alinéa précédent a pour objet de garantir, dans l'intérêt général, la sécurité des usagers et du personnel des exploitants, la protection des réseaux de télécommunications, la compatibilité de ces équipements à fonctionner, d'une part, avec les réseaux publics de télécommunications et, d'autre part, avec les autres équipements terminaux permettant d'accéder à un même service, ainsi que la bonne utilisation du spectre radioélectrique.

Les installateurs d'équipements terminaux pour leur compte propre ou pour des tiers, sont tenus responsables des infractions à la réglementation des télécommunications dans le cadre de la législation en vigueur et selon les dispositions de la présente loi.

En outre, ils sont responsables des infractions lorsqu'elles sont commises par leurs agents et du paiement des amendes y afférentes.

Les installations radioélectriques et les équipements terminaux doivent, à tout moment, demeurer conformes au modèle agréé.

Sous réserve des prescriptions exigées par la défense nationale et la sécurité publique et des prérogatives de l'autorité judiciaire, et hormis les cas exceptionnels où l'ANRT l'autorise, l'importation, la publicité, la cession à titre gratuit ou onéreux, l'installation et l'utilisation de tout dispositif destiné à rendre inopérants, tant pour l'émission que pour la réception, les appareils de télécommunications de tous types, sont interdites.

1.13 INFRACTIONS ET SANCTIONS PÉNALES¹**Article 81 :**

1. Sera puni d'une amende de 1500 à 5000 dirhams quiconque aura, par imprudence ou involontairement :
 - Commis un fait matériel pouvant compromettre le service des télécommunications ;
 - Aura dégradé ou détérioré, de quelque manière que ce soit, les lignes aériennes ou souterraines ou les appareils de télécommunications et de tout ouvrage s'y rapportant.
2. Sera puni d'une amende de 3000 à 70 000 dirhams par équipement terminal quiconque aura fabriqué pour le marché intérieur, importé ou détenu en vue de la vente, la distribution à titre onéreux ou gratuit ou met en vente ou a vendu des équipements terminaux visés aux articles 15 et 16 ci-dessus ainsi que leur connexion à fin réseau public de télécommunications en violation de l'agrément ou en absence d'agrément préalable.

1 - Titre 5, Chapitre Premier de la version consolidée de la Loi n°24-96 relative à la poste et aux télécommunications, telle qu'elle a été modifiée et complétée.

Sera puni de la même amende quiconque aura fait la publicité en faveur de la vente des équipements n'ayant pas reçu l'agrément préalable.

3. Sera puni d'une amende de 10 000 à 200 000 dirhams quiconque aura fourni ou fait fournir un service à valeur ajoutée en violation des dispositions ou de la déclaration prévues à l'article 5 ci-dessus.

Article 82:

Sera puni d'un emprisonnement de un mois à un an et d'une amende de 10 000 à 100 000 dirhams ou de l'une de ces deux peines seulement :

1. Toute personne qui aura effectué des transmissions radioélectriques en utilisant sciemment un indicatif d'appel de la série internationale attribué à une station de l'État, à une station du réseau public de télécommunications ou à toute autre station privée autorisée par l'ANRT ;
2. Toute personne qui aura effectué ou fait effectuer des détournements de lignes de télécommunications ou exploite des lignes de télécommunications détournées ;
3. Tout agent d'un exploitant de réseau de télécommunications ou d'un fournisseur de service de télécommunications qui aura refusé de fournir les informations ou documents ou fait obstacle au déroulement des enquêtes mentionnées à l'article 24 de la présente loi.

Article 83 (complété par l'article 1 de la loi n°121-12) :

Sera puni d'un emprisonnement d'un mois à deux ans et d'une amende de 10 000 à 200 000 dirhams quiconque :

1. Aura établi ou fait établir un réseau de télécommunications sans la licence prévue à l'article 2 ci-dessus ou l'aura maintenu en violation d'une décision de suspension ou de retrait de cette licence ;
2. Aura fourni ou fait fournir un service de télécommunications sans la licence prévue à l'article 2 ci-dessus ou en violation d'une décision de suspension ou de retrait de cette licence ;
3. Aura mis en œuvre des réseaux ou installations radioélectriques visés à l'article 19 de la présente loi en contravention aux conditions définies par l'ANRT ;
4. Aura utilisé une fréquence radioélectrique qui ne lui a pas été préalablement assignée par l'ANRT ;
5. Aura établi ou exploité ou fait établir ou exploiter un réseau indépendant, sans l'autorisation prévue à l'article 14 de la présente loi ou l'aura maintenu en violation d'une décision de suspension ou de retrait de cette autorisation, ou aura établi ou exploité ou fait établir ou exploiter un réseau indépendant perturbant le fonctionnement des réseaux existants ou aura établi ou fait établir une liaison empruntant le domaine public sans la licence préalable visée à l'article 2 ;
6. Aura fabriqué pour le marché intérieur, importé ou détenu en vue de la cession à titre gratuit ou onéreux, installé, utilisé ou fait la publicité en faveur de la vente des équipements visé à l'alinéa 6 de l'article 16 ci-dessus ;
7. Quiconque aura, par la rupture des fils ou des câbles, par la destruction ou la dégradation des appareils ou par tout autre moyen, volontairement causé l'interruption des télécommunications ;

Article 84 :

Les infractions prévues au présent titre pourront être constatées par des procès-verbaux dressés par des officiers de police judiciaire et les agents de la force publique ainsi que par les employés assermentés et commissionnés à cette fin par l'ANRT.

L'ANRT pourra prendre immédiatement et auprès du contrevenant toutes les mesures provisoires et urgentes qui seraient indispensables pour faire cesser les dommages résultant des infractions au présent article.

Lorsque sur une ligne de télécommunications déjà établie, la transmission des signaux est empêchée ou gênée soit par des arbres soit par l'interposition d'un objet quelconque placé à demeure, le président du conseil communal prescrira par arrêté les mesures nécessaires pour faire disparaître l'obstacle qui gêne ou empêche la transmission des signaux de télécommunications lorsqu'il est susceptible d'être déplacé.

Le déplacement de l'obstacle sera à la charge de son auteur si la ligne de télécommunications était déjà établie avant qu'il soit placé à demeure. Il est à la charge du propriétaire de la ligne de télécommunications dans le cas contraire.

Article 85 (modifié et complété par l'article 1 de la loi n°121-12) :

Outre les officiers et agents de police judiciaire, les agents assermentés et commissionnés à cette fin par l'ANRT peuvent rechercher et constater, par procès-verbal, les infractions aux dispositions des articles 81 à 83 ci-dessus. Leurs procès-verbaux sont transmis au procureur du Roi dès la clôture des opérations d'investigation.

Les procès-verbaux établis par les employés visés au premier alinéa du présent article font foi jusqu'à preuve du contraire.

Ces employés peuvent accéder aux locaux, terrains ou moyens de transport à usage professionnel, demander la communication de tout document professionnel et en prendre copie, recueillir, sur convocation ou sur place, les renseignements et justifications.

Ils peuvent également, sur autorisation du procureur du Roi, procéder à la saisie des matériels objets de la contravention.

La demande de l'autorisation précitée doit comporter tous les éléments d'information de nature à justifier la saisie. Celle-ci s'effectue sous l'autorité et le contrôle du procureur du Roi qui l'a autorisée.

Les matériels saisis, sont immédiatement inventoriés. L'inventaire est annexé au procès-verbal dressé sur les lieux. Les originaux du procès-verbal et de l'inventaire sont remis au procureur du Roi qui a ordonné la saisie et les équipements saisis sont mis à sa disposition.

Article 85Bis (ajouté par l'article 3 de la loi n°121-12) :

Sans préjudice des dispositions de l'article 85 ci-dessus, l'ANRT dispose du droit de transiger avec les personnes poursuivies pour les infractions prévues aux articles 81 (2° et 3°) et 83 (3°, 4° et 5°) ci-dessus avant le jugement définitif.

Cette transaction est constatée par écrit. Elle porte sur les sommes dues au titre des droits exigibles pour la fourniture d'un service à valeur ajoutée, l'établissement d'un réseau indépendant, l'agrément d'un équipement de télécommunications ou l'utilisation d'une fréquence radioélectrique.

La transaction lie irrévocablement les parties et n'est susceptible d'aucun recours. Elle éteint l'action publique.

Article 86 :

En cas de condamnation pour l'une des infractions prévues aux articles 81, 82 et 83 ci-dessus, le tribunal peut, en outre, prononcer au profit de l'ANRT, la confiscation des matériels et installations constituant le réseau de télécommunications ou permettant la fourniture du service de télécommunications ou en ordonner la destruction sur demande de l'ANRT aux frais du condamné.

Le tribunal peut prononcer à l'encontre du contrevenant, pour l'une des infractions prévues aux articles 81, 82 et 83 l'interdiction d'exercer, pendant une durée de un à cinq ans, toute activité en relation avec le secteur des télécommunications.

L'amende sera appliquée autant de fois qu'il y aura d'infractions distinctes constatées soit dans un seul procès-verbal, soit dans plusieurs procès-verbaux successifs, à l'encontre du même contrevenant.

Les complices des infractions visées ci-dessus seront passibles des mêmes peines que les auteurs principaux.

En cas de récidive, les peines prévues aux articles 81, 82 et 83 ci-dessus, sont portées au double.

Il y a récidive lorsque le contrevenant a subi, dans les cinq années qui précèdent, une première condamnation irrévocable pour l'une des infractions punies par lesdits articles.

1.14 CODE «Q» ET ABRÉVIATIONS

Pour faciliter les communications qui peuvent s'étendre à l'ensemble des pays du monde, le code Q est utilisé avec un vocabulaire souvent restreint en anglais et des abréviations internationales admises par tous. Exemple de quelques abréviations courantes utilisées en télégraphie et en téléphonie :

- **73** : je vous envoie mes amitiés ;
- **88** : je vous embrasse ;
- **600 OHMS** : certaines personnes utilisent ce terme pour identifier le téléphone car l'impédance de celui-ci est de 600 ohms.
- **ANTI-MÉMÈRE** (*timeout*) : dispositif qui ferme l'émetteur ou une fonction d'un relais parce que vous parlez trop longtemps et pour éviter une surchauffe des équipements ;
- **AR** : fin de transmission ;
- **AS** : attente ;
- **AUTO PATCH** (liaison téléphonique) : interface électronique qui permet aux utilisateurs d'un relais (répéteur, *repeater*) de faire des appels téléphoniques.
- **BK** (*break*) : signal utilisé pour interrompre une transmission en cours ;
- **CONTEST** : concours radioamateur ;
- **CQ** : appel général qui s'adresse à toutes les stations (originellement, «sécu» de sécurité, «*seek you*» pour les anglophones) ;
- **CW** : onde entretenue - télégraphie ;
- **DE** : utilisé pour séparer l'indicatif de la station ;

- **DX** : contact lointain ;
- **FRITURE** : parasite électrique qui brouille votre réception et qui a le son d'une friteuse en ébullition ;
- **K** : invitation à émettre ;
- **MSG** : message ;
- **NET** : réseau organisé sur une fréquence ;
- **OM** (*Old Man*) : un homme radioamateur ;
- **PILE-UP** : accumulation d'appels vers une seule station ;
- **PSE** : s'il vous plait ;
- **PTT** (*push-to-talk*) : l'utilisation d'un bouton (généralement sur le micro) qui sert à activer l'émetteur ;
- **R** : reçu ;
- **RIG** : émetteur, récepteur ou émetteur-récepteur (ensemble du matériel émission réception utilisé) ;
- **RST** : lisibilité, force du signal, tonalité ;
- **RUBBER DUCK** : argot qui décrit l'antenne souple qui est normalement utilisée sur un radio portatif ;
- **RX** : récepteur ;
- **SHACK** : local où la station est installée ;
- **SIG** : signal ;
- **SK** (VA) : fin de vacation ;
- **SQUELCH** : circuit à l'intérieur d'un récepteur qui élimine le sifflement lorsqu'il y a absence de signal ;
- **TX** : émetteur ;
- **UR** : votre ;
- **YL** (*Young Lady*) : une femme radioamateur ;
- **XYL** : l'épouse d'un radioamateur (pas d'abréviation pour l'époux d'une YL).

Le code Q universel est un ensemble de codes de trois lettres, au sens bien précis.

Il est utilisé en attribuant à certains codes une signification adaptée à la pratique.

Un astérisque * placé à la suite d'une abréviation du code Q signifie que ce signal a une signification analogue à celle d'un signal qui figure dans le Code international de Signaux.

CODE	QUESTION	RÉPONSE
NOM		
QRA	Quel est le nom de votre station ?	Le nom de ma station est ...
	Local où est située la station d'émission-réception (Emplacement de la station). QRA Familial : domicile. QRA PRO : lieu de travail.	
PARCOURS		
QRD	Où allez-vous et d'où venez-vous ?	Je vais à ... et je viens de ...
	Direction, Route suivie (pour les mobiles).	
POSITION		
QRB	À quelle distance approximative vous trouvez-vous de ma station ?	La distance approximative entre nos stations est de ... miles nautiques (ou kilomètres).
	Distance entre deux stations.	
QTH	Quelle est votre position en latitude et en longitude (ou d'après toute autre indication) ?	Ma position est ... latitude ... longitude (ou d'après toute autre indication).
	Position de la station.	
QTN	À quelle heure avez-vous quitté ... (lieu) ?	J'ai quitté ... (lieu) à ...
QUALITÉ DES SIGNAUX		
QOF	Quelle est la qualité commerciale de mes signaux ?	La qualité de vos signaux : 1 Non commerciale ; 2 Toute juste commerciale ; 3 Commerciale.
QRI	Quelle est la tonalité de mon émission ?	La tonalité de votre émission est : 1 Bonne ; 2 Variable ; 3 Mauvaise.
	Tonalité d'émission.	
QRK	Quelle est l'intelligibilité de ma/ou de la transmission de ... ?	L'intelligibilité de votre transmission est : INTELLIGIBLE LISIBLE 1 Mauvaise - Illisible ; 2 Médiocre - À peine lisible ; 3 Assez bonne - Lisible avec difficulté ; 4 Bonne - Lisible avec difficulté ; 5 Excellente - Parfaitement lisible.
	Force de la radio (R1.....R5).	
FORCE DES SIGNAUX		
QRO	Dois-je augmenter la puissance d'émission ?	Augmentez la puissance d'émission.
	Fort, très bien, sympa.	
QRP	Dois-je diminuer la puissance d'émission ?	Diminuez la puissance d'émission.
	Faible, petit. QRPP : petit garçon. QRPPette : petite fille.	

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 bien ; 4 Bonne ; 5 Très bien.
	Force de signal (S1.....S9).	
QSB	La force de mes signaux varie-t-elle ?	La force de vos signaux varie.
	Fading, variation.	
MANIPULATION		
QRQ	Dois-je transmettre plus vite ?	Transmettez plus vite (... mots/min).
QRR	Êtes-vous prêt pour l'emploi des appareils automatiques ?	Je suis prêt pour l'emploi des appareils automatique. Transmettez à la vitesse de ... mots par minute.
	Nom de la station. QRRR : appel de détresse.	
QRS	Dois-je transmettre plus lentement ?	Transmettez plus lentement (... mots/min).
QSD	Ma manipulation est-elle défectueuse ?	Votre manipulation est défectueuse.
BROUILLAGE		
QRM	Mon émission est-elle brouillée ? Êtes-vous brouillé ?	1 Je ne suis nullement brouillé ; 2 Faiblement ; 3 Modérément ; 4 Fortement ; 5 Très fortement.
	Parasites, brouillage. QRM 22 : police.	
QRN	Je suis gêné par des parasites ? Êtes-vous troublé par des parasites ?	1 Je ne suis nullement troublé ; 2 Faiblement ; 3 Modérément ; 4 Fortement ; 5 Très fortement.
	Brouillage météorologique.	
RÉGLAGE DE LA FRÉQUENCE		
QRG	Voulez-vous m'indiquer ma fréquence exacte (ou la fréquence exacte de ...) ?	Votre fréquence exacte (ou la fréquence exacte de ...) est ... kHz (ou MHz).
	Fréquence.	
QRH	Ma fréquence varie-t-elle ?	Votre fréquence varie.
	Fréquence instable.	
QTS	Voulez-vous transmettre votre indicatif d'appel ?	Je vais transmettre mon indicatif d'appel pendant ... second.
CHOIX DE LA FRÉQUENCE / OU DE LA CLASSE D'ÉMISSION		
QSN	M'avez-vous entendu sur ... MHz ?	Je vous ai entendu sur ... MHz.
QSS	Quelle fréquence de travail allez-vous utiliser ?	Je vais utiliser la fréquence de travail ... MHz.

QSU	Dois-je transmettre ou répondre sur la fréquence actuelle ?	Transmettez ou répondez sur la fréquence actuelle.
QSV	Dois-je transmettre une série de signaux pour réglage sur cette fréquence ?	Transmettez une série de signaux pour réglage sur cette fréquence.
QSW	Allez-vous transmettre sur la fréquence actuelle ?	Je vais transmettre sur la fréquence actuelle.
QSX	Allez-vous écouter ... sur ... ou dans les bandes ... ?	J'écoute sur ... ou dans les bandes ...
	Voulez-vous écouter sur ...	
CHANGEMENT DE FRÉQUENCE		
QOA	Pouvez-vous communiquer en radiotélégraphie Morse sur la fréquence 500 kHz ?	Communiquer en radiotélégraphie Morse sur la fréquence 500 kHz.
QOB	Pouvez-vous communiquer en radiotéléphonie sur la fréquence 2182 kHz ?	Communiquer en radiotéléphonie sur la fréquence 2182 kHz.
QOC	Pouvez-vous communiquer en radiotéléphonie sur la fréquence 156.8 MHz ?	Communiquer en radiotéléphonie sur la fréquence 156.8 MHz.
QOD	Pouvez-vous communiquer avec moi en ... ?	Je peux communiquer avec vous en ... (langue).
QRL	Êtes-vous occupé ?	Je suis occupé (ou je suis occupé avec ...). Prière de ne pas brouiller.
QRV	Êtes-vous prêt ?	Je suis prêt.
QRX	À quel moment me rappellerez-vous ?	Je vous rappellerai à ... heures (sur ... kHz) (ou ... MHz).
	Restez en écoute un instant.	
QRY	Quel est mon tour ?	Le numéro de votre tour est ...
QRZ	Par qui suis-je appelé ? (indicatif)	Vous êtes appelé par ... (sur ... kHz) (ou ... MHz).
QSC	Êtes-vous une station à faible trafic ?	Je suis une station à faible trafic.
QSR	Dois-je répéter l'appel sur la fréquence d'appel ?	Répétez l'appel sur la fréquence d'appel. Je ne vous ai pas entendu.
QTQ	Pouvez-vous communiquer avec ma station à l'aide du code international des signaux (INTERCO) ?	Je vais communiquer avec votre station à l'aide du code ...
QUE	Pouvez-vous converser en ... (langue) au besoin avec interprète, dans l'affirmative, sur quelle fréquence ?	Je peux converser en ... (langue) sur ... kHz
QSY	Dégagement de fréquence.	
APPELS SÉLECTIFS		
QOL	Votre station peut-elle recevoir les appels sélectifs ? dans l'affirmatif quel est son numéro d'appel sélectif ?	Ma station peut recevoir les appels sélectifs, son numéro d'appel sélectif est ...
QOM	Quelles sont les fréquences à utiliser pour qu'un appel sélectif parvienne à votre station ?	La ou les fréquences à utiliser pour l'appel sélectif sont les suivantes ...

HEURE		
QTR	Quelle est l'heure exacte ?	L'heure exacte est ...
QTU	Quelles sont les heures pendant lesquelles votre station est ouverte ?	Ma station est ouverte de ... à ...
TAXES		
QRC	Par quelle exploitation sont liquidés les comptes de taxes de votre station ?	Les comptes de taxes de ma station sont liquidés par l'exploitation ...
QSJ	Quel est le prix de ... ?	Le prix de ... est de ...
	Prix, argent, valeur.	
TRANSIT		
QRW	Dois-je aviser ... que vous l'appeler sur ...	Prière d'aviser ... que je l'appel sur ... MHz.
	Avisiez que j'appelle.	
QSO	Pouvez-vous communiquer avec ... ? Directement ou par relais ?	Je peux communiquer avec ... Directement ou par l'intermédiaire de ...
	Contact radio.	
QSP	Voulez-vous transmettre à ... gratuitement ?	Je vais transmettre à ... gratuitement.
QSQ	Avez-vous à bord un médecin (ou nom de personne) ?	J'ai à bord un médecin ou (nom de personne).
QUA	Avez-vous de nouvelles de ... ?	Voici des nouvelles de ...
QUC	Quelle est le numéro du dernier message que vous avez reçu de moi (ou de) ?	Le numéro du dernier message que j'ai reçu de vous (ou de) est ...
CHANGEMENT DE LA CORRESPONDANCE		
QOG	Combien de bandes avez-vous à transmettre ?	J'ai ... bandes à transmettre.
QOH	Dois-je émettre un signal de mise en phase pendant...secondes ?	Émettez un signal de mise en phase pendant ... secondes.
QOI	Dois-je transmettre ma bande ?	Transmettez votre bande.
QRJ	Combien de demandes de conversation radiotéléphonique avez-vous en instance ?	J'ai ... demandes de conversation radio-téléphonique en instance.
	Me recevez-vous bien ?	
QRU	Avez-vous quelque chose pour moi ?	Je n'ai rien pour vous.
	Plus rien à dire.	
QSG	Dois-je transmettre ... télégrammes à la fois ?	Transmettez ... télégrammes à la fois.
QSI		Il m'a été impossible d'interrompre votre transmission. ou Voulez-vous informer ... (nom ou indicatif d'appel ou les deux) qu'il m'a été impossible d'interrompre sa transmission (sur ... kHz (ou MHz)).

QSK	Pouvez-vous m'entendre entre vos signaux ? Dans l'affirmative, puis-je interrompre votre transmission ?	Je peux vous entendre entre mes signaux ; vous pouvez interrompre ma transmission.
	Dois-je continuer la transmission ?	
QSL	Pouvez-vous me donner accusé de réception ?	Je vous donne accusé de réception.
	Carte de confirmation QSO.	
QSM	Dois-je répéter le dernier télégramme que je vous ai transmis (ou un télégramme précédent) ?	Répétez le dernier télégramme que vous m'avez transmis (ou le(s) télégramme(s) numéro(s) ...).
QSZ	Dois-je transmettre chaque mot ou groupe plusieurs fois ?	Transmettez chaque mot ou groupe deux fois (ou ... fois).
QTA	Dois-je annuler le télégramme (ou le message) numéro ... ?	Annulez le télégramme (ou le message) numéro ...
QTB	Êtes-vous d'accord avec mon compte de mots ?	Je ne suis pas d'accord avec votre compte de mots. Je vais répéter la première lettre de chaque mot et le premier chiffre de chaque nombre.
QTC	Combien avez-vous de télégrammes à transmettre ?	J'ai ... télégrammes pour vous (ou pour ... (nom ou indicatif d'appel ou les deux)).
QTV	Dois-je prendre la veille à votre place sur la fréquence ... kHz (ou MHz) (de ... à ... heures) ?	Prenez la veille à ma place sur la fréquence ... kHz (ou MHz) (de ... à ... heures).
QTX	Voulez-vous laisser votre station ouverte pour communiquer avec moi jusqu'à nouvel avis de ma part (ou jusqu'à ... heures) ?	Ma station reste ouverte pour communiquer avec vous jusqu'à nouvel avis de votre part (ou jusqu'à ... heures) ?
MOUVEMENT		
QRE	À quelle heure comptez-vous arriver à ... (ou au-dessus de ...) (lieu) ?	Je compte arriver à ... (ou au-dessus de ...) (lieu) à ... heures.
	Heure d'arrivée prévue.	
QRF	Retournez-vous à ... (lieu) ?	Je retourne à ... (lieu). Ou Retournez à ... (lieu).
QSH	Pouvez-vous effectuer un ralliement avec votre radiogoniomètre ?	Je peux effectuer un ralliement (rallier ... (nom ou indicatif d'appel ou les deux)) avec mon radiogoniomètre.
QTI*	Quelle est votre route vraie ?	Ma route vraie est de ... degrés.
QTJ*	Quelle est votre vitesse de marche ? (Demande la vitesse du navire ou de l'aéronef par rapport à l'eau ou à l'air respectivement).	Ma vitesse de marche est de ... nœuds (ou de ... kilomètres à l'heure, ou de ... milles terrestres à l'heure). (Indique la vitesse du navire ou de l'aéronef par rapport à l'eau ou à l'air respectivement).
QTK*	Quelle est la vitesse de votre aéronef par rapport à la surface de la Terre ?	La vitesse de mon aéronef est de ... nœuds (ou de ... kilomètres à l'heure, ou de ... milles terrestres à l'heure) par rapport à la surface de la Terre.

QTL*	Quel est votre cap VRAI ?	Mon cap VRAI est de ... degrés.
QTM*	Quel est votre cap magnétique ?	Mon cap magnétique est de ... degrés.
QTO	Êtes-vous sorti du bassin (ou du port) ? ou Avez-vous décollé ?	Je suis sorti du bassin (ou du port) ou J'ai décollé.
QTP	Allez-vous entrer dans le bassin (ou dans le port) ? ou Allez-vous amerrir (ou atterrir) ?	Je vais entrer dans le bassin (ou dans le port) ou Je vais amerrir (ou atterrir).
QUN	1. Posée à toutes les stations : les navires dans mon voisinage immédiat ou (dans le voisinage de ... latitude, ... longitude) ou (dans le voisinage de ...) peuvent-ils m'indiquer leur position, cap VRAI et vitesse ? 2. Posée à une seule station : veuillez indiquer votre position, cap VRAI et vitesse.	Ma position, mon cap VRAI et ma vitesse sont ...
MÉTÉOROLOGIE		
QUB*	Pouvez-vous me donner dans l'ordre, les renseignements concernant : la direction vraie et la vitesse du vent au sol ; la visibilité, le temps qu'il fait, l'importance, le type et la hauteur de la base des nuages au-dessus de ... (lieu d'observation) ?	Voici les renseignements demandés : ... (Il convient de préciser les unités utilisées pour les vitesses et les distances.)
QUH*	Voulez-vous m'indiquer la pression barométrique actuelle au niveau de la mer ?	La pression barométrique actuelle au niveau de la mer est de ... (unités).
QUX	Avez-vous en instance des avis relatifs à la navigation ou à une tempête ?	J'ai en instance l'avis (les avis) suivant(s) relatif(s) à la navigation ou à une tempête : ...
RADIOGONIOMÉTRIE		
QTE	Quel est mon relèvement vrai relativement à vous ? ou Quel est mon relèvement vrai relativement à ... (nom ou indicatif d'appel ou les deux) ? ou Quel est le relèvement vrai de ... (nom ou indicatif d'appel ou les deux) relativement à ... (nom ou indicatif d'appel ou les deux) ?	Votre relèvement vrai relativement à moi est de ... degrés à ... heures. ou Votre relèvement vrai relativement à ... (nom ou indicatif d'appel ou les deux) était de ... degrés à ... heures. ou Le relèvement vrai de ... (nom ou indicatif d'appel ou les deux) relativement à ... (nom ou indicatif d'appel ou les deux) était de ... degrés à ... heures.
QTF	Voulez-vous m'indiquer ma position résultant des relèvements pris par les stations radiogoniométriques que vous contrôlez ?	Votre position résultant des relèvements pris par les stations radiogoniométriques que je contrôle était ... latitude, ... longitude (ou une autre indication de la position), classe ... à ... heures.

QTG	<p>Voulez-vous transmettre deux traits de dix secondes chacun (ou la porteuse pendant deux périodes de dix secondes), puis votre indicatif d'appel (ou votre nom) (répétés ... fois) sur ... kHz (ou MHz) ?</p> <p>ou</p> <p>Voulez-vous demander à ... (nom ou indicatif d'appel ou les deux) de transmettre deux traits de dix secondes (ou la porteuse pendant deux périodes de dix secondes) puis son indicatif d'appel (ou son nom ou les deux) (répétés ... fois) sur ... kHz (ou MHz) ?</p>	<p>Je vais transmettre deux traits de dix secondes chacun (ou la porteuse pendant deux périodes de dix secondes), puis mon indicatif d'appel (ou mon nom), (répétés ... fois) sur ... kHz (ou MHz).</p> <p>ou</p> <p>J'ai demandé à ... (nom ou indicatif d'appel ou les deux) de transmettre deux traits de dix secondes (ou la porteuse pendant deux périodes de dix secondes), puis son indicatif d'appel (ou son nom ou les deux) (répétés ... fois) sur ... kHz (ou MHz).</p>
SUSPENSION DU TRAVAIL		
QRT	Dois-je cesser la transmission ?	Cessez la transmission.
QUM	Puis-je reprendre le travail normal ?	On peut reprendre le travail normal.
QUZ	Puis-je reprendre un travail restreint ?	Procédure de détresse encore en vigueur, un travail restreint peut être repris.
SÉCURITÉ		
QOE	Avez-vous reçu le signal de sécurité transmis par ... (nom ou indicatif d'appel ou les deux) ?	J'ai reçu le signal de sécurité transmis par ... (nom ou indicatif d'appel ou les deux).
URGENCE		
QUD	Avez-vous reçu le signal d'urgence émis par ... (nom ou indicatif d'appel ou les deux) ?	J'ai reçu le signal d'urgence émis par ... (nom ou indicatif d'appel ou les deux) à ... heures.
DÉTRESSE		
QOJ	Voulez-vous écouter sur la fréquence ... kHz (ou MHz) des signaux de radiobalises de localisation des sinistres ?	J'écoute sur la fréquence ... kHz (ou MHz) des signaux de radiobalises de localisation des sinistres.
QOK	Avez-vous reçu sur la fréquence ... kHz (ou MHz) les signaux d'une radiobalise de localisation des sinistres ?	J'ai reçu sur la fréquence ... kHz (ou MHz) les signaux d'une radiobalise de localisation des sinistres.
QUF	Avez-vous reçu le signal de détresse émis par ... (nom ou indicatif d'appel ou les deux) ?	J'ai reçu le signal de détresse émis par ... (nom ou indicatif d'appel ou les deux) à ... heures.
RECHERCHE ET SAUVETAGE		
QSE*	Quelle est la dérive estimée de l'engin de sauvetage ?	La dérive estimée de l'engin de sauvetage est ... (chiffres et unité).
QSF*	Avez-vous effectué le sauvetage ?	J'ai effectué le sauvetage et je me dirige sur la base de ... (avec ... blessés nécessitant ambulance).

QTD*	Qu'a repêché le navire de sauvetage ou l'aéronef de sauvetage ?	... (identification) a repêché ... 1. ... (nombre) survivants ; 2. épave ; 3. ... (nombre) cadavres.
QTW*	Quel est l'état des survivants ?	Les survivants sont en ... état et ont d'urgence besoin de ...
QTY*	Vous dirigez-vous vers le lieu de l'accident et, dans l'affirmative, quand pensez-vous arriver ?	Je me dirige vers le lieu de l'accident et je pense arriver à ... heures (... (date)).
QTZ*	Continuez-vous les recherches ?	Je continue les recherches (de ... aéronef, navire, engin de sauvetage, survivants, épave).
QUO*	Dois-je rechercher ... 1. un aéronef 2. un navire 3. un engin de sauvetage dans le voisinage de ... latitude, ... longitude (ou d'après toute autre indication) ?	Veuillez rechercher ... 1. un aéronef 2. un navire 3. un engin de sauvetage dans le voisinage de ... latitude, ... longitude (ou d'après toute autre indication).
QUP*	Voulez-vous indiquer votre position par ... 1. projecteur 2. fumée noire 3. fusées lumineuses ?	Ma position est indiquée par ... 1. projecteur 2. fumée noire 3. fusées lumineuses.
QUR*	Les survivants ont-ils ... 1. reçu l'équipement de sauvetage 2. été recueillis par un navire 3. rejoints par l'équipe de sauvetage au sol ?	Les survivants ont ... 1. reçu l'équipement de sauvetage lancé par ... 2. été recueillis par un navire 3. été rejoints par l'équipe de sauvetage au sol.
QUS*	Avez-vous aperçu des survivants ou des débris ? Si oui, à quel endroit ?	J'ai aperçu ... 1. des survivants dans l'eau 2. des survivants sur des radeaux 3. des débris ou épaves à ... latitude, ... longitude, (ou d'après toute autre indication).
QUT*	Le lieu de l'accident est-il indiqué ?	Le lieu de l'accident est indiqué par ... 1. brûlot ou bouée fumigène 2. balise marine 3. produit colorant 4. ... (autre dispositif à spécifier).
QUU*	Dois-je diriger le navire ou l'aéronef sur ma position ?	Dirigez le navire ou l'aéronef ... (nom ou indicatif d'appel ou les deux) ... 1. sur votre position en transmettant votre indicatif d'appel et des traits prolongés sur ... kHz (ou MHz). 2. en transmettant sur ... kHz (ou MHz) la route VRAIE pour vous atteindre.

QUW*	Êtes-vous sur la zone de recherches ... (symbole ou latitude et longitude) ?	L'emplacement de l'engin de sauvetage a été balisé à ... heures par ... 1. brûlot ou bouée fumigène 2. balise marine 3. produit colorant 4. ... (autre dispositif à spécifier).
QUY*	L'emplacement de l'engin de sauvetage a-t-il été balisé ?	L'emplacement de l'engin de sauvetage a été balisé à ... heures par ... 1. brûlot ou bouée fumigène 2. balise marine 3. produit colorant 4. ... (autre dispositif à spécifier).
IDENTIFICATION		
QTT		Le signal d'identification qui suit est superposé à une autre émission.

Tableau 1.6 – Extrait du code Q international.

Exercice :

1. Mettre en marche les stations radioélectriques d'amateur V/UHF et HF.
2. Régler la station VHF sur la fréquence 145.500 MHz et la station HF sur la fréquence 7050 kHz.
3. Appeler, sur la fréquence 145.500 MHz la station VHF de l'ANRT portant l'indicatif CN8ANRT (prononcer l'indicatif en utilisant l'alphabet international).
4. S'identifier à la station que vous appelez.
5. Communiquer avec la station appelée.

CN8MC : CN8ANRT, CN8ANRT, CN8ANRT de CN8MC

CN8ANRT : CN8MC de CN8ANRT, parlez

CN8MC : CN8ANRT de CN8MC, le prénom est [votre prénom] [prénom en alphabet international], QTH Rabat [Romeo Alpha Bravo Alpha Tango]. CN8ANRT de CN8MC.

CN8ANRT : CN8MC de CN8ANRT, bien reçu, allez-y pour le final

CN8MC : CN8ANRT, ici CN8MC de retour, merci pour le contact, émission terminé.

- Respecter la réglementation en vigueur.

- N'exploiter que des stations autorisées par l'ANRT.

Exemple :

- Avant d'utiliser la fréquence, il faut demander si elle est occupée.
- Après avoir écouté la fréquence pendant un certain temps, CN8ABO est sûr que la fréquence est libre, alors il lance un appel général.

CN8ABO : CQ, CQ, CQ, appel général de CN8ABO, CN8ABO lance appel général et repasse à l'écoute de la fréquence 145.500

CN8VL : CN8ABO, ici CN8VL qui vous appelle et vous écoute, est ce que vous copiez ?

CN8ABO : CN8VL de CN8ABO, bonjour cher OM, merci d'avoir répondu à mon appel, je vous copie très bien, votre report est de 56, R5 et S6 avec un peu de QRM. Mon prénom est «AlAlae». [J'épelle : Alpha Lima Alpha Lima Alpha Eco], QTH Salé [Sierra Alpha Lima Eco]. Comment me recevez-vous ? [VA]

CN8VL : CN8ABO, ici CN8VL de retour. Bonjour Alae, je vous reçois très bien, vous êtes QRK 5 et QSA 5, mon prénom est «Hamid» [Hotel Alpha Mike India Delta], j'habite à Rabat, mon QRA se trouve au centre ville. [AV] à vous le mic

CN8ABO : CN8VL, CN8ABO qui revient, merci pour le rapport Hamid, mes conditions de travail sont : un ICOM IC 2200H de 65W, une antenne verticale GP, la météo est bonne, c'est un jour idéal, ciel clair, pas de vent, pas de nuages, la température est de 26°C. [VA] à vous.

CN8VL : CN8ABO, CN8VL qui reprend. J'ai copié les informations, les conditions de travail de ce côté sont : QYT KT 8900 de 25W, et une antenne Yagi 2 éléments, le ciel est partiellement couvert de nuages, mais la température est douce, nous avons aussi un vent léger de 15 km/h. J'aimerais échanger une carte QSL avec vous, je vous enverrai la mienne via le club. [AV]

CN8ABO : CN8AVL de CN8ABO. Bien reçu, je vous enverrai également ma carte QSL via le club. Je vais faire un QSY. Merci pour ce court et sympathique QSO, j'espère vous rencontrer encore sur les ondes, 73 et à la prochaine. À vous le mic pour le final [VA]

CN8VL : CN8ABO de CN8VL pour le final. D'accord Alae, je reste QRV encore une heure pour tout contact éventuel sur la QRG. Merci également, 73 QRO et à bientôt j'espère. CN8ABO de CN8VL qui termine avec vous.

[AV] : CN8ABO de CN8VL. [VA] : CN8VL de CN8ABO.

Lisibilité (<i>Readability</i>)		Puissance des signaux (<i>Strength</i>)	
R1	illisible	S1	très faibles, à peine audibles
R2	à peine lisible	S2	très faibles
R3	lisible avec difficulté	S3	faibles
R4	lisible sans difficulté	S4	moyennement forts
R5	parfaitement lisible	S5	relativement confortables
		S6	confortables
		S7	relativement forts
		S8	forts
		S9	très forts

Je vous reçois 59 = {Vous êtes QRK 5 et QSA 9 (faux)} vous êtes QRK 5 et QSA 5 (voir QSA page 50).



Chapitre II
ÉLECTRICITÉ

2 ÉLECTRICITÉ

2.1 CONSTITUTION DE LA MATIÈRE

2.1.1 Notion de la matière

L'espace qui nous environne est rempli de corps très divers tels que l'air, l'eau et les pierres etc.

Nous nous rendons compte de leur existence grâce à nos sens, les substances très variées qui constituent ces corps sont les multiples formes qui prennent la matière.

2.1.2 Constitution de la matière

La matière n'est pas indéfiniment divisible, la plus petite d'un corps qui puisse exister est une molécule. Chaque molécule est formée d'un ou plusieurs atomes identiques si le corps est simple (Hydrogène par exemple). Les molécules sont constituées d'atomes différents si le corps est composé (eau par exemple).

2.1.3 Corps pur, corps composé et corps simple

2.1.3.1 Définitions

Si une matière peut être séparée en deux ou plusieurs parties dont les propriétés sont différentes, la matière étudiée est un *corps pur*¹.

Les propriétés d'un corps pur sont parfaitement déterminées et peuvent s'exprimer sous forme de nombres : masse volumique, température d'ébullition de fusion, solidification etc. Ces nombre sont fixes.

Si au cours d'une expérience un corps pur est seul à disparaître pendant qu'apparaissent simultanément deux ou plusieurs autres corps on peut affirmer que le corps pur qui disparaît est un *corps simple*². Inversement si un corps pur unique apparaît dans une opération chimique pendant que disparaissent deux ou plusieurs corps, ce corps pur est un *corps composé*³.

Exemples :

- Par l'électrolyse l'eau pure peut être décomposée en oxygène et hydrogène ;
- Inversement on peut former de l'eau à partir d'oxygène et hydrogène ;
- L'oxygène et l'hydrogène qui ne présentent pas ces deux caractères généraux des corps composés sont des corps purs simples ;
- Le fer (Fe), le cuivre (Cu) et le mercure (Hg) sont des corps simples élémentaires, c'est-à-dire que leurs atomes ne forment pas des molécules ;
- Certains corps simples sont dits (moléculaires⁴), comme : le dihydrogène (H₂), le dioxygène (O₂) et le diazote (N₂) ;
- L'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂) et le sel de table ou chlorure de sodium (NaCl) sont des corps composés.

1 - Un corps pur est une matière ne comportant qu'une espèce chimique, un mélange en comporte plusieurs.

2 - Un corps pur simple (corps simple) est un corps pur constitué d'un seul type d'atomes.

3 - Un corps pur composé (corps composé) est un corps pur constitué d'atomes de différentes natures qui peuvent être neutres ou ionisés, isolés ou bien regroupés sous la forme de molécules, de complexes ou d'ions polyatomiques.

4 - C'est-à-dire que ses atomes sont liés par des liaisons covalentes et forment donc des molécules.

2.1.4 Élément chimique – Atome – Molécule

On appelle *élément chimique* un constituant commun à plusieurs corps purs, les éléments naturels sont au nombre d'une certaine.

Exemples :

L'oxygène est un constituant commun de l'eau (H_2O), du gaz carbonique (CO_2) et de l'oxyde de fer (FeO).

Un élément entre dans la composition d'un corps pur sous la forme de particules extrêmement petites appelées *Atomes*. À chaque élément correspond une espèce déterminée d'atomes.

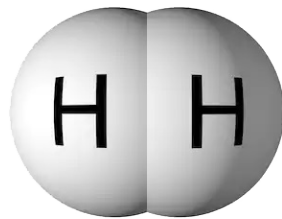
Pour former un corps pur quelconque, des atomes identiques ou différents se lient entre eux. Cette association d'atomes se nomme *Molécule*.

Une molécule est une parcelle infiniment petite d'un corps pur considéré et qui conserve les propriétés du corps auquel elle appartient.

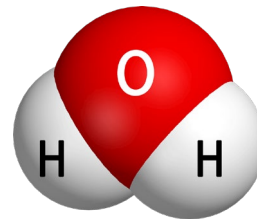
Il existe autant de molécules que de corps pur, plusieurs centaines de milliers.

Les molécules d'un corps simple contiennent un ou plusieurs atomes identiques (fig. 2.1a).

Les molécules d'un corps composé contiennent des atomes de nature différente (fig. 2.1b).



a - Molécule d'hydrogène



b - Molécule d'eau

Figure 2.1 – Représentation d'une molécule d'hydrogène (*Corps Simple*) et d'une molécule d'eau (*Corps Composé*).

Exemples :

La molécule d'eau est composée de deux atomes d'Hydrogène (H_2) et d'un atome d'Oxygène (O).

2.1.5 Constitution de l'atome

Tout atome comprend deux régions très différentes :

- Au centre, le noyau chargé d'électricité positive et où se trouve pratiquement concentré toute la masse de l'atome. Comme le diamètre du noyau est environ 10 000 fois plus petit que celui de l'atome, c'est une région extrêmement dense ;
- Entourant le noyau, les électrons planétaires.

Les électrons sont des petits grains d'électricité négative qui gravitent autour du noyau à la manière des planètes du soleil. La région où se déplacent les électrons correspond à la quasi-totalité de l'espace occupé par l'atome : c'est une région pratiquement vide.

2.1.6 État électrique d'un atome

L'électron a une charge négative. Le noyau a une charge positive à la charge négative de l'ensemble des électrons d'atome. Un atome est électriquement neutre.

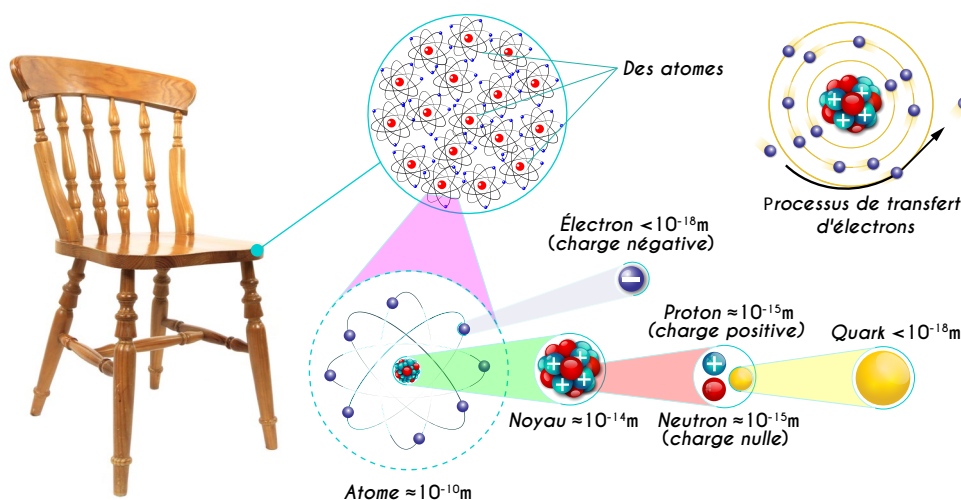


Figure 2.2 – Constitution de la matière et structure de l'atome.

2.1.7 Mouvement des électrons

Nous avons déjà dit que les électrons gravitent autour du noyau en restant toujours sur la même couche.

La vitesse de rotation des électrons est fonction de la température ambiante du corps.

On pourrait arrêter le déplacement des électrons en réalisant le zéro absolu¹ ($-273,15\text{ °C}$). Par contre on peut augmenter l'agitation en augmentant la température du corps.

Dans ces conditions un électron se trouvant sur la couche périphérique peut quitter l'atome dont il fait partie pour se rendre sur un atome voisin à condition que, sur cet atome, il y avait une place vacante. C'est-à-dire qu'un électron de cet atome soit déjà partie. En quittant son atome, il laisse à son tour une place ou charge positive.

Un atome ayant rendu un électron n'est plus neutre, il devient positif.

Dans tous corps il y a en permanence un mouvement des électrons, ce mouvement s'effectue dans tous les sens. Chaque fois qu'un électron se déplaçant en sens inverse (fig. 2.3).

¹ - Une température de 0 °C (Celsius) correspond à une température de $273,15\text{ K}$ (kelvins) et une température de 0 K correspond au zéro absolu, soit environ $-273,15\text{ °C}$.

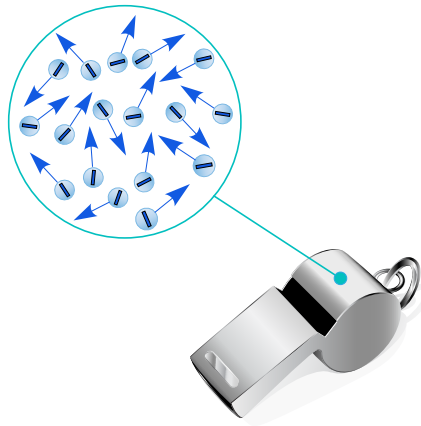


Figure 2.3 – Mouvement désordonné des électrons (*Déplacement en tous sens = résultante nulle*).

2.1.8 Propriété essentielle des électrons

Lorsqu'il y a un déséquilibre électronique dans un corps, les électrons cherchent toujours à rétablir cet équilibre.

Exemples :

Prenons un fil conducteur en cuivre par exemple, considérons la plus petite portion de ce conducteur, elle contient un certain nombre d'électrons quel que soit le point du conducteur où l'on prélèvera une portion identique on retrouvera exactement le même nombre d'électrons.

2.2 COURANT CONTINU

2.2.1 Corps bon conducteurs et corps mauvais conducteurs

Le courant est équilibré électriquement.

Relions maintenant ce conducteur aux deux extrémités d'un conducteur.

Nous constatons un déplacement des électrons dans un sens bien déterminé. De l'extrémité du conducteur relié (-) du Générateur à celle relié au (+) (fig. 2.4).

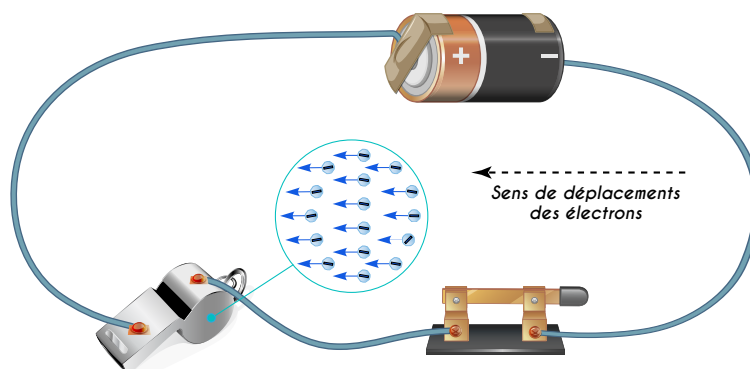


Figure 2.4 – Déplacement des électrons dans le même sens et la même direction (*opposé au sens conventionnel*).

En effet, lors de la formation du générateur (pile par exemple) on a produit dans celui-ci un déséquilibre électrique.

Électriser un corps négativement consiste à lui apporter un excédent d'électrons, l'électriser positivement c'est lui enlever des électrons.

Entre les deux pôles du générateur par conducteur on offre une possibilité aux électrons en grande quantité sur le pôle (-) de rétablir l'équilibre électronique rompu dans le générateur.

Ils se déplacent du pôle (-) vers le pôle (+).

Déplacement d'électrons = *courant électrique*.

Le sens du déplacement du courant est le sens réel du courant.

Le sens conventionnel du courant est l'inverse, soit du pôle (+) au pôle (-) à l'intérieur du générateur.

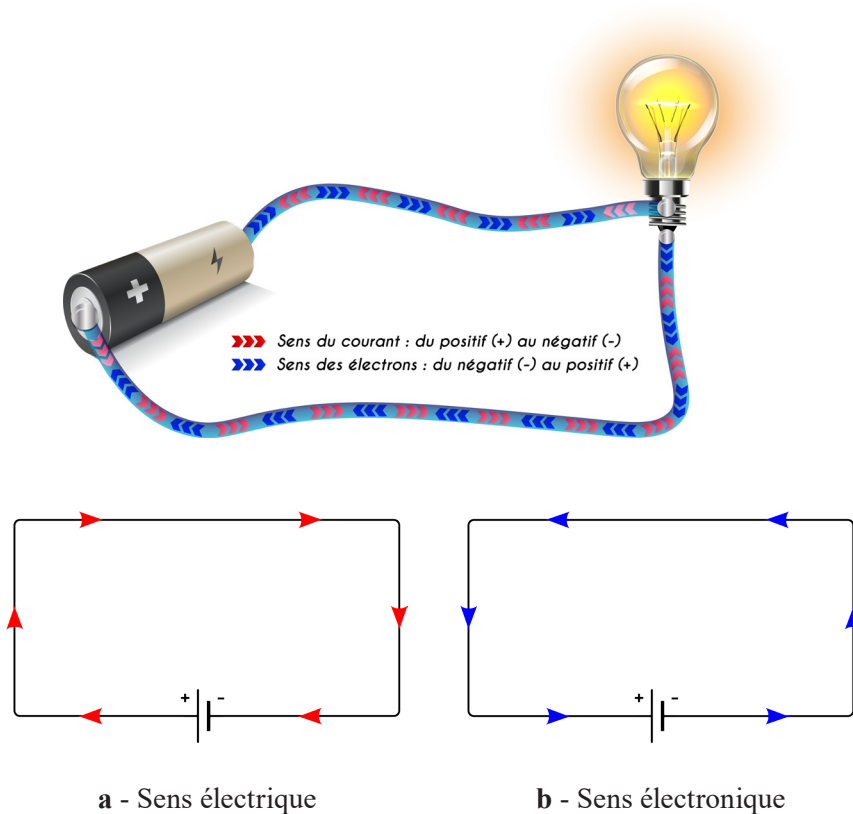


Figure 2.5 – Sens du courant électrique et déplacement des électrons.

2.2.2 Nature du courant électrique

D'après les différents principes que nous venons d'exposer sur le mouvement des électrons il en découle que, le courant électrique est tout simplement créé par le mouvement des électrons.

2.2.3 Caractéristiques générales

2.2.3.1 Notion de corps conducteurs

Dans les paragraphes précédents nous avons étudié le mouvement des électrons autour du noyau et à l'intérieur d'un conducteur.

Il nous faut maintenant fixer cette notion de corps conducteurs.

Les électrons de la couche périphérique d'un atome peuvent, dans certain cas, quitter l'atome dont ils font partie pour se rendre sur un atome voisin.

Dans ces conditions sous l'influence d'un générateur par exemple, les électrons peuvent se déplacer dans un sens déterminé. Certains atomes en raison de leurs contextures, ont la possibilité de perdre très facilement leurs électrons de la couche périphérique.

Il s'agit d'atome de corps *bons conducteurs de l'électricité*.

D'autres atomes perdent les électrons précités plus ou moins facilement, il faut les soumettre à des influences plus ou moins grandes.

Il s'agit d'atome de corps *plus ou moins bons conducteur de l'électricité*.

Certains corps enfin perdent très difficilement ses électrons.

Ce sont des corps *isolants*, ils empêchent le passage du courant.

Exemples :

L'or, l'argent et le cuivre sont de très bons conducteurs. Le verre, l'air, le bois, le papier, le tissu, le caoutchouc et les matières plastiques sont des isolants.

2.2.4 Effets du courant électrique

Nous allons réaliser une expérience qui nous permet de définir les effets que produit le courant électrique en traversant un circuit.

2.2.4.1 Notion du circuit

Pour qu'il y ait un déplacement d'électrons dans un sens bien déterminé, il faut réaliser un circuit fermé.

Le circuit est réalisé par :

- Un générateur (batterie d'accumulateur), un fil chauffant (lampe d'éclairage), un voltamètre¹ (bac rempli d'eau) dans lequel plongent deux électrodes de cuivre, un fil conducteur de circuit à proprement parler, placé au-dessus et parallèlement à une aiguille aimantée² Sud-Nord et un interrupteur.

Nous plaçons également deux éprouvettes, une sur chaque électrode (fig. 2.6).

1 - Un voltamètre (à ne pas confondre avec Voltmètre) est un dispositif d'électroanalyse qui permet la mesure d'une quantité d'électricité par le suivi de l'avancement d'une réaction électrochimique quantitative (méthode coulométrique).

2 - Pour plus d'informations, rechercher : «expérience d'Oersted».

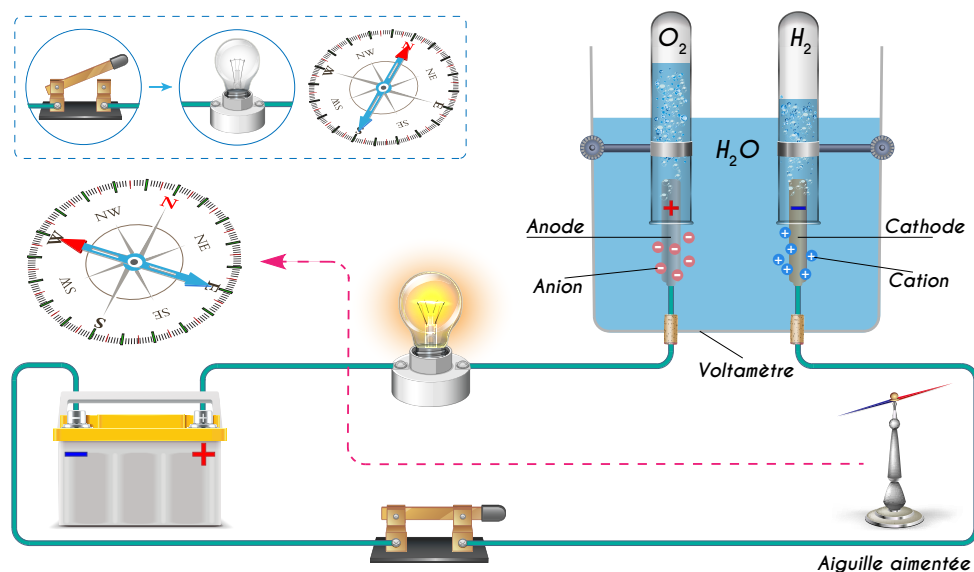


Figure 2.6 – Schéma du voltamètre utilisé pour l'électrolyse de l'eau.

a) La première constatation (*interrupteur ouvert*) :

La lampe à incandescence ne s'allume pas, les éprouvettes restent remplies de solution, l'aiguille aimantée reste orientée suivant l'axe Sud-Nord.

b) La deuxième constatation (*interrupteur fermé*) :

Le filament de la lampe à incandescence rougit et dégage une certaine chaleur, les éprouvettes placées sur les électrodes se remplissent de gaz (des bulles se forment sur les électrodes, se détachent et remontent dans l'éprouvette), le gaz que l'on recueille sur l'électrode relié au pôle positif de la batterie est l'Oxygène, celui recueilli sur l'électrode relié au pôle négatif est l'Hydrogène.

Le volume d'hydrogène recueilli est le double du volume d'Oxygène, cette constatation nous montre que l'eau se décompose.

L'aiguille aimantée se déplace dans un sens bien déterminé et se met dans une position perpendiculaire au conducteur.

Nous en déduisons que le courant passant dans les différents éléments composant le circuit produit des effets :

- Calorifiques : dans la lampe ;
- Chimique : décomposition de l'eau ;
- Magnétique : déviation de l'aiguille aimantée.

Tout restera dans le même état tant que l'interrupteur restera fermé.

a) La troisième constatation :

Ouvrons l'interrupteur, les effets constatés disparaissent.

b) La quatrième constatation :

Invertissons le générateur et fermons l'interrupteur, nous constatons que :

1. Le fil rougit de la même façon ;

2. Nous recueillons l'Oxygène et l'Hydrogène mais les électrodes inversées ;
3. L'aiguille aimantée se déplace et vient dans une position perpendiculaire au conducteur mais la rotation se fait en sens inverse.

Nous concluons que :

- Les effets caloriques ne sont pas polarisés ;
- Les effets chimiques et magnétiques son polarisés.

Par convention, on affecte d'un signe (+) la borne du générateur connectée à l'électrode où se dégage l'Oxygène, d'un signe (-) la borne qui est reliée à l'électrode où se dégage l'Hydrogène (fig. 2.6).

2.2.5 Quantité d'électricité

La quantité d'électricité est le nombre d'électrons qui traversent une section de circuit.

La quantité d'électricité se désigne par la lettre Q .

L'unité de cette grandeur est le Coulomb [C].

Le Coulomb peut être défini sachant que :

Une quantité d'électricité de 96500 Coulombs dégage un atome-gramme d'hydrogène soit une masse d'hydrogène d'un (1) gramme occupant un volume de 11,2 litres dans des conditions normales de température et pression (soit 0 °C sous 1 atm).

“ Il passe dans un conducteur filiforme¹ la même quantité d'électricité en chaque point au même instant ”.

Exemple :

Prenons un conducteur AB (fig. 2.7) reliant les bornes (+) et (-) d'un générateur.

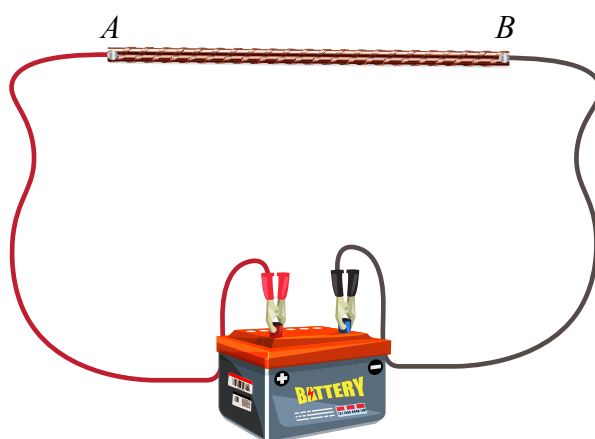


Figure 2.7 – Bornes de batterie reliées par un conducteur filiforme.

¹ - Un conducteur filiforme, c'est un conducteur normal dont les dimensions latérales très petites en comparaison de sa longueur, un fil électrique est un conducteur filiforme !

2.2.6 Intensité du courant électrique

L'intensité I d'un courant électrique est la quantité d'électricité passant en un point du circuit en 1 seconde. On écrit :

$$I = \frac{Q}{t}, \quad (2.1)$$

où I – intensité du courant électrique en Ampère ;

Q – quantité d'électricité passant en un point du circuit en Coulomb, C ;

t – temps en seconde, s.

L'unité de l'intensité est l'*Ampère* [A].

Une première définition de l'Ampère peut s'énoncer ainsi, en donnant à Q et t la valeur unité.

L'Ampère [A] est l'intensité d'un courant qui transporte un coulomb par seconde.

Les sous-multiples de l'ampère sont :

- Le milliampère : [mA] = 10^{-3} A ;
- Le microampère : [μ A] = 10^{-6} A.

Exemple :

Un courant électrique qui débite 21 Coulomb en 5 secondes à une intensité de 7 Ampères.

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{21}{3} = 7\text{A.}$$

On utilise également l'unité *Ampère-heure* [Ah].

L'Ampère-heure est la quantité d'électricité transportée par un courant en une (1) heure, d'une façon générale :

$$Q[\text{C}] = I[\text{A}] \cdot t[\text{s}] \quad \text{ou :} \quad Q[\text{Ah}] = I[\text{A}] \cdot t[\text{h}], \quad (2.2)$$

où Q – quantité d'électricité, C ou Ah ;

I – intensité du courant, A ;

t – temps, s ou h.

2.2.6.1 Mesure de l'intensité d'un courant

L'intensité du courant étant la quantité d'électricité transportée par un courant en 1 seconde, pour exprimer cette valeur, il suffirait de mesurer cette quantité d'électricité. En fait, on mesurera l'intensité directement à l'aide d'un *Ampèremètre*.

Les ampèremètres utilisent dans la plupart des cas, soit l'effet magnétique, soit l'effet calorifique.

L'ampèremètre (*ammeter*¹) se branche en série dans le circuit.

¹ - *Am(peri)meter* = *ammeter*. C'est l'ampèremètre en anglais, simplification du mot *Ampere-meter*.

Lorsqu'on veut mesurer le courant traversant une portion de circuit AB, on intercale l'ampèremètre dans la portion du circuit AB.



a - Cadran gradué de la gauche



b - Ampèremètre à zéro central

Image 2.1 – Ampèremètres analogiques à aiguille¹.

Le courant provoque la déviation d'une aiguille devant un cadran gradué en ampères.

Dans la plupart des ampèremètres le cadran est gradué de la gauche vers la droite (img. 2.1a). Néanmoins, certains ont le zéro au centre (*zéro central*) du cadran (img. 2.1b). Ce qui permet de mesurer des courants allant dans un sens ou l'autre sans avoir à inverser le branchement.

2.2.6.2 Loi des nœuds²

Lorsque nous avons défini la quantité d'électricité nous avons parlé d'un conducteur filiforme entre A et B, il n'y avait qu'un seul conducteur.

Un *nœud* est un point à partir duquel il existe des déviations, c'est-à-dire une connexion qui relie au moins trois (3) fils, autrement dit : un point où aboutissent plus de deux conducteurs parcourus par un courant.

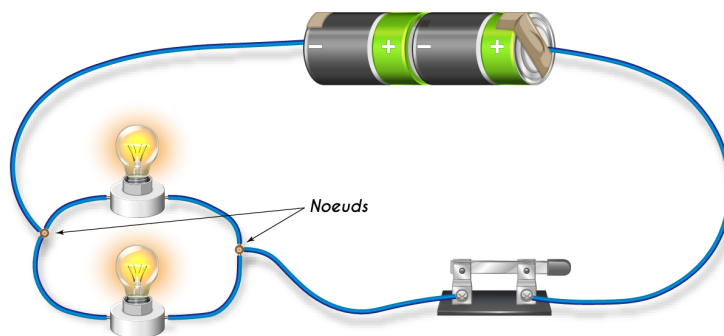
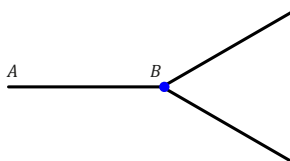


Figure 2.8 – Montage de circuit simple en parallèle.



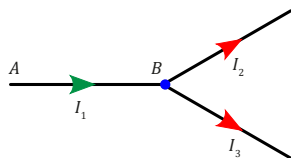
En A, nous avons un seul conducteur.

Après B il y a deux conducteurs d'où dérivation.

Le point B est un *nœud*.

1 - Source : site internet du constructeur (KDS INSTRUMENT).

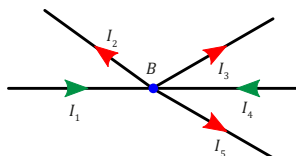
2 - Les lois de Kirchhoff (Loi des nœuds et Loi des mailles) expriment la conservation de l'énergie et de la charge dans un circuit électrique. Elles portent le nom du physicien allemand qui les a établies : Gustav Kirchhoff.



$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$\Sigma I_{\text{arrivant}} = \Sigma I_{\text{s'éloignant}}$$

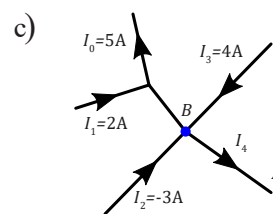
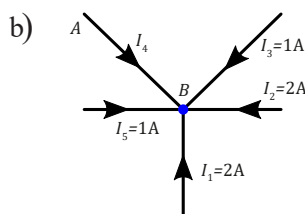
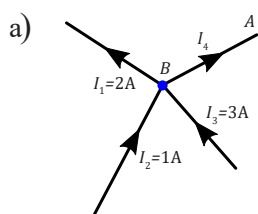
“ L'intensité arrivant à un nœud est égale à la somme des intensités qui s'en éloigne ”.



$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3 + I_5$$

Exercice :

Déterminez la valeur de I_4 sur les schémas suivants :



Solution :

a) On a $I_2 + I_3 = I_1 + I_4$ (première loi de Kirchhoff : loi des nœuds).

Soit : $I_4 = I_2 + I_3 - I_1 = 1 + 3 - 2 = 2\text{A}$.

Remarque : on trouve pour I_4 une valeur positive. Cela signifie que le sens réel du courant I_4 est celui indiqué sur le conducteur BA.

b) Selon la loi des nœuds on a : $I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 0$.

Soit : $I_1 + I_2 + I_3 + I_5 = -I_4$.

$$I_4 = - (I_1 + I_2 + I_3 + I_5) \text{ [A]}.$$

Remarque : un tel cas ne peut pas vraiment exister dans la nature.

c) On a : $I_1 + I_2 + I_4 = I_0 + I_3$.

Soit : $I_4 = (I_1 + I_2 + I_0) - I_3 = (2 + 4 - 3) - 5 = -2\text{A}$.

Remarque : on trouve pour I_4 une valeur négative. Cela signifie que le sens réel du courant d'intensité I_4 est opposé au sens qui figure sur le conducteur (le sens réel est donc de A vers B).

2.2.7 Différence de potentiel

2.2.7.1 Généralités

Le courant électrique fournit de l'énergie sous différentes formes : énergie calorifique, chimique, mécanique et magnétique.

Les organes qui reçoivent cette énergie sont des *récepteurs* (fig. 2.9).



Figure 2.9 – Circuit dans lequel le récepteur est un moteur électrique.

C'est un récepteur mécanique, il reçoit l'énergie électrique qu'il transforme en énergie mécanique.

Il est traversé par un courant I pendant un temps t secondes.

Il est donc traversé par une quantité d'électricité (voir formule 2.2) :

$$Q[\text{C}] = I[\text{A}] \cdot t[\text{s}].$$

Cette quantité d'électricité traversant le moteur, lui fournit une énergie W en Joules.

Nous pouvons dire qu'entre l'entrée et la sortie du moteur existe une *différence de potentiel*.

2.2.7.2 Unité de différence de potentiel

La différence de potentiel (DDP) entre deux points A et B d'un circuit se mesure en Volts [V].

2.2.7.2.1 Symbole de la DDP

On représente la DDP aux bornes d'un circuit AB par le symbole U évalué en Volts.

2.2.7.2.2 Définition de la DDP

La différence de potentiel en deux points d'un circuit a pour mesure l'énergie électrique abandonnée pour chaque Coulomb entre ces deux points.

$$U = \frac{W}{Q}, \quad (2.3)$$

où U – différence de potentiel, V ;

W – énergie perdue, J ;

Q – quantité d'électricité, C.

2.2.7.2.3 Définition du volt

Le Volt est la DDP qui existe entre deux points A et B d'un circuit lorsque 1 Coulomb perd entre ces deux points une énergie égale à 1 Joule.

$$\frac{1 \text{ Joule}}{1 \text{ Coulomb}} = 1 \text{ Volt.} \quad (2.4)$$

2.2.7.3 Mesure de la différence de potentiel

La différence de potentiel entre deux points d'un circuit se mesure à l'aide d'un voltmètre.



a - Cadran gradué de la gauche



b - Voltmètre à zéro central

Image 2.2 – Voltmètres analogiques à aiguille¹.

Le voltmètre se place en parallèle avec la portion d'un circuit entre les bornes duquel on veut évaluer la différence de potentiel.

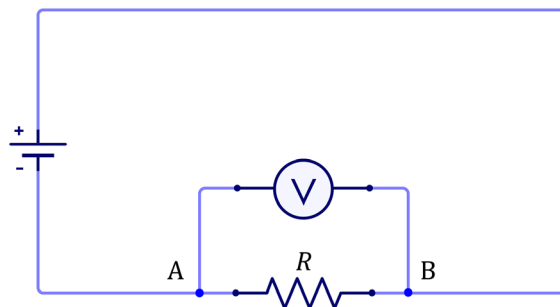


Figure 2.10 – Voltmètre branché en parallèle.

2.2.7.4 Notion de résistance

Nous avons défini précédemment ce qu'on entendait par corps isolants et corps conducteurs. Nous pouvons également exprimer les qualités de ces corps en disant qu'ils présentent plus ou moins de résistance au passage du courant : un corps bon conducteur est moins résistant qu'un corps mauvais conducteur.

“ La résistance électrique d'un conducteur est la propriété de ce conducteur de s'opposer plus ou moins au passage du courant ”.

¹ - Source : site internet du constructeur (KDS INSTRUMENT).

2.2.7.5 Mesure de la résistance électrique

- **Expérience 1** : Relions les bornes A et B d'un conducteur à un générateur.

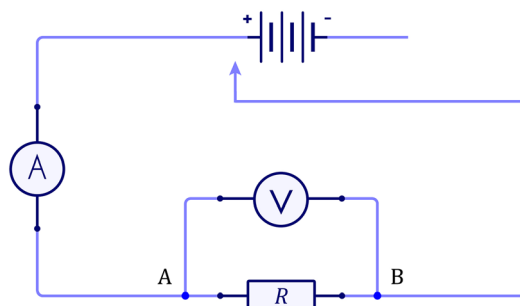


Figure 2.11 – Mesure de la résistance électrique.

3Plaçons un ampèremètre (A) en série pour mesurer l'intensité I dans le circuit et un voltmètre (V) en dérivation pour mesurer la différence de potentiel U aux bornes de AB.

Nous utilisons comme générateur un, puis deux, puis trois éléments d'accumulateur et dans chaque cas nous lisons les valeurs de I et U données par l'ampèremètre et le voltmètre puis nous effectuerons le quotient $\frac{U}{I}$.

Les mesures effectuées sont rassemblées dans le tableau ci-après.

U	[V]	2	4	6
I	[A]	0,2	0,4	0,6
$\frac{U}{I}$	[Ω]	10	10	10

Nous constatons que le quotient $\frac{U}{I}$ est constant pour un conducteur donné.
Ce quotient mesure la résistance de ce conducteur.

“ La résistance électrique R d'un conducteur est égale au quotient de la différence de potentiel U entre ses extrémités par l'intensité I du courant qui le traverse ”.

$$R = \frac{U}{I}, \quad (2.5)$$

où R – résistance électrique, Ω ;
 U – différence de potentiel, V ;
 I – intensité du courant, A.

2.2.7.5.1 Unité de la résistance

Si, dans la formule ci-dessus nous exprimons les intensités en Ampère et la DDP en Volt, la résistance est exprimée en Ohm [Ω].

“ L'Ohm est la résistance d'un conducteur qui est parcouru par un courant de 1 Ampère quand il existe entre ses extrémités une différence de potentiel de 1 Volt ”.

Les multiples de l'Ohm :

- Le kilohm (kilo-ohm) $[k\Omega] = 1000\Omega = 10^3\Omega$;
- Le mégohm (méga-ohm) $[M\Omega] = 1000\,000\Omega = 10^6\Omega$.

Les sous-multiples :

- Le milliohm (milli-ohm) $[m\Omega] = 0,001\Omega = 10^{-3}\Omega$;
- Le microhm (micro-ohm) $[\mu\Omega] = 0,000001\Omega = 10^{-6}\Omega$.

2.2.7.5.2 Calcul de la résistance d'un conducteur

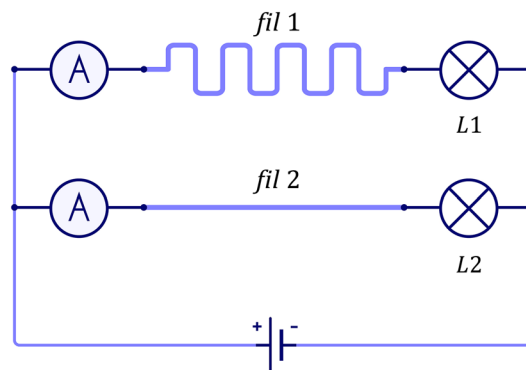
Un fil conducteur homogène de section constante est complètement défini quand on connaît sa *longueur*, sa *section* et sa *nature*.

Pour savoir comment varie sa résistance électrique en fonction de ces trois facteurs reprenons le montage fig. 2.11 en prenant comme générateur un élément d'accumulateur.

• **Expérience 2** : Pour démontrer l'influence de la longueur du conducteur, de sa section et de sa nature, réalisons les montages suivants :

- Prenons deux fils de ferronickel de même section mais de longueur double l'un de l'autre soit pour le premier L et $2L$ pour le second (fig. 2.12a) ;
- Prenons deux fils de ferronickel de même longueur mais de section double l'un de l'autre soit pour le premier S et $2S$ pour le second (fig. 2.12b) ;
- Prenons deux fils de même longueur, de même section mais l'un de nichrome¹ et l'autre de cuivre (fig. 2.12c).

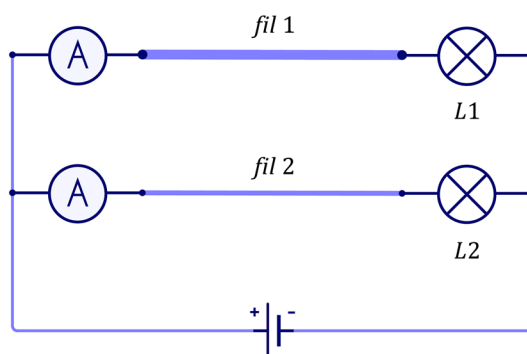
• **Résultats de l'expérience 2** :



a - Influence de la longueur

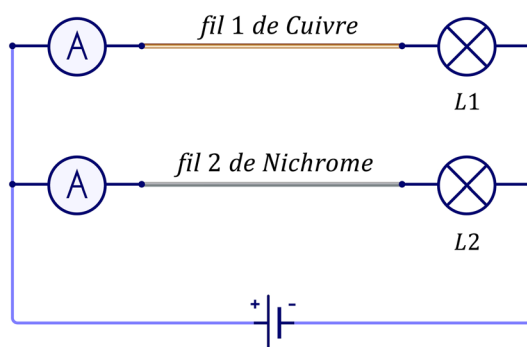
- La lampe L2 éclaire plus que L1 car le courant circule moins dans le fil le plus long. Les électrons rencontrent plus d'atomes qui les freinent sur leur parcours car ils ont un chemin plus long à parcourir dans le premier fil : **quand la longueur d'un conducteur s'accroît, sa résistance augmente.**

¹ - Le nichrome est un alliage non magnétique de nickel et de chrome.



b - Influence de la section

- La lampe L1 éclaire plus que L2 car les électrons dans le premier fil sont plus dispersés, les chances d'être freiner par des atomes sont diminuées. C'est le phénomène inverse dans le deuxième fil, le courant circule avec plus de difficulté : **quand la section d'un conducteur diminue, sa résistance augmente.**



c - Influence de la nature

- La lampe L2 éclaire moins que L1 car le courant circule moins bien dans le fil de nichrome : **la résistance d'un conducteur dépend de la nature du matériau.**

Figure 2.12 – Influence de la longueur, la section et la nature du conducteur.

La **résistivité** d'un matériau est la résistance d'un conducteur fait du matériau considéré et ayant 1 mètre de longueur et 1 mètre carrée de section.

L'unité de la résistivité est l'Ohm-mètre [Ωm].

Compte tenu des conclusions des deux expériences, nous pouvons déterminer la relation qui exprime la résistance R d'un conducteur en fonction de la nature de ce dernier ρ , de sa section S et de sa longueur L .

$$R = \rho \frac{L}{S}, \quad (2.6)$$

où R – résistance du conducteur, Ω ;

ρ – résistivité du conducteur (les valeurs de ρ sont données à l'Annexe), Ω ;

L – longueur du conducteur, m.

S – section du conducteur, m^2 .

2.2.7.5.3 Complément sur la résistivité

Les métaux purs sont meilleurs conducteurs que les alliages, la résistivité des premiers est beaucoup plus faible que celle des seconds.

Autres unités de la résistivité :

- Le Mégohmmètre [$M\Omega m$] : $1 M\Omega m = 10^6 \Omega m$;
- Le microhmmètre [$m\Omega m$] : $1 m\Omega m = 10^{-6} \Omega m$.

Exemple :

Soit à calculer la résistance d'un conducteur en cuivre, de longueur 100m et section 1 mm^2 .
Nous avons la résistivité du cuivre $\rho = 1,6 \cdot 10^{-8} \Omega m$.

$$R = \rho [\Omega m] \frac{L [m]}{S [m^2]}, [\Omega] \quad \text{d'où : } R = 1,6 \cdot 10^{-8} \frac{10^2}{10^{-6}} = 1,6 \Omega.$$

Si nous avions construit le même conducteur avec du maillechort, sa résistance aurait été :

$$R = 30 \cdot 10^{-8} \frac{10}{10^{-6}} = 30 \Omega.$$

Exercice :

Calculez la résistance d'un fil de cuivre ayant 5 km de longueur et 2 mm de diamètre.

Solution :




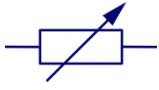


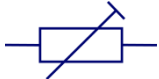


Nous avons 5 km = 5000m.

$$\text{Soit : } S = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \quad \text{alors : } r = 1,6 \cdot 10^{-8} \times \frac{5 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 10^{-8}} = 25 \Omega.$$

La même longueur de fil mais avec 4 mm de diamètre donnerait une résistance 4 fois plus faible, soit $6,2 \Omega$ environ.

2.2.7.5.4 Formes des résistances

En général, une résistance (*resistor*) se présente schématiquement de la façon suivante (symboles tab. 2.1) :

	Norme européenne	Norme américaine	Image
Résistance fixe			
Résistance variable (Rhéostat)			
Résistance ajustable (Trimmer)			

Thermistance (CTN)			
Thermistance (CTP)			
Résistance chauffante			
Photorésistance (LDR)			
Varistance (VDR)			
Potentiomètre			
Résistance non inductive (résistance de freinage)			

Tableau 2.1 – Représentation schématique des quelques types de résistances.

Exemple : disposition d'un rhéostat et un potentiomètre dans un circuit.

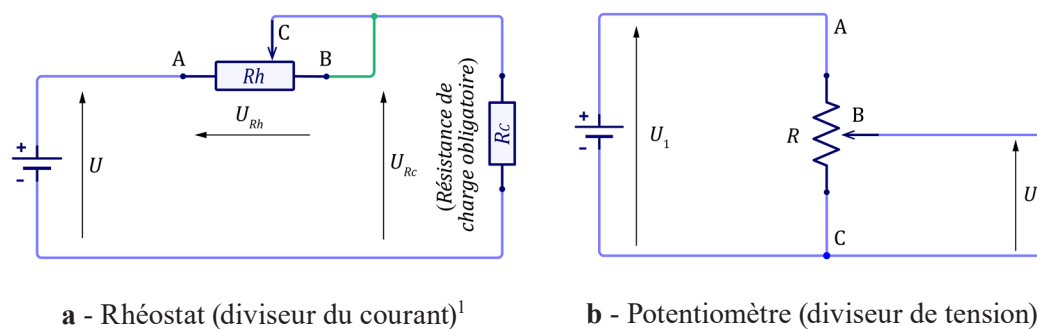


Figure 2.13 – Schémas de principe du potentiomètre et rhéostat.

2.2.8 Puissance fournie par un courant à une portion de circuit

Lorsqu'entre deux points d'un circuit électrique la différence de potentiel est U et que l'intensité est I . La puissance P fournie par le courant à cette portion de circuit est donnée par la relation :

¹ - Le raccordement du rhéostat en résistance variable peut se faire avec ou sans la liaison verte.

$$P = U \times I, \quad (2.7)$$

où P – puissance, W ;

U – différence de potentiel, V ;

I – intensité du courant, A.

Cette formule générale très importante s'applique notamment à tous les récepteurs et générateurs. Elle sert de base à la définition légale du Volt.

Le volt est la DDP existant entre deux points d'un circuit lorsqu'un courant constant de 1A fournit entre deux points une puissance de 1W.

Exemples :

Un moteur est alimenté sous tension de 220V, il est traversé par un courant de 20A, ce courant lui fournit une puissance électrique de :

$$P = U \times I = 220 \times 20 = 4400\text{W}, \quad \text{soit: } P = 4,4 \text{ kW.}$$

Une dynamo débite 50A, la différence de potentiel entre ses bornes est alors 120V. Cette dynamo fournit à un circuit qu'elle alimente une puissance électrique de :

$$P = U \times I = 120 \times 50 = 6000\text{W}, \quad \text{soit: } P = 6 \text{ kW.}$$

2.2.8.1 Mesure de la puissance électrique

2.2.8.1.1 Méthode de l'Ampèremètre et du Voltmètre

Le voltmètre est branché **en parallèle** avec le récepteur, il mesure U .

L'Ampèremètre est branché **en série** avec le récepteur et mesure I .

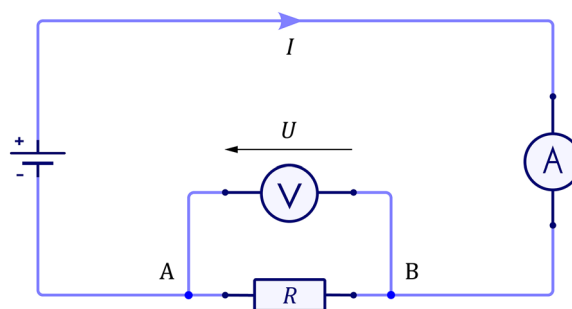


Figure 2.14 – Mesure de la puissance par la méthode voltampèremétrique.

Le produit $U \times I$ donne la puissance absorbée par le récepteur, dans le cas d'un générateur, le même produit détermine la puissance débitée par le générateur.

2.2.8.1.2 Mesure de la puissance à l'aide d'un Wattmètre

Il existe des appareils appelés *Wattmètres* qui permettent par mesure directe de lire la puissance absorbé ou fournie à une portion de circuit.



a - Wattmètre monophasé



b - Wattmètre RF



c - Wattmètre analogique

Image 2.3 – Quelques types de wattmètres.

2.2.8.2 Énergie électrique fournie à une portion de circuit

Si nous fournissons à une portion de circuit une puissance P pendant un temps t nous aurons fourni au bout de ce temps t une énergie totale.

$$W = P \times t \quad \text{avec : } P = U \times I, \quad (2.8)$$

où W – énergie électrique, J [Wh] ;

P – puissance électrique, W ;

I – intensité du courant, A ;

t – temps, s [h].

L'énergie s'exprime en Joule, un joule égale à un watt-seconde dans la relation ci-dessus, si nous exprimons le temps en heure l'énergie en W sera exprimée en wattheure [Wh].

1 Wh = 3600J, on peut écrire :

$$W = U \times I \times t \quad \text{ou : } W = P \times t, \quad (2.9)$$

où W – l'énergie en Joule pour t en seconde et en wattheure pour t en h.

2.2.9 La résistance

Une énergie fournie par le courant électrique à une portion de circuit peut être utilisée sous différentes formes.

En particulier, si nous prenons comme récepteur un moteur nous savons que l'énergie fournie est transformée en énergie mécanique disponible sur l'arbre moteur et en énergie calorifique dépensée à l'intérieur du moteur.

$$W_{\text{totale}} = W_{\text{calorifique}} + W_{\text{mécanique}}$$

D'autres récepteurs consomment de l'énergie uniquement sous forme calorifique, on peut écrire alors :

$$W_{\text{totale}} = W_{\text{calorifique}}$$

2.2.9.1 Définition de la résistance pure

On appelle *résistance pure* une portion de circuit dans laquelle l'énergie électrique fournie par le courant est intégralement transformée en chaleur.

C'est le cas, notamment des réchauds électriques, des lampes à incandescences et des conducteurs qui servent de connexions entre appareils électriques.

2.2.9.2 Loi d'Ohm pour une résistance pure

Prenons une résistance pure R et appliquant une différence de potentiel U à ses bornes (fig. 2.15).

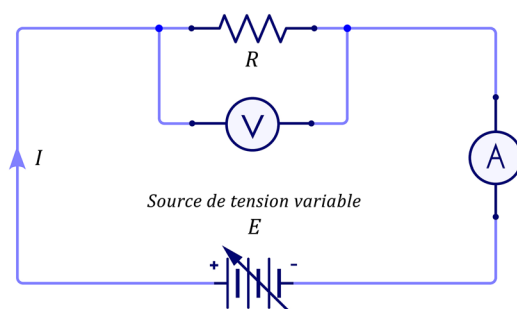


Figure 2.15 – Mesure de la résistance électrique (loi d'Ohm).

La résistance étant fixe, augmentons progressivement la DDP.

À chaque valeur U_1, U_2, U_3 de U correspond une valeur I_1, I_2, I_3 du courant I , si U augmente, I augmente, si U diminue, I diminue.

En effectuant le rapport de ces différentes mesures de U et I nous obtenons un terme constant qui correspond à la valeur de la résistance.

Nous pouvons écrire :

$$\frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{I_2} = \frac{U_3}{I_3} = R, \quad (2.10)$$

Nous concluons donc que des différentes valeurs de U et I sont proportionnelles entre elles, et d'une façon générale, nous écrivons :

$$\frac{U}{I} = R. \quad (2.11)$$

Les relations précédentes peuvent s'écrire sous cette nouvelle forme :

$$U[\text{V}] = R[\Omega] \times I[\text{A}], \quad (2.12)$$

qui exprime la loi d'Ohm.

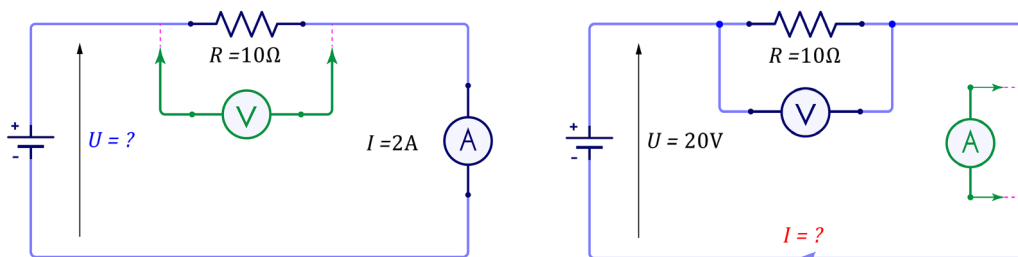
La loi d'Ohm est une loi essentielle en électricité, mais nous précisons bien qu'elle n'est applicable que dans des résistances mortes, conducteurs passifs ou résistances pures. Pour cette raison on les appelle *Conducteurs*.

“ La différence de potentiel U entre les extrémités d'une résistance morte est égale au produit de sa résistance R par l'intensité I du courant ”.

2.2.9.3 Utilisation de la loi d'Ohm

1. Calcul de la différence de potentiel DDP :

Sous la forme $U = R \times I$, la loi d'Ohm nous permet de calculer la DDP aux bornes d'une résistance de valeur R parcourue par un courant I .



a - Montage pour le calcul de la DDP

b - Montage pour le calcul de l'intensité

Figure 2.16 – Schémas pour l'application de la loi d'Ohm.

Soit une portion de circuit comprenant une résistance de 10Ω , nous mesurons avec l'ampèremètre un courant de $2A$ (fig. 2.16a). Le produit $R \times I$ nous donne : $U = 20V$.

2. Calcul de l'intensité :

La loi d'Ohm permet également de calculer l'intensité d'un courant passant dans une portion de circuit de résistance R présentant entre ses bornes une DDP de U volts.

On dédie à cet effet :

$$I = \frac{U}{R}. \quad (2.13)$$

Soit une portion de circuit comprenant une résistance R de 10Ω . Nous mesurons avec le voltmètre une DDP à ses bornes de $20V$ (fig. 2.16b).

Le quotient $\frac{U}{R}$ nous donne : $I = 2A$.

Nous contrôlons avec l'ampèremètre que l'intensité dans le circuit est bien de $2A$.

Exercice :

- Quelle est la résistance d'un filament d'une lampe de $6V$ dans laquelle passe un courant électrique de 250 mA ?
- Quelle est l'intensité qui traverse une résistance de 120Ω lorsque cette dernière est soumise à une tension de $9V$?
- Quelle est la tension aux bornes d'un fil de résistance $0,14\Omega$ traversé par un courant de $5A$?

Solution :

- On a : $U = 6V$; $I = 250\text{ mA} = 0,250A$; $R = ?$,

$$U = R \cdot I \Leftrightarrow R = \frac{U}{I} \Leftrightarrow R = \frac{6}{0,250} = 24\Omega.$$

La résistance du filament de lampe est 24Ω .

b) On a :

$$U = 9V ; R = 120\Omega ; I = ?,$$

$$U = R \cdot I \Leftrightarrow I = \frac{U}{R} \Leftrightarrow I = \frac{9}{120} = 0,075A.$$

L'intensité du courant qui passe dans le résistor est $0,075A$.

c) On a :

$$R = 0,14\Omega ; I = 5A ; U = ?,$$

$$U = R \cdot I \Leftrightarrow U = 0,14 \times 5 = 0,7V.$$

La tension aux bornes de ce fil est $0,7V$.

2.2.9.4 Groupement des résistances

2.2.9.4.1 Résistances associées en série

- **Expérience 1** : Réalisons le montage de la figure 2.17.

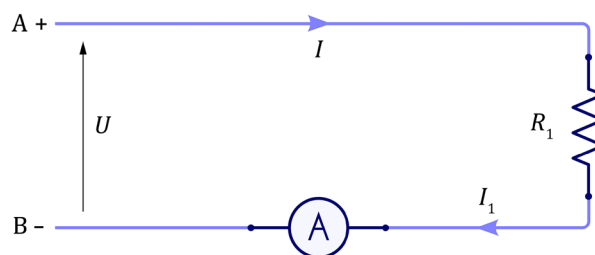


Figure 2.17 – Branchement en série de l'ampèremètre et R_1 .

Aux bornes d'une source de tension constante U branchons, en série un ampèremètre et une résistance R .

La lecture de l'ampèremètre nous donne une valeur I_1 de l'intensité du courant qui nous permet de calculer la valeur de R_1 en faisant le quotient de la tension U et de cette intensité.

Branchons maintenant la deuxième résistance R_2 en série avec R_1 (fig. 2.18).

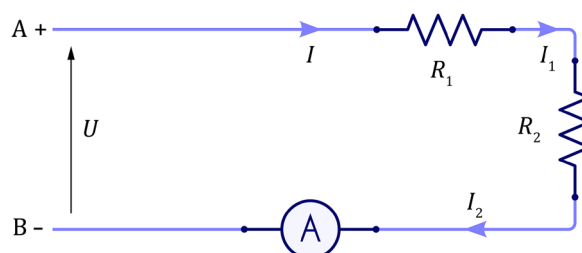


Figure 2.18 – Branchement en série de l'ampèremètre, R_1 et R_2 .

En maintenant la tension U constante, nous constatons maintenant que le courant I_2 traversant le circuit est inférieur au courant I_1 mesuré avec la seule résistance R_1 .

Le quotient $\frac{U}{I_2}$ permet de calculer la nouvelle R_e de la résistance du circuit et nous constatons que : $R_e = R_1 + R_2$.

Recommençons l'expérience en branchant la troisième résistance (fig. 2.19).

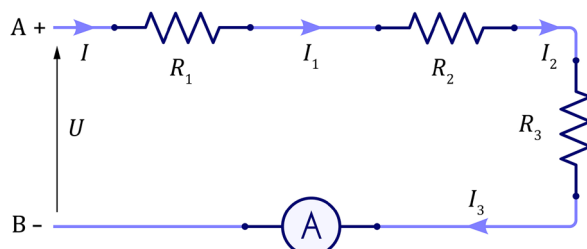


Figure 2.19 – Branchement en série de l'ampèremètre, R_1 , R_2 et R_3 .

En maintenant toujours la tension U constante, nous constatons que le courant I_3 est encore plus faible¹.

La nouvelle R'_e de la résistance du circuit nous est donnée par le quotient $\frac{U}{I_3}$. Nous constatons que : $R'_e = R_1 + R_2 + R_3$.

2.2.9.4.2 Résistances associées en parallèle

2.2.9.4.2.1 Définition et mesure

On appelle *résistance équivalente* à un ensemble de résistances pures associées en parallèle : la résistance R du conducteur unique qui substituée entre les nœuds M et N aux dérivations de R_1 , R_2 et R_3 ne modifierait pas l'intensité I du courant principal².

Il est possible d'en trouver la valeur expérimentalement.

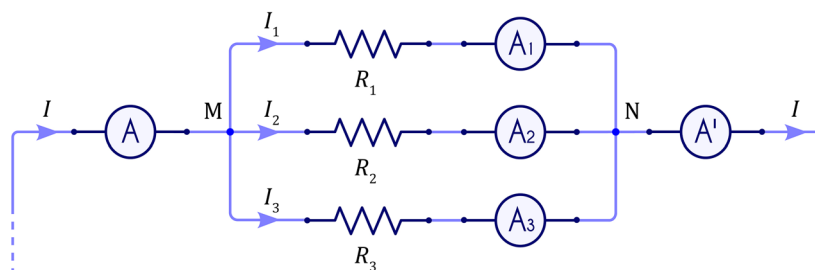


Figure 2.20 – Ensemble de résistances pures associées en parallèle.

Entre les points M et N supprimons les trois dérivations et plaçons un rhéostat que nous réglons de manière à lire sur les ampèremètres A et A' la même intensité I . Il suffit alors de débrancher le rhéostat et de calculer la valeur de la résistance R mise en jeu.

1 - Une résistance électrique provoque une diminution de l'intensité du courant électrique. La place qu'occupe une résistance électrique dans un circuit série n'a pas d'importance. Plus la résistance dans un circuit augmente et plus l'intensité du courant diminue.

2 - Selon la première loi de Kirchhoff, la somme des courants qui entrent dans le noeud M est égale à la somme des courants qui en sortent.

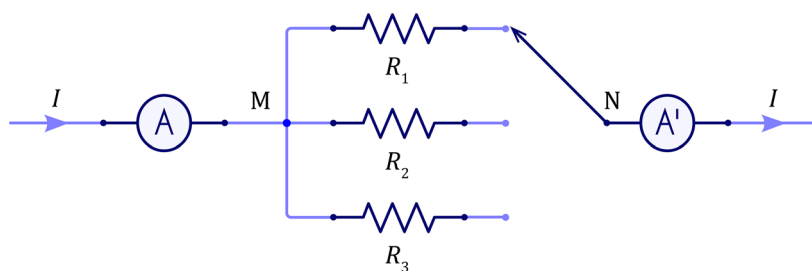


Figure 2.21 – Schéma du montage de l'expérience.

2.2.9.4.2.2 Théorème des conductances

Si l'on multiplie cette valeur expérimentale R de la résistance équivalente par l'intensité I du courant principal, on trouve un produit $R_e \times I$ tel que :

$$R_e \cdot I = R_1 \cdot I_1 + R_2 \cdot I_2 + R_3 \cdot I_3 + V_M - V_N = U. \quad (2.14)$$

Ainsi en substituant la résistance R à l'ensemble des résistances R_1 , R_2 et R_3 associées en parallèle, on ne change pas la différence de potentiel entre les points M et N.

De l'égalité (2.14) tirent les valeurs des intensités en fonction de cette différence de potentiel et des résistances correspondantes.

$$I = \frac{U}{R} ; I_1 = \frac{U}{R_1} ; I_2 = \frac{U}{R_2} ; I_3 = \frac{U}{R_3}. \quad (2.15)$$

Nous savons que l'intensité I du courant principal est égale à la somme des intensités des courants dérivés.

$$I = I_1 + I_2 + I_3, \quad (2.16)$$

donc :

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}, \quad (2.17)$$

où en divisant par U , il en résulte :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}. \quad (2.18)$$

Le terme $\frac{1}{R}$ qui est l'inverse de la résistance équivalente est appelé *la conductance* G d'un conducteur.

L'égalité (2.18) peut s'énoncer :

“ La conductance d'un ensemble de résistances mortes associées en parallèle est égale à la somme des conductances de chacune d'elles ”.

2.2.10 Les générateurs¹

2.2.10.1 Définition

Un générateur (*generator*) est un appareil capable de fournir de l'énergie électrique à un circuit extérieur. Mais le générateur ne crée pas cette énergie électrique, il l'a produit à partir d'une autre forme d'énergie.



a - Batteries alcalines rechargeables¹



b - Li-ion batterie d'accumulateurs²



c - Groupe électrogène à essence



d - Générateur de tension/courant

Image 2.4 – Quelques types de générateurs.

2.2.10.2 Loi d'Ohm pour un générateur

La différence de potentiel U aux bornes d'un générateur est égale à la force électromotrice E (FÉM) du générateur diminuée de la *chute ohmique* de potentiel $r \times I$ à l'intérieur du générateur.

2.2.10.3 Générateurs associés en série

Muserons avec un voltmètre de grande résistance la FÉM de plusieurs générateurs, par exemple 4 piles : nous trouvons pour chaque pile par exemple :

$$E_1 = 1V \quad ; \quad E_2 = 1,5V \quad ; \quad E_3 = 4,5V \quad ; \quad E_4 = 2V.$$

1 - Un générateur est une source d'énergie qui permet au courant de circuler dans un circuit bien conçu, on pourrait en citer les piles, batteries et générateurs de tension/courant.

1 - À ne pas confondre avec une «pile» (qui n'est pas rechargeable) qui est un dispositif électrochimique qui, grâce à une réaction chimique d'oxydoréduction, convertit l'énergie chimique en énergie électrique.

2 - L'accumulateur électrique est un élément susceptible d'être rechargé, avec un courant de charge inverse. C'est un système qui repose sur une technique de conversion réversible pour stocker de l'énergie électrique sous une forme différente.

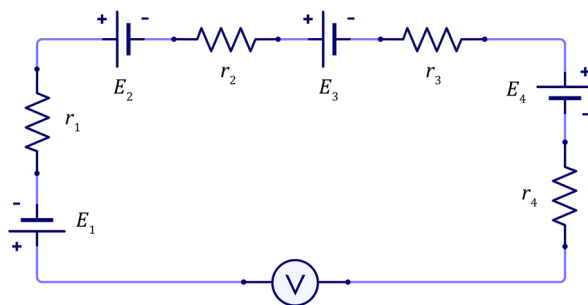


Figure 2.22 – Générateurs associés en série.

Répetons la mesure après avoir associé ces générateurs en série, c'est-à-dire les uns à la suite des autres (fig. 2.22), le pôle négatif de chacun d'eux relié au pôle positif du suivant.

Nous obtenons une FÉM voisine de 9V égale à la somme des FÉM des 4 piles, ce résultat est général.

“ La FÉM d'un groupe de générateurs associés en série est égale à la somme des FÉM des générateurs associés ”.

$$e = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n. \quad (2.19)$$

De même, étant associées en série, les résistances intérieures s'ajoutent.

$$r = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n. \quad (2.20)$$

En particulier si l'on associe en série n générateurs identiques de FÉM E_1 et résistance intérieure r_1 on obtient un générateur global de caractéristiques :

$$E = n \cdot E_1 \quad \text{et} : \quad r = n \cdot r_1. \quad (2.21)$$

2.2.10.4 Générateurs associés en parallèle

Considérons plusieurs générateurs ayant la même FÉM et la même résistance extérieure r_1 (FÉM = 1,5V par exemple).

On les associe en parallèle en reliant tous les pôles positifs au même point A et les pôles négatifs en même point B, ces deux points sont les pôles du générateur global.

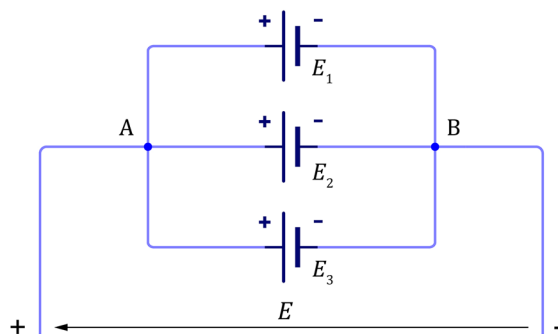


Figure 2.23 – Générateurs associés en parallèle.

Au moyen d'un voltmètre de grande résistance branché entre les pôles, on constate que la FÉM mesurée vaut 1,5V, donc :

“ La FÉM d'un groupe de générateurs identiques associés en parallèle est égale à la FÉM de chacun des générateurs associés ”.

$$E = E_1 = E_2 = E_3. \quad (2.22)$$

De même, étant associées en parallèle, les résistances des générateurs sont telles que :

“ La résistance d'un groupe de générateurs identiques associés en parallèle est une fois plus faible que la résistance intérieure de chacun des générateurs associés ”.

Si $r_1 = r_2 = r_3$ alors : $r_e = \frac{r_1}{n}$.

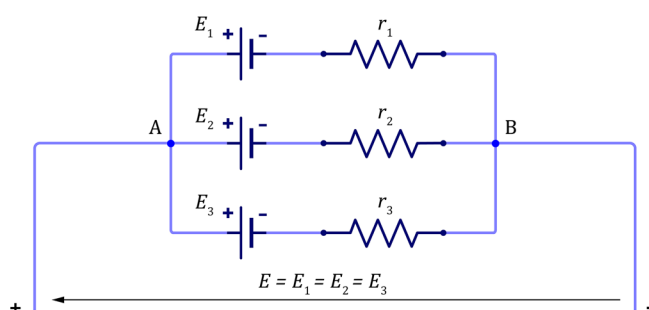


Figure 2.24 – Schéma de montage en parallèle.

2.2.11 Applications des groupements de résistors

2.2.11.1 Éléments de réglages

2.2.11.1.1 Résistance additionnelle

Objet : Lorsqu'un appareil est prévu pour fonctionner sous une tension donnée et que nous voulons l'utiliser sous une tension plus élevée il faut *chuter* les volts en excès à l'aide d'un résistor.

Principe : Soit un petit moteur M, de puissance normale 240W, destiné à fonctionner sous une tension $u' = 30V$ alors que nous disposons entre A et B d'une tension $u' = 40V$ (fig. 2.25).

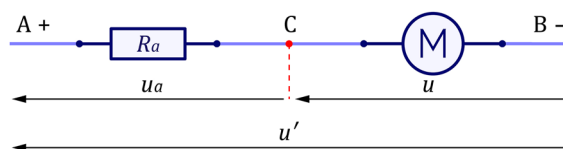


Figure 2.25 – Schéma de montage d'une résistance additionnelle.

Pour rétablir une tension correcte de 30V entre les bornes C et B du moteur, nous montons en série avec celui-ci un résistor de résistance R convenablement calculée. Dans ces conditions la loi de banches appliquée entre A et B donne :

$u = u' + Ri$ soit : $u' = u - Ri$, toutes les grandeurs sont positives.

- Calcul de R : dans l'exemple précédent nous aurons :

$$i = \frac{P}{u'} = \frac{240}{30} = 8\text{A} \quad \text{d'où : } u' = u - Ri,$$

$$30 = 40 - 8R,$$

$$R = \frac{10}{8} = 1,250\Omega.$$

La chute de tension dans R est : $Ri = 40 - 30 = 8 \times 1,25 = 10\text{V}$.

Il est bon de noter que la puissance consommée par la résistance additionnelle est dissipée en chaleur. Le fonctionnement n'est pas économique, mais sans gravité dans l'exemple choisi car la puissance mise en jeu est faible.

Il ne serait pas de même avec un moteur puissant.

Exercice :

Calculez la résistance additionnelle qu'il faut placer en série avec une petite lampe marquée $U = 12\text{V}$ et $r = 500\Omega$ pour qu'elle puisse être alimentée sous 30V .

Solution :

Nous avons $U_L = 12\text{V}$; $U = 30\text{V}$; $R_a = ?$

$$I = \frac{U_L}{R_L} = \frac{12}{500} = 24 \text{ mA},$$

$$U_a = U - U_L = 30 - 12 = 18\text{V},$$

$$R_a = \frac{U_a}{I} = \frac{18}{24 \cdot 10^{-3}} = 750\Omega.$$

2.2.11.1.2 Rhéostats

2.2.11.1.2.1 Définition

C'est un résistor dont la résistance est réglable et qui est placé en série dans un circuit, il permet de régler l'intensité du courant même si la tension disponible est constante (fig. 2.26a).



a - Rhéostat de puissance



b - Rhéostat pour pédale



c - Rhéostat bobiné (à glissière)

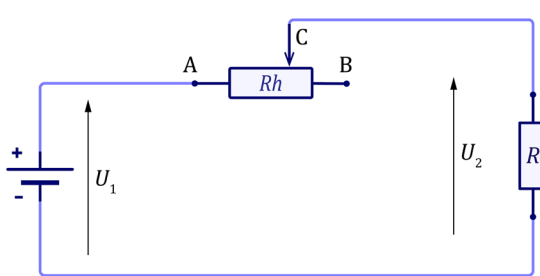
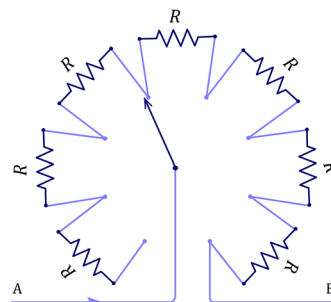


d - Rhéostat à plots

Image 2.5 – Quelques types de rhéostats.

2.2.11.1.2.2 Différents types

Les deux principaux types de rhéostats sont les rhéostats à curseur qui permettent une variation pratiquement continue de la résistance (fig. 2.26c) et les rhéostats à plots sont la résistance varie d'une manière discontinu.

a - Le Rhéostat Rh permet de régler i et U_2 bien que la tension U_1 soit constante

b - Rhéostat à plots. La résistance est comprise entre les bornes A et B

Figure 2.26 – Schémas des deux types principaux du rhéostat.

2.2.11.1.2.3 Emploi d'un rhéostat en potentiomètre

1. Étude à vide (fig. 2.27) :

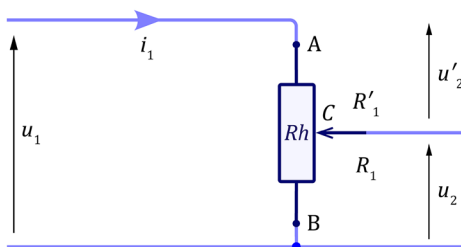


Figure 2.27 – Schéma du montage de l'étude à vide.

Considérons le rhéostat à curseur monté comme l'indique la figure 2.7. Soit une position C du curseur. Traversées par le même courant i , les deux parties R_1 et R'_1 de la résistance totale $R = R_1$ forment un diviseur de tension.

$$i_1 = \frac{u_{20}}{R_1} = \frac{u_2'}{R_1} = \frac{u_{20} + u_2'}{R_1 + R_1'} = \frac{u_1}{R}. \quad (2.23)$$

Donc nous aurons toujours quelle que soit la position C du curseur :

$$u_{20} = u_1 \frac{R_1}{R_1 + R_1'} = \frac{u_1}{1 + \frac{R_1'}{R_1}}. \quad (2.24)$$

Or R_1 peut varier de 0 à R quand le curseur se déplace de A à B. La tension de sortie u_{20} est donc une fraction d'entrée u_1 .

u_{20} varie entre 0 et 100% de u_1 . Les variations de u_{20} en fonction de R_1 sont-ils linéaires ? Ceci n'est vrai qu'au vide, c'est-à-dire si aucun appareil n'est branché entre B et C. Cependant, il est possible de placer entre B et C un voltmètre pour mesurer u_{20} .

2. Étude à charge (fig. 2.28) :

Un résistor linéaire de résistance R_2 placé entre B et C constitue une charge. Il consomme un courant i_2 et par conséquent les deux parties R_1 et R_1' du potentiomètre sont maintenant traversées par la résistance équivalente en dipôle AB.

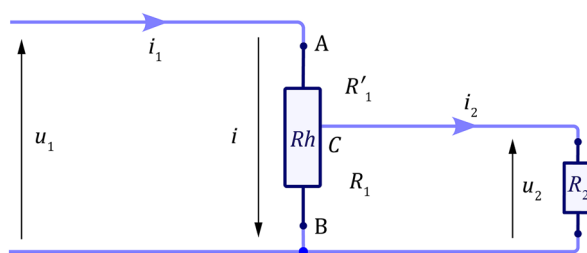


Figure 2.28 – Schéma du montage de l'étude à charge.

Calculons la résistance équivalente entre B et C :

$$R_{BC} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \quad (2.25)$$

La résistance équivalente en dipôle AB :

$$R_e = R_{BC} + (R_1 \cdot R_2) + R_1' = \frac{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_1' + R_2 \cdot R_1'}{R_1 + R_2}. \quad (2.26)$$

Le courant i_1 est : $i_1 = \frac{u_1}{R_e}$.

La tension u_2 est donc :

$$u_2 = \frac{u_1 \cdot R_{BC}}{R_e} = \frac{\frac{u_1 \cdot R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}{\frac{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_1' + R_2 \cdot R_1'}{R_1 + R_2}} = \frac{u_1 \cdot R_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_1' + R_2 \cdot R_1'} = \frac{u_1}{1 + \frac{R_1'}{R_2} + \frac{R_1'}{R_1}}, \quad (2.27)$$

à vide nous avons : $u_{20} = \frac{u_1}{1 + \frac{R_1'}{R_1}}$.

Donc la valeur de la tension en charge est inférieure à cette valeur u_2 :

- Sauf si le curseur est en B : $u_{20} = 0$;
- Sauf si le curseur est en A : $R_1 = 0$; $u_2 = u_{20} = u_1$.

Remarque : si $R_2 = 0$, ce qui revient à ouvrir le circuit de charge, nous sommes à nouveau à vide et u_2 se confond avec u_{20} pour toute position du curseur.

2.2.11.2 Mesure précise de résistance par le pont de Wheatstone

Le pont de *Wheatstone* permet de mesurer des résistances comprises entre 1 et 1M avec une bonne précision.

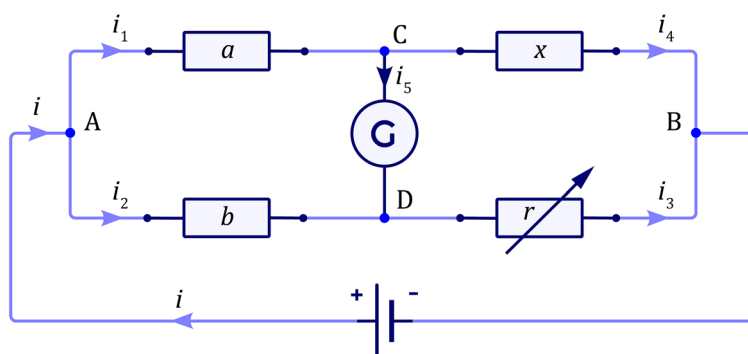


Figure 2.29 – Schéma du montage pont de Wheatstone.

Le montage figure 2.29 : entre deux points A et B d'un circuit alimenté par pile P nous trouvons 2 dérivation comprenant :

L'une : la résistance étalée (connue) a et la résistance à mesurer x ;

L'autre : la résistance étalon (connue) d et l'étalon de résistance réglable r (boite de décade).

Entre C et D est établi un pont contenant un galvanomètre : appareil très sensible permettant de déceler le passage d'un courant extrêmement faible de 10^{-8} à 10^{-9} A.

2.2.11.3 Équilibre du pont

a) **Définition** : On dit que le pont est *équilibré* quand G ne dévie pas. C'est-à-dire quand $i = 0$.

b) **Condition d'équilibre** : Le courant i_5 est nul quand les points C et D sont au même potentiel : $i_5 = 0 \Leftrightarrow V_C = V_D$.

$$i_1 = i_4 \Leftrightarrow V_{AC} = V_{AD},$$

$$i_2 = i_3 \Leftrightarrow V_{CB} = V_{DB},$$

$$\text{d'ou : } a \cdot i_1 = b \cdot i_2 = x \cdot i_1 = r \cdot i_2,$$

$$\frac{a}{x} = \frac{b}{r} \Leftrightarrow a \cdot r = x \cdot b \Leftrightarrow x = \frac{a \cdot r}{b}.$$

2.2.12 Les condensateurs

2.2.12.1 Définition

On appelle *condensateur* (*capacitor*) l'ensemble formé par deux conducteurs dont les surfaces en regard, généralement rapprochées, sont séparées par un isolant, deux plaques métalliques parallèles séparées par une certaine épaisseur d'air par exemple, ou deux feuilles d'aluminium collées sur les deux faces d'une feuille de papier paraffiné constituant des condensateurs.

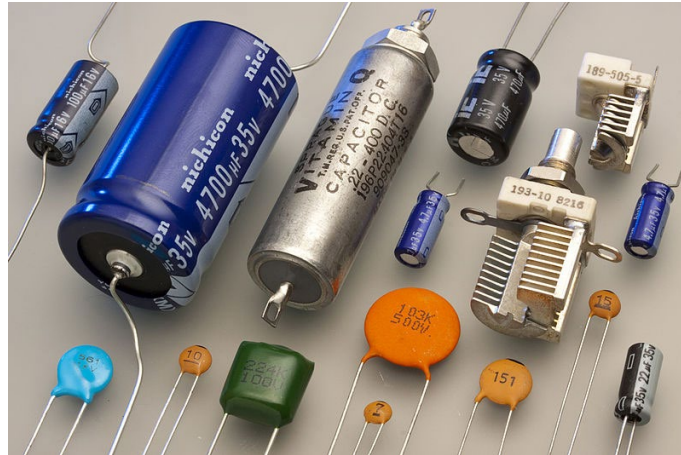





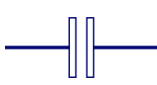







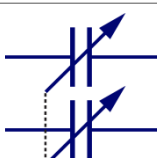











Image 2.6 – Quelques types de condensateurs¹.

Les symboles conventionnels d'un condensateur sont représentés ci-dessous.

	Symbole	Image
Condensateur électrolytique non-polarisé (EU, US)		
Condensateur électrolytique polarisé (EU, US, UK)		
Condensateur variable		
Condensateur ajustable		
Condensateur ajustable avec coefficient de température (<i>tempatrimmer</i>)		

¹ - Source de l'image : Wikipédia, mot clé : «Capacitors».

Condensateur dépendant de la température		
Condensateur dépendant de la tension		
Condensateur différentiel		
Condensateur avec <i>resistor</i> en série		
Condensateur bipolaire		
Condensateur avec connecteur d'alimentation		
Condensateur électrolytique multiple		
Condensateur d'alimentation		
Condensateur variable dual section		
Condensateur statorique divisé		
Condensateur papillon variable		
Condensateur d'armure		
Condensateur traversant		




Condensateur avec la couche externe		
Condensateur électrolytique haut + ve		
Condensateur variable sous vide		

Tableau 2.2 – Représentation schématique de quelques types de condensateurs.

Les deux armatures (plaques) sont séparées par une matière isolante, appelée *diélectrique du condensateur*.

2.2.12.2 Charge et décharge d'un condensateur

Réalisons le dispositif expérimental représenté par la figure ci-dessous, nous disposons d'un condensateur C en série avec un galvanomètre que nous pouvons brancher à l'aide d'un inverseur K , soit aux bornes d'une source de FÉM E , soit aux bornes d'une résistance R . Le galvanomètre utilisé est à zéro central et les deux déviations sont proportionnelles à la quantité d'électricité qui le traverse.

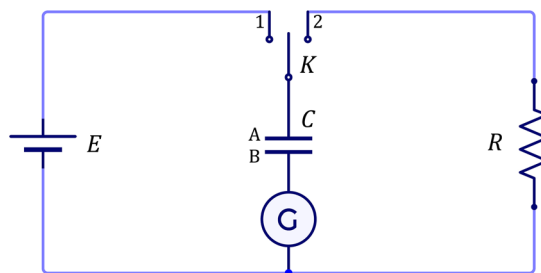


Figure 2.30 – Circuit permettant de réaliser la charge et la décharge.

a) Observation des faits :

Fermons l'inverseur K sur la position 1, le galvanomètre dévie pendant un très court instant puis revient à zéro, nous notons le sens de déviations et la valeur maximum de cette déviation.

Si nous ouvrons l'inverseur et que nous le refermons à nouveau sur la position 1 nous ne constatons plus de déviation du galvanomètre. Nous en déduisons qu'au premier passage sur la position 1 le galvanomètre a été traversé par un courant.

b) Le condensateur s'est chargé :

Basculons maintenant l'inverseur K sur la position 2, nous constatons une rapide déviation de l'aiguille du galvanomètre, mais en sens inverse, et nous notons que la déviation maximum a la même valeur absolue que lors de la charge.

Si nous ouvrons à nouveau l'inverseur et que nous le refermons sur la position 2 nous n'observons plus de déviation du galvanomètre.

“ Le condensateur qui était préalablement chargé a fourni une énergie au circuit, il s'est déchargé ”.

$$W_e = \frac{1}{2} Cu^2 = \frac{q^2}{2C}, \quad (2.28)$$

où W_e – énergie emmagasinée par le condensateur, J ;

C – capacité du condensateur, F ;

u – tension aux bornes du condensateur, V ;

q – charge du condensateur, C.

Le condensateur est donc capable de se charger lorsque nous le branchons aux bornes d'une source de FÉM E , et ensuite de restituer la quantité d'électricité qu'il a emmagasiné sous forme d'un courant traversant le circuit aux bornes duquel on le branche.

c) Interprétation des faits :

Avant de brancher le condensateur sur la source de FÉM E ses deux armatures A et B étaient électriquement neutres.

À partir de l'instant où l'on branche le condensateur sur la source de FÉM E , les électrons libres de l'armature A, mis en mouvement par le générateur circulent dans le circuit A E B et vont s'accumuler sur l'armature B.

La face intérieure de l'armature A prend ainsi une charge électrique positive apparente $+Q$, tandis que la face en regard de l'armature B prend une charge négative $-Q$. La valeur absolue Q de ces deux quantités d'électricité égales et de signes contraires est appelée : **la charge Q du condensateur**.

Les figures 2.31a, b et c symbolisent l'état électrique des armatures A et B avant, pendant et après la charge du condensateur¹.

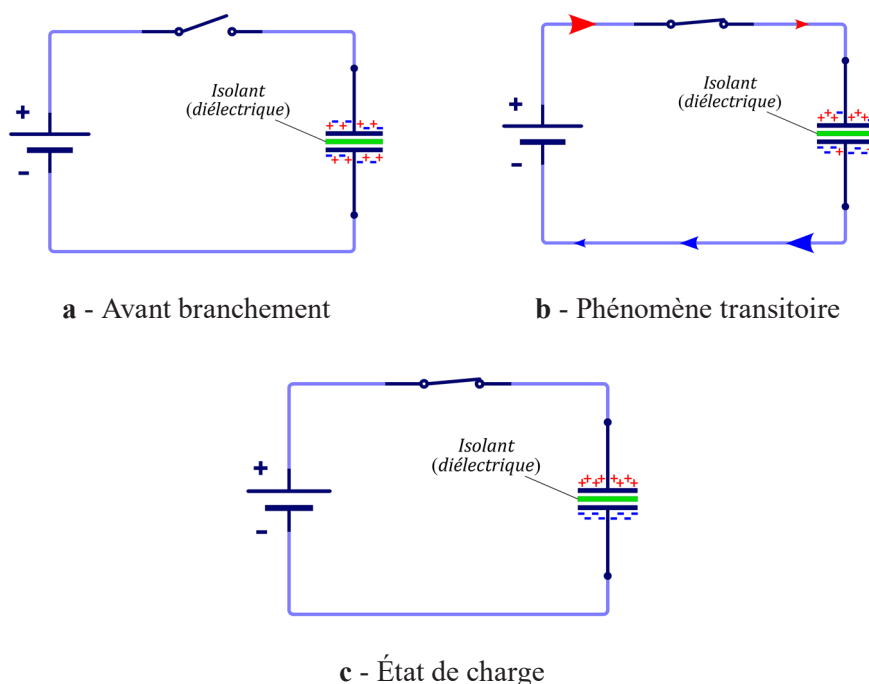


Figure 2.31 – État électrique avant, pendant et après la charge².

1 - Sur chaque conducteur le condensateur contient des charges équilibrées représentées par autant de + que de -. Par effet électrostatique cet équilibre change, les armatures se voient en vis-à-vis et acceptent d'un côté de générer une charge à condition que l'autre côté en fournisse autant, l'équilibre est préservé !

2 - L'isolant (en vert) n'est pas traversé !

L'électrisation des faces en regard fait naître entre les armatures A et B une DDP ($V_A - V_B$) positive, dont la valeur croît en fonction de la charge du condensateur.

La circulation des électrons cesse dès que cette DDP ($V_A - V_B$) devient égale à la FÉM E du générateur. En effet, le condensateur une fois chargé se comporte comme un deuxième générateur branché en *opposition* avec le premier et ayant la même FÉM que lui.

En basculant l'inverseur sur la position 2 on réalise le circuit suivant ne comprenant plus le générateur.

Les électrons accumulés sur l'armature B et n'y étant plus retenus par la FÉM E , se déplacent suivant le circuit BRA afin de neutraliser sur l'armature A les charges positives qui sont fixes, parce que liées à l'armature.

Ainsi le galvanomètre est traversé par la même quantité d'électricité Q que pendant la charge, mais en sens inverse.

En même temps la DDP ($V_A - V_B$) diminue jusqu'à s'annuler quand les armatures redeviennent électriquement neutres.

Le condensateur est alors déchargé, il a perdu toute l'énergie qu'il avait emmagasiné.

d) Unité de capacité d'un condensateur :

La relation $Q = C \cdot U$ définit l'unité de capacité à partir de l'unité de quantité d'électricité et de l'unité de différence de potentiel. En effet si :

$Q = 1$ Coulomb et $U = 1$ Volt, on a :

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{1 \text{ [Coulomb]}}{1 \text{ [Volt]}} = 1 \text{ [Farad]}. \quad (2.29)$$

e) Définition du Farad :

Le Farad [F] est la capacité d'un condensateur qui prend une charge de 1 coulomb [C] quand la différence de potentiel établie entre ses armatures est d'un volt.

Le Farad représente une capacité énorme, en général on n'emploie que ses sous-multiples :

- Le microfarad : $1 \mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$;
- Le nanofarad : $1 \text{nF} = 10^{-9}\text{F}$;
- Le picofarad : $1 \text{pF} = 10^{-12}\text{F}$.

2.2.12.3 Association en parallèle

La figure ci-dessous représente un ensemble de trois condensateurs branchés en parallèle aux bornes d'une source de tension U .

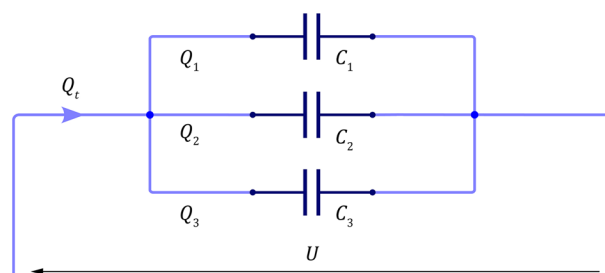


Figure 2.32 – Association des condensateurs en parallèle.

Si nous mesurons chaque capacité, considérée séparément puis la capacité de l'ensemble, nous constatons qu'une batterie de condensateurs associés en parallèle a un condensateur unique dont la capacité C est égale à la somme des capacités des condensateurs associés.

La tension de charge U est commune.

Les quantités d'électricité sont :

$$Q_1 = C_1U \quad ; \quad Q_2 = C_2U \quad ; \quad Q_3 = C_3U.$$

La charge totale est :

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 = C_1U + C_2U + C_3U = U(C_1 + C_2 + C_3),$$

$$\frac{Q_t}{U} = C_1 + C_2 + C_3 \quad \text{donc :} \quad C_e = C_1 + C_2 + C_3.$$

“ En parallèle les capacités s'additionnent ”.

2.2.12.4 Association en série

La figure ci-dessous représente un ensemble de trois condensateurs associés en série ou en cascade et branchés aux bornes d'une source de tension U .

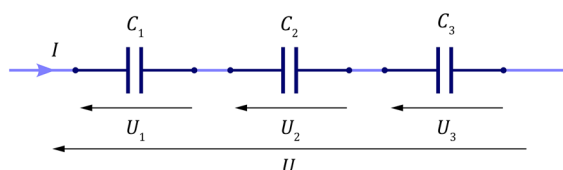


Figure 2.33 – Association des condensateurs en série.

La charge Q est commune, on a :

$$Q_1 = C_1U_1 \quad ; \quad Q_2 = C_2U_2 \quad ; \quad Q_3 = C_3U_3.$$

Or la tension totale est : $U = U_1 + U_2 + U_3$.

$$U = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right),$$

$$\frac{U}{Q} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{C_e}.$$

Donc :
$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}.$$

L'inversée de la capacité équivalente est égale à la somme des inverses des capacités.

Remarques :

- Les lois de groupement de condensateurs sont inversées par rapport à celles des résistances.
- Pour obtenir une grande capacité équivalente on utilisera le montage en parallèle.

2.3 LES APPAREILS DE MESURE

2.3.1 Les galvanomètres

2.3.1.1 Principe

À l'intérieur d'un bobinage se trouve une petite lame de fer doux, parallèlement entrée près de celle-ci, une autre lame identique pouvant pivoter sur un axe et donc s'écarter de sa position de repos maintenue par un ressort spirale.

Au repos les deux lames sont vis-à-vis l'une de l'autre. Quand on fait passer un courant dans le bobinage, un champ magnétique prend naissance et aimante les deux lames placées dans ce champ.

Or, ces «aimants» qui viennent d'être créés vont avoir ensemble les mêmes pôles en face l'un de l'autre. Ils vont se repousser et la lame mobile va pivoter pour s'éloigner de la lame fixe. Une aiguille solidaire de la lame mobile va se déplacer au-dessus d'un cadran gradué et la lecture sera fonction de l'intensité du courant dans le bobinage.

Ce galvanomètre est de type ferromagnétique. Il peut aussi mesurer des courants alternatifs puisque les changements d'aimantation se font en même temps sur les deux lames et les répulsions concordent.

2.3.1.2 Le galvanomètre à cadre mobile

Principe : Le fil dans lequel on sera passé le courant à mesurer est entouré sur un cadre léger pouvant pivoter sur un axe, il est maintenu dans sa position de repos par un ressort spirale transportant également le courant.

On place ce cadre dans le champ d'un fort aimant. Quand le courant passe il produit un champ magnétique dans le cadre qui se comporte comme un aimant à proximité de l'aimant fixe de l'appareil et va pivoter. Son déplacement sera fonction de l'intensité qui passe dans le cadre.

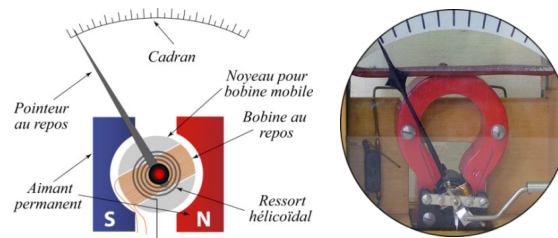
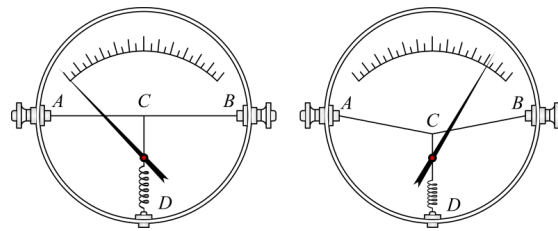
Une pièce de fer doux est placée à l'intérieur du cadre pour que les lignes de force de l'aimant s'y dirigent en plus grand nombre, ce qui renforce la force de rotation du cadre.

Cet appareil ne fonctionne que sur courant continu. Pour l'utiliser en alternatif, il faut lui adjoindre un redresseur (pont de diodes) que l'on étudiera plus tard.

2.3.1.3 Le galvanomètre thermique¹

Principe : On utilisera la dilatation d'un conducteur résistant provoquée par la chaleur produite par effet joule lors du passage du courant. Ce conducteur AB subit la tension du ressort de la branche CD formée d'un fil passant autour d'une poulie sur laquelle on fixe une aiguille de lecture (fig. ci-dessous). Au passage du courant, AB s'allonge, ce qui entraîne la poulie et l'aiguille. C'est ce type d'appareil que l'on utilise souvent pour mesurer de l'intensité HF (cas des ampèremètres d'antenne, etc.).

¹ - Ce montage est le plus robuste mais il souffre de réactions très lentes et aussi il est moins précis.

a - Galvanomètre à cadre mobile¹

b - Galvanomètre thermique

Figure 2.34 – Principes des deux types du galvanomètre.

2.3.2 Mesure des tensions

2.3.2.1 Le voltmètre

On mesure les DDP ou les tensions à l'aide d'un appareil appelé *voltmètre*.

Le voltmètre est un ampèremètre sensible, donc un galvanomètre en série avec une résistance additionnelle R_a , l'ensemble en dérivation sur le circuit ou l'élément aux bornes duquel on veut mesurer la DDP ou la tension. Il n'y a donc pas coupure du courant du circuit.

Cette résistance R_a qui se trouve en série avec le galvanomètre a une valeur élevée.

2.3.2.1.1 Unité de mesure

Pour la mesure des DDP ou des tensions, l'unité est le volt [V]. Généralement les tensions à mesurer sont de l'ordre de quelques volts jusqu'à plusieurs milliers de volts.

Plusieurs fois utilisés :

- Le kilovolt : $1 \text{ kV} = 10^3 \text{ volts}$;
- Le millivolt : $1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ volts}$;
- Le microvolt : $1 \text{ } \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ volts}$.

¹ - Un galvanomètre à cadre mobile est appelé aussi *magnéto-électrique* ou *mouvement d'Arsonval*.

2.3.2.1.2 Calcul de la résistance d'un voltmètre

Le voltmètre est un galvanomètre à cadre mobile en série avec une résistance additionnelle.
Soit un galvanomètre de sensibilité « I » et résistance R_g .

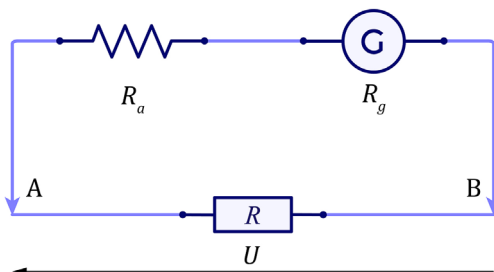


Figure 2.35 – Schéma de principe d'un voltmètre.

On veut mesurer une tension U , telle que l'aiguille dévie totalement, le galvanomètre doit alors être traversé par le courant « i ».

On a :

$$U = (R_a + R_g) \cdot i \quad \text{et} \quad R_a = \frac{U}{i} - R_g, \quad (2.30)$$

où U – tension aux bornes de R , V ;

R_a – résistance additionnelle, Ω ;

R_g – résistance du galvanomètre, Ω ;

i – intensité qui traverse le galvanomètre, mA.

Exemple :

Soit $R_g = 250\Omega$, $i = 1 \text{ mA}$ pour $U = 5\text{V}$.

Nous aurons : $R_a = \frac{5}{10^{-3}} - 250 = 4,750\Omega$.

2.3.2.1.3 Réalisation d'un voltmètre à plusieurs sensibilités

Suivant les calibres de tension que l'on désire, le schéma de principe sera celui indiqué ci-dessous.

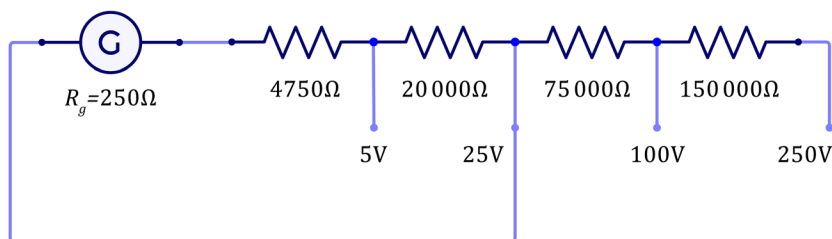


Figure 2.36 – Schéma de principe d'un voltmètre à plusieurs sensibilités.

2.3.2.2 L'ampèremètre

2.3.2.2.1 Mesure des intensités

On mesure l'intensité d'un courant électrique passant dans un conducteur à l'aide d'un appareil appelé *ampèremètre*. Pour une intensité, il est nécessaire de couper le circuit en un point et de rétablir la continuité du circuit électrique à travers l'ampèremètre. Ce branchement s'appelle *branchement série*. L'appareil donc doit avoir une résistance très faible de façon à ne modifier que sensiblement les caractéristiques du circuit.

2.3.2.2.2 Unité de mesure

Les unités de mesure en radioélectricité sont : l'ampère [A] et les sous-multiples : le milliampère [mA] et le microampère [μ A].

- $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$;
- $1 \text{ }\mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$.

Certains ampèremètres ont plusieurs sensibilités ou calibres. On commencera par utiliser le plus gros calibre si l'on ne connaît pas approximativement l'ordre de grandeur et l'intensité du courant à mesurer.

2.3.2.2.3 Shunt d'un ampèremètre

L'ampèremètre est un appareil dont la déviation est proportionnelle au courant qui le parcourt. Le galvanomètre à cadre mobile ne peut se laisser traverser par de grandes intensités sans être détérioré.

Pour augmenter le calibre ou diminuer la sensibilité d'un ampèremètre, on le monte en dérivation sur une résistance faible S dite *shunt*. Le cadre sera traversé par une intensité i_1 égale i cadre, et le shunt S par une intensité i_2 égale à I courant total à mesurer moins i_1 .

C'est une application directe de la loi l'Ohm et des courants dérivés dans les résistances et groupement des résistances.

Soit la figure ci-dessous.

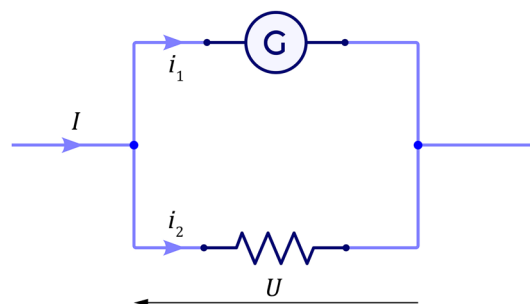


Figure 2.37 – Schéma du montage du Shunt.

Le courant total à mesurer se divise en deux courants :

- i_1 qui traverse le cadre ;
- i_2 qui traverse le shunt.

$$I = i_1 + i_2.$$

Soit G la résistance du galvanomètre et S la résistance du shunt, la DDP est la même aux bornes du cadre et aux bornes du shunt d'après la loi d'Ohm, nous pouvons écrire :

$$U = G \cdot i_1, \quad (2.31)$$

$$U = S \cdot i_2 = S(I - i_1). \quad (2.32)$$

La comparaison des égalités (2.31) et (2.32) nous permet d'écrire :

$$G \cdot i_1 = S(I - i_1) \quad \text{où : } S = \frac{G \cdot i_1}{I - i_1}. \quad (2.33)$$

Divisons le second membre de cette égalité par i_1 nous avons :

$$S = \frac{G}{\frac{I}{i_1} - 1} \quad \text{posons : } \frac{I}{i_1} = m, \text{ l'égalité ci-dessus devient : } S = \frac{G}{m - 1}.$$

La valeur du rapport $m = \frac{I}{i_1}$ est souvent appelé *pouvoir multiplicateur de shunt*.

2.3.2.2.4 Réalisation d'un ampèremètre à plusieurs sensibilités

Grâce aux shunts on obtient un appareil à plusieurs sensibilités, où le galvanomètre permet de mesurer des intensités allant de quelques microampères à plusieurs ampères.

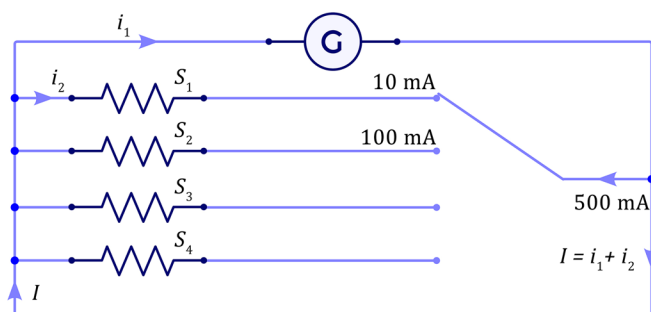


Figure 2.38 – Schéma de principe d'un ampèremètre à plusieurs sensibilités.

Application :

La figure ci-dessus utilise un galvanomètre de sensibilité $50 \mu\text{A}$ et de résistance 5000Ω . Calculons les valeurs S_1, S_2, S_3 et S_4 pour les calibres suivants : 1 mA, 10 mA, 100 mA et 500 mA.

Pour toutes ces positions la valeur des shunts est donnée par la formule :

$$S = \frac{G}{m-1}.$$

Remplaçons les lettres par leurs valeurs :

$$S_1 = \frac{5000}{\frac{1000}{50} - 1} = \frac{5000}{19} = 263\Omega.$$

En appliquant la même formule aux shunts S_2 , S_3 et S_4 , nous trouverons successivement :

$$S_2 = 25,1\Omega \quad ; \quad S_3 = 2,5\Omega \quad \text{et} \quad S_4 = 0,5\Omega.$$

Le cadre a 0,5V de DDP à ses bornes, quel que soit la calibre du voltmètre. Pour chaque calibre, la résistance totale du voltmètre sera :

$$R_t = R_a + R_g \quad \text{et} \quad R_a \quad \text{aura pour valeur} : R_a = R_t - R_g.$$

- Calibre 5V :

$$R_t = \frac{5}{10^{-3}} = 5000\Omega \quad \text{et} \quad R_{a1} = 5000 - 250 = 4750\Omega.$$

- Calibre 25V :

$$R_t = \frac{25}{10^{-3}} = 25000\Omega \quad \text{et} \quad R_{a2} = 25000 - (250 + 4750) = 20000\Omega.$$

Par un calcul analogue, nous trouvons pour les calibres suivants :

$$100V \Leftrightarrow R_a = 75000\Omega,$$

$$250V \Leftrightarrow R_a = 150000\Omega.$$

La qualité d'un voltmètre est caractérisée par sa résistance interne par volt.

Le voltmètre décrit précédemment a une résistance totale de 5000 sur le calibre 5 volts, il fait donc 1000 Ω/V .

Le rapport Ω/V d'un voltmètre dépend uniquement de la sensibilité «*i*» du galvanomètre utilisé et égale à $\frac{1}{i}$.

Dans le cas précédent on a : $\frac{1}{10^{-3}} = 1000 \Omega / V$.

Exemples :

Avec un galvanomètre de sensibilité 50 μV , on peut réaliser un voltmètre de :

$$\frac{1}{50 \cdot 10^{-6}} = 20000 \Omega / V.$$

2.3.2.2.5 Mesure en alternatif

On utilise un voltmètre à redresseurs. Il se compose d'une résistance en série avec un milliampère à redresseurs. La déviation est proportionnelle à la valeur moyenne de la tension, mais la graduation est faite en valeurs efficaces ($E_{eff} = 1,1E_{moy}$) dans l'hypothèse d'une tension parfaitement sinusoïdale.

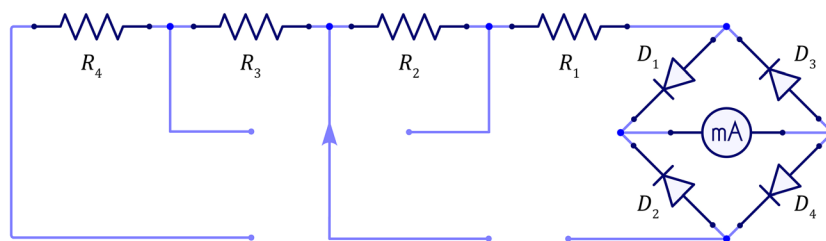


Figure 2.39 – Schéma du voltmètre à redresseurs.

Voltmètres électroniques :

Ces appareils sont utilisés pour les mesures des tensions faibles ou élevées, continues ou alternatives aux bornes d'une résistance ou un circuit à forte impédance.

2.4 LES RÉCEPTEURS USUELS

2.4.1 Définitions

1. Les récepteurs usuels à courant continu (CC, DC) sont :
 - Les récepteurs thermiques ;
 - Les accumulateurs en charge et les cuves d'électrolyses (électrolyseurs) qui transforment l'énergie électrique en énergie chimique ;
 - Les moteurs qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique.
2. Le récepteur est un appareil qui absorbe de l'énergie électrique et restitue de l'énergie sous une autre forme quelconque (ou plusieurs).
3. Un récepteur est un dipôle, la polarité de ses bornes est imposée par le générateur qui l'alimente. Cependant, certains récepteurs (les accumulateurs) ont une polarité propre dont il faut tenir compte dans le montage.
4. Symboles :



a - Electrolyseur



b - Batterie d'accumulateur



c - Moteur



d - Élément chauffant

Figure 2.40 – Symboles de quelques récepteurs usuels.

2.4.2 La puissance mise en jeu dans un récepteur

1. Puissance absorbée (P_a) : c'est la puissance fournie au récepteur par le générateur qui l'alimente, elle est purement électrique. Soit U la DDP aux récepteurs, et le courant qu'il absorbe :

$$P_a = U \cdot I, \quad (2.34)$$

où P_a – puissance absorbée, W ;

U – différence de potentiel au récepteur, V ;

I – intensité du courant, A.

2. Puissance perdue (P_j) : comme tout appareil électrique, un récepteur dissipe de l'énergie par effet de joule, nous pouvons donc lui attribuer :

$$P_j = r \cdot I^2, \quad (2.35)$$

où P_j – puissance perdue (dissipée), W ;

r – résistance interne, Ω ;

I – intensité du courant, A.

3. Puissance électrique utile (P_u) : sur la puissance totale qu'il reçoit $U \times I$, le récepteur dissipe $r \times I^2$ seule, la différence de ces deux puissances transformées en une forme d'énergie autre qu'électrique ou thermique détermine la puissance électrique utile :

$$P_u = P_a - P_j = U \cdot I - r \cdot I^2, \quad (2.36)$$

où P_u – puissance électrique utile, W ;

P_a – puissance absorbée, W ;

P_j – puissance perdue (dissipée), W ;

U – différence de potentiel au récepteur, V ;

r – résistance interne, Ω ;

I – intensité du courant, A.

4. Force contre-électromotrice (FCÉM) :

Soit $P_u = UI - rI^2$, divisons par I les deux membres de l'égalité :

$$\frac{P_u}{I} = \frac{U \cdot I - r \cdot I^2}{I} = U - rI, \quad (2.37)$$

où P_u – puissance électrique utile, W ;

U – différence de potentiel au récepteur, V ;

r – résistance interne, Ω ;

I – intensité du courant, A.

Le quotient $\frac{P_u}{I}$ est exprimé en volts puisque c'est une différence de volts. Nous le représentons par la lettre E' et nous l'appellerons **force contre-électromotrice** du récepteur.

$$E' = \frac{P_u}{I} \Leftrightarrow P_u = E' \cdot I, \quad (2.38)$$

où E' – force contre-électromotrice, V ;

P_u – puissance électrique utile, W ;

I – intensité du courant, A.

Nous pouvons écrire :

$$E' = U - rI \Leftrightarrow U = E' + rI, \quad (2.39)$$

où E' – force contre-électromotrice, V ;

U – différence de potentiel, V ;

r – résistance interne, Ω ;

I – intensité du courant, A.

Définition : la force contre-électromotrice d'un récepteur est le quotient de sa puissance électrique par l'intensité du courant qu'il absorbe.

Remarque : la force contre-électromotrice est la différence des volts U appliqués aux bornes du récepteur (volts absorbés) et de la chute de tension interne $r \times I$ du récepteur (volts perdus).

La force contre-électromotrice E' représente les volts (utiles) du récepteur, ceux qui vont effectivement participer à la transformation de l'énergie.

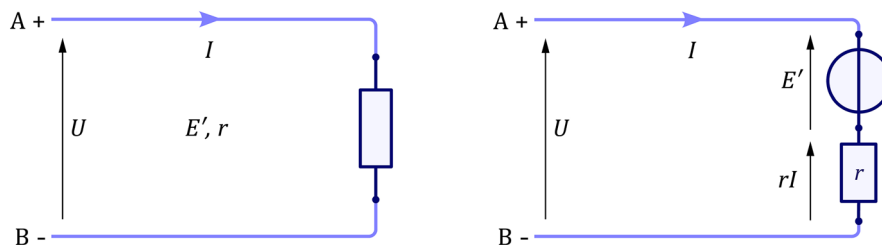
2.4.3 Loi d'Ohm relative à un récepteur

1. Énoncé :

La différence de potentiel entre les bornes d'un récepteur est égale à sa force contre-électromotrice augmentée du produit de sa résistance interne par l'intensité du courant absorbé.

2. Schéma équivalent d'un récepteur :

L'un des deux schémas ci-dessous représente la résistance R , et l'autre, celui d'une source de tension, est un cercle contenant une flèche \vec{E}' dirigée vers le pôle positif.



a - Schéma représentant la résistance

b - Schéma équivalent de Thévenin

Figure 2.41 – Schéma équivalent d'un récepteur.

Le schéma 2.41a conduit donc bien à la même caractéristique externe que le schéma 2.41b. Pour le circuit extérieur, il y a équivalence.

Ce schéma équivalent (de E' et R en série) est le schéma de **Thévenin**¹ du récepteur réel.

- Sens relatif de \vec{E}' , de \vec{U}' et de \vec{i}' : les orientations ont été choisies pour que U et i soient positifs. \vec{U} et \vec{E} sont de même sens.

La flèche \vec{E}' , indique le sens opposé du courant quand l'appareil fonctionne en récepteur (fig. 2.41b). Cette considération justifie l'appellation de force contre-électromotrice : **qui s'oppose à la circulation du courant**.

3. Générateur en opposition :

Le schéma équivalent à un récepteur est celui d'un générateur de FÉM E' et de la résistance interne r qui sera traversé par le courant de son pôle + vers son pôle -.

Un générateur utilisé dans ces conditions est dit **monté en opposition** dans le circuit dont il fait partie. Son comportement est alors celui d'un récepteur. Sa résistance interne reste la même, et sa FÉM devient une FCÉM.

Le 3^{ème} générateur est en opposition avec les quatre (4) autres :

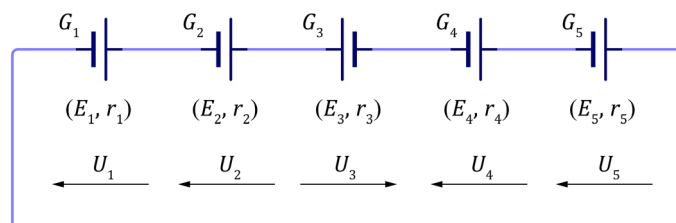


Figure 2.42 – Association du générateur G_3 en opposition.

4. Comportement d'un électromoteur :

Pour savoir le comportement d'un électromoteur dans un circuit, il faut utiliser les renseignements qui sont donnés :

Si le sens réel du courant est connu ainsi que la polarité de l'électromoteur :

- Si E et le courant sont de même sens (fig. 2.43a), l'appareil fonctionne en *générateur*² ;

$$U = V_A - V_B = E - R \cdot I \quad (U < E).$$

- Si E et le courant sont de sens contraire (fig. 2.43b), l'appareil fonctionne en *récepteur*³.

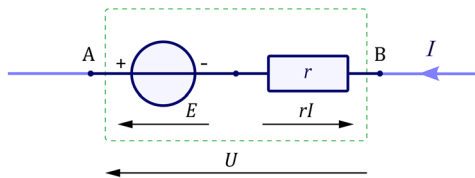
$$U = V_A - V_B = E + R \cdot I \quad (U > E).$$

1 - Un circuit électrique linéaire vu de deux bornes est équivalent à un générateur de tension idéal en série avec une résistance.

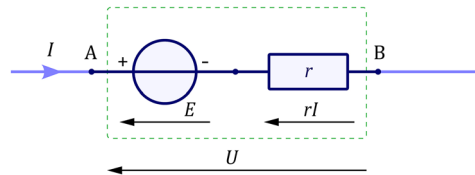
La force électromotrice est égale à la différence de potentiels à vide entre les deux bornes et la résistance égale à celle mesurée entre ces deux bornes lorsque les générateurs indépendants sont débranchés.

2 - Quand le courant entre par le pôle négatif, le dipôle fonctionne comme un générateur.

3 - Quand le courant entre par le pôle positif, le dipôle fonctionne comme un récepteur.



a - L'électromoteur fonctionne comme un générateur



b - L'électromoteur fonctionne comme un récepteur

Figure 2.43 – Comportement d'un électromoteur dans un circuit.

5. Électrolyseurs :

- Lorsqu'au cours d'une électrolyse il y a production d'énergie chimique, les électrolyseurs ont une FCÉM E' et leur puissance utile est P_u .

$P_u = E' \times I$, la loi d'Ohm $U = E' + rI$ leur est applicable.

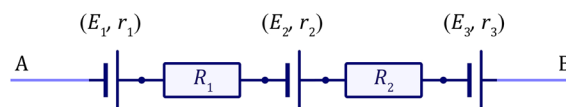
- Certaines électrolyseurs se font produire de l'énergie chimique : affinage du cuivre par exemple. L'énergie électrique fournie Y est donc totalement transformée en chaleur et les électrolyseurs correspondants se comportent comme des résistors.

$$E' = 0 \Leftrightarrow U = rI.$$

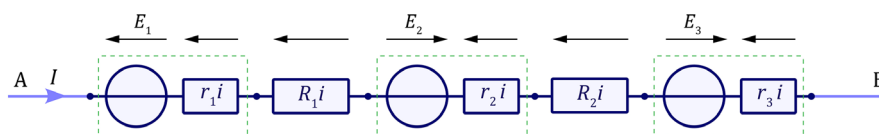
2.4.4 Lois relatives aux circuits électriques à une maille

1. Différence de potentiel entre deux points :

Soit une branche AB extraite d'un circuit et comportant plusieurs électromoteurs et plusieurs résistors linéaires (figure ci-dessous).



a - Branche extraite d'un circuit



b - Schéma équivalent de la branche

Figure 2.44 – Branche extraite d'un circuit et schéma équivalent.

- Nous choisissons $u = V_A - V_B$;
- Nous orientons arbitrairement le conducteur de A vers B, remarquons tout de suite que si u et i sont positifs, le courant entrera par le pôle A du dipôle et celui-ci se comportera globalement comme un récepteur.

2. La relation $u = f(i)$:

Appliquons la loi des branches entre A et B, il vient :

$$V = E_1 + E_3 - E_2 + i(R_1 + R_2 + r_1 + r_2), \quad (2.40)$$

où V – différence de potentiel, V ;

E – force électromotrice, V ;

R – résistance du circuit, Ω ;

r – résistance interne, Ω .

2.5 LES GÉNÉRATEURS (SUITE)

2.5.1 Définitions et caractéristiques externes

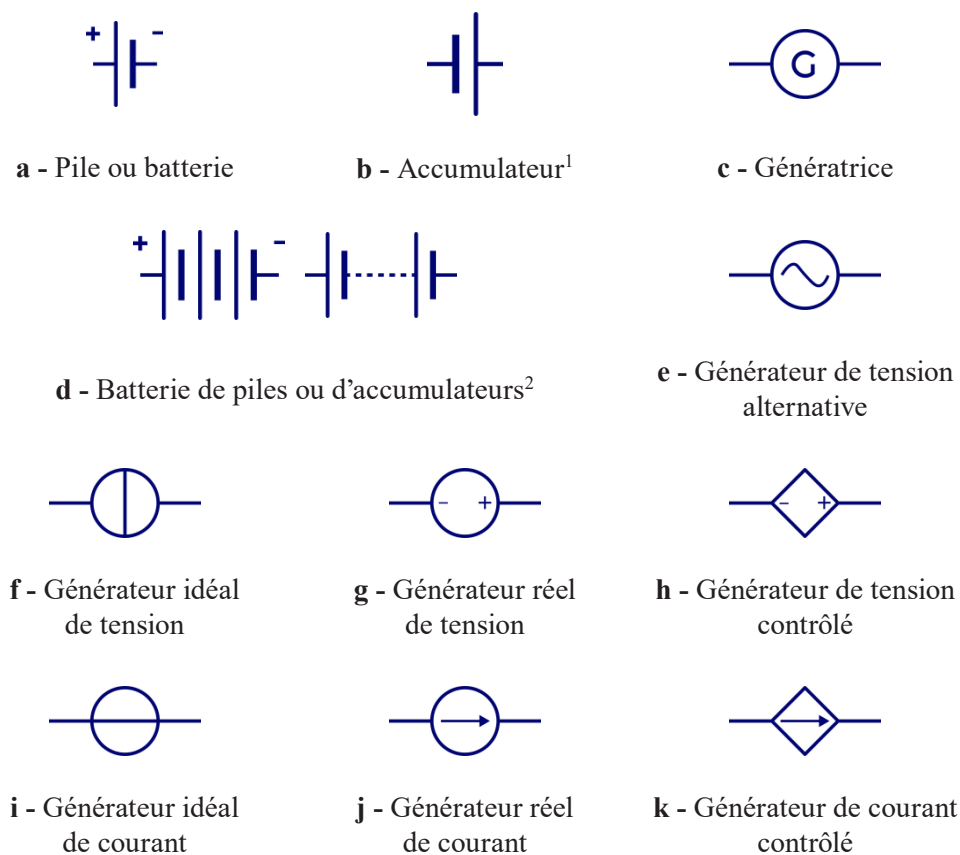


Figure 2.45 – Symboles schématiques des générateurs.

1 - Le grand trait est le pôle positif.

2 - On peut indiquer le nombre d'éléments, la tension et la nature des éléments.

La force électromotrice d'un générateur est le quotient de sa puissance électrique totale par l'intensité du courant qu'il débite.

Remarques : La FÉM E est la somme des volts disponibles U qui se retrouvent entre les bornes du générateur (volts utiles) et la chute de tension interne $r \times I$ du générateur (volts perdus).

La FÉM E représente donc la totalité des volts (produits) par le générateur.

Un générateur possède deux pôles, le pôle positif marqué P et le pôle négatif marqué N. Contrairement au résistor, c'est donc un élément polarisé.

Considérons un circuit comportant en série un générateur G et des éléments passifs (résistors), seule la source d'énergie électrique (le générateur) va imposer au circuit :

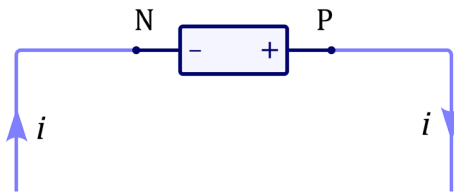


Figure 2.46 – Circuit extérieur.

Le schéma équivalent au générateur réel comporte un générateur fictif (source de tension) en série avec la résistance interne au générateur. Pour un courant débité I nous avons bien la loi des branches entre P et N.

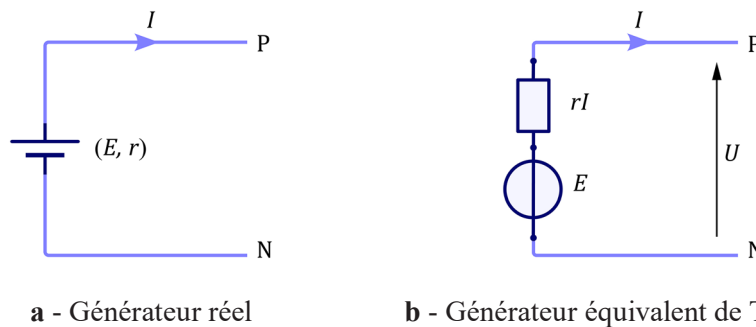


Figure 2.47 – Générateur réel et générateur équivalent de Thévenin.

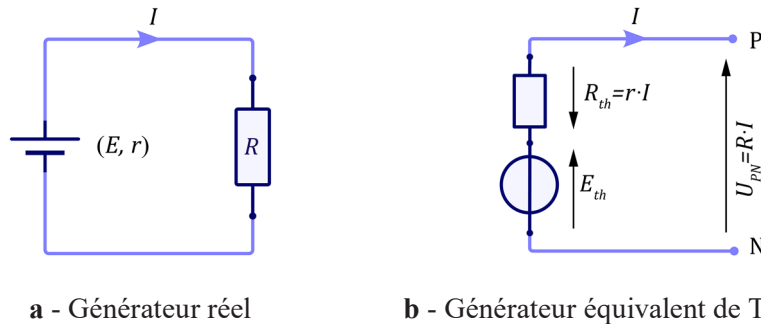
Le schéma 2.47b conduit donc bien à la même caractéristique externe que le schéma 2.47a. Pour le circuit extérieur, il y a équivalence.

$$U = V_p + V_N - E + rI. \quad (2.41)$$

Ce schéma est un schéma équivalent série (E, r) ou schéma de Thévenin du générateur réel. C'est le générateur de Thévenin équivalent correspondant au couple¹.

¹ - Tout montage électronique, aussi complexe soit-il peut être remplacé par une source de tension idéale E_{th} associée à un résistor R_{th} câblé en série. Ce montage est appelé **Modèle de Thévenin**. Ce modèle de Thévenin permet de simplifier les calculs.

2.5.2 Courant débité par un générateur dans un résistor linéaire



a - Générateur réel

b - Générateur équivalent de Thévenin

Figure 2.48 – Circuit après orientation dans le sens du courant.

Calcul du courant I :

Après avoir orienté le circuit dans le sens réel du courant et les tensions $r \cdot I$ et $R \cdot I$ afin qu'elles soient positives, appliquant la loi des mailles :

$$E - r \cdot I - R \cdot I = 0 \Leftrightarrow E = (R + r)I \Leftrightarrow I = \frac{E}{R + r},$$

où E – force électromotrice, V ;

R – valeur de la résistance, Ω ;

r – résistance interne, Ω ;

I – intensité du courant, A.

Remarques : Si la charge placée entre P et N est dipôle contenant un groupement de résistances, la loi s'applique avec (R_e : résistance équivalente au dipôle).

2.5.3 Puissance et rendement d'un générateur

Le générateur fournit la puissance électrique totale P_t alors que le circuit extérieur ne reçoit que la puissance utile P_u , le rendement est alors :

$$\eta = \frac{P_u}{P_t} = \frac{UI}{EI}, \quad (2.42)$$

où η – rendement du générateur, % ;

P_u – puissance utile, W ;

P_t – puissance totale, W ;

U – tension aux bornes du générateur, V ;

E – force électromotrice, V ;

I – intensité du courant, A.

Le rendement industriel ou réel (η_i) : outre les pertes par effet joule, les générateurs peuvent être le siège de perte d'une autre nature (par exemple perte mécanique pour les

générateurs tournants) et la puissance qu'il absorbe, η_i est alors égale à la puissance électrique totale augmentée de ces pertes :

$$P_a = P_t + P, \quad (2.43)$$

où P_a – puissance absorbée, W ;

P_t – puissance totale, W ;

P – perte d'autre nature, W.

Leur rendement réel est :

$$\eta_i = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_u}{P_t} = \eta, \quad (2.44)$$

où η_i – rendement industriel (réel), % ;

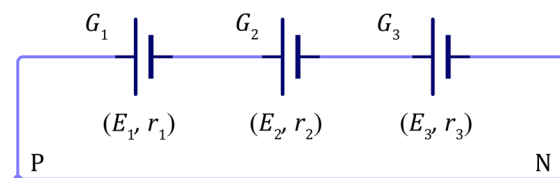
P_t – puissance totale, W ;

P_a – puissance absorbée, W.

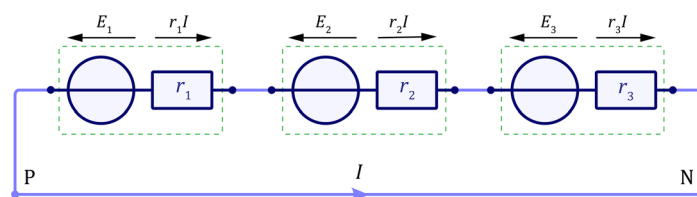
2.5.4 Groupements de générateurs

2.5.4.1 Groupement en série

- **Montage** : le pôle positif d'un générateur est relié au pôle négatif du suivant. L'ensemble présente deux bornes P et N et constitue un dipôle générateur.



a - Schéma du groupement des générateurs



b - Schéma équivalent

Figure 2.49 - Groupement des générateurs et schéma équivalent.

- **Schéma équivalent** : chaque générateur est remplacé par son générateur de Thévenin équivalent (fig. 2.49a & 2.49b). La loi des branches appliquée entre N et P donne en appelant I le courant commun aux générateurs.

Les orientations sont choisies pour que $u = 0$ et $i = 0$, soit $u = U$ et $i = I$. Nous écrivons les formules avec les valeurs arithmétiques U et I .

$$V_P - V_N = E_1 - r_1 I + E_2 - r_2 I + E_3 - r_3 I,$$

$$V_P - V_N = (E_1 + E_2 + E_3) - I(r_1 + r_2 + r_3).$$

2.5.5 Générateur unique

C'est le générateur de FÉM E et de R_i qui a les mêmes caractéristiques externes que le dipôle.

$$V_P - V_N = E - R_i I = (E_1 + E_2 + E_3) - (r_1 + r_2 + r_3) I.$$

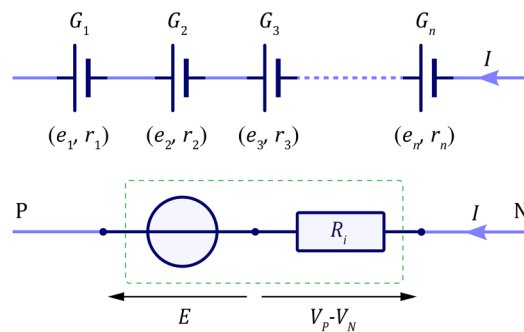


Figure 2.50 - Générateur unique équivalent au groupement de plusieurs générateurs.

L'identité entre les deux caractéristiques externes exige :

$$E = E_1 + E_2 + E_3 \quad \text{et} \quad R_i = r_1 + r_2 + r_3.$$

Conclusion :

Le groupement en série de plusieurs générateurs est équivalent à un générateur unique ayant pour FÉM la somme des FÉM et pour la résistance interne la somme des résistances internes.

2.6 LES TRANSFORMATEURS

2.6.1 Définition

Un transformateur¹ est l'ensemble de deux ou plusieurs enroulements couplés magnétiquement par un fer doux (noyaux).

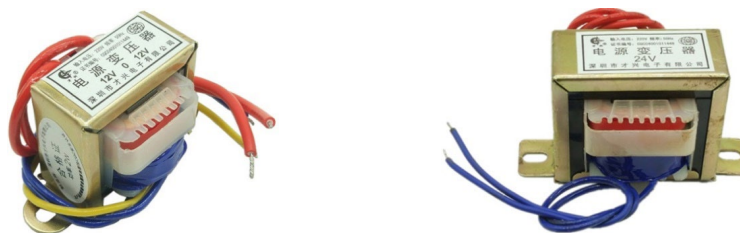


Image 2.7 – Petits transformateurs de 12V et 24V.

1 - Le transformateur électrique (transfo) est une machine effectuant la transformation des valeurs d'intensité et de tension du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative en un système de courant et de tension de valeurs différentes avec un excellent rendement.

L'enroulement primaire reçoit l'énergie électrique d'une source alternative. L'enroulement secondaire, aux bornes duquel sont s'établit une autre énergie électrique alternative¹.

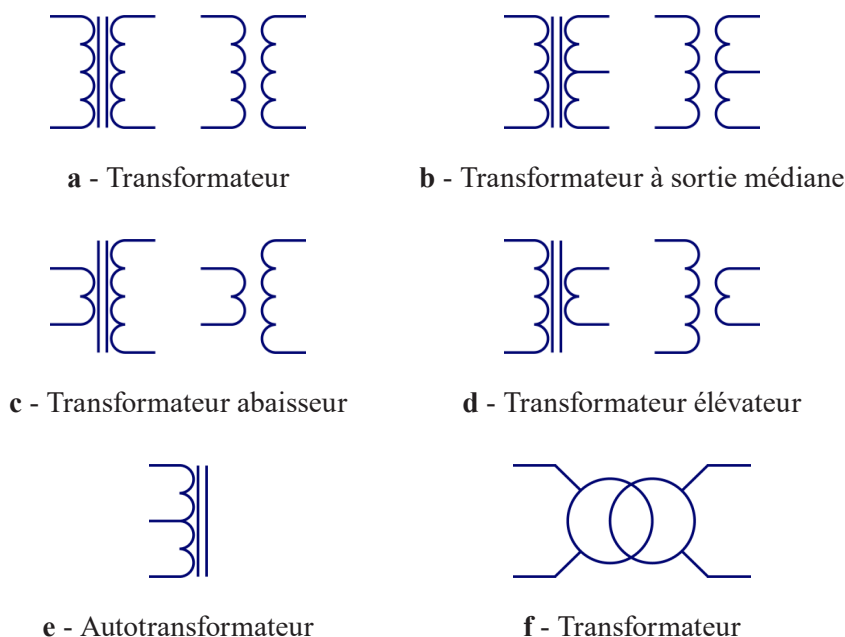


Figure 2.51 – Symboles de quelques types de transformateurs.

2.6.2 Principe de fonctionnement

Lorsqu'une tension alternative U_1 est appliquée aux bornes du primaire, un courant alternatif parcourt cet enroulement et crée à l'intérieur du transformateur une induction magnétique également alternative et de même fréquence que la tension et le courant.

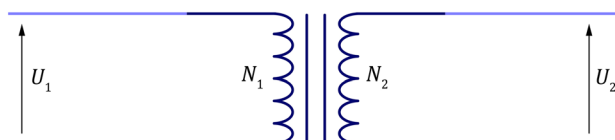


Figure 2.52 – Représentation du primaire et secondaire d'un transformateur.

Les lignes d'induction se referment à travers la masse de la carcasse qui constitue un circuit magnétique fermé et de ce fait toutes les spires du secondaire sont traversées par le même flux d'induction, également alternatif. Il apparaît donc aux bornes du secondaire une FÉM induite E_2 alternative et de même fréquence que la tension U_1 appliquée au primaire, si l'on ferme le secondaire sur les appareils d'utilisation cette FÉM E_2 fera circuler un courant I_2 également alternatif et de même fréquence que I_1 .

2.6.3 Caractéristiques d'un transformateur

2.6.3.1 Fonctionnement à vide

On dit qu'un transformateur *fonctionne à vide* lorsque le secondaire est ouvert, c'est-à-dire lorsqu'aucun appareil d'utilisation n'est branché à ses bornes. Si à l'aide du rhéostat l'on fait

¹ - Traditionnellement, l'enroulement qui reçoit l'énergie active de la source d'alimentation en service est appelé *enroulement primaire* et celui qui délivre l'énergie active à la charge *enroulement secondaire*.

varier la tension U_1 appliquée au primaire on constate que la tension U_2 recueillie au secondaire varie dans le même rapport et l'on montre que le rapport des tensions efficaces U_1 et U_2 est égale aux rapports des nombres de spires N_1 et N_2 des deux enroulements.

$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}, \quad (2.45)$$

où m – rapport de transformation ;

U_1 – tension appliquée au primaire, V ;

U_2 – tension appliquée au secondaire, V ;

N_1 – nombre des spires du primaire ;

N_2 – nombre des spires du secondaire.

Le rapport $\frac{U_2}{U_1}$ caractérise le transformateur et appelé **le rapport de transformation du transformateur (m)**.

- Si le nombre des spires du secondaire est plus grand que le nombre des spires du primaire ($N_2 > N_1$) le transformateur est appelé : *élévateur de tension* ou **Survolteur** ;
- Si le nombre des spires du secondaire est plus petit que le nombre des spires du primaire ($U_2 < U_1$) le transformateur est appelé : *Abaisseur de tension* ou **Dévolteur**.

Exercice :

1. Le rapport m de transformation d'un transformateur est 0,5.
 - a) Si $N_1 = 2000$ spires, que vaut N_2 ?
 - b) Si $U_1 = 220\text{V}$ (Courant Alternatif CA), que vaut U_2 ?
 - c) Le transformateur est survolteur ou dévolteur ?
2. Un transformateur a 1000 tours au primaire et 100 tours, au secondaire.
 - a) $m = ?$
 - b) Si $U_2 = 10\text{V}$, que vaut U_1 ?
 - c) Le transformateur est survolteur ou dévolteur ?
3. Un transformateur a 220V CA à son primaire et on retrouve 44V à son secondaire.
 - a) $m = ?$
 - b) Si $N_2 = 110$ spires, que vaut donc N_1 ?
 - c) Le transformateur est survolteur ou dévolteur ?

Solution :

1. Réponse N° 1

a) Le nombre des spires du secondaire est :

$$m = \frac{N_2}{N_1} \Leftrightarrow N_2 = \frac{N_1}{0,5} = \frac{2000}{0,5} = 4000 \text{ sp.}$$

b) La tension du secondaire est :

$$m = \frac{U_2}{U_1} \Leftrightarrow U_2 = m \cdot U_1 \Leftrightarrow U_2 = 0,5 \times 220 = 110\text{V.}$$

c) Le transformateur est dévolteur ($U_2 < U_1 \Leftrightarrow m < 1$).

2. Réponse N° 2

a) Le rapport de transformation du transformateur est :

$$m = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1000}{100} = 10.$$

b) La tension du primaire est :

$$m = \frac{U_2}{U_1} \Leftrightarrow U_1 = \frac{U_2}{m} \Leftrightarrow U_1 = \frac{10}{10} = 1V.$$

c) Le transformateur est survolteur ($U_2 > U_1 \Leftrightarrow m > 1$).

3. Réponse N° 3

c) Nous avons $U_2 = 44V < U_1 = 220V$ alors le transformateur est dévolteur.

a) Le rapport de transformation du transformateur est :

$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{44}{220} = 0,2.$$

b) Le nombre des spires du primaire est :

$$m = \frac{N_2}{N_1} \Leftrightarrow N_1 = \frac{N_2}{0,2} = \frac{110}{0,2} = 550 \text{ sp.}$$

Remarques :

Un transformateur à vide consomme très peu d'énergie électrique, dans ce cas la valeur de l'intensité I_1 dans le primaire est très faible car en absence de courant dans le secondaire, le primaire se comporte comme une bobine $R_1 + L_1$ avec L_1 très grande en raison du noyau de fer dont l'impédance¹ Z est grande.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad \text{avec : } X_L = L \cdot \omega \quad \text{et } \omega = 2\pi f, \quad (2.46)$$

où Z – impédance du circuit, Ω ;

R – résistance du circuit, Ω ;

X_L – réactance inductive, Ω ;

ω – pulsation du signal, $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$;

f – fréquence ordinaire, Hz ;

L – coefficient d'auto-induction (inductance), H.

D'autre part, $L_1 \times \omega$ étant très grande devant R_1 de l'enroulement primaire représente pratiquement une induction pure et de défaut, la tension $U \times I$ est sensiblement en quadrature avec le courant. Le $\cos(\varphi)$ de ce circuit tendant vers zéro².

1 - L'impédance électrique est par définition la généralisation de la loi d'Ohm au courant alternatif. C'est l'opposition d'un circuit électrique à un courant alternatif sinusoïdal. Cette notion sera traitée un peu plus tard.

2 - Le cosinus φ représente la valeur du déphasage angulaire entre la tension et l'intensité du courant dans un circuit alternatif, $\cos(\varphi) = R/Z = P/S$ avec : P - puissance active en watt [W] et S - puissance apparente en volt ampère [VA].

Il en résulte que la puissance moyenne $P_1 = U_1 \times I_1 \times \cos(\varphi)$ consommée dans le primaire est très faible parce que I_1 est faible et le déphasage est voisin de $\frac{\pi}{2}$.

2.6.3.2 Fonctionnement avec charge

Un transformateur est dit *en charge* lorsque son secondaire est fermé sur les appareils d'utilisation.

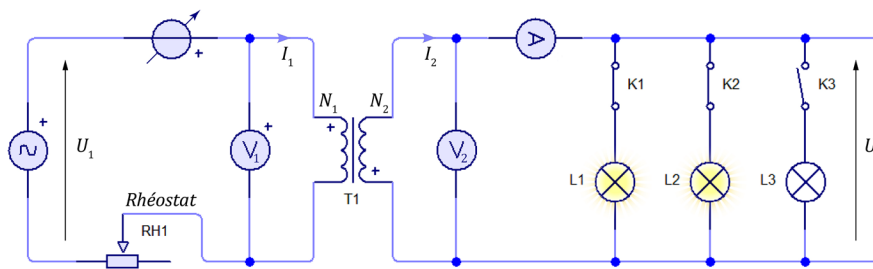


Figure 2.53 – Schéma de montage fonctionnel avec charge.

Si l'on augmente progressivement la puissance consommée au secondaire en augmentant successivement le nombre des lampes en service on constate que la puissance absorbée par le primaire augmente progressivement, il y a donc bien transfert d'énergie électrique du primaire dans le secondaire. On peut écrire que la puissance moyenne absorbée par le primaire et la puissance moyenne fournie au secondaire sont sensiblement égales.

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \phi_1 \quad \text{et} \quad P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \phi_2,$$

les facteurs de puissances $\cos(\varphi_1)$ et $\cos(\varphi_2)$ sont aussi pratiquement égaux et on a donc :

$$U_1 \cdot I_1 \cdot \cos(\varphi_1) = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos(\varphi_2),$$

comme $\cos(\varphi_1) = \cos(\varphi_2)$, il en résulte que : $U_1 \times I_1 = U_2 \times I_2$.

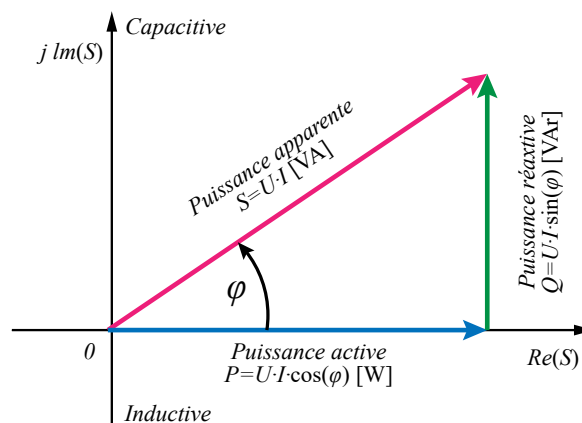


Figure 2.54 – Diagramme complexe de la puissance en régime alternatif.

On aura pour relation :

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_2}{I_1}.$$

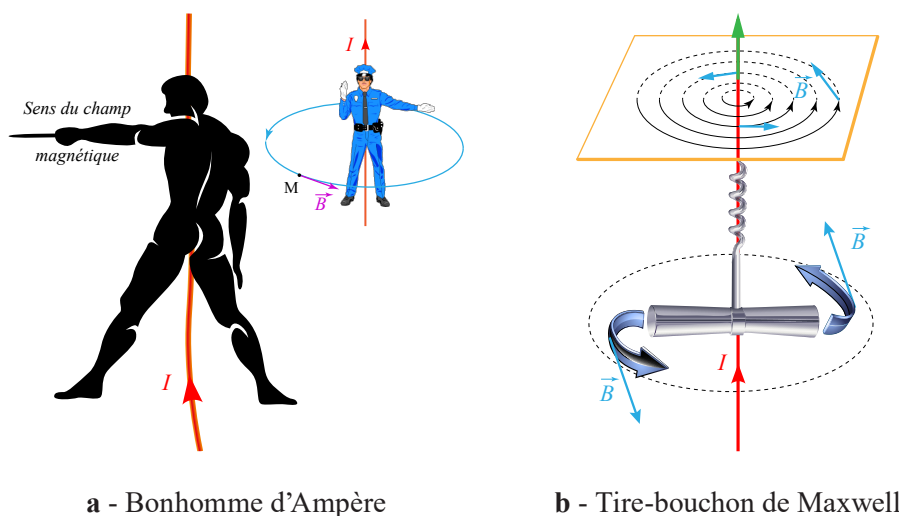
Ces trois rapports représentent les caractéristiques fondamentales d'un transformateur.

2.7 MAGNÉTISME

2.7.1 Généralité sur l'électromagnétique

Un électron au repos est entouré d'un champ électrique, tandis qu'un électron en mouvement produit en plus un champ magnétique. Donc tout conducteur parcouru par un courant électrique est entouré d'un champ électrique et d'un champ magnétique. On met en évidence ce phénomène en plaçant une aiguille aimantée au voisinage d'un conducteur¹. Dès que le courant circule, l'aiguille tend à se déplacer perpendiculairement au conducteur.

La règle d'Ampère² détermine le sens du champ magnétique autour d'un conducteur (fig. 2.55a). On suppose qu'un homme couché sur le fil à plat ventre, le courant lui rentre par les pieds, son bras gauche étendu donne le sens de déviation de l'aiguille aimantée, soit le sens de rotation des lignes de forces autour du conducteur.



a - Bonhomme d'Ampère

b - Tire-bouchon de Maxwell

Figure 2.55 – Sens du champ magnétique autour d'un conducteur.

Pour augmenter l'intensité du champ magnétique on peut donner au fil la forme d'une spire et bobiner dans l'air ou un support un certain nombre de spires parallèles. On obtient une spirale cylindrique appelée **solénoïde** ou **bobine de self-induction**.

À l'intérieur d'un solénoïde parcouru par un courant I , le champ magnétique (H) est uniforme. Son intensité est proportionnelle à l'intensité du courant en ampère et au nombre de spires par mètre. Elle s'exprime en ampère par mètre [A/m].

1 - Expérience d'Oersted.

2 - La règle du bonhomme d'Ampère : un observateur est disposé le long du conducteur de façon que le courant électrique circule de ses pieds vers sa tête. Il regarde un point M de l'espace. En ce point le champ magnétique est orienté vers sa gauche.

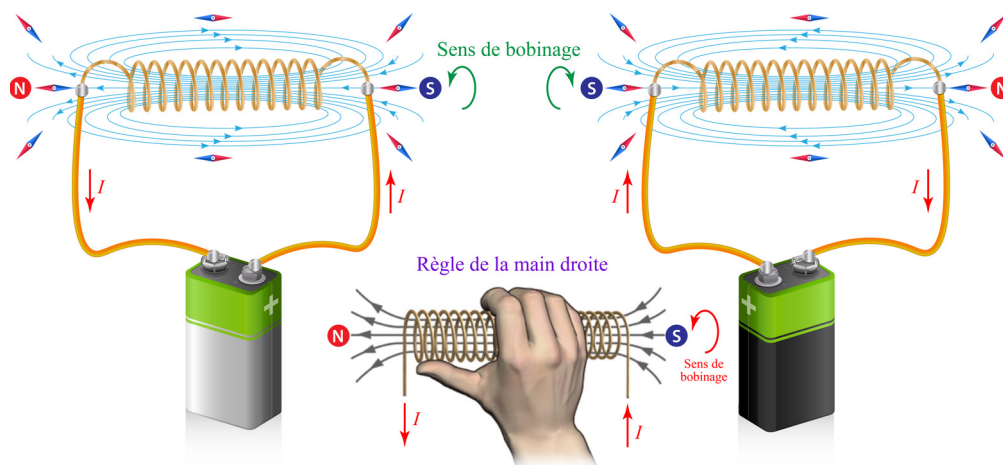


Figure 2.56 – Sens du champ magnétique dans un solénoïde.

Dans un solénoïde, les lignes de force sont parallèles à l'axe de la bobine, elles sortent par le pôle Nord et se referme par le pôle Sud. Pour trouver le sens des lignes de forces du champ magnétique, il faut appliquer *la règle tire-bouchon de Maxwell*¹ (fig. 2.55b) ou la deuxième règle de la main droite² (fig. 2.56).

Si l'on fait tourner un tire-bouchon dans le sens du courant qui parcourt les spires, il se déplace dans le sens des lignes de force à l'intérieur du solénoïde. On en déduit que le pôle par où sortent les lignes de force est un pôle Nord et que le pôle par où elles rentrent dans le solénoïde est le pôle Sud.

“ Un solénoïde parcouru par un courant est comparable à un aimant droit ”.

Le flux magnétique à travers une section d'un solénoïde est :

$$\Phi = B \cdot S = \mu \frac{N \cdot I}{l} \cdot S \quad \text{avec : } \mu = \mu_0 \cdot \mu_r, \quad (2.47)$$

où ϕ – flux magnétique, Wb ;

B – induction du champ magnétique, T ;

μ – perméabilité magnétique du matériau, H/m (les valeurs sont données à l'Annexe) ;

μ_0 – perméabilité magnétique du vide³ ($=4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$) ;

μ_r – perméabilité relative (sans dimension) ;

N – nombre de spires par unité de longueur, $n = N/l$ [$\text{n} \cdot \text{m}^{-1}$] ;

I – intensité du courant électrique, A ;

l – longueur du solénoïde (bobine), m ;

S – section du solénoïde, m^2 .

1 - La règle du tire-bouchon de Maxwell est utilisée lorsqu'il est question d'électromagnétisme : en tournant le tire-bouchon dans le sens du courant parcourant la spire, celui-ci se visse dans le sens de l'induction.

2 - La deuxième règle de la main droite établit la relation entre le sens du champ magnétique et le sens dans lequel le courant électrique se déplace dans un solénoïde (elle permet de trouver la face Nord) : le pouce de la main droite sort par la face nord de la bobine lorsque les autres doigts indiquent le sens du courant en respectant le sens de bobinage.

3 - La constante magnétique ou perméabilité du vide ou encore perméabilité magnétique du vide : $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$ ou $4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$ ou encore $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$, T étant le tesla, l'unité d'induction électromagnétique.

En principe, on donne la valeur $\mu_r = 1$ à toutes les substances qui ne sont pas ferromagnétique. C'est-à-dire à l'air, aux gaz et aux supports de bobinage tels que la bakélite, l'aluminium, le cuivre, la terre, les matières plastiques, le verre, le quartz, la céramique, etc.

Dans ce cas, il faut tenir compte des pertes par hystérésis¹ dans le métal.

Lorsqu'on mesure l'induction (B) dans un circuit magnétique en fonction du champ magnétique (H) on obtient la courbe caractéristique de l'hystérésis (fig. 2.57). Lorsque le champ croît, l'induction croît d'abord d'une façon à peu près linéaire, puis plus doucement jusqu'à la saturation. Lorsque le champ décroît, la courbe d'induction diminue plus lentement. En inversant le champ et le cycle d'hystérésis correspond à une perte dans le métal. On a intérêt à adopter des métaux ou des alliages ayant une surface de cycle le plus réduite possible.

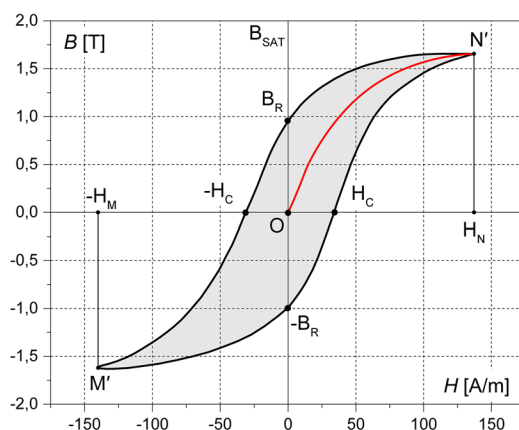


Figure 2.57 – Cycles d'hystérésis de l'aimantation d'un matériau ferromagnétique².

2.7.2 L'induction

Un courant électrique est obligatoirement accompagné par un champ magnétique. De même, *un champ magnétique variable induit un courant électrique dans un conducteur*³, c'est un courant induit. *Le courant induit a un sens tel qu'il tend à s'opposer à la variation de flux qui l'a fait naître* (Loi de Lenz)⁴.

1 - L'hystérésis (ou hystérèse), est la propriété d'un système dont l'évolution ne suit pas le même chemin selon qu'une cause extérieure augmente ou diminue.

2 - B : champ magnétique ;
 B_r : champ rémanent ;
 B_{sat} : champ de saturation ;
 H : excitation magnétique ;
 H_c : excitation coercitive.

Lorsqu'on place à l'intérieur d'une bobine un barreau de matériau magnétique, l'induction B et l'excitation magnétique H créée par la variation du courant dans les enroulements de la bobine ne sont pas proportionnelles. La courbe ON' noir représente la courbe de première alimentation d'un barreau non aimanté, la saturation commence en A : si le champ augmente, l'induction B n'augmente plus que très faiblement. Si le champ diminue jusqu'à s'annuler, l'induction est conservée en partie : le barreau est aimanté. Il reste une induction rémanente $+Br$ pour $H = 0$, il est nécessaire d'inverser le champ magnétique jusqu'à la valeur coercitive $-H_c$ pour l'annuler. Si nous réduisons H jusqu'à $-H_N$ (intensité égale à H_N) puis à zéro l'induction B dans le barreau reste à $-Br$. Les pertes par hystérésis sont proportionnelles à la surface grise et dépendent du matériau utilisé. Les aimants permanents artificiels sont réalisés avec des matériaux à fort champ coercitif.

3 - Loi de Lenz-Faraday (loi de Faraday) exprime l'apparition d'une force électromotrice dans un circuit électrique immobile dans un champ magnétique variable ou mobile dans un champ magnétique variable ou permanent.

4 - Le signe moins de la loi de Faraday résulte des conventions utilisées pour orienter la surface du circuit et définir la FÉM algébrique et, physiquement, de l'effet modérateur du courant induit que la loi de Lenz traduit qualitativement et, dans les cas simples, permet de prévoir son sens et de vérifier son signe une fois le calcul algébrique effectué.

Lorsqu'un circuit de résistance R subit une variation totale de flux $d\phi$, la quantité d'électricité induite est de :

$$Q = -\frac{d\Phi}{R}, \quad (2.48)$$

où Q – quantité d'électricité induite, C ;
 $d\phi$ – variation totale de flux magnétique, Wb ;
 R – résistance du circuit, Ω .

Le courant induit instantané :

$$I = -\frac{d\Phi}{R \cdot dt}, \quad (2.49)$$

où I – courant induit instantané, A ;
 $d\phi$ – variation totale de flux magnétique, Wb ;
 R – résistance du circuit, Ω ;
 dt – variation temporelle très petite englobant t , s.

De même, la force électromotrice induite est :

$$E = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad (2.50)$$

où E – force électromotrice induite, V ;
 $d\phi$ – variation totale de flux magnétique, Wb ;
 dt – temps pendant lequel s'est produit la variation $d\phi$, s.

Le signe négatif dans les formules (2.48), (2.49) et (2.50) traduit la loi de Lenz.

Toute variation de flux dans un circuit détermine une force électromotrice d'induction qui ne s'établit pas instantanément. La bobine est le siège d'auto-induction ou *self-induction* en anglais. C'est une induction que la bobine a créé elle-même. Le mot (*Self*) employé seul n'a donc aucun sens et c'est pourquoi l'on doit dire : Bobine ou bobine de self-induction, ou à la rigueur *inductance*.

2.7.3 Le coefficient de Self-induction

Le coefficient de self-induction est le rapport de la variation de flux à la variation du courant dans le circuit.

$$L = \frac{d\phi}{dI}, \quad (2.51)$$

où L – coefficient de self-induction, H ;
 $d\phi$ – variation totale de flux magnétique, Wb ;
 dI – variation du courant dans le circuit, A.

Si deux bobines placées l'une près de l'autre, une variation de champ magnétique de l'une entraîne une variation de flux qui traverse l'autre.

La grandeur relative de ce flux dépend des positions mutuelles des deux bobines, de leurs dimensions et de leur nombre de spires. Ce flux est grand si le couplage est important, il est faible ou nul si les deux bobines sont éloignées ou perpendiculaires. Le coefficient d'induction mutuelle entre deux circuits est de 1 henry lorsqu'un courant de 1 ampère dans l'un produit un flux d'un weber dans l'autre, soit une FÉM en volt.

Alors le coefficient de self-induction est toujours positif par définition, un coefficient d'induction mutuelle peut être négatif si les bobines sont de sens inverse.

Les lois de l'induction montrent que tout conducteur qui coupe des lignes de force est le siège d'un courant induit. Ce courant est perpendiculaire au champ inducteur et se développe dans la masse du conducteur ou de toute masse métallique. Ces courants échauffants le métal est une perte dans le circuit, ce sont *les courants de Foucault*¹.

Ces courants tendent à s'opposer au champ inducteur variable. Ils sont d'autant plus intenses que les variations de flux sont rapides. C'est pourquoi les pertes par courant de Foucault sont importantes en HF.

2.7.4 La bobine de self-induction en alternatif

Une spire conductrice tournant sur elle-même dans un champ magnétique uniforme est le siège d'une force électromotrice induite alternative.

$$E = \frac{d\Phi}{dt}.$$

La tension instantanée est : $E_{\max} \times \sin(\omega t)$. Si le circuit a une résistance R , l'intensité instantanée est :

$$i = \frac{u}{R} = \frac{E_{\max} \cdot \sin(\omega t)}{R}. \quad (2.52)$$

Les deux valeurs sont en phase et la puissance moyenne est :

$$P = E_{\max} \cdot \sin(\omega t) \times I_{\max} \cdot \sin(\omega t) \quad \text{ou :} \quad P = \frac{E_{\max}^2 \cdot \sin^2(\omega t)}{R}. \quad (2.53)$$

Pour étudier le comportement d'une bobine en alternatif il faut réaliser le schéma de la figure 2.58. Un alternateur de tension E et de fréquence f alimente en série une résistance R et une bobine L . Il est en effet impossible de construire une bobine sans résistance. Une force contre-électromotrice de self-induction naît dans le circuit en vertu de la loi de Lenz. Cette tension tend à s'opposer à celle de l'alternateur. Donc, lorsque la tension de la source croît, l'intensité dans le circuit est plus faible que ne le veut la loi d'Ohm. C'est l'inverse qui se produit lorsque la tension de la source décroît. On dit que *l'intensité est déphasée en arrière par rapport à la tension*.

¹ - Ce sont une conséquence de l'induction électromagnétique et elles sont créées dans une masse conductrice par la variation du flux du champ magnétique extérieur traversant ce milieu au cours du temps ou par un déplacement de cette masse dans un champ magnétique.

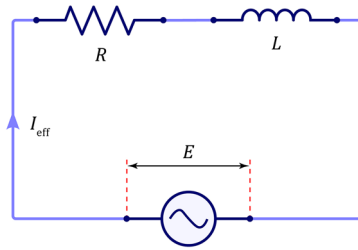


Figure 2.58 – Résistance et self-induction en courant alternatif.

2.8 COURANT ALTERNATIF

2.8.1 Définition

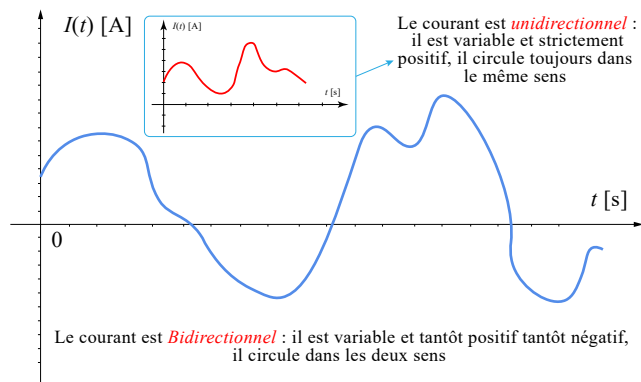
Un courant alternatif (CA, AC), c'est un courant à intensité variable dont sa valeur varie en fonction du temps. Il prend une valeur maximale et une valeur minimale appelées **amplitude**¹ à intervalles réguliers, appelés **Période**.

2.8.2 Les différentes formes du courant électrique

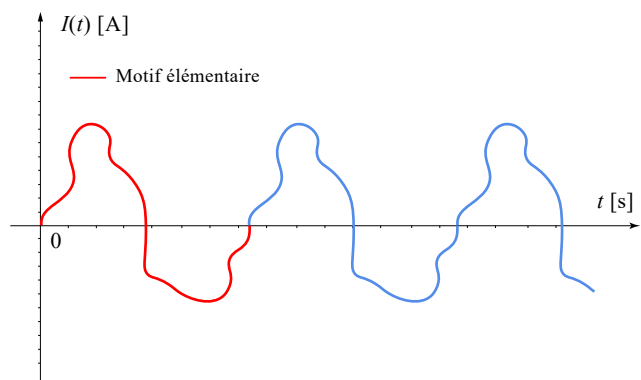
Le courant électrique peut exister sous des formes différentes, en particulier présenter une intensité variable au cours du temps.

Les schémas ci-contre représentant plusieurs types de courants variables.

a - Dans ce cas, le courant est **variable de façon quelconque** au cours du temps.



b - À intervalles réguliers appelés **périodes** de valeurs 1, le courant reprend, dans le même sens les mêmes valeurs du courant appelé **courant périodique**.



¹ - L'amplitude (ou valeur maximale) est la valeur instantanée la plus grande du signal sur une période.

c - Lorsque la variation de l'intensité est identique à celle de la fonction, sinus nous avons un courant *alternatif sinusoïdal*.

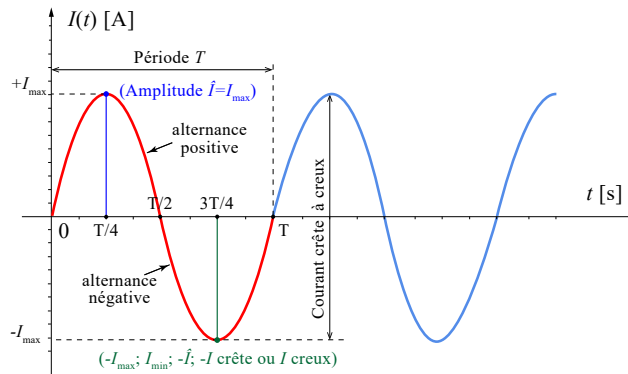


Figure 2.59 – Plusieurs types de courants variables¹.

La fonction qui définit ce courant alternatif sinusoïdal est :

$$i = \hat{I} \cdot \sin(\omega t), \quad (2.54)$$

où i – intensité instantanée du courant, A ;

\hat{I} – amplitude du courant, A ;

ω – pulsation du courant, $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$;

t – temps considéré, s.

Le courant est caractérisé par sa période T et son amplitude \hat{I} qui égale I_{max} .

Notons que : $T = \frac{2\pi}{\omega}$.

2.8.3 Définition de la période

On appelle *période* T d'un courant, l'intervalle du temps qui sépare deux passages successifs du courant par une même valeur et avec le même sens de variation.

La période T s'exprime en secondes. Durant une période, le courant prend alternativement des valeurs positives et négatives, on dit qu'une *période prend deux alternances*.

2.8.4 Définition de la fréquence

On appelle *fréquence* d'un courant alternatif, le nombre de périodes par seconde. Cette fréquence est évaluée en Hertz [Hz]. Le Hertz c'est l'unité principale de mesure de la fréquence f .

$$f = \frac{1}{T}, \quad (2.55)$$

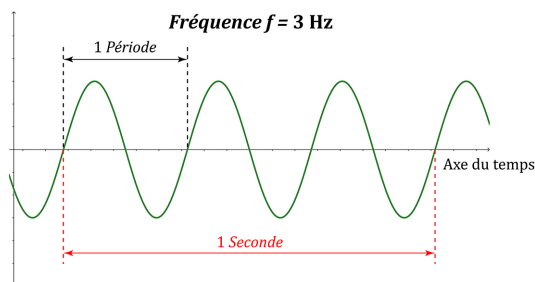
où f – fréquence du signal, Hz ;

T – période du signal, s.

¹ - Les valeurs $-I_{\text{max}}$, I_{min} , $-\hat{I}$, I crête et I creux sont identiques.

Exemples :

- **Fréquence & période :**



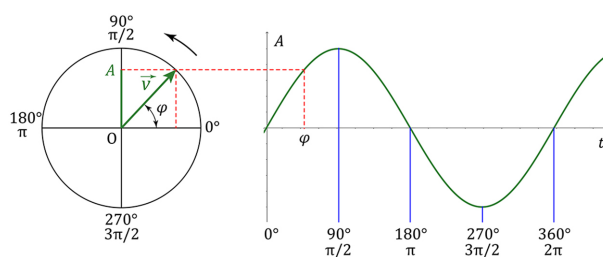
- La période d'un signal non modulé sur 3 MHz est :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{3\,000\,000} = 0,3333 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 0,3333 \mu\text{s}.$$

- La fréquence d'une émission ayant une période de 3 ns est :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{3 \cdot 10^{-9}} = 3000 \text{ MHz} = 3 \text{ GHz}.$$

- **Pulsation :**



\vec{v} est appelé **vecteur de Fresnel**. Ce vecteur tourne dans le sens trigonométrique (sens opposé à celui des aiguilles d'une montre) à une vitesse telle qu'il fait un tour complet (2π) pendant une période ($1T$). Cette vitesse angulaire est appelée **pulsation**, notée ω et exprimée en radians par seconde.

2.8.5 Caractéristiques d'un courant alternatif (sinusoidal)

Un courant alternatif est caractérisé par sa période T , sa fréquence f , et sa pulsation¹ ω évaluée en radians par seconde. Ce même courant a pour expression $i = I_{\text{max}} \times \sin(\omega t)$, dans laquelle i est l'intensité instantanée.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f, \quad (2.56)$$

où ω – pulsation du signal, $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$;

f – fréquence du signal, Hz.

¹ - La pulsation ω caractérise les phénomènes périodiques. On l'utilise en analyse spectrale à la place de la fréquence pour simplifier les expressions mathématiques.

Multiples de la fréquence :

- Le kilohertz [kHz] = 1000 Hz ;
- Le mégahertz [MHz] = 1000 000 Hz ;
- Le gigahertz [GHz] = 1000 000 000 Hz.

2.8.6 Valeurs efficaces

On appelle *intensité efficace* d'un courant alternatif, l'intensité d'un courant qui passe dans le même conducteur et en même temps fournirait la même quantité de chaleur.

On démontre que l'intensité efficace I (anciennement I_{eff}) d'un courant alternatif est égale au quotient de son amplitude (ou l'intensité maximum) \hat{I} par $\sqrt{2}$ soit :

$$I = \frac{\hat{I}}{\sqrt{2}}, \quad (2.57)$$

où I – intensité efficace, A ;

\hat{I} – intensité maximale (de crête), A.

De la même façon on définit une tension efficace U (anciennement U_{eff}) par :

$$U = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}, \quad (2.58)$$

où U – tension efficace, A ;

\hat{U} – tension maximale (de crête), A.

Les appareils de mesure en courant alternatif indiquent toujours des valeurs efficaces de la grandeur mesurée.

2.8.7 Notion de phase et de déphasage

Selon les éléments constitutifs d'un circuit les variations du courant et de la tension ne se produisent pas en même temps. On dit alors que le courant I et la tension U sont *déphasés*.

- Aux bornes d'une résistance pure : le déphasage est nul ($\phi = 0$), l'intensité et la tension U sont *en phase* c'est-à-dire qu'ils passent par leur maximum et s'annule, en changeant de sens en même instant.

- $\phi = 0$ on aura pour expression :

$$i = \hat{I} \cdot \sin(\omega t) \quad \text{et} \quad u = \hat{U} \cdot \sin(\omega t).$$

- Aux bornes d'une bobine ou self parfaite : la tension est *en avance sur l'intensité* c'est-à-dire qu'elle passe par son maximum et s'annule en changeant de sens un certain temps avant l'intensité¹.

¹ - Le signal qui atteint son maximum ou par zéro en premier est en avance de phase.

- $\phi > 0$:

$$i = \hat{I} \cdot \sin(\omega t) \quad \text{et} \quad u = \hat{U} \cdot \sin(\omega t + \phi), \quad \text{avec} : \quad \phi = \frac{\pi}{2}.$$

- Aux bornes d'un conducteur parfait : la tension est *en retard sur l'intensité* c'est-à-dire qu'elle passe par son maximum et s'annule en changeant de sens un certain temps après l'intensité.

- $\phi < 0$:

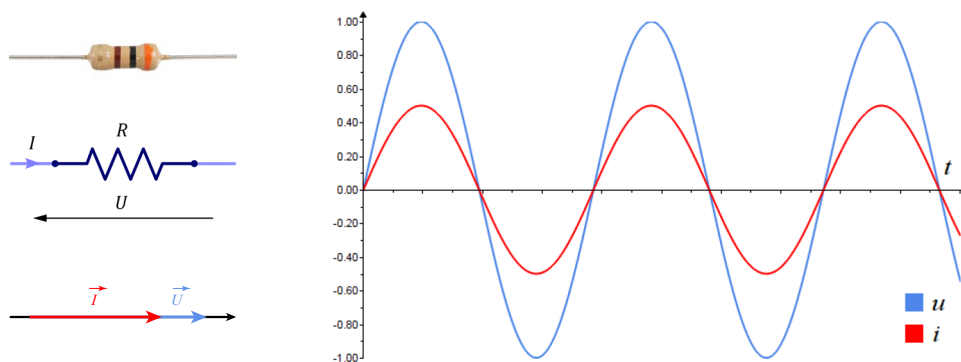
$$i = \hat{I} \cdot \sin(\omega t) \quad \text{et} \quad u = \hat{U} \cdot \sin(\omega t - \phi), \quad \text{avec} : \quad \phi = \frac{\pi}{2}.$$

L'intensité du courant I et la tension U , ont la même fréquence mais n'ont pas généralement la même phase. Leurs valeurs instantanées i et u sont de la même forme.

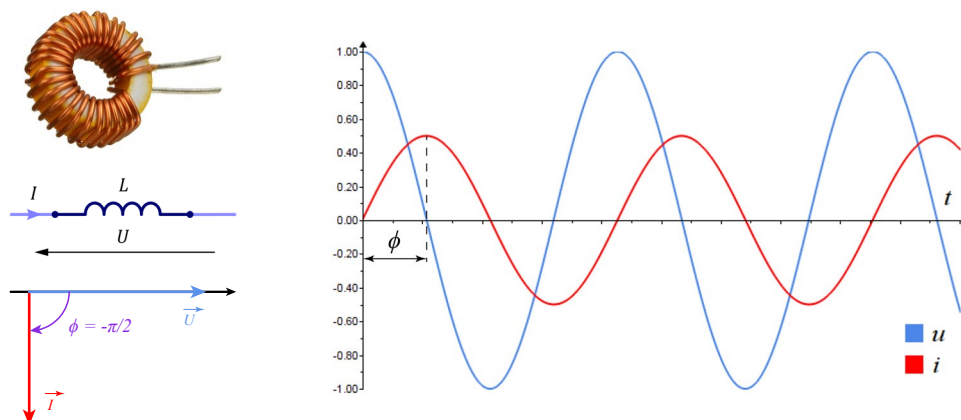
ϕ étant comme, la phase représente dans un instant t un certain angle et détermine de ce fait la valeur du sens correspondant.

Dans une portion de circuit parcouru par un courant alternatif, la différence de potentiel DDP ou tension U est également alternative.

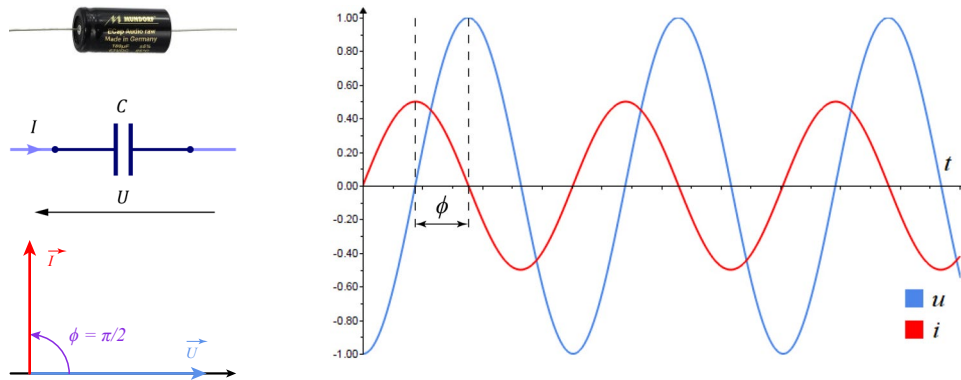
L'angle ϕ en radian compté algébriquement représente le *déphasage* de la tension par rapport à l'intensité.



a - Aux bornes d'une résistance parfaite R : i et u sont en phase



b - Aux bornes d'une self parfaite L : i en arrière par rapport à u



c - Aux bornes d'un condensateur : i en quadrature avant par rapport à u

Figure 2.60 – Notion de phase et de déphasage entre la tension U et l'intensité I .

2.8.8 Notion d'impédance

En courant alternatif, la résistance du circuit est appelée généralement *impédance* (Symbole Z), elle est exprimée en Ohms [Ω].

L'impédance d'une self (Z_L) ou plus particulièrement : *Réactance¹ inductive* proportionnelle à la valeur L du bobinage et à la pulsation ω du courant.

$$Z_L = X_L = L \cdot \omega \quad \text{avec : } \omega = 2\pi f, \quad (2.59)$$

où Z_L – impédance de la self, Ω ;

X_L – réactance inductive (inductance), Ω ;

L – coefficient d'auto-induction, H ;

ω – pulsation, $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$;

f – fréquence, Hz.

Le déphasage entre l'intensité et la tension aux bornes d'une self pure égale à $\frac{\pi}{2}$ soit 90° .

On dit que la tension U est en avance de $\frac{\pi}{2}$ par rapport à l'intensité I prise comme origine des phases.

On a donc :

$$i = \hat{I} \cdot \sin(\omega t) \quad \text{et} \quad u = \hat{U} \cdot \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}).$$

2.8.9 Construction de Fresnel²

Le vecteur I étant pris comme origine des phases, le vecteur U ayant pour mesure $L \cdot \omega \cdot I$ et étant en avance de $\frac{\pi}{2}$ par rapport à I est représenté par la figure ci-dessous :

1 - La réactance d'un circuit électrique est la partie imaginaire de son impédance induite par la présence d'une inductance ou d'un condensateur dans le circuit. La réactance est notée X et s'exprime en ohms [Ω].

2 - La représentation de Fresnel (diagramme de Fresnel) est un outil graphique permettant d'ajouter, de soustraire, de dériver et d'intégrer des fonctions sinusoïdales de même fréquence.

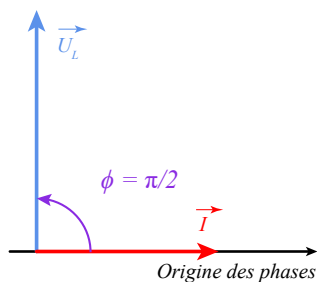


Figure 2.61 – Représentation de Fresnel de U_L .

2.8.10 Impédance des condensateurs

L'impédance d'un condensateur (Z_C ou X_C) ou *réactance capacitive* est inversement proportionnelle à la valeur capacitive d'un condensateur.

$$Z_C = X_C = \frac{1}{C \cdot \omega}. \quad (2.60)$$

où Z_C – impédance du condensateur, Ω ;

X_C – réactance capacitive, Ω ;

C – capacité électrique, F ;

ω – pulsation, $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

Le déphasage entre la tension U et l'intensité I aux bornes d'un condensateur parfait est égal à $\frac{\pi}{2}$ soit 90° , on dit que la tension U est en retard de $\frac{\pi}{2}$ par rapport à l'intensité I prise comme origine des phases.

On a donc : $i = \hat{I} \cdot \sin(\omega t)$ et $u = \hat{U} \cdot \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$.

Le vecteur \vec{I} étant pris comme origine des phases, le vecteur \vec{U} ayant pour mesure $\frac{I}{C \cdot \omega}$ et étant en retard de $\frac{\pi}{2}$ par rapport à l'intensité I est représentée par la figure ci-dessous.

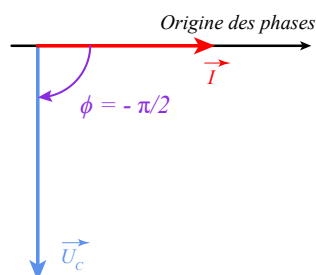


Figure 2.62 – Représentation de vectorielle de U_C .

Ainsi l'expression de la tension U_C sera comme suit :

$$U_C = X_C \cdot I = \frac{1}{C \cdot \omega} \times I = \frac{I}{C \cdot \omega}, \quad (2.61)$$

- où U_C – tension aux bornes du capacitor, V ;
 X_C – réactance capacitive (capacitance), Ω ;
 I – intensité du courant, A ;
 C – capacité électrique, F ;
 ω – pulsation, rad/s.

2.8.11 Résistance pure parcourue par un courant alternatif

2.8.11.1 Définition

On appelle *résistance pure* une portion de circuit dans laquelle intervient seule la résistance R , à l'exclusion de toute inductance ou capacitance. La valeur en Ohms d'une résistance pure est la même en courant alternatif basse fréquence qu'en courant continu.

Les variations de la fréquence aux bornes d'une résistance pure n'entraînent aucune modification de phase ou d'amplitude entre l'intensité et la tension, par contre en faisant varier R les amplitudes du courant I et de la tension U varient.

On peut donc dire :

À chaque instant, l'intensité I est proportionnelle à la tension U aux bornes de la résistance pure.

La loi d'Ohm est donc applicable :

$$U_R = R \cdot I.$$

Le déphasage entre l'intensité I et la tension U aux bornes de la résistance pure est nulle.

$$i = \hat{I} \cdot \sin(\omega t) \text{ et } u = \hat{U} \cdot \sin(\omega t), \varphi = 0.$$

Le vecteur I étant pris comme origine des phases, le vecteur U ayant pour mesure $R \times I$ et étant en phase avec I est représenté par la figure ci-dessous :



Figure 2.63 – Représentation vectorielle de I et U_R aux bornes de la résistance pure.

2.8.12 Résistance pure et inductance en série (circuit RL série)

Nous avons supposé que nous placions dans le circuit une self pure. En effet, un bobinage tel qu'il soit, présente toujours un coefficient de self-induction L et une certaine résistance ohmique R . Nous avons donc seulement réalisé un montage dans lequel les effets de la résistance R étaient négligeables devant ceux de l'induction L .

Nous avons pu ainsi analyser un circuit constitué d'une résistance pure puis un second circuit constitué d'une self pure.

À l'aide des résultats obtenus nous allons étudier les caractéristiques d'un circuit constitué d'un bobinage d'inductance L et de résistance R et parcouru par un courant alternatif.

Nous représentons ce circuit par la figure ci-dessous :

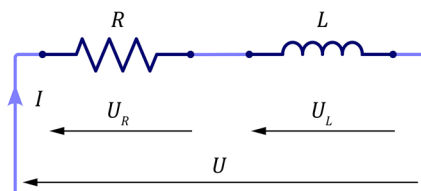


Figure 2.64 – Schéma d'un circuit RL série.

Soit I l'intensité du courant alternatif de pulsation ω traversant la résistance et l'inductance en série. Nous savons que ce courant fait apparaître aux bornes de R une différence de potentiel U_1 , égale à $R \times I$ en phase avec le courant I .

Aux bornes de L , il y a une DDP U_2 égale à $L \times \omega \times I$ et en avance de $\frac{\pi}{2}$ par rapport au courant I . Représentons vectoriellement, ces deux tensions.

L'intensité étant la même en tous les points d'un circuit série, prenons la comme origine des phases.

- En phase avec l'intensité portons le vecteur \vec{U}_1 , de valeur $R \times I$;
- En avance de $\frac{\pi}{2}$ par rapport à I portons le vecteur \vec{U}_2 , de valeur $L \times \omega \times I$;
- Le vecteur \vec{U} somme vectorielle des vecteurs \vec{U}_1 et \vec{U}_2 représente la différence de potentiel aux bornes de bobinage.

Caractéristiques de la tension U aux bornes du bobinage RL :

a) L'impédance Z :

Reprenons les éléments sous la forme du triangle BÂC.

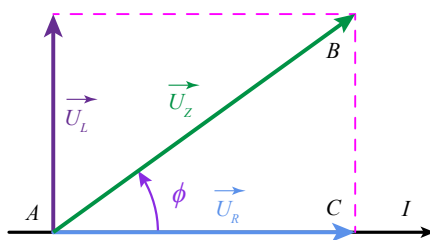


Figure 2.65 – Diagramme vectoriel d'un circuit RL série.

D'après le théorème de Pythagore, nous avons la relation :

$$U_Z^2 = U_R^2 + U_L^2 = R^2 \cdot I^2 + L^2 \cdot \omega^2 \cdot I^2, \quad (2.62)$$

$$U_Z^2 = I^2 (R^2 + L^2 \cdot \omega^2) \text{ soit : } U_Z = I \cdot \sqrt{R^2 + L^2 \cdot \omega^2}.$$

L'impédance Z de la portion de circuit RL aux bornes de laquelle apparaît la tension $U_Z = Z \cdot I$ a donc pour expression :

$$Z = \frac{U_Z}{I} = \sqrt{R^2 + L^2 \cdot \omega^2}, \quad (2.63)$$

où Z – impédance du circuit, Ω ;

R – résistance du circuit, Ω ;

L – coefficient d'auto-induction, H ;

ω – pulsation, rad/s.

b) Déphasage :

Le même triangle BÂC permet de calculer le déphasage ϕ entre la tension et l'intensité.

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{L \cdot \omega \cdot I}{R \cdot I}. \quad (2.64)$$

La tension U aux bornes du circuit série RL est en avance sur l'intensité d'un angle tel que :

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{L \cdot \omega}{R} \quad (\phi > 0).$$

Exercice :

On applique une tension de 220V de fréquence 50 Hz entre les bornes d'un dipôle comportant un résistor $R = 30\Omega$ en série avec le réacteur $L = 0,16\text{H}$.

Calculez :

- 1) L'impédance du dipôle ;
- 2) Le courant I .

Solution :

La réactance : $X_L = L \cdot \omega = 0,16 \times 100 \times \pi = 50$;

1. L'impédance : $Z = \sqrt{R^2 + L^2 \cdot \omega^2} = \sqrt{900 + 2500} = \sqrt{3400} = 58,3\Omega$;
2. Le courant : $I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{58,3} = 3,78\text{A}$.

2.8.12 Circuit RLC série

1. Loi des dipôles en série :

- a) Soit un circuit série composé de trois dipôles orientés selon la convention récepteur (fig. 2.66).

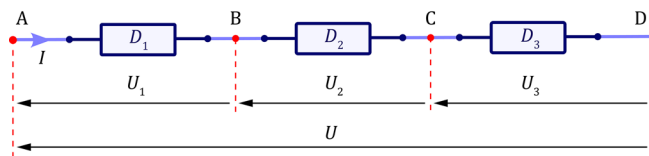


Figure 2.66 – Dipôles orientés selon la convention récepteur.

b) **Courant** : il est commun aux trois dipôles, donc :

- Sa valeur instantanée i est commune ;
- Sa valeur efficace I est commune.

c) **Tension** : à chaque instant la tension u entre A et D est, d'après la loi des branches égale à la somme des tensions partielles.

$$u = u_1 + u_2 + u_3.$$

d) **Puissance** : d'après le principe de conservation de l'énergie, la puissance consommée par l'ensemble $D_1D_2D_3$ est égale à la somme des puissances consommées par chaque dipôle.

- Chaque instant :

$$p = u \cdot i = i(u_1 + u_2 + u_3) = u_1 \cdot i + u_2 \cdot i + u_3 \cdot i.$$

- En valeur moyenne : $P = P_1 + P_2 + P_3$.

e) **En sinusoïdal** : les lois précédentes sont toujours vraies quelle que soit la tension appliquée, si celle-ci est sinusoïdale nous pouvons en outre écrire la relation entre les vecteurs de Fresnel des tensions.

$$\vec{U} = \vec{U}_1 + \vec{U}_2 + \vec{U}_3. \quad (2.65)$$

2. Dipôle complet le plus simple :

a) Constitution : il comprend trois éléments en série : un résistor parfait, un réacteur parfait et un condensateur parfait (fig. 2.67). Nous le symboliserons par l'ensemble RLC.

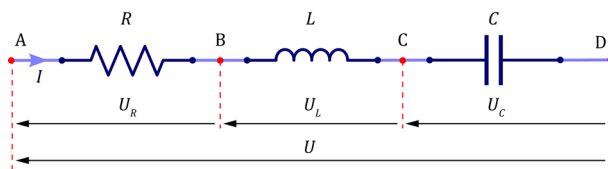


Figure 2.67 – Schéma du circuit RLC série.

b) Les lois précédentes s'appliquent à ces particuliers, nous allons les exploiter pour trouver des formules numériquement utilisables.

c) Le courant étant commun, c'est lui que nous choisirons pour origine des phases.

$$i = I \cdot \sqrt{2}.$$

d) Par rapport à ce courant :

- La tension U_R aux bornes du résistor est phase ;
- La tension U_L aux bornes du réacteur est en quadrature avant ;
- La tension U_C aux bornes du condensateur est en quadrature arrière.

La mise en place de ces trois tensions sur le même graphique de Fresnel donne la figure 2.68.

e) D'après la loi d'addition des tensions, la tension u entre A et D est représentée par le vecteur somme :

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C = (\vec{U}_R + \vec{U}_L) + \vec{U}_C = \vec{U}_{RL} + \vec{U}_C.$$

Ce vecteur est tracé en vert sur la figure.

L'angle (I, U) donne le déphasage du courant commun par rapport à la tension totale.

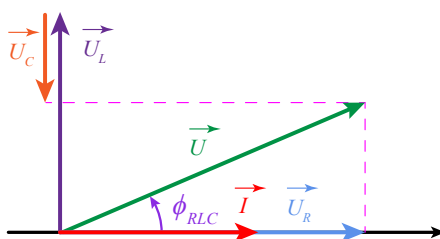


Figure 2.68 – Diagramme vectoriel du circuit RLC série.

f) **Triangle des tensions :**

- La construction précédente se simplifie si nous effectuons d'abord la somme partielle des deux vecteurs U_L et U_C en opposition.

$$\vec{U} = \vec{U}_R + \vec{U}_L - \vec{U}_C = (\vec{U}_L - \vec{U}_C) + \vec{U}_R = \vec{U}_{LC} + \vec{U}_R.$$

- Enfin les vecteurs peuvent être placés bout à bout comme sur la figure 2.69.

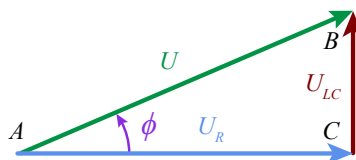


Figure 2.69 – Triangle des tensions de l'ensemble RLC.

La somme $\vec{U} = \vec{AB}$ des trois vecteurs a pour module l'hypoténuse du triangle ACB dont les côtés de l'angle droit sont U_R et $(U_L - U_C)$, ce triangle est appelé **triangle des tensions**.

Remarquons que l'angle $\hat{CAB} = \phi$ est l'angle de déphasage du courant par rapport à la tension avec le courant totale U_R puisque U_R est en phase avec le courant I .

Le théorème de Pythagore nous permet d'écrire la relation du triangle des tensions.

$$U^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2. \quad (2.66)$$

g) Impédance du dipôle RLC :

Nous connaissons les trois relations :

$$U_R = R \cdot I \quad ; \quad U_L = L \cdot \omega \cdot I \quad \text{et} \quad U_C = \frac{I}{C \cdot \omega}.$$

Portées dans (2.66), elles nous donnent :

$$U^2 = R^2 \cdot I^2 + \left(L \cdot \omega \cdot I - \frac{I}{C \cdot \omega} \right)^2 = I^2 \left(R^2 + \left(L \cdot \omega - \frac{1}{C \cdot \omega} \right)^2 \right),$$

soit donc :

$$U = I \cdot \sqrt{R^2 + \left(L \cdot \omega - \frac{1}{C \cdot \omega} \right)^2}.$$

Par définition, l'impédance d'un dipôle est $Z = \frac{U}{I}$ soit :

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L \cdot \omega - \frac{1}{C \cdot \omega} \right)^2}. \quad (2.67)$$

où Z – impédance du circuit, Ω ;

R – résistance du circuit, Ω ;

L – coefficient d'auto-induction, H ;

I – intensité du courant, A ;

C – capacité électrique, F ;

ω – pulsation, rad/s.

h) Triangles des impédances : la formule (2.67) nous montre que Z est l'hypoténuse

du triangle dont les côtés de l'angle sont R et $\left(L \cdot \omega - \frac{1}{C \cdot \omega} \right)^2$.

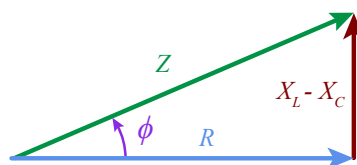


Figure 2.70 – Triangle des impédances de l'ensemble RLC.

On peut l'obtenir en divisant par I les côtés du triangle des tensions, les deux triangles sont donc semblables et nous retrouvons l'angle dans le triangle des impédances.

i) Déphasage :

Nous pouvons l'exprimer à l'aide de l'un ou l'autre des triangles (fig. 2.69 & 2.70).

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} \quad \text{et} \quad \cos \varphi = \frac{U_R}{U}.$$

Dans la seconde figure (2.70) :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} ; \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z} \quad \text{et} \quad \sin \varphi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{Z}.$$

Résumée :

a) **Cas étudié** : les graphiques de la figure 2.68 et des suivantes sont exécutés en supposant que la tension U_L est supérieure à U_C . Il en résulte que :

$$\text{Si } U_L > U_C \quad \text{soit : } L \cdot \omega \cdot I > \frac{I}{C \cdot \omega} \quad \text{c'est que : } L\omega > \frac{1}{C \cdot \omega}.$$

- La réactance de l'inductance est, dans ce cas supérieure à la réactance de la capacité ; $\vec{U}_L + \vec{U}_C$ est en quadrature avant du courant.
- La tension totale U est en avance sur le courant et évidemment le courant est en retard sur la tension U ;
- Le déphasage $\varphi = (\vec{I} \cdot \vec{U})$ est positif et sa tangente $\varphi > 0 \Leftrightarrow \operatorname{tg} \varphi > 0$.
- Globalement, le dipôle est *inductif*.

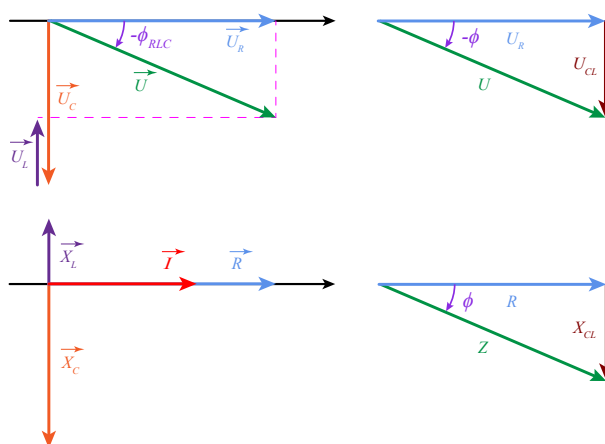


Figure 2.71 – Triangles des tensions et des impédances (cas $U_C > U_L$).

b) **L'autre cas** : supposant maintenant que U_C soit plus grand que U_L , et exécutons la figure 2.71, le nouveau triangle des tensions et enfin le nouveau triangle des impédances, nous constatons que dans ce cas :

Si $U_C > U_L$ soit : $L \cdot \omega \cdot I < \frac{I}{C \cdot \omega}$ c'est que : $L\omega < \frac{I}{C \cdot \omega}$.

- La réactance de l'inductance est inférieure à la réactance de la capacité, $\vec{U}_L + \vec{U}_C$ est en quadrature arrière du courant ;
- La tension totale \vec{U} est en retard sur le courant, donc celui-ci est en avance sur \vec{U} ;
- Le déphasage $\varphi = (\vec{I} \cdot \vec{U})$ est négatif et sa tangente aussi $\varphi < 0 \Leftrightarrow \text{tg}\varphi < 0$;
- Globalement, le dipôle est *capacitif*.

c) **Cas exceptionnel** : Il arrive que $U_L = U_C$ alors :

Si $U_C = U_L$ soit : $L \cdot \omega \cdot I = \frac{I}{C \cdot \omega}$ c'est que : $L\omega = \frac{I}{C \cdot \omega}$.

La différence de $U_L = U_C$ étant nulle, la tension totale est égale à la tension aux bornes du résistor $\vec{U} = \vec{U}_R$.

Le déphasage $\varphi = (\vec{U} \cdot \vec{I}) = 0$ et le courant est en phase avec la tension (fig. 2.72).

Extérieurement, le dipôle se comporte comme un résistor parfait, on dit qu'il y a la **Résonance**¹.

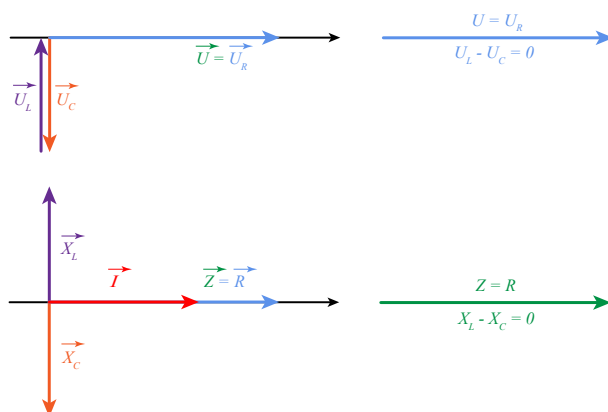


Figure 2.72 – Représentation de la tension et de l'impédance (cas $U_C = U_L$).

2.9 PHÉNOMÈNE DE LA RÉSONANCE

2.9.1 Conditions de la résonance

Vu que les deux tensions \vec{U}_L et \vec{U}_C sont en opposition, elles pouvaient avoir la même valeur efficace $U_L = U_C$ si les réactances $X_L = L\omega$ et $X_C = \frac{1}{C \cdot \omega}$ étaient égales (fig. 2.72).

¹ - Le phénomène de la sensibilité de certains systèmes physiques (électriques, mécaniques...) à certaines fréquences. Si l'énergie est appliquée sous forme périodique proche de la fréquence de résonance, le système résonant peut l'accumuler et donc ce sera le siège d'oscillations plus importantes, jusqu'à atteindre le régime d'équilibre qui dépend de ses éléments dissipatifs, ou jusqu'à la rupture d'un de ses composants.

La relation $L \cdot \omega = \frac{1}{C \cdot \omega}$ soit encore $L \cdot C \cdot \omega^2 = 1$ est la condition de résonance.

Cette condition peut être réalisée de trois façons :

- En faisant varier la pulsation ω de la source d'alimentation avec un circuit RLC immuable ;
- En conservant la pulsation ω de la source et l'inductance mais en faisant varier la capacité ;
- En conservant la pulsation ω de la source et la capacité, mais on faisant varier l'inductance.

2.9.2 Propriétés de la résonance

a) **Impédance** : la différence $L \cdot \omega - \frac{1}{C \cdot \omega}$ étant nulle : $Z = R$;

b) **Courant** : il a la même valeur que si le circuit était purement résistif $I = \frac{U}{R}$;

c) **Déphasage** : les deux tensions \vec{U}_L et \vec{U}_C ayant une somme nulle, la tension de résistor est égale à la tension appliquée et le déphasage du courant sur celle-ci est nul : $\varphi = (\vec{I} \cdot \vec{U}) = 0$.

Le facteur de la puissance est bien sûr : $\cos \varphi = 1$ et $\text{tg} \left(\frac{L \cdot \omega - \frac{1}{C \cdot \omega}}{R} \right) = 0$.



Chapitre III
RADIOÉLECTRICITÉ

3 RADIOTÉLECTRICITÉ

3.1 LES SEMI-CONDUCTEURS

L'étude et la technologie des semi-conducteurs est complexe, il suffira de savoir passer des schémas d'utilisation des tubes à ceux des diodes et transistors.

L'avantage des semi-conducteurs est la simplification de l'alimentation, pas de tension de chauffage ni de haute tension, une basse tension continue suffit.

Les deux semi-conducteurs usuels sont le germanium¹ et le silicium² auxquels on a incorporé une faible dose d'impureté. Suivant la nature de ces impuretés on obtient un semi-conducteur de type P (avec l'indium³ ou le gallium⁴). Le type N apporte un excès d'électrons (le type P, un manque d'électrons).

3.1.1 Diode à pointe

Une pointe métallique très fine est appliquée sur une parcelle de semi-conducteur N. On obtient un effet de conduction dans le sens pointe semi-conducteur.

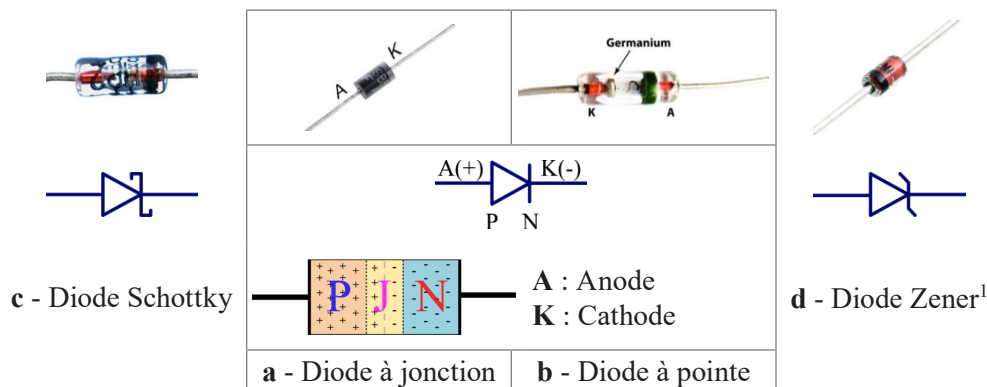


Figure 3.1 – Quelques types de diodes.

Ces diodes à pointe conviennent très bien pour la détection des signaux HF. Pour le redressement de courants plus importants, on utilise des diodes à Jonction.

3.1.2 Diode à jonction

On associe un semi-conducteur P avec un semi-conducteur N. Si l'on applique une tension (+) du côté P, le courant circule dans le circuit (fig. 3.2a) la diode est conductrice.

- 1 - Élément chimique de numéro atomique 32 et de symbole Ge. Il appartient au groupe 14 du tableau périodique. Ce semi-conducteur cristallise avec la même structure que le diamant, tout comme le silicium.
 - 2 - Élément chimique de numéro atomique 14 et de symbole Si. Il appartient au groupe 14 du tableau périodique et c'est l'élément le plus abondant dans la croûte terrestre.
 - 3 - Élément chimique de numéro atomique 49, de symbole In. Ce corps simple est un métal gris brillant.
 - 4 - Élément chimique de numéro atomique 31, de symbole Ga. Il appartient au groupe 13 du tableau périodique ainsi qu'à la famille des métaux pauvres. Ce corps simple est un métal.
- 1 - La diode Zener est une diode au silicium conçue pour faire passer le courant inverse, mais cela ne peut être fait que lorsque la tension à ses bornes est supérieure au seuil d'avalanche. Habituellement utilisée pour la régulation de tension, la suppression des pics (pointes) de tension.

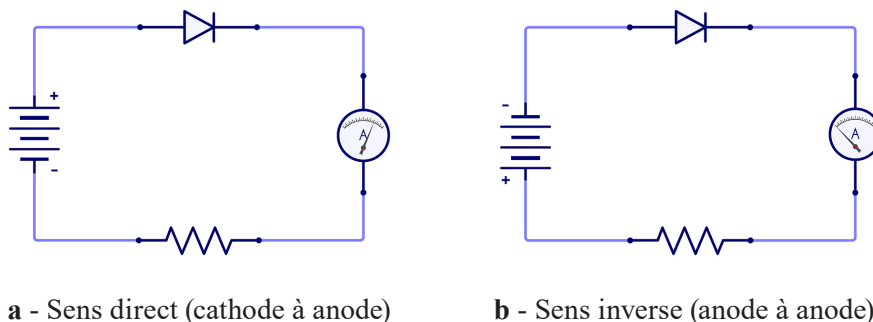


Figure 3.2 – Polarisation sens direct et inverse d'une diode.

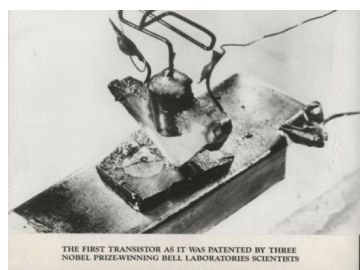
Si l'on applique une tension (–) toujours du côté P, le courant ne circule pas (fig. 3.2b).

La diode à jonction est donc une composante qui laisse passer le courant dans un seul sens : de l'anode vers la cathode.

3.1.3 Les transistors

Un transistor est un dispositif semi-conducteur à trois électrodes actives, qui permet de contrôler un courant ou une tension sur l'électrode de sortie (le collecteur pour le transistor bipolaire et le drain sur un transistor à effet de champ) grâce à une électrode d'entrée (la base sur un transistor bipolaire et la grille pour un transistor à effet de champ).

Les premiers transistors étaient à pointes (img. 3.1a). Deux pointes métalliques très près l'une de l'autre s'appuyaient sur un cristal de germanium de type N qui remplissait le rôle de base.



a - Premier transistor à pointes



b - NPN à jonction en alliage de Ge¹

Image 3.1 – Exemples des premiers prototypes du transistor.

Les transistors actuels sont à jonction. Ils comprennent deux parties P séparées par une partie N.

L'émetteur est toujours représenté par une flèche.

La partie intercalée N est appelée **la base**. Les parties P sont respectivement **l'émetteur** et **le collecteur** (fig. 3.3).

¹ - L'anode est l'électrode qui donne les électrons et la cathode est l'électrode qui capte les électrons. Pour les générateurs, l'anode est le pôle négatif. Pour l'électrolyse et les appareils passifs l'anode est le pôle positif.

¹ - Utilisé dans IBM 1401.

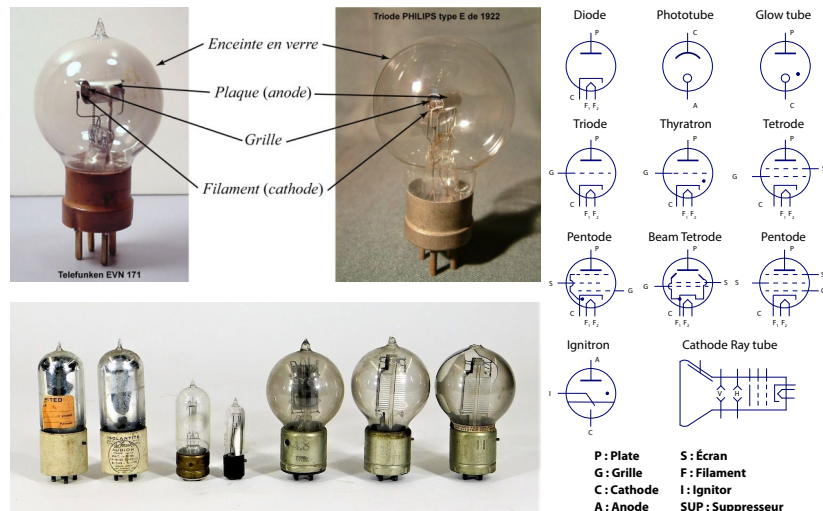
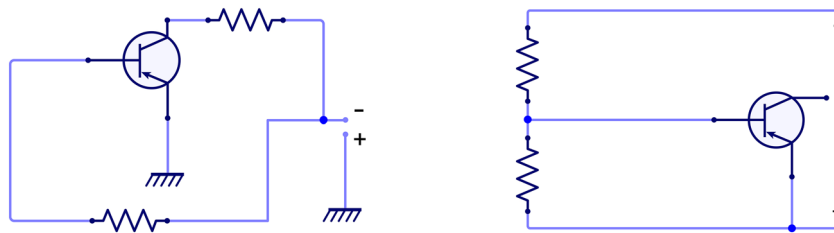


Image 3.2 – Exemples de lampes & tubes électroniques (*vacuum tube*).

3.1.3.1 Transistor PNP

Dans le transistor PNP la tension du collecteur est négative (donc positive côté émetteur), celle de base est négative (plus faiblement que le collecteur).



a - À travers R élevée au pôle (-)

b - Par l'intermédiaire d'un pont

Figure 3.5 – Polarisation de la base du transistor PNP.

On peut polariser celle-ci en la reliant à travers une résistance élevée au pôle négatif de la tension collecteur (fig. 3.5a) ou encore par l'intermédiaire d'un pont (fig. 3.5b), une seule batterie d'alimentation suffit.

3.1.3.2 Transistor NPN

Il est possible d'intervenir les types de semi-conducteurs. Il faut alors inverser les polarités : c'est une tension positive que l'on applique au collecteur C, la base B est polarisée positivement.

On distingue les deux sortes NPN ou PNP par le sens de la flèche de l'émetteur, vers l'extérieur pour un NPN, vers le transistor pour un PNP (fig. 3.3b).

Le principe de fonctionnement reste le même, quel que soit le type utilisé.

3.1.3.3 Les trois montages fondamentaux

3.1.3.3.1 Montage émetteur commun (EC)

C'est le montage le plus fréquent. Les signaux sont appliqués à la base qui est donc l'électrode de commande, comme la grille l'était dans le tube. Les signaux amplifiés sont recueillis entre le collecteur et l'émetteur.

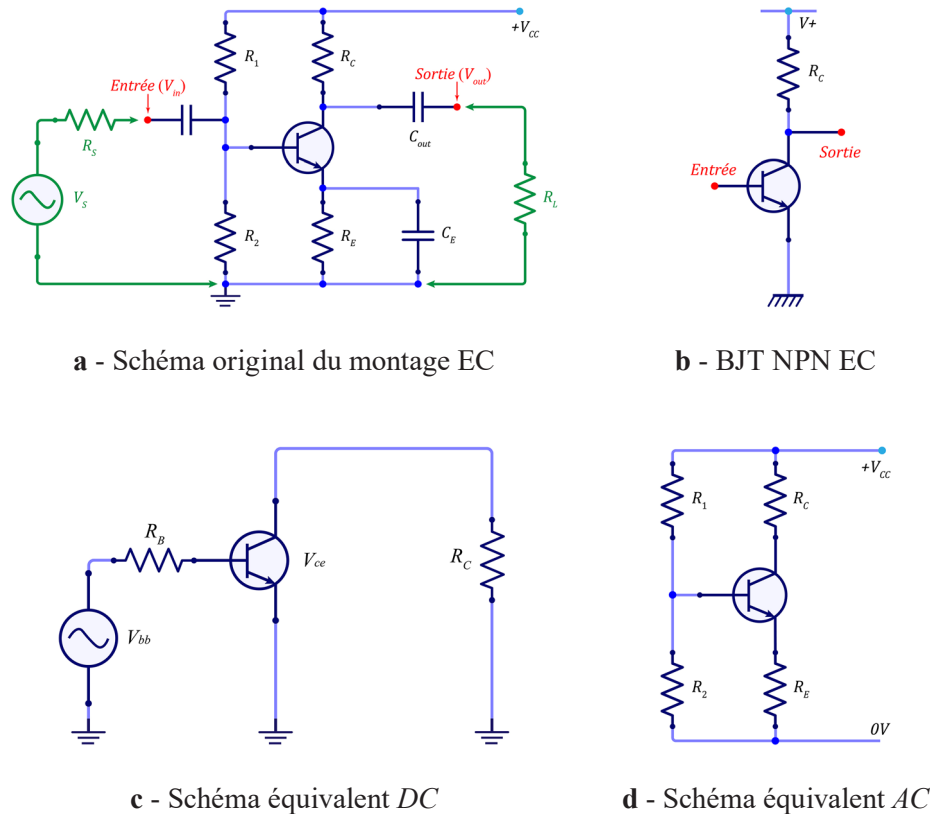


Figure 3.6 – Montage NPN émetteur commun (EC)¹.

R_1 et R_2 constituent un pont (ou diviseur de tension) pour la polarisation de la base, R_C est la résistance de charge sur laquelle on recueille les tensions alternatives amplifiées produites par les variations de courant collecteur qui elles-mêmes sont produites par les faibles variations du courant de base.

Ce montage est caractérisé par une impédance d'entrée moyenne (200 à 2000 Ω) et une impédance de sortie assez forte (10 k Ω à 100 k Ω), il assure une bonne amplification de tension et de courant, donc de puissance.

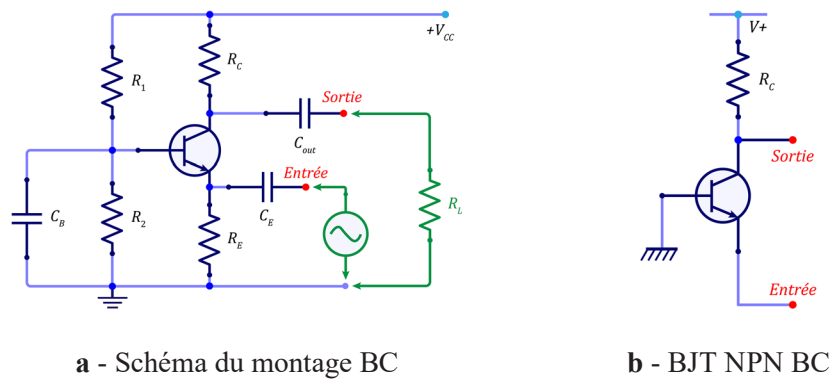
3.1.3.3.2 Montage base commune (BC)

Ce montage est excellent comme amplificateur. Les signaux sont appliqués à l'émetteur qui est donc l'électrode de commande.

Ce montage est caractérisé par une impédance d'entrée assez faible (quelques dizaines d'ohms à un millier d'ohms), une impédance de sortie élevée (500 k Ω à 1 M Ω) et une amplification

¹ - C_E est un condensateur de découplage, il va envoyer les signaux alternatifs vers la masse (0V) ce qui aura pour effet d'augmenter fortement le gain de l'amplificateur BF (basse fréquence).

de courant inférieure à 1 mais une forte amplitude de tension. Ce montage convient pour attaquer une haute impédance.



a - Schéma du montage BC

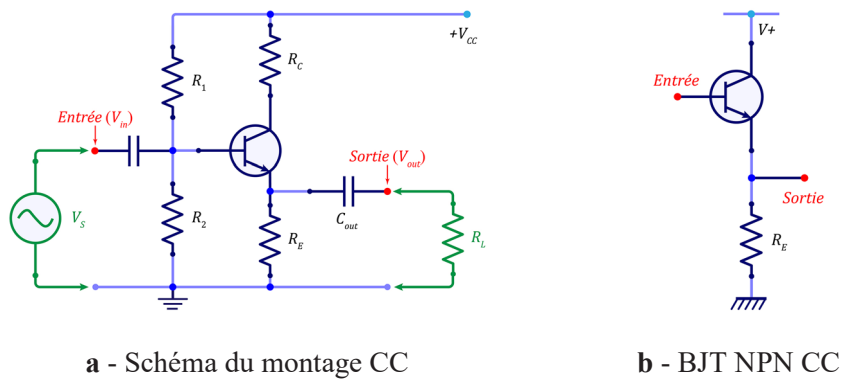
b - BJT NPN BC

Figure 3.7 – Montage NPN base commune (BC).

3.1.3.3 Montage collecteur commun (CC)

Les signaux sont appliqués sur la base et recueillis sur l'émetteur.

Le gain de tension de l'ensemble collecteur commun est proche de l'unité. Cela signifie que si la charge connectée à la sortie n'est pas trop importante, le signal alternatif présent à son entrée sera presque le même en sortie (fig. 3.8a).



a - Schéma du montage CC

b - BJT NPN CC

Figure 3.8 – Montage NPN collecteur commun (CC).

Ce montage est caractérisé par une forte impédance d'entrée (0,2 à 1 MΩ) et une faible impédance de sortie (50 à 500Ω). Il convient pour attaquer une faible impédance.

3.1.3.4 Gain du transistor

On appelle *amplification* β du transistor monté en émetteur commun, le rapport de la variation du courant collecteur à la petite variation du courant de base.

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}. \quad (3.1)$$

Afin de tracer les courbes des caractéristiques de transfert du transistor BJT NPN monté en émetteur commun, il est nécessaire de réaliser le montage de la figure ci-dessous.

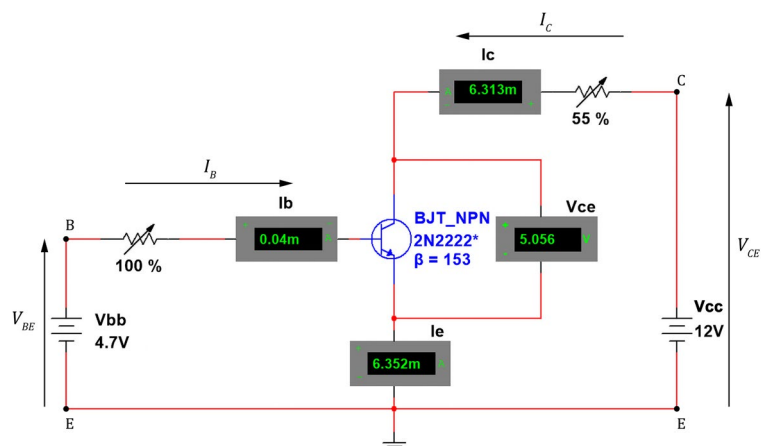


Figure 3.9 – Circuit permettant de relever les caractéristiques du transistor¹.

Les grandeurs électriques utilisées sont :

- I_B : intensité de base ;
- I_C : intensité collecteur ;
- V_{BE} : tension base émetteur ;
- V_{CE} : tension collecteur émetteur.

Dans un premier temps, on fixe la tension V_{CE} à l'aide de R_2 . Puis dans un second temps, on règle R_1 de façon à faire varier le courant I_B . Il suffit de relever la valeur du courant I_C pour chaque valeur particulière du courant I_B .

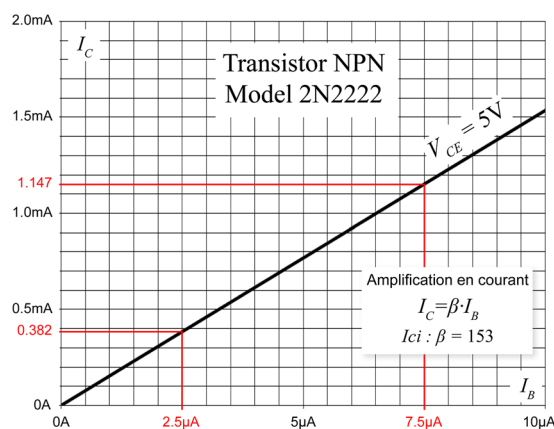


Figure 3.10 – Caractéristiques de transfert d'un transistor BJT NPN.

1 - V_{CC} : Alimentation du circuit Collecteur.

V_{BB} : Alimentation du circuit Base.

V_{BB} permet de polariser en direct la jonction base-émetteur. La résistance variable R_1 permet de faire varier le courant de base I_B .

V_{CC} polarise en inverse la jonction collecteur-base. La résistance R_2 permet de faire varier la tension V_{CE} .

Ainsi la figure 3.10 donne la courbe du courant collecteur en fonction du courant de base, une variation du courant de base de $7,5 - 2,5 = 5 \mu\text{A}$ provoque une variation du courant collecteur de $1,147 - 0,382 = 0,765 \text{ mA}$ ($=765 \mu\text{A}$). On déduit que le gain β est de $765 \div 0,005 = 153$.

Ces caractéristiques sont appelées *caractéristiques de transfert* car elles mettent en relation le courant de sortie I_C avec le courant d'entrée I_B .

Vous remarquez que I_C est proportionnel à I_B (à V_{CE} constante).

Plus que V_{CE} est élevée, plus le coefficient de proportionnalité entre I_C et I_B est élevé.

En réalité, les caractéristiques de transfert ne sont pas exactement des droites, mais pratiquement on peut les assimiler à des droites.

3.1.3.5 Transistor à effet de champ

C'est un dispositif de la famille des transistors. Il se présente comme une résistance variable commandée par une tension extérieure.

On les désigne par l'abréviation TEC ou FET (*Field Effect Transistor*), ou encore JFET (*Junction FET*).

Ils diffèrent des transistors ordinaires : on ne parle plus de PNP ou NPN mais de FET canal N ou FET canal P. Leur représentation schématique est indiquée par la figure ci-dessous.

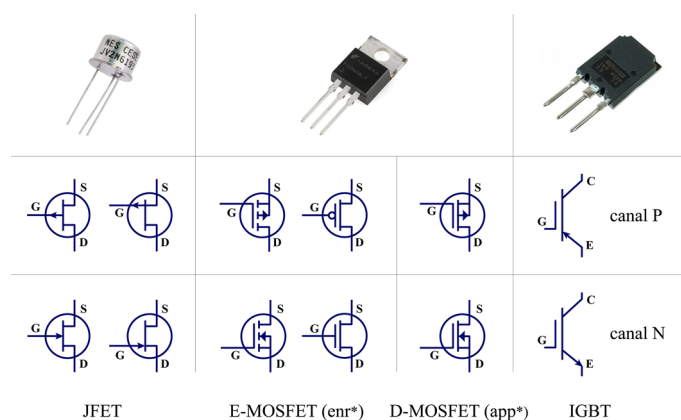


Figure 3.11 – Symboles de quelques types de transistors FET¹.

La figure 3.12 permet d'en comprendre le fonctionnement. Un bâtiment de semi-conducteur type N comporte deux connexions, l'une appelée *drain* (D), l'autre appelée *source* (S). Une troisième connexion (G), appelée *porte*, ou *gate* ou encore *grille*, part d'un morceau de semi-conducteur type P.

¹ - Les transistors MESFET, MODFET, HEMT ou HFET, CNFET, ChemFET, ISFET, EOSFET, ENFET et OFET... ne seront pas étudiés dans cet ouvrage.

- IGBT : Transistor bipolaire à grille isolée (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) ;

* - Enr : MOSFET à enrichissement (*enhancement*) ou E-MOSFET ;

* - app : MOSFET à appauvrissement (*depletion*) ou D-MOSFET.

Comparaison avec le transistor bipolaire :

- Fonctionnement lié au déplacement d'un seul type de porteur (porteur majoritaire);
- Très forte impédance d'entrée ($M\Omega$) ;
- Facteur de bruit inférieur au transistor bipolaire.

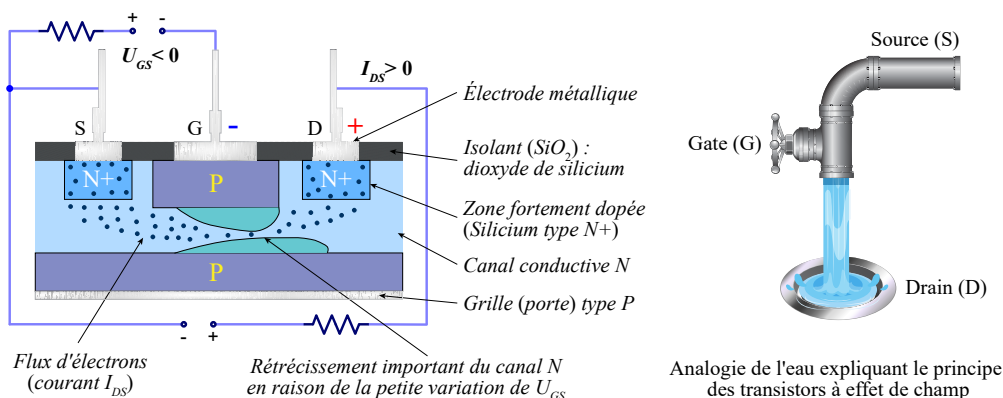


Figure 3.12 – Structure et fonctionnement ($U_{SG} < 0$) d'un JFET.

On applique une tension positive sur le drain, le négatif est relié à la source.

Les électrons passent de S vers D à travers le canal N. Si l'on applique une tension négative entre G et S, le chemin par ou passent les électrons va en quelque sorte se rétrécir, le courant de drain va diminuer.

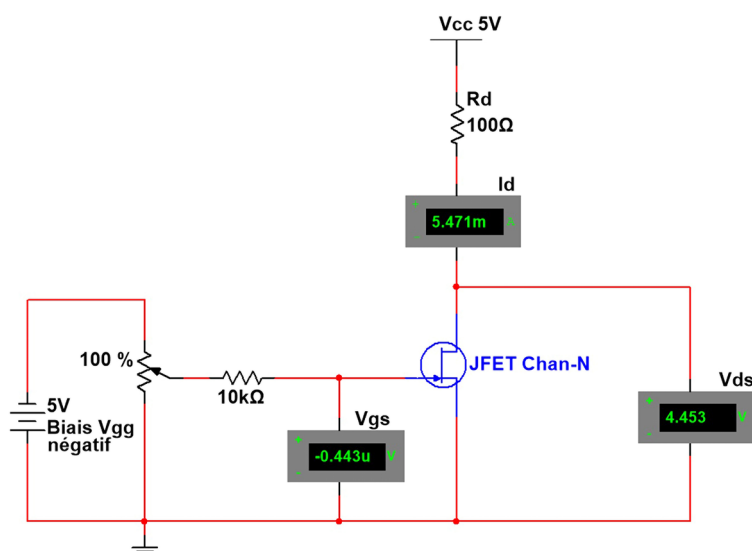


Figure 3.13 – Circuit permettant de relever la transconductance¹ du JFET.

Une petite variation de tension produit une variation importante de courant drain. D'où l'amplification de ce composant.

¹ - Pour les transistors bipolaires, les transistors à effet de champ, les tubes à vide ou les amplificateurs opérationnels, la transconductance, également appelée *pen*te, est le rapport entre la variation du courant de sortie et la variation de la tension d'entrée. Elle est exprimée en ampères / volts.

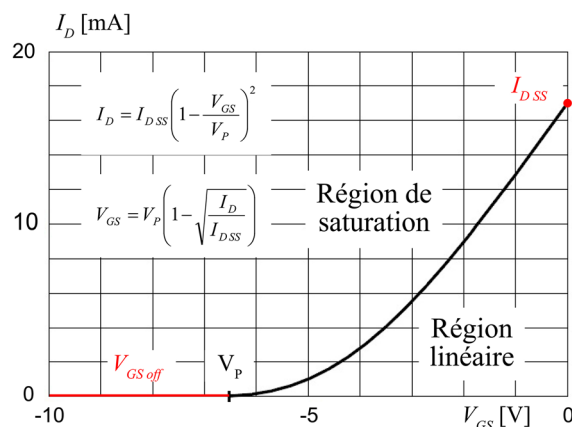


Figure 3.14 – Caractéristiques de transfert d'un JFET (BF245C).

La figure 3.14 représente la courbe du courant de drain d'un transistor JFET en fonction de la tension de grille. L'avantage du FET est d'avoir une forte impédance d'entrée et de sortie. On peut ainsi le comparer au tube pentode¹ par rapport à une triode.

3.1.3.6 Transistor à effet de champ à grille isolée MOSFET (TECMOS)

MOS est mis pour Métal Oxyde Semi-conducteur. Il est constitué d'un cristal semi-conducteur (substrat) type N (ou P).

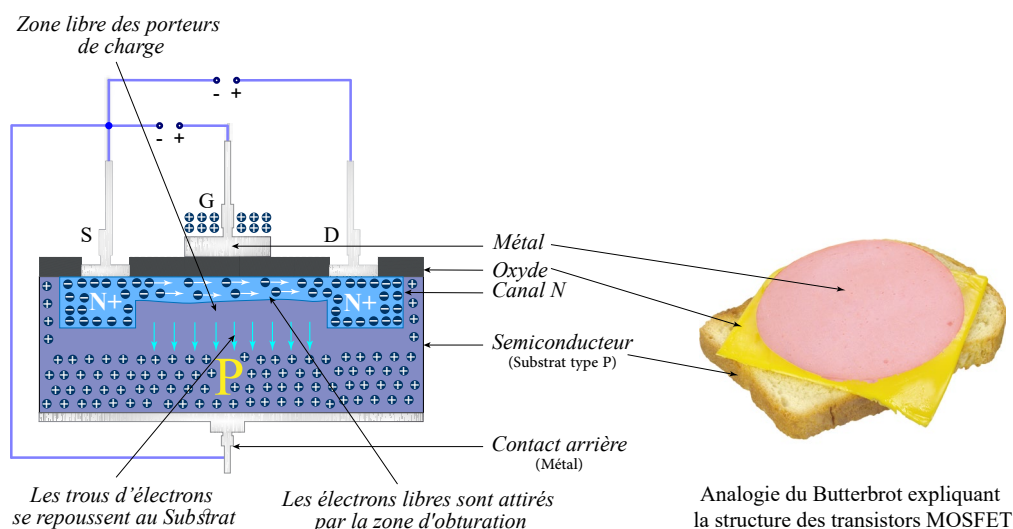


Figure 3.15 – Structure et fonctionnement d'un MOSFET².

La couche isolante est de l'oxyde de silicium. Deux régions de type N sont diffusées en deux points qui constituent la source S et le drain D. Une couche métallique constitue la

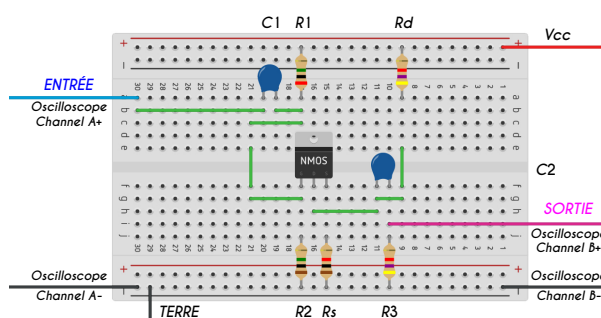
1 - C'est l'évolution directe de la tétrode (tube triode auquel est ajoutée une grille écran), c'est un tube électronique généralement utilisé pour amplifier un signal.

2 - L'absence d'un électron dans la bande de valence est appelé «*trou (d'électron)*». Une bande de valence remplie (ou presque remplie, normalement sans le trou) caractérise les isolants et semi-conducteurs. Le concept de trous est une méthode simple pour analyser le mouvement d'un grand nombre d'électrons en traitant les électrons inexistantes comme des quasi-particules. - Plus le champ est fort, plus la concentration d'électrons est importante, plus le canal est épais. En appliquant une tension plus élevée à la grille, nous augmentons l'épaisseur du canal, et donc sa conductivité ! Ou en termes simples, on peut changer la résistance du canal.

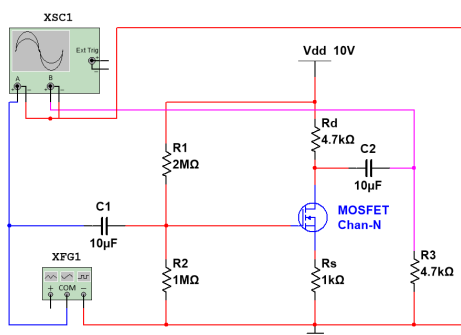
grille G isolée par une mince couche d'oxyde de silicium, elle est comparable à la plaque d'un condensateur. La tension qu'on lui applique agit sur la largeur du canal entre S et D, forme sous la couche isolante, laissant passer un courant plus ou moins important, d'où l'amplification.

COMPOSANTS :

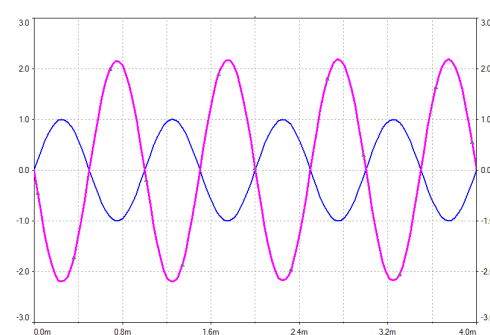
- R1 – Résistance 2 M Ω ;
- R2 – Résistance 1 M Ω ;
- R3, Rd – Résistance 4,7 k Ω ;
- Rs – Résistance 1 k Ω ;
- C1, C2 – Condensateur 10 μ F ;
- T1 – Transistor nMOS (MOSFET) ;
- XFG1 – Oscilloscope 500 μ s/Div ;
- XSC1 – Générateur de signal :
1 kHz, A1V sinusoïdal.



a - Montage ampli sur la Planche à Pain électronique (*Breadboard*)



b - Circuit MOSFET ampli (SC)



c - Visualisation du signal à l'oscilloscope

Figure 3.16 – Exemple d'un étage amplificateur.

L'objectif principal d'un amplificateur MOSFET, ou tout autre amplificateur, est de produire un signal de sortie qui est une reproduction fidèle de son signal d'entrée mais amplifié en grandeur. Ce signal d'entrée peut être un courant ou une tension, mais pour qu'un dispositif MOSFET fonctionne comme un amplificateur, il doit être polarisé pour fonctionner dans sa zone de saturation.

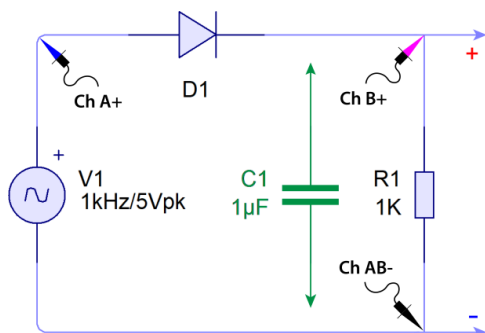
Le signal de sortie (en rose) est une reproduction fidèle amplifiée du signal d'entrée (en bleu) (fig. 3.16c).

3.2 UTILISATION DU COURANT ALTERNATIF

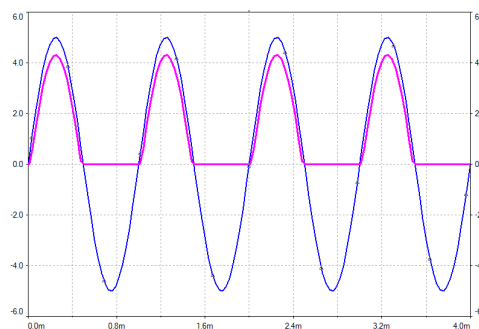
Pour obtenir le courant continu nécessaire aux circuits, on peut redresser le courant alternatif (fig. 3.17a)¹.

La diode ne laisse passer que les alternances positives. La self à fer L a un coefficient de self élevé, son effet est de s'opposer aux variations du courant redressé unidirectionnel (*loi de Lenz*).

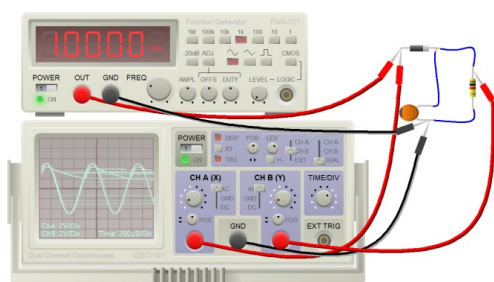
¹ - Le redressement consiste à transformer une tension alternative en une tension unidirectionnelle appelée *tension redressée*. Le redressement s'effectue à l'aide des diodes à jonction. Si on ajoute un filtre (Capacitor C1) nous obtiendrons la figure 3.17d. Plus que la valeur de C1 est grande, plus que la tension de sortie soit proche d'une tension continue.



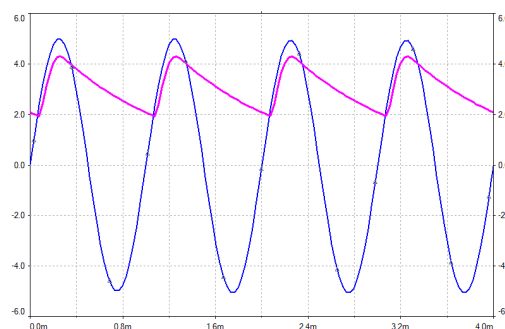
a - Montage de l'expérience¹



b - Redressement avec diode



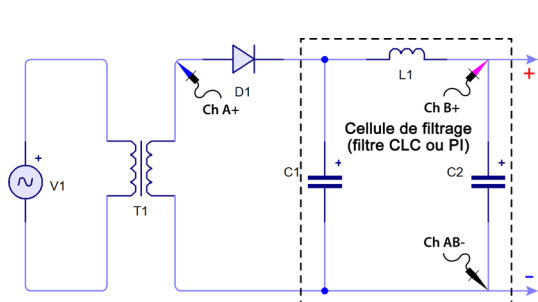
c - L'expérience au laboratoire



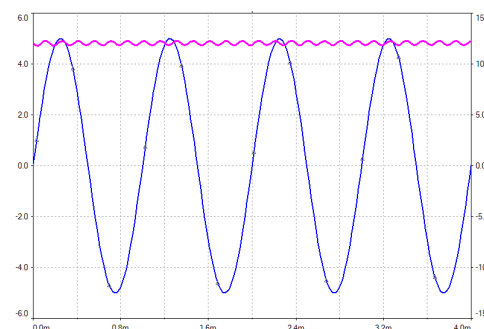
d - Signal redressé et filtré

Figure 3.17 – Redressement simple alternance.

Quand le courant de l'alternance augmente, l'action de freinage de L facilite la charge de C_1 (fig. 3.18a). Quand le courant diminue, la self fournit de l'énergie pour éviter cette diminution, C_1 peut se décharger et fournir aussi de l'énergie faisant office de réservoir vient compléter cette action. On arrive ainsi à avoir un courant presque continu si les valeurs de C_1 , C_2 et L sont suffisantes (fig. 3.18b).



a - Schéma alimentation très simple¹



b - Signal redressé et filtré

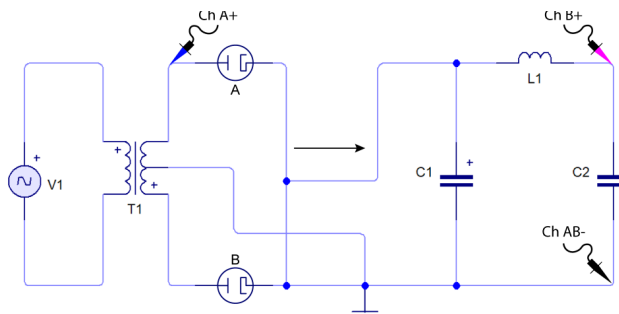
Figure 3.18 – Redressement avec filtrage CLC.

On obtient un meilleur filtrage en redressant les deux alternances (fig. 3.19a).

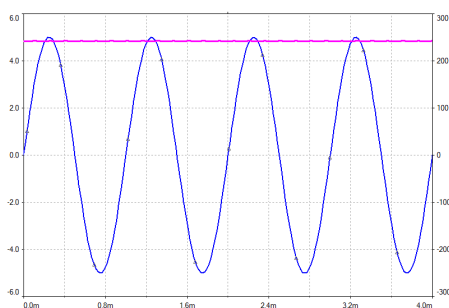
1 - Source du courant alternatif : fréquence 1kHz, 5Vpk (Amplitude 5V *peak* : crête).

1 - Le filtre CLC appelé également *filtre Pi* (π) est une combinaison du filtre capacitif et du filtre LC. C'est système à faible courant qui nécessite une bonne régulation. La bobine est appelé *Bobine de lissage*.

Lorsque la plaque de la diode A est positive le courant passe, B étant négative n'intervient pas. Lorsque A est négative, elle n'intervient pas, mais B étant positive le courant passe encore dans le sens de la flèche, quel que soit l'alternance, positive ou négative, le courant se trouve toujours dans le même sens à la sortie (fig. 3.19b).



a - Montage de l'expérience

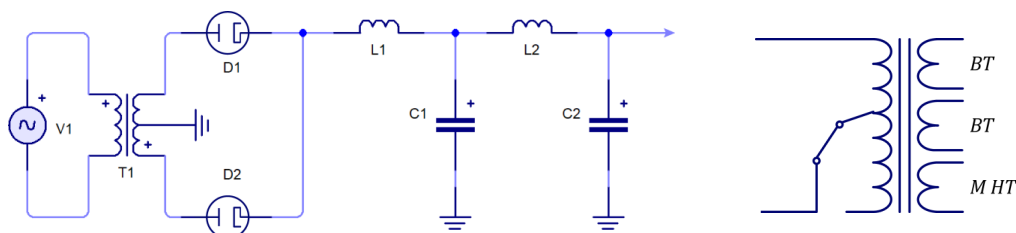


b - Signal de sortie

Figure 3.19 – Redressement double alternance¹.

ATTENTION : C_1 se charge à la tension de crête. Celle-ci est plus élevée que la tension efficace mesurée au secondaire du transformateur. On sait qu'une tension efficace de 300V représente une tension de crête de $300 \times 1,414 = 424,2V$.

On peut aussi faire un filtrage à «*Self en tête*» (fig. 3.20a). La tension redressée sera plus faible qu'avec un condensateur en tête mais la régulation sera meilleure. C_1 est mieux protégée contre les surtensions et peut avoir une capacité plus grande sans risquer de court-circuiter la valve à la mise en route.



a - Selt $L1$ placé comme élément d'entrée

b - Transfo d'alimentation

Figure 3.20 – Alimentation avec entrée inductive.

¹ - Ce redressement se fait par deux diodes et un transformateur à point milieu (permet d'avoir une tension symétrique).

Le transformateur d'alimentation comprend habituellement un primaire avec une commutation possible sur différentes tensions par un cavalier fusible. Le secondaire comprend un enroulement de chauffage basse tension pour les filaments des tubes, un enroulement de chauffage basse tension pour la valve redresseuse et un enroulement haute tension avec prise médiane (fig. 3.20b).

3.2.1 Alimentation avec diodes à semi-conducteurs

Les diodes à semi-conducteurs remplacent facilement avec avantage les diodes à vide. On utilise les mêmes principes de montage. R est une résistance de quelques Ohms pour limiter le débit au moment de la mise en route, C_1 de très grande capacité ferait effet de court-circuit tant qu'il n'a pas atteint sa charge (fig. 3.21).

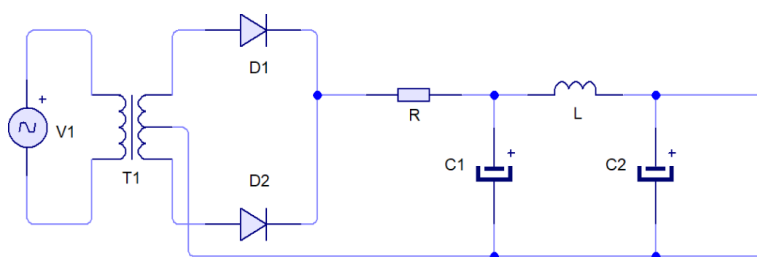


Figure 3.21 – Alimentation avec transformateur à point milieu.

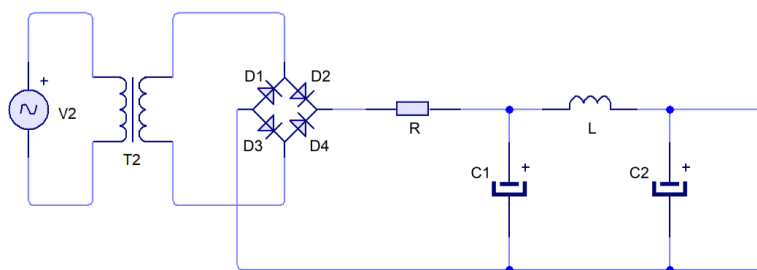


Figure 3.22 – Alimentation avec pont de diode et transfo sans point milieu.

3.2.2 Tension inverse de crête

Les diodes sont caractérisées par leur *tension inverse de crête*.

Considérons le redressement simple du schéma de la figure 3.23. Lorsque le point A est positif, la diode conduit et vient charger C , à l'alternance suivante, A est négatif, la diode ne conduit pas, elle se trouve soumise à la tension A et B avec intercalée sur son trajet, la tension aux bornes de C qui s'est maintenue, on trouve un branchement de deux tensions en série qui donc s'ajoutent (fig. 3.23a & 3.23b).

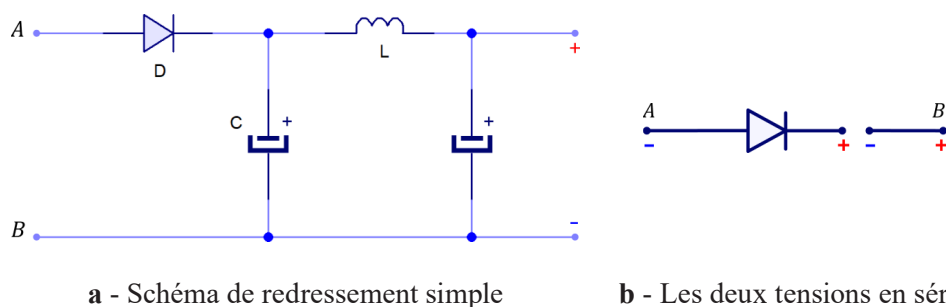


Figure 3.23 – Schéma montrant la tension inverse de crête.

De plus, on a vu que la tension de crête qui est maximale atteinte par chaque alternance, est plus forte que la tension efficace indiquée par un voltmètre (1,414 fois la tension efficace).

Finalement, la diode supporte une tension bien supérieure à la tension redressée.

Pour conserver une certaine marge de sécurité, il est prudent d'utiliser des diodes au tiers de leur tension inverse de crête.

3.3 L'AMPLIFICATION BASSE FRÉQUENCE

On rencontrera des amplificateurs BF entre le microphone et le modulateur dans un émetteur, et dans un récepteur entre la détection et le haut-parleur. Ils sont destinés à remplir une fonction : amplification, transformation et filtrage etc.

3.3.1 Le quadripôle

On appelle *quadripôle* un système électrique à quatre pôles. Deux pôles à l'entrée et deux pôles à la sortie.

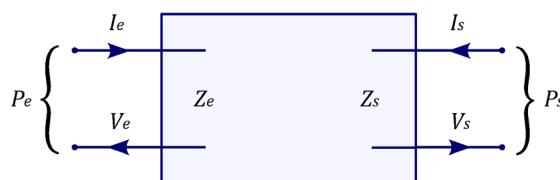


Figure 3.24 – Représentation symbolique d'un quadripôle¹.

Il peut contenir soit des tubes soit des transistors, on l'appelle alors *quadripôle actif*, ou bien un réseau LRC quelconque, il devient alors *quadripôle passif*.

3.3.2 Les trois cas à envisager

- $U_s > U_e$: le quadripôle est amplificateur de tension ;
- $P_s > P_e$: quadripôle amplificateur de puissance ;
- $I_s > I_e$: le quadripôle est alors amplificateur de courant.

Si l'amplification en courant est généralement réservée aux semi-conducteurs, la technique des tubes à vides convient très bien aux deux premières.

¹ - P_e , Z_e et P_s , Z_s sont respectivement les valeurs de puissances et impédances d'entrée et de sortie.

En outre, l'amplification en tension n'entraîne pas obligatoirement une amplification en puissance et réciproquement.

Considérons un organe de transmission. Nous avons à l'entrée une puissance P_e (en langage électronique un *signal de puissance* P_e) et à la sortie nous recueillons un signal de puissance P_s .

a) Cas où $P_s > P_e$:

- Le signal est amplifié ;
- On dit que l'organe de transmission est *actif* ;
- Et son gain : $\frac{P_s}{P_e} > 1$.

b) Cas où $P_s = P_e$:

- On recueille à la sortie le même signal qu'à l'entrée ;
- On dit que l'organe de transmission est *neutre* ;
- Et son gain : $P_s = P_e$.

c) Cas où $P_s < P_e$:

- Le signal est atténué, on dit que l'organe de transmission est *passif* ;
- Et son gain : $\frac{P_s}{P_e} < 1$. Il y a *Atténuation*.

3.3.3 Notion du gain et application du décibel

3.3.3.1 Gain en puissance

C'est le rapport des puissances (d'entrée et de sortie) exprimant le gain d'un organe de transmission utilise un sous-multiple du [BEL].

1 BEL = 10 dB ;

D'où l'expression du gain (en puissance) en décibel :

$$G_p = 10 \cdot \log\left(\frac{P_s}{P_e}\right), \quad (3.2)$$

où G_p – gain en puissance, dB ;

P_s – puissance de sortie, W ;

P_e – puissance d'entrée, W.

Exercice :

1) Les puissances à l'entrée et à la sortie d'un amplificateur étant respectivement :

$P_e = 20$ mW et $P_s = 400$ mW. Déterminez le gain en décibel.

Solution :

$$G_p = 10 \cdot \log\left(\frac{P_s}{P_e}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{400}{20}\right) = 10 \cdot \log(20) = 10 \times 1,30103 = 13,0103 \text{ dB.}$$

2) Les puissances à l'entrée et à la sortie d'un amplificateur sont : $P_e = 75\text{W}$ et $P_s = 25\text{W}$.
Déterminez le gain de cet amplificateur en décibel.

Solution :

$$G_p = 10 \cdot \log\left(\frac{25}{75}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{3}\right) = 10 \times \log(1) - 10 \times \log(3) = 0 - 4,7712 = -4,7712 \text{ dB.}$$

Nous dirons que le gain de cet amplificateur est égal à $-4,7 \text{ dB}$, il y a atténuation. On peut dire que l'amplificateur joue le rôle d'un atténuateur.

Jusqu'à présent nous avons évoqué la notion du gain en puissance. Les exigences de l'électronique nous obligent à envisager également le gain en tension d'un amplificateur.

3.3.3.2 Gain en tension

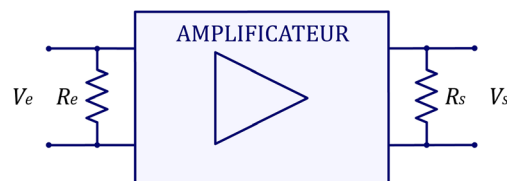


Figure 3.25 – Organe de transmission amplificateur de tension.

Si on désigne par :

V_e : Tension d'entrée ;

V_s : Tension de sortie ;

R_e : Résistance d'entrée ;

R_s : Résistance de sortie.

Nous aurons les relations suivantes :

$$P_e = \frac{V_e^2}{R_e} \quad \text{et} \quad P_s = \frac{V_s^2}{R_s}. \quad (3.3)$$

Le gain en décibels s'exprime :

$$G_t = 10 \cdot \log\left(\frac{P_s}{P_e}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{\frac{V_s^2}{R_s}}{\frac{V_e^2}{R_e}}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{V_s}{V_e}\right)^2 \cdot \left(\frac{R_e}{R_s}\right). \quad (3.4)$$

D'après la règle du log d'un produit :

$$G_t = 20 \cdot \log\left(\frac{V_s}{V_e}\right) + 10 \cdot \log\left(\frac{R_e}{R_s}\right), \quad (3.5)$$

si nous posons :

$$\frac{R_e}{R_s} = 1, \quad \log\left(\frac{R_e}{R_s}\right) = 0,$$

le gain en tension sera :

$$G_t = 20 \cdot \log\left(\frac{V_s}{V_e}\right). \quad (3.6)$$

Exemple :

Les tensions aux bornes de l'entrée et de la sortie de l'amplificateur sont :

$V_e = 100\text{V}$ et $V_s = 100\text{V}$.

Déterminons le gain (en tension) en décibels de cet ampli :

$$G_t = 20 \cdot \log\left(\frac{V_s}{V_e}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{100}{10}\right) = 20 \cdot \log(10) = 20 \text{ dB}.$$

Le gain de cet amplificateur est de 20 dB.

Exercice :

- 1) Si nous avons un signal de puissance égal à 100W à l'entrée d'un amplificateur et 500W à la sortie, nous pouvons dire que cet amplificateur est... ?

- 2) Les puissances à l'entrée et à la sortie d'un amplificateur étant respectivement $P_e = 1\text{W}$ et $P_s = 10\text{W}$. Déterminez le gain en décibel de cet amplificateur.

- 3) Les puissances à l'entrée et à la sortie sont $P_e = 125\text{W}$ et $P_s = 25\text{W}$. Déterminez le gain en décibel sachant que : $\log(5) = 0,69897$.

- 4) Les tensions aux bornes de l'entrée et la sortie de l'amplificateur étant $V_e = 30\text{V}$ et $V_s = 90\text{V}$. Déterminez le gain en décibel de cet amplificateur.

3.4 MODULATION

3.4.1 Principe

Pour transmettre à distance et sans fil des signaux de basse fréquence (information) on les incorpore à un signal de haute fréquence, cette opération qui revient à modifier le signal HF (onde porteuse) en fonction de celui de basse fréquence est appelée **Modulation**¹.

$$u = \hat{U} \times \sin(\omega t + \varphi) = \hat{U} \times \sin(2\pi f t + \varphi), \quad (3.7)$$

où u – valeur instantanée de la tension du signal sinusoïdal ;

\hat{U} – valeur de crête de la tension du signal² ;

ω – pulsation de la tension du signal, $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$;

1 - Elle consiste en la multiplication du signal à moduler (modulant) par un signal de fréquence plus élevée.

2 - Valeur maximale, anciennement : U_m ou U_{max} .

f – fréquence de la tension du signal ($1/T$), Hz ;

t – temps considéré, s ;

T – période de la tension du signal ;

$(\omega t + \varphi)$ – phase instantanée, rad ;

φ – phase (angle de déphasage) à l'origine, rad.

Pour moduler ce signal il suffit de modifier l'une des grandeurs fondamentales afin de la soumettre au rythme du signal BF :

\hat{U} : modulation d'amplitude ;

f : modulation de fréquence ;

φ : modulation de phase.

On relève donc 3 sortes de modulation, à signaler toutefois que toute modulation de fréquence agit sur la phase du signal HF et réciproquement.

3.4.2 Modulation d'amplitude (AM)

3.4.2.1 Taux de modulation

Dans la modulation d'amplitude un signal de basse fréquence (micro), fait varier l'amplitude d'un signal HF fourni par l'émetteur et déterminant ainsi la fréquence de travail.

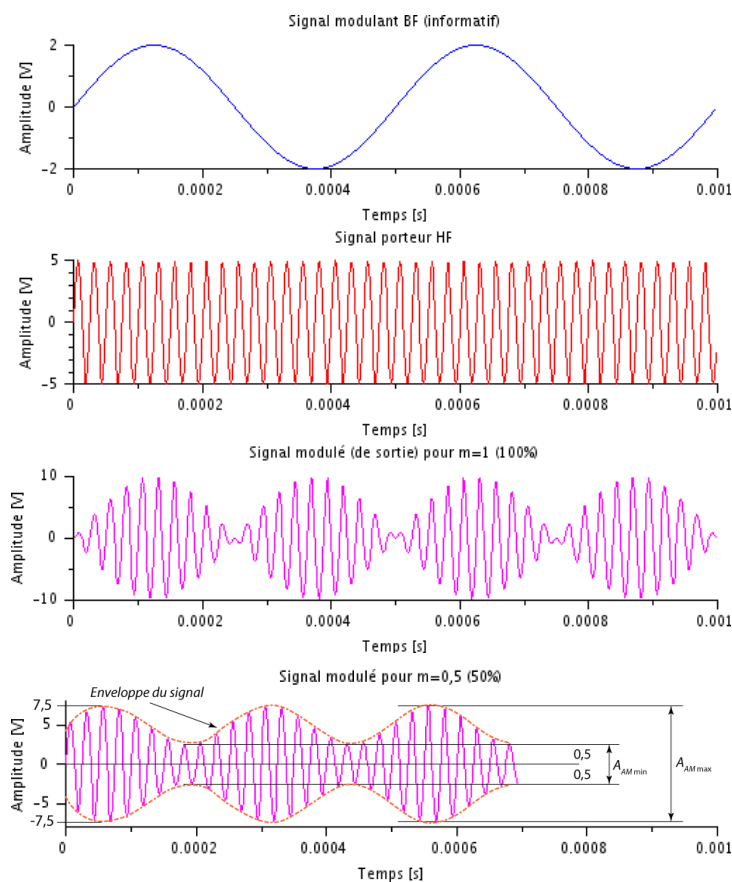


Figure 3.26 – Modulation en amplitude.

Le rapport de la tension BF à celle de HF est le taux ou la profondeur de la modulation. Sa valeur est :

$$m = \frac{U_{BF}}{U_{HF}} = \frac{A_{AM \max} - A_{AM \min}}{A_{AM \max} + A_{AM \min}} = k \cdot A_m, \quad (3.8)$$

où m – taux de modulation¹, % ;

U_{BF} – tension du signal modulant, V ;

U_{HF} – tension du signal porteur, V ;

A_{AM} – amplitude du signal modulé ;

A_m – amplitude du signal modulant ;

k – facteur d'amplification.

m est souvent exprimé en %. Ainsi lorsque $m = 1$ (100%), le signal HF est par instant inexistant.

3.4.2.2 Fréquence et bande latérale de modulation

Un signal modulé en amplitude est composé de 3 oscillations :

La première possède une amplitude et une fréquence égales à celle de l'onde porteuse, la deuxième et la troisième ont des amplitudes égales à la moitié de celle du signal de modulation et de fréquences dites *Latérales* respectivement équivalentes à la fréquence de l'onde porteuse augmentée de celle de l'oscillation BF, et à celle de l'onde porteuse diminuée de celle de l'oscillation.

3.4.2.3 Spectre de fréquence²

Lorsque le signal de modulation est composé de plusieurs fréquences, le signal modulé n'est plus uniquement formé de trois (3) fréquences, il comporte la fréquence de l'onde porteuse et autant de couples de fréquences latérales forment un spectre qui devra être transmis intégralement (AM classique).

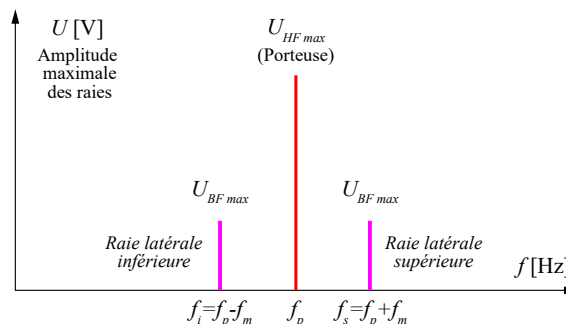


Figure 3.27 – Spectre de fréquence de modulation AM³.

1 - Appelé également : *profondeur de modulation*, cet indice est normalement compris entre 0 et 1 (0% et 100%) pour éviter la *surmodulation*. On peut calculer cet indice en mesurant seulement les amplitudes maximales et minimales du signal modulé.

2 - Le spectre en fréquences d'un signal est la représentation graphique de l'amplitude de ses composantes sinusoïdales en fonction de la fréquence. La *représentation spectrale* est obtenue en décomposant le signal périodique en une somme de fonctions sinusoïdales (décomposition *en série de Fourier*).

3 - f_i et f_s sont les fréquences inférieures et supérieures. $U_{m \max} = U_{p \max} \cdot m/2$.

Ainsi pour que la gamme de fréquences acoustiques (1,6 à 16 kHz), puisse être entièrement transmise, la bande passante des circuits HF et MF d'un récepteur devrait être de 32 kHz. Dans ces conditions les fréquences latérales occuperaient de part et d'autre de la fréquence de l'onde porteuse une bande latérale dont la fréquence de modulation s'étendrait de 1,6 à 16 kHz. Or, pour qu'un grand nombre d'émetteurs puissent placer leurs émissions dans les gammes d'ondes moyennes et longues, une convention internationale attribue une bande passante de 9 kHz à chaque émetteur de radiodiffusion. En télégraphie, une bande passante de quelques dizaines de Hertz est suffisante, car les circuits du récepteur peuvent être très sélectifs.

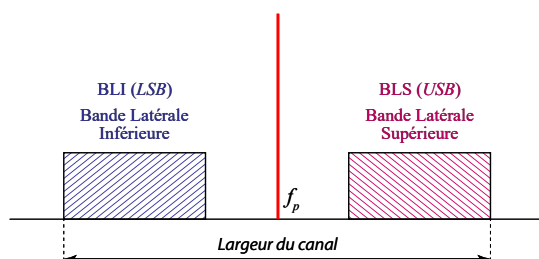


Figure 3.28 – Bandes latérales inférieures et supérieures.

La puissance utile transportée par une onde dont l'amplitude est modulée dépend du taux de modulation. Ainsi, pour un taux de modulation de 100%, les signaux formant les bandes latérales transportent la moitié de la puissance de l'onde porteuse, c'est-à-dire le tiers de l'ensemble de la puissance consommée. La puissance utile est plus faible encore que ce tiers lorsque le taux de modulation est inférieur à 100%.

3.4.2.4 Systèmes d'émission utilisés en modulation d'amplitude

Pour réduire les pertes de puissances ou diminuer la bande de fréquences occupée par un émetteur, divers systèmes d'émission ont été imaginés :

a) Système d'émission classique :

Une antenne émet une onde porteuse et des ondes latérales qui forment deux bandes de modulation.

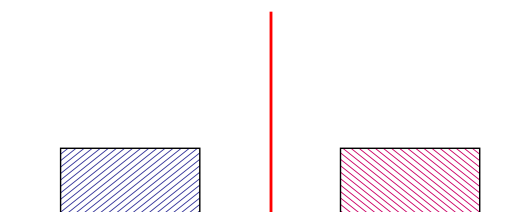


Figure 3.29 – Modulation double bande latérale avec porteuse (DBAP)¹.

b) Émission à onde porteuse commandée :

Une économie appréciable de puissance peut être réalisée en roulant l'amplitude de l'onde porteuse en fonction de celle du signal modulant. Le taux de modulation est maintenu voisin de

¹ - Double Side-Band Full Carrier (DSB-FC).

100% quel que soit l'amplitude du signal BF. En l'absence du signal modulant, l'amplitude de l'onde porteuse est très faible.

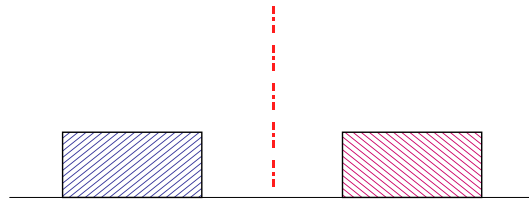


Figure 3.30 – Émission en AM avec porteuse commandée.

c) Émission sans porteuse :

L'onde porteuse ne transporte aucune information utile à la réception, elle peut donc être complètement supprimée, ce qui permet une économie considérable de puissance. La principale difficulté dans ce système est l'exacte restitution par l'oscillateur¹ local du récepteur de la fréquence et de la phase de la HF. Dans certains cas, seule une fraction de l'amplitude HF est émise afin de permettre soit la stabilisation de la fréquence de l'oscillateur local, soit son amplification par voie séparée.

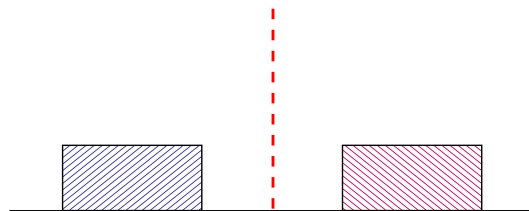


Figure 3.31 – Modulation double bande latérale sans porteuse (DBSP)².

a) Émission à bande latérale unique :

Chaque bande des bandes latérales d'une émission sans porteuse transmet les mêmes informations, on peut donc, pour réduire la bande de fréquences occupées par l'émission, supprimer l'une des deux bandes latérales. Ce système permet de réduire la bande passante et présente un autre avantage d'engendrer moins de bruit de fond à la réception que tout autre système. Dans certains cas, une onde porteuse réduite est transmise avec la bande latérale.

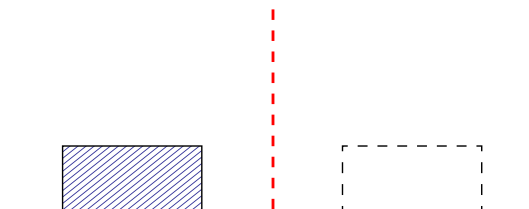


Figure 3.32 – Émission en bande latérale unique (BLU)³.

1 - C'est un circuit qui produit des signaux électriques périodiques, de forme sinusoïdales, carrées, en dents de scie, ou quelconques. Il peut avoir une fréquence fixe ou variable.

2 - *Double SideBand Suppressed-Carrier (DSB-SC)*.

3 - *Single SideBand Suppressed-Carrier (SSB-SC)*.

3.4.2.5 Interprétation mathématique de la modulation d'amplitude

Il s'agit de moduler un courant HF d'équation :

$$i_p = I_p \cdot \cos(\omega_p t) \quad \text{avec : } \omega_p = 2 \cdot \pi \cdot f_p, \quad (3.9)$$

avec l'information :

$$i_m = I_m \cdot \cos(\omega_m t), \quad \omega_m = 2 \cdot \pi \cdot f_m, \quad (3.10)$$

on obtient après la modulation un courant d'équation :

$$I_{AM} = [I_p + I_m \cdot \cos(\omega_m t)] \cdot \cos(\omega_p t) = I_p \cdot [1 + m \cos(\omega_m t)] \cdot \cos(\omega_p t). \quad (3.11)$$

En posant : $m = \frac{I_m}{I_p}$, c'est le *taux de modulation*.

i_p – courant instantané du signal porteur ;

i_m – courant instantané du signal modulant ;

I_p, I_m – valeurs maximales des courants des signaux ;

ω_p, ω_m – pulsations des courants des signaux.

On constate ainsi que le courant modulé peut être considéré comme la somme des trois courants *d'amplitudes* constantes :

1. Le courant $I_p \cdot \cos(\omega_p t)$ de fréquence f_p est dit : **Porteuse** (*CW : Carrier Wave*) ;
2. L'onde $\frac{I_p \cdot m}{2} \cos[(\omega_p - \omega_m)t]$ de fréquence $(f_p - f_m)$ est dite : **Bande Latérale Inférieure** (*LSB : Lower Side Band*) ;
3. L'onde $\frac{I_p \cdot m}{2} \cos[(\omega_p + \omega_m)t]$ de fréquence $(f_p + f_m)$ est dite : **Bande Latérale Supérieure** (*USB : Upper Side Band*).

Reprenons l'équation :

$$\begin{aligned} I_{AM} &= I_p \cdot [1 + m \cdot \cos(\omega_m t)] \cdot \cos(\omega_p t), \\ &= I_p \cdot \cos(\omega_p t) + I_p \cdot m \cos(\omega_m t) \cdot \cos(\omega_p t), \end{aligned}$$

après transformation on trouve :

$$I_{AM} = I_p \cdot \cos(\omega_p t) + \frac{I_p \cdot m}{2} \cos[(\omega_p + \omega_m)t] + \frac{I_p \cdot m}{2} \cos[(\omega_p - \omega_m)t]. \quad (3.12)$$

On obtient le spectre suivant :

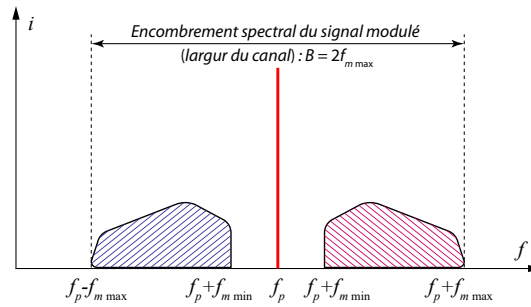


Figure 3.33 – Modulation AM par un signal BF contenant des fréquences entre f_{\min} et f_{\max} .

3.4.2.6 Puissance mise en jeu dans une onde modulée en amplitude

Supposons un générateur fournissant une onde modulée en amplitude débitant sur une résistance R .

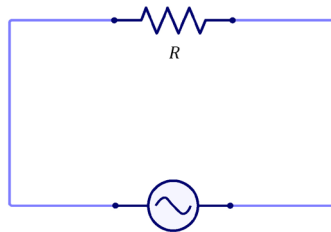


Figure 3.34 – Générateur de signal modulé en AM débitant sur R .

a) En l'absence de modulation :

Lorsque le générateur n'est pas modulé, le spectre ne comporte que la porteuse, la puissance fournie est évidemment :

$$P_p = \frac{A_p^2}{2R}, \quad (3.13)$$

où P_p – puissance de la porteuse, W ;

A_p – amplitude maximale du signal ;

R – résistance de la charge résistive, Ω .

b) En cours de modulation :

L'amplitude de la HF modulée est :

$$A_{AM} = A_p [1 + m \cdot \cos(\omega_m t)], \quad m = kA_m, \quad (3.14)$$

où A_{AM} – amplitude du signal modulé ;

A_p – amplitude maximale de la porteuse ;

ω_m – pulsation du signal modulant, $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$;

A_m – amplitude du signal modulant ;

m – indice de modulation ;

k – facteur amplificateur lors de la modulation.

La puissance de l'onde modulée variable P_v le long du cycle de modulation est :

$$P_v = \frac{A_p^2}{2R} [1 + m \cdot \cos(\omega_m t)]^2 = P_p [1 + m \cdot \cos(\omega_m t)]^2. \quad (3.15)$$

En valeur moyenne pour un grand nombre de cycles, la puissance est :

$$P_{moy} = \frac{A_p^2}{2R} \left(1 + \frac{m^2}{2}\right) = P_p \left(1 + \frac{m^2}{2}\right). \quad (3.16)$$

Ainsi le fait de passer du régime *porteuse pure* au régime *modulé* la puissance intéressée est multipliée par le facteur.

$\left(1 + \frac{m^2}{2}\right)$ donc à 100% de modulation, la puissance est multipliée par :

$$\left(1 + \frac{1^2}{2}\right) = 1,5.$$

D'une façon générale, la puissance totale se répartie en :

$\frac{A_p^2}{2R}$ pour porteuse et en $\frac{A_p^2}{2R} \times \frac{m^2}{2}$ pour les bandes latérales.

3.4.2.7 Généralités sur la BLU (SSB) et la BLI (ISB)

On remarque donc que la puissance rayonnée est :

P_p en régime porteuse pure ;

$1,5P_p$ en régime maximum de modulation 100% ;

$1,02P_p$ en moyenne, c'est-à-dire avec un taux de modulation de 20%.

Ce système de modulation n'apparaît pas très économique puisque la presque totalité de la puissance est nécessaire au rayonnement de la porteuse pure alors que 2% en moyenne correspond aux bandes latérales.

Or, cela est très important, une seule bande latérale contient toute l'information nécessaire.

En effet, connaissant cette bande et la porteuse, on déduit immédiatement l'autre bande, d'où l'idée d'effectuer deux genres d'émissions :

- Sans porteuse pour l'économie d'énergie ;
- Avec une seule bande pour réduire l'encombrement.

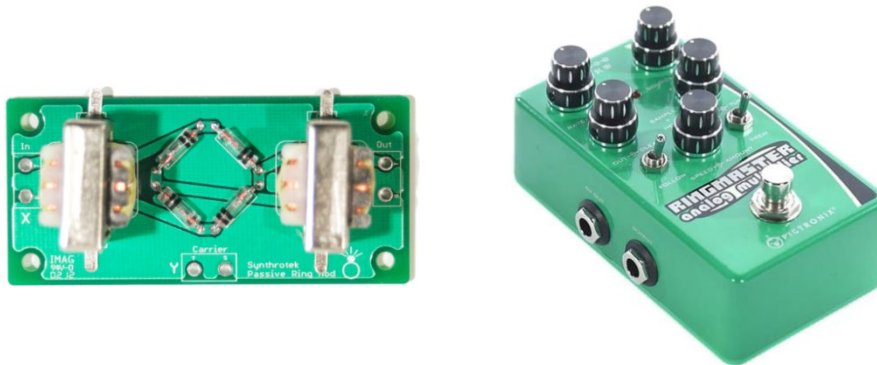
Pour reconstituer la 2^{ème} bande, il faut connaître la porteuse le plus exactement possible, à 2 ou 3 Hz près, sous peine de distorsion.

Nous obtenons finalement les deux modes de transmission suivants :

- a) Si le signal comprend, porteuse réduite et une seule bande latérale, c'est la **Bande Latérale Unique (BLU)**.
- b) Si le signal comporte, porteuse réduite, deux bandes latérales provenant d'informations différentes, c'est la **Bande Latérale Indépendante (BLI)**.

3.4.2.8 Modulation d'amplitude sans porteuse

Réalisée au moyen d'un modulateur en anneau¹ (*Ring Modulator*) (fig. 3.35a), elle permet d'obtenir deux raies latérales (deux bandes latérales dans le cas général), sans fréquence porteuse (fig. 3.35b).

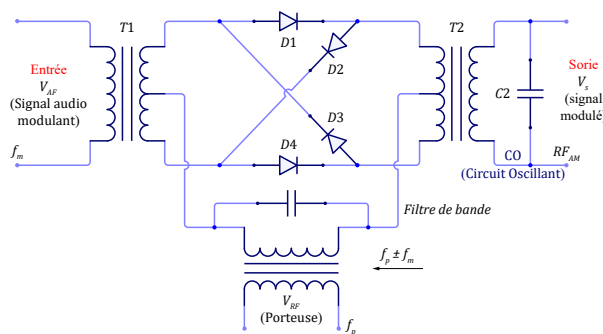


a - Synthrotek passive *ring modulator*

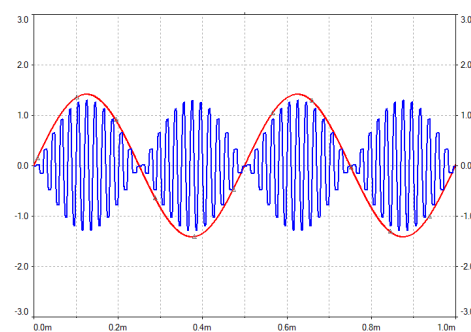
b - Pigtronix *ring modulator*

Image 3.3 – Exemples de modulateurs en anneau².

Les harmoniques³ supérieures sont éliminés par filtrage. Toute l'information AF (audio) étant contenue dans une seule bande latérale, on élimine l'autre par filtrage (émission à bande latérale unique BLU).



a - Schéma d'un modulateur en anneau

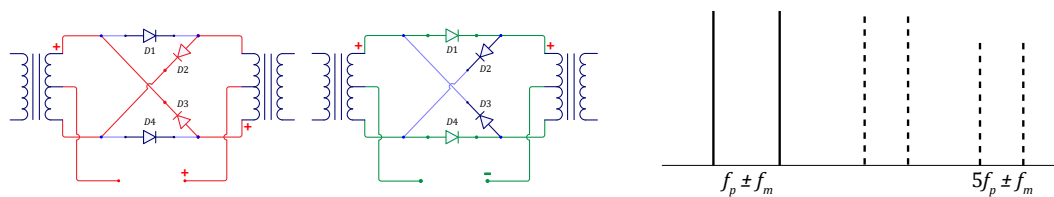


b - Signal modulé

1 - Appelé également *dual balanced mixer (DBM)* ou *ring-mixer*. C'est un effet de modulation qui génère une onde sinusoïdale en utilisant un oscillateur, cette onde est multipliée par le signal de départ pour générer de nouvelles harmoniques. C'est un effet que l'on trouve sur de nombreux synthétiseurs où un oscillateur est utilisé pour moduler un autre oscillateur afin de produire une sonnerie caractéristique.

2 - Source des images : sites internet des constructeurs.

3 - Ils ont une fréquence multiple de la fréquence fondamentale et ce sont les composantes sinusoïdales d'un courant électrique périodique décomposé en série de Fourier. En général, ce sont les éléments constitutifs d'un phénomène périodique ou vibratoire. Les redresseurs sous leurs différentes formes sont la principale cause des courants harmoniques dans le réseau.



c - Porteuse positive d - Porteuse négative e - Spectre du signal échantillonné

Figure 3.35 – Modulation par modulateur en anneau¹.

Les avantages principaux sont :

- Efficacité d'une émission BLU huit fois supérieure à celle d'une émission classique ;
- Place occupée en fréquence moitié moindre (3000 Hz en téléphonie) ;
- Discretion relative des communications, car la réception n'est pas possible sur un récepteur ordinaire, il faut rétablir la porteuse centrale pour pouvoir démoduler.

3.4.3 Modulation de fréquence (FM)²

3.4.3.1 Émission en modulation de fréquence

Principe : la figure 3.36 montre comment s'effectue la modulation. La fréquence RF varie de part et d'autre de la fréquence centrale au rythme de modulation AF.

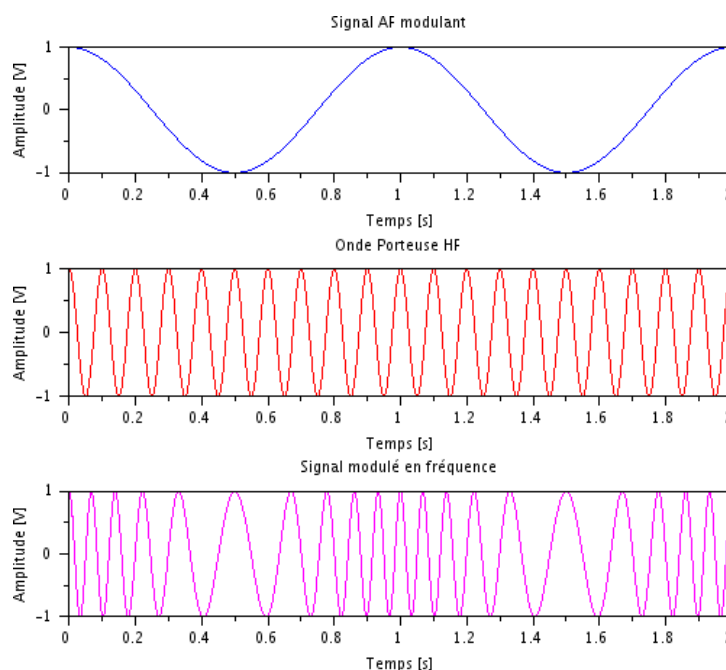


Figure 3.36 – Allure du signal modulé en fréquence.

1 - Les diodes sont à la queue-leu-leu : l'anode d'une diode est relié à la cathode de la suivante et ainsi de suite. Quand la porteuse est négative, les diodes D1 et D4 conduiront, lorsque la porteuse est positive les diodes D2 et D3 conduiront, le signal est plus grand donc le rendement est meilleur. Les produits d'ordre impair (harmonique 3, 5, 7 etc.) s'annulent dans le modulateur en anneau.

2 - La modulation de fréquence FM et la modulation de phase PM sont deux types de *la modulation angulaire* (exponentielle). La modulation angulaire est tout procédé permettant la modulation du terme de phase instantanée.

Théoriquement, la FM nécessite la transmission d'une infinité de raies latérales. Pratiquement, on limite l'excursion (*swing*)¹ à 150 kHz sans inconvénient (fig. 3.37).

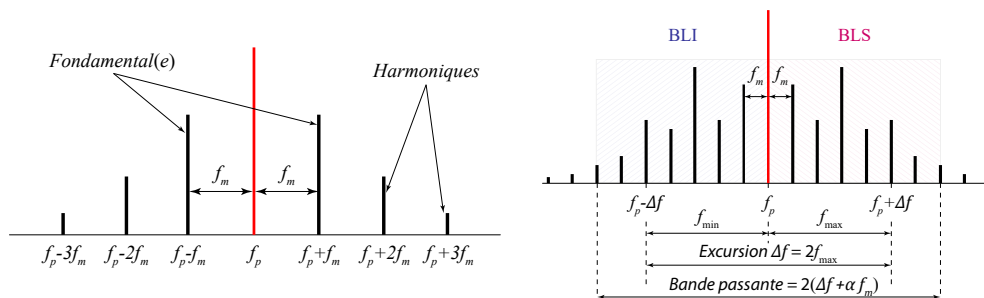


Figure 3.37 – Spectre d'un signal modulé en fréquence².

Les caractéristiques normalisées des émissions en modulation de fréquence FM sont portées dans le tableau ci-dessous.

Gamme des émissions FM	87,5 à 100 MHz
Largeur d'un canal	200 kHz
Nombre de canaux	62
Excursion de fréquence	$2\Delta f_{\max} = \pm 150$ kHz
Déviaton (variation) de fréquence	$\Delta f_{\max} = \pm 75$ kHz
Fréquence intermédiaire à la réception	FI = 10,7 MHz
Bande passante des étages FI à la réception	200 kHz
Constante de temps filtre de préaccentuation	$\tau = RC = u_s$
Indice de modulation	$n = \Delta f_{\max} / f$

Tableau 3.1 – Caractéristiques normalisées des émissions en modulation FM.

3.4.3.2 Procédé de modulation

3.4.3.2.1 Microphone HF

C'est un microphone à condensateur mis en parallèle sur le CO³ d'un oscillateur HF. La variation de capacité du microphone module directement la HF de l'oscillateur.

1 - L'excursion de fréquence Δf est la variation de fréquence entre la fréquence maximale instantanée de la porteuse et la fréquence de la porteuse au repos ($+\Delta f = f_{\max} - f_p$) ou entre la fréquence de la porteuse au repos et la fréquence minimale instantanée de celle-ci ($-\Delta f = f_p - f_{\min}$).

2 - Le spectre est une suite de raies espacées de f_m , symétriques par rapport à la fréquence centrale f_p . α est comprise entre 1 et 2, mais pour rendre la qualité de transmission bonne, au moins deux raies spectrales doivent être passées après Δf (règle de Carson) donc il faut prendre $\alpha = 2$.

3 - CO (Circuit Oscillant) : circuit constitué d'un condensateur en parallèle avec une inductance (bobine). Par conséquent, il peut être la source d'oscillations électriques.

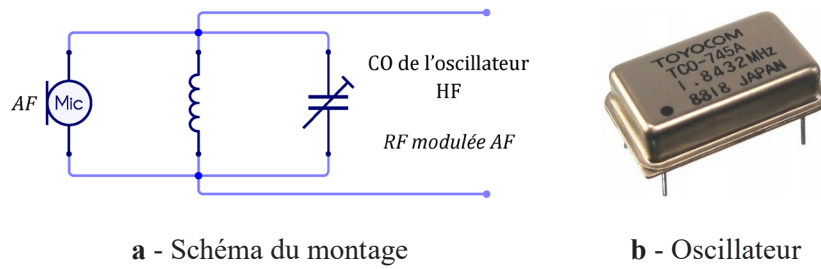


Figure 3.38 – Schéma d'un microphone HF (ou RF).

3.4.3.2.2 Modulation par diode à capacité variable (varicap)

La capacité de la diode polarisée en sens inverse par la tension V_0 est mise en parallèle sur le circuit oscillateur. La modulation se fait en superposant la tension AF à V_0 .

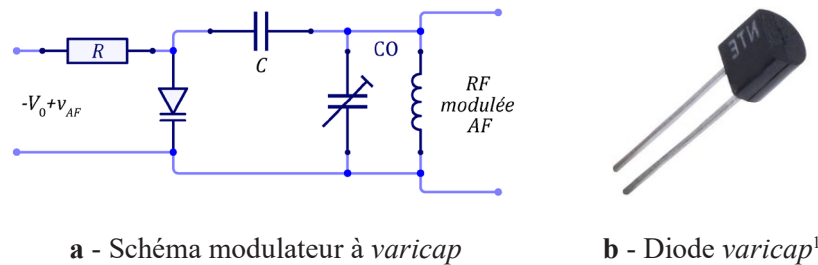


Figure 3.39 – Modulation par diode à capacité variable (varicap).

La capacité de la diode varie au rythme de la modulation. Il faut appliquer V_0 relativement faible pour limiter la distorsion pendant une alternance.

3.4.3.2.3 Modulation par noyau en ferrite saturé

La tension V crée un champ H qui sature le noyau lorsqu'on superpose à la tension V la tension de modulation, le champ H est au même rythme, ainsi que la perméabilité μ du noyau.

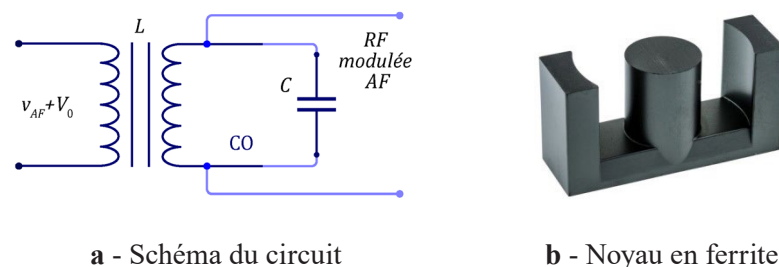


Figure 3.40 – Modulation par noyau de ferrite saturé².

1 - Diode à capacité variable (varicap). Appelé également *varactor* (variable reactor), c'est un type de diode qui présente la particularité de se comporter comme un condensateur dont la valeur de la capacité varie avec la tension inverse appliquée à ses bornes.

2 - Les noyaux ferrites constituent le corps central des bobines, inductances, transformateurs et moteurs.

Il en résulte que la conductance du circuit oscillant $L = k\mu$ varie ainsi au même rythme. L'inconvénient du procédé est qu'il nécessite un champ H_0 élevé (B_0 grande), de plus, des variations rapides.

3.4.3.3 Avantages de la modulation de fréquence (FM)

- Haute-fidélité : reproduction correcte des fréquences jusqu'à 15 000 Hz ;
- Dynamique orchestrale respectée ;
- Taux de modulation non limité ;
- Peu sensible aux parasites d'amplitude ;
- Insensibilité aux parasites renforcés par l'utilisation d'antenne directive ;
- Meilleure sélectivité ;
- Puissance émise à l'émission constante.

3.4.3.4 Inconvénients de la modulation de fréquence (FM)

- Bruit de fond élevé : on augmente le rapport Signal/Bruit de fond à l'émission au moyen d'un filtre de préaccentuation qui élève le niveau des hautes fréquences. On fait l'opération inverse (filtre de désaccentuation) à la réception pour rétablir le niveau ;
- Rayonnement des émetteurs localisé ;
- Circuit de réception plus compliqué, donc plus coûteux.

3.4.3.5 Conclusion

En modulation de fréquence, on fait varier en fonction d'un signal de basse fréquence BF la fréquence f d'un oscillateur en maintenant constante son amplitude.

Équation d'un courant modulé en fréquence :

$$I_{FM} = I_p \sin[\omega_0 t + n \cos(\omega_m t) + \varphi_0], \quad \omega_0 = 2\pi f_0 \quad \text{et} \quad \omega_m = 2\pi f_m, \quad (3.17)$$

f_0 correspond à la fréquence de repos de l'oscillateur ;

f_m étant la fréquence la plus haute de spectre BF de la modulation.

Indice de modulation :

$$n = \pm \frac{\Delta f}{f_m} \quad \text{avec :} \quad \Delta f = f_{\max} - f_0,$$

f_{\max} est la fréquence maximale que peut prendre le courant modulé ;

f_p est la fréquence de repos de l'oscillateur.

Excursion de fréquence :

$2\Delta f$ est le domaine dans lequel varie la fréquence instantanée du signal.

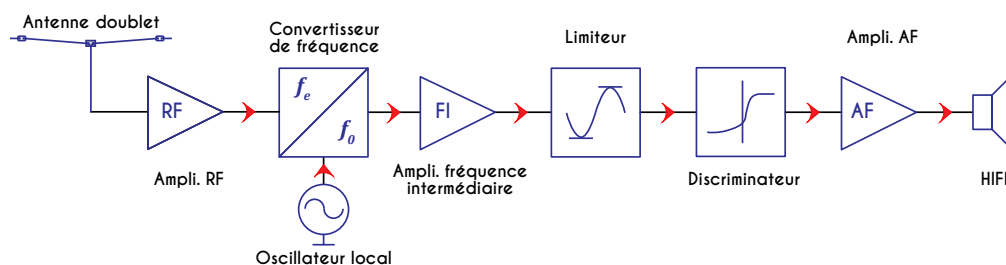


Figure 3.41 – Schéma synoptique d'un récepteur FM¹.

3.4.4 Notions sommaires sur la BLU (SSB)

3.4.4.1 Généralités

Dans les postes radiotéléphoniques à modulation d'amplitude classique, la parole est d'abord traduite grâce au microphone, en signaux électriques à basse fréquence (300 à 3000 Hz), puis dans le modulateur l'onde porteuse voit son amplitude varier au rythme de ces signaux.

L'onde porteuse modulée en amplitude a dans ce cas un spectre composé :

- D'une raie centrale de fréquence f_0 fréquence de l'onde porteuse ;
- D'une bande latérale supérieure ($f_0 + 300$ Hz, $f_0 + 3000$ Hz) ;
- D'une bande latérale inférieure ($f_0 - 300$ Hz, $f_0 - 3000$ Hz).

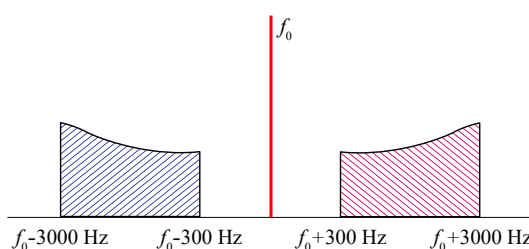


Figure 3.42 – Spectre d'un signal modulé en amplitude.

Le spectre de l'onde modulée en amplitude a donc une largeur légèrement supérieure à deux fois celle du signal modulant.

D'autre part, chacune des deux bandes latérales contient à elle seule, toute l'information utile. Dans le procédé de modulation dit à **bande latérale unique (BLU)**, une seule des bandes latérales est émise.

3.4.4.2 Principaux avantages du système BLU (SSB)

Réduction de l'encombrement du spectre :

Une émission BLU n'occupe dans le spectre des fréquences que la largeur de l'une des bandes latérales, c'est-à-dire, un peu moins de la moitié de la place occupée par une émission à modulation d'amplitude classique.

¹ - Limiteur : il s'agit d'une étape qui écrête le signal issu de la FI toutes les pointes liées aux perturbations atmosphériques et aux fluctuations rapides.

- Discriminateur : c'est l'étage qui transforme la variation de fréquence en variation de tension qui amplifiée par la suite permet de restituer la BF.

3.4.4.3 Gain en portée

L'utilisation du système à bande latérale unique permet de concentrer toute l'énergie disponible dans la seule bande latérale qui est transmise, alors que dans le système à modulation d'amplitude classique cette énergie est partagée entre la porteuse et les deux bandes latérales.

Le rendement énergétique du système BLU est donc meilleur, ce qui permet d'obtenir à puissance consommée égale, un accroissement appréciable de la portée.

- L'emploi du système BLU exige une grande stabilité en fréquence des appareils ;
- Un simple affichage de la fréquence suffit à régler un ensemble émetteur-récepteur, un réseau se trouve immédiatement calé sans qu'il soit nécessaire d'effectuer le «battement zéro». Enfin, le récepteur beaucoup plus sélectif et moins sensible au brouillage.

3.4.5 Traduction pratique de la BLU (SSB)

Pour une compréhension suffisante de la parole, la transmission des fréquences jusqu'à 3 kHz donne satisfaction. Si l'on augmente cette fréquence, on gagne fidélité de production.

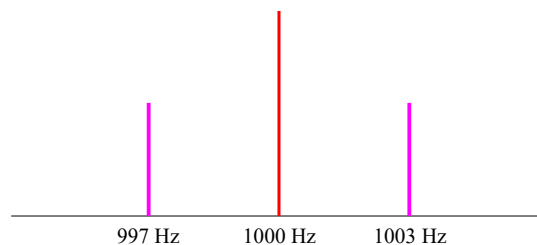


Figure 3.43 – Limitation de la largeur de bande en AM.

Lorsqu'il s'agit de simple conversations et non de transmissions en haute-fidélité (*HIFI*), on limite la «largeur de bande» le plus possible. On a vu que la modulation d'amplitude a pour résultat la transmission sur l'air d'une fréquence fondamentale (la porteuse) et de «fréquence latérale» de part et d'autre de cette porteuse. Leurs limites sont fixées en raison de la fidélité recherchée.

Considérons par exemple une fréquence de 3 kHz. Supposons une fréquence d'émission de 1 MHz. La transmission en modulation d'amplitude va donner une bande de fréquence dont le milieu sera 1 MHz et les limites $1000 \text{ kHz} + 3 \text{ kHz}$ et $1000 \text{ kHz} - 3 \text{ kHz}$ (fig. 3.43).

On voit qu'il faut une largeur de bande de $1003 \text{ kHz} - 997 \text{ kHz} = 6 \text{ kHz}$ pour une transmission utile de 3 kHz.

La BLU va permettre de supprimer la porteuse et une des deux bandes latérales, toute la puissance va se retrouver dans une seule bande avec l'avantage considérable de n'occuper qu'une place réduite et moitié dans le spectre des fréquences.

3.4.6 Suppression de la porteuse

On l'obtient par l'utilisation d'un modulateur équilibré (*Balanced modulator*). Voici son principe (fig. 3.44).

Le circuit plaque est monté comme pour *push-pull*¹. Dans le circuit grille on trouve le secondaire du transfo de modulation monté également comme pour un *push-pull*. On trouve en

¹ - C'est un montage électronique cascade amplificateur de tension qui relie à la sortie deux composants actifs travaillant en opposition de phase, relié l'un au plus de l'alimentation, l'autre au moins.

plus un transformateur HF branché entre le point du milieu du secondaire du transformateur de modulation et un point commun aux deux cathodes.

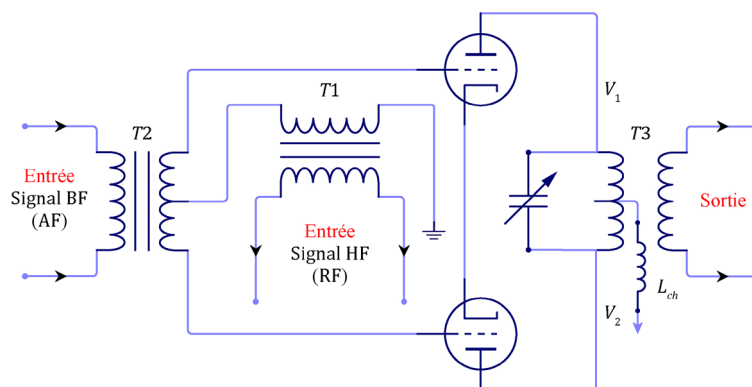


Figure 3.44 – Schéma de principe du modulateur équilibré¹.

En absence de modulation, le secondaire de $T2$ est sans action. On envoie de la HF sur les grilles. Du fait du montage utilisé, les deux grilles se trouvent au même moment, ou positives, ou négatives.

Supposons une tension positive sur les grilles. Le courant plaque (sens des flèches) de V_1 va augmenter, mais il augmente aussi dans V_2 . Comme les plaques sont alimentées en HF par le point milieu de $T3$, les courants circulent en sens contraire dans $T3$ et leurs effets s'annulent dans cet enroulement. Supposons une tension négative, nous aurons encore des effets qui s'annulent dans $T3$. La HF que nous appliquons en $T1$ ne se retrouvera pas à la sortie. Notre système est équilibré parce que les grilles sont au même potentiel en même temps.

Appliquons de la BF sur $T2$. Comme ce circuit d'attaque BF est monté en *push-pull*, lorsque la grille de V_1 reçoit une tension positive, celle de V_2 est négative. Notre système est déséquilibré et de la haute-fréquence va se manifester à la sortie au rythme de la modulation.

On constate alors la présence des deux bandes latérales mais la porteuse a disparu. Ainsi le modulateur équilibré produit de la **double bande latérale (DBL)** ou *DSB* en anglais (*Double-SideBand*).

Ce schéma de base comprendrait bien sûr en pratique des dispositifs permettant de parfaire les réglages pour compenser des dissymétries possibles, un potentiomètre dans les cathodes permettrait d'ajuster les polarisations des deux tubes, des selfs de choc isoleraient la modulation de la HF, des mélangeurs à quartz résoudre la question de production et de stabilisation des fréquences, et l'émetteur en double bande latérale tel quel serait sans intérêt. Le gros avantage est la réduction de la largeur de bande. Pour cela on supprime une des deux bandes latérales, l'inférieure ou la supérieure. À savoir que la suppression d'une bande peut se faire à l'aide de filtre à quartz, de filtres mécaniques ou par déphasage.

3.4.7 Principe du modulateur équilibré

On en a vu le principe avec les tubes. Il reste le même avec des diodes à semi-conducteur (montage shunt), figure 3.45.

¹ - L_{ch} : Self de choc.

Si les quatre diodes sont bien équilibrées, on voit que si l'on applique la HF en absence de modulation, les points A et B restent au même potentiel et il n'y a pas de HF à la sortie. La modulation appliquée va produire le déséquilibre du système et faire apparaître les deux bandes à la sortie.

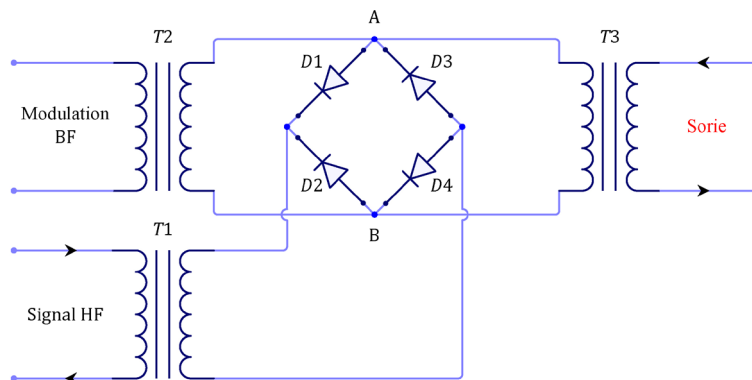


Figure 3.45 – Schéma du montage shunt.

Si les quatre diodes sont identiques, comme pour le montage shunt les points A et B sont au même potentiel en HF en l'absence de modulation.

Ces montages ne sont pas utilisés tels quels, ils nécessitent forcément des possibilités d'ajustement d'équilibre.

Il existe plusieurs variantes de ces systèmes :

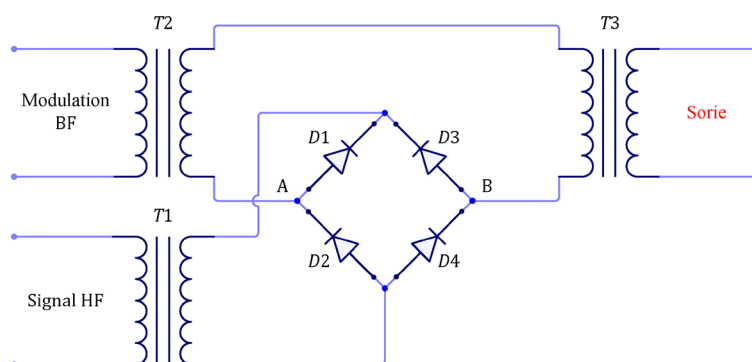


Figure 3.46 – Schéma du montage série.

3.4.8 HF sans modulation

Supposons à un moment donné une tension + côté inférieur de $T1$, nous aurons un - côté supérieur, dans le primaire de $T3$, le courant sera en opposition dans chaque moitié de cet enroulement, il n'y aura pas d'induction dans le secondaire. Le courant passe à la fois dans $D1$ et $D4$ et rejoint le point milieu de $T2$. À l'instant suivant, en $T1$, le + se trouve du côté supérieur, le courant va emprunter cette fois le circuit à travers $D2$ et $D3$ ne provoquant aucune induction dans $T3$. Le potentiomètre permet d'ajuster l'équilibre. La modulation appliquée en même temps que la HF va déséquilibrer le système et faire apparaître les bandes latérales à la sortie.

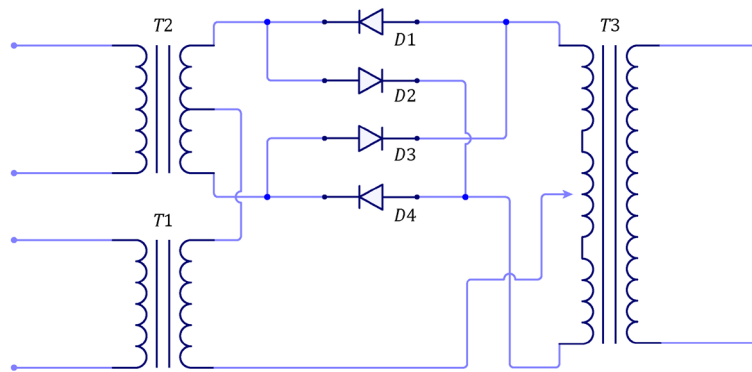


Figure 3.47 – Schéma du montage.

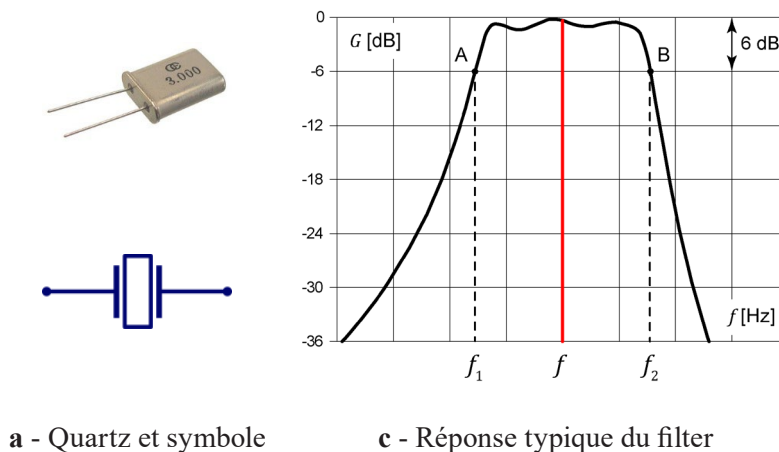
3.4.9 Bande latérale unique BLU (SSB)

Pour transmettre en BLU, il faut donc supprimer la bande latérale inférieure BLI (BL-) ou supérieure BLS (BL+).

Un procédé courant est d'utiliser des *filtres à quartz*.

La source HF appliquée sera bien plus basse que celle d'émission et devra être très stable. On peut choisir par exemple un oscillateur à quartz fréquences 9 MHz (cas d'un émetteur VHF).

Un filtre à quartz¹ est très sélectif, l'atténuation du signal est très rapide. La figure 3.48 représente la courbe de réponse en fonction de la fréquence. On fait varier la fréquence autour de la fréquence centrale f . Pour une atténuation de 6 dB, on voit que la largeur de la bande passante AB correspond à une fréquence $f_2 - f_1$. Supposons que ce soit 2,8 kHz, autrement dit nous avons 1,4 kHz d'une part et d'autre de f .



a - Quartz et symbole

c - Réponse typique du filter

Figure 3.48 – Schéma de réponse typique de filtre à quartz.

Le quartz oscillateur est choisi pour la fréquence 9000 kHz – 1,4 kHz = 8998,6 kHz (f_1). Ainsi la bande latérale inférieure ne passe plus dans le filtre, seule la bande supérieure subsiste.

¹ - Le quartz est un composant électronique qui a la caractéristique utile d'osciller à une fréquence stable lorsqu'il est stimulé électriquement. Les excellentes propriétés piézoélectriques de ce minéral lui permettent d'obtenir des fréquences d'oscillation très précises, ce qui en fait un élément important de l'électronique numérique et de l'électronique analogique.

Si le quartz oscillateur est choisi pour la fréquence $9000 \text{ kHz} + 1,4 = 9001,4 \text{ kHz}$ (f_2), seule la bande inférieure subsiste.

Un commutateur permet de choisir aisément la BLI ou la BLS.

3.4.9.1 Schéma synoptique simple

L'amplificateur BF et l'oscillateur à quartz 9 MHz attaquent le modulateur équilibré. À la sortie on recueille une double bande latérale DBL (*DSB*) 9 MHz. Le filtre supprime une bande, l'autre est dirigée sur un mélangeur attaqué également par le VFO¹.

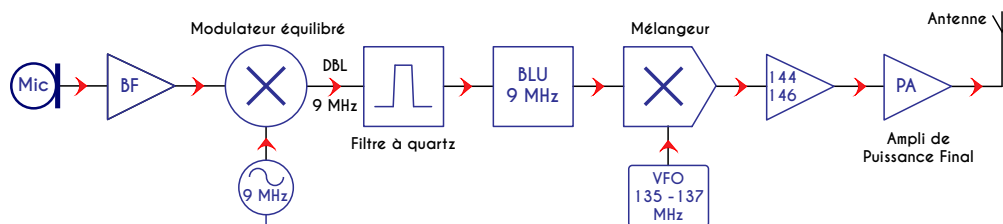


Figure 3.49 – Schéma synoptique simple de l'émetteur.

Si la fréquence d'émission doit varier de 144 à 146 MHz, le VFO devra lui varier de $144 - 9$ à $146 - 9$, soit de 135 à 137 MHz.

À la sortie du mélangeur on trouve la fréquence d'émission entre 144 à 146 MHz dirigée sur l'amplificateur de puissance final.

3.4.10 Les filtres à quartz

Un quartz est caractérisé par une résonance série et une résonance parallèle, ce que l'on peut constater à l'aide d'un générateur HF à fréquence variable et d'un voltmètre électronique (fig. 3.50c).

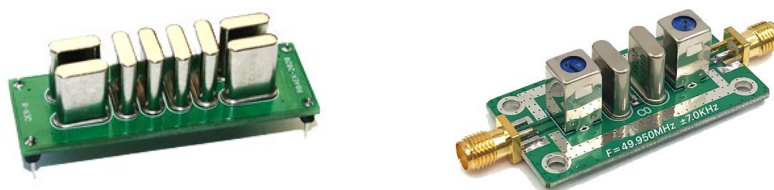


Image 3.4 – Exemples de filtres à quartz.

On part d'une fréquence inférieure à celle du quartz, on va lire une certaine tension sur le voltmètre. On augmente graduellement la fréquence. À un moment donné, la tension monte brusquement. On continue d'augmenter la fréquence, la tension retombe brusquement à sa valeur initiale. C'était la *résonance série*. On augmente encore la fréquence à un certain moment, la tension tombe rapidement et s'annule, c'est la *résonance parallèle*.

¹ - Oscillateur à Fréquence Variable (*Variable Frequency Oscillator*) : un oscillateur dont la fréquence peut être variée sur une certaine plage.

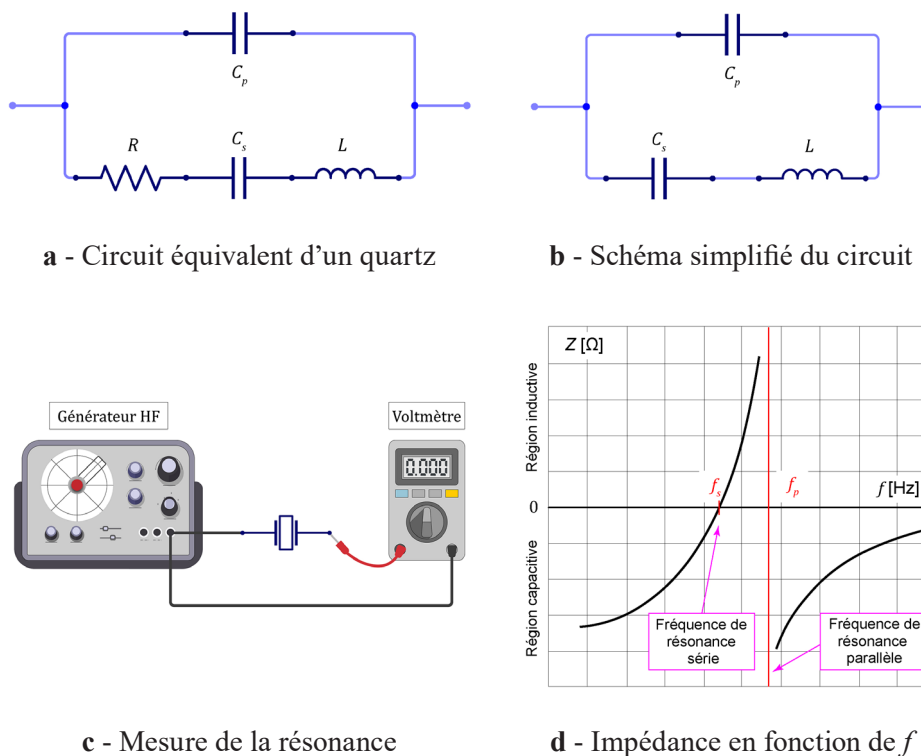


Figure 3.50 – Étude du circuit équivalent d'un quartz.

Un quartz est équivalent à un circuit comprenant une capacité C_s , une self L et une résistance R en série, et une capacité parallèle C_p aux bornes de cet ensemble (fig. 3.50a)¹. Dans cette partie, on néglige la résistance R du quartz. Le schéma électrique simplifié est alors donné (fig. 3.50b).

Comme pour un circuit oscillant, l'impédance est très faible pour la résonance série (fig. 3.50d). Le point f_s est à la résonance série, l'impédance est nulle. Le point f_p est à la résonance parallèle, l'impédance est très élevée.

Ceci va permettre de comprendre le principe de fonctionnement des filtres à quartz, ce sont les plus fréquents (fig. 3.51a). Cette configuration est appelée *en demi-treillis*². On voit que l'on a un montage en pont de Wheatstone, dont les quatre branches sont formées par la portion AC et la portion CD du bobinage et les quartz $X1$ et $X2$ reliés au point D. La branche médiane du pont est formée par les connexions en C et en D.

Ces deux quartz diffèrent légèrement en fréquence. En dehors de la fréquence $X1$, le pont est équilibré, aucune tension n'apparaît à la sortie. À la résonance du quartz $X1$, le pont est déséquilibré, une tension apparaît. Il en serait de même on arrive à la résonance du quartz $X2$.

On choisit des quartz dont la fréquence de résonance parallèle du premier correspond à la fréquence de la résonance en série du deuxième, ce qui peut se résumer comme ci-dessous avec par exemple des quartz dans la bande de 6 MHz.

1 - La capacité série virtuelle C_s est très faible, l'inductance virtuelle est très grande et la résistance est assez faible. Les éléments virtuels C_s et L déterminent la fréquence de résonance série du quartz et R influe directement sur le facteur de qualité Q du quartz en tant que circuit résonant. La capacité réelle C_p influe sur la fréquence de résonance parallèle du quartz.

2 - La bande passante de ce type de filtre est d'environ 1 à $1,5 \times$ la différence entre les fréquences des deux quartz.

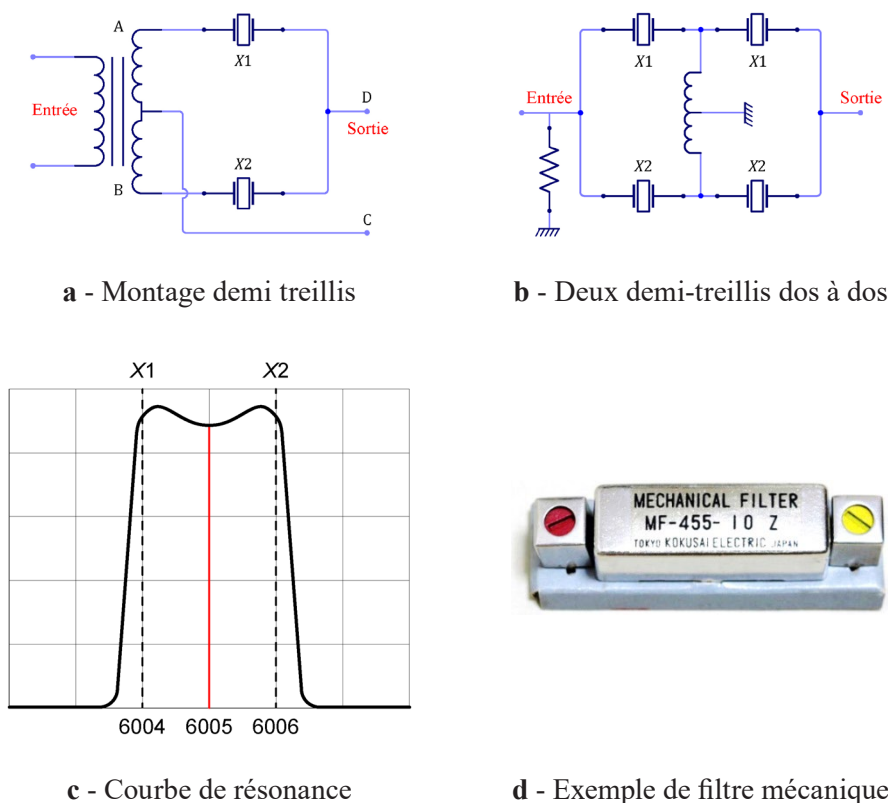


Figure 3.51 – Principe de fonctionnement des filtres à quartz.

On obtiendrait une courbe comme celle de la (fig. 3.51c). Les fréquences comprises entre 6004 et 6006 kHz passeront dans la «fenêtre» du filtre. La bande passante est ainsi de 2 kHz. Elle est donc déterminée par la différence de fréquence entre les deux quartz.

On améliore la sélectivité du filtre en utilisant deux demi-treillis montées dos à dos (fig. 3.51b). La résistance R shuntant l'entrée et la sortie, agissant à la forme de la bande passante et diminuant un creux trop important au centre.

3.4.11 BLU (SSB) par déphasage

Ce système nécessite deux modulateurs équilibrés identiques, attaqués chacun les signaux BF déphasés de 90° et par les signaux HF du générateur également décalés de 90° .

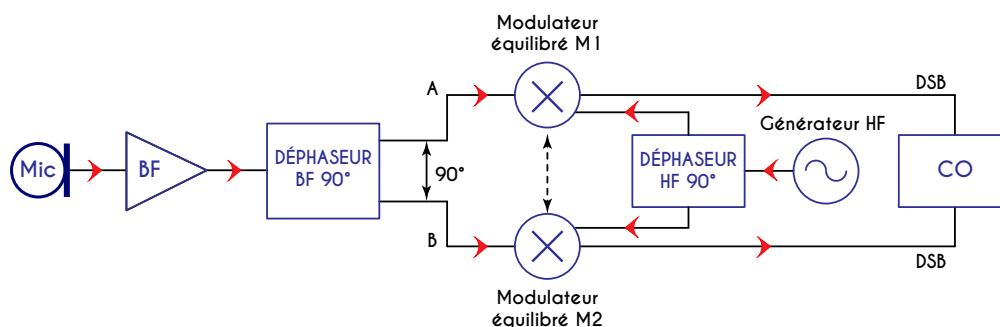


Figure 3.52 – Schéma synoptique de la BLU par déphasage.

La combinaison des signaux DSB provenant des deux modulateurs équilibrés, décalés de 90° , est appliqué au CO de sortie. Parvenant à l'annulation d'une des bandes BLI ou BLS, on choisit une bande ou l'autre en inversant les connexions aux points A et B.

3.4.12 BLU par filtre mécanique

Ces filtres sont basés sur les vibrations mécaniques de disques résonants sous l'influence de l'énergie fournie à l'entrée, ces vibrations sont à nouveau transformées en énergie électrique dirigée sur la sortie (fig. 3.51d).

3.4.13 Réception de la BLU

3.4.13.1 Le détecteur de produit

Pour décoder la BLU, il faut recomposer le signal en faisant en quelques sortes le produit de la MF, qui est la bande latérale, et du signal local qui recrée la porteuse.

Exemple avec un tube :

La MF est appliquée à la grille à travers C_1 de faible valeur (une centaine de farads). L'oscillateur local est appliqué à la cathode chargée par R à travers C_2 de faible valeur également.

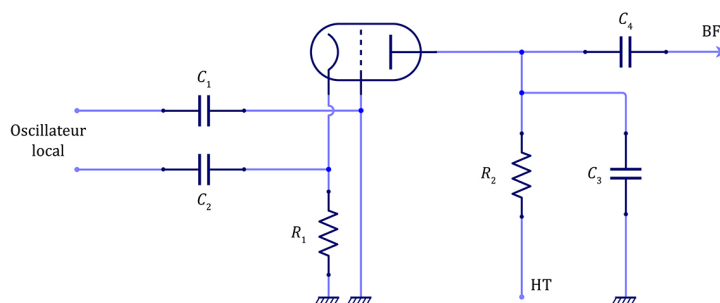


Figure 3.53 – Exemple simple avec un tube.

Le signal BF résultant se recueille sur R_2 découplée par C_3 (quelques centaine de picofarads) et transmis aux étages suivants à travers C_4 , assez fort pour ne pas atténuer la BF (par exemple 10 nF).

Exemple avec un transistor :

Le principe est le même : la MF attaque la base du transistor, l'oscillateur local fait de même à travers C_1 .

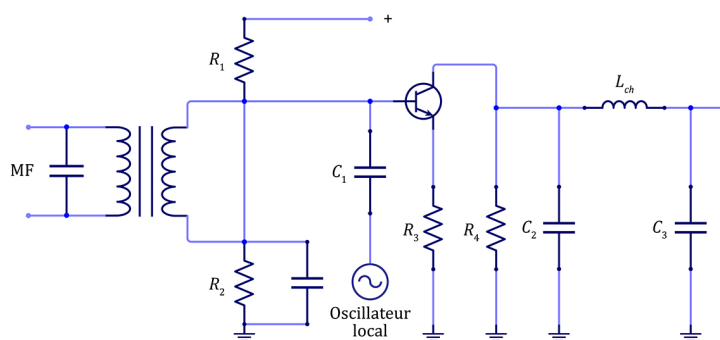


Figure 3.54 – Exemple simple avec un transistor.

R_1 et R_2 , constituent le pont de polarisation de la base. La tension BF est sur R_4 .
 C_1 et C_2 (20 et 40 nF par exemple) et L_{ch} (self de choc) forment un découplage HF.

3.5 COMPOSITION D'UN ÉMETTEUR SIMPLE

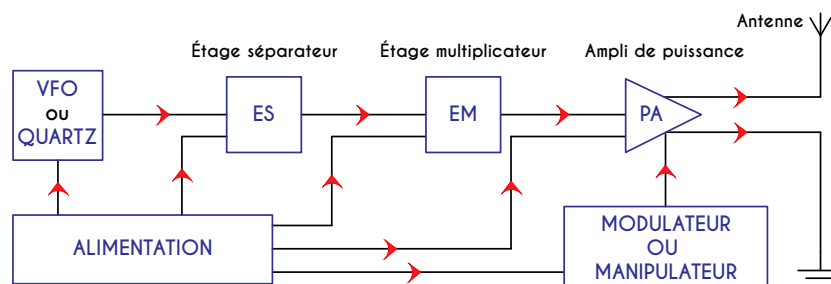


Figure 3.55 – Schéma synoptique d'un émetteur simple.

1. **Oscillateur** : il peut être fixe (quartz) ou variable (*VFO*). Voici quelques types couramment utilisés (fig. 3.56). L'oscillateur délivre le signal HF (entretenu pur) porteuse.

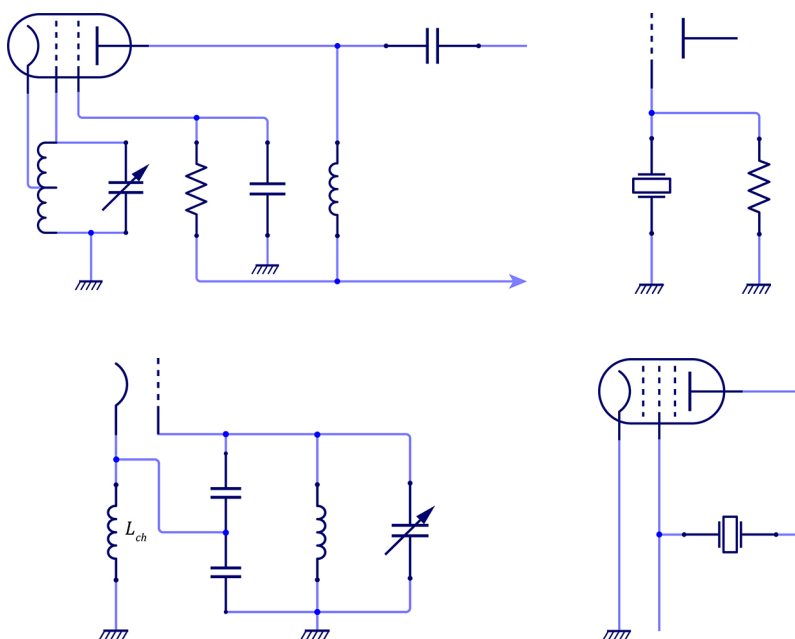


Figure 3.56 – Quelques types couramment utilisés.

2. **Étage séparateur** : il est apériodique ou à large bande. Il n'existe pas toujours sur tous les émetteurs (cas d'un émetteur à trois étages). Il sert à bien séparer l'oscillateur de base ;
3. **Étage multiplicateur** : il fournit la fréquence finale recherchée grâce à la multiplication de fréquence. Il comprend un circuit par bande, résonant sur la fréquence choisie ;
4. **Amplificateur de puissance final (PA)** : c'est l'étage ampli de puissance de la fréquence reçue de l'étage multiplicateur de fréquences (étage de sortie, appelé couramment *étage driver* ou *exit*) et qu'il fournit à l'antenne grâce au circuit oscillant qui le constitue.

On peut faire le couplage à l'antenne de différentes façons. Autre fois il était courant de « piquer » l'antenne sur une spire du bobinage du PA. Il n'y avait alors aucun filtrage des harmoniques qui pouvaient subsister.

Un couplage par boucle à basse impédance du côté froid du bobinage (coté masse) et non du côté chaud favoriserait les harmoniques, se faire encore quelques fois surtout en VHF (fig. 3.57a), bien que dans ce cas, il est plus fréquent d'utiliser un montage *push-pull* avec la boucle de couplage au centre du bobinage (point neutre) (fig. 3.57b).

Actuellement on utilise surtout un circuit en PI (fig. 3.57c). La plaque est alimentée en parallèle à travers une self de choc.

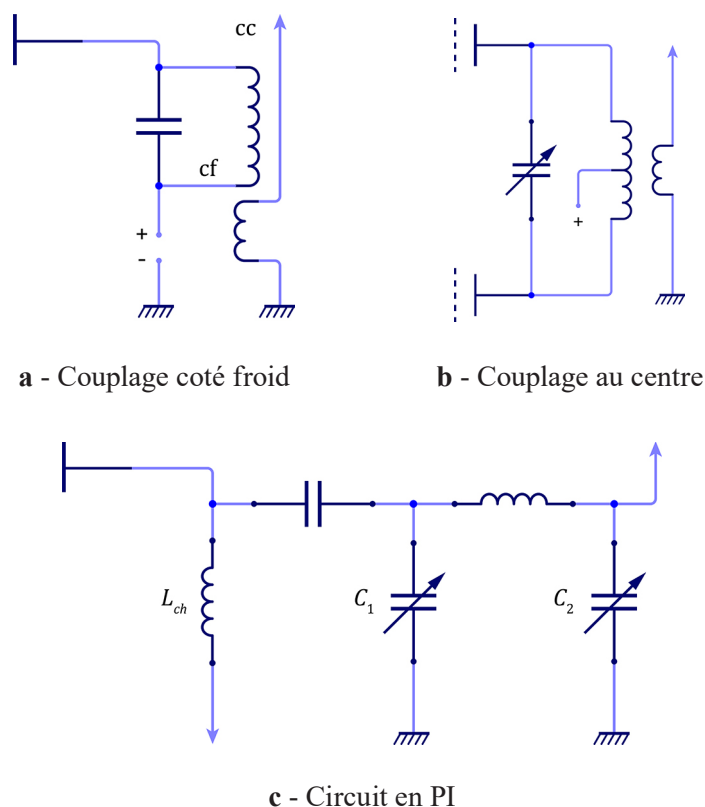


Figure 3.57 – Différentes façons du couplage à l'antenne.

C_2 a une valeur supérieure à C_1 . Pour faire le réglage, on met C_2 au maximum de sa capacité. Puisqu'il est plus important que C_1 , c'est comme si ce dernier était seul. C'est lui qui sert à faire l'accord que l'on vérifie par le creux du courant de plaque. L'antenne se trouve en quelque sorte court-circuitée à sa base, elle n'est pas chargée et le creux du courant de plaque a une valeur faible. Pour obtenir une valeur normale du courant de plaque, on diminue C_2 et on retouche C_1 , pour revenir au creux. Celui-ci augmente régulièrement avec la répétition des réglages, on arrête dès que le courant de plaque a atteint la valeur fixée pour un fonctionnement correct du PA. Ainsi on sort à la base aussi importante que possible, compatible avec le courant de la plaque prévu, ce qui défavorise le transfert d'harmoniques possibles à l'antenne. Il est évident que si la dose d'harmoniques est très forte, ce circuit en laissera passer. Mais, ce système est assez efficace dans la majorité des cas et permet une adaptation à l'antenne plus facile qu'avec une simple boucle de couplage.

3.5.1 Neutrodynage

La capacité interne d'un tube (PA), en particulier entre grille et plaque (fig. 3.58) peut devenir gênante surtout lorsque les fréquences sont élevées, et constituant un couplage provoquant des accrochages (auto-oscillation).

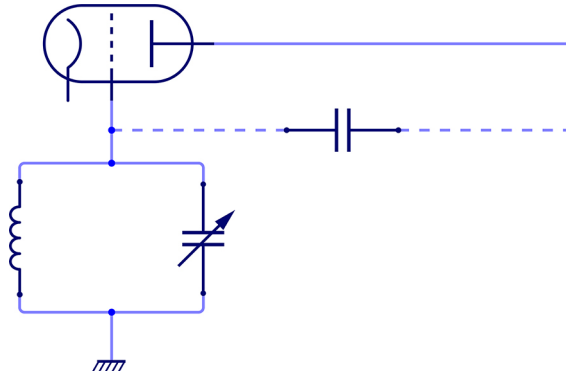


Figure 3.58 – Capacité interne d'un tube.

Il est donc nécessaire parfois de neutrodynner le tube.

En voici un exemple (fig. 3.59).

$C_n =$ quelques pF.

$C = 1000$ pF.

Tel qu'il est branché, le condensateur de neutrodynage C_n neutralise la capacité parasite.

On trouve une sorte de pont comme on l'a vu précédemment. La branche de neutrodynage comprend en somme le diviseur de tension composé de C_n et de C . Pour un réglage précis de l'ajustable C_n , l'effet de capacité interne sur les tensions HF est annulé.

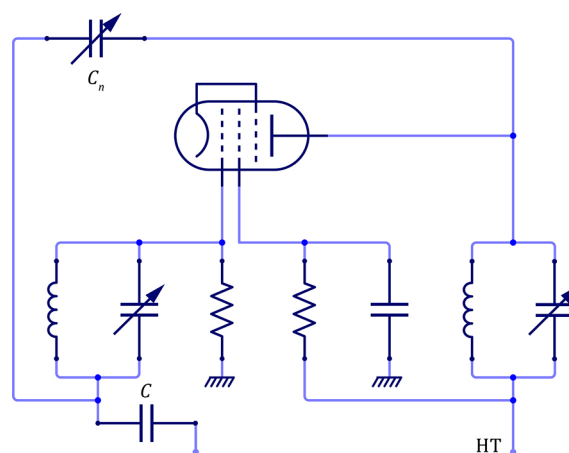


Figure 3.59 – Circuit de neutrodynage.

3.6 RÉCEPTEUR RADIO

3.6.1 Généralités

Un récepteur radio est un ensemble qui capte les ongles électromagnétiques et les transforme en son audible.

3.6.2 Principe sommaire

À l'entrée du récepteur, une antenne capte les ondes électromagnétiques émises par l'émetteur sur une fréquence donnée, suivant la puissance, l'éloignement de l'émetteur ou les obstacles rencontrés, le signal arrive très faible il est nécessaire donc de l'amplifier avant de l'appliquer au changeur de fréquence.

3.6.3 Changement de fréquence

Cet étage n'existait pas dans les premiers récepteurs d'où sensibilité moindre, réception faible, évanouissement etc. De plus, il est inutile d'amplifier infiniment le signal HF car en même temps on gonfle toutes les perturbations indésirables, parasites, souffles etc. Il a fallu trouver un compromis. Cette expérience a prouvé qu'il était aisé d'amplifier une moyenne de fréquence sans risquer de suivre à l'information BF, pour obtenir cette fréquence moyenne qui est proportionnellement fixée à 455 kHz, il est procédé comme suit :

Deux signaux de fréquence différentes f_i et f_o appliquées à l'entrée d'un changeur de fréquence engendrent dans le circuit de sortie une fréquence.

$$MF = f_o - f_i,$$

f_i – fréquence incidente du signal de l'émetteur désiré (7000 kHz) ;

f_o – fréquence d'un signal produit par un oscillateur local et qui doit être plus petit ou plus grand que f_i de 455kHz (en pratique plus grand).

$MF = 7455 - 7000 = 455$ kHz. Nous obtenons donc une fréquence constante et relativement peu élevée, d'où une grande sélectivité et sensibilité, facilité d'amplification.

On appel *supradyne* si la recombinaison de ces deux signaux est :

$$f_o + f_i = MF,$$

et *infradyne* quand :

$$f_o - f_i = MF.$$

Ce signal est amplifié, filtré et appliqué au détecteur.

1. Détection : à cet étage, il extrait le signal BF du signal HF modulé.

Principe du détecteur : les signaux à détecter sont appliqués à une diode qui ne laissera passer que les alternances d'un seul sens (fig. 3.60).

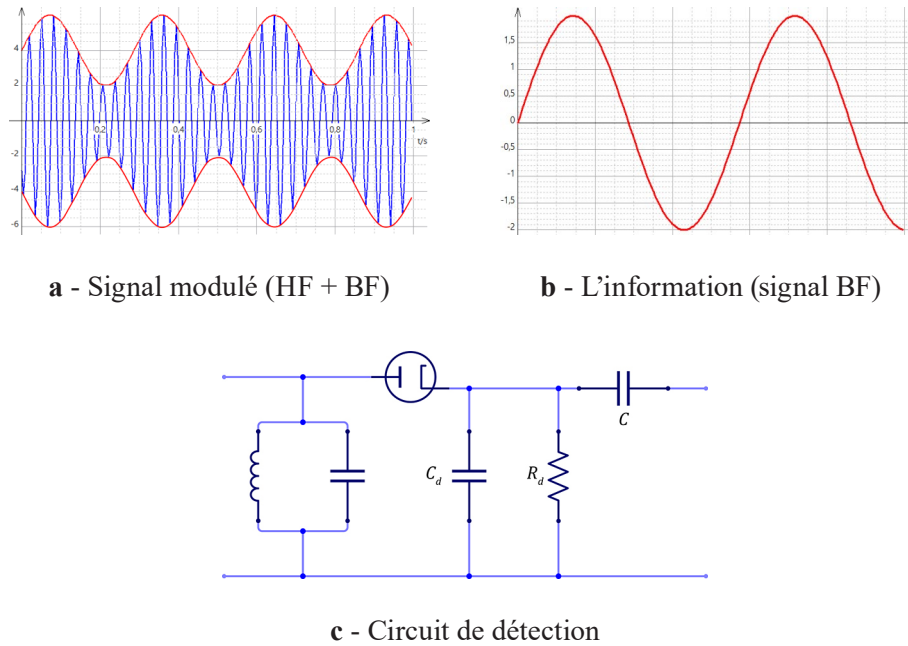


Figure 3.60 – Éléments du processus de détection.

La capacité C_d élimine les composantes HF tandis que la capacité C bloquera la composante continue qui aurait pour effet de saturer la bobine du haut-parleur.

2. **Amplificateur BF** : le signal BF (information) est amplifié et appliqué en haut-parleur qui transforme le signal électrique en signal acoustique.

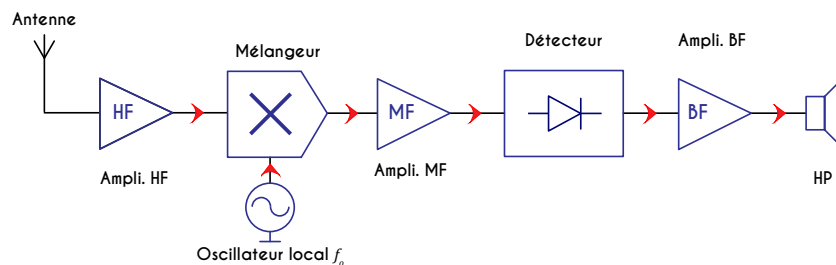


Figure 3.61 – Schéma synoptique simple d'un récepteur.

3.7 PROPAGATION DES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

3.7.1 Généralités

Les ondes électromagnétiques se propagent à la vitesse de 300 000 km à la seconde.

Le mode de propagation des ondes radioélectriques peut s'effectuer :

- En ligne droite dans les milieux homogènes : *trajectoire rectiligne* ;
- Par *réflexion* sur le sol et les obstacles : elles obéissent sensiblement aux lois de l'optique ;
- Par *réfraction* en milieu non homogène ;

- Par *diffusion* à haute et basse altitude ;
- Par *diffraction*¹ après rencontre avec un obstacle.

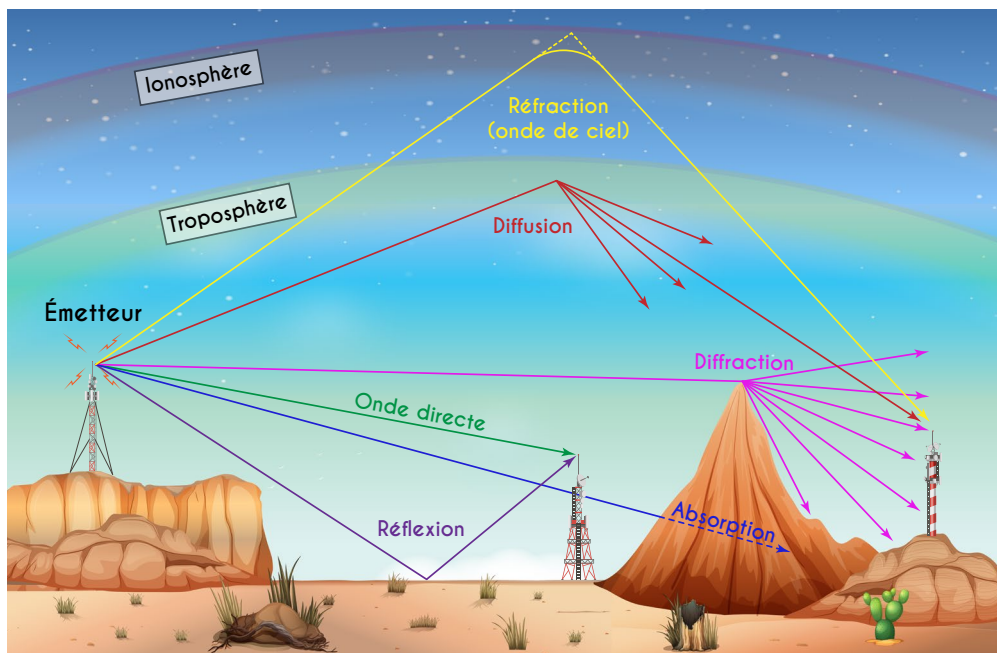


Figure 3.62 – Propagation des ondes électromagnétiques.

3.7.2 Classification des ondes

Selon leurs trajectoires, les ondes radioélectriques peuvent être classées en :

a) *Onde de sol* avec ses trois composantes :

1. **L'onde directe**, dont le trajet est légèrement courbé vers le sol par réfraction atmosphérique ;
2. **L'onde réfléchie**, qui n'existe que si la configuration du terrain permet la réflexion ;
3. **L'onde de surface**, qui suit la surface du sol.

b) *Onde ionosphérique*.

En général, il est pratiquement impossible de distinguer ces trois composantes, à l'exception de l'onde directe dans certains cas très particulières (liaison air-sol par exemple).

Les ondes du sol sont stables, elles ne varient pas de jour et de nuit, ni avec les changements de saison. Au départ de l'émetteur, elles décroissent assez rapidement en puissance mais ne stabilisent pas par la suite. On accroît leur portée en lisant une antenne verticale. Enfin elles sont utilisées pour les liaisons à courte distance, la bonne ou mauvaise conductibilité du sol influant notablement leur propagation.

L'onde de sol est entièrement liée électriquement aux propriétés du sol.

¹ - C'est le comportement de l'onde lorsqu'elle rencontre un obstacle. C'est la diffusion par les points de l'objet. La densité de l'onde n'est pas conservée contrairement aux lois de l'optique géométrique.

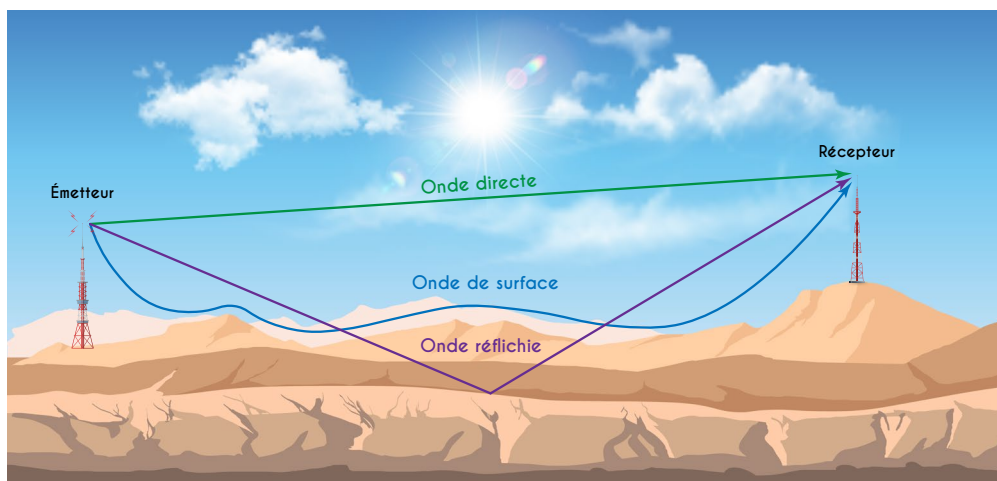


Figure 3.63 – L’onde de sol avec ses trois composantes.

3.7.2.1 L’onde ionosphérique¹

Les ondes qui partent de l’antenne sous un angle plus grand que celui formé par l’angle de l’horizon sont appelées *ionosphériques*. L’air est raréfié et sa composition est différente de celle des basses altitudes.

Elle se réfléchit par l’ionosphère (ensemble de couches ionisées de l’atmosphère située entre 50 et 400 km d’altitude). L’ionisation de l’air est essentiellement provoquée par le rayonnement ultraviolet du soleil.

L’ionisation suit donc étroitement l’activité solaire.

- Elle est plus le jour que la nuit ;
- Elle est l’objet de variations saisonnières ;
- Elle est sujette à des fluctuations rapides et désordonnées au moment du lever et coucher du soleil ;
- Elle suit le cycle des taches solaires (11 ans)².

Enfin, les ondes ionosphériques sont utilisables pour les relations à toutes distances, excepté celles situées dans la zone de silence.

1 - La découverte de la propagation ionosphérique a été attribuée au radioamateur au début des années 1920.

2 - C’est cycle au cours duquel l’activité du soleil change en reproduisant les mêmes phénomènes pendant la même durée qu’auparavant. Cette activité solaire est caractérisée par l’intensité du champ magnétique solaire et le nombre de taches à sa surface.

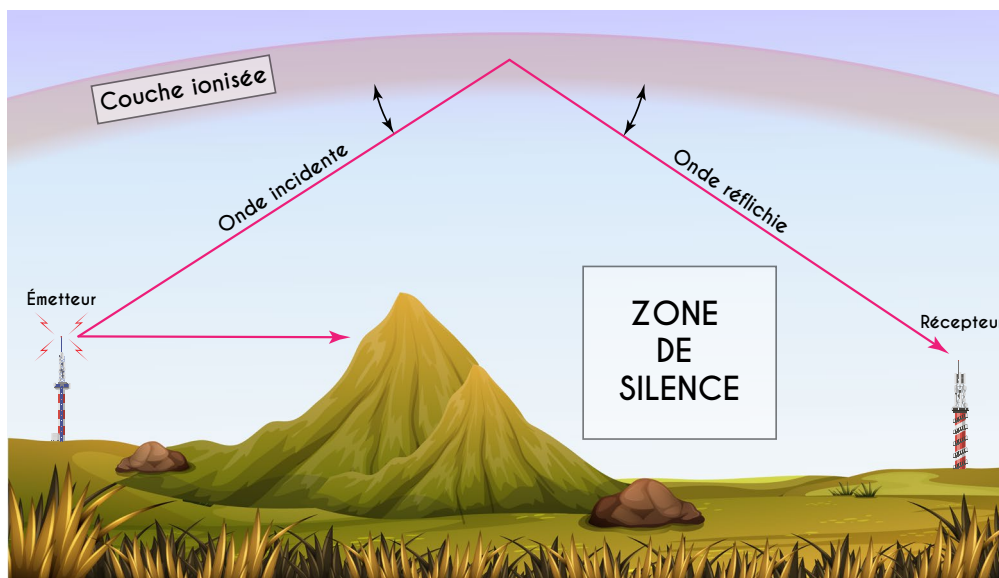


Figure 3.64 – L'onde ionosphérique et la zone de silence.

Elles atteignent une grande portée pour une faible puissance, elles n'assurent qu'une propagation médiocre aux fréquences basses, ce qui oblige à recourir à l'emploi d'antennes directives. Les fluctuations dues aux influences solaires nécessitent un changement de fréquence à la tombée de la nuit et au lever du jour.

3.7.3 Les facteurs de propagation

3.7.3.1 Le sol

Le sol joue un rôle important dans la propagation par sa configuration (courbure, relief, obstacles superficiels...) et sa conductibilité.

On distingue des sols bons conducteurs (terres arables, sol argileux, fonds de vallées...) et des sols mauvais conducteurs (zone rocheuses, sables secs, contrées désertiques...).

Les ondes contournent la cœtière terrestre et ses accidents grâce à la propriété qu'elles ont de se diffracter. La diffraction s'effectue d'autant plus facilement que la longueur d'onde est plus grande. Les obstacles de diffusion intérieure à la longueur d'onde ne produisent pas d'ombre appréciable sauf s'ils sont situés à proximité des antennes d'émission ou de réception.

La présence de forêts, de constructions industrielles, métalliques, et des lignes de transport d'énergie électrique augmentent l'absorption d'autant plus que la longueur d'onde est plus courte, il est donc nécessaire pour autant que les nécessités du camouflage le permettent d'écarter les alignements de tout obstacle et de toute base métallique.

La conductibilité du sol peut être améliorée par une prise de terre ou par un contrepoids (fil isolé sur sol)¹.

1 - Le contrepoids électrique se réalise à l'aide d'un contact électrique dans le sol :

- + prise de terre dans un marais ;
- + canalisation d'eau ;
- + circuit de terre du bâtiment ;
- + sol artificiel métallique par exemple en grillage ;
- + fils de masse de grande longueur ;
- + piquet enfoncé assez profondément dans le sol d'un marais ;
- + fil isolé (22 m environ pour les bandes radioamateur).

3.7.3.2 L'atmosphère

L'atmosphère agit de deux façons sur la propagation des ondes :

- Par la réfraction atmosphérique qui modifie leurs trajets ;
- Par des perturbations qui provoquent des bruits parasites gênant la réception.

3.7.3.2.1 La réfraction atmosphérique

L'indice de réfraction de l'air décroît avec l'altitude, cette variation d'indice a pour effet de courber les ondes radioélectriques vers la terre. Certaines circonstances météorologiques peuvent faire que l'indice de réfraction baisse anormalement avec l'altitude, dans d'autres circonstances météorologiques, cet indice peut demeurer constant jusqu'à une certaine altitude, le trajet des ondes est alors moins courbé vers le sol et peut même devenir rectiligne.

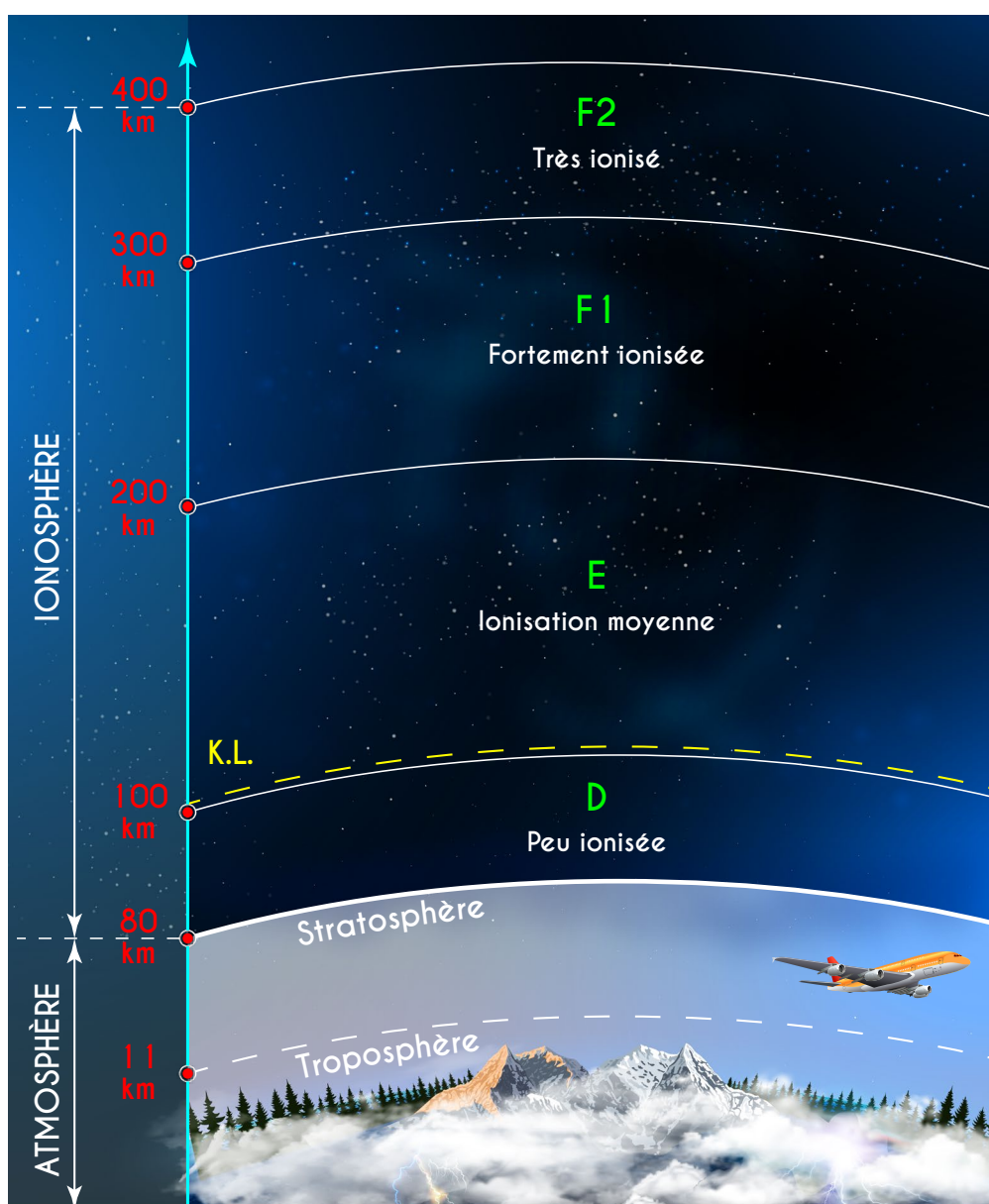


Figure 3.65 – Facteurs de propagation des ondes radio¹.

¹ - K.L. : La ligne de Kármán s'étend, suivant les normes internationales, à 100 km au-dessus de la surface de la Terre. Elle définit la limite entre l'atmosphère terrestre et l'espace pour la Fédération aéronautique internationale.

3.7.3.2.2 Les perturbations atmosphériques

La pluie, la neige, l'orage, la grêle et le vent de sable sont des perturbations atmosphériques qui provoquent dans les récepteurs des bruits appelés *parasites atmosphériques*¹.

3.7.3.2.3 La troposphère

C'est la couche atmosphérique qui se trouve au contact de la terre et dont l'épaisseur est d'environ 11 km. Cette couche inférieure de l'atmosphère assure la propagation des ondes métriques à centimétriques d'une manière différente, celle des ondes plus longues, en ce sens que :

- L'onde ionosphérique n'existe plus ;
- L'onde de surface est sans intérêt, car les antennes sont généralement situées à plusieurs longueurs d'onde au-dessus du sol ;
- Les bruits de propagation sont faibles.

3.7.3.2.4 L'ionosphère

L'ionosphère est constituée par l'ensemble des couches supérieures ionisées de l'atmosphère qui se situent entre 50 et 400 km d'altitude. À ces altitudes, l'air est fortement raréfié, sa composition est différente de celles des couches inférieures.

L'ionosphère joue un rôle capital dans la propagation, son action est due aux électrons libres, leur masse beaucoup plus petite que celle des atomes ou des molécules chargées électriquement, leur permettant de vibrer plus énergiquement. Ces différentes couches se répartissent de la manière suivante :

- Vers 80 km d'altitude, une couche «**D**» *faiblement ionisée* qui n'existe que de jour, sa densité électronique égale 10^8 ;
- Vers 100 km d'altitude, une couche «**E**» *fortement ionisée* que la couche D et qui est comme cette dernière n'existe que de jour, densité électronique égale à 10^{10} .
- Néanmoins, au voisinage de la couche D, apparaissent irrégulièrement et d'une manière imprévisible des noyaux dont le taux d'ionisation est plus intense que dans la couche «**E**» ;
- Vers 200 km d'altitude apparaît une couche «**F₁**» *plus fortement ionisée* que la couche E. Cette couche F_1 n'existe que de jour et agit peu sur la propagation, densité électronique 10^{12} ;
- Vers 300 km d'altitude enfin, se trouve une couche «**F₂**» *fortement ionisée*, existe seulement de nuit. Cette forte ionisation de la couche F_2 a une très grande influence sur la propagation, densité électronique égale ou supérieure à 10^{12} .

3.7.3.3 La fréquence

C'est en fait le facteur déterminant de la propagation, question qui va être traitée ci-après.

1 - QRN selon le code Q international.

3.7.4 Propagation en fonction de la fréquence

3.7.4.1 Généralités

La longueur d'onde et la fréquence sont liées par la relation suivante :

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (3.18)$$

où λ – longueur d'onde, m ;

c – vitesse de la lumière (3×10^8 m/s) ;

f – fréquence, Hz.

D'où

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^5 [\text{km/s}]}{f [\text{kHz}]} \Leftrightarrow \lambda [\text{m}] = \frac{300}{f [\text{MHz}]}.$$

Suivant leur longueur d'onde, on classe les ondes en :

- Ondes kilométriques (fréquences basse LF) ;
- Ondes hectométrique (fréquences moyennes MF) ;
- Ondes décamétriques (fréquences hautes HF) ;
- Ondes métriques (fréquences très hautes VHF) ;
- Ondes décimétriques et centimétriques (fréquence ultra élevées UHF et SHF).

Exemples :

- Longueur d'onde pour la fréquence 30 kHz :

$$\lambda_{30 \text{ kHz}} = \frac{300000}{30} = 10000\text{m} = 10 \text{ km}.$$

- Longueur d'onde pour la fréquence 144 MHz :

$$\lambda_{144 \text{ MHz}} = \frac{300}{144} = 2,08\text{m} = 2\text{m}.$$

- Longueur d'onde pour la fréquence 430 MHz :

$$\lambda_{430 \text{ MHz}} = \frac{300}{430} = 0,69\text{m} = 70 \text{ cm}.$$

Les fréquences élevées (supérieures à 30 MHz) traversent l'ionosphère sans réflexion.

Les fréquences basses (inférieures à 600 kHz) sont absorbées par les couches basses de l'ionosphère et ne donne pas lieu à la réflexion ionosphérique.

Les fréquences intermédiaires (comprises entre 30 MHz et 600 kHz) peuvent être utilisées par réflexion ionosphérique.

3.7.4.2 Définition

La longueur d'onde c'est la distance séparant deux points où les tensions se retrouvent en phase, c'est-à-dire quand ces points ont une valeur et varient dans le même sens.

3.7.4.3 Les ondes kilométriques LF

On appelle ainsi les ondes dont la longueur est comprise entre 10000m et 1000m, ce qui correspond à une fréquence comprise entre 30 kHz et 300 kHz.

La portée de l'onde AB peut atteindre 100 km tandis que l'onde de surface AC peut couvrir une distance de 1000 à 1500 km (fig. 3.66).

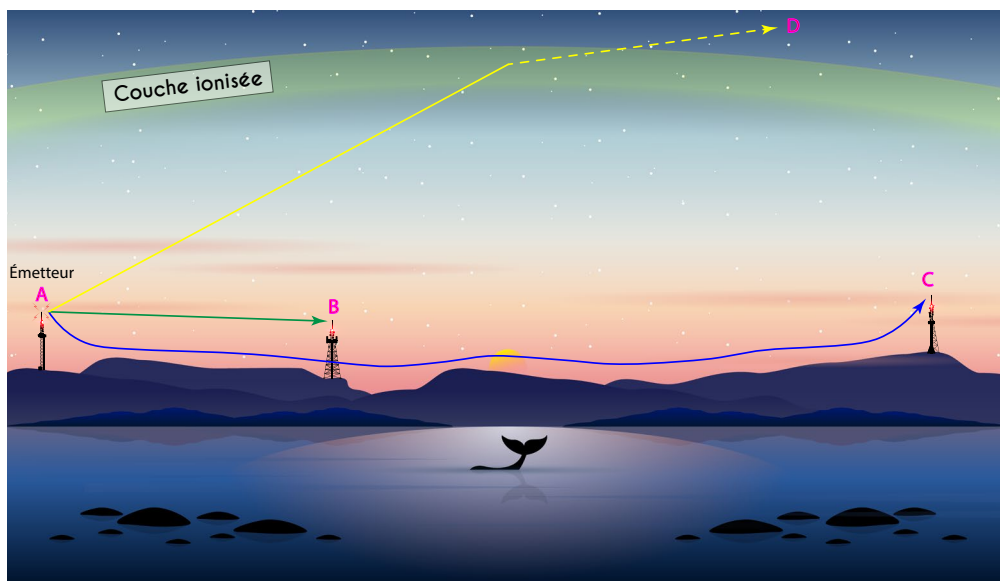


Figure 3.66 – Comportement de l'onde kilométrique.

AB : Onde directe (100 km) ;

AC : Onde de surface (1000 à 1500 km) ;

AD : Onde ionosphérique absorbée en totalité.

3.7.4.4 Les ondes hectométriques MF

On appelle ainsi les ondes dont la fréquence est comprise entre 300 kHz et 3 MHz, ce qui correspond à une longueur d'onde entre 1000m et 100m.

La portée de l'onde direct AB peut atteindre 50 à 100 km tandis que l'onde de surface AC peut couvrir une distance supérieure (en fonction de la puissance de l'émetteur).

En onde ionosphérique, la distance de saut AD est sensiblement égale à la portée de l'onde de surface. Pour un rayon donné, on notera toutefois la possibilité de porter par un deuxième saut DD' la réception de l'onde ionosphérique en D' (fig. 3.67).

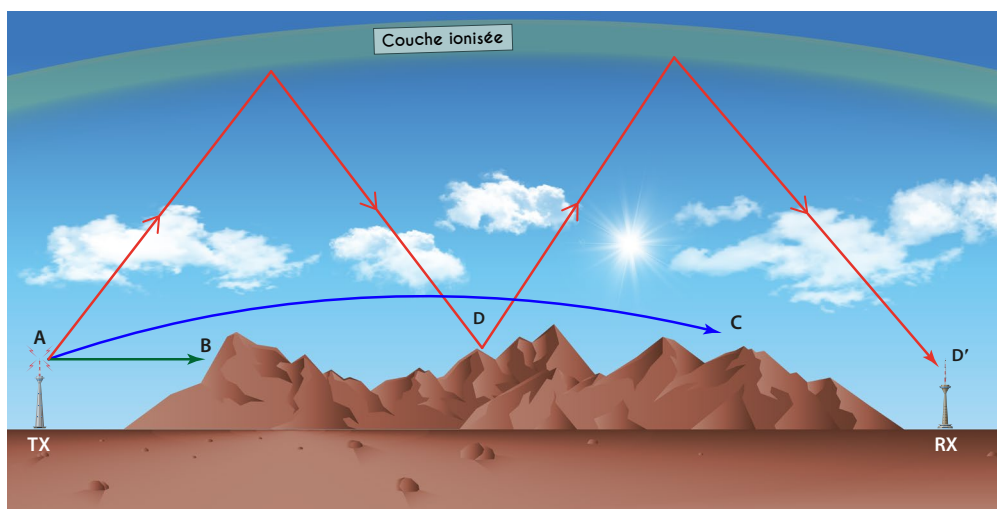


Figure 3.67 – Comportement de l'onde hectométrique.

Remarque :

Dans la zone DC, la réception est soumise à des évanouissements (*fading*¹) dus aux différences de phases entre l'onde de surface et l'onde ionosphérique.

3.7.4.5 Les ondes décamétriques HF

On appelle ainsi les ondes dont la longueur est comprise entre 100m et 10m, ce qui correspond à une fréquence comprise entre 3 MHz et 30 MHz.

La portée de l'onde directe AB peut atteindre 100 km tandis que l'onde de surface peut couvrir une distance de 150 km suivant la portion de fréquence utilisée.

L'onde ionosphérique se propage dans les mêmes conditions que pour les ondes hectométriques.

Par contre, il apparaît une zone comprise entre la portée minimale de l'onde d'espace réfléchi par l'ionosphère (point D) et la portée maximale de l'onde de surface (point C), dans cette zone appelée **zone de silence** (distance de saut, *skip distance*) aucun signal n'est reçu (fig. 3.68).

1 - QSB selon le code Q international : «La force de mes signaux varie-t-elle ?».

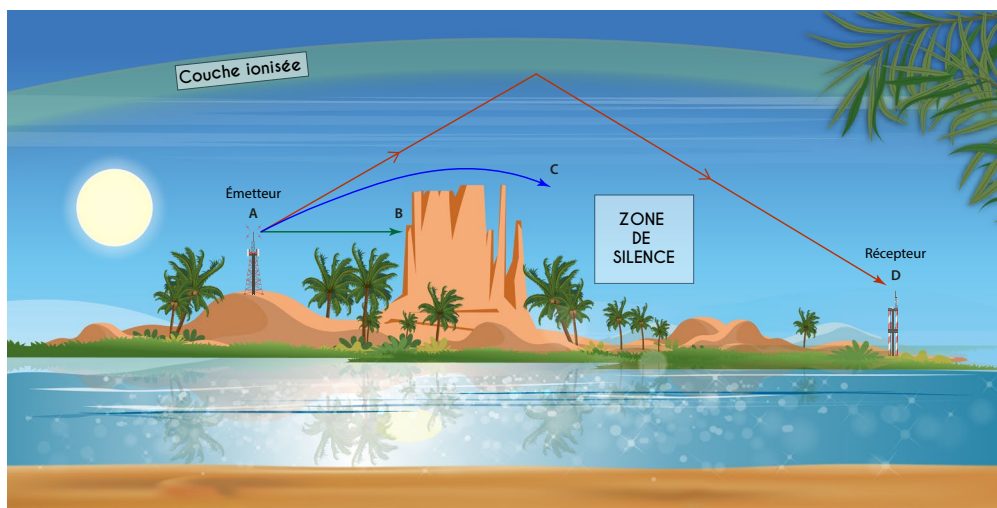


Figure 3.68 – Comportement de l'onde décimétrique.

3.7.4.6 Les ondes métriques VHF

On appelle ainsi les ondes dont la longueur est comprise entre 10m et 1m, ce qui correspond à une fréquence entre 30 MHz et 300 MHz (exemple MF et les faisceaux hertziens).

Avec les ondes métriques apparaît le domaine des *relations directes à vue*. En effet, seules les relations par ondes directes sont utilisables. On accroîtra la portée en élevant l'antenne.

Toutefois, une autre forme de propagation sur ces bandes est caractérisée par le principe de la diffraction¹, ce qui permet aux ondes de «contourner» quelque peu les obstacles et se propager légèrement dans la zone d'ombre due à ces obstacles. La valeur moyenne du champ obtenu est faible, mais stable.

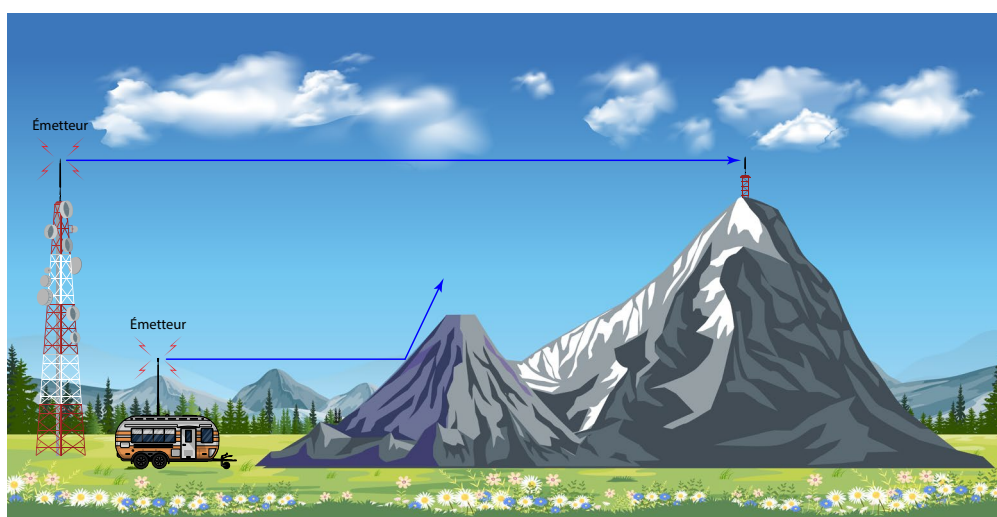


Figure 3.69 – Comportement de l'onde décimétrique.

¹ - Exemple : lorsqu'on voit les rayons du soleil qui se lève derrière la montagne avant de le voir lui-même, ces rayons étant déviés par l'arête de la montagne, ça va de même pour les ondes électromagnétiques.

3.7.4.7 Les ondes décimétriques et centimétriques UHF et SHF

On appelle ainsi les ondes dont la fréquence est comprise entre 1m et 1cm, ce qui correspond à une fréquence comprise entre 300 MHz et 30 GHz (faisceaux hertziens).

La propagation des ondes de ce type s'effectue généralement à vue directe et elles ne présentent pas d'aptitude à contourner les obstacles. Elles ne permettent donc que des portées réduites.

Cette restriction n'est pas toujours un inconvénient, car elle diminue les risques de brouillage et rend plus difficile l'interception. Par ailleurs, la stabilité du champ moyen permet d'obtenir des relations d'excellente qualité sans changement de fréquence en fonction de l'heure d'écoute.

3.7.4.8 Les antennes

Les antennes utilisées pour la propagation des ondes des deux derniers types sont construites de manière à rayonner dans une direction privilégiée.

Les plus couramment utilisées sont :

- Les antennes «Yagi» pour les ondes métriques (VHF) ;
- Les antennes «Cigare» hélicoïdale, à cornets ou à réflecteur parabolique pour les ondes décimétriques ou centimétriques (UHF - SHF).

3.7.5 Choix des éléments d'une radiocommunication

3.7.5.1 Exposé du problème

La principale donnée est déterminée par la portée à réaliser. Le plus souvent, les postes à employer, et par la suite leurs portées en onde de sol sont imposés.

- Le choix des fréquences est généralement limité par leur distribution par l'ANRT.
- La nature du sol (bon ou mauvais conducteur) et le relief sont connus dans la plupart des cas.

Le problème consiste à déterminer :

- Le mode de propagation qui sera choisi pour établir la relation (onde de sol ou onde ionosphérique) ;
- La fréquence à utiliser ;
- Le type d'antenne d'émission et ses conditions d'installation.

3.7.5.2 Choix du mode de propagation

L'onde de sol doit être choisie de préférence car elle procure une bonne régularité de la radiocommunication. Mais elle ne convient pas pour des relations à courte distance, et si :

- La distance entre correspondants est inférieure à la portée du poste (donnée de la notice) ;
- Le relief et les obstacles au voisinage de l'émetteur et entre les correspondants ne ferment pas un écran important ou une forte masse absorbante.
- L'onde ionosphérique est utilisée si les conditions énumérées ci-dessus ne sont pas réalisées et en particulier si :
 - La distance entre correspondants est (ou risque de devenir) supérieure à la portée présumée du poste ;
 - Le relief et les obstacles risquent de provoquer une absorption importante.

3.7.5.3 Choix de la fréquence

3.7.5.3.1 Cas de l'onde de sol

Les fréquences sont fixées par ordres pour les transmissions. On choisira parmi celles-ci les fréquences disponibles les plus basses. Toutefois, on peut être amené à utiliser les fréquences plus élevées si :

- Le niveau des bruits atmosphériques est trop gênant ;
- L'antenne utilisée (antenne *fouet*) est trop courte par rapport à la longueur d'onde car dans ces conditions, elle aurait un très mauvais rendement.

Sous la réserve ci-dessus concernant le niveau de bruit, la fréquence est valable de jour comme de nuit.

3.7.5.3.2 Cas de l'onde ionosphérique

La fréquence est déterminée d'après les courbes des bulletins mensuels de pression.

Entre deux fréquences possibles, on choisira la plus élevée. Très souvent il est nécessaire de choisir deux fréquences : une pour le jour (élevée), et l'autre pour la nuit (basse).

3.7.5.4 Choix de l'antenne

Il doit se limiter, dans toute la mesure du possible, aux antennes fournies avec le poste.

3.7.5.4.1 Antenne pour onde de sol

L'antenne verticale est la plus favorable, c'est l'antenne fouet des postes de campagne. Sa portée en onde de sol croit avec sa longueur.

3.7.5.4.2 Antenne pour onde ionosphérique

L'antenne horizontale demi-onde est la plus favorable.

a) Pour des portées inférieures à 300 km, la hauteur doit être inférieure au quart d'onde et l'orientation n'a qu'une influence secondaire ;

b) Pour des portées supérieures à 300 km, la hauteur doit être au moins égale au quart d'onde et l'antenne doit être perpendiculaire à la direction du correspondant, dans le cas de l'exploitation d'un réseau à plusieurs correspondants, l'antenne sera orientée dans un trop grand nombre de directions différentes, il est préférable d'abandonner ce type d'antenne.

3.7.6 Ordres de grandeur des fréquences à utiliser en AM

À titre d'information, le tableau annexe donne un ordre de grandeur des fréquences qu'il serait préférable d'utiliser de jour ou de nuit en fonction de la distance de la relation à effectuer.

Ce tableau ne saurait en aucun cas remplacer les courbes de propagation, il conviendra de se référer pour une étude précise de liaison.

Jour	Nuit
10 à 30 MHz	3,5 à 4,5 MHz
7 à 13 MHz	2,5 à 3,5 MHz
5 à 11 MHz	2 à 3 MHz

3.8 LES ANTENNES

3.8.1 L'induction

Les circuits (1) et (2) sont branchés au primaire et au secondaire du transformateur. Si le générateur G débite un *courant continu* dans (1), aucun courant n'est signalé dans (2) par l'ampèremètre A .

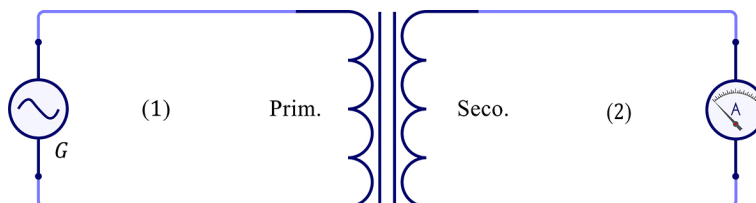


Figure 3.70 – Circuit inductivement couplé.

Au contraire, si G débite un *courant alternatif* dans le circuit (1), on constate dans le circuit (2), l'apparition d'un courant de même fréquence. La variation du champ magnétique engendré par celle du courant dans le primaire du transformateur, a fait apparaître dans le secondaire du courant variable, les circuits (1) et (2) sont ***couplés inductivement***.

L'effet inductif aux basses fréquences n'est sensible que si la distance entre le primaire et le secondaire est faible, le champ magnétique créé sera d'autant plus intense :

- Que le courant sera plus fort dans le primaire ;
- Que les variations de courant y seront plus rapides, donc que la fréquence sera plus élevée.

3.8.2 Le rayonnement

Si l'on atteint des fréquences élevées (100 000 périodes par seconde ou 100 kHz), on constate qu'il est possible, en séparant nettement les circuits primaire et secondaire, d'obtenir le transfert d'une fraction d'énergie de (1) dans (2).

Dans ce cas, le circuit primaire a engendré un champ électromagnétique variable prolongeant les effets du champ magnétique qui a donné naissance dans le secondaire à un courant variable.

Le champ constamment variable est appelé électromagnétique ;

Le champ électromagnétique est la résultante du champ électrique.

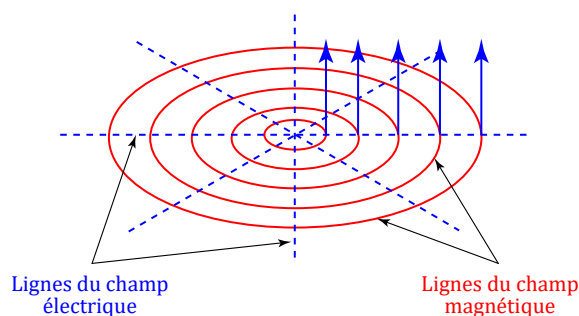
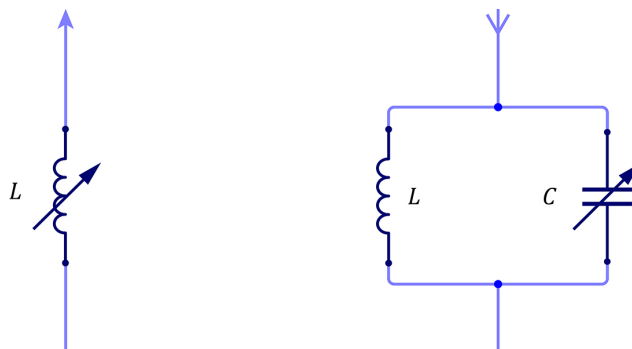


Figure 3.71 – Diagramme de rayonnement.



a - Circuit d'émetteur élémentaire

b - CO d'un récepteur simple

Figure 3.72 – Circuits oscillants TX et RX simples.

L'émetteur élémentaire (fig. 3.72a) est constitué par un générateur HF et un circuit oscillant d'accord d'antenne sur la fréquence d'émission.

Le récepteur (fig. 3.72b) comporte aussi un circuit oscillant et divers organes d'amplification et de détection, du courant induit dans le circuit oscillant sera accordé sur la fréquence d'émission.

Le circuit accordé de l'émetteur qui produit le champ électromagnétique, et celui du récepteur où apparaît le courant induit, constituent respectivement les antennes d'émission et de réception.

3.8.3 Notion d'antenne

Nous voyons ainsi qu'une antenne se compose :

- D'une partie chargée de rayonner (à l'émission), ou de collecter (à la réception) les ondes électromagnétiques : c'est l'antenne proprement dite ;
- D'une ligne d'alimentation, conductrice mais non rayonnante appelée *Feeder*¹ intermédiaire entre l'émetteur ou le récepteur et le radiateur ou le collecteur d'onde².

3.8.4 Les lignes de transmissions

3.8.4.1 Rôle des lignes HF

Comme nous l'avons vu, la liaison entre l'émetteur et l'antenne est réalisée au moyen d'une ligne de transmission HF ou *feeder* qui assure le transfert de l'énergie de l'émetteur à l'antenne ou de l'antenne au récepteur.

3.8.4.2 Principaux types de lignes

Les principaux types de lignes de transmissions sont :

- **La ligne à fils parallèles** (*Parallel-wire*)³ : constituée par deux conducteurs cylindriques rigides maintenus à un écartement constant (img. 3.5a) ;

1 - Du mot anglais : *to feed* - alimenter.

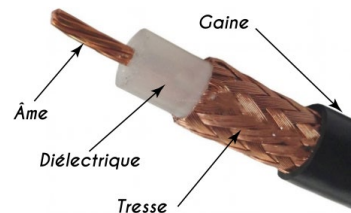
2 - La descente des antennes utilisées sur les postes de campagne (fouet ou filaire) n'est pas *feeder* car elle rayonne de l'énergie.

3 - Appelée aussi *ligne bifilaire*, il existe en deux type : *open-wire line* et *twin-lead*. Impédance = 200Ω à 800Ω, coefficient de vitesse = 0,80 à 0,97. Gamme de fréquence < 200 MHz.

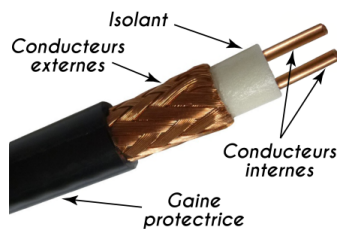
- **La ligne coaxiale** (*Coaxial cable*)¹ : souple ou rigide, constituée par un conducteur intérieur cylindrique et un conducteur extérieur tubulaire (img. 3.5b) ;
- **La ligne blindée à deux fils** (*Shielded pair*) : formée par ligne à deux fils parallèles entourés d'une gaine métallique formant écran (img. 3.5c) ;
- **La ligne exponentielle** (*Tapered line*) : à deux ou quatre fils à écartement variable (img. 3.5d) ;
- **Les guides d'ondes** (*Waveguide*)² : à sections rectangulaires ou circulaires, réservés en général à l'utilisation des fréquences supérieures à 3000 MHz (img. 3.5ef).



a - Ligne à fils parallèles



b - Ligne coaxiale



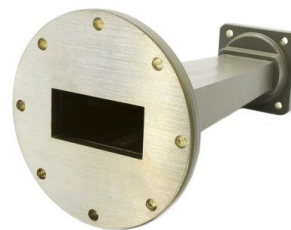
c - Ligne blindée à deux fils



d - Ligne exponentielle imprimée



e - G.O à section circulaire



f - G.O à section rectangulaire

Image 3.5 – Principaux types de lignes de transmission.

3.8.4.3 Caractéristiques des lignes de transmissions HF

a) Constantes linéiques :

Une ligne de transmission HF est caractérisée par 4 grandeurs rapportées à l'unité de longueur d'onde que l'on appelle *constantes linéiques*.

1 - Impédance = 50Ω à 95Ω, coefficient de vélocité = 0,66 à 0,90. Gamme de fréquence < 5 GHz.

2 - Un guide d'ondes est un système physique (tube) utilisé pour guider les ondes électromagnétiques ou acoustiques afin de les confiner à une certaine distance dans un environnement spécifique (avec de faible perte). Exemple : la fibre optique est un guide d'onde entièrement isolant fait de silice.

1. **Résistance** : tout conducteur présente une résistance électrique exprimée en $[\Omega]$.
2. **Self-induction** : le courant qui parcourt la ligne donne naissance à un champ magnétique, par conséquent, à un flux qui traverse la surface limitée par les deux conducteurs. Ce flux variable avec le courant, donne naissance dans la ligne à une FÉM dont la valeur est fonction du coefficient de self-induction propre à la ligne. Le coefficient de self d'induction s'exprime en [Henry par mètre].
3. **Capacité** : les deux conducteurs en présence sont comparables aux armatures d'un condensateur. Un champ électrique est établi entre eux, d'où la notion de *capacité linéique*, exprimée en [Farad par mètre].
4. **Perdittance** : aucun isolant n'étant parfait, il s'établit entre deux conducteurs un courant de fuite non négligeable. On considère qu'il existe entre les deux conducteurs une résistance en parallèle dite *résistance de fuite* R . L'usage est d'utiliser l'inverse de R appelé *conductance de fuite* G ou *perdittance* exprimée en [Ohms par mètre].

En résumé, 4 constantes caractérisent la ligne :

- Deux constantes *Série* R et L ;
- Deux constantes *Parallèle* C et G .

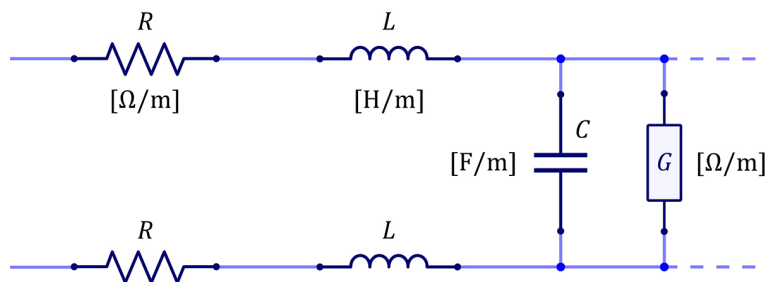


Figure 3.73 – Schéma équivalent d'une ligne de transmission.

3.8.4.4 Notion d'impédance sur une ligne

3.8.4.4.1 Définition de l'impédance

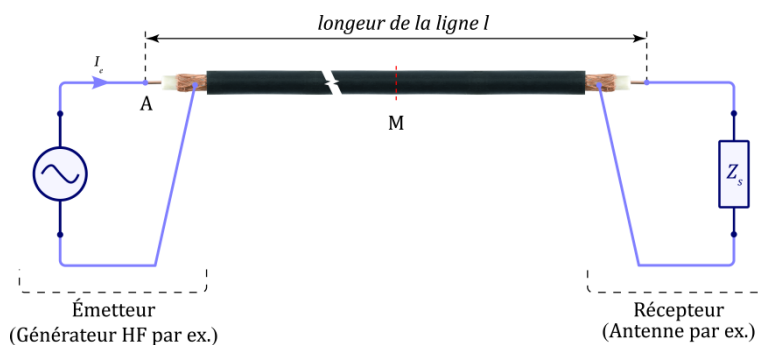
L'impédance est la résistance apparente d'un circuit ou d'un élément de circuit quand il est parcouru par un courant alternatif.

3.8.4.4.2 Impédance d'entrée d'une ligne

La ligne étant alimentée en HF, on trouve :

- Une DDP entre M et M' ;
- Une intensité qui sera mesurée sur le fil supérieur (par convention).

1 - Un câble présente une perdittance linéique G et une résistance linéique R , mais il est sans capacité ni inductance.

Figure 3.74 – Chaîne de transmission¹.

L'impédance de l'organe utilisateur (l'antenne) est appelée *impédance de charge* et désignée par Z_s .

L'impédance d'entrée de la ligne est la somme de l'impédance de charge et de l'impédance de la ligne elle-même. Cette impédance Z_e est définie par :

$$Z_e = \frac{U_e}{I_e}, \quad (3.19)$$

où U_e – différence de potentiel d'entrée entre A et A'.

3.8.4.4.3 Impédance en un point quelconque de la ligne

La DDP entre les points M et M' ne sera pas la même qu'entre A et A' car le signal se propage à une vitesse vers l'extrémité de la ligne et arrive au point M avec un certain retard.

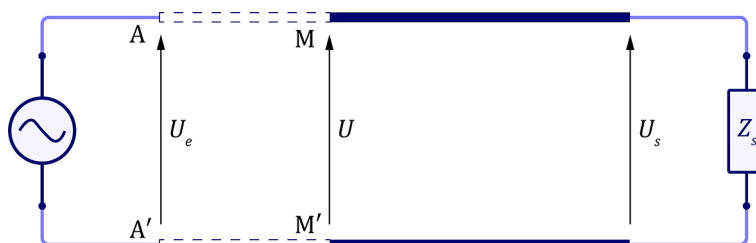


Figure 3.75 – Schéma équivalent de la chaîne de transmission.

L'impédance au point M sera donc différente de l'impédance d'entrée. Elle sera égale à l'impédance d'entrée diminuée de l'impédance du tronçon de ligne situé entre AA' et MM'. L'impédance au point M est définie par le rapport :

$$Z_M = \frac{U_M}{I_M}.$$

L'impédance d'entrée d'une ligne infiniment longue est indépendante de sa longueur, en effet, la longueur des segments AA' et MM' peut alors être considérée comme négligeable. Cette

¹ - Ce circuit peut être, par exemple, un émetteur radio connecté par un câble coaxial, à une antenne d'émission.

impédance d'entrée est également indépendante de la charge, de la ligne, et de la fréquence du courant qui la parcourt. On l'appelle *impédance caractéristique* de la ligne et c'est une résistance pure. Son expression est :

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad (3.20)$$

où L et C sont respectivement l'inductance et la capacité par unité de longueur de la ligne.

Si l'on branche à l'extrémité d'une ligne une impédance égale à son impédance caractéristique, la ligne se comportera comme si sa longueur était infinie.

3.8.4.5 Propagation de l'onde sur une ligne infinie¹

Branchons un générateur G de courant HF de fréquence $f = \frac{1}{T}$ à l'une des extrémités de la ligne.

La tension et l'intensité du courant qui s'établissent dans la ligne sont en phase puisque Z_c est une résistance pure. Si à l'instant t (courbe en trait plein) l'intensité et la tension sont nulles aux points A_1 , A_2 , A_3 et A_4 séparés par intervalle de $\frac{\lambda}{2}$, à l'instant $\frac{t}{4}$ (courbe rouge en pointillé), l'intensité et la tension seront au contraire maximales en ces mêmes points mais l'intensité passe indéfiniment vers la droite.

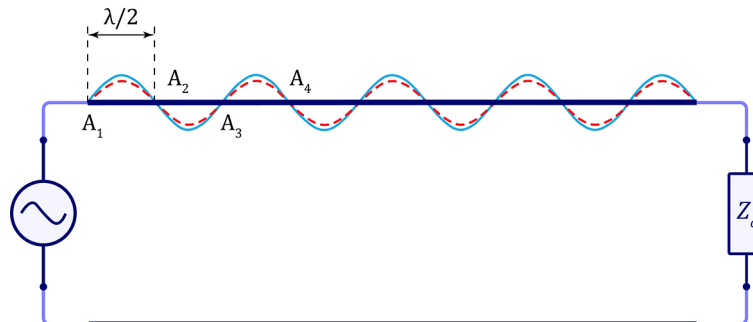


Figure 3.76 – Ligne adaptée en régime sinusoïdal.

Les ondes haute fréquence qui s'établissent dans une ligne fermée sur son impédance caractéristique sont pour cette raison appelées *ondes progressives*².

L'onde progressive directe se réfléchira partiellement à l'extrémité de la ligne et une onde *stationnaire*³ s'installera sur la ligne.

L'énergie fournie est non localisée et de répartition uniforme.

3.8.4.6 Propagation de l'onde sur une ligne de longueur finie

Si l'impédance de charge Z_s est différente de l'impédance caractéristique Z_c , le train d'onde de fréquences f émis par le générateur est appelé onde incidente va rencontrer l'impédance Z_c .

1 - ou fermée sur son impédance caractéristique (ligne adaptée).

2 - L'onde progressive est l'onde qui se propage dans un milieu ouvert (illimité).

3 - L'onde stationnaire est la superposition des deux ondes progressives de même fréquence mais de sens de propagation opposés dans le même milieu physique.

L'énergie fournie par le générateur sera :

- Pour une part absorbée par l'impédance de charge ;
- Pour le reste réfléchi par Z_c et constituée d'un train d'ondes de fréquence f (fig. 3.77) remontant vers le générateur, c'est *l'onde réfléchie*¹.

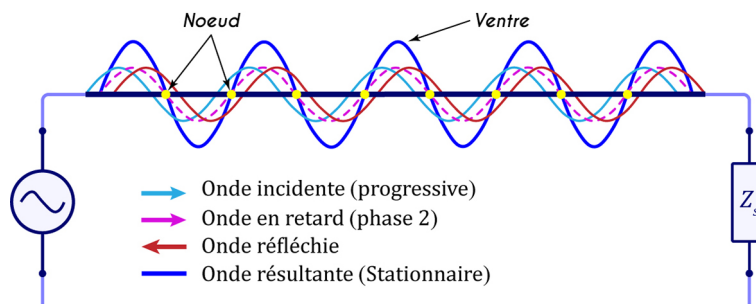


Figure 3.77 – Onde stationnaire sur ligne non adaptée².

On constate en effectuant des mesures sur la ligne :

- Que les maxima d'intensité (ou *ventre*) sont des points fixes, régulièrement espacés de $\frac{\omega}{2}$ ou $\frac{\lambda}{2}$;
- Que ces ventres d'intensité correspondent à des points de tension minimale (ou *nœuds*).

Le graphe donne les valeurs de l'intensité et de la tension le long de la ligne à un instant donné.

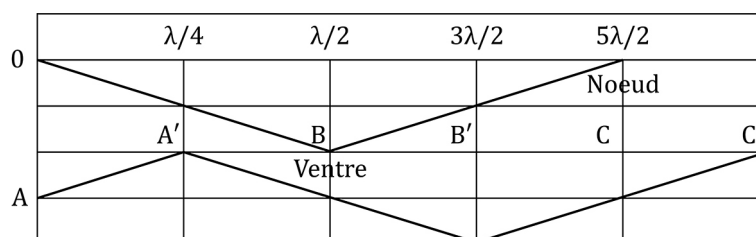


Figure 3.78 – Valeurs de U et I le long de la ligne à l'instant t .

Les points A, B, et C sont des ventres d'intensité et des nœuds de tension.

Les points A' et B' sont des nœuds d'intensité et des ventres de tension.

L'onde résultante, qui présente donc des nœuds et des ventres en des points d'axes de la ligne, est appelée *onde stationnaire*.

Le graphe montre en outre que la courbe des intensités est décalée de $\frac{\lambda}{4}$ par rapport à celle des tensions.

L'intensité et la tension présentent donc un déphasage ϕ égal à $\frac{\pi}{2}$.

1 - Exemple : le cas d'une perturbation qui se propage à une dimension comme sur une corde élastique parfaite.

2 - En utilisant un oscillateur, une onde stationnaire peut être générée sur une corde serrée. Connectez une extrémité de la corde à l'oscillateur et l'autre extrémité à l'interface (anneau ou mur). L'onde se déplaçant vers la droite sera l'onde générée par l'oscillateur, et l'onde se déplaçant vers la gauche sera l'onde réfléchi par l'interface.

La puissance dépensée dans la ligne ($P = U \times I \times \cos\phi$) en chaque point est en conséquence nulle puisque $\cos\phi = 0$.

La réflexion de l'onde peut être nulle, totale ou partielle :

- Nulle si $Z_s = Z_c$, toute l'énergie absorbée par la charge ;
- Totale si $Z_s = 0$, cas d'une ligne en court-circuit.

Si $Z_s = \infty$, cas d'une ligne ouverte à l'extrémité de laquelle sera évidemment nulle.

Dans ces deux derniers cas, la charge n'absorbe aucune énergie, celle-ci est totalement réfléchi.

La réflexion sera partielle pour les autres valeurs de Z_s (Z_s différente de Z_c et de 0).

3.8.5 Caractéristiques principales des antennes

Un conducteur parcouru par un courant alternatif de l'énergie. À partir d'une fréquence d'environ 20 kHz, ce courant crée d'une manière appréciable autour du conducteur un champ électrique \vec{E} et un champ magnétique \vec{H} .

L'ensemble de ces deux champs (\vec{E}, \vec{H}) est le *champ électromagnétique*.

Ce champ ne se transmet pas instantanément, mais se propage de proche en proche au plan formé par les champs \vec{E} et \vec{H} avec une vitesse $c = 300\,000$ km/s.

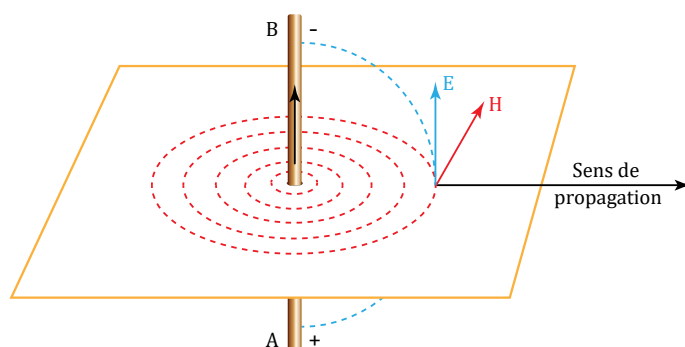


Figure 3.79 – Champ électromagnétique autour d'un conducteur.

Une antenne se présente sous la forme d'un ou plusieurs conducteurs capables de transformer l'énergie électrique fournie par l'émetteur en énergie électromagnétique. Elle peut être considérée comme un transformateur d'énergie. Reliée à un émetteur, elle rayonne dans l'espace l'énergie fournie par celui-ci. Inversement, un conducteur placé dans le champ ainsi produit devient le siège des forces électromotrices induites, de fréquence correspondant à celle des oscillations émises. Ce conducteur se comporte en *antenne de réception*.

Du point de vue de l'installation et de l'utilisation, on distingue les antennes de campagne et les antennes fixes. Les premières sont simples et faciles à installer. Les secondes, utilisées dans les stations à moyenne et à longue portées sont plus élaborées et nécessitent des délais d'installation beaucoup plus long. *Un bon rendement sera obtenu des antennes d'émission si, leur longueur étant quart de la longueur d'onde* (ou à un multiple du quart de la longueur d'onde), Pour certains types d'antennes (verticale, long fil...) la conductivité du sol doit être la meilleure possible. Il est préférable de créer un plan de masse artificiel (contrepois) ou une mise à la terre sous l'antenne pour éviter les changements de conductivité dus au gel ou à la sécheresse.

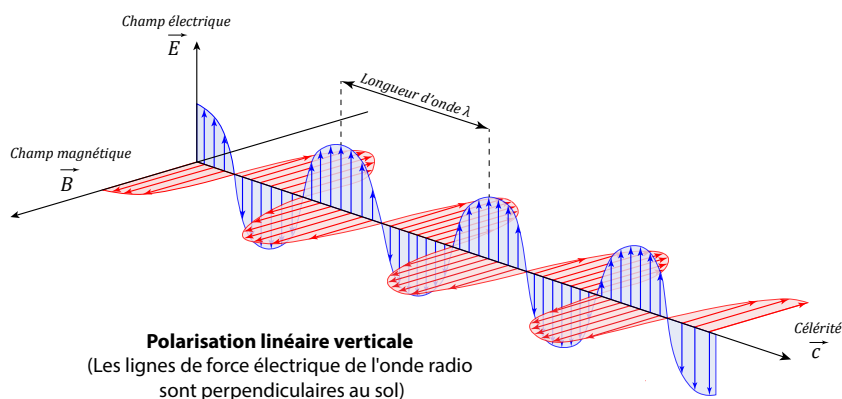


Figure 3.80 – Propagation des ondes électromagnétiques.

À la réception, une bonne mise à la terre est toujours recommandée afin de réduire les bruits parasites locaux. Une bonne antenne de réception doit séparer le signal utile des signaux nuisibles et des parasites atmosphériques.

3.8.5.1 Diagramme de rayonnement ou directivité

Le champ électromagnétique produit par l'antenne d'émission se propage théoriquement dans tout l'espace. En fait, pour une distance donnée, sa valeur n'est pas la même dans toutes les directions.

Le diagramme dépend de :

- La forme et des dimensions de l'antenne ;
- Sa position et sa hauteur par rapport au sol ;
- La nature du sol au voisinage de l'antenne ;
- Des objets (métalliques) situés à faible distance de l'antenne (à éviter).

Pour une nature donnée, si l'on trace dans toutes les directions de l'espace les vecteurs intensités de rayonnement, on obtient un volume dont l'enveloppe est appelée *surface de directivité* (fig. 3.81a). Pour plus de commodité, on a coutume de présenter l'intersection de cette surface avec un plan vertical ou un plan horizontal passant par l'antenne.

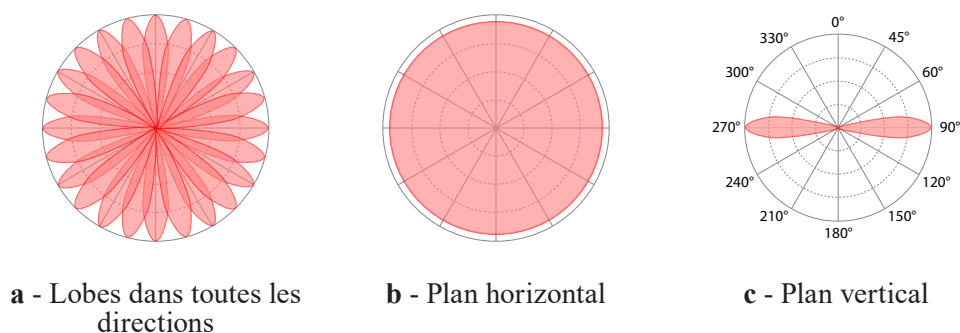


Figure 3.81 – Exemple de diagrammes de directivité.

On obtient alors les diagrammes de directivité horizontal (fig. 3.81b) et vertical (fig. 3.81c). On appelle *direction privilégiée* celle dans laquelle on obtient le champ électromagnétique le plus intense pour une direction donnée.

Les antennes appartiennent à deux grandes catégories :

- Celle des antennes éloignées du sol $\frac{\lambda}{2}$;
- Celle des antennes dont une extrémité est à la terre $\frac{\lambda}{4}$.

3.8.5.2 Gain d'une antenne

Pour évaluer le gain d'une antenne, on le compare à une antenne de référence celle-ci est en général l'antenne isotrope (I) qui présente la propriété de rayonner la même puissance dans toutes les directions de l'espace, sa surface de directivité est donc une sphère, et le diagramme de directivité un cercle quel que soit le plan d'intersection. Le gain absolu en puissance d'une antenne quelconque est donc exprimé par le rapport suivant :

$$G_p = \frac{I}{I_0}, \quad (3.20)$$

où I – intensité de la puissance rayonnée par l'antenne étudié dans la direction privilégiée ;

I_0 – intensité de la puissance rayonnée par l'antenne isotrope.

Les deux antennes recevant successivement la même puissance d'alimentation, le gain d'une antenne est généralement exprimé en décibels [dB].

3.8.5.3 Les antennes de réception

En règle générale, sur les postes radioélectriques de campagne, la même antenne est utilisée alternativement à l'émission et à la réception. Cette antenne conserve dans les deux cas la même impédance en vertu du principe de réciprocité, soit diagramme de directivité reste identique quelle que soit sa fonction.

Le rapport entre la puissance du signal utile à capter et celle des divers bruits parasites, constitue le paramètre important attaché à l'antenne de réception.

La sélectivité et, parfois la directivité de l'antenne contribuent à l'amélioration de ce rapport.

3.8.5.3.1 Sélectivité

Une antenne accordée sur une fréquence favorise la réception des signaux sur cette fréquence. Les autres ne sont captés qu'avec un gain réduit.

3.8.5.3.2 Directivité

Une antenne directive capte les émissions des stations situées dans sa direction privilégiée et élimine ou atténue la réception des autres. Elle contribue ainsi à l'élimination du brouillage.

3.8.5.3.3 Position de l'antenne

L'antenne de réception peut être placée verticalement ou horizontalement, à faible distance de l'émetteur, elle capte essentiellement l'onde de surface. Si cette onde provient d'une antenne d'émission verticale, il convient de placer l'antenne de réception dans la même position.

À grande distance de l'émetteur, on utilisera de préférence une antenne de réception horizontale pour mieux capter les ionosphériques.

En résumé, l'amélioration du rapport signal/bruit est obtenue avec une antenne de réception correctement positionnée.

En outre, l'antenne sera, autant que possible, installée en position haute pour éviter de recueillir les parasites artificiels qui sont au niveau du sol.

3.8.6 Les principaux types d'antennes

3.8.6.1 Antenne fouet

L'antenne *fouet* couramment utilisée avec les postes radioélectriques de campagne portables ou installés sur véhicule est en général une antenne *quart d'onde*¹, l'effet selfique ou capacitif apporté par le brin rayonnant est, dans la plupart des cas, compensé par l'action d'un circuit d'antenne.

C'est une antenne verticale utilisée chaque fois que l'on ne pourra pas louer une antenne *demi-onde*² ou que la position des correspondants l'exige.

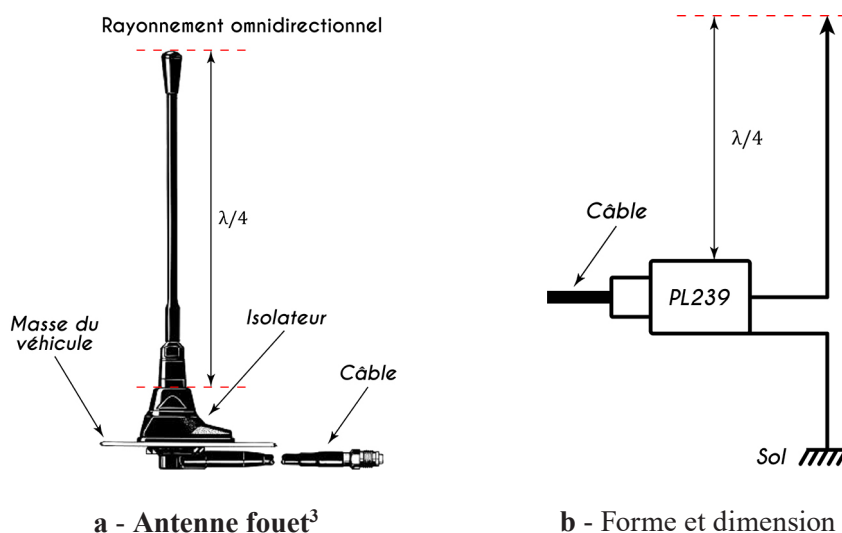


Figure 3.82 – Antenne fouet (quart d'onde).

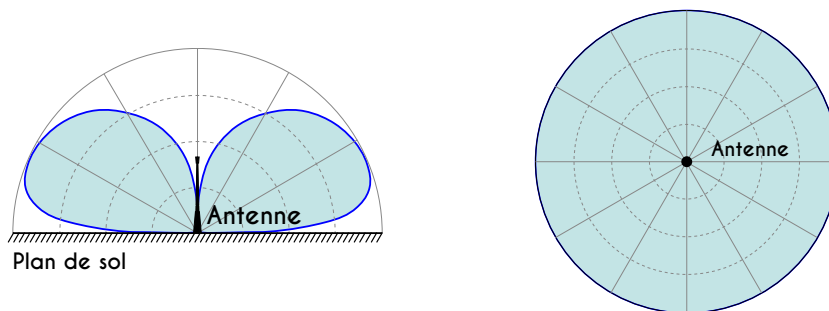
L'antenne fouet est :

- Soit *entièrement métallique* (feuillard souple, brins qui s'emboîtent ou se vissent) ;
- Soit *métallique*, mais protégée par une enveloppe en fibre de verre ;
- L'antenne fouet quart d'onde est utilisée pour réaliser des relations en onde de sol à distances inférieures à 100 km.

1 - Antenne monopole ou quart d'onde, est composée d'un élément de longueur égale au quart d'onde, perpendiculaire au plan conducteur. Se comportant comme un demi-dipôle le plan conducteur agit comme un miroir. Son impédance caractéristique est environ 37Ω . Sa forme dépend de la fréquence.

2 - Antenne dipolaire, dipôle demi-onde ou doublet demi-onde, est composée d'un élément de longueur égale à la demi longueur d'onde. Son impédance caractéristique est voisine de 73Ω pour un dipôle isolé dans l'espace.

3 - Source de l'image (sans indications) : documentation product Amphenol Procom.



a - Diagramme vertical (*Elevation*) b - Diagramme horizontal (*Azimuth*)

Figure 3.83 – Diagramme de rayonnement simplifié.

Les antennes verticales étant toutes parallèles, il existe un risque de couplage et de rayonnement entre elles lorsqu'elles sont trop rapprochées et alimentées par des émetteurs réglés sur des fréquences voisines (cas d'un centre d'exploitation). Il conviendra donc les éloigner les unes des autres dans toute la mesure du possible.

3.8.6.2 Les antennes filaires

Les antennes *filaires* également appelées antennes *long fil* sont constituées par un conducteur rectiligne d'un seul tenant dont la longueur est en principe égale à la demi-longueur d'onde. Parfois l'accord de la longueur de ce conducteur en fonction de la fréquence est obtenu en ajoutant une série de petits conducteurs à l'aide de cavaliers.

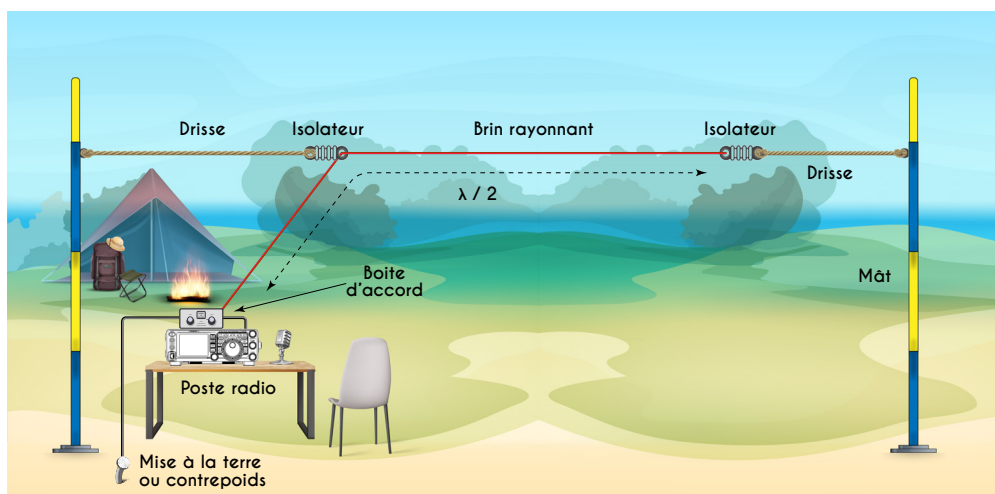


Figure 3.84 – Antenne filaire horizontale.

Elles peuvent être horizontales, inclinées dans la direction du correspondant ou en forme de *L* inversée (fig. 3.84).

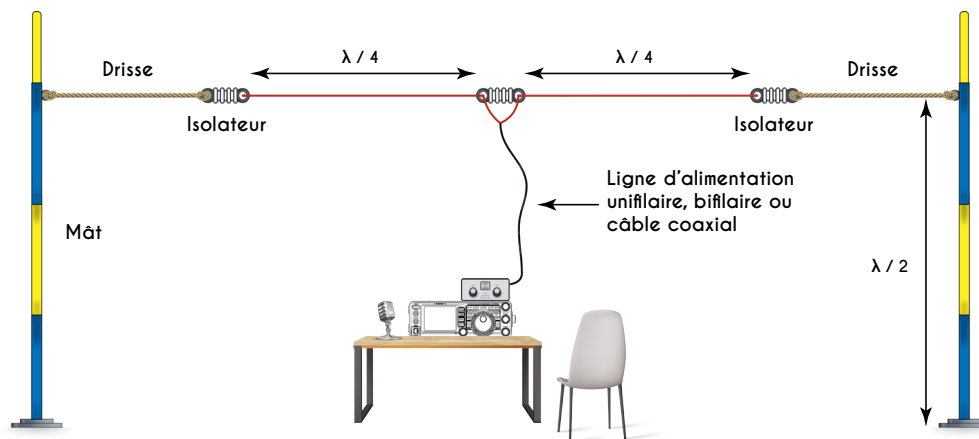
Elles sont utilisées dans la gamme 2 à 18 MHz pour des liaisons par ondes sphériques (portée supérieure à 100 km).

Les antennes filaires doivent être dressées aussi haut que possible en assurant des supports convenables tels que bâtiments, arbres... Par ailleurs, elles ne seront en aucun cas placées moins de 2m du sol. En général, la hauteur est comprise entre 20 et 10 mètres.

3.8.6.2.1 L'antenne doublet

L'antenne *Doublet* est une antenne symétrique constituée par deux brins égaux. La longueur totale de ces deux brins est légèrement inférieure à la demi-longueur d'onde.

Les brins rayonnants sont souvent réalisés en fil de cuivre de 2,5 à 4 mm de diamètre. L'antenne doublet, plus généralement utilisée en ondes décimétriques est toujours horizontale et perpendiculaire à la direction du correspondant.



a - Antenne doublet



Coaxial



Bifilaire



Céramique Dogbone



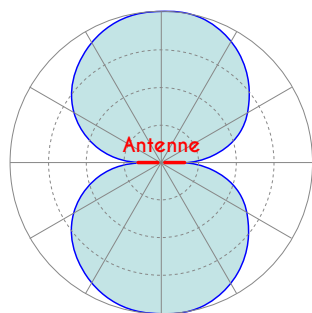
Bobine de verre

b - Isolateur central

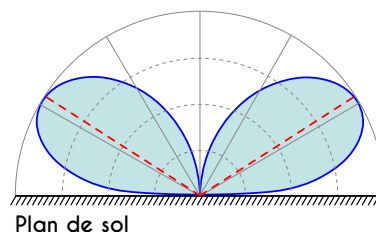
c - Isolateur d'extrémité

Figure 3.85 – Antenne doublet.

L'alimentation de l'antenne est réalisée par un câble coaxial de 72Ω ou par une ligne d'alimentation bifilaire. En station fixe, on diminue les pertes en alimentant l'antenne à l'aide de lignes de transmissions adaptées.



a - Diagramme horizontal



b - Diagramme vertical

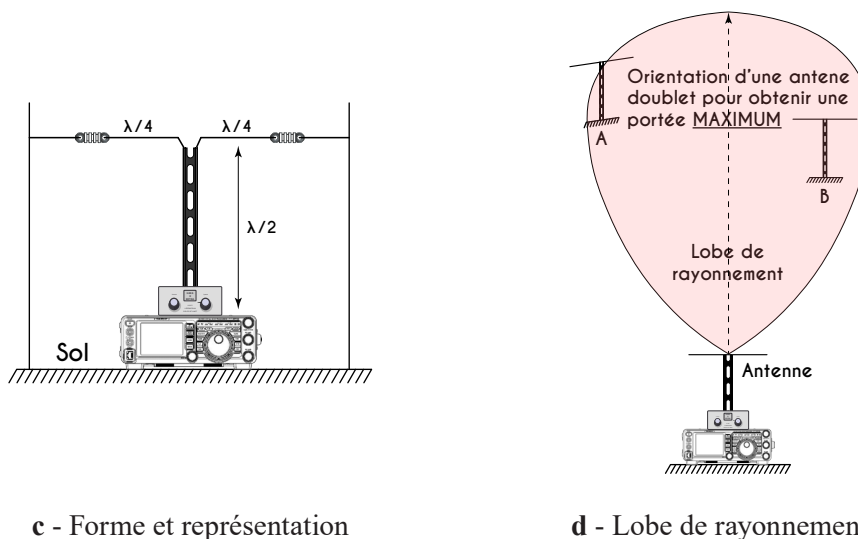


Figure 3.86 – Diagramme de rayonnement simplifié.

3.8.6.3 Avantages et inconvénients

Antenne	Avantages	Inconvénients
Fouet	<ul style="list-style-type: none"> - Installation rapide (pas de mât à ériger) ; - Relations satisfaisantes sur courtes distances ; - Émission identique dans toutes les directions ; - Accord rapide dans toute la gamme de fréquences ; - Faible encombrement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Inefficacité pour des distances supérieures à 100 km ; - Dispersion de l'énergie.
Filaire ou long fil	<ul style="list-style-type: none"> - Très bon rendement à l'émission ; - Relations satisfaisantes sur des distances relativement grandes ; - Meilleur directivité. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité de support élevée ; - Modification de la longueur de l'antenne pour chaque changement de fréquence supérieure à 200 kHz.
Différence entre les deux	<ul style="list-style-type: none"> - Grande directivité d'où des excellents résultats à grande distance ; - Réception satisfaisante des signaux faibles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Orientation de l'antenne ; - Souvent limitée à l'exploitation point à point ; - Installation plus longue.

Tableau 3.2 – Comparaison entre les antennes Fouet et Filaire.

3.8.7 Conseils pratiques pour l'installation des antennes

3.8.7.1 Précautions de base

3.8.7.1.1 Impédance inadaptée

Lorsque les organes d'émission et de réception sont reliés à l'antenne par l'intermédiaire d'une ligne, il est nécessaire que les impédances de l'émetteur (ou du récepteur), de la ligne et de l'antenne soient égales afin d'obtenir le meilleur rendement.

Pour les installations fixes, les calculs sont effectués par les spécialistes des services d'exploitation à partir des caractéristiques propres aux appareils et aux antennes qui sont fournies par les constructeurs.

Pour les installations en compagnie et lors de l'utilisation de l'antenne filaire, il faudra se placer autant que possible dans le cas favorable de la ligne dont la longueur est égale à la demi-longueur d'onde et qui présente alors une impédance égale à celle de l'antenne.

Mais les stations radioélectriques du corps de bataille sont le plus souvent utilisées avec l'antenne fouet et dans ce cas, la longueur de la ligne intervient peu ou pas. Par contre, la variété des fréquences mises en œuvre impose l'utilisation d'une boîte d'accord d'antenne dont le rôle consiste à adapter, pour une gamme de fréquences données, l'antenne à l'émetteur.

L'attention des opérateurs doit être attirée sur l'importance des réglages effectués à partir de cette boîte réglage qui doivent être repris à chaque changement de fréquences.

3.8.7.2 Précautions diverses

Lorsqu'on utilise l'antenne fouet, il faut veiller à la position du véhicule radio, en effet, un véhicule placé sur un terrain en pente, même légère amènera une inclinaison de l'antenne fouet, position fortement nuisible à la polarisation verticale de ce type d'antenne.

La position des stations radioélectriques devra être soigneusement choisie afin d'améliorer la qualité des relations.

En résumé, et quelles que soient les relations à réaliser courtes ou grandes distances, le meilleur rendement des matériels ne sera atteint que s'ils sont installés en respectant les règles qui suivent.

La station radio doit être :

- Suffisamment éloignée des autres stations, des sources d'énergie importantes et des masses métalliques ;
- À l'abri des vues tout en respectant le principe de dégagement de l'antenne ;
- Munie des antennes et accessoires correspondant exactement au type des relations à réaliser.

3.8.7.3 Précautions particulières à prendre pour l'utilisateur

- Ne jamais toucher l'antenne lorsque le poste radio est en émissions, on risque des brûlures profondes sur la partie du corps qui entrerait en contact avec l'antenne ou avec la descente d'antenne si celle-ci est fil nu.
- Ne jamais émettre si le poste radio n'est pas équipé de son antenne ou d'une antenne artificielle. En procédant ainsi on risquerait de détériorer l'étage final de l'émetteur qui, débitant à vide, serait soumis à de trop fortes intensités.



Chapitre IV
SÉCURITÉ
AUX ACTIVITÉS

4 SÉCURITÉ AUX ACTIVITÉS

4.1 DANGERS DU COURANT ÉLECTRIQUE

L'utilisation du courant électrique n'est pas sans danger, l'électrocution et l'incendie sont toujours à craindre. Cependant, ces accidents peuvent être évités, il suffit de prendre un certain nombre de précautions indispensables et de respecter les prescriptions relatives aux installations électriques.

4.1.1 Effets du courant électrique sur l'organisme

Lorsque le corps humain entre accidentellement en contact avec un conducteur non isolé et sous tension, il est traversé par un courant électrique, la nature et la gravité des effets produites par ce courant varient avec son intensité : sensation de fourmillement, choc électrique, brûlures, contractions musculaires, paralysie des centres nerveux, mort par électrocution.

4.1.1.1 Brûlures

La chaleur dégagée par effet joule provoque dans le corps humain des brûlures plus ou moins profondes et étendues. Ces brûlures, pouvant aller jusqu'à la carbonisation, atteignent la peau, les muscles, parfois même les os. Dans certains cas, il se produit des brûlures internes, non visibles qui entraînent une grave intoxication.

4.1.1.2 Contractions musculaires

Le courant électrique produit instantanément une excitation du système nerveux et une contraction tétanique des muscles. C'est ce qui explique qu'une personne ayant saisi par mégarde un conducteur sous tension ne peut plus le lâcher, elle est donc incapable de se dégager elle-même.

La contraction des muscles respiratoires arrête la respiration et entraîne l'asphyxié. Lorsque le courant traverse le cœur, celui-ci entre en état de contraction : les battements rythmiques cessent, ils sont remplacés par une sorte de tremblement.

4.1.1.3 Paralysie des centres nerveux

La paralysie des centres nerveux qui commandent le cœur et les poumons provoque l'arrêt de ces organes. La victime est inanimée, en état de syncope et elle présente les apparences de la mort. Ces effets peuvent persister plusieurs heures après la suppression du courant. D'où la nécessité d'entreprendre sans tarder et de poursuivre longtemps les manœuvres de respiration artificielle, afin de donner aux centres nerveux la possibilité de reprendre leurs fonctions normales.

4.1.1.4 Intensité dangereuse

On estime que le courant continu est dangereux lorsque son intensité atteint 50 mA. Le courant alternatif est encore plus dangereux à cause de l'excitation produite à chaque alternance du courant : son intensité ne doit pas dépasser 25 mA. Or, l'intensité du courant est d'autant plus grande que la différence de potentiel est plus élevée et que la résistance électrique du corps humain est plus faible (en application de la formule : $I = U/R$).

Le courant à haute tension est donc plus dangereux que le courant à basse tension. Cependant, celui-ci cause d'autant plus d'accidents qu'il est à la portée d'un grand nombre d'utilisateurs. Ceux-ci croient que la tension de 127V n'est pas dangereuse, c'est une grave erreur : de nombreux accidents, y compris plus mortels, sont imputables à ce courant. Tout dépend de la résistance offerte par le corps. Or celle-ci est très variable. Elle est élevée ($100\,000\Omega$) lorsque la peau est sèche et épaisse, que la surface de contact avec le conducteur est réduite et que le corps repose sur un sol mauvais conducteur (parquet sec par exemple). Au contraire lorsque la surface du corps est mouillée soit par de l'eau soit par la sueur, ou que l'on se trouve sur un sol humide (ce qui est fréquent dans les caves, les sous-sols, les salles de bains et même les cuisines), la résistance diminue considérablement (quelques centaines d'Ohms) et le risque d'électrocution est très grand.

4.1.2 Précautions à prendre pour éviter l'électrocution

- Il est absolument nécessaire que les fils conducteurs et les pièces d'appareils d'utilisation qui y sont reliées soient parfaitement isolés. Toute installation électrique doit être établie soigneusement et vérifiée, périodiquement des textes officiels indiquent de façons précises les dispositions à appliquer ;
- D'une façon générale, éviter tout contact avec un fil ou une pièce métallique pouvant être sous tension, même s'il s'agit de basse tension. Le danger est d'autant plus grand que l'on est placé sur un sol conducteur (terre, ciment terrazzo ou dalles de pierre humides...) ou que l'on est au contact de pièces métalliques reliées à la terre (robinets, radiateur de chauffage central, canalisation d'eau ou de gaz...). Le risque est moins sérieux sur un linoléum ou un plancher de bois sec ;
- N'entreprendre aucune réparation dans une installation avant d'avoir coupé le courant à l'aide de l'interrupteur général qui commande l'installation est qui est généralement placé à proximité du compteur. Prendre la même précaution pour remplacer un fusible ;
- Ne jamais manœuvrer un commutateur électrique dont le couvercle isolant a été brisé, de telle sorte que les fils et pièces métalliques sont à nu ;
- Ne pas saisir un appareil électrique par une partie métallique que l'on croit isolée et qui est peut-être en contact avec un fil sous tension. C'est fréquemment le cas des lampes dites «baladeuses» qui sont reliées à une prise de courant par l'intermédiaire d'un long fil souple et que l'on utilise dans les caves ou les sous-sols. Le fil souple étant fréquemment déplacé, l'isolant s'use et il arrive que l'âme du fil soit au contact de la douille ou de toute autre partie métallique tenue à la main. Comme généralement le sol sur lequel on se tient est humide, le corps est traversé par un courant dont l'intensité est suffisante pour provoquer la mort. Les baladeuses doivent être munies d'une manche isolante, les parties métalliques de la douille et de la lampe doivent être protégées contre un contact fortuit et le conducteur doit être entouré d'une gaine isolante supplémentaire ;
- Lorsqu'on prend un bain, éviter de saisir un appareil électrique, même un commutateur dont le couvercle habituellement isolant est rendu conducteur par l'humidité qui s'y est déposée. L'eau de la baignoire et le tuyau d'écoulement qui descend dans le sol constituent un ensemble bon conducteur ;
- Ne jamais toucher un fil d'une ligne électrique tombé à terre sous peine d'être foudroyé ;
- Éviter de toucher les pylônes supportant les lignes électriques et à plus forte raison : ne pas grimper sur ces pylônes ;

- Il est imprudent de jouer au cerf-volant à proximité d'une ligne électrique. Si le cerf-volant s'abat sur les fils conducteurs, s'empressez de lâcher la ficelle avant que celle-ci arrive à leur contact.

4.1.3 Mesures à prendre en cas d'accident

Des instructions ministérielles indiquent de façon détaillée les mesures à prendre en cas d'accident provoqué par un courant électrique; Ces instructions ont été diffusées dans le public, elles sont affichées dans les endroits particulièrement dangereux (poste de transformation notamment).

- Il importe de soustraire le plus rapidement possible la victime aux effets du courant, tout en prenant soin de ne pas s'exposer personnellement au danger.

Deux cas sont à envisager :

- L'accident résulte d'un contact avec les fils, les fusibles, les interrupteurs ou les supports de lampes d'une installation particulière à basse tension (127 à 220V) ;
 - L'accident est survenu dans une distribution quelconque, en dehors d'une installation particulière, le plus souvent par contact avec un fil de ligne électrique (haute tension).
- a) Dans le premier cas, supprimer immédiatement le courant au moyen de l'interrupteur général. Si cette opération est impossible, écarter la victime du courant, ou bien couper les fils conducteurs en prenant la précaution de s'isoler, mettre des gants ou s'entourer les mains de morceaux d'étoffe ou se mettre sur des planches bien sèches. Ces précautions sont d'autant plus importantes que l'on se trouve placé en sol humide ;
 - b) Dans le second cas, ne pas intervenir avant que la tension ne soit supprimée. s'efforcer de faire couper le courant le plus rapidement possible en prévenant l'usine par téléphone ou à défaut par un mode de locomotion rapide en attendant :
 - Écarter la foule du lieu de l'accident ;
 - Prévenir un médecin et envoyer chercher un appareil mécanique de respiration artificielle ;
 - Si la victime est suspendue, disposer un matelas ou des bottes de paille sur le sol pour amortir la chute.

Dès que l'on est avisé de l'arrêt du courant, écarter le fil de la victime ou si elle est suspendue, s'élever jusqu'à elle et la descendre sur le sol.

Desserrer les vêtements de la victime ou la personne accidentée et pratiquer immédiatement la respiration artificielle, sans transport préalable de l'électrocuté.

4.1.3.1 Méthode de la respiration artificielle Schaefer¹

Coucher la victime sur le ventre, les bras étendus le long de la tête, le sauveur se place à genoux, à cheval sur la victime, il étend les bras et pose les mains ouvertes sur le dos du sujet au niveau des dernières côtes, les pouces se touchant presque. Il appuie progressivement et de tout son poids sur le thorax de manière à provoquer l'expiration, puis il cesse de presser tout en laissant ses mains en place, l'inspiration se produit alors par l'élasticité des côtes et de l'abdomen. Le sauveur recommence les mêmes pressions et continue ainsi à raison d'une

¹ - C'est une technique de respiration artificielle reposant sur une succession d'expirations forcées, provoquées en pesant de tout son poids avec les mains à plat, sur la cage thoracique de la victime.

quinzaine de pression par minute, régérées sur sa propre respiration. Chercher concurremment à ramener la circulation et à réchauffer l'accidenté par des frictions et avec couvertures. Poursuivre les mouvements de respiration artificielle jusqu'à rétablissement de la respiration naturelle, au besoin pendant plusieurs heures. Si l'on apporte un appareil de respiration artificielle, le glisser sous la victime sans interrompre la respiration artificielle à la main.

Ne jamais abandonner la victime avant de voir des signes certains de sa mort, que le médecin seul peut apprécier (l'arrêt du cœur et de la respiration ne sont pas des indices certains de la mort).

Lorsque l'accidenté revient à la vie, ne pas contrarier les premiers mouvements de respiration spontanée, se tenir prêt à reprendre la respiration artificielle si la respiration naturelle fléchissait.

Si l'accidenté n'a pas perdu connaissance ou dès qu'il revient à lui, lui faire boire de l'eau bicarbonatée (250g, soit 25 cl d'eau contenant une cuillère à café de bicarbonate de soude). Ensuite, le transporter dans la position horizontale avec de grandes précautions.

4.1.3.2 Traitement des brûlures

Ne rien appliquer sur les brûlures, pas même de corps gras. Ne pas y toucher avec les mains. Protéger les parties brûlées en les couvrant d'un pansement sec stérile ou à défaut, d'un linge propre.

Effectuer avec précaution le transport du blessé vers le centre de santé le plus proche.

4.2 DANGER D'INCENDIE

4.2.1 Causes

a) Intensité trop forte :

Comme tous les conducteurs, les fils métalliques d'une installation électrique sont le siège d'un dégagement de chaleur sous l'action du courant dans une installation bien comprise, les fils ont une section suffisante pour que l'élévation de température qu'ils subissent soit minime. Mais si les fils d'une prise de courant ont été choisis pour être parcourus par un courant de 5A par exemple, il est imprudent de brancher sur cette prise de courant un radiateur construit pour être traversé par un courant de 15A. Il se produit alors un échauffement anormal des fils conducteurs. La température s'élève progressivement et peut devenir suffisante pour provoquer l'inflammation de l'isolant du fil.

b) Mauvais contact :

Lorsqu'on raccorde un fil conducteur avec un autre (épissure), il arrive que le contact soit défectueux et qu'il présente une grande résistance au passage du courant. Il se produit alors un échauffement local important, l'isolant se carbonise et finit par s'enflammer. Le serrage défectueux d'une vis sur un fil, la fermeture imparfaite des pièces d'un interrupteur constituent également des mauvais contacts. Dans ces cas, il se produit fréquemment de petites étincelles.

c) Courant de fuite :

Lorsqu'une ligne est installée depuis longtemps dans un endroit humide, la résistance de l'isolant diminue. Des courants de fuite prennent alors naissance entre les deux fils de ligne. Ces pertes de courant qui se développent lentement, insidieusement en des endroits peu parents, constituent une cause fréquente d'incendie, en particulier sur les paquebots.

d) Court-Circuit :

Un court-circuit est un accident brutal : il résulte d'un contact entre les deux fils d'aménée du courant à un appareil électrique. L'intensité du courant atteint brusquement une valeur élevée et il se dégage une grande quantité de chaleur dans les fils.

4.2.2 Prévention

- L'installation électrique doit être réalisée avec des conducteurs de section suffisante. Il faut éviter l'emploi de fil souple torsadé. Les épissures et d'une façon générale, tous les contacts doivent être soignés. Les installations sous tube métallique présentent plus de garantie que les installations sous moulure. Les moulures de bois ont en effet le défaut d'être hygroscopiques et inflammables. Il ne faut jamais les employer dans des locaux humides ;
- Pour protéger l'installation contre toute élévation anormale de l'intensité, il faut *interposer les fusibles ou coupe-circuits* qui interrompent le courant dès que l'intensité dépasse une valeur dangereuse. Ne jamais remplacer un fusible détérioré par un fil de cuivre ou de fer qui ne jouerait plus le rôle de fusible ;
- Ne jamais laisser par mégarde un fer électrique branché sur une prise de courant ;
- Il est nécessaire de vérifier toute installation électrique une fois par an. Pour contrôler qu'il n'y a pas de courants de fuite, allumer toutes les lampes, puis les enlever sans toucher aux commutateurs. Dans ces conditions, le disque du compteur ne doit pas tourner ;
- Lorsqu'un appartement reste inhabité, couper le courant à l'aide de l'interrupteur général placé à l'entrée de l'installation. De cette façon, tout risque de courants de fuite ou de court-circuit est éliminé.

4.2.3 Extinction

En cas d'incendie, commencer par couper le courant si c'est possible à cause du danger d'électrocution, il importe de n'utiliser que des extincteurs contenant des substances non conductrices : neige carbonique, tétrachlorure de carbone, bromure de méthyle.



Chapitre V

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

5 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Le terme *environnement* symbolise tout ce qui nous entoure : l'eau, les plantes, l'air etc. Notre nourriture en fait également partie. La relation entre l'homme et l'environnement est décrite comme une relation réciproque, ce qui signifie que les deux parties s'influencent et sont affectées l'une par l'autre. Lorsque les éléments de l'environnement sont sains et propres, cela se répercute positivement sur la santé et le bien-être des individus, des familles, l'équilibre de la société dans toutes ses nuances et pour toute sorte d'économies.

La protection de l'environnement est l'une des priorités les plus urgentes parmi celles que l'on doit considérer comme impératives. Ces urgences doivent être considérées comme l'objectif de tous : les individus, les sociétés et les États du monde entier.

5.1 AVANTAGES DE LA PRÉSERVATION DE L'ENVIRONNEMENT

La préservation de l'environnement, par le biais de diverses interventions humaines, présente de nombreux avantages.

- Cela permet de préserver la santé collective : plus l'eau, l'air et le sol sont sains plus les ressources sont abondantes, plus les espaces sont ouverts, plus ces facteurs environnementaux majeurs influent favorablement la santé et la construction d'une société saine ;
- Cela permet d'améliorer encore la qualité de vie : avec une nature attrayante et des possibilités de repos et de détente, la vie est plus confortable. Un bon environnement réduit les tensions et augmente les possibilités d'interaction, ce qui signifie une vie de meilleure qualité pour la communauté ;
- Cela permet aussi de préserver les ressources de la communauté, comme l'eau sous toutes ses déclinaisons : marécages, ruisseaux et autres plans d'eau, assurer leur équilibre (propres) se reflète sur la qualité globale de l'environnement et donc des autres ressources nécessaires à la vie ;
- Préserver la société des catastrophes environnementales : l'exploitation forestière en bordure de coteaux provoque des glissements de terrain et des inondations locales. Ces accidents contribuent à la submersion des communautés entières et au changement des formes du paysage ;
- Protéger les espèces de plantes et d'animaux menacées ou en danger en préservant leurs habitats naturels ainsi la qualité de l'environnement ;
- Préserver les écosystèmes : un déséquilibre des écosystèmes peut entraîner des conséquences catastrophiques, telles que le réchauffement climatique, l'érosion et la disparition de nombreuses espèces animales et végétales ;
- Cela permet encore d'améliorer l'esthétique de notre environnement : vivre dans une société de nature pittoresque contribue à améliorer santé, qualité de vie et sentiment d'appartenance. Dans de telles circonstances, les hommes s'impliquent pour pérenniser leur société ;
- Favoriser des projets respectueux de l'environnement et soutenir la croissance économique. Les communautés tournées vers l'économie environnementale et sa préservation sont des sociétés saines pour le travail et la vie, les entreprises dites «vertes» entrent dans ce cadre d'action ;

- Préserver la Terre, car elle est le seul endroit propice à la vie avec tous les éléments qui la compose. Par conséquent, les environnements naturels doivent être pris en compte afin de préserver la survie des espèces pour le bien des générations présentes et futures ;
- Contribuer à amener les gens à renoncer d'eux-mêmes aux décisions qu'ils pourraient regretter à l'avenir, par exemple à construire leur maison dans des plaines inondables ou des pentes érodées.

5.2 CONSÉQUENCES DE LA DÉGRADATION DE L'ENVIRONNEMENT

La dégradation de l'environnement entraîne de nombreux effets négatifs sur les humains, la société et l'environnement.

- Affecter négativement la vie humaine. La pollution affecte directement la santé, par exemple lorsque des polluants atteignent les eaux souterraines, auxquelles l'homme se fie pour assurer ses besoins en eau potable, cela nuit à sa santé ;
- La perte de la beauté et l'attractivité des sites touristiques. Par exemple, les touristes visitent «Ourika¹» ou «Akchour²» pour profiter de la vue montagnaise ou des cascades impressionnantes. Des problèmes environnementaux tels que la déforestation ou la pollution changeront tous ces paysages naturels ;
- Épuisement des ressources naturelles, telles que l'eau, la faune et la flore. Par une consommation excessive, ils peuvent être épuisés ;
- Les changements climatiques, et ces phénomènes peuvent endommager les cultures agricoles. Lorsque l'hiver est exceptionnellement chaud, la floraison des arbres peut être précoce, devant même le printemps, ce qui peut endommager de nombreuses cultures ;
- Détérioration de la santé de l'homme, de nombreuses maladies peuvent se reprendre dans les zones exposées à l'émission de polluants toxiques. De nombreux rapports confirment la mort de millions de personnes en raison des effets indirects de la pollution atmosphérique ;
- Perte du secteur du tourisme et des revenus très importants y afférents. La détérioration de l'environnement peut entraîner la perte de la diversité biologique tant de la faune que de la flore, et peut causer à titre d'exemple, la multiplication d'énormes décharges à ciel ouvert, ainsi la pollution de l'air. De telles dégradations sont de nature à limiter l'essor et même le maintien du tourisme ;
- Crise financière que l'État supportera en raison de la dégradation de l'environnement. Il doit restaurer la qualité des zones vertes, donc entre autres nettoyer les décharges et protéger les espèces menacées.

5.3 L'IMPACT HUMAIN SUR L'ENVIRONNEMENT

L'homme interagit avec l'environnement de plusieurs manières, il affecte et est affecté par celui-ci. Voici un ensemble de faits et d'effets nocifs dus à l'activité humaine :

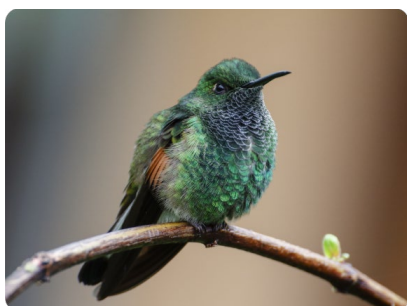
- Pollution de l'environnement : diverses activités humaines contribuent à l'émission des polluants dans l'air et dans l'eau en continu, en plus du phénomène croissant du

1 - La vallée de l'Ourika est une vallée du Haut Atlas marocain située à 30 km de Marrakech.

2 - Akchour est un petit village situé au nord du Maroc au fond de la vallée de Talembote, à 30 km de Chefchaouen sur la route de Oued Laou. C'est une vallée naturelle. Surnommée : «Paradis de Dieu sur terre».

«Smog¹», en raison du niveau élevé de la quantité d'ozone émis dans les différentes couches de l'atmosphère terrestres qui touchent la surface de la terre. Le smog bloque la lumière du soleil et augmente significativement les températures moyennes sur la surface de la terre ;

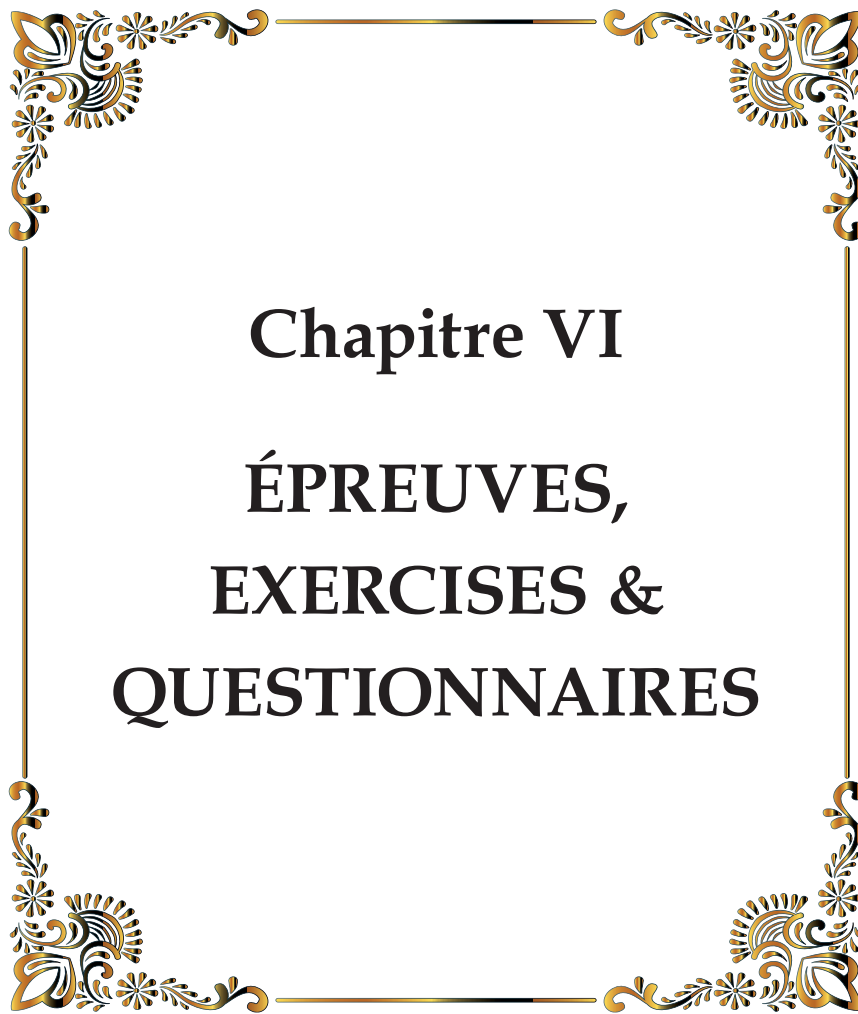
- Pollution de l'eau : l'engrais qui atteint les sources d'eau par le biais de plusieurs facteurs entraîne une forte teneur en azote gazeux, ce qui conduit à la croissance de nombreuses algues et de phytoplancton², qui à leur tour consomment de l'oxygène dissous dans l'eau et conduisent au transfert de toxines par le corps des organismes aquatiques qui les consomment. En outre, les ordures déversées dans les sources d'eau et remplies de produits en plastique entraîneront des famines pour les créatures marines voire suffocation lorsqu'elles sont avalées par erreur ;
- Pluies acides : les gaz toxiques sont émis dans l'atmosphère à la suite des activités humaines, ils se combinent avec les nuages pour former une pluie acide qui endommage les plans d'eau et nuit les organismes marins qui s'y trouvent, en particulier les poissons. Les terres entourant ces plans absorbent l'acide et le transfèrent aux arbres qui absorbent les toxines, ce qui nuit le feuillage puis de vastes zones de la forêt ;
- Acidification des océans : l'acidification des océans résulte de la fonte du dioxyde de carbone dans l'eau des océans, formant de l'acide carbonique. L'acidité des océans épuise les concentrations de calcium, pour cette raison, des crustacés ont du mal à construire leurs coquilles et des récifs sont considérés comme endommagés et irréparables, et les deux tiers d'entre eux sont menacés.



Enfin, nous sommes tenus de faire tout ce qui est dans l'intérêt de la préservation de l'environnement et d'assurer une nature propre et saine.

1 - Des mélanges de polluants atmosphériques qui engendrent une brume brunâtre épaisse qui limite la visibilité dans l'atmosphère. L'ozone est le principal constituant en plus de particules fines. Le smog est associé à des effets néfastes pour l'environnement et la santé.

2 - Le phytoplancton est le plancton végétal, c'est-à-dire l'ensemble des organismes végétaux vivant en suspension dans l'eau. Plus précisément il s'agit de l'ensemble des espèces de plancton autotrophes vis-à-vis du carbone. La plupart sont trop petits pour être visibles à l'œil nu individuellement.



Chapitre VI
ÉPREUVES,
EXERCISES &
QUESTIONNAIRES

ÉPREUVE 1

1) Avec quel appareil de mesure, mesure-t-on :

- La fréquence ;
- La tension ;
- La puissance ;
- La résistance ;
- L'intensité du courant ;
- Les ondes stationnaires.

2) Quelles sont les unités de mesure de la :

- Fréquence ;
- Résistance ;
- Période ;
- Inductance d'une self ;
- Pulsation ;
- Puissance ;
- Longueur d'onde ;
- Capacité d'un condensateur ;
- Énergie perdue ;
- Réactance inductive ;
- Effet joule ;
- Réactance capacitive ;
- Quantité d'électricité ;
- Impédance ;
- Tension ;
- Flux magnétique ;
- Intensité ;
- Induction magnétique.

3) Donnez les expressions de valeurs instantanées d'un courant i et de tension u aux bornes d'un dipôle :

- Résistivité ;
- Selfique ;
- Capacitif ;
- Élément parfait.

4) Donnez les formules qui vous permettent de calculer en courant continu i ou en alternatif les éléments suivants :

- L'intensité du courant ;
- L'énergie dissipée par effet joule ;
- La tension ;
- La quantité d'électricité ;
- La force électromotrice ;
- La tension efficace ;
- La Force contre-électromotrice ;
- Le courant efficace ;
- La résistance ;
- La période ;
- La puissance absorbée ;
- La fréquence ;
- La puissance perdue par effet joule ;
- La pulsation ;
- L'énergie emmagasinée aux bornes de C et L ;
- La longueur d'onde.

5) Donnez la formule de la résistance et de l'inductance en fonction de ses caractéristiques géométriques.

6) Donnez la formule qui vous permet de calculer :

- La résistance équivalente R_e d'un montage en série ;
- La résistance équivalente R_e d'un montage en parallèle ;
- La capacité équivalente C_e d'un montage série ;
- La capacité équivalente C_e d'un montage parallèle.

7) Donnez les formules qui vous permettent de calculer l'impédance Z d'un circuit série :

$$R + L \quad ; \quad R - C \quad ; \quad R + L + C.$$

8) Donnez la formule de Thomson qui vous permet de calculer la fréquence à la résonance.

9) Donnez les formules de déphasage (tg) montage série et parallèle d'un circuit :

$$R + L \quad ; \quad R - C \quad ; \quad R + L + C.$$
$$R \times L \quad ; \quad R \times C \quad ; \quad R \times L \times C.$$

10) Donnez les formules de coefficient de surtension, sur intensité, ainsi le facteur de qualité.

ÉPREUVE 2

- 1) Calculez en Ampère-heure et en Coulomb la capacité d'un accumulateur pouvant fournir un courant moyen de 2 Ampères pendant 50 heures.

Ce même accumulateur étant utilisé pour produire un courant de 1,25A pendant combien de temps pourra-t-il théoriquement être mis en service ?

- 2) Une installation d'éclairage électrique consomme 8A et la DDP aux deux extrémités du filament de chaque lampe est de 110V.

- Quelle est en Ah et en Coulombs la quantité d'électricité consommée pour une durée d'éclairage de 10 heures ?
- Quelle est l'énergie absorbée par cette même installation dans le même temps ?
- Quelle est la dépense à raison de 100 DH l'hectowattheure ?

- 3) Un fil électrique consomme une puissance électrique de 440W quand il est traversé par un courant de 4A. Calculez la longueur du fil chauffant sachant que son diamètre vaut 0,2 mm et que sa résistivité à la température d'équilibre est $\rho = 10^{-6} \Omega\text{m}$.

- 4) Une lampe électrique à incandescence porte les indications suivantes : 120V, 400W.

- Quelle est l'intensité du courant qui traverse la lampe, montée sur une prise de courant de 120V ? Quelle est alors la résistance du filament incandescent ?
- On veut utiliser cette lampe sur un secteur à 220V. Quelle résistance faut-il lui associer pour qu'elle fonctionne dans la même condition que lorsqu'elle est utilisée directement sur un secteur à 120V (On fera le schéma des positions de la lampe et de la résistance dans le circuit) ?
- On construit cette résistance avec un fil métallique de 1 mm de diamètre dont la résistivité indépendante de la température est de $46 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$.
- Quelle est alors la longueur de ce fil ?

ÉPREUVE 3

- 1) Un circuit comportant en série un condensateur de $10 \mu\text{F}$ et un résistor de 700Ω consomme une puissance de 64W . La tension totale est inconnue mais sa fréquence est de 50 Hz .

Calculez :

- Le courant dans le circuit ;
- Les tensions partielles U_R et U_C ;
- La tension totale ;
- Le facteur de puissance.

- 2) Une bobine $R = 80\Omega$, $L = 0,2\text{H}$, 110V et 50 Hz .

Calculez :

- Le courant qui traverse la bobine ;
 - La puissance consommée ;
 - La capacité du condensateur à placer en série pour qu'avec la même tension totale de 100V le courant ait la même valeur efficace qu'au premier ;
 - Le facteur de puissance.
- Quel est le déphasage de ce courant sur la tension ?

- 3) Un condensateur $C = 4 \mu\text{F}$ est monté en série avec un résistor R inconnue, quand on applique à l'ensemble une tension de 160V , 100 Hz le courant est de $0,25\text{A}$.

Calculez :

- L'impédance du circuit ;
- La valeur de la résistance ;
- Les tensions partielles du résistor et du condensateur.

- 4) On applique une tension de 20V et 50 Hz entre les bornes d'un dipôle comportant en série une bobine inductive et une résistance et un condensateur. La tension entre les bornes du condensateur est 60V , sachant que $R = 380\Omega$ et $C = 60 \mu\text{F}$.

Calculez :

- Le courant dans le dipôle ;
- L'impédance du dipôle et l'inductance de la bobine ;
- Construisez la représentation graphique de Fresnel.

- 5) On monte en parallèle un résistor $R = 25\Omega$, un réacteur $L = 1,6 \mu\text{F}$, on applique entre les bornes communes une tension $U = 60\text{V}$, $f = 50 \text{ Hz}$.

- Vérifiez que $L \cdot \omega^2 = 1$ ($32\pi = 100$) ;
- Calculez le courant dans chaque élément ;
- Déterminez le courant totale ;
- Calculez l'impédance équivalente à l'ensemble.

ÉPREUVE 4

1) Faites le schéma de :

- Deux (2) générateurs de tension montés en série ;
- Trois (3) générateurs de tension montés en parallèle ;
- Trois (3) résistances montées en dérivation ;
- Trois (3) conducteurs montées en dérivation ;
- Trois (3) selfs montées en dérivation.

2) Dessinez un circuit mixte quelconque.

3) Faites le schéma d'un transformateur élévateur de tension.

- Donnez la relation entre ses tensions, ses intensités et ses nombres de spires ;
- Quelles sont les conditions déterminantes ?

4) Comment branche-t-on un ampèremètre dans un circuit ?

- À quoi sert-il ?
- Faites le schéma du branchement.

5) Quels sont les multiples et les sous-multiples de :

Ohm - Volt - Ampère - Watt - Hertz - Farad - Henry.

6) Comment branche-t-on un voltmètre dans un circuit ?

- À quoi sert-il ?
- Faite le schéma du branchement.

7) Quelle est la notion de phase et de déphasage entre la tension et l'intensité aux bornes d'une :

- Résistance pure ;
- Condensateur parfait ;
- Une self parfaite.

8) Quels sont les effets que produit un courant électrique quand-il traverse un circuit ?

9) Quel différence y-a-t-il entre un aimant permanent et un électroaimant ?

10) Quelles sont les caractéristiques d'une force électromagnétique ?

ÉPREUVE 5

- 1) Une batterie d'accumulateur de secours comporte en série 65 éléments de 2V de FÉM. La résistance interne d'un élément est de $0,01\Omega$.

Calculez :

- La différence de potentiel de la batterie quand on lui fait débiter un courant de 50A. Quelle est alors la résistance équivalente au dipôle montée entre ses bornes ?
- L'intensité du courant et le DDP quand on branche la batterie sur un résistor de résistance $R' = 2,6\Omega$.

- 2) On dispose de 48 piles de FÉM = 1,5V et de résistance interne $r = 0,5\Omega$. On veut alimenter un résistor de résistance $R' = 1,5\Omega$.

Calculez l'intensité du courant dans le résistor, la DDP entre ses bornes et la puissance qui lui est fournie quand on l'alimente :

- Avec une seule pile ;
- Avec toutes les piles en série ;
- Avec toutes les piles en parallèle ;
- Avec un groupement mixte comportant en parallèle 4 série.

- 3) La force contre-électromotrice d'un récepteur est de 80V et la résistance interne $1,5\Omega$. Calculez le courant qui le traverse quand on lui applique une DDP de 110V.

- 4) Une cuve d'électrolyse absorbe 40A sous une DDP de 2,8V lorsque le courant n'est plus que 15A, la DDP est de 1,8V.

Calculez la résistance interne de la cuve et la FCÉM.

- 5) On monte en série 12 piles de FÉM $E = 1,5V$ et de résistance interne $0,5\Omega$.

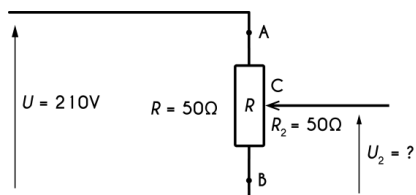
Calculez le courant débité par cette batterie sur un résistor de résistance $R' = 18\Omega$. Quelle est la différence de potentiel totale et celle de chaque pile ?

ÉPREUVE 6

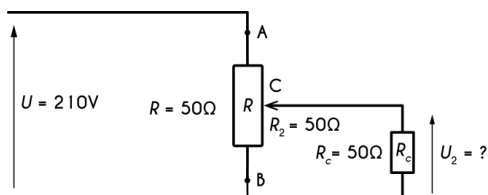
- 1) Une résistance de 150Ω , utilisée comme diviseur de tension, on applique entre ses bornes A et B une tension de $210V$, le curseur est placé au point C et détermine entre les points B et C une résistance de 50Ω .

Calculez la tension de sortie U_2 à vide.

Que deviendra-t-elle U_2 si on place une résistance de charge $R_s = 50\Omega$?



a - Potentiomètre à vide



b - Potentiomètre à charge

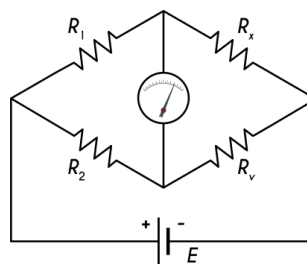
- 2) Soit le montage suivant d'un pont de Wheatstone.

$$R_1 = 225\Omega ;$$

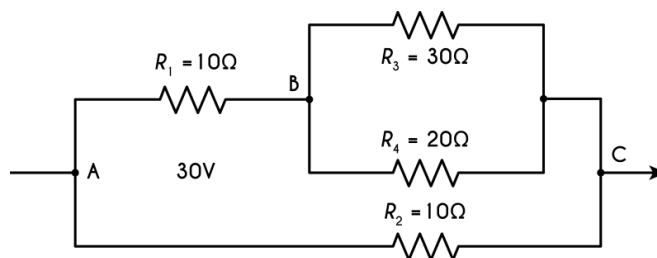
$$R_2 = 2500\Omega ;$$

La résistance étalon $R_v = 8664\Omega$.

Quelle est la valeur de la résistance R_x pour obtenir l'équilibre ?



- 3) Quatre résistors sont montés comme l'indique la figure.



La tension appliquée entre A et B est $U = 30V$, calculez l'intensité du courant dans chaque résistor et la différence de potentiel entre B et C.

- 4) Un circuit électrique comprend trois résistances R_1 , R_2 et R_3 associées en série. La résistance totale du circuit est de 20Ω et $R_1 = 4\Omega$ branchée sous une différence de potentiel U . On note une DDP de $12V$ aux bornes de R_2 , et une puissance dissipée de $40W$ dans R_3 .

Calculez la valeur des résistances R_2 et R_3 .

ÉPREUVE 7

- 1) Un dipôle à la fois capacitif et résistif consomme 27W quand on lui applique une tension $U = 120V, f = 50 \text{ Hz}$. Le courant absorbé est alors 0,5A.

Calculez :

- La résistance du dipôle ;
- L'impédance du dipôle ;
- Le facteur de puissance.

N.B : On supposera les éléments R et C en série.

- 2) La puissance consommée par un circuit comprenant en série un résistor de résistance $R = 60\Omega$ et un condensateur de capacité $C = 40 \mu\text{F}$ et 135W. La fréquence de la tension appliquée est 25 Hz.

Calculez :

- L'intensité du courant dans le circuit et la tension entre les bornes du résistor ;
- La tension entre les bornes du condensateur ;
- La tension totale (s'aider d'un graphique de Fresnel) où l'intensité sera prise origine des phases.

- 3) Une bobine à la fois inductive et résistive consomme 200W quand on lui applique une tension de 150V, 50 Hz. Le courant dans la bobine est alors de 2A.

Calculez :

- La résistance de la bobine ;
- Son impédance ;
- Son facteur de puissance.

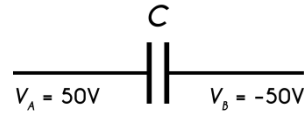
- 4) La puissance consommée par un circuit comprenant en série un résistor de résistance $R = 10\Omega$ et un réacteur d'inductance $L = 0,25\text{H}$ et 122,5W. La fréquence de la tension appliquée est 50 Hz.

Calculez :

- L'intensité du courant dans le circuit et la tension entre les bornes du résistor ;
- La tension entre les bornes du réacteur ;
- La tension totale (s'aider d'un graphique de Fresnel) où l'intensité sera prise pour origine des phases.

ÉPREUVE 8

- 1) Un condensateur C emmagasine une énergie $W = 0,04\text{J}$.



Calculez sa valeur capacitive, si on applique entre ses bornes : $V_A = 50\text{V}$ et $V_B = -50\text{V}$.

- Quelle est alors sa quantité d'électricité correspondante ?

- 2) Un condensateur de $2\ \mu\text{F}$ est chargé sous une tension de 350V .

Calculez la quantité d'électricité et l'énergie emmagasinée.

- 3) Deux condensateurs ont la même capacité $4,7\ \mu\text{F}$ et supportent la même tension de 500V . On les monte successivement en parallèle puis en série, et on applique à chaque fois la tension maximale qui supporte leur groupement.

Calculez, pour chaque des deux montages :

- a) La capacité équivalente ;
- b) La tension maximale applicable ;
- c) La quantité d'électricité totale emmagasinée ;
- d) L'énergie correspondante.

ÉPREUVE 9

- 1) Un transformateur possède 3250 spires au primaire, et 275 au secondaire, sachant que la tension primaire est de 6500V, quelle est la tension secondaire à vide ?

Que deviendrait la tension secondaire si le primaire était alimenté par une source de 5000V ?

- 2) Soit un transformateur d'alimentation dont le primaire prévu pour 115V comporte 380 spires.

Calculez le nombre de spires pour chacun des trois secondaires dont les tensions sont : 5V ; 2×290V et 6,3V.

- 3) Les extrémités d'une bobine de 1000 spires de 5 cm de rayon sont reliées à un galvanomètre. La bobine est amenée en 0,5 seconde dans un champ uniforme dont les lignes d'induction sont parallèles à son axe et dont la vectrice induction magnétique a pour intensité $\beta = 0,01T$.

Calculez l'intensité moyenne du courant induit sachant que la résistance du circuit est 50Ω .

- 4) Une bobine de 600 spires de 8 cm^2 de section est placée dans un champ uniforme d'induction 0,2T, son axe est parallèle à la vectrice induction.

Calculez la FÉM induite dans la bobine quand on annule le champ en 0,05s.

ÉPREUVE 10

- 1) Calculez la valeur des tensions efficaces suivantes pour :

$$U_m = 100\sqrt{2} \quad \text{et} \quad U_m = 200\sqrt{2}.$$

- 2) Calculez pour une fréquence de 50 Hz les réactances de condensateurs dont les capacités sont :

$$0,2 \mu\text{F} \quad ; \quad 5 \text{ nF} \quad ; \quad 40 \text{ pF}.$$

- 3) Calculez pour la fréquence de 100 Hz les réactances des bobines dont les inductances sont :

$$5 \text{ mH} \quad ; \quad 200 \text{ mH} \quad ; \quad 40 \mu\text{F}.$$

- 4) Soit un courant instantané $i = 0,2 \cdot \sin(628t)$.
Calculez son courant efficace ;
Calculez la fréquence de la période.

- 5) Une tension $u = 110\sqrt{2} \cdot \sin(50t)$ est appliquée à un réacteur d'inductance $L = 400 \text{ mH}$.
Calculez la valeur efficace du courant ;
Écrivez l'équation de la valeur instantanée du courant.

- 6) Un condensateur de capacité $C = 6,28 \mu\text{F}$ est soumis à une tension de 140V, de fréquence 50 Hz.
Calculez le courant qui le traverse et la puissance apparente.

TUBE ÉLECTRONIQUE

1. Qu'est-ce qu'un tube électronique ?
2. Donnez la constitution d'un tube électronique et le symbole de chacun correspondant de chacun.
3. Quels sont les classifications des tubes et les rôles qui peuvent jouer dans chaque étage ou circuit radio ?
4. Suivant les codes donnés, déterminez le genre du tube et le rôle qui peut jouer dans un circuit : DC 70 – AL 40 – ECC 81 – EAC 991.

SEMI-CONDUCTEURS

1. Qu'est-ce qu'un semi-conducteur ?
2. Donnez les classifications des diodes, faites en le symbole.
3. Quels sont les rôles des diodes dans un circuit radio ?
4. Qu'est-ce qu'un transistor ?
5. Faites le symbole d'un transistor PNP et NPN.
6. Qu'est-ce qu'un gain d'un transistor ?
7. Qu'est-ce qu'un transistor à effet de champ ?
8. Donnez leurs représentations schématiques.
9. Qu'est-ce qu'un transistor MOS ou TECMOS ? Faites en le symbole.
7. Faites le schéma des trois montages fondamentaux d'un transistor.

ALIMENTATION

1. Comment redresse-t-on un courant alternatif ?
2. Faites le schéma d'une alimentation à simple alternance.
3. Faites le schéma d'une alimentation à double alternance.

AMPLIFICATION

1. Qu'est-ce qu'un gain et atténuation dans un étage radio ?
2. Qu'est-ce qu'un quadripôle ?
3. Donnez les expressions du gain G [dB] en : Puissance, Tension, Courant (intensité).

MODULATION D'AMPLITUDE

1. Quel est le but de la modulation ?
2. Quels sont les grandeurs fondamentales de la modulation ?
3. Qu'est-ce que la modulation d'amplitude ?
4. Donnez l'expression de taux de modulation.
5. De quoi est-il composé un signal modulé en amplitude ?
6. Qu'est-ce qu'un spectre de fréquence ?
7. Quels sont les systèmes d'émission utilisés en modulation d'amplitude.

PROPAGATION

1. Quels sont les modes de propagation des ondes électromagnétiques ?
2. Quels sont les classifications des ondes ?

3. Quels sont les facteurs de propagation ?
4. Dites les différentes couches atmosphériques ?
5. Quelle est la définition de la longueur d'onde ?
6. Quelle est la relation de la longueur d'onde en fonction de la fréquence ?
7. Classez les ondes suivant leurs longueurs d'ondes.
8. Qu'est-ce que le *Fading* ?
9. En quoi consiste le choix des éléments d'une radiocommunication ?
10. Quels sont les ordres de grandeurs des fréquences à utiliser en modulation d'amplitude de jour et de nuit ?

ANTENNES

1. Quel est le rôle d'une ligne de transmission ?
2. Citez les principaux types de lignes que vous connaissez.
3. Quelles sont les constantes linéiques d'une ligne ?
4. Quelle est la définition de l'impédance d'une ligne ?
5. Qu'est-ce qu'une impédance caractéristique d'une ligne de transmission ?
6. Quelle différence y'a-t-il entre les ondes progressives et les ondes stationnaires ?
7. Qu'est-ce qu'une antenne ?
8. De quoi dépend-il le diagramme de rayonnement d'une antenne ?
9. Quelle est l'utilité de la mise à terre ou d'un contrepoids d'une antenne ?
10. Qu'est-ce que vous entendez par Gain, Sélectivité et directivité d'une antenne ?
11. Citez les principaux types d'antennes que vous connaissez ?
12. Quels sont les mesures à prendre pour l'installation des antennes ?
13. Quelles sont les précautions particulières à prendre pour l'utilisateur d'une station radio ?

BLU ou SSB

1. Qu'est-ce que la bande latérale unique ?
2. Citez les principaux avantages du système BLU.
3. Quel est le rôle d'un modulateur équilibré ?
4. Faites le schéma du modulateur équilibré.
 - a) Montage shunt ;
 - b) Montage série.
5. Qu'est-ce qu'un filtre à quartz ?
6. Quel est le rôle d'un détecteur de produit ?
7. Faites le schéma synoptique d'un émetteur BLU.

MODULATION DE FRÉQUENCE ET DE PHASE

1. Quel est le principe de la modulation de fréquence ?
2. Quels sont les avantages de la modulation de fréquence par rapport à la modulation classique ?
3. Décrivez l'équation d'un courant modulé en fréquence.
4. Donnez l'expression de l'indice de modulation.
5. Qu'est-ce que la modulation de phase ?

RADIOTECHNIQUE

1. Faites en le schéma synoptique d'un émetteur AM.
2. Citez le nom et le rôle de chaque étage d'un émetteur radio AM.
3. Qu'est-ce que le neutrodynage ?
4. Qu'est-ce qu'un poste radio ? Décrivez son principe.
5. Quel est le rôle d'un changeur de fréquence ?
6. Quel est le but de la détection ?
7. Qu'est-ce qu'un amplificateur basse fréquence BF ?
8. Faites en le schéma synoptique d'un récepteur AM.

DANGER DU COURANT ÉLECTRIQUE

1. Quels sont les effets du courant électrique sur l'organisme ?
2. Donnez les précautions à prendre pour éviter une électrocution ?
3. Quels sont les mesures à prendre en cas d'accident ?
4. Quels sont les préventions à tenir en compte pour une installation électrique d'une part et celle de votre station radio ?

ENVIRONNEMENT

1. Selon vous, quels problèmes pourraient poser la disparition de nombreuses espèces animales et végétales ?
3. Le plastique est une source importante de pollution. Est-ce que vous avez une idée du pourcentage de plastique produit dans le monde et du nombre d'animaux tués par le plastique chaque année ?
4. À votre avis, les scientifiques utilisent le terme «effet de serre» pour décrire quoi ?
5. Quelles seraient selon vous les actions à mener au niveau des établissements pour informer sur les enjeux environnementaux et participer à la protection de l'environnement ?

RÉGLEMENTATION

1. Le service d'amateur est défini comme suit :

- Service libre
- Service de transmission de données
- Intercommunication, études techniques et instruction individuelle
- Service utilisant les techniques de partage des ressources radioélectriques

2. Pour exploiter une station radioélectrique d'amateur, on doit disposer :

- D'aucun document
- D'un certificat restreint de Radiotéléphoniste
- D'une licence d'amateur
- D'un certificat restreint de Radiotéléphoniste et d'une licence d'amateur

3. Le certificat d'opérateur radioamateur est valable pour une période de :

- Cinq ans
- Trois ans
- Un an
- À vie

4. Toutes les communications établies à partir de la station d'amateur :

- Ne doivent pas être consignées dans «le livre journal de trafic»
- Doivent être consignées dans «le livre journal de trafic»
- Doivent être transmises régulièrement à l'ANRT
- Doivent être mémorisées jusqu'à la fin de chaque communication

5. Que signifie QRM ?

- Je suis brouillé
- Je ne suis pas brouillé
- Je suis occupé
- Cesser la transmission

6. Quel est le code à utiliser pour «Augmentez la puissance d'émission» ?

- QRH
- ORP
- QRO
- ORC

7. Comment appelle-t-on le mot «Novembre» ?

- Niklaus Otto Veronika Emil Michael Bern Roger Emil
- November Oscar Victor Echo Mike Bravo Romeo Echo
- November Oscar Venice Echo Miami Bristol Roma Echo
- November Olympia Victor Ever Mike Berne Romeo Ever

8. Comment la gamme de fréquences de 30 à 300 MHz est-elle désignée ?

- MF
- HF
- VHF
- UHF

9. Quel genre de station émet des communications à sens unique ?

- Une station balise
- Une station relais
- Une station HF
- Une station VHF

10. Pour vous assurer que votre indicatif d'appel est bien compris, quel moyen pouvez-vous utiliser en mode phonie ?

- Utiliser des mots commençant par les mêmes lettres que les lettres de votre indicatif
- Parler plus fort
- Augmenter le gain de votre microphone
- Employer l'alphabet phonétique international pour chacune des lettres de votre indicatif

11. Quand un radioamateur peut-il transmettre un message codé pour s'assurer que personne d'autre que son interlocuteur ne puisse comprendre ?

- Lors de communications en situation d'urgence
- Pendant les concours
- Jamais
- Lorsqu'il transmet sur des fréquences supérieures à 450 MHz

12. Comment appelle-t-on une émission qui vient déranger les autres communications en cours ?

- Le brouillage intentionnel
- Le brouillage adjacent
- Le brouillage perturbant
- Le brouillage préjudiciable

13. La personne qui possède un certificat d'opérateur radioamateur est autorisée à exploiter une des stations suivantes :

- Une station autorisée dans le cadre du service radioamateur
- Une station autorisée dans le cadre du service aéronautique
- Une station autorisée dans le cadre du service maritime
- Toute station autorisée excepté celles du service radioamateur, aéronautique et Maritime

14. De quelle façon un radioamateur doit-il identifier sa station ?

- Par son nom
- Par son indicatif
- Par son prénom et sa localisation
- Par son numéro de téléphone

15. La largeur de bande maximale pouvant être utilisée par une station d'amateur dans la bande de 144 à 148 MHz est de :

- 6 kHz
- 20 kHz
- 30 kHz
- 15 kHz

16. Quelle puissance d'émission doit être utilisée en tout temps par les radioamateurs ?

- La puissance minimum légale pour permettre la communication
- 25 watts de puissance de sortie
- 250 watts de puissance de sortie
- 2000 watts de puissance de sortie

17. Comment appelle-t-on une station du service radioamateur qui retransmet automatiquement les signaux des autres stations ?

- Une station télécommandée
- Une station balise
- Un répéteur
- Une station spatiale

18. Pourquoi devriez-vous vous limiter à de courtes conversations lorsque vous utiliser un relais ?

- Pour éviter les frais d'appels interurbains
- Pour permettre à des non-amateurs de participer à la conversation
- Une trop longue conversation peut empêcher une personne d'utiliser le relais en cas de situation d'urgence
- Pour vous assurer que l'opérateur de l'autre station est toujours éveillé

19. Quand devriez-vous utiliser la transmission en simplex au lieu de la transmission par relais ?

- Quand le contact est possible sans l'utilisation du relais
- Quand il est nécessaire d'avoir des communications fiables
- Quand vous devez faire un appel téléphonique urgent
- Lorsque vous voyagez et que vous avez besoin de renseignements locaux

20. Quand pouvez-vous émettre le mot «MAYDAY» ?

- Seulement dans les cas de veille météorologique
- Dans les cas de détresse reliés à la vie d'une personne
- Jamais
- Seulement à des heures spécifiques

RADIOÉLECTRICITÉ

1. Quelle est la vitesse de propagation d'une onde électromagnétique ?

- $3 \cdot 10^6$ m/s
- $3 \cdot 10^7$ m/s
- $3 \cdot 10^8$ m/s
- $3 \cdot 10^9$ m/s

2. Qu'est-ce qui caractérise une onde électromagnétique de polarisation horizontale ?

- Les lignes de force électrique de l'onde sont parallèles au sol
- Les lignes de force électrique et magnétique de l'onde sont perpendiculaires au sol
- Les lignes de force électrique de l'onde sont perpendiculaires au sol
- Les lignes de force magnétique de l'onde sont parallèles au sol

3. Comment se comporte le champ magnétique d'un conducteur unique ?

- Il est inversement proportionnel au courant
- Il ne dépend pas du courant
- Le champ magnétique est proportionnel au courant
- Il dépend du matériel du conducteur

4. Qu'est ce qui détermine le champ électrique autour d'un conducteur ?

- La tension
- La fréquence d'émission
- La tension multipliée par la résistance
- La longueur du conducteur

5. L'unité de mesure du champ magnétique est :

- Volt
- Ampère
- Volt/m
- Ampère/m

6. L'unité de mesure du champ électrique est :

- Volt
- Ampère
- Volt/m
- Ampère/m

7. Qu'arrive-t-il à la longueur d'onde d'un signal lorsqu'on augmente sa fréquence ?

- Elle devient plus longue
- Elle demeure la même
- Elle disparaît
- Elle devient plus courte

8. Quelle est la formule exacte (C : la vitesse, f : fréquence et λ : longueur d'onde) ?

- $C = \lambda \times f$
- $f = \lambda - f$
- $f = \lambda / f$
- $f = \lambda \div f$

9. La longueur d'onde correspondant à la fréquence de 2 MHz est :

- 30 m
- 150 m
- 360 m
- 1500 m

10. La polarisation d'une antenne est déterminée par :

- Son champ magnétique
- L'orientation de son champ électrique par rapport au sol
- La hauteur de l'antenne
- Le type d'antenne

11. Par rapport à une antenne horizontale, une antenne verticale reçoit une onde radio polarisée verticalement :

- Avec une intensité à peu près égale
- Uniquement si l'antenne modifie la polarisation
- Avec une intensité plus élevée
- Avec une intensité plus faible

12. La modulation est un processus permettant :

- De régler l'émetteur sur une fréquence
- D'émettre avec une puissance élevée
- De modifier les paramètres caractérisant la fréquence porteuse en vue de transmettre des informations
- D'établir une communication entre deux radioamateurs

13. Quel genre de modulation modifie l'amplitude d'une radiofréquence pour qu'elle puisse véhiculer l'information ?

- La modulation en fréquence
- La modulation en amplitude
- La modulation en phase
- La modulation d'amplitude redressée

14. Dans un émetteur à modulation de fréquence, l'entrée de l'amplificateur microphonique est raccordée :

- À l'amplificateur de puissance
- Au multiplicateur de fréquence
- Au microphone
- Au modulateur

15. Pour obtenir une transmission efficace de puissance entre un émetteur et une antenne il faut :

- Une impédance de charge élevée
- Une faible résistance de charge
- Une impédance inductive
- Une adaptation des impédances

16. Lorsqu'on change la réception pour l'émission, il faut :

- Désactiver le récepteur
- Couper l'oscillateur d'émission
- Brancher l'antenne du récepteur
- Couper l'alimentation

17. Comment peut-on augmenter la puissance de l'émetteur de 6 dB ?

- En multipliant la puissance originale par 3
- En multipliant la puissance originale par 2
- En multipliant la puissance originale par 4
- En multipliant la puissance originale par 1,5

18. Quel type de longueur d'onde correspond à la bande de fréquences 30 à 300 MHz ?

- Centimétriques
- Métriques
- Décamétriques
- Kilométriques

19. Quelle est la signification d'une radiation d'harmoniques ?

- Un signal indésirable combiné à un ronflement de 60 Hz
- Un signal indésirable dont la fréquence est un multiple de la fréquence fondamentale
- Un signal dont l'effet est la propagation par saut
- Un signal indésirable dû à la résonance provenant d'un émetteur situé à proximité

20. La compatibilité électromagnétique est la faculté :

- D'une antenne à émettre et à recevoir une fréquence
- D'un récepteur à recevoir plusieurs bandes
- D'un émetteur à ne pas perturber son environnement
- D'un récepteur à ne pas attirer la foudre

ÉLECTRICITÉ**1. Quelle est l'unité de la tension ?**

- Le volt
- L'ampère
- Le coulomb
- Le watt

2. Qu'entend-on par chute de tension ?

- La tension résiduelle d'une batterie déchargée.
- Une perte de tension plus ou moins grande qui ne peut pas être expliquée par la loi d'Ohm.
- La différence de potentiel mesurée aux bornes d'une résistance
- En tous les cas, une perte de tension indésirable

3. Pour mesurer les volts et les ampères, on doit raccorder :

- Le voltmètre et l'ampèremètre en série
- Le voltmètre et l'ampèremètre en parallèle
- Le voltmètre en série et l'ampèremètre en parallèle
- Le voltmètre en parallèle et l'ampèremètre en série

4. Quatre résistances $R_1 = 8,2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2,7 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 47 \text{ k}\Omega$ et $R_4 = 7,4 \text{ k}\Omega$ sont branchées en série. Quelle résistance ayant la chute de tension la plus élevée ?

- R_1 .
- R_2
- R_3
- R_4

5. Un kilo-Ohm est égal à :

- 0,1 ohm
- 0,001 ohm
- 10 ohms
- 1000 ohms

6. On dispose de deux résistances : $R_1=30\Omega$ et $R_2=15\Omega$. Quelle est la résistance équivalente à leur association en série ?

- 10Ω
- 15Ω
- 45Ω
- 450Ω

7. Quelle est la fréquence d'un signal dont la période dure 2 millisecondes ?

- 50 Hz
- 500 Hz
- 20 kHz
- 200 Hz

8. Quelle est la signification de 60 Hertz (Hz) ?

- 60 cycles par seconde
- 6 000 mètres par seconde
- 60 mètres par seconde
- 6000 cycles par seconde

9. Comment calcule-t-on le voltage dans un circuit à courant continu lorsque l'on connaît le courant et la résistance ?

- Le voltage égale le courant divisé par la résistance
- Le voltage égale la résistance divisée par le courant
- Le voltage égale la puissance divisée par le courant
- Le voltage égale le courant multiplié par la résistance

10. La tension aux bornes d'un conducteur ohmique vaut $U = 3,5V$. L'intensité du courant qui le traverse est de 50 mA. Quelle est la résistance de ce conducteur ohmique ?

- $0,07\Omega$
- $0,175\Omega$
- 70Ω
- 175Ω

11. Le courant total dans un circuit parallèle est égal :

- À la somme des courants circulant dans toutes les branches en parallèle
- À la tension de la source divisée par la valeur de l'une des résistances
- À la tension de la source divisée par la somme des résistances
- Au courant d'une branche quelconque

12. Quel circuit électrique n'a pas de courant ?

- Un court-circuit
- Un circuit ouvert
- Un circuit complet
- Un circuit fermé

13. Nommez quatre bons isolants électriques :

- Papier, verre, air et aluminium
- Verre, bois, cuivre et porcelaine
- Verre, air, plastique et porcelaine
- Plastique, caoutchouc, bois et carbone

14. De cette liste, quel type de matériau permet le plus facilement le passage d'un courant électrique ?

- Un conducteur
- Un isolant
- Un semi-conducteur
- Un diélectrique

15. Pourquoi les résistances deviennent-elles parfois chaudes lorsqu'elles sont utilisées dans un circuit ?

- Leur réactance les fait chauffer
- Des composants du circuit qui chauffent à proximité des résistances les réchauffent
- Parce qu'elles absorbent de l'énergie magnétique
- Une partie de l'énergie électrique qui les traverse est dissipée sous forme de chaleur

16. L'instrument qu'il faut utiliser pour mesurer le courant de plaque ou du collecteur d'un émetteur est :

- Un voltmètre
- Un ampèremètre
- Un ohmmètre
- Un wattmètre

17. Quel mot décrit la rapidité avec laquelle l'énergie électrique est utilisée ?

- Le courant
- Le voltage
- La résistance
- La puissance

18. La puissance s'exprime en :

- Ampères
- Ohms
- Watts
- Volts

19. Quelles sont les deux quantités que l'on doit multiplier entre elles pour obtenir la puissance ?

- La résistance et la capacité
- La tension et le courant
- L'inductance et la capacité
- La tension et l'inductance

20. Si l'on double la tension appliquée à deux résistances en série, de combien change la puissance totale ?

- Elle double
- Elle ne change pas
- Elle quadruple
- Elle diminue de moitié

TEST PRATIQUE SUR UNE STATION COMPLÈTE
HF, VHF ET UHF DE RADIOAMATEUR

Le test pratique portera sur les points ci-après :

1. Mettre en marche les stations radioélectriques d'amateur V/UHF et HF.
2. Régler la station VHF sur la fréquence 145.500 MHz et la station HF sur la fréquence 7050 KHz.
3. Appelez, sur la fréquence 145.500 MHz la station VHF de l' Association Royale des Radioamateurs Marocains portant l'indicatif d'appel **CN8MC** (prononcer l'indicatif en utilisant l'alphabet international).
4. S'identifier à la station que vous appelez.
5. Communiquez avec la station appelée.
6. Noter les informations relatives à la communication établie.
7. Terminez l'appel.
8. Éteindre les stations

RÉGLEMENTATION

1. De quoi traite la disposition I-56 du Règlement des Radiocommunications de l'UIT ?

- Elle définit l'utilisation des bandes radioamateur en cas de catastrophes
- Elle définit les conditions d'exploitation des services amateur
- Elle définit les services amateur
- Elle précise que le spectre hertzien constitue un élément du domaine publié

2. Le service d'amateur est défini comme suit :

- Intercommunication, études techniques, instruction individuelle
- Formation aux communications commerciales, test du matériel par de nombreux techniciens
- Préserver les anciennes techniques radios, avoir des techniciens connaissant les lampes
- Renforcer le patriotisme, favoriser la paix dans le monde

3. Dans quelle région de l'UIT se situe le Maroc ?

- Région 1
- Région 2
- Région 3

4. Quelle identification est requise à la fin d'une communication entre deux radioamateurs ?

- Aucune identification n'est requise
- Chacune des stations doit transmettre son indicatif
- Une des deux stations doit transmettre les deux indicatifs
- Les deux stations doivent transmettre les deux indicatifs

5. Pour acquérir et exploiter une station radioélectrique d'amateur, de quels documents devrait-on disposer ?

- D'aucun document
- D'un certificat restreint de Radiotéléphoniste uniquement
- D'une licence d'amateur uniquement
- D'un certificat restreint de Radiotéléphoniste et d'une licence d'amateur

6. Quelle est parmi les citations ci-après qui est une affirmation correcte ?

- Une station radioélectrique d'amateur peut être utilisée par toute personne
- Un technicien de la radio peut utiliser une station radioélectrique d'amateur
- Personne ne peut opérer une station radioélectrique d'amateur
- Peut utiliser une station radioélectrique d'amateur toute personne certifiée et autorisée par les Autorités compétentes

7. Quand un radioamateur peut-il transmettre un message codé pour s'assurer que personne d'autre que son interlocuteur ne puisse comprendre ?

- Pendant les concours
- Jamais
- Lorsqu'il transmet sur des fréquences supérieures à 450 MHz
- Lors de communications en situation d'urgence

8. Les stations de radioamateur peuvent communiquer :

- Avec toute station radioélectrique
- Avec des stations autres que de radioamateur
- Uniquement avec d'autres stations de radioamateur
- Avec des stations d'aéronef

9. Que devez-vous faire avant de lancer un appel sur une fréquence ?

- Écouter pour être sûr qu'il n'y a personne
- Écouter pour être sûr que quelqu'un vous entendra
- Régler votre antenne sur la fréquence
- Vérifier que le ROS est assez grand sur cette fréquence

10. L'emploi d'un code secret par l'opérateur d'une station d'amateur :

- Est autorisé dans le cadre de concours
- Doit être approuvé par l'Autorité chargée de gérer les radioamateurs
- Est interdit
- Est autorisé dans le cas de messages transmis au nom d'un tiers

11. Les émissions hors des bandes d'amateur :

- Doivent être identifiées au moyen d'indicatif d'appel
- Sont autorisées
- Sont interdites - l'opérateur en charge pourrait faire l'objet de sanctions
- Sont autorisées uniquement pour de courtes périodes d'essai

12. Lequel des sujets suivants est INTERDIT sur un réseau regroupant des radioamateurs ?

- Les projets récréatifs
- La pratique du code Morse
- Le réseau d'urgence
- La planification commerciale

13 Une station de radioamateur en situation de détresse peut :

- Utiliser uniquement les bandes de fréquences
- Utiliser tout moyen de radiocommunications, mais uniquement sur les canaux d'urgence reconnus internationalement
- Utiliser tout moyen de radiocommunications
- Utiliser uniquement les communications en code morse sur les canaux d'urgence reconnus internationalement

14. Une station d'amateur peut-elle émettre de la musique ?

- Qui, pour de courtes expérimentations qui ne peuvent dépasser 5 minutes
- Non, dans aucun cas
- Oui, comme indicatif d'appel occasionnel
- Oui, à condition qu'elle ait été préalablement autorisé durant des moments d'émissions

15. Quel type de messages est-il possible de transmettre à une station radioamateur d'un autre pays ?

- Des messages de tout genre si le pays en cause autorise les communications au nom de tiers
- Des messages qui ne concernent pas la religion, la politique ou le patriotisme
- Des messages de nature technique ou d'intérêt personnel sans importance
- Des messages de toute nature

16. Quel est le sens de l'abréviation «QTH» ?

- Cessez d'émettre
- Mon nom est ...
- Ma position est
- Ici, il est ... heure

17. Pour éviter les perturbations réciproques, un radioamateur ne peut émettre sur la même fréquence plus de :

- 10 minutes
- 5 minutes
- 15 minutes
- 5 minutes, à l'exception des émissions via une station relais

18. Comment appelle-t-on une émission qui vient déranger les autres communications en cours ?

- Un brouillage préjudiciable
- Une communication interrompue en code Morse
- Les signaux d'un transpondeur
- Des transmissions non identifiées

19. Laquelle de ces émissions à sens unique ne peut être transmise par la station d'un radioamateur ?

- La radiodiffusion à l'intention du public en général
- La télécommande par radio de modèles réduits
- De courtes transmissions afin d'ajuster l'équipement de la station
- La pratique du code Morse

20. Lequel de ces indicatifs d'appel identifie une station Marocaine de radioamateur ?

- BY7HY
- KA9OLS
- CN8MC
- VA3XYZ

RADIOÉLECTRICITÉ

1. Comment appelle-t-on une station du service d'amateur qui retransmet automatiquement les signaux des autres stations?

- Une station maritime
- Une station répétitrice
- Une station télécommandée
- Une station d'aéronef

2. Un amplificateur microphonique amplifie les signaux de la bande :

- 3 à 300 Hz
- 300 à 1000 Hz
- 40 à 40 000 Hz
- 300 à 3400 Hz

3. La période d'un signal est de 10 ms. Quelle est sa fréquence ?

- 100 kHz
- 1000 Hz
- 10 Hz
- 100 Hz

4. Pour vous protéger des décharges électriques, le châssis de chacun des appareils de votre station devrait être relié à :

- Une bonne mise à la terre
- Une antenne fictive
- Des supports isolés
- L'antenne

5. Qu'arrive-t-il à la longueur d'onde d'un signal lorsqu'on augmente sa fréquence ?

- Elle devient plus longue
- Elle demeure la même
- Elle disparaît
- Elle devient plus courte

6. Que signifie la polarisation verticale de l'onde ?

- Les lignes de force magnétique de l'onde radio sont perpendiculaires au sol
- Les lignes de force électrique de l'onde radio sont perpendiculaires au sol
- Les lignes de forces électrique et magnétique de l'onde sont parallèles au sol
- Les lignes de force électrique de l'onde sont parallèles au sol

7. Dans un émetteur à modulation de fréquence, le microphone est raccorde :

- Au modulateur
- À l'amplificateur de puissance
- À amplificateur microphonique
- À l'oscillateur

8. Que veut dire la radiation d'harmoniques ?

- Un signal indésirable dont la fréquence est un multiple de la fréquence fondamentale
- Un signal indésirable combiné à un ronflement de 60 Hz
- Un signal indésirable dû à la résonance provenant d'un émetteur situé à proximité
- Un signal dont l'effet est la propagation par saut

9. Qu'est-ce qu'une communication en « simplex » ?

- C'est une transmission et une réception couvrant une grande surface
- C'est la transmission sur une fréquence et la réception sur une autre fréquence
- C'est la transmission dans une seule direction
- C'est une communication où la fréquence d'émission est la même que la fréquence de réception

10. Quelle est la vitesse de propagation d'une onde électromagnétique ?

- $3 \cdot 10^6$ m/s
- $3 \cdot 10^7$ m/s
- $3 \cdot 10^8$ m/s
- $3 \cdot 10^9$ m/s

11. Lorsqu'on change la réception pour l'émission, il faut :

- Désactiver le récepteur
- Couper l'oscillateur d'émission
- Brancher l'antenne du récepteur
- Couper l'alimentation

12. Quelle est l'affirmation fautive ?

- L'antenne quart d'onde verticale à une impédance caractéristique de 36 Ohms
- Une antenne à la même impédance à l'émission et à la réception
- Dans un doublet, chaque brin à la même longueur
- Dans une antenne, la tension est en phase avec l'intensité

13. Pourquoi la phonie émise en modulation de fréquence n'est-elle pas utilisée en-dessous de 29,5 MHz ?

- L'efficacité de l'émetteur serait très faible
- On ne pourrait pas diminuer les harmoniques suffisamment
- La stabilité en fréquence ne serait pas satisfaisante
- La largeur de bande dépasserait la limite réglementaire

14. Quel est le terme à utiliser pour qualifier la puissance moyenne fournie à la ligne de transmission d'antenne durant un cycle radiofréquence complet, mesurée au sommet de l'enveloppe modulée ?

- La puissance de crête de sortie
- La puissance de crête de l'enveloppe modulée
- La puissance moyenne de la fréquence radio
- La puissance de crête de l'émetteur

15. Quelle est la longueur d'onde d'une fréquence 446 MHz ?

- 166 m
- 6 mm
- 67,26 cm
- 3 km

16. Si vous augmentez la longueur d'une antenne, qu'arrive-t-il à sa fréquence de résonance ?

- Elle diminue
- Elle augmente
- Elle demeure la même
- Elle disparaît

17. La fréquence de 300 MHz doit être classée comme ondes :

- Hectométriques
- Décamétriques
- Métriques
- Décimétriques

18. Lorsqu'on double la puissance, quel est le changement dans le nombre de décibels ?

- Une augmentation de 6 dB
- Une augmentation de 3 dB
- Une augmentation de 12 dB
- Une augmentation de 1 dB

19. La compatibilité électromagnétique est la faculté :

- D'une antenne à émettre et à recevoir une fréquence
- D'un récepteur à recevoir plusieurs bandes
- D'un émetteur à ne pas perturber son environnement
- D'un récepteur à ne pas attirer la foudre

20. La sensibilité d'un récepteur se définit comme étant :

- Le rapport du signal plus bruit sur bruit
- La puissance de sortie audio en watts
- La largeur de bande de l'étage FI en kilohertz
- Le nombre de ses étages d'amplification RF

ÉLECTRICITÉ

1. Quelle est l'unité de la puissance ?

- Le volt
- L'ampère
- Le coulomb
- Le watt

2. Pour augmenter la tension fournie par une pile, on peut, associer plusieurs piles :

- En parallèle
- En cascade
- En série
- En résonance

3. Quel circuit électrique n'a pas de courant ?

- Un court-circuit
- Un circuit ouvert
- Un circuit complet
- Un circuit fertile

4. Quel genre de circuit électrique utilise trop de courant ?

- Un circuit mort
- Un court-circuit
- Un circuit ferme
- Un circuit ouvert

5. L'amplification ne peut pas s'appliquer à un des mots suivants. Lequel ?

- Courant
- Résistance
- Puissance
- Tension

6. Comment calcule-t-on la tension dans un circuit à courant continu lorsque l'on connaît le courant et la résistance ?

- Le courant divisé par la résistance
- La résistance divisée par le courant
- Le courant multiplié par la résistance
- La puissance divisée par le courant

7. Quel est le rôle d'un condensateur dans un circuit électrique ?

- Emmagazine l'énergie sous forme magnétique
- Emmagazine l'énergie sous forme d'un champ électrique
- Il produit des électrons via une réaction chimique
- Il s'oppose au passage des électrons

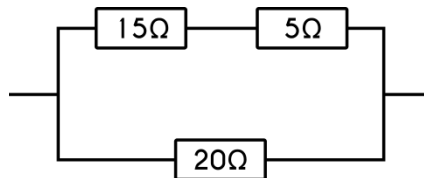
8. Quelles sont les deux quantités que l'on doit multiplier entre elles pour obtenir la puissance :

- L'inductance et la capacité
- La tension et l'inductance
- La tension et le courant
- La résistance et la capacité

9. Nommer trois excellents conducteurs électriques.

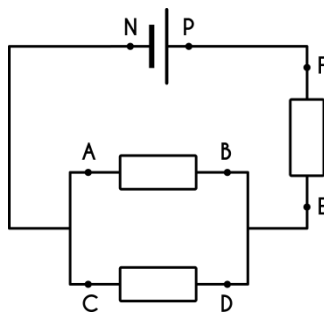
- Or, argent et bois
- Or, argent et aluminium
- Cuivre, aluminium et papier
- Cuivre, or et mica

10. Qu'elle est la résistance équivalente du circuit suivant ?



- 10Ω
- $5,6\Omega$
- 40Ω
- 25Ω

11. Dans le circuit ci-dessous, on a mesuré les tensions $U_{EF} = -4V$, $U_{PN} = 12V$.



Déterminez les tensions U_{BA} et U_{DC}

- | | |
|--|--|
| U_{BA} | U_{DC} |
| <input type="checkbox"/> 4V | <input type="checkbox"/> 20 V |
| <input type="checkbox"/> 12V | <input checked="" type="checkbox"/> 8V |
| <input type="checkbox"/> 16V | <input type="checkbox"/> 10NT |
| <input checked="" type="checkbox"/> 8V | <input type="checkbox"/> 6V |

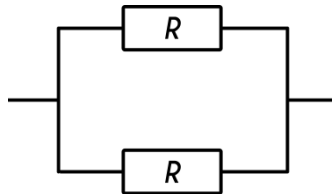
12. Combien de watts seront utilisés par une lampe de 12 volts, en courant continu, qui tire un courant de 0,2 ampère ?

- 2,4 watts
- 60 watts
- 24 watts
- 6 watts

13. L'inverse de la résistance est la :

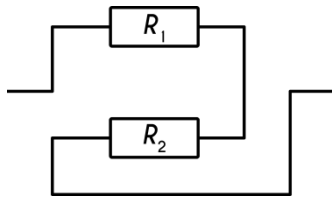
- Conductance
- Réactance
- Réluctance
- Perméabilité

14. Trouvez la résistance équivalente du circuit ci-dessous :



- $2R$
- $1/R$
- $2/R$
- $R/2$

15. Trouver la résistance équivalente ci-dessous :



- $R_1 + R_2$
- R_1
- $(R_1 \pm R_2) / 2$
- $1 / (R_1 - R_2)$

16. Une résistance de 100Ω a une puissance de 1W. Quelle intensité la traverse pour une tension de 10V ?

- 10 mA
- 100 mA
- 1 mA
- 2 mA

17. Un voltmètre à courant alternatif est étalonné pour indiquer la valeur :

- Crête à crête
- Moyenne
- Efficace
- De crête

18. La fréquence d'un signal continu est :

- Infinie
- Nulle
- Indéfinie
- Égale 1 Hz

19. La régularisation de la tension est la principale application :

- De la diode à jonction
- De la diode électroluminescente
- De la diode Zener
- Du tube à vide diode

20. Un filtre passe-bande :

- Atténue les fréquences élevées mais pas les fréquences basses
- Laisse passer les fréquences de part et d'autre d'une bande
- Ne laisse passer que certaines fréquences
- Bloque les fréquences d'une bande donnée

TEST PRATIQUE SUR UNE STATION COMPLÈTE
HF, VHF ET UHF DE RADIOAMATEUR

Le test pratique portera sur les points ci-après :

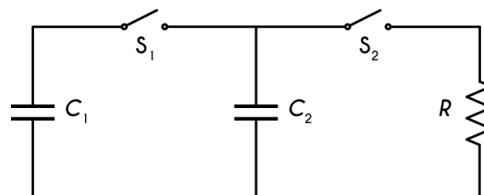
1. Indiquer ce qu'il ne faut pas faire lorsqu'on est radioamateur.
2. Mettre en marche les stations radioélectriques d'amateur V/UHF et HF.
3. Régler la station VHF sur la fréquence 145.500 MHz.
4. Régler la station HF sur la fréquence 7050 KHz.
5. Appeler, sur la fréquence 145.500 MHz la station VHF de l'Association Royale des Radioamateurs Marocains portant l'indicatif d'appel **CN8MC** (prononcer l'indicatif en utilisant l'alphabet international).
6. S'identifier à la station que vous appelez.
7. Communiquer avec la station appelée.
8. Noter les informations relatives à la communication établie.
9. Terminer l'appel.
10. Éteindre les stations

RÉGLEMENTATION

1. Donnez le contenu d'un message de détresse et l'accusé de réception d'un tel message.
2. En quoi consistent les signaux suivants :
 - Signal d'alarme ;
 - Signal d'urgence ;
 - Signal de sécurité.
3. Citez les bandes de fréquences que peut utiliser un radioamateur.
4. Un radioamateur doit répondre à un certain nombre de critères avant d'utiliser tout appareil radio, lesquels ?

ÉLECTRICITÉ

1. Une lampe électrique consomme une puissance $P = 75\text{W}$ quand elle est parcourue par un courant $I = 0,20\text{A}$. Calculez sa résistance.
2. Un condensateur de capacité $C = 5\ \mu\text{F}$ est soumis à une tension de 150V , de fréquence $50\ \text{Hz}$. Calculez le courant qui le traverse et la puissance apparente.
3. Comment branche-t-on un voltmètre dans le circuit ?
À quoi sert-il ?
Faites le schéma de branchement.
4. Soit le circuit suivant :



S_1 et S_2 étant ouverts, C_1 se trouve à un potentiel de 100V .
Calculez la tension aux bornes de C_2 quand S_1 est fermé, et la tension aux bornes de C_1 après fermeture de S_1 et S_2 . On donne :

$$C_1 = 10\ \mu\text{F}, \quad C_2 = 90\ \mu\text{F} \quad \text{et} \quad R = 10.$$

RADIOÉLECTRICITÉ

1. Quelle est la vitesse maximale de transmission permise pour une émission F1B entre 28 et 50 MHz ?

- 56 kBd (kilobaud)
- 19,6 kBd
- 1200 Bd
- 300 Bd

2. Quelle est la bande passante permise à une transmission amateur radio entre 60 et 200 MHz utilisant le code digital non standard ?

- 20 kHz
- 80 kHz
- 50 kHz
- 1000 kHz

3. Quelle est la procédure d'appel de détresse quand on utilise la téléphonie ?

- Transmettre QR2
- Transmettre MAYDAY
- Transmettre QRRR
- Transmettre SOS

4. Quelle est la couche ionosphérique qui est responsable des ondes de radiocommunications à longues distances ?

- Couche D
- Couche F1
- Couche E
- Couche F2

5. Quel est le type de la radiation solaire responsable de l'ionisation de la couche supérieure atmosphérique ?

- Thermique
- Micro-ondes
- Ultraviolets
- Les particules ionisées

6. Quelle est la couche basse ionosphérique ?

- Couche A
- Couche D
- Couche E
- Couche F

7. À quel moment du jour, le maximum de l'ionisation se manifeste l'ionosphère ?

- Crépuscule
- Aube
- Minuit
- Midi

8. Dans quelle bande de fréquence la propagation troposphérique est intense ?

- LF
- MF
- HF
- VHF

9. Quelle est la tension minimale considérée la plus dangereuse aux humaines ?

- 30V
- 100V
- 1000V
- 2000V

10. Quelle est la résistance d'entrée quand la batterie admet 12V et un courant de 0,25A ?

- 0,02 Ω
- 3 Ω
- 48 Ω
- 480 Ω

11. Comment se calcule la puissance quand le courant et la tension sont connus ?

- $E = I \times R$
- $P = I \times E$
- $P = I^2 / R$
- E / I

12. La loi d'Ohm est :

- Relation entre le courant et la tension ;
- Relation entre la puissance et le courant ;
- Relation entre le courant, la résistance et la tension ;
- Relation entre le courant et la résistance.

13. Si une tension de 12V est appliquée à une résistance de 4700 Ω approximativement, quel est le courant à travers cette résistance ?

- 2,6 mA
- 26 mA
- 39,2 mA
- 392 mA

14. Le microhenry est :

- L'unité de l'inductance égale à 10^{-12} Henry ;
- L'unité de l'inductance égale à 10^{-3} Henry ;
- L'unité de l'inductance égale à 10^6 Henry ;
- L'unité de l'inductance égale à 10^{-6} Henry.

15. Comment appelle-t-on l'unité d'une capacitance ?

- Farad
- Ohm
- Volt
- Ampère

16. Quel est le symbole d'émission pour la téléphonie en modulation de fréquence ?

- F2B
- F3E
- A3E
- F1B

17. Quel instrument de mesure fournissant un signal de fréquence variable et qui peut être utilisé pour déterminer la réponse en fréquence à la sortie d'un circuit ?

- Compteur de fréquence
- Analyseur de distorsion
- Oscilloscope
- Générateur de signal

18. Quelle est la mesure de puissance ?

- Joule
- Ohm
- Watt
- Ampère

19. Quelle impédance de ligne RF utilisée généralement ?

- 25Ω
- 50Ω
- 1000Ω
- 300Ω

RÉGLEMENTATION

1. Donnez les bandes de fréquences que peut utiliser un radioamateur.
2. Donnez le contenu :
 - a) Du message de détresse ;
 - b) De l'accusé de réception d'un message de détresse.
3. Un radioamateur doit répondre à un certain nombre de critères avant d'utiliser tout appareil radio, lesquels ?
4. En quoi consistent :
 - a) Le signal d'alarme radiotéléphonique ;
 - b) Le signal de sécurité ;
 - c) Le signal d'urgence.

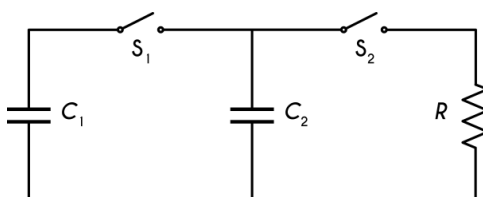
ÉLECTRICITÉ

1. Donnez les formules qui vous permettent de calculer :
 - La résistance R_e d'un montage série ;
 - La résistance R_e d'un montage parallèle ;
 - La capacité équivalente C_e d'un montage en série ;
 - La capacité équivalente C_e d'un montage en parallèle.

2. Un condensateur de capacité $C = 10 \mu\text{F}$ est soumis à une tension de 220V, de fréquence 50 Hz.

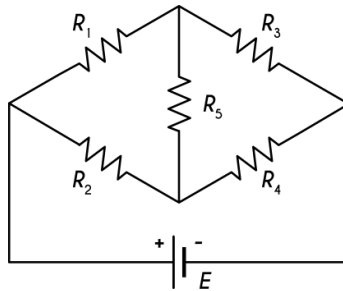
Calculez le courant qui le traversé et la puissance apparente.

3. Soit le circuit suivant :



- S_1 et S_2 étant ouverts, C_1 se trouve à un potentiel 100V, calculez la tension aux bornes de C_2 quand S_1 est fermé, et la tension aux bornes de C_1 après fermeture de S_1 et S_2 . On donne $C_1 = 10 \mu\text{F}$, $C_2 = 90 \mu\text{F}$, $R = 10\Omega$.

4. Soit le circuit suivant :



Calculez les courants dans les branches du circuit.

RADIOÉLECTRICITÉ

1. Décrivez le principe de la BLU (Bande latérale unique).

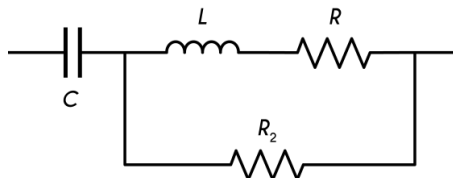
Pour quelle raison les stations de radiodiffusion continuent-elles à émettre en modulation AM et non en BLU ?

2. Décrivez les différentes couches de l'ionosphère.

3. Donnez les valeurs des longueurs d'onde, se propageant dans un milieu d'indice de réfraction : $n = 1,5$ correspondantes aux fréquences suivantes :

$$f = 20 \text{ kHz}, \quad f = 10 \text{ GHz} \quad \text{et} \quad f = 30 \text{ MHz}.$$

4. Soit le circuit



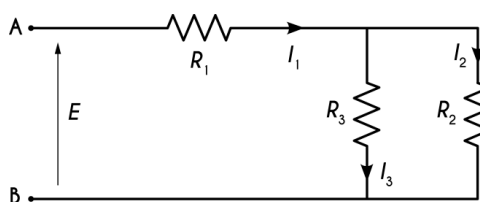
Calculez l'impédance équivalente sachant que f est la fréquence du circuit.

RÉGLEMENTATION

1. Quel est le rôle que joue un service d'amateur ?
2. Quelles sont les caractéristiques d'un message transmis entre stations d'amateurs de pays différents ?
3. Quelles sont les bandes de fréquences attribuées en exclusivité au service d'amateur dans la région 1 ?

ÉLECTRICITÉ

Soit le circuit alimenté par la tension continue E à ces bornes AB.



1. Déterminez l'impédance R entre les bornes A et B.
2. Déterminez les courants I_1 , I_2 , et I_3 en fonction de R_1 , R_2 , R_3 , et E .
3. Déterminez les puissances P_1 , P_2 , P_3 et P respectivement dissipées par R_1 , R_2 , R_3 et R .
4. Calculez les valeurs de R , I_1 , I_2 et I_3 et les puissances P_1 , P_2 , P_3 et P sachant que :

$$R_1 = 2\Omega \quad ; \quad R_2 = 6\Omega,$$

$$R_3 = 3\Omega \quad ; \quad R_4 = 12\Omega.$$

5. Quelle est la relation entre la puissance P et les autres puissances P_1 , P_2 et P_3 ?

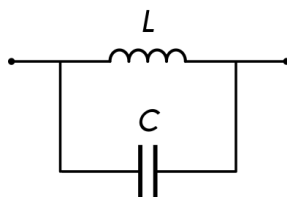
6. Calculez pour une fréquence de 50 Hz les impédances des dipôles suivant :

Condensateur : $C_1 = 0,2 \mu\text{F}$, $C_2 = 5\text{nF}$;

Self : $L_1 = 5\text{mH}$, $L_2 = 400 \text{mH}$.

RADIOÉLECTRICITÉ

1. Quel est le rôle de l'antenne dans une station d'émission, et une station de réception ?
2. Soit une onde qui se propage dans un milieu homogène à la vitesse v , quelle est la relation entre sa longueur d'onde et sa fréquence ?
3. Déterminez l'impédance équivalente du circuit suivant en fonction de la fréquence f .



4. Dans une émission radiotéléphoniste, quels sont les éléments de la station qui produisent la BF, et la porteuse ?

RÉGLEMENTATION

1. Donnez les bandes de fréquence que peut utiliser un Radioamateur.
2. Définissez une communication de détresse ?
3. De quoi est constitué un appel de détresse ?
4. Un Radioamateur doit répondre à un certain nombre de critères avant d'utiliser tout appel radio, lesquels ?

ÉLECTRICITÉ

1. Calculez la résistance d'un conducteur en cuivre de longueur 1 km, de section 2 mm², sachant que $\rho = 1,6 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}$.

2. La puissance consommée par un circuit comprennent en série une self de 0,2H et une résistance de 7 Ω et 70W, sachant que $f = 50 \text{ Hz}$:

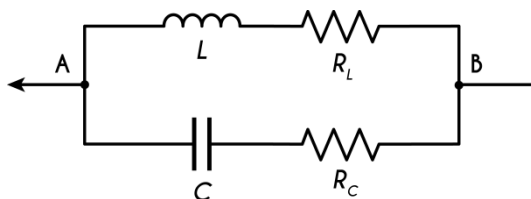
Calculez la tension aux bornes de la résistance et de l'inductance ;

Calculez la tension totale du circuit.

3. Considérons 3 générateurs montés en parallèle ayant les FÉM E_1 , E_2 , et E_3 avec des résistances r_1 , r_2 et r_3 .
Donnez la relation existante en E_1 , E_2 , et E_3 et l'expression de la résistance équivalente.

RADIOÉLECTRICITÉ

1. Décrivez le mode de propagation des ondes radioélectriques suivantes : MF, HF et VHF.
2. Qu'est-ce qu'une modulation à bande latérale unique ?
Citez ses avantages et ses inconvénients.
3. Soit le circuit suivant :



Calculez l'impédance équivalente sachant que f est la fréquence du circuit.

RÉGLEMENTATION

1. Donnez les bandes de fréquence que peut utiliser un Radioamateur.
2. Un Radioamateur n'est jugé apte à manœuvrer les appareils d'une station amateur que s'il respecte les dispositions prescrites dans le règlement des radiocommunications. Quelles sont ces dispositions ?
3. Énumérez les conditions de fonctionnement des stations Radioamateurs du point de vue réglementation.

ÉLECTRICITÉ

Une pile de poche est formée de 3 éléments identiques placés en série. Un voltmètre branché aux bornes de cette pile indique 4,5V.

Lorsque la pile alimente une ampoule d'éclairage ayant une résistance de $17,5\Omega$, le voltmètre n'indique que 3,5V.

On demande de calculer :

1. La FÉM de la pile ;
2. L'intensité du courant dans la lampe et la résistance de la pile ;
3. La puissance consommée dans la lampe.

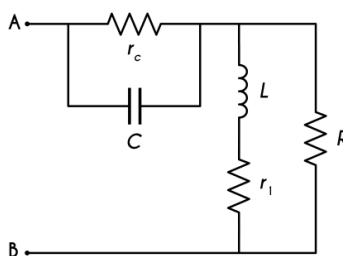
Deux condensateurs ont même capacité 4,7 pF et supportent la même tension 500V. On les monte successivement en parallèle puis en série et on applique à chaque fois la tension maximale que supportent leur groupement.

Calculez pour chacun des montages :

1. La capacité équivalente ;
2. La tension maximale applicable ;
3. La quantité d'électricité totale emmagasinée ;
4. L'énergie correspondante.

RADIOÉLECTRICITÉ

1. Quels sont les éléments qui composent une station radioélectricité ?
2. Décrivez le mode de propagation des ondes radioélectriques suivant les fréquences utilisées MF, HF, et VHF.
3. Énumérez les pannes les plus fréquentes d'un émetteur.
4. Soit le circuit suivant :



Calculez l'impédance équivalente du circuit sachant que : $\omega = 2\pi f$.

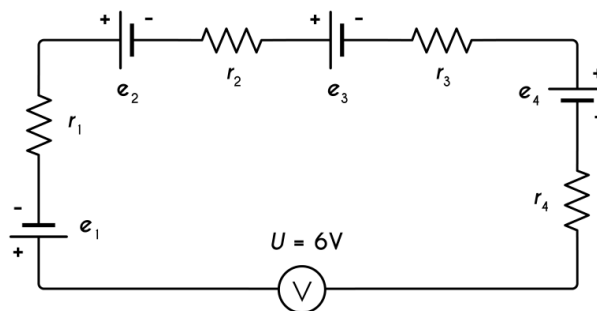
RÉGLEMENTATION

1. Quelle est la bande de fréquence attribuée en exclusivité aux amateurs ?
Le service de radiodiffusion peut-il émettre dans cette bande ?
2. Quelles sont les précautions à prendre par une station d'amateurs ?
3. Qu'est-ce qu'un appel de détresse ?
Décrivez brièvement la procédure de détresse.

ÉLECTRICITÉ

Soit un circuit composé de 4 piles montées en série de FÉM respectives :

$$e_1 = 2V ; e_2 = 9,5V ; e_3 = 6V ; e_4 = 2V.$$



1. Calculez la FÉM totale.
2. Sachant que : $r_1 = 2\Omega$, $r_2 = 3,5\Omega$, $r_3 = 4\Omega$, $r_4 = 5\Omega$. Calculez le courant qui circule dans le circuit et la tension aux bornes de chaque pile.

Calculez la résistance d'un conducteur en cuivre de longueur 100m et de section 1 mm^2 .

$$\rho = 1,6 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}.$$

La puissance consommée par un circuit comprenant en série une self de $0,2\text{H}$ et une résistance de 7Ω et 70W .

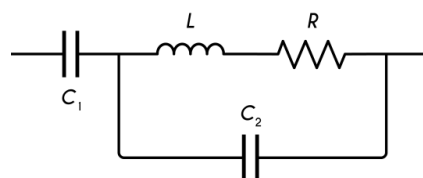
Sachant que $f = 50 \text{ Hz}$.

Calculez la tension aux bornes de la résistance et de l'inductance ;

Calculez la tension totale du circuit.

RADIOÉLECTRICITÉ

1. Qu'est-ce qu'une onde ionosphérique ?
Et quels sont les facteurs de propagation ?
2. Qu'est-ce qu'une modulation à bande latérale unique ?
Citez ses avantages et ses inconvénients.
3. Soit le circuit suivant :



4. Calculez l'impédance équivalente sachant que f est la fréquence du circuit.

RÉGLEMENTATION

1. Quelles sont les conditions techniques d'exploitation d'une station de radioamateur ?
2. Quelles sont les raisons pour lesquelles la licence de radioamateur peut être récupérée ?
3. Donnez la définition d'un rayonnement non essentiel.
4. Comment sont désignées les émissions ?

ÉLECTRICITÉ

1. Un condensateur de capacité $C = 6,28 \mu\text{F}$ est soumis à une tension $1,40\text{V}$, de fréquence 50 Hz .

Calculez le courant qui le traverse et la puissance apparente.

2. Soit un courant instantané $i = 0,2 \cdot \sin(628t)$.

Calculez son courant efficace ;

Calculez la fréquence et la période.

3. Trois résistances $R_1 = 11\Omega$, $R_2 = 8\Omega$ et $R_3 = 14\Omega$, sont montées en série. La tension aux bornes de la résistance R_3 est de 44V .

Calculez :

- Le courant commun ;
- Les tensions partielles U_1 et U_3 et la tension totale V ;
- Les puissances consommées par chaque résistance.

RADIOÉLECTRICITÉ

1. Quelles sont les avantages des émissions en bande latérale unique BLU ?
2. Décrivez les éléments qui composent une station de réception BLU.
3. Un dipôle à la fois capacitif et résistif consomme 27W quand on lui applique une tension $U = 120\text{V}$, $f = 50\text{Hz}$, le courant absorbé est alors $0,5\text{A}$.

Calculez :

- La résistance du dipôle ;
- L'impédance du dipôle ;
- Le facteur de puissance.

N.B : On suppose les éléments R et C en série.

RÉGLEMENTATION

1. Décrivez la procédure d'établissement d'une liaison radiotéléphonique.
2. Citez les bandes de fréquences allouées au service amateur.
3. Citez les conditions d'exploitation d'une station de radioamateur.
4. Donnez la valeur de la puissance d'alimentation de l'étage final.

ÉLECTRICITÉ

1. Une pile de poche est formée de 3 éléments identiques placés en série. Un voltmètre branché aux bornes de cette pile indique 4,5V. Lorsque la pile alimente une ampoule d'éclairage ayant une résistance de $17,5\Omega$, le voltmètre n'indique plus que 3,5V.

On demande de calculez :

- La FÉM de la pile ;
- L'intensité du courant dans la lampe et la résistance interne de la pile ;
- La puissance consommée dans la lampe.

2. Décrivez le principe du pont de Wheatstone pour la mesure des résistances. Dressez le Schéma du pont.

3. Une lampe électrique consomme une puissance $P = 100W$ quand elle est parcourue par un courant de $I = 0,25A$.

Calculez sa résistance.

RADIOÉLECTRICITÉ

1. La puissance consommée par un circuit comprenant en série une résistance $R = 10\Omega$, une inductance $L = 0,25H$ et $122,5W$.

La fréquence de la tension appliquée est 50 Hz.

Calculez :

- L'intensité du courant dans le circuit et la tension entre les bornes de la résistance ;
- La tension entre les bornes de l'inductance ;
- La tension totale (s'aider d'un graphique de Fresnel où l'intensité sera prise pour origine des phases).

2. Décrivez les différentes couches de l'ionosphère.
3. Quels sont les avantages de la modulation à bande latérale unique ?

RÉGLEMENTATION

1. Quel est le but de l'amateurisme ?
2. Citez les bandes de fréquences qui sont réservées exclusivement aux amateurs.
3. Quelles sont les communications permises entre les stations d'amateurs ?
4. Quelles sont les documents d'une station de radioamateur ?
5. Quelle est la durée maximale d'une communication établie entre deux stations d'amateurs ?
6. Décrivez les procédures de détresse appliquées en cas de besoin.

ÉLECTRICITÉ

1. Une pile de poche est formée de 3 éléments identiques placés en série. Un voltmètre branché aux bornes de cette pile indique 4,5V. Lorsque la pile alimente une ampoule d'éclairage ayant une résistance de $17,5\Omega$, le voltmètre n'indique plus que 3,5V.

On demande de calculez ;

- La FÉM de la pile ;
- L'intensité du courant dans la lampe et la résistance interne de la pile ;
- La puissance consommée dans la lampe.

2. Un dipôle à la fois capacitif et résistif consomme 27W, quand on lui applique une tension $U = 120V$, $f = 50$ Hz. Le courant absorbé est alors 0,5A.

Calculez :

- La résistance du dipôle ;
- L'impédance du dipôle.

N.B : On supposera les éléments R et C en série.

RADIOÉLECTRICITÉ

1. Donnez les valeurs des longueurs d'onde correspondantes aux fréquences suivant :
 $f = 10$ kHz et $f = 3$ GHz.
2. Décrivez les différentes couches de l'ionosphère.
3. Quels sont les avantages :
 - a) D'une modulation de fréquence ;
 - b) D'une modulation d'amplitude à bande latérale unique.
4. Quels sont les conditions de réflexion des ondes décimétriques ?
5. Expliquez les phénomènes suivants :
 - a) Diffraction ;
 - b) Réflexion ;
 - c) Réfraction.

RÉGLEMENTATION

1. Quels sont les documents d'une station d'amateur radio ?
2. Quelle est la procédure habituelle pour lancer un appel de détresse ?
3. Quelles sont les fréquences de détresse en ondes hectométrique et en ondes métriques ?
4. Quelles sont les communications permises entre les stations d'amateurs ?
5. Qu'est-ce qu'un signal d'alarme ?
6. Quelles est la durée d'émission d'un signal d'essai ? Comment il est constitué ?

ÉLECTRICITÉ

1. Comment calcule-t-on la puissance qui traverse un circuit électrique à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre ?

Faites le schéma de branchement des appareils précités.

2. Une lampe électrique consomme une puissance $P = 700\text{W}$ quand elle est parcourue par un courant $I = 0,25\text{A}$.

Calculez sa résistance.

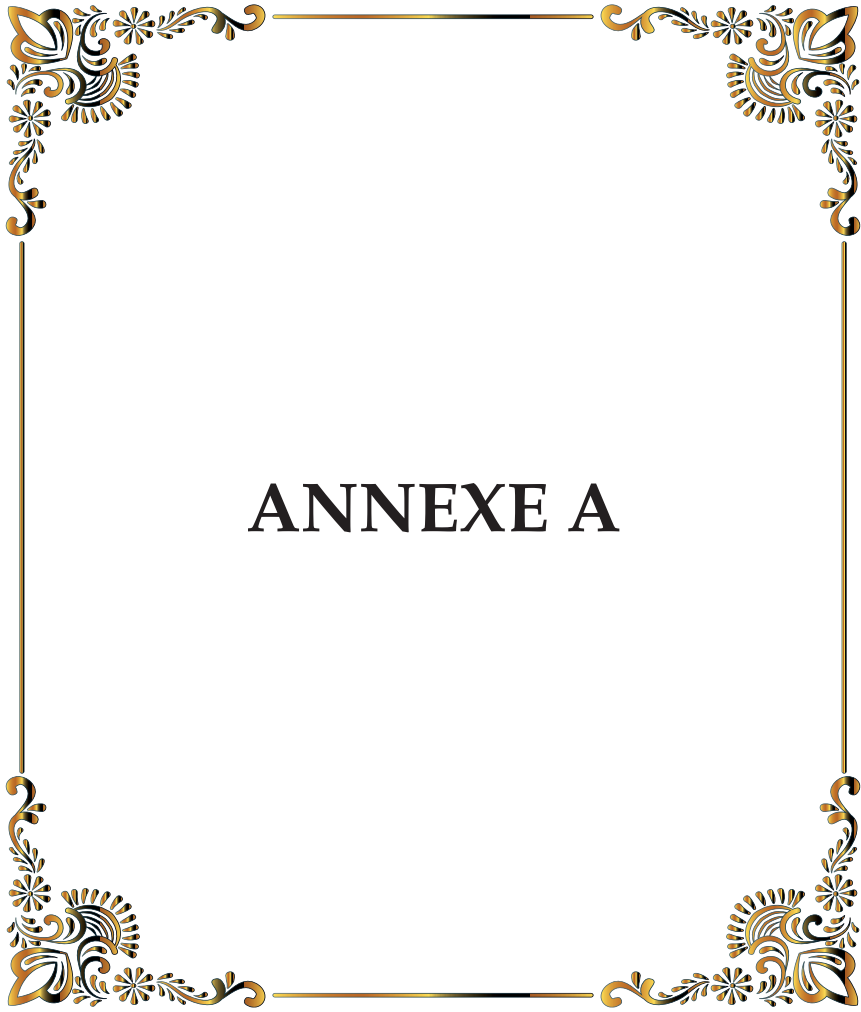
3. Un courant de $2,4\text{A}$ se partage entre trois (3) conducteurs de résistance 2Ω , 3Ω et 6Ω montés en dérivation entre deux points A et B.

Calculez :

- a) Les intensités dans les trois conducteurs ;
- b) La DDP entre A et B ;
- c) La résistance équivalente.

RADIOÉLECTRICITÉ

1. Comparez les longueurs d'ondes dans le vide où la célérité de la lumière est $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, pour un courant HF de fréquence $f_1 = 10^8 \text{ Hz}$ et pour le courant du secteur de fréquence $f = 50 \text{ Hz}$.
2. Décrivez les éléments qui composent une station radioélectrique.
3. Décrivez les dangers de la haute tension. Les précautions à prendre en cas de manipulation d'un matériel radioélectrique.



ANNEXE A

Un relais est un émetteur/récepteur qui fonctionne dans certaines conditions. Il étend la couverture des endroits où le signal ne peut pas être reçu correctement (vallées profondes, zones urbaines, forêts denses, etc.).

Il réamplifie les signaux ou convertit les canaux qu'il capte et relaie localement vers d'autres fréquences avec deux modulations simultanées et différentes et un doublement de fréquence pour permettre une communication bidirectionnelle (duplex). Le répéteur est placé dans une position plus élevée pour étendre la portée de la station. Avec ce type de transpondeur, même un utilisateur utilisant un émetteur de faible puissance peut bénéficier d'une plus grande portée et généralement d'un meilleur signal.

Voici la liste des relais du service radioamateur au Maroc :

Région	Site	Fréq. TX	Shift	Tone	Mode	Locator
Agadir	Walkim	145.700	-0.600	77	VHF	IM50EK
Essaouira	Jbel Hdid	145.650	-0.600	77	VHF	IM51EP
Marrakech	Oukaimden	145.725	-0.600	77	VHF	IM61BE
Marrakech	Skhour Rhamna	145.7625	-0.600	77	VHF	IM62AL
Beni Mellal	Tassemit	145.775	-0.600	77	VHF	IM62UH
Casablanca	Mediouna	145.700	-0.600	77	VHF	IM63FK
Casablanca	Twin Center	145.750	-0.600	77	VHF	IM63EO
Casablanca	Twin Center	439.875	-9.600	77	UHF	IM63EO
Rabat	Temara	145.675	-0.600	77	VHF	IM63NW
Rabat	Souissi	439.825	-9.600	77	UHF	IM63NW
Khemisset	Majmaa Salehin	145.650	-0.600	77	VHF	IM63XT
Fes	Fes région	439.800	-9.600	77	UHF	ND
Sidi Kacem	Sidi Kacem	145.6875	-0.600	77	VHF	IM74DF
Souk El Arbaa	Sarsar	145.625	-0.600	77	VHF	IM74CV
Tetouan	Hafasafa	439.800	-9.600	77	UHF	IM75HL
Tetouan	Hafasafa	145.600	-0.600	77	VHF	IM75HL
Oujda	Oujda	145.7375	-0.600	77	VHF	IM85UB
Taza	Tazekka	145.7125	-0.600	77	VHF	IM74VC

Les ondes radio sont classées selon des fréquences exprimées en Hz ou cycles par seconde
Toutes ces fréquences constituent le spectre des fréquences radio.

Le spectre est divisé en bandes dont les appellations internationales sont normalisées.

Désignation internationale	Désign. Franco.	Fréq.	L.O	Autres appellations	Exemples d'utilisation
ELF (<i>extremely low frequency</i>)	EBF (extrêmement basse fréquence)	3 Hz à 30 Hz	100 000 km à 10 000 km		Détection de phénomènes naturels
SLF (<i>super low frequency</i>)	SBF (super basse fréquence)	30 Hz à 300 Hz	10 000 km à 1000 km		Communication avec les sous-marins
ULF (<i>ultra low frequency</i>)	UBF (ultra basse fréquence)	300 Hz à 3000 Hz	1000 km à 100 km		Détection de phénomènes naturels
VLF (<i>very low frequency</i>)	TBF (très basse fréquence)	3 kHz à 30 kHz	100 km à 10 km	ondes myriamétriques	Communication avec les sous-marins, Implants médicaux, Recherches scientifiques...
LF (<i>low frequency</i>)	BF (basse fréquence)	30 kHz à 300 kHz	10 km à 1 km	grandes ondes ou ondes longues ou kilométriques	Radioamateur, Radionavigation, Radiodiffusion GO, Radio-identification
MF (<i>medium frequency</i>)	MF (moyenne fréquence)	300 kHz à 3 MHz	1 km à 100 m	petites ondes ou ondes moyennes ou hectométriques	Radioamateur, Radiodiffusion PO, Service maritime, Appareil de recherche de victimes d'avalanche
HF (<i>high frequency</i>)	HF (haute fréquence)	3 MHz à 30 MHz	100 m à 10 m	ondes courtes ou décamétriques	Organisations diverses, Militaire, Radiodiffusion OC, Maritime, Aéronautique, Radioamateur, Météo, Radio de catastrophe, etc.

VHF (<i>very high frequency</i>)	THF (très haute fréquence)	30 MHz à 300 MHz	10 m à 1 m	ondes ultra-courtes ou métriques	Radiodiffusion FM, Radiodiffusion RNT, Aéronautique, Maritime, Radioamateur, Gendarmerie nationale française, Pompiers, SAMU, Réseaux privés, taxis, militaire, Météo, etc.
UHF (<i>ultra high frequency</i>)	UHF (ultra haute fréquence)	300 MHz à 3 GHz	1 m à 10 cm	ondes décimétriques	Réseaux privés, militaire, GSM, GPS, téléphones sans fil (DECT), Wi-Fi, Télévision, Radioamateur, etc.
SHF (<i>super high frequency</i>)	SHF (super haute fréquence)	3 GHz à 30 GHz	10 cm à 1 cm	ondes centimétriques	Réseaux privés, Wi-Fi, Micro-onde, Radiodiffusion par satellite (TV), Faisceau hertzien, Radar météorologique, Radioamateur, etc.
EHF (<i>extremely high frequency</i>)	EHF (extrêmement haute fréquence)	30 GHz à 300 GHz	1 cm à 1 mm	ondes millimétriques	Réseaux privés, Radars anticollision pour automobiles, Liaisons vidéo transportables, Faisceau hertzien, Radioamateur, etc.
Térahertz	Térahertz	300 GHz à 3000 GHz	1 mm à 100 μ m	ondes sub-millimétriques	scanner corporel

1. MODES CLASSIQUES (ANALOGIQUES)

- **AM** : Modulation d'Amplitude ;
- **AMR** : Modulation d'Amplitude Équivalente (*Amplitude Modulation Equivalent*) ;
- **QAM** : Modulation d'Amplitude en Quadrature (*Quadrature Amplitude Modulation*) ;
- **PM** : Modulation de Phase ;
- **FM** : Modulation de Fréquence ;
- **NFM** : Modulation de Fréquence bande étroite (*Narrowband FM*) ;
- **WFM** : Modulation de Fréquence bande large (*Wide FM*) ;
- **DBL (DSB)** : Double Bande Latérale à porteuse supprimée ;
- **BLU (SSB)** : Bande Latérale Unique :
 - **BLI (LSB)** : Bande Latérale Inférieure ;
 - **BLS (USB)** : Bande Latérale Supérieure.
- **BLI (ISB)** : Bande Latérale Indépendante ;
- **CW (Continuous wave)**. Pour ce mode, on utilise le code Morse.

2. MODES POUR LA TRANSMISSION D'IMAGES

- **ATV** : télévision amateur (*Amateur Television*) ;
- **SSTV** : télévision à balayage lent (*Slow Scan Television*) ;
- **Facsimile** : fax.

3. MODES NUMÉRIQUES

La plupart des modes numériques amateurs sont transmis par insertion d'un signal audio dans l'entrée microphone de l'émetteur et utilise ainsi une chaîne analogique jusqu'à l'émission en AM, FM ou BLU.

- **ALE** : établissement de liaison automatique (*Automatic Link Establishment*) ;
- **AMATOR (SITOR)** : téléimpression amateur par radio (*Amateur Teleprinting Over Radio*) ;
- **CCK** : clé de code complémentaire (*Complementary Code Keying*) ;
- **Discrete multi-tone modulation**, modes comme MT63 (Multi Tone 63) ;
- **D-STAR** : technologies intelligentes numériques pour radioamateur (*Digital Smart Technologies for Amateur Radio*) ;
- **Echolink** ;
- Étalement de spectre :
 - **DSSS** : étalement de spectre à séquence directe (*Direct Sequence Spread Spectrum*) ;
 - **FHSS** : étalement de spectre par saut de fréquence (*Frequency-hopping spread spectrum*).
- **FSK** : modulation par déplacement de fréquence (*Frequency-Shift Keying*) ;
- **Hellschreiber** : méthode de transmission de texte par radio, appelé *Feld-Hell* ou *Hell* (*Frequency-Shift Keying*) ;
- **MSK** : un type de modulation numérique par déplacement de fréquence à phase continue (*Minimum-shift keying*) ;
- **OFDM** : procédé de codage de signaux numériques par répartition en fréquences orthogonales sous forme de multiples sous-porteuses (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) ;

- **Packet radio** : AX25 ;
 - **APRS** : système transmission automatique par paquets (*Automatic Packet Reporting System*) ;
- **PACTOR** : un ensemble de trois protocoles destinés à la transmission de messages binaires sur les bandes radios ;
- **PSK** : modulation par changement de phase (*Phase Shift Keying*) ;
- **RTTY** : Radiotélétype ;
- **SITOR** : téléimpression amateur par radio (*Simplex Teletype Over Radio*) ;
- **8FSK** : *8ary Frequency Shift Keying*.

4. MODES PAR ACTIVITÉ

Les modes suivants ne sont pas des systèmes de modulations à proprement parler mais doivent plutôt être classés comme des types de communication.

- **EME** : réflexion sur la lune (*Earth–Moon–Earth*) ;
- **IRLP** : projet de liaison radio Internet (*Internet Radio Linking Project*) ;
- **OSCAR** : trafic sur les satellites radioamateurs (*Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio*). ;
- **Traffic QRP** : un mode de communication radioamateur qui consiste à utiliser de faibles puissances d'émission tout en cherchant à augmenter la distance des liaison.

5. CLASSE D'ÉMISSION RADIO

Pour définir les différentes classes d'émission on utilise un code en 5 partie de la forme «**ABCDE**». Chaque type de signal est classé en fonction de la largeur de sa bande passante, de sa méthode de modulation, de la nature de son signal modulé et du type d'informations transmises.

- A** – définit le type de modulation ;
- B** – représente le type de signal modulant ;
- C** – correspond au genre de l'information transmise ;
- D** – indique les détails de l'information transmise ;
- E** – représente la méthode de multiplexage.

Les symboles D et E sont facultatives et la plupart des classes d'émissions sont généralement représentées par ABC. Il peut y avoir chevauchement : certains signaux peuvent appartenir légalement à plus d'une classe d'émission. Dans ce cas, il existe généralement une désignation préférée par usage.

Symbole A	Type de modulation
A	AM, double bande latérale
B	AM, bandes latérales indépendantes
C	AM, bandes latérales résiduelles
D	AM + modulation angulaire (FM ou PM)
F	Modulation de fréquence
G	Modulation de phase

H	BLU, porteuse pleine
J	BLU, porteuse supprimée
K	AM pulsée
L	Modulation large pulsée
M	Impulsions modulées en position
N	Porteuse non modulée
P	Impulsions sans modulation
Q	Modulation angulaire dans chaque impulsion
R	Bande Latérale Unique porteuse réduite
V	Combinaison de modulations par impulsions
W	Combinaison de méthodes ci-dessus
X	Autres types

Symbole B	Signal modulant
0	Aucun signal modulant
1	Unique, par tout ou rien (numérique, morse)
2	Seul voie sous-porteuse, par tout ou rien
3	Signal analogique
7	Signal numérique plusieurs voies
8	Signal analogique plusieurs voies
9	Système composite analogique & numérique
X	Autre types

Symbole C	Information transmise
A	Télégraphie auditive
B	Télégraphie automatique
C	Fac-similé (FAX)
D	Données, télémesure, télécommande
E	Radiotéléphonie
F	Vidéo, télévision
N	Aucune information
W	Combinaison des cas ci-dessus
X	Autres types

Exemples :

- A1A** : Télégraphie auditive (*CW*), modulation d'amplitude par tout ou rien sans emploi de sous porteuse modulante.
- A1B** : Télégraphie automatique (*CW* générée par machine), modulation d'amplitude par tout ou rien sans emploi de sous porteuse modulante.
- J3E** : Téléphonie, modulation d'amplitude BLU, porteuse supprimée (BLU = BLI / BLS).
- F3E** : Téléphonie, modulation de fréquence FM.
- C3F** : Télévision, modulation d'amplitude, bande latérale résiduelle, signal analogique.

Symbole D (optionnelle)	Détail de l'information transmise
A	Code bivalent, nombre et durée des éléments différents
B	Code bivalent, nombre et durée des éléments identiques
C	Code bivalent, nombre et durée des éléments identiques et correction d'erreur
D	Code quadrivalent, chaque état représente un élément du signal
E	Code plurivalent, chaque état représente un élément du signal
F	Code plurivalent chaque état représente un caractère
G	Son radiophonique monophonique
H	Son radiophonique stéréophonique ou quadriphonique
J	Son qualité commerciale
K	Son qualité commerciale avec inversion de fréquences ou découpage de bande
L	Son qualité commerciale, signaux séparés ou modulés en fréquence pour commander le niveau du signal démodulé
M	Image noir et blanc
N	Image couleur
W	Combinaison
X	Autres types

Symbole E (optionnelle)	Méthode du multiplexage
C	Multiplexage par répartition du code
F	Multiplexage par répartition en fréquence
N	Pas de multiplexage
T	Multiplexage par répartition dans le temps
W	Combinaison de multiplexages fréquentiel et temporel
X	Autres types

6. DÉSIGNATION DE LA LARGEUR DE BANDE

La largeur de bande passante est représentée par trois chiffres et une lettre. La lettre remplace la virgule et indique l'unité de fréquence utilisée pour exprimer la bande passante. Ainsi, on trouve : **H** pour hertz (0,001 ~ 999 Hz), **K** pour kilohertz (1 ~ 999 kHz), **M** pour mégahertz (1 ~ 999 MHz) et **G** pour gigahertz (1 ~ 999 GHz).

Exemples :

6K5 = 6,5 kHz.
 10K0 = 10 kHz.
 12K5 = 12,5 kHz.
 2M50 = 2,5 MHz.
 10M0 = 10 MHz.

désignations complètes :

180KF9E : radiodiffusion FM stéréo avec RDS*
 11K0F3E : systèmes FM analogiques

* RDS : Protocole radio RDS (*Radio Data System*).

1. CONVERSION DIRECTE

Nom	Abréviation	Facteur
Exa	E	10^{18}
Péta	P	10^{15}
Téra	T	10^{12}
Giga	G	10^9
Méga	M	10^6
kilo	K	10^3
Unité	-	$10^0 (=1)$
milli	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
atto	a	10^{-18}

Exemples :

$$33 \text{ pF} = 33 \cdot 10^{-12} \text{ F.}$$




$$145 \text{ MHz} = 145 \cdot 10^6 \text{ Hz.}$$

$$171 \text{ } \mu\text{g} = 171 \cdot 10^{-6} \text{ g.}$$

$$15 \text{ km} = 15 \cdot 10^3 \text{ m.}$$

$$23 \text{ ns} = 23 \cdot 10^{-9} \text{ s.}$$

2. TERRE ET MASSE

Figure	Désignation
	Mise à la terre (équipotentialité) : masse numérique, zéro absolu.
	Mise à la masse signaux : masse analogique.
	Mise à la masse châssis.

Métal	Résistivité ρ (ohmmètre $\times 10^{-9}$)
Aluminium	30
Argent	16
Bronze	50
Constantan	500
Cuivre recuit	17
Cuivre écroui	18
Duralumin AU4G	50
Étain	142
Fer	104
Ferronickel	738
Laiton	60
Maillechort	300
Magnésium	43
Manganin	467
Mercure	940
Nickel	130
Or	22
Platine	94
Plomb	207
Tantale	165
Zinc	59

Éléments	Perméabilité μ	Perméabilité relative μ_r	Commentaire
Vide	1		
Eau	$1,2,061 \cdot 10^{-9}$	0,999991	Diamagnétique
Cuivre	0,9999936		
Air	$1+4 \cdot 10^{-7}$	1,0000004	Paramagnétique
Platine	$1+2,57 \cdot 10^{-4}$		
Aluminium	$1+2,2 \cdot 10^{-5}$		
Fer	300...10 000*	5000 (au silicium 7000 maxi)	Ferromagnétique
Cobalt	80...200*		
Argent		0,999981	
Nickel		600	
Permalloy ^A		23 000 à 600 000	
Anhyster ^A		2000 à 5000	
Mu-métal ^A		100 000 maxi	
Permimphy ^A		150 000 à 250 000	

* augmente avec le champ

^A Alliages nickel

Expression	Signification	Commentaire
Affirmatif !	Oui	On utilise parfois «Affirme» (en aéronautique), la terminaison «-atif» ne permettant pas de lever la confusion avec le terme «négatif»
Attendez !	La station a bien reçu l'appel mais ne peut répondre dans l'immédiat	On utilise également fréquemment les termes : «Attente !» ou «Patientez !».
Collationnez !	Répétez le message que je viens de transmettre afin d'être sûr qu'il a été bien compris	
Correct !	Confirmation, «votre assertion est correcte»	
Essai radio	Demande l'évaluation de la qualité de la communication	
... ici ...	Mot clé séparant l'indicatif du destinataire de celui de l'émetteur	On utilise également fréquemment le terme : «... de ...» ; par exemple, si la station alpha appelle la station bravo, le message débute par «Bravo ici alpha» ou «Bravo de alpha»
J'épelle :	Prévient le destinataire que l'on va épeler un mot.	L'armée utilise «je collationne», mais ce terme signifie «je répète le message reçu» sur d'autres réseaux.
Négatif !	Non	
Parlez !	Fin de mon message, attente d'une réponse	On utilise également fréquemment les termes : «À vous !», parfois «Transmettez !»
Rapidement !	Dès que possible	
Réitérez !	J'ai mal compris votre message, répétez	Accusé de réception négatif
Transmettez !	J'ai bien reçu votre demande de communication et je suis à l'écoute	
Terminer !	Fin de communication	
Urgent !	Demande pour interrompre une communication en cours pour passer un message urgent	Peut éventuellement répété trois fois : «Urgent ! Urgent ! Urgent !».
Reçu !	Bien compris	On utilise également fréquemment le terme : «Bien reçu !». Il ne faut pas confondre ceci avec l'estimation de la qualité de réception (réponse à un «Essai radio !»)
Rectification	Correction du message précédent	
Silence	Interdiction d'émettre pour tous les opérateurs, sauf message urgent ou appel de la station directrice	Résulte d'un message d'urgence ou précède un message de haute importance. On utilise parfois le terme «Silence radio». Reste en application jusqu'à l'annonce du message «Silence suspendu !» ou «Fin de silence radio». Le message est parfois répété trois fois («Silence ! Silence ! Silence !»).

Expression	Signification	Remarque
Ack	Confirmation (de l'anglais <i>Acknowledged</i> = Validé)	Équivalent à «Correct !»
Asap	Dès que possible	<i>As Soon As Possible</i> ; équivalent à «Rapidement !»
Affirmative	Oui	Parfois abrégé en AFFIRM ; on utilise également simplement <i>YES</i>
Break	Demande pour interrompre une communication en cours pour passer un message urgent	Équivalent à «Urgent !». En aviation, les contrôleurs utilisent <i>BREAK-BREAK</i> pour séparer les messages destinés à deux aéronefs différents sur les plateformes à fort trafic lorsque la situation l'impose (risque pour la sécurité, fort trafic radio...) ; le message suivi du <i>BREAK</i> ne doit pas être collationné.
Clear	Je quitte le réseau (j'éteins mon poste)	
Eta	Heure estimée d'arrivée	<i>Estimated Time of Arrival</i>
Etd	Heure estimée de départ	<i>Estimated Time of Departure</i>
Mayday	Message de détresse avec menace pour une vie humaine	
Nack	Accusé de réception négatif	Équivalent à «Répétez !»
Negatif	Non	On utilise également simplement <i>NO</i>
Over	Fin de mon message, attente d'une réponse	Équivalent à «Parlez !», «À vous !», «Transmettez !»
Out ou Over and out	fin de communication	Équivalent à «Terminé !»
Pan-Pan	Message d'urgence indiquant un problème grave impliquant une assistance immédiate	
Radio check	Demande l'évaluation de la qualité de la communication	Équivalent à «Essai radio !»
Read back for check	Répétez le message reçu pour que je sois sûr qu'il a été bien compris	Équivalent de «Collationnez !»
Roger	Bien compris	Équivalent à «Reçu !» ou «Bien reçu !». On utilise également <i>RECEIVED</i> , <i>ROMEO</i> ou <i>COPY</i>

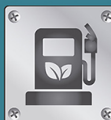
Silence	Interdiction d'émettre pour tous les opérateurs, sauf message urgent ou appel de la station directrice	Parfois transcrit phonétiquement «Seelonce». La fin du silence radio est déclarée par le message «SILENCE FINI», parfois transcrit phonétiquement «Seelonce feenee». Lorsqu'il s'agit d'un silence imposé par une situation d'urgence, on utilise SILENCE MAYDAY ou SILENCE DISTRESS
Say again	Je n'ai pas bien compris le message, répétez	Équivalent de «Répétez !»
Securité	Je signale un problème de sécurité (problème de navigation, mauvais temps...)	Prononcé à la française
Send	J'ai reçu votre demande de communication et je suis à l'écoute	Équivalent à «Transmettez !»
Sitrep	Demande un bilan de la situation à un poste donné	<i>Situation report</i>
Station calling ... this is ...	Début de transmission : indique la station appelée, puis la station appelante	Équivalent à «... ici ...» ou «... de ...»
Strike	Annonce un accident ou un blessé réel lors d'un exercice	
Wait ou Stand by	La station a bien reçu l'appel mais ne peut répondre dans l'immédiat	Équivalent à «Attente !», «Attendez !», «Patientez !».
Wilco	J'ai bien compris et j'exécute	<i>we WILL COmply</i> (littéralement «Nous allons exécuter»). Voir <i>ROGER</i> .

LISTE DES RÉFÉRENCES

- Agence Nationale de Réglementation des Télécommunications (ANRT). Articles et publications ;
- Agence Nationale de Réglementation des Télécommunications (ANRT). «Version consolidée de la Loi n°24-96 relative à la poste et aux télécommunications, telle qu'elle a été modifiée et complétée» ;
- Agence Nationale de Réglementation des Télécommunications (ANRT). «Décision anrt/n°27/00 du 1^{er} mars 2000 relative aux modalités de gestion et de surveillance du spectre des fréquences radioélectriques» ;
- «Cours d'Électricité, Radioélectricité et Réglementation des Radiocommunications». 1^{ère} édition de l'Association Royale des Radio-Amateurs du Maroc (ARRAM) ;
- Union Internationale Des Télécommunications (UIT). «Règlement des radiocommunications». Articles et publications ;
- Union Internationale des Radio-Amateurs (UIRA). «L'éthique et les procédures opérationnelles du radioamateur». Édition 3, Juillet 2010 ;
- Florence MELLET, Sylvio FAUREZ. «Technique radio pour l'amateur», Préparation à la licence radioamateur. Édition Soracom ;
- Roland GUILLAUME (F5ZV). «Le Manuel Internet des Radioamateurs» ;
- Wikipedia.org, l'encyclopédie libre, [différents mots clés] ;
- Mawdoo3.com, Online Arabic Content (from trustworthy sources) Platform, articles et publications sur l'environnement.

ARRAM

radioclub



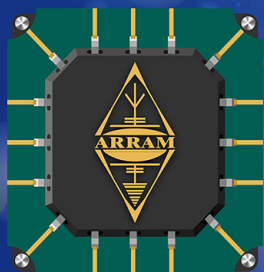
Fondée en 1965, l'Association Royale des Radio-Amateurs du Maroc (ARRAM) est une Association nationale non gouvernementale indépendante reconnue d'Utilité Publique.



L'ARRAM prête le concours bénévole de ses membres ou de son matériel, aux chercheurs, aux laboratoires, aux services publics ou militaires en cas de catastrophes ou de besoin en vues d'essais techniques ou applications des ondes.

Elle opère dans l'animation technique de toutes questions relatives à la mission d'amateur. Aussi dans l'encadrement éducatif, culturel, social et le développement de la recherche scientifique. Elle facilite les essais et la recherche pour réaliser le développement durable du citoyen Marocain.

L'Association qui s'est fixée pour promouvoir le radio-amateurisme au Maroc, dispense bénévolement des cours théoriques et pratiques (dans son siège et par correspondance) concernant les télécommunications, prenant ainsi à sa charge la formation des futurs radioamateurs et l'accomplissement de leurs démarches administratives liées à l'obtention de la licence d'exploitation.



**ASSOCIATION ROYALE DES RADIOAMATEURS
DU MAROC (ARRAM)**

274 Rue Rouifia Ben Thabit, Aviation - Rabat

Tél. : +212 (0) 537 67 37 03

Télécopie : +212 (0) 537 67 47 57

info@arram.ma - arram.cn8mc@gmail.com

<http://www.arram.ma/>

ISBN : 978-9920-34-148-6



9 789920 341486