Code : RDC860174

ÉDITION 2026

Conforme aux programmes de la RDC

TECHNOLOGIE ÉLECTRONIQUE

Découvrir les bases des circuits et composants électroniques.

DOMAINE : SCIENCES APPLIQUÉES | **Option Électronique**

2ème ANNÉE DES HUMANITÉS





TABLE DES MATIÈRES

PRÉLIMINAIRES **1**

1. Objectifs Généraux du Cours 1
   - 1.1. Maîtrise des concepts fondamentaux avancés 1
   - 1.2. Développement des compétences de conception et de dépannage 1
   - 1.3. Acquisition d'une autonomie méthodologique 1

2. Compétences Visées 2
   - 2.1. Maîtrise des concepts fondamentaux 2
   - 2.2. Compétences analytiques et de conception 2
   - 2.3. Compétences pratiques et de diagnostic 2

3. Approche Pédagogique 2
   - 3.1. Progression inductive et contextualisée 3
   - 3.2. Apprentissage en spirale 3
   - 3.3. Évaluation par la compétence 3

PREMIÈRE PARTIE : TECHNOLOGIE DES COMPOSANTS PASSIFS RÉSISTIFS **4**

Le gardien silencieux du courant 4

La nature "passive" des résistances 4

Une diversité de technologies et de matériaux 4

Savoir lire et choisir une résistance 4

CHAPITRE 1 : LES RÉSISTANCES FIXES **5**

1.1. Technologies des résistances à couche (carbone et métallique) 5
   - a. Le frein des électrons 5
   - A. La résistance à couche de carbone 5

FIGURE 1 : RÉF. IMG (4526-1636-9793) **7**

Structure interne d'une résistance à couche de carbone et son hélice 7
   - B. La résistance à couche métallique 7

FIGURE 2 : RÉF. IMG (9029-0509-5220) **9**

Coupe schématique d'une résistance à couche métallique haute précision 9
   - Pour la petite histoire 9

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

1.2. Technologies des résistances de puissance (bobinées) et marquage.....11
- a. Le fardeau de la puissance.....11
- A. La résistance bobinée : Anatomie d'un colosse.....11

FIGURE 3 : RÉF. IMG (3667-7210-6605).....13

Structure interne d'une résistance de puissance bobinée et cimentée.....13
- B. Caractéristiques et limites d'utilisation.....13
- C. Le marquage en clair : Pas de secret.....14

FIGURE 4 : RÉF. IMG (0243-6478-4193).....16

Exemple de marquage alphanumérique sur une résistance bobinée de 10 Watts.....16
- Scénarios et Exercices.....16

CHAPITRE 2 : LES RÉSISTANCES VARIABLES ET AJUSTABLES.....19

2.1. Le potentiomètre : principe, constitution et technologies.....19
- a. Un composant, deux fonctions principales.....19
- A. Principe de fonctionnement.....19
- B. Constitution et technologies.....20

FIGURE 5 : RÉF. IMG (5600-1210-4818).....22

Constitution interne et symbole normalisé d'un potentiomètre rotatif.....22
- Anecdote : La radio de Papa Wemba à Matete.....23

2.2. Résistances ajustables (trimmers) et modes d'utilisation.....25
- a. Le réglage fin et discret.....25
- A. Structure et principe d'un trimmer.....25
- B. Les deux montages principaux.....26

CHAPITRE 3 : LES RÉSISTANCES NON-LINÉAIRES (THERMISTANCES ET VARISTANCES) 30

3.1. Les thermistances à coefficient de température négatif (CTN).....30
- a. Le lien invisible entre chaleur et résistance.....30
- A. Principe de fonctionnement et symbole.....30
- B. Caractéristique et loi de comportement.....30

FIGURE 6 : RÉF. IMG (7621-8032-1150).....33

Courbe caractéristique Résistance-Température d'une thermistance CTN.....33
- Anecdote du technicien de l'Equateur.....33

3.2. Les thermistances à coefficient de température positif (CTP).....35

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

- a. L'anomalie utile.....35
- A. Principe de fonctionnement et symbole.....35

FIGURE 7 : RÉF. IMG (8022-2377-1534).....38

Symbole normalisé d'une thermistance CTP et sa représentation physique courante.....38

- B. Caractéristique Résistance-Température et applications.....38

3.3. Les varistances (VDR) et les photorésistances (LDR).....41

- a. Les résistances dépendantes.....41
- A. La varistance (VDR : Voltage Dependent Resistor).....41
- B. La photorésistance (LDR : Light Dependent Resistor).....42

DEUXIÈME PARTIE : TECHNOLOGIE DES COMPOSANTS PASSIFS RÉACTIFS.....45

Au-delà de la résistance pure.....45

Le condensateur : le réservoir d'énergie électrique.....45

La bobine : l'inertie du courant.....45

Réactance et Impédance : un nouveau langage.....45

CHAPITRE 4 : LES CONDENSATEURS FIXES.....46

4.1. Constitution et technologies des condensateurs non-polarisés.....46

- a. La bouteille de Leyde, l'ancêtre de nos condensateurs.....46
- A. Principe de base et structure.....46
- B. Principales technologies non-polarisées.....47

FIGURE 8 : RÉF. IMG (5638-1510-8125).....50

Comparaison visuelle entre un condensateur céramique et un condensateur Mylar.....50

- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....50

4.2. Technologies des condensateurs polarisés et leur marquage.....52

- a. La leçon du poste radio de Goma.....52
- A. Les condensateurs électrolytiques à l'aluminium.....52
- B. Les condensateurs au tantale.....53

FIGURE 9 : RÉF. IMG (7373-0083-5982).....55

Anatomie et marquage des condensateurs électrolytiques et au tantale.....55

- C. Le codage des valeurs.....55

CHAPITRE 5 : LES CONDENSATEURS VARIABLES ET AJUSTABLES.....58

5.1. Condensateurs à réglage mécanique (variables et ajustables)....58
- a. L'accord parfait d'un poste radio....58
- A. Le condensateur variable : le réglage fréquent....58

FIGURE 10 : RÉF. IMG (7845-5302-1088)....60

Structure interne d'un condensateur variable à air avec rotor et stator....60
- B. Le condensateur ajustable (trimmer) : le réglage rare....60

5.2. La diode Varicap comme condensateur variable et applications....62
- a. L'accord par la tension....62
- A. Principe de fonctionnement....63
- B. Symbole et Caractéristique....63

FIGURE 11 : RÉF. IMG (1111-2233-1105)....65

Symbole, structure et courbe caractéristique d'une diode Varicap....65
- C. Domaines d'application....65

CHAPITRE 6 : LES BOBINAGES ET INDUCTANCES BASSE FRÉQUENCE (BF)....68

6.1. Constitution et technologies des bobinages BF (noyau air et fer)....68
- L'apparence trompeuse du fil enroulé....68
- A. Le principe de l'inductance....68

FIGURE 12 : RÉF. IMG (4921-2099-1921)....70

Panorama des différents types de bobines et inductances communes....70
- B. Les deux grandes familles de bobinages BF....70

FIGURE 13 : RÉF. IMG (8559-7040-8997)....73

Comparaison des lignes de champ magnétique pour les deux technologies....73
- SCÉNARIOS ET EXERCICES....73

6.2. Les pertes dans les bobinages (cuivre et fer)....75
- a. L'énergie invisible qui se perd....75
- A. Les pertes par effet Joule (pertes cuivre)....75
- B. Les pertes dans le noyau (pertes fer)....75

FIGURE 14 : RÉF. IMG (1914-1256-5366)....78

Visualisation des pertes par hystérésis et courants de Foucault dans un noyau....78
- b. L'anecdote du transformateur de Mbandaka....78

CHAPITRE 7 : LES BOBINAGES ET INDUCTANCES HAUTE FRÉQUENCE (HF).....81

7.1. Contraintes spécifiques à la haute fréquence (effet de peau et proximité).....81

- a. L'étrange comportement du courant.....81
- A. L'Effet de Peau (Skin Effect).....81

FIGURE 15 : RÉF. IMG (0369-5761-3388).....84

Distribution du courant dans un conducteur en fonction de la fréquence.....84

- B. L'Effet de Proximité (Proximity Effect).....84

7.2. Noyaux en ferrite et types d'inductances HF.....86

- a. L'invisible moteur des hautes fréquences.....86
- A. Le rôle du noyau en ferrite.....87

FIGURE 16 : RÉF. IMG (5797-6676-7599).....89

Anatomie comparée des principales inductances à noyau de ferrite HF.....89

- B. Inductance et facteur.....89

7.3. Le blindage des bobinages.....92

- a. L'indiscrétion des ondes.....92
- A. Principe du blindage électromagnétique.....92

FIGURE 17 : RÉF. IMG (9473-3799-8960).....94

Bobine blindée par un boîtier métallique relié à la masse.....94

- B. Conséquences du blindage sur la bobine.....94

TROISIÈME PARTIE : TECHNOLOGIE DES COMPOSANTS ÉLECTROMÉCANIQUES ET MAGNÉTIQUES.....98

Du Signal à l'Action.....98

La Force Invisible du Magnétisme.....98

Le Mouvement Commandé : Relais et Moteurs.....98

Du Schéma à l'Atelier : La Compétence du Technicien.....98

CHAPITRE 8 : LES TRANSFORMATEURS D'ALIMENTATION ET BASSE FRÉQUENCE.....99

8.1. Constitution d'un transformateur et technologie du noyau (tôles magnétiq.....99

- a. L'héritage de la magnétite.....99
- A. Les deux piliers du transformateur.....99
- B. La technologie du noyau feuilleté.....100

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

FIGURE 18 : RÉF. IMG (8877-8209-7379)....102

Comparaison d'un noyau massif et d'un noyau feuilleté pour le transformateur....102

- C. Matériaux des tôles magnétiques....102

8.2. Bobinage, isolation et procédés de montage....104

- a. La discipline du fil de cuivre....104
- A. La technique du bobinage....104

FIGURE 19 : RÉF. IMG (5809-2592-3522)....107

Vue éclatée d'un bobinage de transformateur sur sa carcasse isolante....107

- B. L'assemblage et les procédés de montage....107

FIGURE 20 : RÉF. IMG (7789-6450-9491)....110

Assemblage des tôles magnétiques E et I dans un transformateur blindé....110

- Anecdote et Applications Pratiques....110

CHAPITRE 9 : LE PHÉNOMÈNE DE PIÉZOÉLECTRICITÉ ET LES RÉSONATEURS À QUARTZ113

9.1. Le phénomène piézoélectrique et le résonateur à quartz....113

- a. Le secret des cristaux qui parlent....113
- A. La piézoélectricité : un dialogue matière-électricité....113

FIGURE 21 : RÉF. IMG (2361-0704-3230)....115

Structure du quartz et démonstration de l'effet piézoélectrique direct....115

- B. Le résonateur à quartz : le métronome de l'électronique....115

FIGURE 22 : RÉF. IMG (9198-7386-8059)....118

Symbole et circuit équivalent d'un résonateur à quartz....118

- Anecdote : La radio de Papa Kanku....118

9.2. Modèle électrique et utilisation du quartz comme base de temps....120

- a. Le secret de la précision....120
- A. Le modèle électrique équivalent de Bütler-Van Dyke....120

FIGURE 23 : RÉF. IMG (8477-5879-5726)....123

Circuit équivalent du quartz et sa courbe d'impédance caractéristique....123

- B. Utilisation comme base de temps....123

CHAPITRE 10 : LES COMMUTATEURS ET RELAIS ÉLECTROMÉCANIQUES....127

MURHULA BAZIKANGE M.
Directeur Editorial
+243 860 655 590

10.1. Technologies des commutateurs mécaniques....127
- a. L'action fondamentale de la commutation....127
- A. Principe de fonctionnement et constitution....127

FIGURE 24 : RÉF. IMG (4417-1647-5498)....129

Structure interne d'un commutateur à levier de type SPDT....129
- B. Typologies et configurations courantes....129

FIGURE 25 : RÉF. IMG (4810-0409-4575)....132

Symboles schématiques des commutateurs SPST, SPDT et DPDT....132
- a. L'ingéniosité du technicien de Kisangani....132

10.2. Le relais électromécanique : principe et caractéristiques....134
- a. Le problème de la commande directe....134
- A. Principe de fonctionnement : la magie de l'électro-aimant....134

FIGURE 26 : RÉF. IMG (0087-1430-8980)....137

Schéma de principe d'un relais électromécanique avec ses composants clés....137
- B. Caractéristiques techniques essentielles....137

10.3. Applications des relais et diode de roue libre....140
- a. Le pouvoir de la démultiplication....140
- A. Commande de charges à forte puissance....141
- B. La diode de roue libre : une protection essentielle....141

QUATRIÈME PARTIE : TECHNOLOGIE DES COMPOSANTS ACTIFS À SEMI-CONDUCTEURS....145

a. Le passage des composants passifs aux composants actifs....145

b. Le silicium, roi des semi-conducteurs....145

c. La diode à jonction : la porte à sens unique....145

d. Le transistor : le commutateur et l'amplificateur....145

CHAPITRE 11 : PROCÉDÉS DE FABRICATION DES DIODES....146

11.1. Purification du silicium et création de la jonction P-N....146
- a. L'illusion du sable et la réalité du cristal....146
- A. De la roche au lingot monocristallin....146

FIGURE 27 : RÉF. IMG (0301-1099-0758)....148

Schéma du procédé Czochralski pour la purification du silicium.....148
- B. Dopage et création de la jonction P-N.....148

FIGURE 28 : RÉF. IMG (6893-0408-4463).....151

Structure atomique du silicium dopé et formation de la jonction.....151
- SCÉNARIOS ET EXERCICES.....151

11.2. Technologies de fabrication de jonction (Mesa et Planaire).....153
- a. Sculpter ou protéger : le dilemme du silicium.....153
- A. La technologie Mesa.....153
- B. La technologie Planaire.....154

FIGURE 29 : RÉF. IMG (7494-1178-1592).....156

Comparaison structurelle des technologies de diode Mesa et Planaire.....156
- Scénarios et Exercices.....156
- Une anecdote de l'atelier de Papa Mbuyi à Kisangani.....156

CHAPITRE 12 : CARACTÉRISTIQUES ET MARQUAGE DES DIODES.....159

12.1. Boîtiers et marquage des diodes.....159
- a. L'énigme du composant inconnu.....159
- A. Les familles de boîtiers : une question de forme et de fonction.....159

FIGURE 30 : RÉF. IMG (6054-0251-6976).....161

Panorama des principaux types de boîtiers de diodes standard et de puissance.....161
- B. Lire une diode : le code de la route électronique.....161

FIGURE 31 : RÉF. IMG (3156-7860-0778).....163

Identification visuelle de la cathode sur une diode axiale et SMD.....163
- L'anecdote du pont de diodes inversé.....163

12.2. Lecture d'une fiche technique et justification des utilisations.....165
- a. L'importance de la "carte d'identité" d'un composant.....165
- A. Les paramètres de courant et de tension (valeurs maximales absolues).....165
- B. Les paramètres thermiques et dynamiques.....166

FIGURE 32 : RÉF. IMG (2703-8764-7300).....168

Extrait simplifié d'une fiche technique pour une diode de redressement 1N4007.....168
- C. Justification du choix d'une diode.....168

CHAPITRE 13 : PROCÉDÉS DE FABRICATION DES TRANSISTORS.....171

13.1. Procédés de fabrication du transistor bipolaire et du MOSFET.....171

- a. L'art de la miniaturisation.....171
- A. Le Transistor Bipolaire : L'art de la diffusion.....171

FIGURE 33 : RÉF. IMG (6075-3980-2884).....173

Structure schématique d'un transistor bipolaire NPN par double diffusion.....173

- B. Le Transistor MOSFET : La technologie planaire.....173

13.2. La photolithographie et la transition vers le circuit intégré.....176

- a. De la photographie à la micro-gravure.....176
- A. Le principe de la photolithographie.....176
- B. De la gravure au circuit intégré (CI).....177

FIGURE 34 : RÉF. IMG (6067-9538-7568).....180

Vue en coupe d'un circuit intégré montrant les différentes couches superposées.....180

- Scénarios et exercices.....180
- L'évolution vue depuis le Kasaï.....180

CHAPITRE 14 : CARACTÉRISTIQUES ET MARQUAGE DES TRANSISTORS.....183

14.1. Boîtiers des transistors et identification des broches.....183

- a. L'enveloppe du secret.....183
- A. Les familles de boîtiers.....183
- B. Identifier les broches : Émetteur (E), Base (B), Collecteur (C).....183

FIGURE 35 : RÉF. IMG (6481-9071-9092).....186

Principaux types de boîtiers de transistors et identification des broches.....186

- Anecdote : La panne du poste radio à Matadi.....186

14.2. Le marquage des transistors et recherche de la fiche technique.....188

- L'énigme de la petite pièce noire.....188
- A. Les principaux systèmes de marquage.....188
- B. L'importance cruciale de la fiche technique (Datasheet).....189

FIGURE 36 : RÉF. IMG (8294-9637-4179).....191

Déchiffrer les codes inscrits sur les boîtiers de transistors courants.....191

- C. Comment rechercher une fiche technique.....191

14.3. Dissipation thermique et utilisation de refroidisseurs.....193

- a. L'analogie du brasero.....193
- A. Le Principe de la Dissipation : L'Effet Joule.....194
- B. La Résistance Thermique : Une "Loi d'Ohm" pour la Chaleur.....194

FIGURE 37 : RÉF. IMG (8549-3573-2479).....196

Schéma du chemin thermique d'un transistor avec ses résistances associées.....196

- C. Le Rôle du Dissipateur Thermique (Refroidisseur).....196

FIGURE 38 : RÉF. IMG (1641-6531-9796).....198

Différents types de dissipateurs thermiques pour composants électroniques de 198

- Scénarios et Exercices.....198

ANNEXES.....201

1. Mémento des Familles de Composants.....201
   - A. Composants Passifs.....201
   - B. Composants Actifs.....202
   - C. Composants Optoélectroniques.....204
2. Guide de Lecture des Codes de Marquage.....205
   - A. Résistances (Axiales et CMS/SMD).....205
   - B. Condensateurs (Céramique, Film, Tantale).....206
   - C. Diodes et Transistors.....207
   - D. Circuits Intégrés (CI).....208
3. Introduction à la Technologie de Montage en Surface (CMS/SMT).....209
   - A. Définitions et Principes Fondamentaux.....209
   - B. Classification des Composants Montés en Surface (SMC/SMD).....210
   - C. Le Processus d'Assemblage SMT.....211
   - D. Avantages et Limitations de la Technologie SMT.....212
4. Glossaire Technologique.....212
   - A. Composants Actifs et Semi-conducteurs.....212
   - B. Circuits Intégrés Analogiques.....214
   - C. Concepts de Traitement du Signal.....215

PRÉLIMINAIRES

1. Objectifs Généraux du Cours

1.1. Maîtrise des concepts fondamentaux avancés

L'objectif principal est la consolidation des bases de l'électronique et leur extension vers des concepts avancés. Il s'agit de maîtriser les régimes de fonctionnement des composants actifs en haute fréquence et en commutation. L'analyse des circuits inclut les systèmes asservis, les oscillateurs et les fonctions de conversion analogique-numérique. L'accent est mis sur la corrélation systématique entre les modèles mathématiques et le comportement physique réel des circuits, en s'appuyant sur l'exploitation critique des fiches techniques des constructeurs.

1.2. Développement des compétences de conception et de dépannage

Une compétence centrale visée est la capacité à traduire un besoin fonctionnel en un schéma électronique viable. L'élève apprend à dimensionner les composants, à justifier ses choix technologiques et à valider son design par la simulation. Parallèlement, ce cours développe une méthodologie de dépannage structurée. Face à un système défaillant, l'élève doit pouvoir isoler la cause racine en appliquant une démarche hypothético-déductive et en utilisant avec précision les instruments de mesure adéquats.

1.3. Acquisition d'une autonomie méthodologique

Finalement, ce cursus prépare l'élève à une autonomie technique et intellectuelle. Il doit pouvoir gérer un micro-projet, de la lecture du cahier des charges à la réalisation et au test du prototype. Cette démarche inclut la planification des tâches, la recherche documentaire et la production d'un rapport technique synthétique. L'objectif est de former des techniciens capables de s'adapter aux évolutions technologiques et de résoudre des problèmes complexes de manière autonome et rigoureuse.

2. Compétences Visées

2.1. Maîtrise des concepts fondamentaux

L'objectif est l'acquisition par l'élève d'une maîtrise ferme des lois fondamentales régissant les circuits, incluant les lois de Kirchhoff et la loi d'Ohm en régimes continu et sinusoïdal. Cette base théorique s'étend à la physique des semi-conducteurs, permettant de modéliser le comportement des diodes, des transistors bipolaires (TJB) et à effet de champ (TEC). La compréhension des amplificateurs opérationnels en régime linéaire et non linéaire est également une finalité centrale.

2.2. Compétences analytiques et de conception

Au terme de l'année, l'élève décode un schéma électronique structuré. Il identifie les étages fonctionnels (amplification, filtrage, oscillation) et justifie le choix des composants. Graduellement, l'aptitude à la conception est développée par la transformation d'un cahier des charges simple en un schéma fonctionnel cohérent, puis en un circuit électronique valide. Cette démarche intellectuelle prépare à la résolution de problèmes techniques réels.

2.3. Compétences pratiques et de diagnostic

La manipulation des appareils de mesure devient systématique et rigoureuse. L'élève utilise l'oscilloscope, le générateur de fonctions et le multimètre pour vérifier les grandeurs électriques d'un montage. Une méthodologie de diagnostic est acquise, lui permettant d'isoler une panne par une séquence logique de mesures et de déductions. La réalisation pratique de montages sur plaquettes d'essai et la technique de la soudure sont consolidées.

---

3. Approche Pédagogique

Cet ouvrage est fondé sur une didactique active, plaçant l'élève au centre d'un processus de découverte et de construction de ses savoirs. La démarche privilégie une articulation constante entre la théorie et la pratique, afin que chaque concept abstrait trouve un écho dans une application concrète et mesurable. La finalité est de former des techniciens opérationnels, capables de mobiliser leurs connaissances pour résoudre des problèmes réels.

3.1. Progression inductive et contextualisée

Chaque chapitre s'ouvre sur une situation-problème issue d'un contexte technique plausible. L'acquisition des connaissances théoriques est ainsi justifiée par la nécessité de résoudre ce problème initial. La progression part du composant ou du circuit simple pour en déduire les lois et principes généraux. Cette approche inductive favorise la motivation et donne un sens immédiat aux formalismes mathématiques et physiques, qui apparaissent comme des outils d'analyse et non comme des savoirs déconnectés.

3.2. Apprentissage en spirale

Les notions fondamentales sont introduites de manière progressive. Un concept est d'abord abordé sous un angle simplifié dans un premier chapitre, puis il est revisité et approfondi dans des contextes plus complexes ultérieurement. Par exemple, le transistor est initialement présenté comme un simple interrupteur commandé, avant que ses caractéristiques d'amplification et ses zones de fonctionnement ne soient analysées en détail. Cette structuration en spirale assure une consolidation durable des acquis et prévient la surcharge cognitive.

3.3. Évaluation par la compétence

La validation des acquis s'oriente vers la compétence pratique. Les exercices et scénarios proposés visent à évaluer la capacité de l'élève à diagnostiquer une panne, à concevoir un montage simple ou à interpréter une documentation technique. Cette orientation prépare directement aux exigences des épreuves certificatives nationales (TENASOSP/EXETAT), qui mesurent l'autonomie et l'efficacité du technicien face à une tâche concrète.

Figure 1 : Réf. IMG (4526-1636-9793)

Structure interne d'une résistance à couche de carbone et son hélice

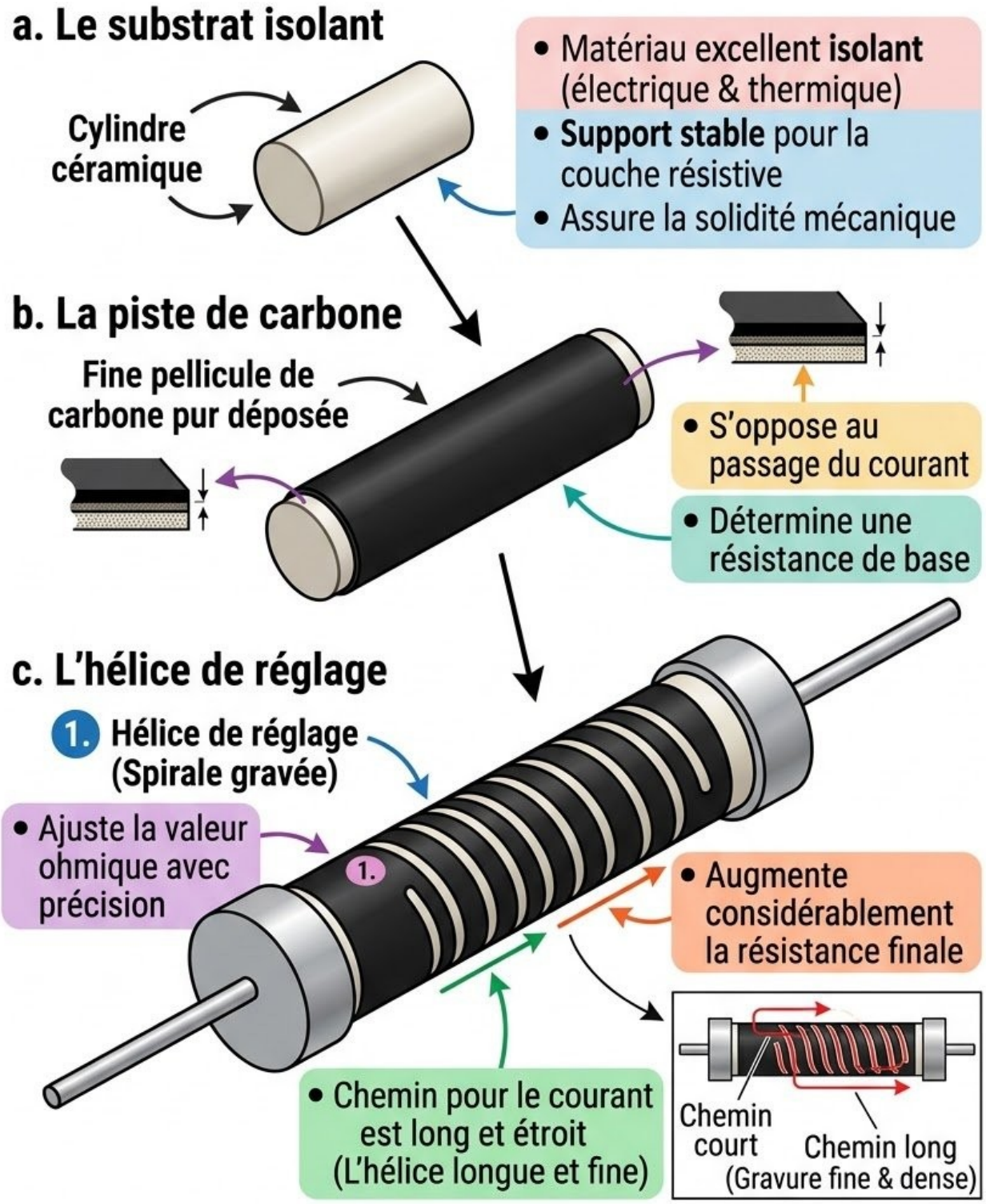


Figure 1 : Réf. IMG (4526-1636-9793)

Structure interne d'une résistance à couche de carbone et son hélice.

a. Le substrat isolant

Le corps de la résistance est un petit cylindre en céramique. Ce matériau est un excellent isolant électrique et thermique. Il sert de support stable pour la couche résistive et assure la solidité mécanique du composant. Sans ce support, la fine couche de carbone serait extrêmement fragile et se briserait au moindre contact.

b. La piste de carbone

Une fine pellicule de carbone pur est déposée uniformément sur le substrat. C'est cette couche qui s'oppose au passage du courant. Son épaisseur initiale et la pureté du carbone déterminent une résistance de base avant tout ajustement.

c. L'hélice de réglage

Pour ajuster la valeur ohmique avec précision, une machine grave une spirale (hélice) dans la couche de carbone. Plus la spirale est longue et fine, plus le chemin pour le courant est long et étroit. Cela augmente considérablement la résistance finale du composant.

B. La résistance à couche métallique

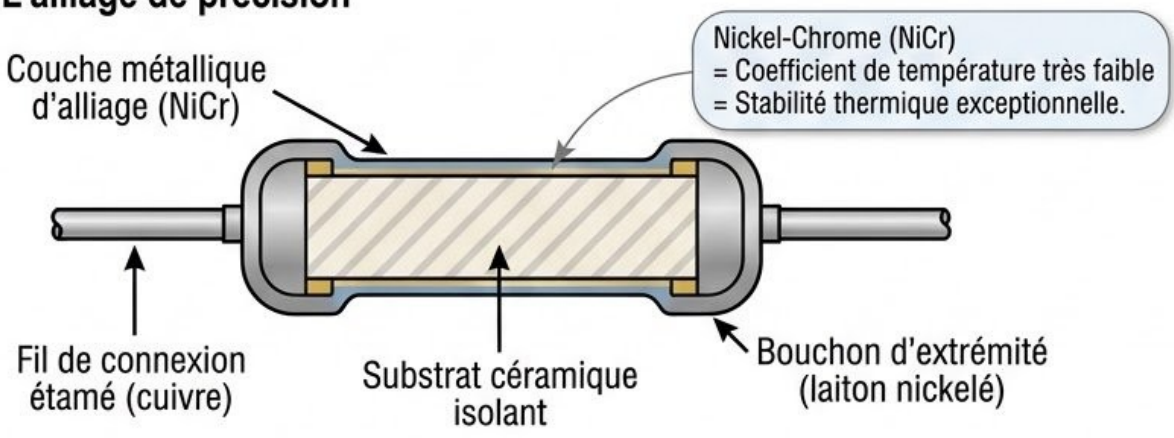
Pour une plus grande précision et une meilleure stabilité, la technologie à couche métallique est privilégiée. Le principe de fabrication est similaire à celui de la couche de carbone. Un substrat en céramique sert toujours de support. La différence fondamentale réside dans le matériau déposé.

Ici, la couche résistive est un alliage métallique, souvent du nickel-chrome (NiCr). La gravure de l'hélice se fait avec un laser, ce qui permet d'atteindre une précision bien supérieure. Ces résistances offrent une excellente stabilité en température et un faible bruit électrique. Elles sont utilisées dans les appareils de mesure, les équipements audio de haute-fidélité et les circuits médicaux.

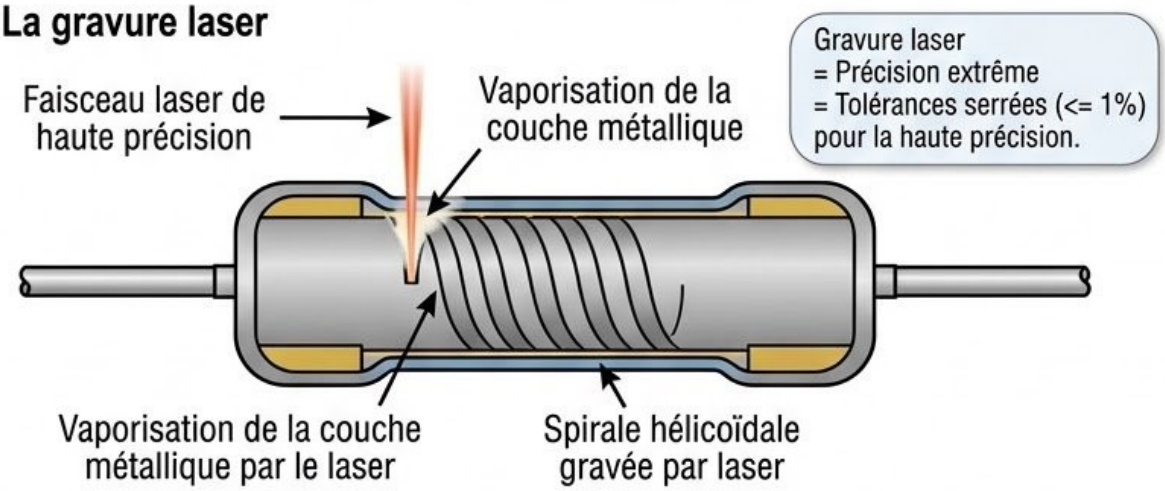
Figure 2 : Réf. IMG (9029-0509-5220)

Coupe schématique d'une résistance à couche métallique haute précision

a. L'alliage de précision



b. La gravure laser



c. Le vernis de protection

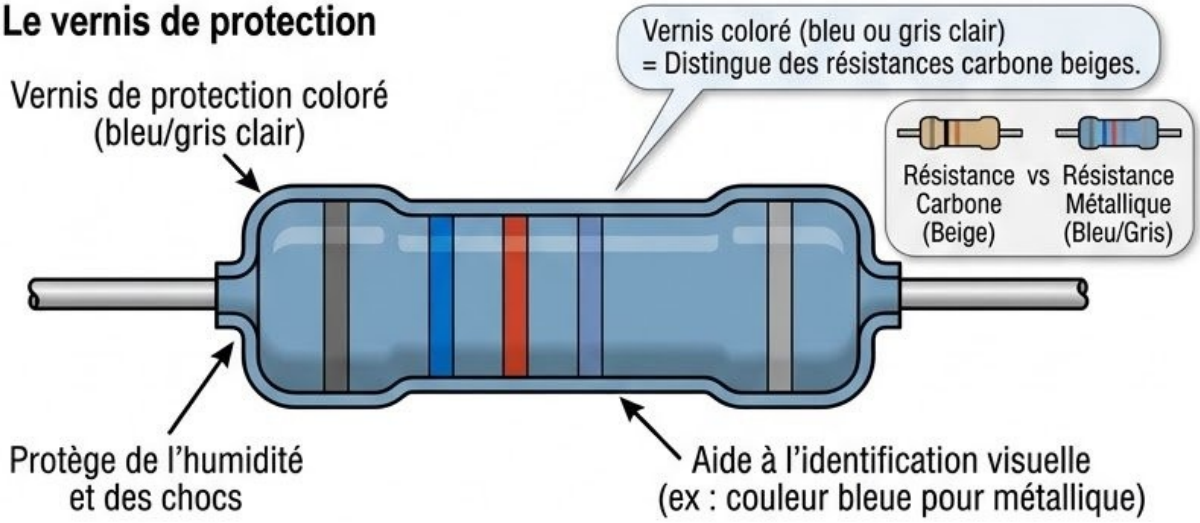


Figure 2 : Réf. IMG (9029-0509-5220)

Coupe schématique d'une résistance à couche métallique haute précision.

a. L'alliage de précision

Contrairement au carbone, la couche est ici un alliage métallique, souvent du nickel-chrome (NiCr). Cet alliage possède un coefficient de température très faible. Sa résistance varie donc très peu même si le composant chauffe, garantissant une grande stabilité. Cette propriété est essentielle pour les instruments de mesure.

b. La gravure laser

L'hélice n'est pas gravée mécaniquement mais par un faisceau laser de haute précision. Cette technique permet d'obtenir des tolérances très serrées (souvent 1% ou moins), ce qui est impossible avec la gravure mécanique du carbone. Le laser vaporise l'alliage pour créer la spirale.

c. Le vernis de protection

Un vernis coloré (souvent bleu ou gris clair pour les distinguer des résistances carbone beiges) recouvre le tout. Il protège la fine couche métallique de l'humidité et des chocs. La couleur aide aussi souvent à identifier visuellement le type et la précision de la résistance.

Pour la petite histoire…

À Lubumbashi, dans le Haut-Katanga, le vieux poste radio de Pépé Kalala grésillait de plus en plus, surtout après quelques minutes de fonctionnement. Son petit-fils, étudiant en électronique, a ouvert l'appareil. Il a pointé du doigt une petite résistance de couleur beige, légèrement brunie. "Tu vois Pépé, ça, c'est une résistance à couche de carbone. Avec le temps et la chaleur de la lampe du poste, sa valeur a 'glissé'. Le carbone n'est pas très stable."

Il expliqua que la chaleur modifiait la structure de la couche de carbone, changeant sa résistance et créant ces fameux crépitements. Pour une réparation durable, il faudrait la remplacer. Il a ajouté avec un sourire : "Si le fabricant avait utilisé une résistance à couche métallique, plus chère mais plus stable, ta radio chanterait encore comme au premier jour, même sous le soleil de midi !"

Exercice 1 : Le choix du technicien de la SNEL

Énoncé : Un technicien de maintenance de la SNEL à Matadi, dans le Kongo Central, doit réparer deux appareils. Le premier est un simple chargeur de téléphone portable de 5V. Le second est un voltmètre de précision utilisé pour vérifier la tension du réseau. Il dispose de résistances à couche de carbone (5% de tolérance) et à couche métallique (1% de tolérance). Quel type de résistance doit-il utiliser pour chaque réparation et pourquoi ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Analyser le besoin du chargeur de téléphone.** Un chargeur de téléphone est un circuit de grande consommation qui ne nécessite pas une précision extrême. Une légère variation de la résistance n'affectera pas son fonctionnement global. Le facteur coût est important. La résistance à couche de carbone est donc le choix idéal : économique et suffisante pour cette application.

2. **Étape 2 : Analyser le besoin du voltmètre de précision.** Un voltmètre est un instrument de mesure. Sa fiabilité dépend directement de la stabilité et de la précision de ses composants. La valeur de la résistance utilisée doit rester constante, même si l'appareil chauffe. Une résistance à couche métallique, avec sa faible tolérance (1%) et sa grande stabilité en température, est ici obligatoire pour garantir des mesures exactes.

Exercice 2 : Le mystère de la spirale

Énoncé : Maman Alphonsine, couturière à Kisangani dans la Tshopo, voit son neveu Jean, élève en 2ème année électronique, trier des résistances. Elle remarque que deux résistances de même taille physique portent des anneaux de couleur très différents, indiquant des valeurs ohmiques très éloignées (ex: 100 Ω et 100 kΩ). Elle lui demande comment cela est possible. Jean doit lui expliquer le rôle de la gravure en hélice.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Rappeler le principe de la résistance.** Jean explique que la résistance dépend du chemin que le courant doit parcourir. Un chemin long et étroit offre plus de résistance qu'un chemin court et large. C'est comme essayer de faire passer beaucoup d'eau dans un très petit tuyau.

2. **Étape 2 : Expliquer le rôle de l'hélice.** Il montre ensuite une image de la structure interne. Pour la résistance de 100 Ω (faible valeur), la spirale gravée dans la couche de carbone est très large, laissant un chemin court et large pour le courant. Pour la résistance de 100 kΩ (valeur élevée), la spirale est gravée de manière très fine et serrée. Cela force le courant à parcourir un chemin beaucoup plus long et étroit sur la même longueur de céramique, augmentant ainsi considérablement la résistance.

1.2. Technologies des résistances de puissance (bobinées) et marquage

a. Le fardeau de la puissance

Pendant que les petites résistances à couche de carbone gèrent les signaux délicats dans nos téléphones, de véritables poids lourds travaillent dans l'ombre des alimentations, des chargeurs et des variateurs de vitesse. Leur rôle est ingrat mais vital : transformer un surplus d'énergie électrique en chaleur.

Ces colosses sont les résistances de puissance. Leur mission n'est pas de traiter une information, mais de maîtriser et dissiper une grande quantité d'énergie. Une mauvaise gestion de cette chaleur peut mener à la destruction du circuit. Leur conception est donc entièrement tournée vers la robustesse et la dissipation thermique.

A. La résistance bobinée : Anatomie d'un colosse

Une résistance bobinée est construite sur un principe simple. Un fil résistif, souvent un alliage de nickel-chrome (nichrome) ou de cuivre-nickel (constantan), est enroulé en spires autour d'un noyau isolant et thermiquement conducteur.

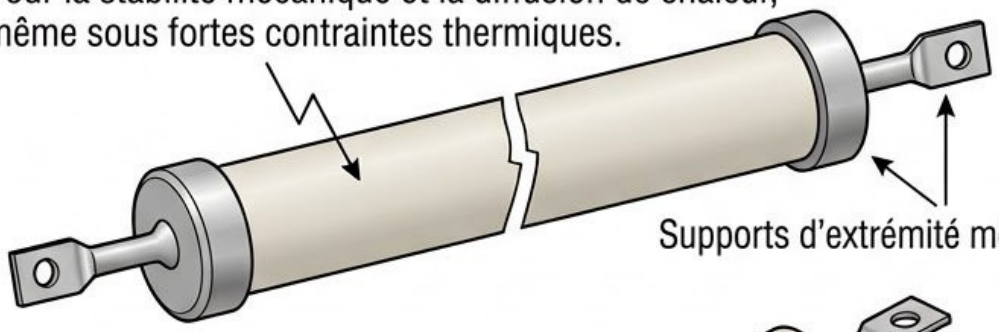
Ce noyau est presque toujours en céramique. Il supporte des températures très élevées sans se déformer. Le tout est ensuite enrobé dans une couche protectrice qui remplit deux fonctions. Elle protège le fil des chocs et de l'oxydation. Elle augmente la surface de contact avec l'air pour mieux évacuer la chaleur. Cet enrobage peut être un ciment spécial ou un émail vitrifié.

Figure 3 : Réf. IMG (3667-7210-6605)

Structure interne d'une résistance de puissance bobinée et cimentée

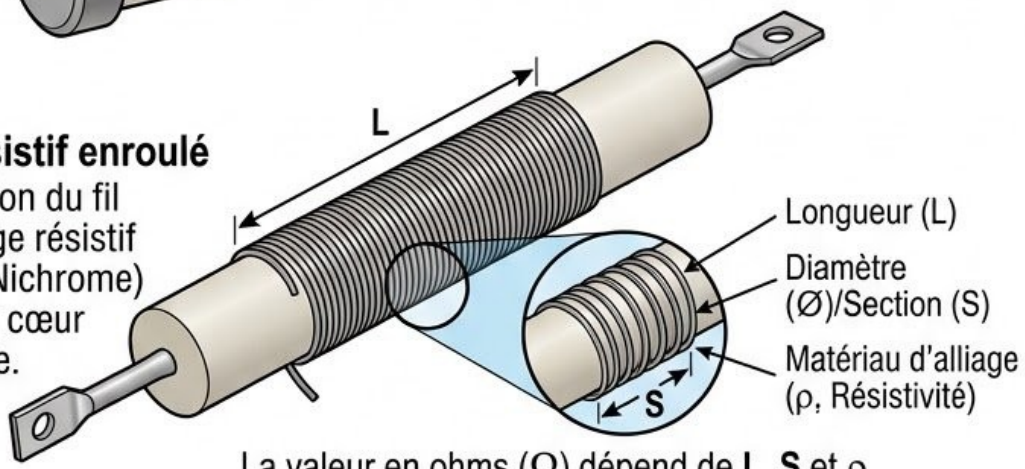
a **Le cœur en céramique (support central)**

Excellent isolant électrique et bon conducteur thermique
Pour la stabilité mécanique et la diffusion de chaleur, même sous fortes contraintes thermiques.



b **Le fil résistif enroulé**

La précision du fil d'un alliage résistif (comme Nichrome) autour du cœur céramique.



La valeur en ohms (Ω) dépend de **L**, **S** et ρ.

c **L'enveloppe protectrice (ciment ou émail)**

Conçue pour maximiser les transferts de chaleur de l'âme vers l'air ambiant, de purs une résistance de 20 Watts (W) peut dépasser 150°C.

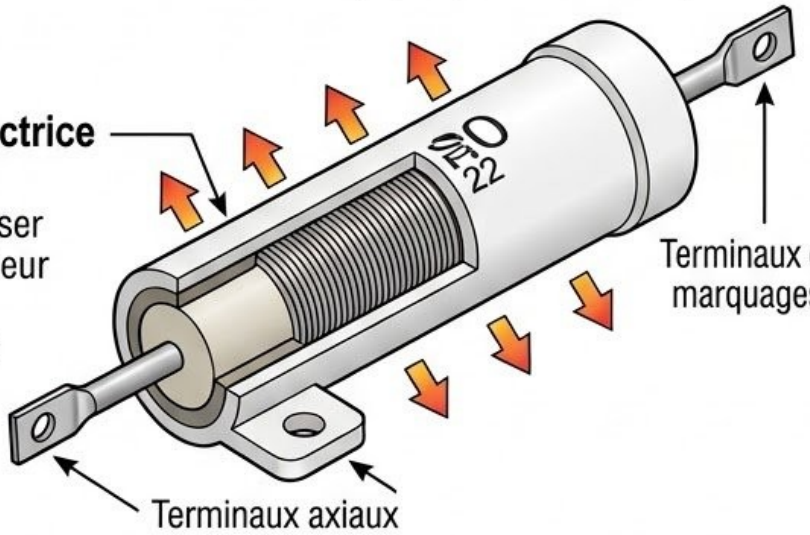


Figure 3 : Réf. IMG (3667-7210-6605)

Structure interne d'une résistance de puissance bobinée et cimentée.

a. Le cœur en céramique

Le support central en céramique est le squelette de la résistance. Il est choisi pour sa double qualité : il est un excellent isolant électrique mais un bon conducteur thermique. Il empêche le courant de prendre un court-circuit tout en aidant la chaleur générée par le fil à se diffuser vers l'extérieur. Cette pièce assure la stabilité mécanique de l'ensemble, même sous une forte contrainte thermique.

b. Le fil résistif enroulé

La valeur en ohms (Ω) de la résistance dépend de trois facteurs liés à ce fil. Sa longueur, son diamètre (section) et la nature de l'alliage (sa résistivité, ρ). Un fil plus long ou plus fin augmente la résistance. Cet enroulement est la source même de la résistance, mais aussi de son principal défaut.

c. L'enveloppe protectrice (ciment ou émail)

L'enveloppe blanche ou verte que l'on observe est plus qu'une simple coque. C'est un radiateur. Sa matière et sa forme sont conçues pour maximiser le transfert de chaleur du noyau vers l'air ambiant. Une résistance de 20 Watts (W) peut facilement atteindre plus de 150°C en fonctionnement normal. Sans cette enveloppe, elle se détruirait rapidement.

B. Caractéristiques et limites d'utilisation

La principale qualité d'une résistance bobinée est sa capacité à dissiper une forte puissance, de quelques watts à plusieurs centaines de watts. Elles offrent aussi une excellente stabilité dans le temps et une bonne précision (faibles tolérances).

Leur principal défaut provient de leur construction. L'enroulement de fil se comporte comme une bobine (un inducteur). Cette inductance parasite, bien que faible, rend ces résistances inadaptées aux circuits fonctionnant à haute fréquence (radio, télécoms). À ces fréquences, la résistance se comporte moins comme une résistance pure et perturbe le signal.

C. Le marquage en clair : Pas de secret

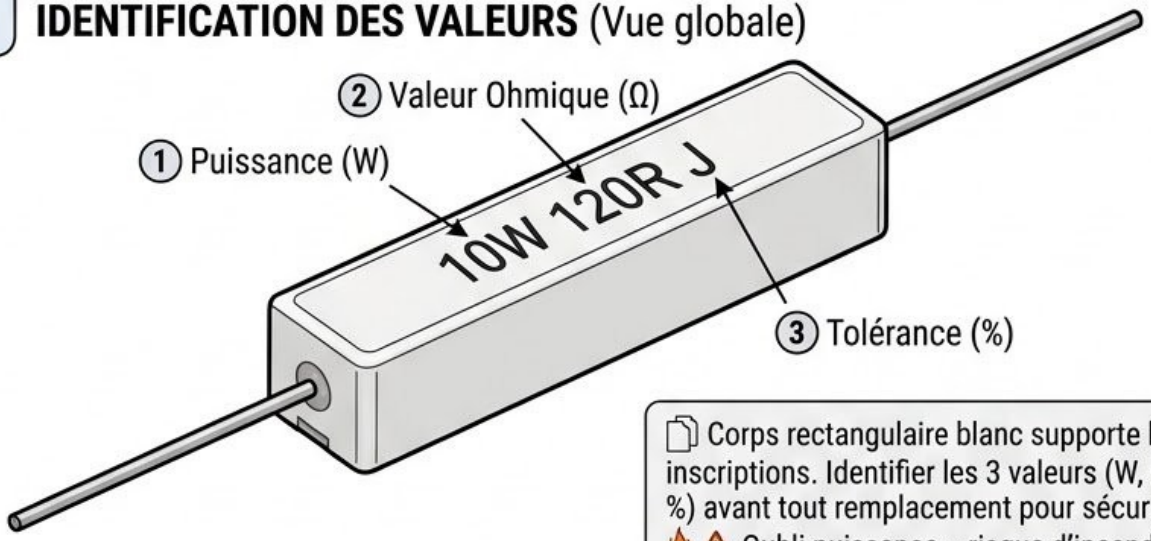
Contrairement aux petites résistances avec leur code des couleurs, la taille généreuse des résistances de puissance permet d'inscrire leurs caractéristiques directement en texte. Ce marquage alphanumérique est standardisé et facile à lire.

On y trouve systématiquement trois informations cruciales : - La valeur ohmique, en Ohms (Ω) ou kilohms (kΩ). Le symbole 'R' est souvent utilisé pour la virgule ou comme unité (ex : 4R7 = 4,7 Ω). - La puissance maximale admissible, en Watts (W). - La tolérance, en pourcentage (%). Une lettre peut remplacer le symbole % (ex : J = 5%, K = 10%).

Figure 4 : **Réf. IMG (0243-6478-4193)**

Exemple de marquage alphanumérique sur une résistance bobinée de 10 Watts

1 IDENTIFICATION DES VALEURS (Vue globale)



Corps rectangulaire blanc supporte les inscriptions. Identifier les 3 valeurs (W, Ω, %) avant tout remplacement pour sécurité.
Oubli puissance = risque d'incendie.

2 LA VALEUR OHMIQUE (Ω)

100R ⇨ 100 Ω

1K2 ⇨ 1,2 kΩ

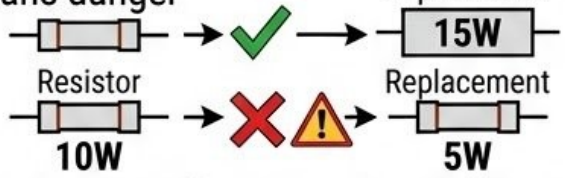


Lettre remplace la virgule pour éviter effacement.

3 PUISSANCE (W) ET TOLÉRANCE (%)

Puissance (W) : Dissipation de chaleur sans danger

 : **5W**, **10W**, **25W**



Ne jamais remplacer par puissance inférieure.

Tolérance (%) : Marge d'erreur acceptable

J ou **5%** ou **5%**



Exemple code J = +/- 5%.



Figure 4 : Réf. IMG (0243-6478-4193)

Exemple de marquage alphanumérique sur une résistance bobinée de 10 Watts.

a. Identification des valeurs

Le corps rectangulaire et blanc de la résistance sert de support pour les inscriptions. L'ordre des indications peut varier, mais les unités (W, Ω, %) permettent de ne pas se tromper. Un technicien doit repérer ces trois valeurs avant tout remplacement pour garantir la sécurité et le bon fonctionnement du montage. Un oubli sur la puissance peut provoquer un incendie.

b. La valeur ohmique (Ω)

C'est la caractéristique de base. Une inscription "100R" signifie 100 Ω. Une inscription "1K2" signifie 1,2 kΩ. La lettre remplace la virgule pour éviter qu'elle ne s'efface avec le temps. Cette valeur doit être respectée scrupuleusement lors d'un remplacement.

c. Puissance (W) et Tolérance (%)

La puissance (ex: 5W, 10W, 25W) indique la quantité de chaleur que le composant peut dissiper sans danger. Il est possible de remplacer une résistance par un modèle de même valeur ohmique mais de puissance supérieure, jamais l'inverse. La tolérance (ex: 5%, J) indique la marge d'erreur sur la valeur ohmique.

Scénarios et Exercices

Papa Kanku, un des techniciens les plus expérimentés de la SNEL à Matadi, dans le Kongo Central, est appelé pour un dépannage sur un vieux groupe électrogène. Le régulateur de tension ne fonctionne plus. En ouvrant le coffret métallique, une odeur de chaud le saisit. Il repère vite la coupable : une grosse résistance blanche, toute craquelée par la chaleur, dont une des pattes est coupée net. C'est une résistance bobinée cimentée. Il sort sa loupe pour déchiffrer les inscriptions à moitié effacées par la suie. Il lit "…0Ω…K…25W". Le premier chiffre est illisible. Il sort son multimètre. En mesurant la partie intacte, il trouve une valeur proche de 100 Ω. Le "K" signifie 10% de tolérance. Il sait maintenant quoi chercher : une résistance de 100 Ω, 25 W, avec une tolérance de 10% ou mieux (5%).

Exercice 1 : Lecture directe sur un composant

Énoncé : Un technicien à Boma récupère une résistance cimentée parfaitement lisible. Il lit l'inscription suivante sur son corps : 220R J 10W. Donnez la signification de chaque information.

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Identification de la puissance** L'indication 10W correspond à la puissance maximale que la résistance peut dissiper. C'est donc une résistance de 10 Watts.
2. **Étape 2 : Identification de la valeur ohmique** L'indication 220R représente la valeur de la résistance. Le 'R' placé après les chiffres signifie "Ohms". La valeur est donc de 220 Ω.
3. **Étape 3 : Identification de la tolérance** La lettre J est un code standard pour la tolérance. Dans ce code, J correspond à une tolérance de 5%. La valeur réelle de la résistance se situe donc entre 209 Ω et 231 Ω.

Exercice 2 : Le choix du remplaçant à Kisangani

Énoncé : Maman Hélène, réparatrice d'appareils électroniques à Kisangani, dans la Tshopo, doit remplacer une résistance de puissance grillée dans l'alimentation d'un ancien poste de soudure. Le schéma électrique indique : R24 : 1 kΩ / 15 W / 10%. Son fournisseur lui propose trois modèles : - **Option A :** 100R K 15W - **Option B :** 1K0 J 20W - **Option C :** 1K0 K 10W

Quelle option doit-elle choisir et pourquoi les autres ne conviennent-elles pas ?

Résolution pas-à-pas :

1. **Étape 1 : Analyse du besoin** Le composant requis doit avoir une résistance de 1 kΩ (soit 1000 Ω), une puissance minimale de 15 W et une tolérance de 10% (ou mieux).
2. **Étape 2 : Évaluation de l'Option A (100R K 15W)** Cette résistance a une valeur de 100 Ω (100R). Elle ne convient pas, car la valeur requise est de 1 kΩ (1000 Ω). Le circuit ne fonctionnerait pas correctement.
3. **Étape 3 : Évaluation de l'Option C (1K0 K 10W)** Cette résistance a la bonne valeur (1K0 = 1 kΩ) et la bonne tolérance (K = 10%).

Cependant, sa puissance est de 10 W, ce qui est inférieur aux 15 W requis. Elle surchaufferait et grillerait très rapidement. C'est un choix dangereux.

4. **Étape 4 : Évaluation de l'Option B (1K0 J 20W)** Cette résistance a la bonne valeur (1K0 = 1 kΩ). Sa puissance est de 20 W, ce qui est supérieur aux 15 W requis. C'est autorisé et même plus sûr. Sa tolérance est de 5% (J), ce qui est plus précis que les 10% demandés. C'est donc le choix parfait. Maman Hélène doit choisir l'Option B.