

## **Résumé du cours de TCE de MR Chot**

Ce résumé est fait à partir du syllabus fournie par Mr Chot et de mes notes perso. Si jamais il y a des erreurs, dites le moi et je corrigerai...

Bon blocus

Patasel

### 1. Définitions générales :

- Valeur nominale : Valeur caractéristique du composant indiquée par le constructeur : sur le composant ou par un code (code des couleurs, alphanumérique, ...)
- Tolérance : Pourcentage en plus ou en moins de la valeur nominale que le fournisseur s'engage à respecter pour toutes pièces neuves avant usage.
- Précision : Un composant de précision est un élément dont la tolérance est petite ( ex : 0,5%, 1%, 2%).
- Stabilité : On dit qu'un élément est stable lorsque, après un long usage, sa valeur reste proche de celle qu'il avait à l'origine. La stabilité dépend de la technologie de fabrication.
- Coefficient de température ( $\alpha$ ) : Il exprime la variation d'une valeur caractéristique du composant par degré d'élévation de température. Comme cette variation est faible, elle est mesurée en  $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  que l'on note encore ppm/ $^{\circ}\text{C}$  ( parties par million).

$$R_T = R_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

### 2. Standardisation :

- Séries normalisées

Les valeurs offertes dans le commerce ne sont pas quelconques : des séries de valeurs normalisées ont été établies. Les valeurs à l'intérieur de chaque série diffèrent entre elles d'un pas multiplicatif puis le résultat est arrondi. Ces valeurs ont été établies pour minimiser le recouvrement entre la valeur minimale et la valeur maximale de celle qui la précède.

- Code des couleurs

Sont indiqués par un code de couleurs sur certains composants (R,L,C) :

- La valeur nominale de la ou les caractéristiques principales (ex : R[ $\Omega$ ] pour les résistors, C[F] pour les condensateurs et la tension de claquage en [V], L[H] pour les bobines miniatures)
- La tolérance sur la valeur nominale
- Eventuellement le coefficient de température.

Les codes diffèrent selon le type de l'élément concerné et le fabriquant, mais en général, on retrouve le code CEI donné au tableau suivant. On remarquera que les couleurs se succèdent du rouge au violet dans l'ordre des couleurs de l'arc-en-ciel.

| <u>Moyen mnémotech</u> | <u>Couleur</u> | <u>Chiffre</u> | <u>Multiplicateur</u> | <u>Tolérance (Série)</u> |
|------------------------|----------------|----------------|-----------------------|--------------------------|
| Ne                     | Noir           | 0              | 1                     | 20 % (E6)                |
| Mangez                 | Marron         | 1              | 10                    |                          |
| Rien                   | Rouge          | 2              | 100                   |                          |
| Ou                     | Orange         | 3              | 1K = 1000             |                          |
| Je                     | Jaune          | 4              | 10K = 10000           |                          |
| Vous                   | Violet         | 5              | 100K = 100000         |                          |
| Bats                   | Bleu           | 6              | 1M = 1000000          |                          |
| Violemment             | Vert           | 7              |                       |                          |
| Gros                   | Gris           | 8              |                       |                          |
| Blagueur               | Blanc          | 9              |                       |                          |
|                        | Or             |                | 0,1                   | 5 % (E24)                |
|                        | Argent         |                | 0,01                  | 10 % (E12)               |

- Quelques domaines de fréquence des signaux

- VLF : très basses fréquences
- 20 à 20kHz : fréquences audio
- 50 Hz : tension de secteur européen
- HF : Hautes fréquences : 3MHz à 30 MHz

### 3. Résistors :

- Principes et propriétés de base

Le résistor est le composant électronique le plus simple et le plus utilisé. C'est un composant dit passif conduisant l'électricité avec un effet résistif. Il est non polarisé. Un résistor linéaire est un dipôle tel que la tension  $U$  [V] à ses bornes est proportionnelle au courant  $I$  [A] qui le traverse :  $U = RI$  où  $R$  [ $\Omega$ ] est sa résistance. Cette loi d'Ohm traduit la caractéristique linéaire  $U(I)$  d'une résistance classique.

La résistance dépend principalement des dimensions du conducteur et de sa nature : Loi de Pouillet pour un fil conducteur :  $R = \rho l/s$  où  $\rho$  [ $\Omega m$ ] = résistivité caractéristique du matériau. Lorsqu'une résistance est parcourue par un courant, elle consomme une énergie électrique et la transforme (dissipe) intégralement en chaleur :  $P = UI$  (Loi de Joule).

- Associations de résistances.

En série :  $R_{\acute{e}q} = R_1 + R_2 + R_n$

En // :  $R_{\acute{e}q} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_n}}$

**Cas particuliers :  $R_1=R_2=R_n$**

En série :  $R_{\acute{e}q} = 2R$

En // :  $R_{\acute{e}q} = R/2$

- Résistances fixes.

- Code des couleurs :

Présent sur les résistances fixes métalliques et au carbone. Les résistances ordinaires ont 4 anneaux, celles de précision 5 (voire 6, le sixième étant le coefficient de température). Les dernier anneau est un peu séparé des autres, on le place à droite et on lit les code des couleurs de gauche à droite.

- Puissance Max :

Par définition, un résistor dissipe toute la puissance électrique qu'il absorbe sous forme calorifique, mais il existe une limite technologique de dissipation pour un élément donné. Si l'on dépasse cette puissance maximale autorisée, l'élément risque de se dégrader. Si cette limite est plus fortement dépassée, le composant commence à roussir et peut même finir par se détruire.

- Limitations du fonctionnement

En courant continu, pour que l'état électrique puisse être maintenu 24h/24 sans risque de détérioration, certaines conditions doivent être respectées et le constructeur indique au moins l'une des caractéristiques suivantes :

- La tension maximale  $U_{\max}$  qui peut être appliquée au dipôle
- L'intensité maximale  $I_{\max}$  du courant admissible dans le dipôle
- La puissance  $P_{\max}$  que le dipôle récepteur peut dissiper calorifiquement et donc absorber électriquement.

(PS : Pour les illustrations, voir cours page 10 et 11)

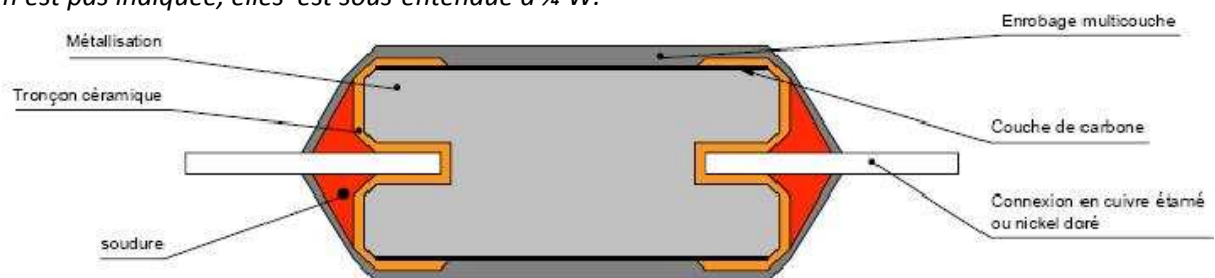
- Technologie de résistances fixes :

De nombreuses technologie existent pour la fabrication de résistances, les plus rencontrées sont représentées dans le tableau comparatif ci-après.

|           | R à couche de carbone | R métalliques                 | R bobinées                               |
|-----------|-----------------------|-------------------------------|--|
| Usage     | Les plus répandues    | Applications professionnelles | En basses fréquences car réactives en HF |
| Tolérance | Moyenne (5,           | Bonne                         | Moyenne (5,10 %)                         |

|                  |                   |  |   |
|------------------|-------------------|--|---|
|                  | 10%)              | Courantes : 5-2-1 %<br>Précises : 0,1-0,01 %   |   |
| <b>P max</b>     | Jusque 3W         | Jusque 3W, mais à P max identiques, elles sont moins grosses que les R à couche de carbone | 3,5 W à quelques dizaines de W  |
| <b>Marquage</b>  | Code des couleurs | Code des couleurs ou en clair  | En clair  |
| <b>Avantages</b> | Les moins chères  | Meilleures en stabilité, fiabilité et tolérance  | Meilleur coefficient de t° (2ppm contre 500ppm pour une R au carbone) |

- Les résistances à couche de carbone :  
Obtenues par dépose pyrolytique de carbone sur un bâtonnet en céramique préalablement cuit au four.  
Les résistances les plus utilisées en électronique sont à couche de carbone, les plus répandues ont une puissance d'  $\frac{1}{4}$  W. *Sur un schéma fonctionnel, lorsque la puissance n'est pas indiquée, elles est sous-entendue à  $\frac{1}{4}$  W.*



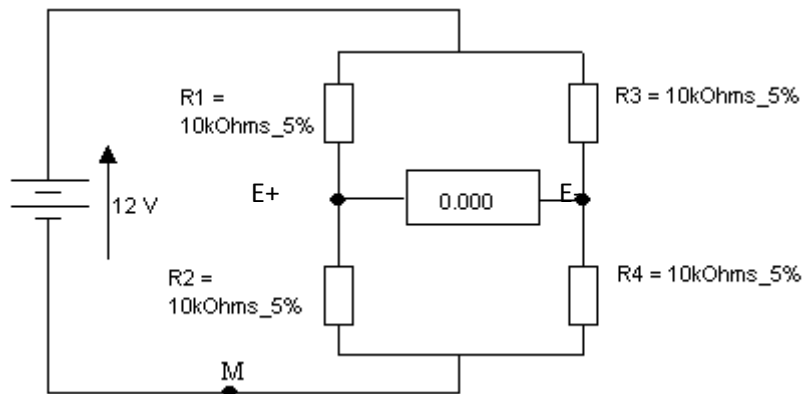
- Les résistances à couche métallique :  
L'élément résistif est obtenu par évaporation d'une couche d'environ 1 mm d'un alliage de métaux (or, platine, rhodium, palladium) sur une bâtonnet en céramique ou en verre. Petit coefficient de température (100ppm contre 500ppm pour une R au carbone) et stabilité la plus haute (0,5% /an).  
La dimension augmente en fonction de la puissance.
- Les résistances bobinées :  
Sont constituées d'un fil en alliage (nickel-chrome ou cuivre-nickel pour des résistances de haute précision à faible coefficient de température) enroulé sur un support isolant en céramique ou en matière plastique puis elles sont moulées, laquées ou vitrifiées. La R nominale est indiquée en clair sur la résistance ainsi que la tolérance et souvent la P max.  
Nombre et lettre « R » ou « E » : valeur en ohms ( ex : 5R = 5Ω)  
Nombre suivi de la lettre « K » suivi d'un nombre : valeur en kilo ohms  
La tolérance peut être exprimée par une lettre : J=5% ; K=10% ; M=20%
- Les réseaux de résistances (SIL – DIL) :  
Intégration de plusieurs résistances identiques (même R nom, 1/8W, tol : 2%) dans un seul composant.  
Type SIL= Single In line (broches en rangée unique), éventuellement sécable  
Type DIL=Dual In line (broches en double rangée)
- Les résistances CMS :  
Les circuits imprimés à plus haute densité en composant utilisent des résistance CMS (Composant miniature de surface). Pour de puissances de 1/2W à 0.25W  
Le code des couleurs indique leurs caractéristiques, mais quand les résistors deviennent trop petits, la valeur est marquée en clair.

Ex : résistance plate de 3 mm marquée « 103 » : les deux premiers chiffres indiquent la valeur de la R nominale et le troisième , le nombre de zero(s) à ajouter => « 103 »= 10kΩ

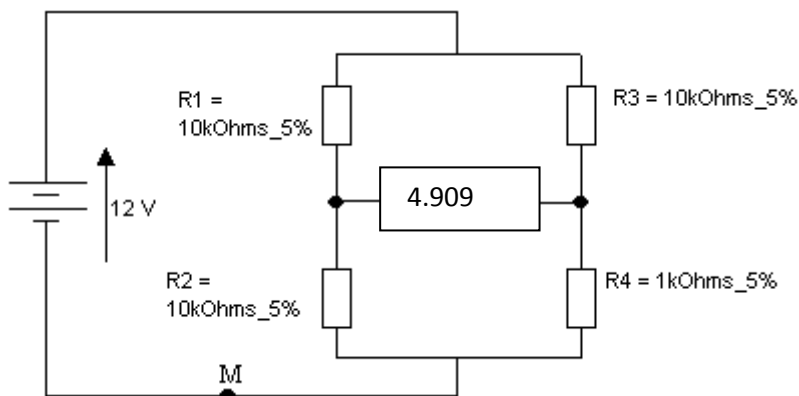
■ Utilisation des R fixes en électronique :

- Conversion d'une tension en un courant ou d'un courant en une tension :  $u(t)=Ri(t)$ 
  - a) En régime continu (mesure au multimètre digital(mode DC) des tensions et courants continus) =>  $U = RI$
  - b) En alternatif sinusoïdal (mesure au multimètre digital(mode AC) des tensions et courants efficaces (si f entre 50 Hz et 500 Hz sinon, oscilloscope nécessaire))  
=>  $V_{eff} = R I_{eff}$
  - c) En alternatif périodique (ex : tension carrée, triangulaire,...)(mesure à l'oscilloscope des tensions et courants max) =>  $u(t)=Ru(t)$  donc  $\hat{U}=R\hat{I}$  (valeurs max).
  - d) Exemple d'utilisation : Convertisseur numérique/Analogique (CNA) (page 17 du cours)
- Polarisation des composants à semi-conducteur (diodes, transistors, thyristors,...)  
Ex : Limitation du courant traversant une LED (page 18 du cours)
- Division d'une tension => Pont diviseur de tension (TRIVIAL)

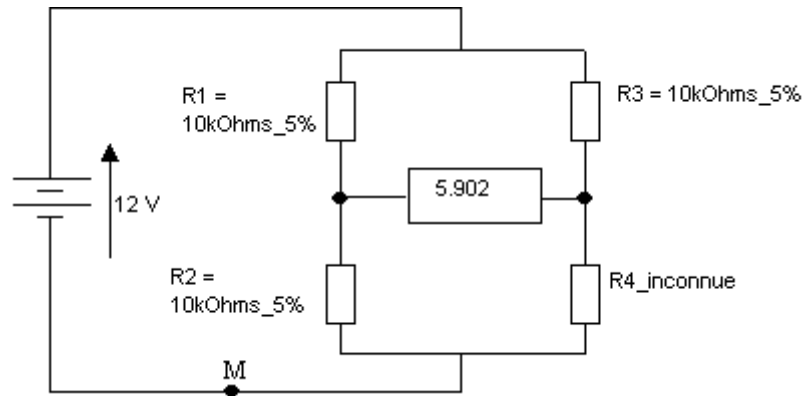
- Pont de Wheatstone résistif



Dans ce cas-ci, les 4 résistances sont de la même valeur, la tension  $U = V_{E+}-V_{E-} = 0 \Rightarrow$  Le pont est dit équilibré.



Dans ce cas-ci, le pont est déséquilibré : R4 n'a pas la même valeur que les autres résistances du pont.



Dans la pratique, le pont de Wheatstone résistif s'utilise pour mesurer une résistance inconnue : cas des sondes passives résistives ( de t° type CTN ou CTP, de luminosité, de contrainte, de pression, de déplacement, ....)

Calcul de la résistance inconnue :

$$V_{E+} = 12/2 = 6V$$

$$V_E = 12 (R4/(10k+R4))$$

$$\Rightarrow V_{E+} - V_E = 6 - 12 (R4/(10k+R4)) = 6 \Rightarrow R4 = 82.3 \Omega$$

- Pour fixer la constante de temps d'un circuit capacitif ( fonction temporisation, PWM<sup>1</sup>,...)
- Pour visualiser à l'oscilloscope un chronogramme de « courant » (résistance de mesure)
- Résistances variables ( manuellement)
  - Potentiomètres de réglage ( ou de « tableau »)  
Utilisés quand on veut régler manuellement un paramètre électrique de façon régulière (ex : ce qui est commandé par le « bouton » de réglage de l'intensité lumineuse d'un gradateur de lumière).  
Identiques, dans leur principe, aux résistances ajustables, mais ils sont nettement plus volumineux et munis d'un axe sur lequel on peut, au besoin, adapter un bouton de réglage.
  - Potentiomètres à piste de carbone circulaire ( les plus rencontrés)  
Constitués d'un curseur se déplaçant sur une piste de carbone circulaire. Le curseur est actionné à l'aide d'un axe en plastique et électriquement accessible par la « cosse centrale ».  
On en trouve couramment dans la série E3 (10 ;22 ;47) avec une tolérance de 20%.  
Puissance jusqu' 1W.  
La loi de variation est le plus souvent linéaire, càd que la valeur de la résistance varie de façon proportionnelle à l'angle de rotation de l'axe. On en trouve aussi avec des lois de variation logarithmiques (souvent pour des applications en radiofréquences, Hi-Fi,...)
  - Potentiomètres à piste circulaire « cermet » (usage professionnel)  
Cermet signifie métal sur céramique : piste en émail chargée de métaux conducteurs déposés par sérigraphie sur un support céramique.  
Peu encombrants, faible coefficient de température, piste inusable, large gamme de R nominale.  
Modèle de qualité pour les applications professionnelles ( militaires ou civiles)
  - Potentiomètres à glissière ( ou linéaires à picots)  
Ici, la piste est rectiligne et le curseur se déplace en translation le long d'une glissière (ex : table de mixages de studios d'enregistrement).
  - Potentiomètres bobinés ( ou de puissance)

<sup>1</sup> Voir fin du résumé

Constitués d'un bobinage de fil résistif

Prévus dans les circuits de puissance où une dissipation plus élevée existe (jusqu'à 500W).

Ne pas utiliser en HF (inductifs)

Lois de variations : linéaire ou logarithmique

■ Potentiomètres ajustables

- R « ajustables » = R ajustées à la fabrication ou lors de réglage très occasionnels ( on doit ouvrir le capot de l'appareil et les ajuster au tournevis)
- Ils sont formés d'un curseur qui frotte sur une piste en carbone ou cermet
- Faible encombrement sur les circuits imprimés (souvent 1 cm)
- Loi de variation : linéaire ; 0,1 W – 0,25 W – 0,5 W ; en série E3
- Version mono tour ( 1 seul tour pour balayer toute la résistance  $R_{ES}$ ) à faible résolution de réglage.
- Version multi tours parfois appelés « Trimmer » (sont recommandés chaque fois qu'un ajustage fin est nécessaire).

■ Quelques applications de résistance variables

- Montage rhéostatique

La résistance variable est en série avec une charge afin d'en régler le courant. (ex : utilisation d'une résistance variable avant une LED afin de limiter le courant dans celle-ci afin qu'il ne dépasse pas une dizaine de mA)<sup>2</sup>

- Montage rhéostatique pour éclairage à intensité réglable, pour variation de vitesse de moteurs,...
- Thermostat d'ambiance TOR mécanique anticipateur à horloge ( réglable jour/nuit possible)<sup>3</sup>

- Montage potentiométrique

C'est un pont diviseur résistif où  $R_1 = R_{EC}$  et  $R_2 = R_{CS}$  sont réglables, leur somme vaut la résistance totale fixe indiquée sur le potentiomètre.

On réalise alors un réglage de tension entre 0 et E :  $U_{CS} = (R_{CS}/R_{pot}) E$

Pour obtenir un réglage entre d'autres limites, on associe au potentiomètre des résistances butées (ou talon)<sup>4</sup>.

- On trouve aussi des ajustables associées à certains circuits intégrés (ex : pour compenser l'offset d'un ampli-op).

● Résistances spéciales

■ Photorésistance ou LDR (Light Dependant Resistor)

- Phénomène de photoconduction = éclairer un semi-conducteur dopé N augmente fortement sa conductibilité et donc diminue sa résistance.
- Une LDR possède une résistance qui varie avec l'intensité lumineuse (très élevée [M $\Omega$ ] dans l'obscurité et très faible [ $\Omega$ ] en pleine lumière) et la longueur d'onde de la lumière qui l'éclaire :
  - La sensibilité dépend de la fréquence de la radiation lumineuse ( et donc de sa longueur d'onde  $\lambda = c/f$  où  $c =$  vitesse de la lumière =  $3 \times 10^8$  m/s)
  - Le sulfure de cadmium a un maximum de sensibilité (100%) dans le spectre de la lumière visible aux environs de 650 nm de longueur d'onde (rouge visible)<sup>5</sup>.
  - Le sulfure de plomb est plutôt utilisé dans l'infrarouge.

<sup>2</sup> Voir cours pages 24 et 25 pour les détails des calculs

<sup>3</sup> Voir cours page 26 pour le schéma et les explications

<sup>4</sup> Voir cours page 26 pour un exemple

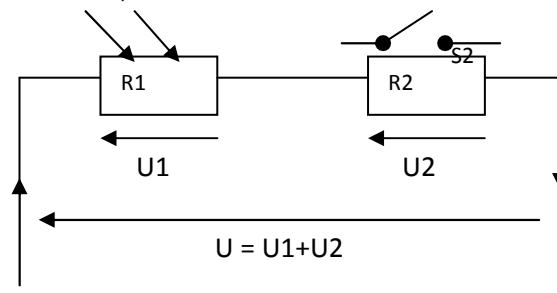
<sup>5</sup> Poule schéma, voir note manuscrite du cours page 27

| Semi-conducteur          | $R_{\text{obscurité}}$ | $R_{\text{éclairciment}}$ (à 1000Lux) | Sensibilité max dans le spectre | Temps de réponse max |
|--------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| CdS (Sulfure de Cadmium) | 100 $\Omega$           | 0,3 [k $\Omega$ ]                     | Visible (œil humain)            | 30 [ms]              |

- L'intensité max du courant dans une photorésistance ne peut dépasser une centaine de mA quand elle est fortement éclairée.
- Leur précision est toute relative.
- La mise en œuvre d'une photorésistance est identique à celle d'une résistance ordinaire, une LDR n'étant pas polarisée.
- Usage :
  - o Éclairage automatique (urbain, phares de voitures,...)
  - o Détecteur de brouillard
  - o Photographie : flash automatique
  - o Détecteur optique de sécurité de flammes dans les chaudières au mazout

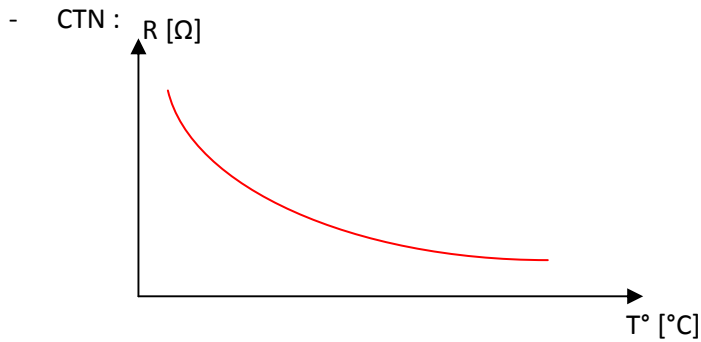
=>Pendant le fonctionnement d'un brûleur de chaudière, la flamme doit être contrôlée en permanence : si elle s'éteint accidentellement, une « boîte de commande automatique » relance une procédure de mise en route pour tenter de la rallumer.

En cas d'échec, le brûleur est mis hors tension et une alarme « défaut flamme » est enclenchée. Le rôle du « détecteur de flamme » est joué par la LDR : sans flamme, sa résistance  $R_1$  est très forte et donc  $U_2$  aux bornes de la bobine du relais est insuffisante pour fermer le contact  $S_2$ , ce qui signale à la boîte de commande, l'absence de flamme.



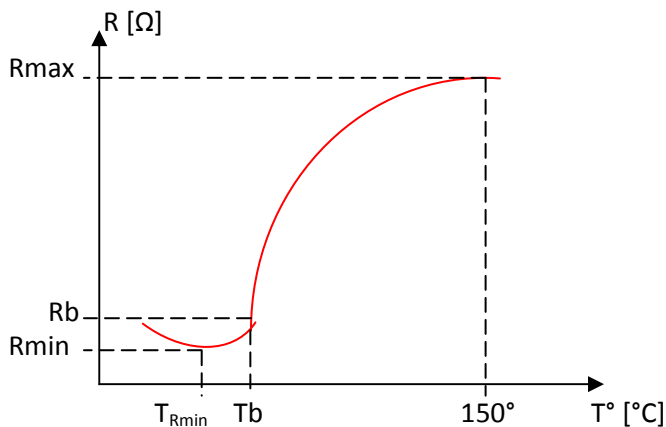
- Varistance ou VDR (Voltage Dependant Resistor)
  - Composant dont la résistance diminue quand la tension qui est appliquée à ses bornes augmente
  - Usage : la varistance est surtout utilisée pour stabiliser les tensions, pour protéger certains moteurs (machine à laver ou machines industrielles, protection des collecteurs de petits moteurs à courant continu,...), certains composants électroniques (thyristors,...)
- Thermistance (CTP ou CTN)
  - C'est un résistor dont la résistance varie fortement en fonction de sa température.
  - La  $t^\circ$  d'une thermistance varie :
    - o Avec la variation de la  $t^\circ$  ambiante
    - o Par « échauffement propre » lorsqu'elle est parcouru par un courant (effet Joule)
    - o Par la combinaison de ces 2 moyens
  - Il existe 2 familles de thermistances : les CTN (Coefficient de Température Négatif) et CTP (Coefficient de Température Positif). Ce coefficient de température, c'est  $\alpha$ .





- $\alpha < 0 \Rightarrow T^\circ \nearrow \Rightarrow R \searrow \searrow$
- Stabilisation du courant dans les montages électroniques (limiteur d'appel de courant)
- Mesure approximative et contrôle de la température
- Compensation de la dérive thermique des circuits à transistors
- NB : Les CTN de mesures et de compensations doivent être parcourues par de petits courants électriques afin de minimiser leur échauffement propre.

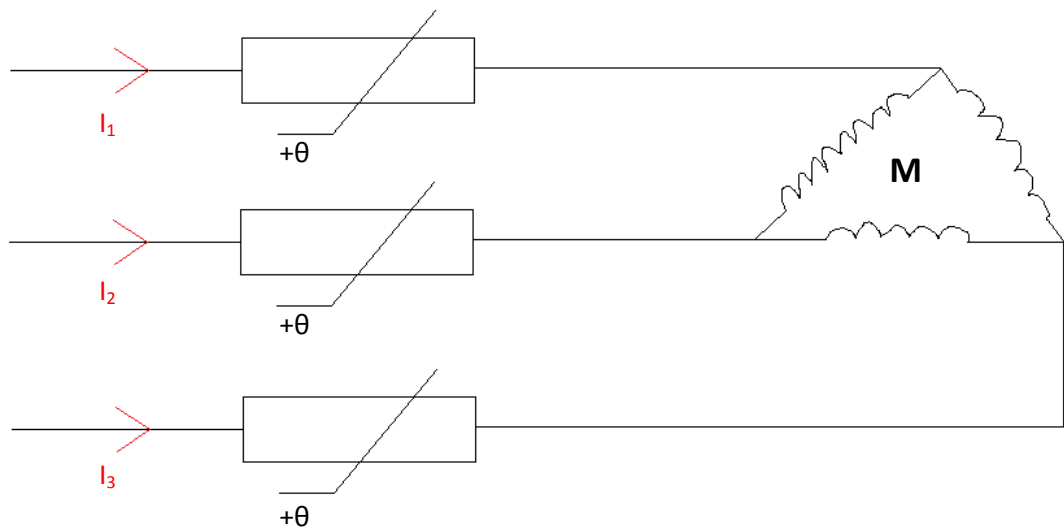
- CTP :



Caractéristique d'une CTP :

- $T_b = t^\circ$  de basculement
- $R_b = R$  de basculement
- $\alpha > 0 \Rightarrow T^\circ \nearrow \Rightarrow R \searrow \searrow$
- Limitation du courant – CTP en forme de disque (ex : désaimantation du tube-images couleur)
- Mesure approximative et contrôle de la température
- Protection :
  - ✓ De ligne (contre surtensions et courts-circuits)
  - ✓ De petits moteurs (contre la surchauffe)
  - ✓ Des transistors et des thyristors contre les emballements thermiques (CTP appelés « Posistors »)
- Protection contre une surélévation de température (souvent due à une surintensité)
- Stabilisation du courant pour compenser les variations de résistances des lignes téléphoniques (TPJ)

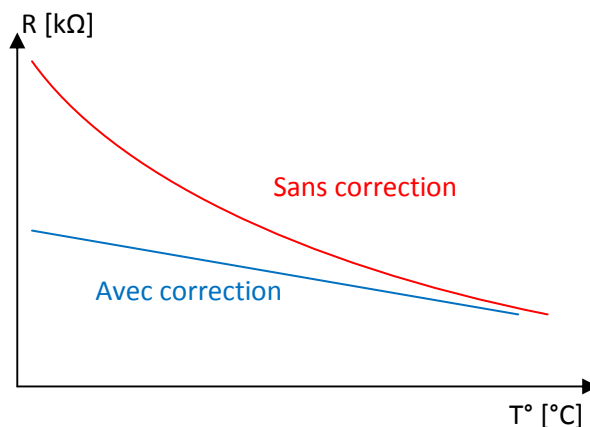
- Exemple d'utilisation de la CTP : Protection des petits moteurs contre les surchauffes



Les CTP sont placées dans les bobinages. A la  $t^\circ$  limite d'utilisation du moteur, ces résistances s'échauffent et deviennent très élevées. Les courants statoriques diminuent et le moteur finit par s'arrêter. Il ne pourra redémarrer qu'après refroidissement .

On peut protéger, de la même façon, des transformateurs, des électro-aimants, des électrovannes,...

- La valeur nominale indiquée sur une thermistance se vérifie à  $25^\circ\text{C}$ .
- Le code des couleurs se lie en mettant les broches vers le haut et en commençant par le haut.
- Une solution classique, pour améliorer la linéarité du circuit, consiste à mettre en parallèle avec la CTN une résistance de même valeur nominale. Effet obtenu :



NB :Seul problème, puisqu'on met une résistance de la même valeur en parallèle, la valeur de la résistance équivalente sera divisée par deux

- La thermistance (comme sa cousine la photorésistance) n'est pas une composant d'une extrême précision et n'est d'ailleurs pas très normalisée. Elle sera utilisée, par exemple, pour délimiter ou comparer des seuils de température, ou pour fixer une température de consigne, plutôt que pour mesurer précisément des températures. Il n'est donc pas

courant de réaliser un thermomètre à l'aide de thermistances. Pour de la thermométrie en tant que tel, on utilisera des composants spécialisés : capteurs à semi-conducteurs, résistances métalliques spéciales,...

- Eléments résistifs sensibles utilisés en thermométrie industrielle

- Platine (Pt)

- Cher '(mais petites quantités)
- Résistivité élevée, linéarité acceptable, s'étire en fils ou pistes très fines, peut être produit très pur, large plage de température

- Oxydes métalliques (thermistances) et semi-conducteurs

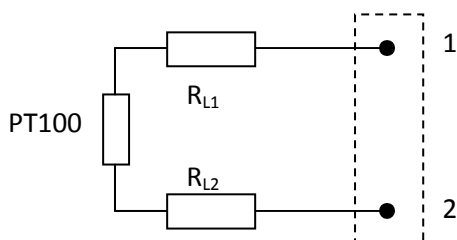
- Large plage de température
- Encore trop peu standardisé et peu précis, plus utilisés dans les circuits électroniques que dans l'industrie
- Mauvaise linéarité, mais de nouveaux modules électroniques permettent maintenant de linéariser leur signal plus facilement.

- Effet d'auto-échauffement

On déduit une  $t^\circ$  inconnue en mesurant la valeur de la résistance lorsqu'elle est traversée par son courant d'alimentation. Or qui dit passage de courant, dit échauffement par effet Joule du capteur dont la température deviendra dès lors supérieure à celle que l'on désirait mesurer au départ.

Pour que cette erreur d'auto-échauffement soit négligeable, le courant alimentant la résistance doit être minimum, généralement 1[A].

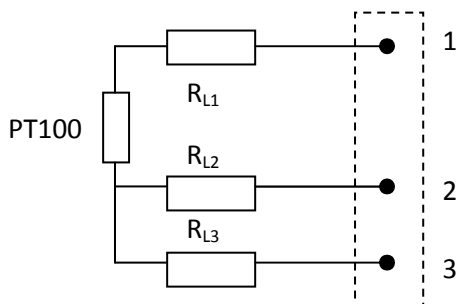
- Montage 2 fils :



C'est la méthode de mesure la plus simple, mais les résistances de lignes ( $R_{L1}$  et  $R_{L2}$ ) sont en série avec l'élément sensible PT100. L'erreur correspond à  $R_{L1} + R_{L2}$ , d'où un décalage de la température mesurée sur la température réelle.

C'est le montage à éviter : l'erreur due au câble est d'environ  $0,06^\circ\text{C}$  par mètre pour une section d' $1\text{ mm}^2$

- Montage 3 fils :

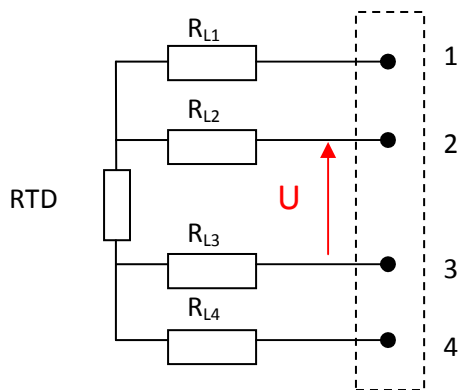


Ce montage implique des résistances de lignes  $R_{L1}$ -  $R_{L2}$ -  $R_{L3}$  identiques.

$R_{L2} + R_{L3}$  permettent de mesurer la résistance de ligne que l'on va soustraire à ce qui est mesuré aux bornes 1 et 2

C'est un montage souvent utilisé dans l'industrie

▪ Montage 4 fils (méthode de Kelvin) :



Un générateur de courant mesure et fait passer un petit courant constant par les bornes 1 et 4.

Un voltmètre (d'impédance élevée et donc traversé par un courant nul) mesure directement la tension aux bornes 2 et 3 de la PT100 (ce qui permet complètement de s'affranchir des résistances de lignes).

$U/I = R_{PT100}(t^\circ) \rightarrow t^\circ$  inconnue déduite de la norme CEI 751.

C'est le montage le plus utilisé en industrie, en laboratoires et bancs de tests.

▪ Sondes bobinées :

Fil en platine enroulé autour d'un cylindre de verre ou céramique puis moulé dans un revêtement protecteur en :

Verre ou ciment céramique

La longueur du fil de sortie est ensuite finement ajuster pour obtenir une R de 100ohm à 25°C

▪ Sondes à couche mince enrobée :

Une mince couche de Pt est déposée par évaporation sur un substrat céramique

3 avantages : 1. Temps de réponse minime (faible masse)

2. Insensible aux vibrations

3. Moins chères que les sondes à enroulement

▪ Choisir une PT100 ou une thermocouple ????

| Critère de sélection | Thermocouple  | Sonde à résistance de Pt        |
|----------------------|---|---------------------------------|
| Précision            |   | Meilleure                       |
| Dynamique            | Plus vaste (-200°C ... +1750°C voire 3000°C)  | -200°C à 850°C                  |
| Temps de réponse     | Plus court (5s max)   | (50s max)                       |
| Coût                 |   | 3 fois plus chères <sup>6</sup> |
| Zone sensible        | Très ponctuelle (extrémité = soudure chaude)  | Plusieurs dizaines de mm        |
| Taille               | Très petite   |                                 |
| Compensation         | De la soudure froide nécessaire, mais la plupart des instruments de mesure pour thermocouple (indicateurs de t°, régulateurs, enregistreurs) sont équipés de circuits de compensation interne | Pas de compensation             |
| Auto-échauffement    | Aucun   | Oui                             |
| Alimentation         | Aucune  | Nécessaire                      |

<sup>6</sup> Avec les récents développements de la micro électronique, la tendance actuelle est à l'emploi des sondes résistives de préférence aux thermocouples.

|                        |  |            |
|------------------------|--|------------|
| Stabilité à long terme |  | Excellente |
| Robustesse             | Meilleure (adapté en milieu vibratoire)                      |            |
| Câble de liaison       | Matériaux thermoélectriques jusqu'à la jonction de référence | En cuivre  |